



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Einfluss von Bewegung und Sport auf ausgewählte
kognitive Fähigkeiten: aktuelle Erkenntnisse am Beispiel
einer empirischen Untersuchung im Setting Schule.“

verfasst von / submitted by

Wolfgang Altermann

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 190 482 456

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

Lehramtsstudium UF Bewegung und Sport
und UF Geographie und Wirtschaftskunde

Betreut von / Supervisor:

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

Abstract Deutsch

Nicht immer waren sich Experten und Expertinnen im Laufe der Geschichte über die Funktion des Gehirns einig. Durch die intensive Beforschung und Entwicklung modernster Technologien – vor allem in den letzten Jahrzehnten – wurden viele Prozesse und Zusammenhänge offengelegt, neue Fachdisziplinen wie die kognitiven Neurowissenschaften hatten ihre Daseinsberechtigung. So zeigten unter anderem viele Studien eine förderliche Auswirkung von Sport auf die Entwicklung, Steigerung sowie Aufrechterhaltung der mentalen Leistungsfähigkeiten. Nicht umsonst gilt körperliche Aktivität als eine der primären Präventionsmaßnahmen gegen Demenz-Erkrankungen nicht nur im hohen Alter.

Doch nicht jede Bewegungsart scheint den gleichen Effekt zu haben. Sahen einige Autoren und Autorinnen einen Einfluss von kurzen aeroben Trainingseinheiten auf geistige Fertigkeiten wie die Konzentrationsleistung, so konnte in anderen Publikationen kein identischer Zusammenhang, dafür die Bedeutsamkeit des körperlichen Fitnesszustandes in Hinblick auf die Steigerung kognitiver Leistungsparameter festgestellt werden. Auch andere Aspekte wie die Lebensjahre, der sportliche Background, die erbliche Disposition sowie das Gesundheits- und Ernährungsprofil scheinen die Funktionstüchtigkeit des Gehirns zum Teil erheblich zu beeinflussen und werden größtenteils näher erläutert.

Durch den wissenschaftlichen Beitrag soll die Entwicklung der menschlichen „Schalt- und Kontrollzentrale“ über die verschiedenen Lebensabschnitte hinweg beleuchtet werden. Anhand unterschiedlicher wissenschaftlicher Erkenntnisse werden gezielt neurodidaktische Empfehlungen zum Arrangieren von möglichst optimalen Lehr- und Lernprozessen in der Schule abgeleitet. Die theoretischen Überlegungen werden durch eine Sammlung praktischer Bewegungsinterventionen ergänzt, durch die sich verschiedene mentale Vorgänge gezielt optimieren lassen.

Um eindeutigere Erkenntnisse über die Bewegungsart und deren individuellen Einfluss auf ausgewählte kognitive Leistungsfähigkeiten zu generieren, erfolgt eine empirisch-quantitative Untersuchung im Setting Schule. Dabei wird die Konzentrationsleistung von Kindern im Alter zwischen zehn und 14 Jahren vor sowie unmittelbar nach einer kurzen Trainingsintervention mithilfe des d2-R-Leistungstests überprüft und durch den Gebrauch von SPSS statistisch ausgewertet. Die Besonderheit liegt dabei an der Art der 10-minütigen Aufgabenstellung, die – je nach Gruppe – aus konditionellen, koordinativen oder sprachbezogene Elementen bestehen.

Abstract Englisch

Experts have not always agreed on the function of the brain in the course of history. Through intensive research and development of state-of-the-art technologies, especially in recent decades, many processes and connections have been disclosed, new disciplines such as the cognitive neurosciences have had their right to exist. For example, many studies showed a beneficial impact of sport on the development, improvement and maintenance of mental performance. It is not without reason that physical activity is one of the primary preventive measures against dementia not only in old age.

But not every type of movement seems to have the same effect. While some authors considered the influence of short, aerobic training sessions on mental work such as the concentration performance, no correlation could be found in other publications, and the significance of the physical fitness condition in terms of the improvement of cognitive performance parameters seems to be important. Other aspects such as the years of life, sporting background, hereditary disposition as well as the health and nutritional profile seem to influence the functioning of the brain in some cases and are explained in greater detail.

The scientific contribution is intended to illuminate the development of the human "control center" over the various life stages. On the basis of different scientific findings, specific neurodidactic recommendations are derived for arranging the best possible teaching and learning processes in school. The theoretical considerations are supplemented by a collection of practical movement interventions through which various mental processes can be specifically optimized.

In order to generate clearer insights into the type of movement and its individual influence on selected cognitive abilities, an empirical-quantitative study is carried out in the setting school. The concentration performance of children at the age of 10 to 14 before and immediately after a short training intervention with the help of the d2-R performance test are examined and statistically evaluated by the use of SPSS. The special feature lies in the type of the 10-minute sports unit, which - depending on the group - differ in conditional, coordinative and speaking tasks.

Vorwort & Danksagung

Vor exakt acht Semestern habe ich mich dazu entschlossen, mich für mein Lehramtsstudium mit der Fächerkombination „Bewegung und Sport“ sowie „Geographie und Wirtschaftskunde“ an der Universität zu inskribieren. Das formale Ende und die damit verbundene Diplomarbeit standen zu diesem Zeitpunkt noch in weiter Ferne. Doch spätestens nach der Absolvierung des ersten Studienabschnittes wurde mir bewusst: Die Hälfte hast du bereits geschafft, das Ziel ist schon bald zum Greifen nahe.

Und nun habe ich meinen wissenschaftlichen Beitrag vor mir liegen, der in mir gemischte Gefühle aufkommen lässt. Auf der einen Seite bin ich stolz, wie ich mein Wissen und meine Fertigkeiten als Lehrer in den letzten Jahren weiterentwickeln konnte. Darüber glücklich, welche Menschen und Persönlichkeiten ich von Semester zu Semester kennenlernen durfte und zum Teil als Freunde gewinnen konnte.

Und genau aus diesem Grund blicke ich dem Studienabschluss auch mit etwas Trauer entgegen. Die täglichen Gespräche in den weiten Pforten des Universitätssportinstituts, das gemeinsame Lernen für Prüfungen oder miteinander angespannt den Benotungen entgegenfeiern – all das war ein fester Bestandteil einiger toller Jahre meines Lebens, die jetzt von einem Moment auf den anderen ein Ende finden.

Nichtsdestotrotz möchte ich diese Stelle der Arbeit dazu verwenden, einigen wichtigen Menschen in meinem Leben zu danken. An erster Stelle stehen dabei meine Eltern, die mich bis zum heutigen Tage mit allen Mitteln und Möglichkeiten optimal unterstützt haben und ohne die ich heute nicht hier stehen würde. Auch meiner Freundin möchte ich danken, die mich in so manch aussichtsloser Situation stets aufgebaut und zurück auf Kurs gebracht hat. Zwei Personen, ohne die das Studium nie so reibungslos und humorvoll abgelaufen wäre, gilt es hier ebenfalls zu erwähnen: Philipp Bör und Elias Hofstädter, zwei treue Kommilitonen seit der Ergänzungsprüfung und mittlerweile nicht mehr wegzudenkende Freunde.

Ein besonderer Dank gilt auch meinem Betreuer Ao. Univ-Prof. MMag. Dr. Konrad Kleiner, der mir mit Ratschlägen und konstruktivem Feedback während der Erstellung dieser Arbeit zur Seite stand, mir aber dennoch ausreichend Raum für eine eigene und individuelle Herangehensweise gelassen hat.

Inhaltsverzeichnis

Abstract Deutsch	3
Abstract Englisch	5
Vorwort & Danksagung	7
Inhaltsverzeichnis	9
1. Einleitung.....	11
1.1. Darstellung der Thematik.....	11
1.2. Resultierende Fragestellungen und Hypothesen	13
1.3. Methodik und Untersuchungseingrenzungen	15
2. Ausgewählte Definitionen und Begriffsbestimmungen	17
2.1. Bewegung, Sport und körperliche Aktivität.....	17
2.2. Kognition und exekutive Funktionen	19
2.2.1. Aufmerksamkeit und Konzentration.....	22
3. Das Gehirn	25
3.1. Differenzierte Betrachtung im Wandel der Zeit.....	25
3.2. Allgemeiner schematischer Aufbau des Gehirns.....	25
3.3. Die Reifung und Entwicklung des Gehirns bis zur Adoleszenz	32
3.4. Vom Lernen zum Gedächtnis – die Funktionsweise.....	35
3.5. Vom Gehirn in die Muskeln – Grundlegendes zur Bewegung	39
3.5.1. Ablauf geplanter sowie unbewusster Bewegungen.....	40
3.5.2. Vom elektrischen Signal zur Bewegung – die motorische Transformation ..	41
3.5.3. Bewegungen steuern und regeln – ein feiner Unterschied	43
3.5.4. Motorische Areale – die Zentren des Bewegungsentwurfes.....	44
3.5.5. Motorische Komplikationen anhand ausgewählter Beispiele	47
3.5.6. Erlernen von Bewegungen – ein mehrphasiger Prozess.....	49
3.6. Das Nervensystem	50
3.6.1. Neuronen & Gliazellen – Impulsverarbeitung auf Mikroebene.....	52
3.6.2. Neuronale Impulse als Kommunikationsmedium	54
3.6.3. Synapsen – „Hotspot“ der Impulsübertragung.....	55
3.7. Vom Rückenmark zur Ziel-Muskulatur	58
4. Einfluss körperlicher Aktivität auf die mentale Leistungsfähigkeit.....	61
4.1. Die Plastizität – die Wandelbarkeit neuronaler Strukturen.....	61
4.2. Die Kognition „in Bewegung bringen“ – der Einfluss von Sport	65
5. Auswirkungen verschiedener Interventionen auf die Konzentrationsleistung von Lernenden – ein empirischer Test	82
5.1. Ausgangslage und Basis des Untersuchungsdesigns.....	82

5.2.	Der d2-R-Test zur Erhebung kognitiver Parameter	84
5.2.1.	Unterschiede zum bisherigen d2-Test (9. Auflage)	84
5.2.2.	Kritikpunkte und mögliche Schwächen des d2-R-Tests	87
5.3.	Der empirische Test – Planung, Ablauf & Auswertung	91
5.3.1.	De La Salle Schule Strebersdorf: Durchführungsort des Tests	92
5.3.2.	Die Planung der empirischen Untersuchung	93
5.3.3.	Die Realisierung der empirischen Untersuchung	97
5.3.4.	Die Auswertung: ein analoger sowie digitaler Prozess	102
5.3.5.	Die Stichprobe: kurze Vorstellung sowie einige formale Angaben.....	103
5.4.	Die Testergebnisse: die Konzentration „ins Laufen bringen“	108
5.5.	Untersuchungsresümee und -diskussion	119
6.	Neurodidaktische Überlegungen unter besonderer Berücksichtigung des Optimierungspotenzials von Sport	121
6.1.	Die Neurodidaktik – gehirngerechte Lehr-Lern-Settings schaffen	121
6.2.	Konkrete neurodidaktische Beispiele für die Unterrichtsgestaltung	131
6.3.	Lern-Prozesse mit Sport optimieren: diverse Erklärungsansätze	136
6.4.	Auswahl sportlicher Übungen zur Steigerung der Kognition	140
6.4.1.	Übungen aus dem koordinativen Bereich	140
6.4.2.	Übungen aus dem konditionellen Bereich	144
7.	Zusammenfassung und Resümee	147
	Literaturverzeichnis.....	152
	Abbildungsverzeichnis	167
	Tabellenverzeichnis	168

1. Einleitung

1.1. Darstellung der Thematik

Durch das weitverbreitete Angebot an digitalen Medien wie Spielekonsolen, Smartphones oder Computern neigen Kinder und Jugendliche dazu, mehr Zeit für den Gebrauch dieser anstatt für körperliche Aktivität zu nutzen. Dieser Umstand spiegelt sich auch in der Zahl der übergewichtigen Schüler und Schülerinnen wider, wie Dorner (2016, 85) aufzeigt. So wertet der Autor Teile einer durch die WHO durchgeführten Studie betreffend das Gesundheitsverhalten von zu Unterrichtenden aus dem Jahre 2014 aus, an der 5000 Jugendliche teilgenommen haben. Davon waren rund 15 Prozent der männlichen Befragten über dem Normalwert (an das Alter und die dazugehörige Perzentilkurve adaptierter BMI), drei Prozent gelten sogar als leicht adipös. Mädchen wiesen hier bessere Werte auf, da nur knapp zehn Prozent an Übergewicht litten. Auch die Zahl der weiblichen Adipositas-Gefährdeten fällt im Vergleich zu den Jungen mit 2,2 Prozent niedriger aus. Zudem betont Dorner (2016), dass Übergewicht sowie Adipositas im Altersbereich der befragten zu Unterrichtenden tendenziell gestiegen ist.

Tabelle 1: Anteil adipöser Jugendlicher in unterschiedlichen Studien aus Österreich (Dorner, 2016, S. 86)

Studie	Inkludierte Bevölkerung	Jahr	Art der Erhebung	Prävalenz Adipositas Burschen	Prävalenz Adipositas Mädchen
HBSC Survey 2014	5617 Schülerinnen und Schüler im Alter von 11, 13, 15 und 17 Jahren	2014	Befragung	3,1	2,2
Survey Mayer et al. 2015	15.301 Buben und Mädchen im Alter von 4 bis 19 Jahren	2009–2011	Messung	6,0	4,3
Oberösterreichische Schularztuntersuchungen	14.843 oberösterreichische Kinder und Jugendliche zwischen 6 und 16 Jahren	2011/2012	Messung	8,5	6,9
Studienbericht: Österreichisches Grünes Kreuz	114.148 Schülerinnen und Schüler zwischen 6 und 14 Jahren	2005/2006	Messung	8,8	7,3
Österreichischer Ernährungsbericht 2012	386 Buben und Mädchen zwischen 7 und 14 Jahren	2010–2012	Messung	9,0	5,5
Österreichischer Ernährungsbericht 2008	984 Burschen und Mädchen zwischen 6 und 15 Jahren	–	Messung	9	7

Auch die anderen von Dorner (2016) ausgewerteten Studienergebnisse zeigen ein ähnliches Bild bezüglich der geschlechterspezifischen Prävalenz für Adipositas. Die Folgen können gravierend sein: Neben koronaren Erkrankungen, einem erhöhten Risiko für die Entstehung von Tumoren nennt Dorner (2016, S. 80) auch „neuropsychiatrische und psychosoziale Gesundheitsbeeinträchtigungen“ als mögliche Konsequenzen von Übergewicht und Adipositas. Umso wichtiger ist es, diesen Tendenzen durch regelmäßige körperliche Betätigung entgegenzuwirken.

Auch viele andere wissenschaftliche Untersuchungen und Publikationen von anderen Forschern und Forscherinnen (vgl. Warburton, Nicol & Bredin, 2006; Brown, Burton & Rowan, 2007; Hardman & Stensel, 2009) konnten den positiven Effekt von Bewegung auf den gesundheitlichen Zustand nachweisen. Dabei wirkt sich nicht nur ein individuell

durchgeführte Trainingseinheiten gesundheitsförderlich auf den Körper aus, sondern auch Teamsportarten, wie eine aktuelle skandinavische Studie hervorbrachte (Pedersen et al., 2017). In diesem Beitrag wird auch der Einfluss von Sport auf die Psyche hervorgehoben, da etwa depressive Verstimmungen sowie das generelle Angst- sowie Furchtgefühl bei den Testpersonen reduziert werden konnten, was sich mit früheren Analysen und Testergebnissen deckt (Rethorst, Wipfli & Landers, 2009; Diaz & Motta, 2008). In Zeiten, in denen Menschen immer größeren psychischen Belastungen – etwa bedingt durch Leistungs- und Erfolgsdruck in der Arbeit – ausgesetzt sind, spielt auch der Umgang mit Stress eine aus gesundheitlicher Sicht entscheidende Rolle. Körperliche Aktivität kann – abhängig von der Art und dem Umfang – dazu beitragen, die persönliche Handhabung stressiger Situationen zu erleichtern und eine Form der Resistenz gegen psychische Belastungen aufzubauen (Reimers et al., 2016).

Neben unterschiedlichen gesundheitlichen Auswirkungen, sowohl auf physischer als auch psychischer Ebene, birgt Bewegung und Sport auch das Potenzial, auf die Kognition und damit verbundene Fähigkeiten wie Konzentration oder Aufmerksamkeit in günstiger Art und Weise einwirken zu können. Verschiedene Experten und Expertinnen (u.a. Turecek, 2012; Hillman & Schott 2015; Pühse & Ludyga, 2015) stellten Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Bewegungsarten sowie -intensitäten und der Beeinflussung diverser mentaler Leistungsfähigkeiten fest.

Dabei sind sich die wissenschaftlichen Beiträge nicht immer über die genauen Umstände und Faktoren dieser Korrelationen einig. Hillman, Erickson & Kramer (2008) wiesen in ihren Testungen eine durch ein 20-minütiges Walker-Training verbesserte Buchstabierleistung sowie eine gesteigerte Genauigkeit beim Bewerkstelligen von Testaufgaben nach. In einer ähnlichen Untersuchung konnte der beschriebene Effekt nicht repliziert werden, die Hypothese lag hier im Einfluss des Fitnesslevels der Jugendlichen auf die jeweilige kognitive Leistungsfähigkeit (Stroth et al., 2009).

Durch das Beispiel mit den unterschiedlichen Erkenntnissen und Meinungen wird klar, dass nach wie vor Forschungsbedarf besteht. Die Wichtigkeit dieser Thematik spiegelt sich auch in der Zahl an Publikationen, insbesondere an Meta-Analysen (vgl. Ahn & Fed-wea, 2011; Chang, Labban, Gapin, & Etnier, 2012; Jansen, 2014; Dadaczynski & Schiemann; 2015) in den letzten Jahren wider.

Mithilfe einer empirischen Untersuchung sollen einige der bisherigen Studienergebnisse überprüft und unter Umständen neue Erkenntnisse hinsichtlich der Korrelation zwischen unterschiedlichen Trainingsinterventionen und einer Beeinflussung ausgewählter mentaler Leistungsfähigkeiten generiert werden.

1.2. Resultierende Fragestellungen und Hypothesen

Ein Großteil der bereits erwähnten Publikationen beschäftigte sich mit dem Einfluss von körperlicher Betätigung und der Steigerung der mentalen Funktionstüchtigkeit. Dabei wurden unterschiedliche Altersgruppen untersucht und es konnten sowohl bei älteren Testpersonen positive Auswirkungen der körperlichen Aktivität auf bestimmte kognitive Leistungsfähigkeiten (vgl. Tsai et. al, 2016; Jansen & Richter, 2016; Young, Rusted & Tabet, 2015; Niemann, Godde, Staudinger & Voelcker-Rehage, 2014; Rahe & Kalbe, 2015) nachgewiesen werden als auch bei jüngeren Probanden im Schulkind-Alter (vgl. Tomporowski, McCullick, Pendleton & Pesce, 2015; Resaland et al., 2016; Jansen, 2014; Hillman & Schott, 2015), wobei die Effekte je nach Trainingsintervention und Dauer der sportlichen Aktivität mehr oder weniger einflussreich waren. Wie im vorherigen Kapitel bereits erwähnt, kommen diverse Studien, die sich mit einer identischen Thematik beschäftigen, zu verschiedenen Erkenntnissen (vgl. Hilmann, Erikson & Kramer, 2008; Stroh et al., 2009), weswegen nach wie vor weiterer Forschungsbedarf in diesem Themenfeld besteht.

Viele Experten und Expertinnen sehen körperliche Aktivität auch als äußerst effektive Möglichkeit, um dem alters- sowie krankheitsbedingten Abbau und Verfall mentaler Fähigkeiten vorzubeugen oder diesen Prozess zu verlangsamen (vgl. Turecek, 2012; Jansen & Richter, 2016; Reuter & Engelhardt, 2010). Zudem kann Sport bei Rehabilitationsprozessen nach Krankheiten, etwa einem Schlaganfall, beschleunigende Genesungsauswirkungen haben (vgl. Carter et al., Aldrige, Page & Parker, 2010; Zheng, Whou, Yia, Tao & Chen, 2016; Dettmers et al., 2017). Allerdings weisen die Autoren und Autorinnen auch zum Teil darauf hin, dass die Zusammenhänge und Funktionsweisen nicht immer zur Gänze nachvollziehbar sind. Ebenfalls von Interesse sind andere Faktoren wie die Ernährung, welche Untersuchungen zufolge mit der Höhe und dem Erhalt kognitiver Leistungsfähigkeit korreliert (vgl. Benton, 2010; Ekmekcioglu & Kiefer, 2014; Böttger, 2016).

Eindeutigere wissenschaftliche Erklärungen gibt es dafür bei der Frage, wie Bewegung überhaupt auf kognitiv-neuronaler Ebene abläuft – von der Vorstellung über die Planung bis hin zur Ausführung. Dabei ist nicht ein einziges Areal im Gehirn für die motorische Aktivität zuständig, es handelt sich vielmehr um ein perfekt koordiniertes Zusammenspiel mehrerer organischer Komponenten und Instanzen, die in einem hierarchischen Netzwerk miteinander verbunden sind (Carter et al. et al., 2010; Thompson, 2001; Böttger, 2016; Jäncke, 2013; Costandi, 2015). Aus diesem Grund bedarf es auch hier einer geeigneten wissenschaftlichen Auseinandersetzung, um ein möglichst anschauliches und verständliches Bild des Ablaufs von motorischer Aktivität bieten zu können. Im Umkehrschluss

stellt sich die Frage, wie sich Bewegungen im Endeffekt auf die neuronale Struktur des Gehirns auswirken und ob Veränderungen durch die körperliche Betätigung auftreten.

Wie in den vorherigen Absätzen erläutert wurde, bieten sich einige Thematiken im Zusammenhang zwischen Bewegung und Sport und ausgewählten kognitiven Leistungsfähigkeiten an. Im Zuge der Diplomarbeit sollen folgende konkret gewählten Fragestellung bearbeitet werden:

- a. Wie wirken sich unterschiedliche, spezifische Trainingsinterventionen auf die Konzentrationsleistung der zu Unterrichtenden aus und welche neurodidaktischen Empfehlungen lassen sich davon für das Setting Schule ableiten?
- b. Wie funktioniert Bewegung aus neurowissenschaftlicher Sicht und wie korreliert körperliche Aktivität mit der Steigerung exekutiver Funktionen sowie akademischer Leistungsfähigkeit?
- c. Wie kann Bewegung und Sport die neuronalen Strukturen des Gehirns beeinflussen und welche anderen Faktoren stehen mit der Ausprägung kognitiver Parameter in Verbindung?

Da in diesem Qualifikationsbeitrag vor allem der empirische Teil im Fokus steht, ist Punkt a als Hauptfragestellung zu sehen. Der genaue Ablauf zur Beantwortung erfolgt im nächsten Kapitel. Um den Anforderungen an das wissenschaftliche Arbeiten gerecht zu werden, müssen auch Forschungshypothesen aufgestellt werden, die sich an den formulierten Fragen orientieren und diese in geeigneter Art und Weise beantworten.

- I. Durch eine akute Trainingsintervention lässt sich die Konzentrationsleistung steigern.
- II. Der Einfluss auf die Konzentrationsleistung durch ein akutes, koordinatives Training ist stärker ausgeprägt als jener durch eine konditionelle oder rein auf Sprechen limitierte Intervention.
- III. Es gibt einen Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität sowie der Höhe der exekutiven Fähigkeiten und der akademischen Leistungsfähigkeit.

Bei den drei Hypothesen sind insbesondere die ersten beiden als primäre Vermutungen zu sehen, da diese als mögliche Antwort auf die Hauptfragestellung dienen könnten. Hypothese III wird mithilfe der Literatur auf ihre Gültigkeit untersucht werden.

1.3. Methodik und Untersuchungseingrenzungen

Um die Fragestellungen beantworten zu können, werden zwei verschiedene wissenschaftliche Herangehensweisen zur Anwendung gebracht. Der erste Teil der Diplomarbeit setzt sich aus unterschiedlicher Literatur zusammen, wobei je nach Abschnitt vermehrt Bücher oder Journals benutzt werden. Ein Beispiel dafür ist das dritte Kapitel, bei dem anatomische sowie neuro-kognitive Funktionen erläutert werden. Hierfür wird eine Reihe von verschiedenen gedruckten Quellen verwendet, wohingegen bei den Zusammenhängen zwischen Sport und kognitiven Fähigkeiten permanent neue Erkenntnisse und Thesen aufgestellt werden. Umso wichtiger ist es, eine breit gefächerte Palette an unterschiedlichen Journals, Reviews, Studien sowie vereinzelte Meta-Analysen in die hermeneutische Aufarbeitung miteinzubeziehen, die zugleich einen möglichst hohen Aktualitätsgrad aufweisen.

Aus diesem Grund findet eine Limitation hinsichtlich des Erscheinungsjahres statt, die sich primär am Jahre 2010 orientieren soll. In einzelnen Kapiteln, die den Aufbau des Gehirns oder die an der Bewegung beteiligten Areale näher thematisieren, ist es durchaus legitim, ältere Literatur (vgl. Thompson, 2001) zum Einsatz zu bringen, da die Aussagen und Erläuterungen stets mit aktuelleren und zeitnaheren Werken (vgl. Carter et al. et al., 2010; Costandi, 2015; Böttger; 2016) abgeglichen und auf ihre Gültigkeit überprüft werden. Zudem ist durch die Verwendung mehrerer Publikationen sichergestellt, dass die Themen nicht nur aus einer Perspektive aufgearbeitet, sondern um mehrere, für die Diplomarbeit relevante Aspekte ergänzt sind.

Ebenfalls abhängig vom jeweiligen Abschnitt des vorliegenden wissenschaftlichen Beitrags ist der inkludierte Altersbereich differenziert gewählt. Im vierten Kapitel findet etwa eine altersbezogene Eingrenzung statt, in dem Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren im Fokus der Analysen stehen sollen. Durch diese Maßnahme können Ergebnisse, die im Zuge der empirischen Untersuchung zutage gefördert werden, besser und einfacher mit bereits bestehenden Erkenntnissen aus der Literatur abgeglichen werden.

Zur Generierung von ausreichend Quellen wurden verschiedene Suchportale und Datenbanken in Anspruch genommen. Dazu zählen etwa Google Scholar, PubMed, BISP oder ViFa. Aber auch durch den Gebrauch der universitätseigenen Recherche-Dienste konnte eine Vielzahl von Literaturstellen zusammengetragen werden. Da viele der verwendeten Bücher nicht in einer der Fachbibliotheken im näheren Umfeld zur Verfügung standen, wurden diese käuflich im Handel oder auf Verkaufsplattformen wie Amazon erworben. Zu den am häufigsten gesuchten Keywords zählten etwa „Kognition“, „cognition“, „attention“, „Aufmerksamkeit“, „concentration“, „Konzentration“, die immer in Verbindung mit sportli-

chen Termini wie „sports“, „Sport“, „physical exercise“, „Bewegung“, „acute training“, „Training“ oder „fitness“ standen. In Abhängigkeit vom jeweiligen Abschnitt der Diplomarbeit wurden auch noch gängige Begriffe für beispielsweise Demenz, Kinder, Jugendliche, Erwachsene, Ernährung, Schlaf oder Neurodidaktik verwendet.

Die verwendeten Quellen unterscheiden sich primär dahingehend, dass sie einerseits die Korrelation zwischen einer Art oder Form von körperlicher Bewegung und deren Auswirkungen auf selektierte mentale Leistungsparameter in den Mittelpunkt ihrer Untersuchungen stellen. Häufig werden in diesen Studien akute Trainingsinterventionen beforscht, da chronisches Sporttreiben und dessen Einfluss meist nur durch zeitlich sowie finanziell aufwendigere Längsschnittstudien (vgl. Wittberg, Northrup & Cottrell, 2012; Chen, Fox, Ku & Taun, 2013; Dirksen, Zentgraf, & Wagner, 2015) erforschbar ist. Andererseits setzen sich andere Autoren (Ahn & Fedewa, 2011; Chang, Labban, Gapin & Etnier, 2013; McMorris & Hale, 2015) in ihren wissenschaftlichen Beiträgen mit dem systematischen Vergleich mehrerer Untersuchungsergebnisse und Erkenntnisse auseinander und versuchen, generell gültige Zusammenhänge davon abzuleiten. Viele der Studien und Journals beziehen sich auf den amerikanischen Raum beziehungsweise wurden in Amerika durchgeführt, nur die von Dirksen et al. (2015) aufgestellte Längsschnittanalyse fand in Deutschland statt.

Die für den empirischen Teil dieser Diplomarbeit notwendigen Testunterlagen wurden im Vorfeld hinsichtlich ihrer Sinnhaftigkeit und Zuverlässigkeit anhand von Einsätzen in anderen Untersuchungen (Budde, Voelcker-Rehage, Pietraßyk-Kendziorra, Ribeiro & Tidow, 2008; Brickenkamp, Schmidt-Atzert & Liepmann, 2010) überprüft und schlussendlich unter www.testzentrale.de bestellt. Dazu gehörten unter anderem 150 Testbögen, 100 Kurzanleitungen, ein umfangreiches Manual sowie 150 Auswertebögen. Die Ergebnisse wurden in die Software SPSS übertragen und dort mithilfe von geeigneten Testverfahren auf ihre statistische Signifikanz überprüft. Der exakte Ablauf wird im sechsten Kapitel umfangreich erläutert. An dieser Stelle ist nur erwähnenswert, dass die Testpersonen aus vier verschiedenen dritten Klassen stammten, um eine ausreichend große Stichprobengröße für den empirischen Versuch zu generieren. Zwar galt das Geschlecht nicht als Auswahlkriterium, es wurde dennoch in groben Zügen darauf geachtet, ein annähernd gleiches Verhältnis zwischen Burschen und Mädchen, die sich im Alter zwischen zwölf und 14 Jahren befinden, zu schaffen.

2. Ausgewählte Definitionen und Begriffsbestimmungen

In diesem wissenschaftlichen Beitrag werden verschiedene Fachtermini aus der Literatur aufgegriffen und verwendet. Da nicht jeder Autor und jede Autorin exakt dasselbe Verständnis von bestimmten Begrifflichkeiten hat, werden diese auf den nachfolgenden Seiten angemessen und unter Einbeziehung verschiedener Quellen aussagekräftig definiert. Die Erläuterungen beziehen sich aber nicht nur auf die Sprache Deutsch, sondern auch auf Termini, die in englischer Literatur verwendet werden.

2.1. Bewegung, Sport und körperliche Aktivität

Für den Begriff Sport gibt es eine Vielzahl verschiedenerer Bezeichnungen und Synonyme, die immer wieder in der Literatur verwendet und auch zum Teil mit unterschiedlicher Bedeutung von den Urhebern und Urheberinnen aufgefasst werden.

Generell werden unter „körperlicher Aktivität“ alle Arten von Bewegungshandlungen verstanden, welche aus dem gezielten Einsatz der Skelettmuskulatur resultierten und den körpereigenen Verbrauch an Energie steigern (Caspersen, Powell & Christenson, 1985; Brandes, 2012; Kettner et al., 2012). Zudem sind diese Aktivitäten meist von außen erkennbar. Titze et al. (2010) setzten körperliche Aktivität mit dem Terminus „Bewegung“ gleich, jedoch unter der Voraussetzung, dass umfangmäßig größere Muskelpartien daran mitwirken. Tiedemann (2004) führt in seinem Beitrag die Bezeichnung „körperliche Bewegung“ an und stellt dabei den Gebrauch des Körpers in den Mittelpunkt seines Definitionsansatzes. Dafür seien bestimmte Eigenschaften, Fertigkeiten sowie Erfahrung notwendig. Zudem setzt Tiedemann (2004) körperliche Bewegung mit „Sport“ gleich und weist darauf hin, dass dieser durch gesellschaftliche Vereinbarungen und Abkommen gesteuert wird und nicht zwingend einen Zweck verfolgen muss. Hollmann & Astrand (1986) sehen bei Sport durchaus eine bestimmte Absicht gegeben, nämlich die Möglichkeit für den Sportler oder die Sportlerin, seine oder ihre individuelle Leistungsfähigkeit zum Ausdruck zu bringen. Im englischsprachigen Raum wird zumeist „physical activity“ mit Bewegung gleichgesetzt. So verstehen beispielsweise Donnelly et al. (2016, S. 1198) darunter „any bodily movement produced by skeletal muscles that requires energy expenditure“.

Ein ebenfalls häufig verwendeter Begriff ist das Training, welches deutlich expliziter sowie durch Zielsetzungen geprägt ist und eine systematische Struktur aufweist (Brandes, 2011; Hollmann & Astrand, 1986; Hollmann & Strüder, 2013). Durch Training sollen bewusst unterschiedliche Leistungsparameter, Techniken oder Fertigkeiten optimiert sowie automatisiert werden. Hinsichtlich der Steigerung der kognitiven Aspekte werden vor allem zwei Trainingsvarianten gesondert betrachtet: Ausdauer, welche den konditionellen Fä-

higkeiten eines Menschen zugeordnet werden kann, sowie die (Bewegungs-)Koordination. Unter Letzterer, welche zu den sogenannten motorischen Grundfertigkeiten zählt, ist laut Voelcker-Rehage, Tittlbach, Jasper & Regelin (2013) die Eigenschaft eines Individuums, verschiedene Teilaspekte einer körperlichen Aktivität abzustimmen, um eine motorisch präzise Handlung zu bewerkstelligen, zu verstehen. Zu den Aspekten zählen etwa die durch die Sinnesorgane erfassten externen Reize, das Wählen geeigneter Bewegungsprogramme sowie die korrekte und blitzschnelle Ansteuerung der beteiligten Muskulatur über die Nervenbahnen des Körpers.

Hollmann & Strüder (2009) verstehen unter Koordination ebenfalls die kooperative Nutzung mehrerer Komponenten zur Bewältigung einer bestimmten motorischen Aufgabenstellung, wobei damit vordergründig der Austausch zwischen Neuronensystem und der bewegungsexekutierenden Skelettmuskulatur gemeint ist. Diese Zielausrichtung ist auch expliziter Bestandteil des Definitionsansatzes von Bertram und Laube (2008, S. 8): „Koordination ist die auf ein [aktivitätsbezogenes] Ziel ausgerichtete, konkrete, hierarchische Abstimmung und das Zusammenwirken von Einzelaktivitäten für ein angestrebtes Gesamtergebnis.“

Welchen Einfluss die Koordination oder „coordination“ auf kognitive Parameter haben kann, betonen etwa Voelcker-Rehage et al. (2013). Sie sind der Meinung, dass deren Schulung mit der Höhe der Aufmerksamkeit korreliert und ein empirisch nachgewiesener förderlicher Effekte auf die mentalen Funktionen besteht. Diese Ansicht deckt sich mit den Erkenntnissen anderer Autoren und Autorinnen (u.a. Budde et al., 2008; Voelcker-Rehage, Godde & Staudinger, 2011; Kwok et al., 2011; Demirakca, Cardinale, Dehn, Ruf & Ende, 2015). Vor allem durch die Faktoren Zeit beziehungsweise Ausführungsgeschwindigkeit sowie den Grad der Genauigkeit während des Koordinationstraining lässt sich diese optimal schulen (Voelcker-Rehage et al., 2013).

Wie bereits erwähnt, ist neben der Koordination auch die Aufmerksamkeit eine im Hinblick auf die empirische Untersuchung relevante Fähigkeit, die einer exakten Erläuterung bedarf. Generell ist unter Ausdauer „[...] die Fähigkeit, eine gegebene Leistung über einen möglichst langen Zeitraum durchhalten zu können“ (Hollmann & Strüder, 2009, S. 267) zu verstehen, wobei die Verfasser und die Verfasserinnen dezidiert darauf hinweisen, dass die Bezeichnung „Ausdauer“ beziehungsweise „endurance“ von der inhaltlichen Auffassung her dem Begriff „Ermüdungswiderstandsfähigkeit“ gleicht. Gerade zur Aufrechterhaltung der kognitiven Leistungsfähigkeiten sowie zugerfügbarer Steigerung bietet sich diese Aktivitätsform hervorragend an, wie mehrere Studien gezeigt haben (Stroth, Hille,

Spitzer & Reinhardt, 2009; Erickson et al., 2010; Buchmann et al., 2012; Voelcker-Rehage, 2013; Beck, F. 2014, Suzuki & Fitzpatrick, 2016).

2.2. Kognition und exekutive Funktionen

Neben Bewegung und Sport ist auch ein zweiter Begriff im Zuge dieser Diplomarbeit von wesentlicher Bedeutung und bedarf einer möglichst verständlichen Erläuterung. Generell sollen unter dem Begriff der „Kognition“ alle geistigen Abläufe sowie die daran beteiligten organischen Strukturen eines Menschen zusammengefasst werden (vgl. Reuter & Engelhardt, 2010).

Ein älterer Definitionsansatz wird von Gabler (2000) geprägt, der mit Kognition ebenfalls das Erkennen von Gegenständen und Reizen der Umwelt, den Entwurf verschiedener Handlungsoptionen sowie die Auswahl der geeigneten Varianten zur Auseinandersetzung mit einer bestimmten Aufgabe verbindet. Dadurch ist Kognition auch der Inbegriff jener mentalen Vorgänge, die mit Wahrnehmung, Denkprozessen, Assoziationen sowie dem geistigen „Vor-Augen-Führen“ von bestimmten Inhalten in Zusammenhang stehen (Alfermann & Stoll, 2010).

Auch Funke und Frensch (2006) schreiben dem aus der griechischen Sprache stammenden Begriff eine ähnliche Bedeutung zu, betonen aber, dass er sich aus bestimmten Teilen wie etwa der Fähigkeit, sich erlebte Inhalte zu merken, Dinge wahrzunehmen sowie seine Wahrnehmung nach Belieben individuell ausrichten zu können, zusammensetzt. „Der gemeinsame Nenner all dieser Phänomene ist, dass sie die Operation von Intelligenz voraussetzen, zumindest dann, wenn Intelligenz als Fähigkeit eines Individuums, zweckgebunden zu handeln, rational zu denken und effizient mit seiner Umgebung zu interagieren, definiert wird.“ (Funke & Frensch, 2006, S. 19).

Reuter und Engelhardt (2010) verweisen ebenfalls auf verschiedene Aspekte, welche der Kognition zugehörig sind – jedoch erweitern sie diese um den Begriff der „exekutiven Funktionen“, die auch in anderen Werken (Jäncke, 2013; Riccio & Gomes, 2013; Jansen, 2014; Audiffren & Andre, 2015) erwähnt und zum Teil äußerst detailliert erläutert werden.

Diese Funktionen wirken laut Jäncke (2013) & Costandi (2015) wie eine Art geistige Überprüfungsstätte, die insbesondere dann zum Einsatz kommt, wenn bestimmte physische Aktionen noch wenig erprobt sind und die Erfahrung fehlt. Allerdings können diese auch bei Barrieren aller Art, die einen intensiveren Aufmerksamkeitsbedarf erfordern, oder einem erhöhten Schwierigkeitsgrad wirksam sein. „Exekutive Funktionen (EF) sind Kontrollprozesse, die es einem Individuum erlauben, sein Verhalten situationsgerecht zu op-

timieren, indem die grundlegenden psychischen Funktionen zielführend eingesetzt werden“ (Jäncke, 2013, S. 388).

Im englischsprachigen Raum gibt es ebenfalls Definitionsansätze für die exekutiven Funktionen, die etwa von Riccio & Gomes (2013) aufgestellt werden. Die Autorinnen sehen diese als multidimensionales Konstrukt, welches aus verschiedenen Prozessen besteht und das menschliche Verhalten in zum Teil komplexer Weise beeinflusst. Autoren wie Barkley (2012) oder Zelazo, Carter et al., Reznick & Frye (1997) definieren den Begriff der „exekutive functions“ zwar ähnlich, ergänzen ihn aber um deren entscheidenden Beitrag bei der Auseinandersetzung mit Herausforderungen. Auch Welsh und Pennington (1988) erwähnten bereits damals explizit in ihrer Definition die Fähigkeit, sich mit Problemen effektiv und lösungsorientiert auseinanderzusetzen zu können. Barkley (2012) weist aber darauf hin, dass sich Experten und Expertinnen nicht immer einig darüber sind, welche Funktionen wirklich zu der Problemlösekompetenz eines Menschen beitragen. Eine klare Zuordnung einzelner kognitiver Fähigkeiten zu den exekutiven Funktionen erfolgt von Donnelly et al. (2016, S. 1198), die darunter „a set of cognitive operations underlying the selection, scheduling, coordination, and monitoring of complex, goal-directed processes involved in perception, memory, and action“ verstehen.



Abbildung 1: Arbeitsweise & Komponenten der exekutiven Funktionen (Kerntke, 2014, S. 7)

Je nach Publikation werden den exekutiven Funktionen unterschiedliche Aspekte zugeordnet, die mehr oder weniger großen Einfluss haben. Jäncke (2013, S. 388) zählt insge-

samt über zehn Subfunktionen auf, die wie folgt lauten: Zielsetzungen treffen, Überlegungen anstellen und dahingehend Selektionen treffen, die individuelle Wichtigkeit von Inhalten festlegen, Abläufe initiieren und deren Auswirkungen verfolgen und steuern, Schwachstellen identifizieren, neue Erkenntnisse sachgerecht verarbeiten, sich mit Regelungen und Limitationen auseinandersetzen, Planungen und Vorsätze durchziehen und gegen Störfaktoren abschirmen, die Kontrolle über sich selbst haben, komplexe Denkprozesse bewerkstelligen sowie die Handhabung motorischer Prozesse. Der Wissenschaftler kritisiert aber, dass aufgrund des Umfangs und der Komplexität des Begriffes andere Auslegungsversuche der exekutiven Funktionen mitunter nicht miteinander vergleichbar sind, da gewisse Aspekte unterschiedlich gewichtet oder gar nicht berücksichtigt werden.

Andere Autoren (Lunt et al., 2012; Diamond, 2013; Diamond & Ling, 2016) unterteilen die Funktionen weniger detailliert – vielmehr gehen sie hier von drei wesentlichen sowie zusammenhängenden Kernfähigkeiten aus, die in „inhibitory control“ (Verhaltenskontrolle), „working memory“ (Arbeitsgedächtnis) sowie „cognitive flexibility“ (kognitive Flexibilität) unterteilt werden und ebenfalls zur Aufarbeitung von herausfordernden Situationen und Aufgaben notwendig sind. Aufgrund der Aktualität dieser Beiträge, allem voran den sehr ausführlichen von Diamond & Ling (2016), und ihrem Bezug zur Problemlösekompetenz, der Schüler und Schülerinnen in der Schule häufig ausgesetzt sind, werden diese Subsparten der exekutiven Fähigkeiten im Folgenden näher erläutert.

Unter der Verhaltenskontrolle wird die Eigenschaft eines Individuums verstanden, spontanen Trieben und Reizen zu widerstehen und überlegte sowie reflektierte Handlungen auszuführen (Diamond & Ling, 2016). Dadurch ist es dem Menschen im Vergleich zu Lebewesen, die nicht über diese Fähigkeit verfügen, möglich, sein Verhalten auf Wahrnehmungen individuell anzupassen und aus einem Repertoire an Reaktionen zu wählen (Diamond, 2003). Gerade für eine funktionierende Gesellschaft oder auch im Kontext Sport hat die Verhaltenskontrolle auf das Klima und den Zusammenhalt maßgebliche Auswirkungen.

Der zweite Bestandteil, das Arbeitsgedächtnis, wird vor allem während der Ausführung anderer mentaler oder physischer Handlungen benötigt. Es fungiert als ein kurzzeitiger Informationsspeicher sowie –verarbeiter, der dem Besitzer oder der Besitzerin dabei behilflich ist, bestimmte Inhalte zu ordnen und Zusammenhänge zu erkennen (Reuter & Engelhardt, 2010; Jäncke, 2013; D’esposito & Postle, 2015; Diamond, 2016; Böttger, 2016). Gerade diese Fähigkeit wird in der Literatur häufig mit der Kompetenz, kognitive Herausforderungen oder schwierige Situationen zu meistern, in Verbindung gebracht, da es hier

einen erhöhten Bedarf an temporärer und spontaner Informationsverarbeitung und -koppelung gibt (Diamond, 2016).

Zuletzt fehlt noch die kognitive Flexibilität, die zwar dem Arbeitsgedächtnis ähnelt, aber deutlich mehr Erfahrung und mentalen Einsatz vom Individuum abverlangt (Costandi, 2015; Diamond & Ling, 2016). Personen, bei denen diese kognitive Fähigkeit besser ausgeprägt ist, haben meist weniger Probleme, mit unerwarteten Situationen umgehen zu können und bei einem möglichen Misserfolg durch eine falsch gewählte Handlungsoption binnen weniger Sekunden adäquate Alternativen parat zu haben (Kiesel et al., 2010).

Ihren besonderen Stellenwert in den kognitiven Neurowissenschaften, einem Zusammenschluss mehrerer Untersuchungsgebiete und Forschungsdisziplinen aus Bereichen der Biologie, Physiologie, Psychologie sowie Medizin zusammensetzt (Jäncke, 2013), haben die Exekutiven Fähigkeiten aufgrund ihres nachgewiesenen Einflusses auf die Leistung und Erfolg in der Schule und im weiteren Leben (Alloway and Alloway, 2010; Morrison et al., 2010; Moffitt et al., 2011; Moffitt, 2012; Diamond & Ling, 2016).

Zwei besondere Komponenten, die dem Menschen durch die kognitiven Leistungsfähigkeiten zur Verfügung steht, sind die Aufmerksamkeit sowie Konzentration, welche im Zuge der empirischen Untersuchung auf ihre Beeinflussung durch verschiedene, akute Trainingsinterventionen geprüft wird. Laut Costandi (2015) sind diese ebenfalls den exekutiven Funktionen zugeordnet, werden aber aufgrund der Relevanz für die Diplomarbeit im folgenden Kapitel gesondert behandelt und definiert.

2.2.1. Aufmerksamkeit und Konzentration

Ist die Rede von „Aufmerksamkeit“, so gibt es unterschiedliche kontextabhängige Auslegungsansätze. Im Setting Schule wird sie häufig mit der Anforderung an die zu Unterrichtenden, dem Unterrichtsgeschehen zu folgen, gleichgesetzt. Im Straßenverkehr ist diese Teilkomponente der exekutiven Funktionen essentiell, um unfallfrei zum gewünschten Ziel zu gelangen. In Bewegung und Sport – vor allem in Sportspielen wie Fußball oder Basketball – kommt es immer wieder zu Situationen, in denen sie vom Menschen intensiver gefordert wird. Etwa dann, wenn es um die Interpretation und dem Wahrnehmen der Spielsituationen geht (Lau, Stoll & Wahnelt, 2002; Moran, 2017).

Nicht selten wird „Konzentration“ als Synonym für Aufmerksamkeitsprozesse gesehen, weswegen zum Teil nur sehr schwammig bis keiner Abgrenzungen in der Literatur erfolgen (Beckmann & Strang, 1993; Kaminski, 1994; Böttger, 2016) – generell ist aber unter Konzentration die Eigenschaft eines Individuums, unter bestimmten externen Anforderungen, welche den Einsatz der mentalen Leistungsfähigkeiten beeinträchtigen, möglichst

zügig und exakt Leistung zu erbringen (Schmidt-Atzert, Büttner & Bühner, 2004), zu verstehen. Gabler (2000) sieht in Konzentration eine erhöhte Beanspruchung der Aufmerksamkeitsprozesse, welche sich das jeweilige Individuum zu Nutze macht, um aus einer Fülle wahrgenommener Informationen einen eingegrenzten Bereich selektiv zu fokussieren. Dieser Prozess lässt sich in einem bestimmten Grad beeinflussen und schulen, etwa durch den regelmäßigen Gebrauch mehrerer Sprachen (Costa et al, 2015; Böttger, 2016). Aber auch die Wahl der Ernährung (Böttger, 2016) sowie körperliche Aktivität (Budde et al., 2008) können sich förderlich auswirken wie zu einem späteren Punkt in diesem wissenschaftlichen Beitrag näher erläutert wird. Dahingegen sieht Costandi (2015) in Aufmerksamkeit eine Selektionsmethode, um den mentalen Fokus auf bestimmte Dinge, die das Individuum als wichtig erachtet, zu legen und nebensächliche Inhalte auszublenden.

Ein anderer, deutschsprachiger Autor liefert ebenfalls eine sehr ausführliche Beschreibung der von Costandi (2015) beschriebenen Selektionsmethode: „Durch die Aufmerksamkeit gelingt es uns, aktiv einen kleinen Teil der Informationsmenge zu verarbeiten, die auf unser Sensorium einprasselt, die unserem Gedächtnis zur Verfügung stehen und die Gegenstand vieler Denkprozesse sind“ (Jäncke, 2013, S. 333). Davon lassen sich laut Jäncke (2013) drei Schlussfolgerungen ableiten: Zum einen sind die verfügbaren Ressourcen, die Aufmerksamkeitsprozessen zur Verfügung stehen, limitiert. Dadurch ist es unentbehrlich, Selektionsmaßnahmen zu setzen und dementsprechend notwendige von unwesentlichen Sinnesreizen zu trennen, wodurch die Beteiligung der Aufmerksamkeit bei vielen mentalen Vorgängen ersichtlich wird und sich nicht nur auf die Informationswahrnehmung beschränkt.

Einen Definitionsversuch für den Begriff der Aufmerksamkeit gab es auch schon im 19. Jahrhundert – William James (1890) schreibt dieser die Fähigkeit zu, eine aus verschiedenen Sinneswahrnehmungen zu wählen, sie mental zu beanspruchen und sich dieser zu widmen. Bereits hier wird eine Form der Selektion – wenn auch in abgeschwächter Form – angedeutet.

Ein wesentlicher Aspekt der Aufmerksamkeit ist die Reaktion auf bestimmte Inhalte, die mit einer für das jeweilige Individuum relevanten Bedeutung – etwa einem Namen – behaftet sind (vgl. Thompson, 2001; Jansen, 2013; Costandi, 2015). Der sogenannte „Cocktailparty-Effekt“ verdeutlicht die Eigenschaften der Aufmerksamkeit: Auf einer Feier, bei der der Lautstärkepegel generell relativ hoch ist, unterhalten sich Personen miteinander. Sie nehmen die verbal vermittelten Inhalte wahr, da diese Informationen im Augenblick bedeutsam erscheinen. Die restlichen Gespräche werden in gewisser Weise „ausgeblendet“ – das Individuum nimmt, wenn überhaupt, nur einzelne Wörter oder Passagen wahr,

der Rest scheint im Verborgenen zu bleiben. Fällt jedoch in der Menge ein bekanntes und wichtiges Wort wie etwa der eigene Name, wandert die Aufmerksamkeit geistesgegenwärtig vom Gesprächspartner weg in die Richtung, von der der „Reiz“ stammt. Dieses Phänomen zeigt, dass das menschliche Gehirn und die darin ablaufenden kognitiven Prozesse viele unterschiedliche Wahrnehmungen aufnehmen und diese nach bestimmten Selektionskriterien in unser Bewusstsein eindringen lassen oder nicht (Thompson, 2001; Costandi, 2015).

Ein Versuch, der die selektive Natur der Aufmerksamkeit aufzeigte, wurde bereits 1999 durchgeführt und ist mittlerweile dank zahlreicher Videoplattformen auf der gesamten Welt bekannt (Simons & Chabris, 1999). Probanden bekamen einen kurzen Videoclip gezeigt, in dem mehrere Sportler und Sportlerinnen zu sehen waren und sich einen Ball zuspielten. Die Hälfte von ihnen trug weiße T-Shirts, wohingegen der Rest schwarz gekleidet war. Ziel war es, eine möglichst genaue Auskunft über die Anzahl der Ballkontakte rückmelden zu können. Während des Videos war für einige Sekunden ein als Gorilla verkleideter Mensch zu sehen, der durch die Szene wanderte und einige Aktionen ohne Ball verübte. Es zeigte sich, dass etwa die Hälfte aller Zuseher und Zuseherinnen das vermeintliche „Tier“ nicht wahrgenommen waren, da die selektiven Aufmerksamkeitsprozesse zu intensiv mit der Zählaufgabe beschäftigt waren (Costandi, 2015). Der Effekt wird in der Literatur auch als „inattentional blindness“ oder „Unaufmerksamkeitsblindheit“ beschrieben (Mack & Rock, 1998; Memmert, 2005; Jendrusch, 2012; Costandi, 2015).

Dieses Phänomen beschränkt sich aber nicht nur auf die rein visuelle Ebene, sondern betrifft auch andere Sinnesorgane und findet in verschiedensten Settings statt. Gerade im Sport entscheiden Aufmerksamkeit und Konzentration häufig über Gewinn oder Niederlage. Eine verpasste Sekunde und das Ergebnis kann vollkommen anders aussehen. Ein geeignetes Beispiel stellt etwa das Sportspiel Fußball dar, bei dem es ab und an vorkommt, dass Akteure und Akteurinnen über ihrer Meinung nach verabsäumte Passspiele ihrer Kollegen sowie Kolleginnen klagen und diesen eine gewisse Form der „Spielblindheit“ unterstellen (Memmert, 2005; Jendrusch, 2012).

Erklärungen dafür liefert der Versuch von Simons & Chabris (1999), dass gewisse Objekte und Informationen trotz ihrer scheinbaren „Reichweite“ von den Sinnesorganen nicht bewusst wahrgenommen werden. Laut Costandi (2015) sei diese Eigenschaft in gewissen Lebensbereichen zwingend notwendig, um sich auf wesentliche Aspekte während einer Arbeit oder in der Schule fokussieren zu können.

3. Das Gehirn

3.1. Differenzierte Betrachtung im Wandel der Zeit

Kaum ein anderer Bestandteil des menschlichen Organismus hat so einen essenziellen Stellenwert in der Wissenschaft, aber auch in der Medizin. Die Rede ist vom menschlichen Gehirn (Encephalon), das laut Carter et al. et al. (2010) eine regelrechte Zentrale für alle willkürlichen, aber auch unwillkürlichen Prozesse und Verhaltensweisen wie das Hungergefühl oder die Gefühlswelt darstellt. Doch nicht immer war man sich über die Rolle des im Durchschnitt eineinhalb Kilo schweren Organs und dessen Notwendigkeit im Laufe der Jahrtausende im Klaren.

So schrieben beispielsweise renommierte Persönlichkeiten wie Aristoteles dem Denkkaparat eine komplett andere Funktion zu, die mit den heutigen Erkenntnissen wenig gemeinsam hatte. Vielmehr sah der Schüler Platons die Kühlung des im Körper zirkulierenden Blutes als Funktion des Gehirns (vgl. Carter et al. et al., 2010). Auch der Rationalist René Descartes stellte eine differenzierte Hypothese über die Aufgabe des Cerebrums (lat. für Gehirn) auf. In seinen Augen handelte es sich dabei um eine Kommunikationschnittstelle zwischen dem physischen Körper und der darin innewohnenden Seele.

Nach und nach lüfteten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen die Geheimnisse und realen Funktionsweisen des Gehirns. Insbesondere gegen Ende des 20. Jahrhunderts gelang es dank immer modernerer und fortschrittlicherer Methoden und Verfahren, seine Tätigkeit zu analysieren und die Bedeutung der einzelnen Areale zu erkennen (Carter et al. et al., 2010). Doch die Autorin betont, dass die uns bekannten Thesen und Ergebnisse nicht endgültig sein müssen und sich durch die intensive Beforschung in Zukunft der Blickwinkel auf das lebensnotwendige, durch Furchen geprägte Organ verändern kann.

3.2. Allgemeiner schematischer Aufbau des Gehirns

Wie bereits erwähnt, beträgt das Gewicht des Gehirns eines ausgewachsenen Menschen im Schnitt eineinhalb Kilo, wobei dieses laut Carter et al. et al. (2010) nach einem Alter von 19 Jahren um etwa ein Gramm jährlich sinkt. Auf das Gewicht des beim männlichen Geschlecht meist schwerer ausfallenden Denkkapparates entfallen ungefähr 80 Prozent auf vorhandenes Gewebe und der Rest auf andere Körperflüssigkeiten. Von seinem äußeren Aufbau her gleicht das intensiv durchblutete Organ einem Karfiol.

Hinsichtlich des Volumens kann der Sitz des Verstandes stark variieren, wobei unterschiedliche Faktoren einen mehr oder weniger großen Einfluss haben. So zeigten beispielsweise Untersuchungen, dass übermäßiger und über eine längere Periode betriebener Alkoholismus zu einer Schrumpfung des Volumens führen kann (Carter et al. et al.,

2010). Interessant ist auch der Einfluss von Bewegung und Sport auf die Hirngröße: So konnte nachgewiesen werden, dass ein sechsmonatiges Aerobic-Workout zu einer statistisch signifikanten Vergrößerung des Volumens führt.

Eine weitere Differenzierung ist hinsichtlich der Farbe der einzelnen Areale zu vollziehen. Autoren wie Jäncke (2013) unterscheiden sogenannte „graue“ von „weißer Substanz“. Erstere besteht hauptsächlich aus den Fortsätzen der Nervenzellen (Axone) sowie den Gliazellen, die primär der Vernetzung unterschiedlicher Areale im Gehirn dienen. Sie sticht durch ihre hellere Färbung hervor, der sie ihren Namen verdankt (vgl. Carter et al. et al., 2010; Jäncke, 2013). Dem gegenüber steht die mit höherem Grau-Anteil gefärbte „Masse“, die fachwissenschaftlich als „graue Substanz“ betitelt wird und etwas mehr als die Hälfte der festeren Gehirnssubstanz ausmacht. Sie besteht aus Nervenzell-Körpern (Soma) und Fortsätzen, den sogenannten Dendriten. Der Unterschied zwischen den Axonen und Dendriten liegt in der Art der Reizübertragung. So führen Letztere Reize von einer anderen Nervenzelle zum zugehörigen Neuron her, wohingegen das Axon die elektrischen Impulse fortleitet (Jäncke, 2013; Carter et al. et al., 2010). Mehr als 80 Milliarden Neuronen lassen sich im Gehirn finden, was – verglichen mit einem Computer – etwa einem verfügbaren Speicherdepot von 1000 Terrabytes entspricht (vgl. Bartol et al., 2015).

Das Gehirn lässt sich systematisch in bestimmte Segmente und Abschnitte unterteilen, die jeweils eine andere Funktionsweise sowie Bedeutung für den menschlichen Organismus aufweisen. Je nach Autor und Autorin wird eine unterschiedlich exakte Unterteilung vorgenommen. Eine sehr grobe Klassifikationsvariante erfolgt durch Böttger (2016), der zwischen Großhirn (Cerebrum), Kleinhirn (Cerebellum), Mittelhirn (Mesencephalon), Zwischenhirn (Diencephalon) und Vorderhirn (Prosencephalon) unterscheidet. Auch Carter et al. et al. (2010) sowie Jäncke (2013) nennen diese Areale des Gehirns, treffen aber weitere Unterteilungen. Letztere führt zudem den Hirnstamm (Truncus cerebri), das Rautenhirn (Rhombencephalon), die Brücke (Pons), das Nachhirn (Myelencephalon) sowie das verlängerte Rückenmark (Medulla oblongata) an (Jäncke, 2013). Ergänzend zu seiner vereinfachten Strukturierung liefert Böttger (2016) auch eine sehr detaillierte Abbildung, die alle Bestandteile des Encephalons klar darstellt.

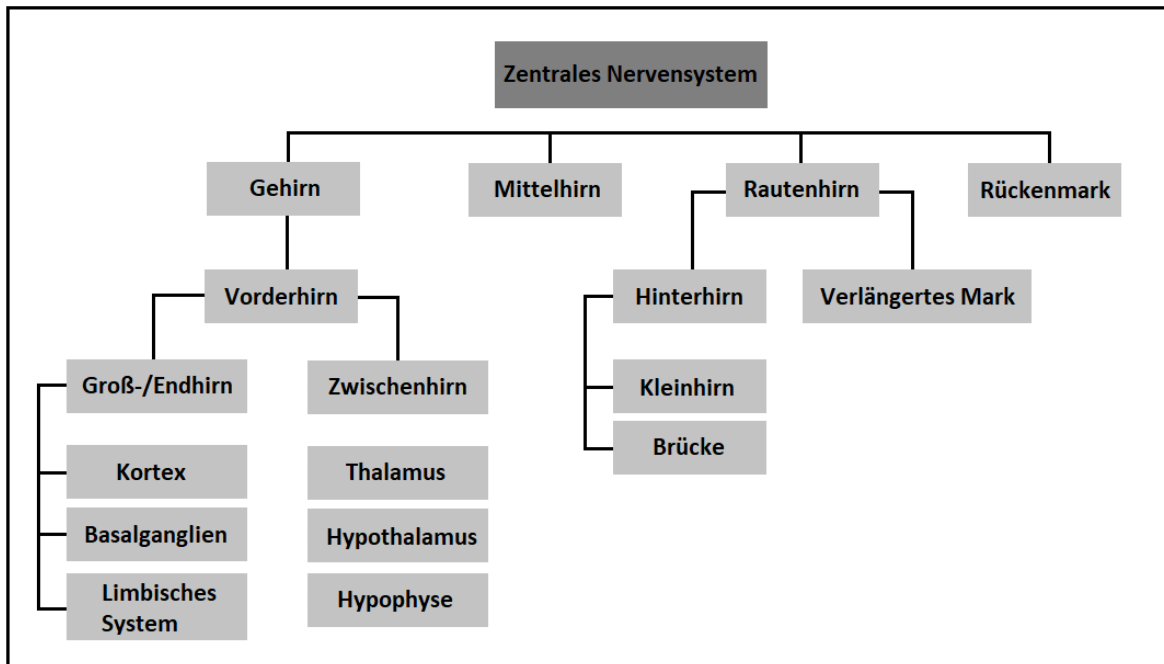


Abbildung 2: Gehirnunterteilung (mod. n. Böttger, 2016, S. 41)

Carter et al. et al. (2010) sieht eine senkrechte Strukturierung von bewussten, mental anspruchsvolleren Vorgängen im Cortex über das limbische System, das Mittelhirn und den Hirnstamm, welcher sich mit selbstständig und unbewusst ablaufenden Regelprozessen beschäftigt. Dazu gehören unter anderem die Tätigkeit des Herzens sowie die Atmungsregulierung.

Das dem Vorderhirn zugehörigen Groß- oder Endhirn besteht aus den zwei Hemisphären, die unterschiedliche kognitive Funktionen haben und ermöglichen (Carter et al. et al., 2010; Böttger, 2016). Sind dem linken Bestandteil des Cerebrums Fähigkeiten wie Kommunikation oder komplexe Denkvorgänge zuzuordnen, so dient die andere Hälfte eher zur Verarbeitung aufgenommener Reize verschiedener Sinnesorgane, den kreativen Fertigkeiten eines Menschen sowie der „räumlich-visuellen“ Wahrnehmung. Um diese beiden Hemisphären miteinander in Verbindung zu bringen, bedarf es des sogenannten Balkens (Corpus callosum). Durch diese obligatorische Verbindungsleitung können Reize und Informationen in Bruchteilen einer Sekunde ausgetauscht und komplexe Prozesse koordiniert werden (vgl. Böttger, 2016). Interessant ist auch die Tatsache, dass es zu einer Kreuzung der Nervenfasern in diesem Bereich des Gehirns kommt, wodurch die Skelettmuskulatur der rechten Körperhälfte durch die linke Hemisphäre kontrolliert wird und umgekehrt (vgl. Carter et al. et al., 2010).

Über den beiden beschriebenen Gehirnhälften befindet sich eine Art „Mantel“, der durch die Großhirnrinde (Cortex cerebri) gebildet wird. Es handelt sich dabei um den Außenhorizont des Cerebrums (vgl. Carter et al. et al., 2010; Jäncke, 2013; Böttger, 2016). Diese

Schicht ist durch verschiedene Strukturen und Formen – die sogenannten Windungen (Gyri), die Furchen (Sulci) sowie die tiefgehenden Fissurae (vgl. Carter et al. et al., 2010) – geprägt. Böttger (2016) weist darauf hin, dass die effektive Fläche der Rinde durch die aufgelisteten strukturellen Erscheinungen um etwa einen halben Quadratmeter ergänzt wird. Eine weitere Klassifikationsmöglichkeit in diesem Areal des Gehirns bieten die vier Lappen, die deutlich in der vorliegenden Abbildung in lateraler Ansicht erkennbar sind:

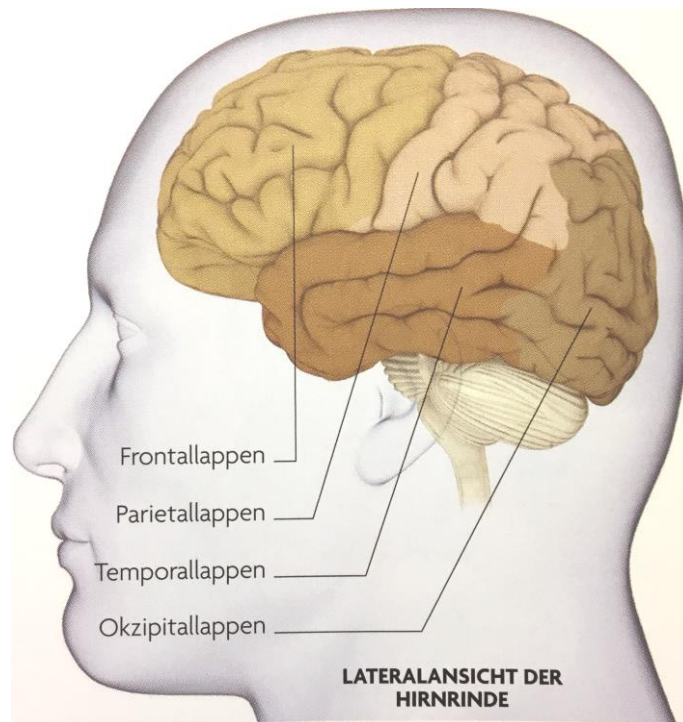


Abbildung 3: Die Lappenpärchen des Cortex cerebri (Carter et al. et al., 2010, S. 66)

Anhand der Bezeichnung der einzelnen Lappen ist auch die anatomische Lage im Gehirn erkennbar. Die Frontallappen (Stirnlappen) sind beispielsweise knapp unterhalb des Stirnbeins lokalisiert, wohingegen die beiden Hinterhauptlappen (Okzipitallappen) beim dazugehörigen Hinterhauptbein anzutreffen sind. Inmitten dieser sind sowohl die Scheitellappen (Parietallappen), als auch die Schläfenlappen (Temporallappen) auffindbar (vgl. Carter et al. et al., 2010; Jäncke, 2013; Böttger, 2016).

Die vier Lappenpärchen lassen sich noch exakter unterteilen – ein System dazu wurde von Korbinian Brodmann, einem deutschen Neurologen, erarbeitet. Es dient dazu, eine genormte Zuweisung der einzelnen funktionalen Bereiche zu schaffen (vgl. Carter et al. et al., 2010). So werden verschiedene Funktionen grob zusammengefasst und den Lappen zugeordnet.

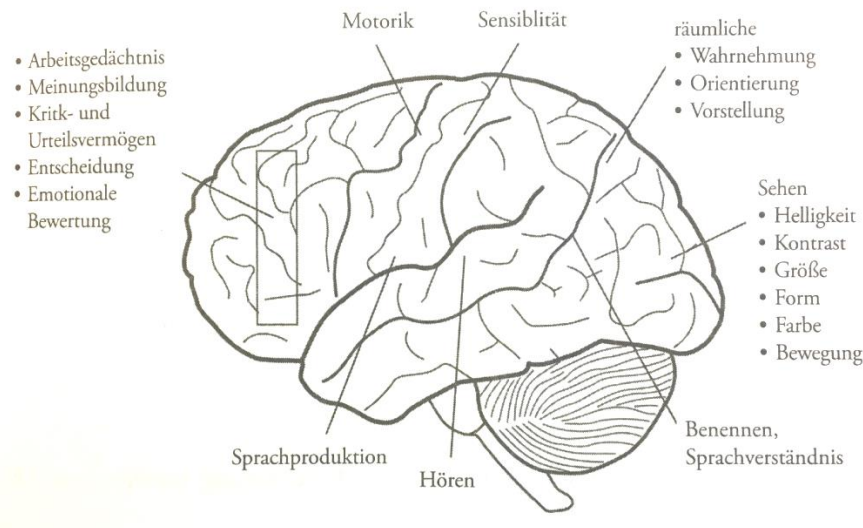


Abbildung 4: Die funktionalen Gehirnbereiche (Böttger, 2016, S. 39)

Das Hören findet primär auf den Temporallappen statt, wohingegen das Sehen dem okzipitalen sowie temporalen Cortex zugeordnet wird (vgl. Carter et al. et al., 2010). Für kognitive Funktionen ist der vorderste Abschnitt des Stirnlappens, der in der Literatur als „präfrontaler Cortex/Kortex“ (Böttger, 2016; Carter et al. et al., 2010; Jäncke, 2013) betitelt wird, ein äußerst wichtiges Areal. Böttger (2016) vergleicht ihn mit einer Art Manager des Enzephalons, dem die höchste Steuer- sowie Regulierungskompetenz obliegt. Er ist laut Böttger (2016, S. 46) „[...] für kognitive Operationen, für Exekutivfunktionen wie das Planen, Entscheiden, Ausführen und Bewerten von Handlungen, Konzentration, Motivation und das Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis“ verantwortlich und damit im Kontext Bewegung und Sport von entscheidender Relevanz. Zudem betont der Autor, dass dieses Gehirnareal auch beim Erlernen und Festigen von Sprachen wichtig sei, da es den Fokus und die Hingabe auf ein Lernobjekt beeinflusst.

Zum Encephalon zählen auch die Kerne des Gehirns (Nuclei), die als Zentren oder Anhäufungsstellen von Neuronen beziehungsweise deren Körpern gesehen werden können. Von dieser Stelle aus bilden diese Zellen über ihre Fortsätze Informationsbahnen mit anderen Arealen des Gehirns (vgl. Carter et al. et al., 2010; Jäncke, 2013). Zu diesen Kernen zählen etwa die Basalganglien, die paarweise bei der Unterseite der Hemisphären lokalisiert sind. Zu ihren Funktionen gehört unter anderem die Unterstützung bei der Bewegungskontrolle und bei Lernprozessen (vgl. Carter et al. et al., 2010). Ein wesentlicher Bestandteil der Basalganglien ist der Nucleus caudatus, der in einen Kopf sowie einen Schwanz untergliedert wird und ein ähnliches Funktionsfeld wie die Basalganglien selbst aufweist. Seine Besonderheit ist jedoch die interne Auseinandersetzung mit Rückmeldung hinsichtlich der körperlichen Aktivität (vgl. Carter et al. et al., 2010). Ebenfalls beteiligt bei

motorischen Handlungen ist das Putamen, welches regulierende Funktionen bei Bewegungsausführungen aufweist, das Globus pallidus sowie die Substantia nigra.

Alle Bestandteile der Basalganglien kooperieren miteinander und bilden eine Art System, welches die motorischen Aktivitäten abstimmt, überwacht und für eine reibungslose Ausführung der angestrebten Bewegung sorgt (vgl. Carter et al. et al., 2010). Kommt es zu Komplikationen oder Ausfällen von einem oder mehreren der genannten Komponenten, so sind unwillkürliche Bewegungen häufig die Folge. Dazugehörige Krankheitsbilder wären etwa Chorea Huntington, unkontrolliertes Zittern oder Parkinson.

Eine weitere, essenzielle Komponente des Enzephalons stellt das Zwischenhirn dar, das sich laut Böttger (2016) und Carter et al. (vgl. 2010) aus den drei wesentlichen Bestandteilen Thalamus, Hypothalamus sowie Hypophyse zusammensetzt. Laut Jäncke (2013) handelt es sich beim Thalamus um ein Art Kontrollzentrum, das sich überwiegend auf efferent eintreffende Reize aus den Sinnesorganen spezialisiert, diese nach bestimmten Aspekten selektiert sowie bearbeitet und schlussendlich zu dem entsprechenden Hirnareal weiterleitet. „Der Thalamus heißt Thalamus, weil alles durch den Thalamus muss“ (Jäncke, 2013, S. 51) – eine einfache Merkhilfe, die in einem Satz das wesentliche Aufgabenfeld des beschriebenen Gehirnbestandteiles zusammenfasst. Wichtig ist dabei zu erwähnen, dass hier keine erfassten Reize und Informationen hinsichtlich des Geruchs verarbeitet werden (vgl. Carter et al., 2010; Jäncke, 2013).

Unterhalb direkt an den Thalamus schließt der Hypothalamus an, der deutlich kleiner als der Thalamus ausfällt (vgl. Carter et al., 2010; Jäncke, 2013). Zu seinen Funktionen zählt unter anderem die Kontrolle über nicht bewusst steuerbare Bedürfnisse wie das Hunger- oder Durstgefühl, die Stärke des Sexualtriebes oder die Steuerung der körpereigenen Temperatur. Jäncke (2013) weist darauf hin, dass Krebsgeschwüre in diesem Körperareal zu massiven Komplikationen beim Nahrungs-, Wachstums- sowie Sexualverhaltens führen können.

Die Hypophyse, auch als Hirnanhangdrüse im deutschsprachigen Raum geläufig, ist unterhalb des Hypothalamus und ermöglicht diesem den Zugriff auf unterschiedliche Regelkreisläufe des Körpers (vgl. Carter et al., 2010). Durch die Generierung von bestimmten Botenstoffen werden andere Teile des Körpers dazu stimuliert, um ebenfalls Hormone zu produzieren oder deren Produktion zu hemmen.

Einen deutlich größeren organischen Komplex im Kopf stellt der Hirnstamm dar, der sich aus mehreren beteiligten Strukturen zusammensetzt (vgl. Carter et al., 2010; Jäncke, 2013). Zu den markantesten Strukturen zählen der auf der Oberseite vorzufindende Thalamus, die Brücke, das Kleinhirn sowie das verlängerte Rückenmark. Carter et al. (2010)

gibt aber zu bedenken, dass manche Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen den Thalamus nicht explizit zum Hirnstamm dazuzählen. Die obere Hälfte des Hirnstamms wird als Mittelhirn bezeichnet, direkt unterhalb ist das Rautenhirn vorfindbar (vgl. Carter et al., 2010; Jäncke, 2013). An der Vorderseite des Rautenhirns ist die Brücke (Pons) lokalisiert, unterhalb setzt sich das nach und nach im Durchmesser abnehmende verlängerte Rückenmark in Richtung Körper fort. Durch die Vielzahl von Komponenten, die sich im und beim Hirnstamm finden lassen, öffnet sich eine Menge von Funktionsfeldern und Aufgaben, auf die aber nur grob eingegangen wird. So ist laut Jäncke (2013), Carter et al. (2010) und Thompson (2001) die Hauptaufgabe des Hirnstamms in der Regelung durchschnittlich bis wenig anspruchsvoller mentaler Vorgänge zu sehen, die aber dennoch lebensnotwendig sind. Als Beispiel für Carter et al. (2010) etwa die Regulation der Atemtätigkeit, der Funktion des Herzens und der Festlegung des Blutdruckes im verlängerten Rückenmark. Ebenfalls in diesem Areal ansässig sind kaum bis gar nicht kontrollierbare Reflexe für Übergeben, Niesen und Schlucken. Erwähnenswert ist laut Carter et al. (2010) noch die Kopplung des Hirnstammes an eine Art körpereigene Zeit – so gibt es unter anderem Unterschiede hinsichtlich der Intensität der Ausschüttung bestimmter Hormone zwischen Morgen und Abend.

Im Hinblick auf körperliche Aktivität ist das Kleinhirn, welches sich im unteren Bereich der Rückseite des Hirnstammes befindet, erwähnenswert (vgl. Carter et al., 2010; Jäncke, 2013; Thompson, 2001). Es weist eine durchstrukturierte Oberfläche auf, die es den lappenhaften Strukturen sowie Sulci verdankt. Carter et al. (2010) vergleicht dabei die auf der Seite des Gehirnbestandteils lokalisierten Lappen mit den Hemisphären des Cerebrums. Zu den Funktionen zählt etwa die Abstimmung unterschiedlicher Teilbewegungen zu einer flüssigen, stabilen Bewegungsausführung. Manche Autoren (Jäncke, 2013, S. 53) gehen aber von weiteren Aufgaben aus: „Das Kleinhirn erfüllt wichtige Aufgaben bei der Steuerung der Motorik: Es ist zuständig für Koordination, Feinabstimmung, unbewusste Planung und das Erlernen von Bewegungsabläufen.“ Dies gelingt dem unter anderem dadurch, dass bestimmte motorische Verbindungen zu anderen Gehirnregionen vorhanden sind (vgl. Thompson, 2001).

Ist die Rede von Gefühlen und Motiven, so sehen Experten und Expertinnen das limbische System als verantwortliche Einheit (vgl. Carter et al., 2010; Jäncke, 2013; Böttger, 2016; Thompson, 2001). Dabei handelt es sich aber im eigentlichen Sinne um einen „funktionalen“ Verbund verschiedener Komponenten, zu denen der Mandelkern (Amygdala), der Hippocampus, Teile des angrenzenden limbischen Kortex und die Area septalis zählen. Carter et al. (2010) führt ergänzend den Thalamus sowie den Mamillarkörper an und hebt die enge Verflechtung mit dem Sinnesorgansystem – insbesondere dem Geruch

durch die Geruchskolben – hervor. Jäncke (2013) sieht eine Korrelation zwischen der Merkleistung und dem Merkvermögen sowie unterschiedlichen Gefühlen, wodurch er das limbische System als essenziell für das Enzephalon erachtet.

Der darin inbegriffene Hippocampus spielt gerade für Lehr- und Lernprozesse eine wichtige Rolle und kann bei Funktionsstörungen die Merkleistung massiv beeinträchtigen (vgl. Carter et al., 2010). Er stellt eine Art Zweigstelle für Erinnerungen dar, die abhängig von ihrer Bedeutsamkeit und Relevanz an verschiedene Langzeitgedächtnis-Bereiche vermittelt werden. Der einem Seepferdchen gleichende Gehirnbestandteil arbeitet eng mit dem Mandelkern zusammen, der sich um die Interpretation und Deutung von verschiedenen Gefühlen kümmert. Diese emotionalen Erfahrungen werden durch den Hippocampus nach verschiedenen Prozessschritten eingelagert – nicht umsonst ist der Vergleich mit einem „emotionalen Gedächtnis“ von Böttger (2016) mehr als treffend ausformuliert.

3.3. Die Reifung und Entwicklung des Gehirns bis zur Adoleszenz

Bereits im Bauch der Mutter fängt das Enzephalon an, sich explosionsartig zu entwickeln. Dabei durchläuft der Embryo verschiedene Phasen, die von der Entstehung einer Neuralplatte bis hin zum komplett ausgereiften Gehirn im ungefähr 20. Lebensjahr reichen (vgl. Jäncke, 2013; Carter et al., 2010; Böttger, 2016; Thompson, 2001). In diesem Kapitel wird überblicksmäßig auf die Entwicklung sowie Veränderung des Gehirns und die damit verbundenen kognitiven Fähigkeiten eingegangen.

Durchschnittlich 21 Tage nach der Befruchtung der Eizelle beginnt sich das Enzephalon in ersten Schritten zu entwickeln (vgl. Carter et al., 2010; Jäncke, 2013; Böttger, 2016). Im dorsal gelegenen Bereich des Embryos kommt es in der ersten, essenziellen Reifungsphase – der Neurolation – zur Ausprägung einer Neuralplatte, die sich fortan in ein Neuralrohr weiterformt, und das die Basis für die spätere Gehirn- und Rückenmarksentwicklung darstellt (vgl. Jäncke, 2013).

Etwa 25 bis 35 Tage später sind erste blasenartige Ansätze des Vorder-, Mittel- sowie Endhirns vorhanden, Jäncke (2013) spricht dabei vom sogenannten „Drei“- beziehungsweise einige Tage danach vom „Fünf-Bäschen-Stadium“. Zudem sind erstmals Frühformen von Augen und Ohren vorhanden (vgl. Carter et al., 2010).

Weitere Enzephalon-Bestandteile wie Hirnstamm, Groß- sowie Kleinhirn sind laut Carter et al. (2010) ab der siebten Schwangerschaftswoche teilweise aus der „ungeformten“ Masse am oberen Ende des Neuralrohrs differenziert. Zudem entwickeln sich Nervenzellen. Böttger (2016) nach sind die Ungeborenen dazu imstande, auf externe Reize – etwa auf Bewegungen am Bauch – eine entsprechende Reaktion zu zeigen.

Zwischen dem 70. und 77. Tag nimmt vor allem die Größe des Großhirns rapide zu, was sich auch an der Nerven-Entwicklungszahl in Höhe einer viertel Million pro Minute zeigt (vgl. Böttger, 2016) – ein wichtiger Bestandteil der Neurogenese, die nach ungefähr 24 Wochen ein Ende findet, wie Jäncke (2013) beschreibt. In diesem Abschnitt werden auch die Sinnesorgane für Sehen und Hören weiter ausgebildet, das Rautenhirn differenziert sich eindeutig in Cerebellum und Hirnstamm, welche bereits in der siebten Woche erkennbar waren (vgl. Carter et al., 2010).

Nachdem bis zur 15. Woche das Cerebellum sowie der Balken hinsichtlich ihrer Ausbildung und Entwicklung ein Ende finden, kommt es zur Umpositionierung unterschiedlicher Nervenzellen und Enzephalon-Bestandteile (vgl. Böttger, 2016). „Haben die Neuronen ihre endgültige Position erreicht, sind schon zu diesem frühen Zeitpunkt alle wichtigen Gehirnstrukturen ausgebildet.“ (Böttger, 2016, S. 61f.).

Weitere nennenswerte Auffälligkeiten bei der Gehirnentwicklung sind laut Carter et al. (2010) nach 25 Wochen feststellbar. Bis zu diesem Zeitpunkt erfuhren die bis dahin ausgebildeten Großhirnhälften eine markante Teilung. Außerdem sind erste Unregelmäßigkeiten auf der Gehirnoberfläche in Form von Furchen sowie Windungen vorhanden. Das Baby kann nun Gebrauch von Gehör-, Geruchs- sowie Geschmackssinn machen und somit erste Erfahrungen von seiner Umwelt sammeln (vgl. Böttger, 2016).

Erblickt das Ungeborene das Licht der Welt, so ähnelt die Anzahl der Nervenzellen im Gehirn – etwa 100 Milliarden – der eines vollständig ausgewachsenen Menschen (vgl. Böttger, 2016). Allerdings schreibt Carter et al. (2010), dass diese noch nicht fertig ausgeprägt und hinsichtlich ihrer Funktionen differenziert sind. Speziell in den darauffolgenden drei Jahren erfolgt eine massive Vernetzung der Nerven sowie ein programmierter Zelltod, um die Produktivität sowie Effektivität der übrigen Netzwerke zu optimieren.

Aus bewegungswissenschaftlicher Perspektive hat der Grad der Myelinisierung der Neuronenfasern und dessen Entwicklung eine erhebliche Rolle auf das Ausüben koordinierter und gezielter körperlicher Aktivitäten (vgl. Jäncke, 2013). Diese sorgt unter anderem dafür, dass Reize mit deutlich höherer Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Nervenzellen ausgetauscht werden. Da der Grad der Myelinisierung bei Neugeborenen noch vergleichsweise gering ist, haben diese bei der Ausführung bewusster koordinierter motorischer Aktivitäten Schwierigkeiten. Die Umhüllung der Nervenfasern setzt nach knapp unter zwei Wochen nach Zeugung ein und findet erst im fortgeschrittenen Alter ein Ende (Jäncke, 2013). Carter et al. (2010) nennt das 30. Lebensjahr als Richtwert für den Prozessstopp.

Erste kognitive Fähigkeiten wie Wahrnehmung oder Merkfähigkeit sind ab zwei Jahren verfügbar (vgl. Böttger, 2016). Die Zahl der Synapsen steigt massiv an, Jäncke (2013) bezeichnet den Prozess der Synapsen-Entstehung und –ausbildung als Synaptogenese, der bis zum Tod mehr oder weniger aufrecht bleibt. Diesem ist ein anderer Mechanismus, der als Pruning betitelt wird (vgl. Jäncke, 2013), entgegengerichtet. Durch das Pruning werden nicht benötigte neuronale Verbindungsstellen abgebaut. Die Gründe für diese Maßnahme des Organismus sind nicht gänzlich aufgedeckt, jedoch sieht Jäncke (2013) den „Gebrauch“ sowie „Nicht-Gebrauch“ von Schnittstellen im Gehirn als Selektionsfaktor.

Ab dem dritten Lebensjahr ist das „Fundament des Gehirns“ gelegt. Allerdings stehen einige Areale des Enzephalons betreffend ihre Funktionen dem Kind noch nicht zur Verfügung (vgl. Carter et al., 2010). Dazu zählen beispielsweise Segmente des präfrontalen Kortex: „So kann es [das Kind] unter drei Jahren noch keine moralischen Urteile fällen, weil der dafür zuständige präfrontale Kortex noch teils ‚offline‘ ist.“ (Carter et al., 2010, S. 209). Der Mensch ist mittlerweile auch imstande, sich erste Situationen zu merken und diese in Form von Erinnerungen wiederzugeben (vgl. Böttger, 2016). Die Reife und Funktionstüchtigkeit bestimmter Hirnareale steht Jäncke (2013) zufolge mit dem Volumen der grauen sowie weißen Substanz in Verbindung. Mit voranschreitendem Lebensalter scheint die graue Substanz der weißen Substanz zu weichen.

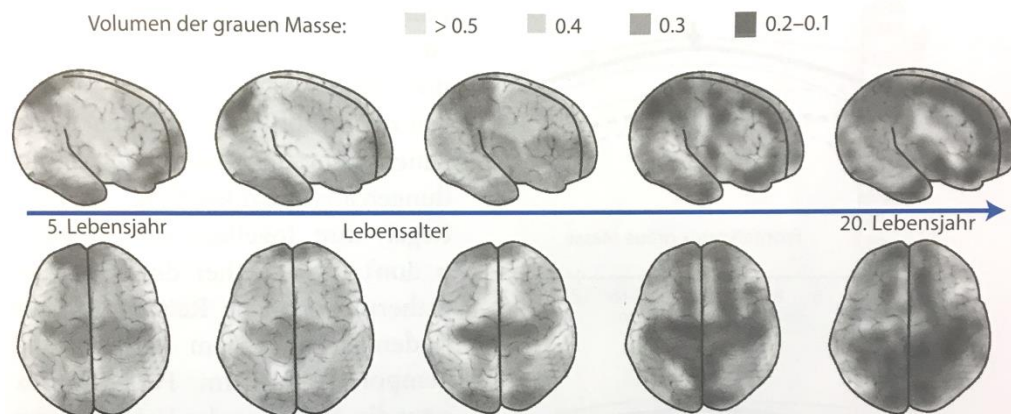


Abbildung 5: Verlauf der Gehirnreifung der grauen Substanz zwischen fünf und 20 Jahren (Jäncke, 2013, S. 95)

Dabei betont Jäncke (2013), dass nicht jedes Areal des Enzephalons die gleiche Entwicklungs- sowie Reifungsgeschwindigkeit aufweist. So zählen etwa der Motorkortex und der primäre visuelle Kortex zu den „Schnelleren“, wohingegen der präfrontale Kortex deutlich mehr Zeit bedarf. Diese Erkenntnisse stimmen mit der Ansicht von Carter et al. (2010) überein, die der mangelnden Entwicklungsreife des präfrontalen Kortex typische pubertäre Verhaltensformen wie „unüberlegtes Handeln“ oder „Impulsivität“ zuschreibt.

Bis zum Beginn der Adoleszenz, den Forscher wie Ziegler et al. (2011) mit 19 Jahren sehen, kommt es zu finalen Entwicklungsvorgängen des Enzephalons, wobei die Plastizität des Gehirns kontinuierlich abnimmt (vgl. Böttger, 2016). Jäncke (2013, S. 597) fasst diesen Begriff wie folgt auf: „Unter der funktionellen Plastizität wird die Veränderung der funktionellen Neuroanatomie als Resultat von Erfahrungen verstanden. Dies können stärkere oder auch schwächere neurophysiologische Aktivierungen in den betroffenen Hirngebieten sein.“ Auch Carter et al. (2010) sieht als zentrales Merkmal der Plastizität die Möglichkeit des Enzephalons, seine strukturellen Eigenschaften und individuellen Tätigkeiten adaptieren zu können. Böttger (2016) ergänzt die Adaptionfähigkeit des Gehirns um die Relevanz von externen, noch unbekannten Einflüssen, welche die Veränderungen bewirken.

3.4. Vom Lernen zum Gedächtnis – die Funktionsweise

Damit Lernen und die damit verbundene Zeit überhaupt Sinn machen, bedarf es einer Reihe von Funktionen, die Inhalte nach unterschiedlichen Kriterien selektieren, sichern, wiederaufrufen, adaptieren sowie bei Bedarf löschen. All diese Prozesse sind notwendige Bestandteile des Gedächtnisses (vgl. Carter et al., 2010; Jäncke, 2013). Dabei unterscheidet Thompson (2001) zwischen Lernen, das zur Generierung von Erkenntnissen und unterschiedlichen Fertigkeiten – beispielsweise aus dem sportlichen Bereich – dient, und dem Gedächtnis, dessen primäre Aufgabe in der Anwendung dieser gewonnenen Inhalte liegt. Carter et al. (2010, S. 156) beschreibt dieses Phänomen aus neurowissenschaftlicher Perspektive: „Beim Lernen werden Neuronen, die zusammen ein bestimmtes Erlebnis produzieren, so modifiziert, dass diese die Tendenz zeigen, erneuert gemeinsam zu feuern. Durch das gemeinsame Abfeuern wird das Originalerlebnis rekonstruiert, man ‚erinnert‘ sich.“ Die Autorin zeigt auch auf, dass vermehrtes Beschäftigen mit einem bereits gelernten Inhalt zu einem stabileren und verlässlicheren Aktivieren der Nervenzellen führt. Auch Böttger (2016) liefert eine physiologische Erklärung für die Funktionsweise von Lernprozessen. Erlebte Inhalte werden im Gehirn in Form von chemischen sowie elektrischen Signalen wiedergegeben. Mithilfe von Proteinen werden neue Zweig- sowie Schnittstellen – die Synapsen – zwischen den Nervenzellen geschaffen. Zudem werden an den Dendriten neue Verzweigungen (Sprossen und Dornen) aufgebaut. Durch die zusätzlichen „Wege“ können mehr Neurotransmitter zu den Synapsen gelangen, wodurch die Informationsverarbeitung deutlich reibungsloser und rapider

Sobald der Lernprozess abgeschlossen ist, erfolgt die Weiterverarbeitung im Gehirn, bei dem neue Informationen je nach Relevanz und individueller Wichtigkeit in verschiedenen Arealen des Gehirns gesichert werden. Diese unterschiedlichen Arten der Speicherung

bezeichnet Jäncke (2013) als „Gedächtnissysteme“, wobei auch andere Autoren darauf hinweisen, dass es verschiedene Sicherungsvarianten und Bereiche im Gehirn gibt (vgl. Carter et al., 2010; Hermann, 2009; Böttger, 2016; Thompson, 2001).

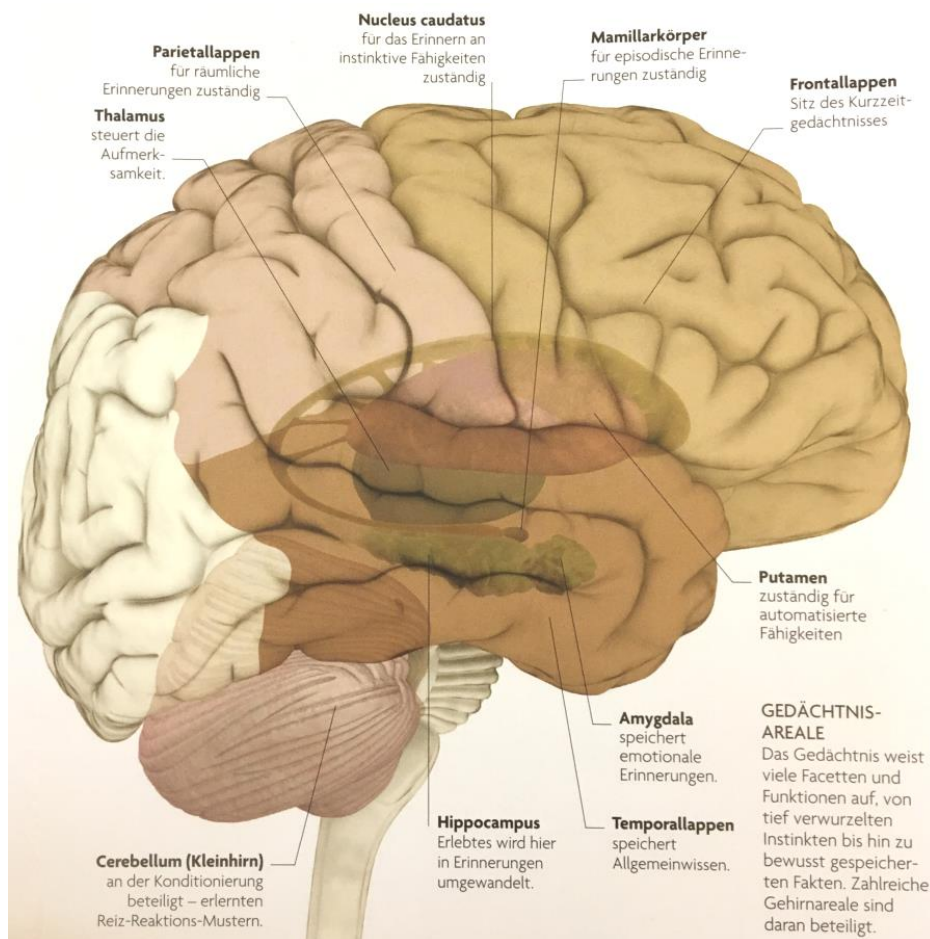


Abbildung 6: Am Gedächtnis beteiligte Gehirnbereiche (Carter et al., 2010, S. 156)

Durch die grafische Darstellung wird veranschaulicht, dass nicht nur ein Areal im Enzephalon gibt, welches explizit für das Gedächtnis zuständig ist: „Das Gedächtnis ist ein hochkomplexes neuronales Netzwerk, kein einzelner Ort im Gehirn“ (Böttger, 2016, S. 157). Vielmehr sind verschiedene Bereiche für unterschiedliche Funktionen zuständig. Wird beispielsweise im Mandelkern (Amygdala) Erlebtes, das besonders durch Gefühle geprägt ist, gesichert, so sind die Temporallappen primär für oberflächlichere, für den täglichen Gebrauch bestimmte Erinnerungen zuständig (vgl. Carter et al., 2010).

Zwischen allen beteiligten Strukturen gibt es zahlreiche Verbindungen, wobei Jäncke (2013) anmerkt, dass eine Art Hierarchie zwischen den funktionalen Gedächtniseinheiten vorhanden ist. Das Erinnerungsnetzwerk im Gehirn lässt sich – je nach Autor oder Autorin – in unterschiedliche Subeinheiten unterteilen. Dabei wird zwischen der Dauer und der Größe des Reizes oder der aufzunehmenden Information unterschieden. Folgende Auflis-

tung bezieht sich auf die Klassifikation nach Carter et al. (2010), Böttger (2016) sowie Jäncke (2013):

- **Ultrakurzzeitgedächtnis (sensorischer Speicher):**
Dieser Bestandteil des Erinnerungssystems ist dadurch gekennzeichnet, Reize der Umwelt für unter eine Sekunde zu sichern. Dazu zählen etwa emotionale Eindrücke oder „Empfindungen“ (vgl. Carter et al., 2010), die zu kurzen Erinnerungen kombiniert werden. Der Grad der Aufmerksamkeit, der kognitiven Fokussierung und der emotionalen Bedeutsamkeit entscheidet darüber, ob die wahrgenommene Information in die nächsthöhere Stufe weitervermittelt wird. Böttger (2016) betont, dass dieser Teil des Erinnerungssystems nur über Umwege – beispielsweise durch körperliche Betätigung zur Steigerung der Aufmerksamkeit – gezielt schult werden kann.
- **Kurzzeitgedächtnis (Arbeitsgedächtnis):**
Carter et al. (2010, S. 161) vergleicht diesen Abschnitt des Gedächtnisses mit „[...] Text auf einer Tafel, der immer wieder abgewischt wird“. Durch Replikation der Inhalte kommt es erst zur Speicherung. Gelangt eine Information in diesen Bereich, so gilt sie zumindest als sinnvoll, da sie nicht ausgesiekt wurde (vgl. Böttger, 2016). Aus zeitlicher Perspektive betrachtet, ist das Kurzzeitgedächtnis stark limitiert, da wenige Eindrücke nur maximal einige Minuten gesichert werden. Jäncke (2013) trennt aber das Kurzzeit- vom Arbeitsgedächtnis, wohingegen andere Autoren (vgl. Carter et al., 2010; Böttger) keine Trennung vornehmen. Ersterer Autor sieht den Unterschied darin, dass es im Arbeitsgedächtnis nicht nur zur Inhaltssicherung, sondern auch zur Behandlung der Informationen kommt (vgl. Jäncke, 2013).
- **Intermediäres Gedächtnis:**
Ausschließlich Böttger (2016) benennt diese Systemkomponente explizit, bei der es sich um eine Art Überbrückung vom kurzzeitig hin zum langfristig Gesicherten handelt. Soll eine Information auch über Jahre hinweg gespeichert werden, so wird die Erinnerung im Hippocampus vorbereitet und modifiziert, um anschließend ins Langzeitgedächtnis überführt zu werden. Inhalte verweilen hier ungefähr drei Minuten bis hin zu einer halben Stunde.
- **Langzeitgedächtnis:**
Das Besondere an dieser, aus hierarchischer Sichtweise betrachtet höchsten, Struktur ist die Beteiligung unterschiedlicher Hirnareale zur dauerhaften Sicherung von Inhalten (vgl. Carter et al., 2010; Böttger, 2016). Erlebtes wird nach bestimmten „Richtlinien“ zerteilt und in verschiedene Gehirnbereiche gelagert. So ist die emotionale Komponente einer Erinnerung beispielsweise im Mandelkern untergebracht, wohingegen die visuellen Teile im visuellen Kortex zu finden sind. Durch gleichzeitiges Aktivie-

ren der an der Erinnerung beteiligten Nerven wird diese wieder bewusst aufgerufen und rekonstruiert (vgl. Carter et al., 2010). Die inhaltliche Kapazität scheint dabei unbegrenzt zu sein, zeitlich schwankt dieser Bestandteil des Gedächtnisapparates je nach Areal von ungefähr zwei Jahren bis hin zum Lebensende (vgl. Böttger, 2016).

Neben den vier angeführten Komponenten des Gedächtnissystems sind auch andere Ansätze zur Untergliederung vorhanden. Eine sehr geläufige ist die Unterteilung in „deklarative“ (bewusste) sowie „nondeklarative“ (unbewusste) Erinnerungen aus dem längerfristigen Erinnerungssystem (vgl. Böttger, 2016; Jäncke, 2013; Carter et al., 2010).

Tabelle 2: Bewusste & unbewusste Teile des Langzeitgedächtnisses (nach Jäncke, 2013, S. 478)

Deklarativ	Inhalte
Episodisches Gedächtnis	Rahmen einer Erinnerung (Menschen, Uhrzeit, Umgebung, ...)
Semantisches Gedächtnis	Definitionen, Formeln, Tatsachen
Nondeklarativ	Inhalte
Fertigkeiten	Handlungsrepertoire (z.B. Handstand, Rolle vorwärts ...)
Priming	Vorahnung, unterschwellige Vorbereitung auf Anforderung
Perzeptuelles Gedächtnis	Ähnlichkeiten wahrnehmen (z.B. Muster, Personen, Situationen)
Konditionieren	Assoziationen zw. Reizen & Reaktionen aufbauen

Die tabellarische Darstellung zeigt die jeweilige Klassifizierung der bewussten sowie unbewussten Bereiche des Langzeitgedächtnisses. Im deklarativen Teil bedarf es der bewussten Ausrichtung der Konzentration und der kognitiven Ressourcen auf die Information hin (vgl. Böttger, 2016). Dabei bedarf es vor allem der Mitwirkung zweier Bestandteile des Enzephalons: des Hippocampus und von Teilen des medialen Temporallappens. Das deklarative Langzeitgedächtnis untergliedert sich zum einen in einen episodischen Anteil (vgl. Jäncke, 2013; Böttger, 2016). Es zeichnet sich dadurch aus, dass verschiedene Aspekte zu einer konkreten Gegebenheit gespeichert sind und dadurch vergleichsweise viele Details vorhanden sind. Dazu zählen unter anderem die beteiligten Menschen, die ungefähre Uhrzeit, das vorherrschende Landschaftsbild oder andere kontextbezogene Sachverhalte, die eine bestimmte Erinnerung auszeichnen.

Der andere Teil, das sogenannte semantische Gedächtnis, unterscheidet sich vom vorherigen System gravierend. Böttger (2016, S. 162) schreibt, dass in diesem Bestandteil des Enzephalons „[...] abstraktes, kontextloses Wissen wie Namen, Zahlen, Formeln oder isolierte Begriffe“ gesichert werden. Auf Bewegung und Sport bezogen, könnten das etwa Regeln, Distanzen oder Ergebnisse sein. Die Bezeichnung „kontextloses Wissen“ deckt sich mit der Beschreibung von Jäncke (2013), der das System als gefühlsarm und kühl beschreibt.

Im nondeklarativen Bereich des Langzeiterinnerungssystems, dem sogenannten prozeduralen Gedächtnis, sind Fähigkeiten, Assoziationen, konditionierte Verhaltensweisen und Vorahnung eingelagert, die autonom und selbstständig abgerufen und ausgeführt werden (vgl. Böttger, 2016; Jäncke, 2013; Carter et al., 2010). Dabei ist keine bewusste Fokussierung und Ausrichtung der Aufmerksamkeit durch die Person selbst notwendig.

An einer konkreten Situation aus dem Sport lassen sich die einzelnen Subarten des nondeklarativen Langzeitgedächtnisses anschaulich erklären – es wird dabei auf die Gliederung von Tabelle 1 und die von Jäncke (2013) verwendete Klassifizierung des impliziten Langzeitgedächtnisses eingegangen: Schüler Max beherrscht nach mehrmaligem Üben einen Aufschwung am Reck in normaler Höhe. Um diese Fertigkeit auszuüben, muss er dank der vielen Übungseinheiten nicht mehr nachdenken, die Bewegung läuft automatisch ab (Fertigkeiten). Des Weiteren hat er sich angewöhnt, seine Gliedmaßen nach erfolgreicher Durchführung des Aufschwungs anzuspannen (Konditionierung). Sein Trainer möchte, dass er heute einen Aufschwung am Hochreck durchführt. Kurz davor hat Max während seines Trainings wahrgenommen, dass seine Kollegen den Aufschwung am Hochreck ausgeführt haben. Jedoch hat er nicht bewusst darauf geachtet. Durch das implizite „Wahrnehmen“ dieser Übungsprozesse hat Max nun eine unbewusste Vorahnung, was ihm bei seinem Versuch zugutekommt (Priming). Da sich das Hochreck nur geringfügig vom „normalen“ Reck unterscheidet, hat Max ein vertrautes Gefühl, ihm kommt die Situation bekannt vor (perzeptuelles Gedächtnis).

3.5. Vom Gehirn in die Muskeln – Grundlegendes zur Bewegung

Das Enzephalon steht permanent mit dem restlichen Organismus in Kontakt, gleicht unterschiedliche Parameter wie Körpertemperatur oder Blutdruck ab, setzt Botenstoffe frei oder initiiert Bewegungen. Diese motorischen Aktivitäten laufen oft autonom und selbstständig ab, ohne dass das Individuum sich darüber im Klaren ist. Dazu zählt etwa die Regulation der Lungen-Ventilation oder der Herzschlag (vgl. Carter et al., 2010). Dabei durchläuft eine Bewegungsvorstellung eine teils hochkomplexe Kette, bis sie in einer tatsächlichen Bewegungsausführung resultiert (vgl. Jäncke, 2013). Generell versteht der Autor unter einer Bewegung „[...] das Ergebnis komplexer neuronaler Prozesse, die durch innere und äußere Einflüsse bestimmt werden“ (Jäncke, 2013, S. 427). Einwirkende Aspekte wären etwa der Grad der Motivation, die Gefühlssituation oder andere mentale Prozesse. Auch in ganz aktuellen Publikationen (vgl. Konczak, 2017) wird betont, dass bereits das Ausführen von als simpel eingestuften Bewegungshandlungen sowie die koordinierte und intentional verlaufende Ansteuerung Unmengen an neuronalen Einheiten bedarf. Dazu zählt beispielsweise der ruhige, aufrechte Stand.

3.5.1. Ablauf geplanter sowie unbewusster Bewegungen

Wie bereits erwähnt, lassen sich manche Bewegungen bewusst ausführen, wohingegen manche implizit und zum Teil auch unkontrollierbar stattfinden (vgl. Carter et al., 2010). Jäncke (2013) unterteilt diese beiden Gruppen in sogenannte „Reflexe“ und „Willenshandlungen“. Letztere stehen für intentionale motorische Handlungen, die in den meisten Fällen auch vom Akteur oder der Akteurin wahrgenommen werden. Jedoch weist der Autor darauf hin, dass die Willenshandlungen auch implizit stattfinden können (vgl. Jäncke, 2013).

Unter einem Reflex versteht Carter et al. (2010, S. 116) „[...] motorische Abläufe, die im Rückenmark programmiert sind“. Des Weiteren betont sie, dass das Enzephalon darauf keinen Einfluss ausübt und keine aktive Kontrolle besteht. Diese Reflexe dienen vorwiegend zur Abwendung von unter Umständen verletzenden bis hin zu lebensbedrohlichen Reizen, mit denen das Individuum konfrontiert ist (vgl. Jäncke, 2013; Carter et al., 2010). Über bestimmte Fasern (sensorische Nervenenden), die in der Muskulatur sowie in Sehnenbereichen integriert sind, werden durch einen Reiz verursachte Signale über synaptische Schnittstellen bis hin zum Rückenmark weitergeleitet. In unmittelbarer Umgebung im Rückenmarksbereich befinden sich motorische Neuronen (Zellkörper), die durch das eintreffende Signal dahingehend stimuliert werden, eine elektrische Spannung in Richtung der ursprünglichen Muskulatur oder des Sehnenbereichs zu übermitteln. Trifft dieses Signal des motorischen Neurons am Zielort ein, veranlasst das – abhängig von der Situation und den Gegebenheiten – eine bestimmte körperliche Aktivität. Carter et al. (2010) und Costandi (2015) führen als Exempel den Patellasehnenreflex an, bei dem es durch eine Reizsetzung im Bereich der Patellasehne zu einer Reaktion des Unterschenkels kommen sollte.

Im Gegensatz dazu finden Willenshandlungen unter Einwirkung des Enzephalons statt und werden fast ausschließlich intentional veranlasst. Dabei steht vor der eigentlichen motorischen Aktivität immer ein Grund oder eine motivational bedingte Absicht (vgl. Jäncke, 2013). Das Individuum sucht nach einer sinnvollen Begründung für die geplante Bewegung. Diese Suche geht Hand in Hand mit der Festlegung bestimmter Aufgabenstellungen, die sich in mehrere kleinere Herausforderungen untergliedern lassen. Diese müssen jedoch realistisch sein und eine ausreichend hohe Bedeutung für die Person haben, damit eine ideale Auseinandersetzung und Fokussierung auf die Teilaufgabenstellung erfolgt.

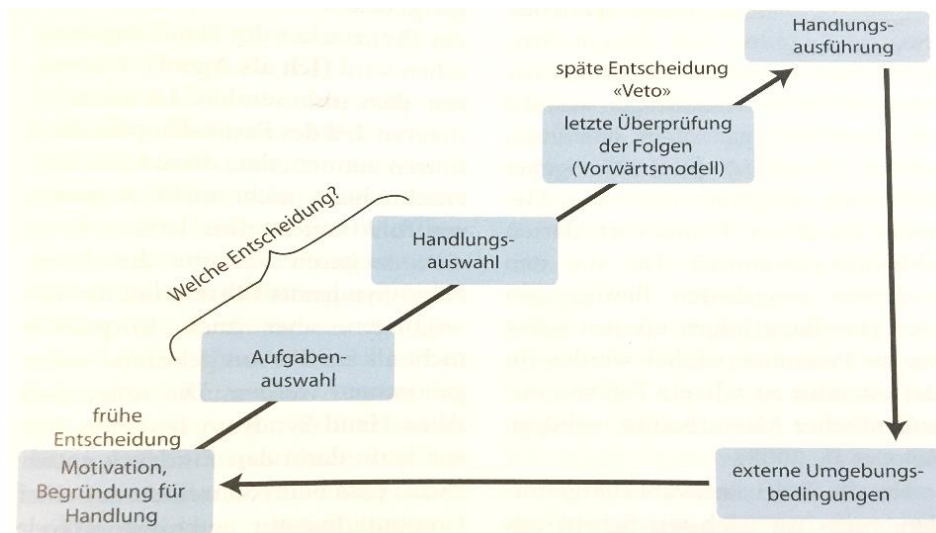


Abbildung 7: Ablauf einer bewussten motorischen Aktivität (Jäncke, 2013, S. 453)

Nachdem die Herausforderungsetappen intern festgelegt wurden, beginnt die Selektion der idealen motorischen Handlung zum Erreichen der Zielsetzungen (vgl. Jäncke, 2013). Dabei bedient sich der Mensch aus einem Fundus bereits bekannter und beherrschter Bewegungserfahrungen und gleicht diese hinsichtlich ihrer approximierten Erfolgswahrscheinlichkeit ab. Ist die ideale Handlungsform ausgewählt, so findet eine letzte Einschätzung betreffend der erwarteten Konsequenzen und Auswirkungen der Aktivität statt. Jäncke (2013) merkt an, dass das Individuum hier die Chance auf einen letzten Eingriff vor der motorischen Handlung hat – die sogenannte „Veto-Möglichkeit“. Wenn keine Änderung vollzogen wird, findet die geplante Bewegung statt und wird durch Reize und Anforderungen der Umwelt beeinflusst. Zusammen mit diesen gewonnenen Erkenntnissen und Bewegungserfahrungen wird die Ausgangssituation für künftige körperliche Aktivitäten entsprechend adaptiert.

Durch entsprechende Übung und Wiederholung von Fertigkeiten und Kenntnissen können intentional erfolgreiche Bewegungen auf eine nondeklarative Ebene transferiert werden, auf der sie fortan selbstständig ohne aktives Fokussieren des Individuums auf die Handlung ablaufen (vgl. Carter et al., 2010). Ein Fußballer, der seit mehreren Jahren aktiv ist, hält den Kopf eher oben, um sich auf dem Feld zu orientieren, als ein Anfänger, da bei Letzterem die Ballführung noch intentionaler als beim Experten geschieht.

3.5.2. Vom elektrischen Signal zur Bewegung – die motorische Transformation

Um von einer geplanten motorischen Handlung hin zu ihrer tatsächlichen Realisierung zu gelangen, müssen die jeweiligen initiierenden Impulse mehrere Ebenen durchlaufen (vgl.

Jäncke, 2013). Von einer Ebene zur anderen Bedarf es aber bestimmter Umwandlungen, die in der Literatur als „motorische Transformation“ bezeichnet werden.

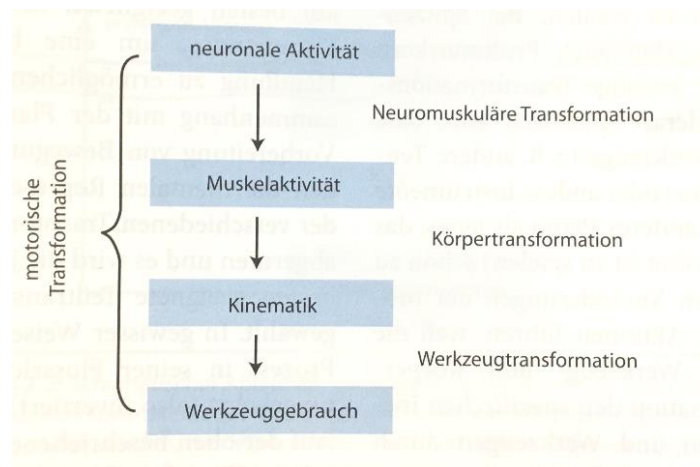


Abbildung 8: Die verschiedenen Transformationsebenen (Jäncke, 2013, S. 425)

Sobald das ursprüngliche Signal, das beispielsweise aus dem bewegungsassoziierten Kortex stammt, von der Ebene des Neuronennetzwerkes in muskuläre Tätigkeit wechselt, ist die Rede von der „neuromuskulären Transformation“ (Jäncke, 2013). Es kommt zur Kontraktion der Muskulatur, wodurch ein elektrisches Potenzial in mechanische Energie umgewandelt wurde. Der nächste Schritt erfolgt in der Anwendung der Kraft in einer gezielten motorischen Aktivität wie etwa dem Schwingen des Armes. Den dazwischenliegenden Übergang bezeichnet Jäncke (2013) als „Körpertransformation“. Wird durch das in Bewegung versetzte Körperteil ein anderer Gegenstand verwendet – am Beispiel des Armes wäre das etwa ein Tennisschläger –, dann wird die kinematische Energie für den Gebrauch des Gegenstandes aufgewendet, und die Rede ist von der „Werkzeugtransformation“.

Das Besondere an diesen Veränderungen, die von Ebene zu Ebene in anderen Kräften und Potenzialen resultieren, sind ihre individuelle Erlern- sowie Wandelbarkeit. Ein Volksschüler lernt gerade, Tischtennis zu spielen. Um das Spielgerät optimal bedienen zu können, muss die Übertragung zwischen den beschriebenen Ebenen und die damit verbundene Umwandlung durch intensives Training geübt werden. Im kommenden Jahr erfährt der zu Unterrichtende einen Wachstumsschub, wodurch die verfügbare Muskulatur und die damit verbundene Kraft steigen. An diese Steigerung müssen sich vor allem die Körper- sowie die Werkzeugwandlung adaptieren, damit das Kind erfolgreich Tischtennis praktizieren kann. Gerade Experten und Expertinnen einer bestimmten sportlichen Aktivität weisen eine hohe Sensibilisierung im Bereich der Werkzeugtransformation auf und reagieren dementsprechend sensibel, wenn das Spielgerät verändert wird (vgl. Jäncke, 2013).

Zu diesem schrittweisen Ebenen-Prozedere ist noch ein anderer, in die gegengesetzte Richtung verlaufender Prozess gekoppelt, der von Jäncke (2013) als „inverse Transformation“ betitelt wird. Dadurch ist es dem Individuum möglich, sich die diversen, bereits bekannten Wandlungen zwischen den Ebenen vor das geistige Auge zu führen und das für die Situation entsprechend Bestgeeignete zu selektieren.

3.5.3. Bewegungen steuern und regeln – ein feiner Unterschied

Dass Bewegung nicht gleich Bewegung ist, zeigte bereits die Differenzierung zwischen bewusster und nondeklarativer motorischer Aktivität. Durch das umfangreiche Angebot an Sinnesorganen steht der Mensch permanent im Austausch mit der Umwelt und deren Einflüssen. Je nachdem, wann und wie diese Informationen für die Planung sowie Ausführung einer körperlichen Handlung genutzt werden, spricht Jäncke (2013) von „Regelung“ und „Steuerung“.

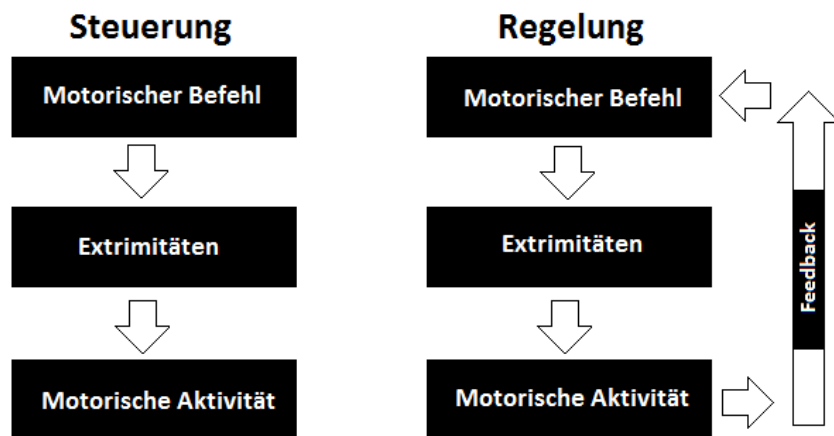


Abbildung 9: Bewegungskontrolle & -steuerung (nach Jäncke, 2013, S. 429)

Anhand von Abbildung 10 ist die Disparität zwischen den beiden Mechanismen ersichtlich. Für die Ausübung vergleichsweise schnellerer Bewegungshandlungen wählt der Organismus die Steuerung beziehungsweise den „open-loop“-Ablauf, da hier kein Feedback in Form von Sinnes- oder Reizwahrnehmungen während des Bewegungsablaufes mit einfließt (vgl. Jäncke, 2013). Ein Exempel dafür stellt das zügige Klavierspielen dar, bei dem die Feedbackschleife nicht benötigt wird. Durch das Fehlen einer solchen Rückmeldeeinheit ist das Individuum zwar imstande, die motorische Aktivität zügiger auszuführen, jedoch können Fehler, die im Zuge des Handlungsentwurfes oder durch unvorhersehbare umweltbedingte Faktoren entstehen, kaum bis gar nicht ausgeglichen werden. Lediglich auf einige bereits bekannte und unter Umständen eintretende Variationen kann sich der Organismus durch Antizipation im Vorhinein entsprechend adjustieren.

Jäncke (2013) vergleicht diesen Mechanismus auch mit einem ablaufenden „motorischen Programm“. In dieser als Gedächtnisspur abgespeicherten Einheit befinden sich alle für

eine bestimmte körperliche Handlung notwendigen motorischen Befehle, die schon vor der Bewegungsinitiierung vorhanden sind. Eingriffe, die durch etwaige Sinneswahrnehmungen oder sonstige umweltbedingte Reize in den Raum gestellt werden, sind durch den vergleichsweise automatischen Ablauf, der mit der Ausführung eines Computer-Skripts verglichen werden kann, erst nach einem Bruchteil einer Sekunde möglich. Diese erfolgen dann – erneuert am Beispiel des Computers – als kurzfristiges „Update“ des bestehenden und bereits ausgeführten Skripts. Die Theorie des motorischen Programms wurde von Experten und Expertinnen aufgrund der Tatsache, dass nicht für jede der scheinbar unendlichen motorischen Aktivitäten und ihre Variationen eine individuelle Software im Enzephalon gesichert werden kann, angepasst und erweitert. Diese Adaption wird als „generalisiertes motorisches Programm“ bezeichnet, bei dem es sich um „[...] ein abstraktes Muster der auszuführenden Bewegung [...]“ – also ein „Grundgerüst“ – handelt (Jäncke, 2013, S.431). Dieses Bewegungsfundament wird durch unterschiedliche Kennwerte wie etwa die Länge oder Intensität der körperlichen Handlung entsprechend angepasst, um die gewünschte Aktivität ausführen zu können. Dadurch ist deutlich weniger Speicherkapazität des Gehirns notwendig, was Forscher und Forscherinnen bis dato als entscheidenden Kritikpunkt beim bisherigen „motorischen Bewegungsprogramm“ sahen.

Wesentlich mehr Spielraum zur Bewegungskorrektur während der körperlichen Aktivität lässt der „closed-loop“ oder Regelungs-Mechanismus zu (Jäncke, 2013). Während der Ausführung der motorischen Handlung nimmt das Individuum unterschiedliche Reize und Sinneseindrücke wahr, welche durch die Feedbackschleife in die weitere Bewegungsausführung einfließen können. Dadurch sind Adaptionen möglich, und auftretende Fehler lassen sich ausbessern, indem die motorische Tätigkeit entsprechend adaptiert wird. Wie bereits erwähnt, ist diese Rückmeldefunktion aber mit einem deutlich höheren Zeitaufwand verbunden, wodurch dieser Mechanismus beispielsweise beim Ausrichten der Augen auf ein in weiter Entfernung vorbeifliegendes Spielgerät zum Einsatz kommt (vgl. Jäncke, 2013). Ein weiteres Problem ist die durch die zeitliche Verschiebung vorhandene Differenz zwischen der vorherrschenden Umweltsituation und dem Kontrollsetting in den entsprechenden motorischen Arealen, sodass motorische Handlungen nie optimal adaptiert werden können.

3.5.4. Motorische Areale – die Zentren des Bewegungsentwurfes

Damit eine motorische Aktivität überhaupt ausgeführt werden kann, bedarf es einer grundlegenden „Idee“ beziehungsweise des „Ablaufs“ davon. Diese findet ihre Entstehung in unterschiedlichen Bereichen des Enzephalons, die von diversen Autoren (vgl. Carter et al., 2010; Jäncke, 2013; Thompson, 2001; Böttger, 2016) als „motorische Areale“ definiert

werden. Aber auch andere Strukturen stehen in Zusammenhang mit körperlichen Handlungen, wie etwa das Kleinhirn oder die Basalganglien.

Zu den motorischen Arealen zählen – wie Jäncke (2013) & Carter et al. (2010) auflisten – unterschiedliche Bereiche, die in den kommenden Absätzen näher erläutert werden. Wie bereits im Namen angedeutet, ist einer der essenziellsten Bestandteile der primäre motorische Kortex, der in der Literatur auch als „M1“ zu finden ist. Wie beim vorherigen Kapitel bei den generalisierten motorischen Programmen beschrieben wurde, braucht es bestimmte motorische Parameter, um das Grobskelett der Bewegung – das Programm – individuell an die Anforderungen zu adaptieren. Diese Kennzahlen liefert der primäre motorische Kortex, indem er die dazugehörigen Werte wie Intensität, Richtung oder die Ausführungsdauer vorgibt und die Bewegung über die betroffene Muskulatur exekutiert (vgl. Jäncke, 2013). Dabei wird nicht jeder Muskel gleich fein und detailliert durch die Motorneuronen angesteuert – der Gesichts- sowie Handbereich ist aus motorischer Hinsicht deutlich präziser zu kontrollieren als etwa der Rücken oder die Füße.

Ebenfalls relevant für körperliche Betätigungen sind die prämotorischen Areale, die – abhängig von ihrer Lokalisation im Enzephalon – in lateral, medial, ventral sowie dorsal untergliedert werden und verschiedene Aufgaben erfüllen (Jäncke, 2013; Carter et al., 2010). Da die genauere Zuordnung aber zum Teil noch nicht zur Gänze geklärt ist und deren Komplexität den Rahmen dieser Diplomarbeit übersteigt, erfolgt nur eine zusammenfassende Funktionsübersicht. Neben der Entwicklung und Adaption von Handlungsprogrammen spielen die beschriebenen Zonen im Gehirn auch eine Rolle bei der mentalen Bewegungskonstruktion sowie Nachahmung erlebter motorischer Handlungen (vgl. Jäncke, 2013). Beteiligt an der Vorbereitung sowie intrinsisch voranschreitenden Einleitung der körperlichen Handlung ist auch das supplementärmotorische Areal. Zudem wirkt dieser Gehirn-Bereich als „Zwischenlagerstätte“ hintereinander ablaufender motorischer Aktivitäten und ist maßgeblich beim Erwerben, Adaptieren sowie Austausch von Bewegungsprogrammen beteiligt (vgl. Jäncke, 2013). Unklarer scheinen dahingegen die Aufgabenbereiche des cingulären motorischen Areals, es wird jedoch vermutet, dass diese organische Einheit eine Brücke zwischen dem motivationalen Zustand und der Programmselektion bildet. Jäncke (2013) betont in seinem Lehrbuch auch die Wichtigkeit des Parietalkortex, dessen Lappen unter anderem für die Fokussierung auf ein relevantes Objekt oder einen Inhalt sowie für die Einarbeitung von wahrgenommenen Sinnesinformationen zuständig sind. In diesem Enzephalon-Bereich werden alle relevanten Reize und Signale in motorisch verwertbare Impulse verarbeitet.

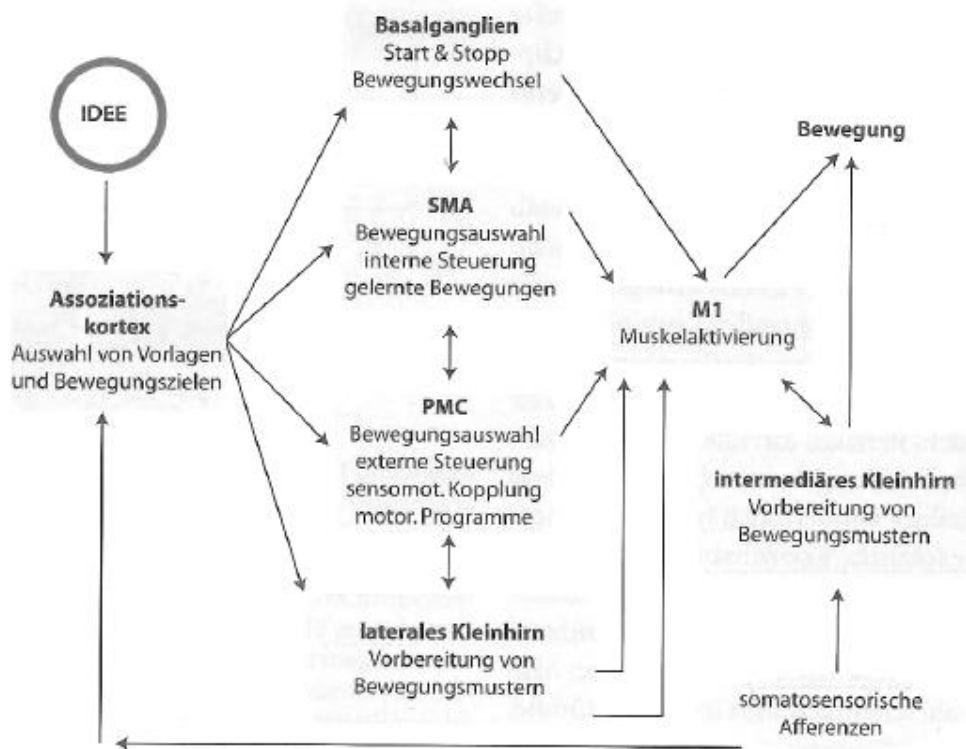


Abbildung 10: Funktionale Zusammenhänge und Ablauf von Bewegungen (Jäncke, 2013, S. 436)

Auch der Assoziationskortex hat einen Einfluss auf die motorische Aktivität und steht unter hierarchischer Betrachtung an oberster Stelle, wie aus der Abbildung 11 zu entnehmen ist (vgl. Jäncke, 2013). Er gleicht das bestehende Kontingent und Repertoire an Bewegungs-Grundstrukturen mit den jeweiligen Zielsetzungen des Individuums ab und berücksichtigt zudem Informationen und Reize aus der Umwelt, die über die Sinnesorgane wahrgenommen wurden. Des Weiteren ist er durch seine intensive Vernetzung mit anderen Hirnarealen charakterisiert.

Um motorische Aktivitäten, die aus unterschiedlichen Teilbewegungen bestehen, reibungslos und perfekt abgestimmt durchführen zu können, muss das Kleinhirn aktiv werden, das direkt mit dem motorischen Kortex über eigene Bahnen vernetzt ist (vgl. Carter et al., 2010). Seine Informationen bezieht das Cerebellum durch verschiedene Sinnesapparate über afferente (zum Gehirn fließende Reize) Wege, die es entsprechend abgleicht und zur Approximation von künftig eintreffenden Informationen der Sinnesorgane nutzt. Letztere Funktion ist laut Jäncke (2013) von essenzieller Bedeutung, um körperliche Aktivitäten durch die Regelung verschiedener motorischer Parameter besser adaptieren zu können. Das Kleinhirn lässt sich mit einem zentralen Koordinator vergleichen, wodurch die motorischen Handlungen „runder“ und feiner abgestimmter wirken.

Bei der letzten relevanten Struktur im Enzephalon, die an der Bewegungsplanung beteiligt ist, handelt es sich um die Basalganglien, eine Sortier- und Ordnungsstation, die mit dem

Thalamus, dem supplementärmotorischen sowie mit dem prämotorischen Areal vernetzt ist und regen Austausch betreibt (vgl. Carter et al., 2010). Jäncke (2013) schreibt den Basalganglien die Aufgabe der Adaption sowie Anpassung in Form von Bewegungslimitierungen zu. Dieser funktionale Bereich des Gehirns hemmt gewisse motorische Tätigkeiten, die es als nicht relevant für die motorische Aktivität erachtet.

3.5.5. Motorische Komplikationen anhand ausgewählter Beispiele

Kommt es krankheits- oder verletzungsbedingt zum Ausfall oder zur Beschädigung einer der in den vorherigen Kapiteln ausführlich beschriebenen Gehirn-Bestandteile, so sind Komplikationen bei der Ausübung motorischer Aktivitäten mitunter möglich. Im Prinzip wird zwischen zwei verschiedenen Arten in der Literatur unterschieden: die Überaktivität (Hyperkinese) sowie Minderaktivität (Hypokinese) (vgl. Carter et al., 2010).

Liegt eine Hyperkinese bei einem Patienten oder einer Patientin vor, so können unkontrollierbare motorische Aktionen und Handlung die Folge sein. Typische Krankheitsbilder, die ein solches Verhalten aufweisen, wären etwa Chorea Huntington, verschiedene Stoffwechselerkrankungen oder Parkinson (vgl. Carter et al., 2010). Dabei lässt die Art der unkontrollierten Bewegungen Rückschlüsse auf die Art der Erkrankung zu.

Das Gegenteil ist bei einer diagnostizierten Hypokinese der Fall, bei der der Betroffene oder die Betroffene mit flüssigen, dynamischen Bewegungshandlungen Schwierigkeiten hat, was ebenfalls bei Parkinson auftreten kann (vgl. Carter et al., 2010). Die Bewegungsfreiheit nimmt in verschiedensten Körperregionen kontinuierlich ab und kann unter Umständen in einem totalen Kontrollverlust (Akinese) enden.

Nachfolgende tabellarische Übersicht zeigt – angelehnt an Carter et al. (2010) – einen Überblick über die möglichen Auswirkungen bei Schädigung oder Beeinträchtigung bestimmter Gehirnkompontenten:

Tabelle 3: Mögliche Konsequenzen motorischer Störungen (Carter et al., 2010, S. 119)

Gehirnbestandteil	Mögliche Folgen
Primärer Motorkortex	Je nach betroffener Hemisphäre kommt es zu Beeinträchtigung oder Ausfällen auf der gegenüberliegenden Körperhälfte
Supplementär-motorischer Kortex	Der Bewegungsentwurf ist beeinträchtigt, wodurch partielle Ausfälle von geplanten Aktivitäten (auch Sprechen) entstehen.
Mittelhirn	Komplikationen bei der Bewegungsinitiierung sind möglich sowie typische Hyperkinese-Erscheinungen wie Tics
Rückenmark	Abhängig von der Höhe der Schädigung, können zum Teil massive, irreparable motorische Ausfälle entstehen
Kleinhirn	Koordination von Teilbewegungen gelingt nicht mehr, zudem zeigen sich unkontrollierbare motorische Aktivitäten wie Tremor
Parietaler Kortex	Kopplung von Sinneswahrnehmung und Bewegungsplanung beeinträchtigt, worunter die Approximationsfähigkeit (z.B. Distanz zum Ziel einschätzen) leidet
Basalganglien	Ausgeglichene Balance zwischen erregenden sowie hemmenden Prozessen der Muskulatur beeinträchtigt

Eine Schädigung bestimmter Hirnareale durch beispielsweise einen zerebralen Insult oder externe Gewalteinwirkung auf den Schädel muss aber nicht zwingend irreversibel und permanent sein (vgl. Carter et al., 2010). Ein guter Weg, geschädigte Verbindungen in einem bestimmten Rahmen zu erneuern, stellt die Physiotherapie dar. Bereits ein Quartal nach Beginn der Behandlung konnten erste signifikante Besserungen festgestellt werden (vgl. Carter et al., 2010).

Allerdings ist nicht immer nur physische Bewegung hilfreich bei rehabilitativen Prozessen, wie eine aktuelle Untersuchung von Dettmers et al. (2016) zeigte. Bereits die rein geistige Vorstellung einer motorischen Handlung, von ihrer Initiierung über die Ausführung bis hin zum Bewegungsende kann positive Auswirkungen auf die Genesung nach einem Gehirnschlag haben. Jedoch merken die Autoren an, dass nicht alle Studien zu dem gleichen Ergebnis kommen und dass noch einiges an Forschungsbedarf besteht, um die genauen Mechanismen und Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen physischen sowie mentalen motorischen Aktivitäten und der Wiederherstellung von geschädigten Strukturen im Gehirn zur Gänze zu klären.

3.5.6. Erlernen von Bewegungen – ein mehrphasiger Prozess

Wie in Kapitel 1.5.4. ausführlich erläutert wurde, bedient sich unser Gehirn bei der Planung von Bewegungen bestimmter Grobstrukturen und Muster – der sogenannten motorischen Programme. Um diese individuell an die geforderte körperliche Aktivität zu adaptieren, greifen die verschiedenen Areale auf unterschiedliche motorische Kennwerte zurück. Auch die Transformationen, die auf verschiedenen Ebenen vollzogen werden, sind Produkte von bereits gesammelter Aktivitätserfahrung und regelmäßiger Ausführung.

Damit die genannten Aspekte, die bei der Erstellung sowie Exekution von motorischen Handlungen von Relevanz sind, überhaupt vorhanden sind, bedarf es eines Lernprozesses, der nach Jäncke (2013) mehrere Abschnitte durchläuft. Dabei sind nicht immer dieselben Gehirnbereiche beteiligt, sondern je nach Fortschritt und Komplexitätsgrad andere Areale.

Am Anfang jeder motorischen Aktivität braucht es Instruktionen oder Modelle, um zumindest eine grobe Vorstellung der Bewegung beim lernenden Individuum zu generieren. Diese ist – auf logischer Ebene – auch nachvollziehbar, dennoch gibt es meist Komplikationen bei der optimalen und technisch korrekten Ausführung. Jäncke (2013) spricht dabei von der sogenannten kognitiven Phase, bei der die oberste Prämisse das kontinuierliche Training und damit die Verbesserung der gewünschten Bewegungshandlung sein sollte. Nur dadurch kann es dem Sportler oder der Sportlerin gelingen, diese erste Phase des Lernprozesses mit Erfolg zu überwinden. Besonders aktive Enzephalon-Regionen sind in dieser Phase unter anderem der primäre motorische Kortex sowie Teile des präfrontalen und prämotorischen Kortex (vgl. Jäncke, 2013).

Im zweiten Schritt des Aneignens einer Bewegungsfertigkeit hat das Individuum durch das stetige Probieren und Wiederholen erheblich mehr Erfolge zu verzeichnen. Zwar werden die Vorstellungen und Deskriptionen in dieser „assoziativen Phase“ (Jäncke, 2013) der motorischen Handlung noch mental vor Augen geführt, jedoch in einem deutlich geringeren Ausmaß als auf der kognitiven Stufe. Auch hinsichtlich der Aktivität der motorisch zugehörigen Areale ähnelt diese Phase dem Anfang des Lernprozesses.

Die höchste Ebene des Bewegungslernens, die je nach Begabung und Trainingsintensität unterschiedlich schnell erreicht wird, zeichnet sich dadurch aus, dass die gewünschte körperliche Aktivität selbsttätig von den an der Motorik beteiligten Strukturen initiiert und exekutiert wird, ohne dass das Individuum bewusst an die Instruktionen denkt. Zudem verlieren viele fortgeschrittene Athleten und Athletinnen die Fähigkeit, die durchgeführte Bewegung zu schildern und in eigenen Worten verständlich zu vermitteln (vgl. Jäncke, 2013). Ist eine motorische Fertigkeit auf diese „automatische Stufe“ gelangt, so wird sie

zumeist „gesteuert“ (siehe Kapitel 1.5.4.), wodurch Reize und Informationen aus der Umwelt nicht während der Bewegung selbst berücksichtigt werden, sondern vermehrt auf „interne Kontrollmechanismen“ (Jäncke, 2013) zurückgegriffen wird. Dadurch kann die gewünschte motorische Aktivität deutlich schneller und autonom vollzogen werden, mögliche Abweichungen von der Planung werden durch interne Prozesse adaptiert. Für diese „feinen“ Abstimmungen sind vor allem das Cerebellum sowie die Basalganglien verantwortlich, wobei auch das supplementärmotorische Areal in dieser Phase verstärkt genutzt wird (vgl. Jäncke, 2013).

Zwei wichtige Prozesse, die beim Lernen und Ausführen von motorischen Handlungen zum Tragen kommen, sind die Vorstellung sowie das Wahrnehmen von körperlichen Aktivitäten. Gerade letzterer Faktor sorgt beispielsweise dafür, dass die Muskulatur, welche an der realen Bewegungsexekution beteiligt wäre, durch neuronale Impulse in gewisser Weise aktiviert und angesteuert wird (vgl. Dettmers et al., 2016). Daran sind Carter et al. (2010) zufolge spezifische Nervenzellen, die sogenannten Spiegelneuronen, nicht unwesentlich beteiligt. Diese lassen sich nicht nur in Bereichen des Gehirns, welche für motorische Aktivität zuständig sind, lokalisieren, sondern sind beispielsweise auch bei gefühlverarbeitenden Arealen vorhanden. Im Kontext von Sport sind diese Spiegelneuronen unter anderem im prämotorischen, primären oder parietalen Kortex beim visuellen Wahrnehmen von fremden, externen Bewegungsquellen aktiv (vgl. Carter et al., 2010).

Wie bereits erwähnt, kann auch das bewusste Vorstellen von motorischen Aktivitäten beim Erwerb sowie bei der Festigung von sportlichen Fertigkeiten und gekoppelten koordinativ anspruchsvolleren Bewegungen förderlich sein, so die Ansicht einiger Autoren (vgl. Zamora, 2016; Jäncke, 2013; Dettmers et al., 2017). Untersuchungen haben gezeigt, dass beim mentalen „Sich-vor-Auge-Führen“ einer bestimmten körperlichen Handlung nahezu die identischen an der Bewegungsplanung sowie -ausführung beteiligten Strukturen im Enzephalon eine intensivere Durchblutung erfahren, was auf deren Aktivität hinweist (vgl. Jäncke, 2013).

3.6. Das Nervensystem

Eine der komplexesten Strukturen in unserem Organismus stellt das sogenannte Nervensystem dar, welches einem funktionellen Netzwerk gleicht und seine Rolle in der Übermittlung von Reizen und Sinneswahrnehmungen zwischen unterschiedlichsten Körperregionen und dem Enzephalon hat (vgl. Carter et al., 2010; Dierlmeier, 2015; Costandi, 2015). Des Weiteren verzeihen die beteiligten Strukturen zum Teil starke physische Beanspruchung durch den hohen Kollagenanteil, sind aber dennoch hinsichtlich der Beweglichkeit sehr tolerant und flexibel.

Dieses Netzwerk lässt sich – je nach Art der Betrachtung – in verschiedene Subsysteme untergliedern. Häufig wird in der Literatur (vgl. Carter et al., 2010; Dierlmeier, 2015; Costandi, 2015) das zentrale (ZNS) vom peripheren Nervensystem (PNS) unterschieden. Erstere Struktur setzt sich im Wesentlichen aus zwei organischen Einheiten zusammen: dem Enzephalon sowie dem Rückenmark. Hinsichtlich der Lokalisation lässt sich das zentrale Nervensystem laut Dierlmeier (2015) durch seine Lage in der aus Knochen bestehenden Schädelhülle vom peripheren Neuronennetzwerk differenzieren. Das periphere Nervensystem setzt unmittelbar daran an und hat seine Fortsätze im gesamten Organismus. Dazugehörig sind Carter et al. (2010) zufolge ein Dutzend paarweise vorliegende Hirnnerven sowie exakt 31 Spinalnervenpaare, die ihren Ursprung im Rückenmark haben. Je nachdem, ob Reize von unterschiedlichen Körperregionen und Sinneszellen zum Gehirn oder vice versa verlaufen, ist die Rede von afferenten sowie efferenten Bahnen.

Eine andere Möglichkeit zur Differenzierung des vorliegenden neuronalen Systems im Körper bietet die Funktionalität, welche in explizit steuerbare sowie implizite, nicht kontrollierbare Komponenten unterteilt werden kann (vgl. Carter et al., 2010; Costandi, 2015; Dierlmeier, 2015). Die dazugehörigen Fachtermini lauten somatisches sowie autonomes oder vegetatives Nervensystem, beide weisen Abschnitte auf, die zentral sowie peripher lokalisiert sind. Ersteres kennzeichnet sich vorwiegend dadurch, dass es sein Tätigkeitsfeld in bewusster körperlicher Aktivität, also der Kontrolle der Skelettmuskulatur, hat, wohingegen das autonome Neuronennetzwerk lebensnotwendige Elementarprozesse sowie -tätigkeiten kontrolliert und in Takt hält. Dazu gehört etwa die Geschwindigkeit des Herzschlages oder der Druck des Blutes (vgl. Carter et al., 2010).

Das Nervensystem weist zudem verschiedene Funktionsstufen auf, die in der Regel vom Enzephalon absteigend an Größe abnehmen und sich in feinere Komponenten differenzieren (vgl. Carter et al., 2010; Dierlmaier, 2015). Im Gehirn, welches aus unterschiedlichen funktionellen Strukturen besteht, ist der Sitz des neuronalen Netzwerkes, der höchsten Kontroll- und Leitinstanz. Dort sind auch bestimmte Nervenzellgruppierungen vorzufinden, die als Kerne (nuclei) oder Kernsystem bezeichnet werden. Durch die Kooperation verschiedener Nervenzellen werden explizit vorgegebene Prozesse ausgeführt und körperbezogene Regelmechanismen vorangetrieben. Damit Sinnesinformationen und andere Reize übertragen werden können, bedarf es der Nervenzellen, die über Synapsen miteinander in Kontakt stehen, Impulse empfangen und weiterleiten (vgl. Carter et al., 2010; Jäncke, 2013).

3.6.1. Neuronen & Gliazellen – Impulsverarbeitung auf Mikroebene

Bereits in anderen Kapiteln und Unterpunkten dieser wissenschaftlichen Qualifikationsarbeit ist der Begriff der Neuronen – also Nervenzellen – mehrmals gefallen. Bei diesem Zelltypus handelt es sich – neben den im Titel des Abschnittes erwähnten Gliazellen – um die sogenannten Hirnzellen, die für die Funktionstüchtigkeit und Leistungsfähigkeit des Enzephalons auf Mikroebene zuständig sind (vgl. Carter et al., 2010; Thompson, 2001; Costandi, 2015). Diese lassen sich in Abhängigkeit von ihrem funktionalen Tätigkeitsbereich wie folgt untergliedern:

- Motorische Neuronen: leiten Impulse, die vom Gehirn über efferent Kanäle an die Muskulatur, Drüsen sowie andere Strukturen, die eine physische Aktivität verrichten, weiter.
- Sensorische Neuronen: Über diese Nervenfasern empfängt das Gehirn auf afferentem Wege Informationen von unterschiedlichen Sinnes- und Wahrnehmungszellen, die es für die weitere Verarbeitung, Planung sowie Initiierung unterschiedlicher Prozesse benötigt.
- Interneuronen: kleinere Netzwerke, die zur kommunikativen Interaktion verschiedener Nervenzellen in unterschiedlicher Distanz dienen.

Je nach Körperbau und Größe befinden sich laut Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen ungefähr von 80 bis hin zu 120 Milliarden Neuronen im menschlichen Körper (vgl. Carter et al., 2010; Böttger, 2016; Costandi, 2015), die vereinzelt eine Distanz von einigen Metern überbrücken können. Für die Informationsverarbeitung benötigen die neuronalen Strukturen im Durchschnitt ein Viertel der körpereigenen Energieressourcen.

Anatomisch betrachtet, unterteilt sich ein Neuron in einen Kern, in dem der genetische Code oder die „DNA“ des Individuums inkludiert ist. Weitere mikrofunktionale Einheiten befinden sich auf dem Zellkörper (Soma), zu denen beispielsweise die für die Energieproduktion verantwortlichen Mitochondrien zählen (vgl. Carter et al., 2010; Costandi, 2015; Thompson, 2001). Die vom Zellkörper fortlaufende Struktur wird je nach Impulsweiterleitungsrichtung als Axon oder Dendrit betitelt. Erstere kann ein Ausmaß von bis zu zwei Zentimetern erreichen und versendet Impulse von der zugehörigen Nervenzelle weg zu einem anderen Neuron, wohingegen Dendriten als Signalempfänger fungieren, nur einige Mikrometer lang sind und „Stacheln“ beziehungsweise „Dornen“ ausbilden können (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2015; Böttger, 2016). Zwischen einem Axon sowie einem Dendriten befindet sich eine Einheit, die sich auf die Übertragung der Impulse spezialisiert hat und als Synapse bezeichnet wird. Auf diese wird zu einem späteren Zeitpunkt näher eingegangen.

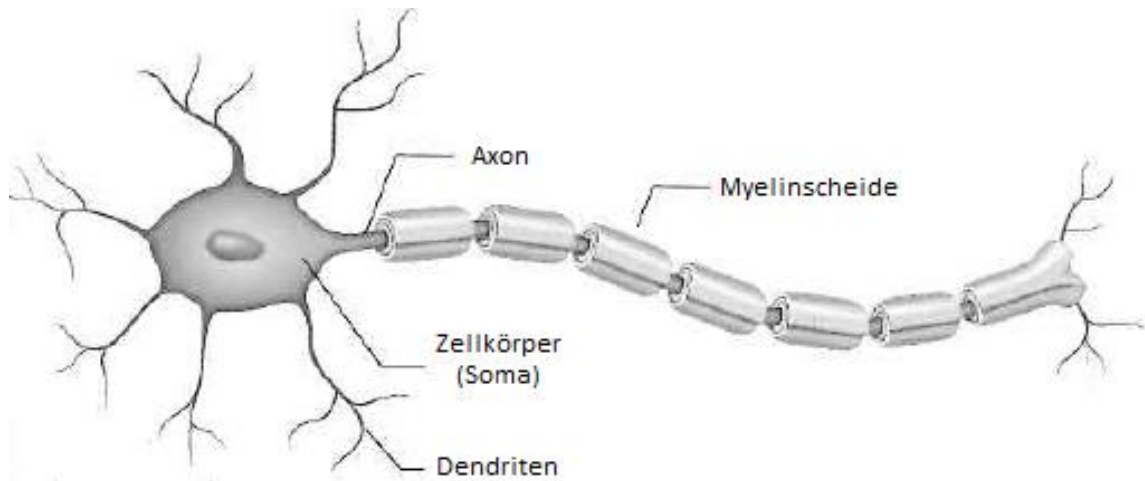


Abbildung 11: Aufbau eines Neurons (Carter et al., 2010, S. 69)

Damit die Neuronen optimal ihre Tätigkeit als Reizleiter erfüllen können, kommen ihnen die sogenannten Gliazellen zu Hilfe, die bezüglich ihrer quantitativen Ausprägung stärker im Organismus vertreten sind als die Neuronen (vgl. Thompson, 2001; Costandi, 2015). Ihren Namen verdanken die Hirnzellen ihrer Stützfunktion, da „glia“ aus der griechischen Sprache stammt und „Leim“ oder „Kleber“ bedeutet (Carter et al., 2010; Costandi, 2015). Jedoch ist ihr Funktionsspektrum deutlich breiter gefächert. Insgesamt lässt sich die Gliazelle in fünf Subeinheiten unterteilen:

- Astrozyten: gewährleisten die Energiezufuhr der Nervenzellen und regeln durch bestimmte Prozesse deren Tätigkeit. Zudem dürften sie laut Carter et al. (vgl. 2010) an Gedächtnisprozessen sowie der Impulsverarbeitung im Enzephalon maßgeblich mitwirken. Aktuellere Untersuchungen zeigen zudem, dass dieser Gliazelltypus bestimmte Neurotransmitter ausschütten kann (vgl. Costandi, 2016).
- Ependymalzellen: Ihre primäre Funktion liegt in der Erzeugung von Liquor, einer flüssigen Substanz im Enzephalon sowie Rückenmark.
- Mikrogliazellen: die „Müllabfuhr“ abgestorbener Zellreste sowie Unterstützungseinheit zur Abwehr ungewünscht eingedrungener Erreger.
- Oligodendrozyten: produzieren eine Art fettigen Mantel, der sich um diverse Axone schließt. Dadurch kommt es zu einer Isolierung, dank der Informationssignale mit erhöhtem Tempo vermittelt werden. Je nach Dicke der Isolierung, die auch als „Myelin-Scheide“ beschrieben wird, variiert die Übertragungsgeschwindigkeit (vgl. Barkovic, 2000) und kann bis zu 100 Meter pro Sekunde erreichen. Autoren wie Chiang et al. (2009) gehen zudem von einem erheblichen Einfluss des Myelinisierungsgrades auf die Höhe der Intelligenz aus, was sich beispielsweise in der Lesekompetenz widerspiegelt (vgl. Nagy et al., 2004).
- Radiale Gliazellen: an der Neurogenese während der Gehirnentwicklung beteiligt.

Erwähnenswert ist noch der Umstand, dass die Gliazellen, die an der Myelinscheidenproduktion beteiligt sind, nur im zentralen Nervensystem agieren. In peripheren Regionen wird diese Funktion von sogenannten Schwann-Zellen ausgeführt (vgl. Carter et al., 2010).

3.6.2. Neuronale Impulse als Kommunikationsmedium

Damit eine Nervenzelle überhaupt dazu imstande ist, sich mit einer anderen in Kontakt zu setzen, bedarf es eines bestimmten Signals oder Impulses, den es weiterzuleiten gilt. Dieses Signal besteht laut Carter et al. (2010, S. 72) „[...] aus einer Reihe von Einzelimpulsen oder ‚Aktionspotentialen‘“, die in Form einer elektrischen Spannung vorliegen. Der Entstehung eines solchen Kommunikationsmediums gehen aber einige Schritte voraus, die zwingend notwendig sind. Neben den in Kapitel 2.1. beschriebenen Bestandteilen weist ein Neuron noch elektrisch geladene Teilchen auf, die als Ionen bezeichnet werden. Diese finden sich in einer Intrazellulärflüssigkeit wieder. Außerhalb der Nervenzelle ist ebenfalls eine Lösung vorhanden, die als Extrazellulärflüssigkeit bezeichnet wird und auch diese elektrisch geladenen Moleküle beinhaltet. Jedoch gibt es Unterschiede hinsichtlich der Ladung, die im intrazellulären Bereich deutlich negativer als im näheren extrazellulären Umfeld ausfällt (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2015). Zwar ist es ein Verlangen der positiveren, außerhalb lokalisierten Ionen, in die Innenseite zu strömen, um das elektrische Verhältnis auszugleichen, jedoch werden diese durch die Zellmembran der Axone zurückgehalten. In der Phase ist vom „Ruhepotential“ oder von „Polarisierung“ die Rede (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2015).

Um eine Reaktion zu bewirken und die damit verbundene Depolarisation, den nächsten Schritt bei der neuronalen Impulsweiterleitung, auszulösen, bedarf es eines Nervensignals, das auf der Innenseite des Axons hergeleitet wird (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2015). Es werden bestimmte Natriumkanäle in der Membran geöffnet, wodurch die positiv geladenen Natrium-Teilchen ins Innere des Axons eindringen können und dass bislang negativ vorherrschende Milieu aufgehoben und umgedreht wird.

Nun besteht wieder ein Ladungsungleichgewicht, das durch spezielle Pumpen, welche die positiven Teilchen in den extrazellulären Bereich befördern, aufgehoben werden soll. Gleichzeitig werden die zuvor geöffneten Natriumkanälchen wieder geschlossen, Wissenschaftler und Wissenschaftler bezeichnen diesen Abschnitt als Repolarisation (vgl. Carter et al., 2010; Costandi, 2015) oder als Nachpotenzial (vgl. Thompson, 2001). Durch die Abfolge dieser drei Schritte bewegt sich der Impuls mit bis zu 100 Metern pro Sekunde entlang des Axons bis zu den Synapsen, die als Übertragungseinheit zwischen den Neuronen fungieren.

Doch nicht jeder Impuls wird unkontrolliert weitergeleitet – durch bestimmte Hürden oder „Schwellenpotentiale“ findet eine gewisse Form der Filterung statt, die sinnvolle und notwendige Informationen von unbrauchbaren, sinnbefreiten Signalen unterscheidet (vgl. Thompson, 2001). Damit es überhaupt zu einer Depolarisation und damit einer Änderung des Potenzials zwischen intrazellulärem sowie extrazellulärem Zellbereich kommt, muss diese Hürde überschritten werden:

Stellen wir uns vor, die Tore [Anm.: Ionenkanäle] besäßen einen elektrisch kontrollierten Schalter und seien mit einem Federmechanismus verschlossen. Eine bestimmte Spannungsänderung [Anm.: zwischen dem inneren und äußeren Zellbereich] ist erforderlich, um den Schalter zu betätigen. Dieser gibt dann das Tor frei, das sofort aufspringt. (Thompson, 2001, S. 71)

3.6.3. Synapsen – „Hotspot“ der Impulsübertragung

Im vorherigen Kapitel 2.2.1. wurde das Kommunikationsmedium „Aktionspotential“, über das die Neuronen miteinander in Kontakt treten und regen Austausch betreiben, thematisiert. Damit dieses Signal aber entlang eines Axons zu einer anderen Nervenzelle gelangt, muss es eine Übertragungseinheit, die Synapse, passieren (vgl. Carter et al., 2010; Thompson, 2001). Diese kann in gewisser Weise mit einer Art „Fähre“ verglichen werden, die das Nervensignal von Neuron A über einen kleinen Zwischenraum hinweg zu Neuron B transportiert.

Doch nicht jede der 100 bis 1000 Billionen Synapsen (vgl. Böttger, 2016; Thompson, 2001) gleicht der anderen – je nach Art sowie dem Ort Übertragung werden unterschiedliche Differenzierungen vorgenommen. Grundsätzlich wird in der Literatur von chemisch sowie elektrisch betriebenen Synapsen berichtet, wobei Thompson (2001) darauf hinweist, dass beim menschlichen Individuum fast alle ersterer Sorte angehören. Die elektrischen Übertragungseinheiten treten deutlich weniger häufig und nur vereinzelt auf, weswegen sich die Ausführungen auf die chemischen Synapsen konzentrieren. Diese lassen sich nach Carter et al. (2010) in vier kleine Ausprägungen untergliedern, die ihre Bezeichnung der Lokalisation der Schnittstelle verdanken. So wird zwischen axosomatischen (Axon – Soma), axospinodentritischen (Axon – Dornfortsatz der Dendriten), axodendritischen (Axon – Dendrit) sowie axoaxospinodendritischen (Axon – Axon – Dornfortsatz der Dendriten) eine Differenzierung vorgenommen, die grafisch in der Abbildung 13 dargestellt ist.

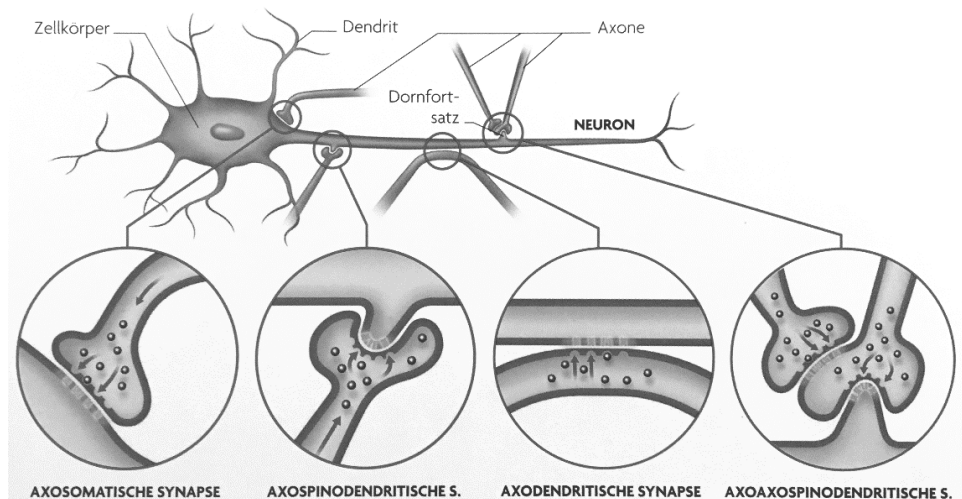


Abbildung 12: Ortsabhängige Synapsenklassifizierung (Carter et al., 2010, S. 69)

Die Besonderheit an den chemischen Synapsen ist ihr Aufbau, da die Zellen – im Gegensatz zu den elektrischen „Schnittstellen“, an denen sich die kommunizierenden Neuronen berühren – einen Spalt aufweisen, den es zu überwinden gilt. Dieser „synaptische Spalt“ hat im Durchschnitt ein Ausmaß von 20 Nanometern, was keine große Distanz darstellt (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2015). Weitere anatomische Bestandteile einer Synapse sind der präsynaptische Bereich, der beim Axon der übermittelnden Nervenzelle aufzufinden ist, sowie der postsynaptische Bereich, der beim Adressaten der Impulsübertragung lokalisiert ist – zwischen diesen beiden Arealen befindet sich der bereits erwähnte synaptische Spalt.

Durch den Abstand zwischen den beiden Neuronen kann das Aktionspotenzial nicht direkt auf die Zielzelle „überspringen“. Aus diesem Grund setzt dieses einen bestimmten Mechanismus in Gang, der ihm bei der Überbrückung und der daraus resultierenden Weiterleitung des Reizes behilflich ist (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010). Das Prinzip ähnelt der Impulsweiterleitung in den Axonen, die durch Spannungsunterschiede reguliert wird. Trifft ein neuronales Signal auf den präsynaptischen Bereich, kommt es zur Veränderung des elektrischen Milieus, wodurch erneuert diverse Kanäle geöffnet und unzählige positiv geladene Teilchen ungehindert in das Innere des Zellbereichs eindringen können. Durch diesen Vorgang wird die Freisetzung von Botenstoffen ausgelöst, die im Bruchteil einer Sekunde den Spalt überqueren können. Gelenkt werden diese Neurotransmitter dabei durch unterschiedliche Spannungen zwischen den prä- sowie postsynaptischen Abschnitten. Carter et al. (2010) bringt aber zum Ausdruck, dass die Geschwindigkeit der Spalt-Überbrückung abhängig vom Botenstoff variieren kann.

Die für die Übermittlung notwendigen Neurotransmitter werden vorwiegend am Ende des Axons hergestellt und verharren in bestimmten Bläschen, den sogenannten Vesikeln, bis

zu ihrer Inanspruchnahme durch das Eintreffen eines Aktionspotenzials (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010). Böttger (2016) vertritt die Ansicht, dass durch Lernprozesse die Neurotransmitter-Genese gesteigert wird, wodurch der Impulstransfer optimiert wird. Durch die Depolarisation im präsynaptischen Areal werden die organischen Botenstoffe aus ihren Hüllen freigesetzt und in den Spalt freigegeben.

Insgesamt gibt es im menschlichen Organismus über 100 verschiedene Neurotransmitter, wobei in Kapitel 1.4. bereits eine Auflistung der lernförderlichen Arten erfolgte. Diese werden in diverse Kategorien eingeteilt, die von den Wirkstoffen abhängig sind (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010), wobei jeder Neurotransmitter eine von drei Wirkungsmechanismen aufweist. Einerseits kann sich der Botenstoff förderlich auf den Impulstransport auswirken, wodurch er als erregend oder exzitatorisch. Andererseits kann er die Weiterleitung auch blockieren, indem er als Hemmer – also inhibitorisch – wirksam wird (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010). Manche Neurotransmitter können situationsabhängig beide Wirkungen ausüben, wie etwa Dopamin. Zu den am meisten vorkommenden Botenstoffen, die als erregungsfördernd gelten, zählen Acetylcholin, Glutamat, Aspartat, Noradrenalin sowie Histamin. Letztere organische Substanz ist vor allem an entzündlichen Prozessen im Organismus beteiligt. Acetylcholin ist dagegen primär bei motorischen Aktivitäten im Einsatz, da es eine vergleichsweise zügige Signalübermittlung ermöglicht. Neben Gamma-Aminobuttersäure, welche Carter et al. (2010) als essenziellsten Botenstoff des neuronalen Systems sieht, sind auch Glycin sowie Serotonin der Gruppe der „Blockierer“ zugehörig. Thompson (2001) betont, dass auch andere Substanzen wie Drogen oder medizinische Präparate die Funktion der Botenstoffe nachahmen können und mehr oder weniger gravierende Folgen nach sich ziehen. Aus der Sicht der motorischen Aktivität gilt beispielsweise das aus bestimmten Pflanzen gewonnene Curare, welches von verschiedenen Ureinwohnerstämmen im Süden Amerikas zur Erlegung von Tieren genutzt wurde, als fatal. Durch seine synthetische Zusammensetzung bewirkt es eine Funktionsbeeinträchtigung der an der Atmung beteiligten Muskulatur wie etwa die des Zwerchfells, wodurch der Betroffene oder die Betroffene an der mangelnden Sauerstoffversorgung verstirbt. Andere Präparate können gezielt genutzt werden, um ungewünschte Botenstoffe zu vertreiben und vor der weiteren Aufnahme zu schützen. Eine vergleichbare Situation stellt unter anderem eine lebensbedrohliche Überdosierung von Morphin im Körper dar, die durch das Medikament Naloxon binnen kürzester Zeit abgewendet werden kann (vgl. Thompson, 2001).

Nachdem der Botenstoff den synaptischen Spalt mithilfe verstreuer Prozesse, die in der Literatur als Diffusion beschrieben werden (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010), überquert hat, findet er dort bestimmte Stellen vor, an die er sich heften kann. Durch die

Bindung an diese Stellen – auch als Rezeptoren bezeichnet – kommt es erneuert zu Vorgängen auf Mikroebene, die mit Kanälchen und Strömungen in Verbindung stehen. Wie auch auf der anderen Seite ist der interzelluläre Raum des Signalempfängers im Vergleich zum unmittelbaren Außenbereich negativer geladen. Sobald sich der Neurotransmitter angeheftet hat, öffnet ein chemischer Prozess die Kanäle, wodurch die positiv geladenen Ionen wieder in großer Stückzahl ins Innere der Nervenzelle eindringen können und somit für eine Weiterleitung des Impulses sorgen. Thompson (2001) zeigt auf, dass im postsynaptischen Bereich keine elektrisch induzierte Depolarisation, wie sie im präsynaptischen Areal der Fall ist, auftritt, sondern die Veränderung der Spannung durch rein chemische Abläufe vor sich geht. Nachdem der Botenstoff einige Sekunden mit dem jeweiligen Rezeptor verbunden war, wird er abgebaut oder wieder im Ausgangsbereich resorbiert (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2015).

In Abhängigkeit von der gewünschten Funktion – ob motorischer oder kognitiver Natur – ist eine unterschiedlich groß ausgeprägte Menge an aktivierten Synapsen notwendig, wie Thompson (2001) erläutert. Auch die Häufigkeit dieser Inbetriebnahmen spielt eine Rolle. So bedarf es bei motorischen Tätigkeiten lediglich einer einzigen Synapse, um einen Bestandteil eines Muskels zur Bewegung – wenn auch nur im geringen Ausmaße – zu bringen. Dahingegen wird bei Gehirnzellen wie Neuronen kein Effekt durch die singuläre Aktivität der Übertragereinheit bewirkt – hier ist die Kooperation mehrerer Synapsen zwingend notwendig, die in einer bestimmten Frequenz in relativ kurzen Abständen ihre Übermittlungstätigkeit verrichten.

3.7. Vom Rückenmark zur Ziel-Muskulatur

Die letzte an der neuronalen sowie motorischen Tätigkeit beteiligte essenzielle Struktur ist das Rückenmark, welches sich in der Mitte der Rückseite des Körpers befindet. Es kann mit einer regelrechten „Informationsautobahn“ verglichen werden, welches Impulse und Sinnesreize vom Körper zum Enzephalon übermittelt und umgekehrt (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2015). In der Mitte dieser Verbindungsstelle, die vom Kopfbereich hin zum unteren Wirbelsäulenabschnitt zunehmend an Dicke verliert, lässt sich das sogenannte Rückenmark vorfinden, das aufgrund der darin enthaltenen Nervenbestandteile unterschiedliche Färbungen aufweist (ähnlich wie im Gehirn). Der äußere Bereich besteht primär aus weiterleitenden Fortsätzen der Nervenzellen, den Axonen, wohingegen der Kern sich aus dem Neuronensoma zusammensetzt und für den Grafton verantwortlich ist.

Die Körper liegen aber nicht in verstreuter Anordnung im Rückenmarkszentrum vor, sondern bilden immer wieder Kerne (Nuclei), wie Thompson (2001) betont. Hier sind auch

sogenannte Motoneuronen auffindbar, die für die muskuläre Kontrolle obligatorisch sind. Auch die Nervenfasern, die sich im Rückenmark befinden und als Bahn für die Gehirn-Körper-Kommunikation dienen, liegen nicht vereinzelt vor, vielmehr verlaufen diese als Nervenfaserbündel. Unterschieden werden diese Informationswege abhängig von ihrer Funktionalität in sensorische sowie motorische Fasern – liefern Erstere vorwiegend Sinnesinformationen und andere Reize vom Körper zum Enzephalon, so erfolgen Bewegungsinstruktionen über die motorischen Wege (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2015). Zwar verlaufen beide Varianten meist in einem gemeinsamen Kanal, der als Spinalnerv betitelt wird, jedoch haben diese vor der Zusammenlegung kürzere Abschnitte im unmittelbaren Rückenmarksbereich zurückzulegen. Über das sogenannte Vorderhorn, welche im vorderen Bereich der Wirbel lokalisiert ist, treten die motorischen Neuronenbahnen aus, wohingegen auf der rückseitig gelegenen Hinterhornwurzel Sinnesreize und andere Informationen über die sensorischen Bahnen ins Rückenmark eintreten und ins Gehirn laufen.

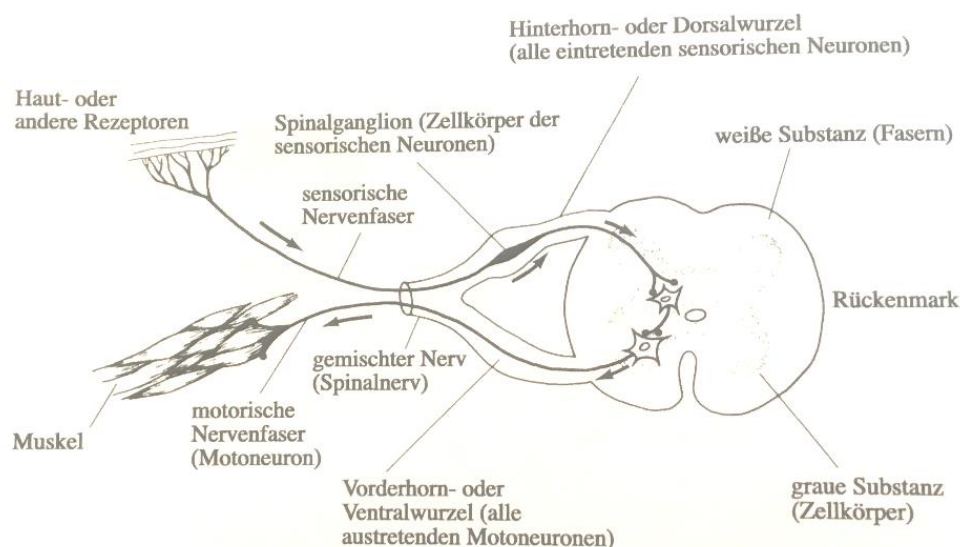


Abbildung 13: Sensorische und motorische Bahnen im Rückenmark (Thompson, 2001, S. 14)

Durch Zusammenfassung der eintretenden sowie austretenden Fasern entstehen die bereits beschriebenen 31 Spinalnervenpaare – auf Abbildung 14 ist nur ein Spinalnerv eingezeichnet, jener auf der rechten Seite des Rückenmarks wurde aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet. Diese innervieren je nach Wirbelsäulenregion beispielsweise den Gesichts- oder Bauchbereich (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2015).

Von der funktionalen Perspektive her kann das Rückenmark durch seine Informationsweiterleitungsmöglichkeit gezielte Bewegungskommandos, die von an der Motorik beteiligten Arealen stammen, an die Ziel-Muskulatur übermitteln. Jedoch besteht auch die Möglich-

keit, unabhängig vom Enzephalon bestimmte körperliche Aktivitäten zu initiieren, die aber selbstständig ohne bewusste Kontrolle ablaufen und als Reflexe bezeichnet werden (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2015).

Um eine körperliche Bewegungshandlung zu vollziehen, müssen die daran beteiligten Muskeln gezielt mit entsprechenden motorischen Befehlen angesteuert werden. Während die sogenannte glatt gestreifte Muskulatur, zu der etwa die meisten inneren Organe zählen, selbstständig ohne willentliche Beeinflussungsmöglichkeit gesteuert wird, so lassen sich die quergestreiften Bewegungsexekutoren explizit kontrollieren und einer Steuerung unterziehen (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2015). Einen Sonderfall stellt das menschliche Herz dar, das zwar ebenfalls die gleiche Struktur wie die steuerbare Skelettmuskulatur aufweist, aber dieselben Eigenschaften wie die glatten Bewegungseinheiten hat.

Unter dem Mikroskop betrachtet, weisen die quer gestreiften Muskeln zwei Fasertypen auf, die als extra- sowie intrafusale bezeichnet werden (vgl. Thompson, 2001). Häufiger anzutreffen ist erstere Sorte, die sich auch aktiv zusammenzieht, wenn ein adäquater Reiz erfolgt. In Verbindung mit den durch diese Fasern versorgten Muskelzellen spricht Thompson (2001) von der motorischen Einheit. Auch die Übertragungseinheit, die zwischen herkömmlichen Neuronen als Synapsen bezeichnet wird, findet hier eine eigene Bezeichnung: die motorische Endplatte, wodurch Nervensignale vom Endbereich der jeweiligen Fasern auf die Muskelfasern übertragen werden (vgl. Carter et al., 2010; Costandi, 2015). Die intrafusalen Bahnen beurteilen über spezielle Mikroorgane, die auch Muskelspindeln genannt werden, den aktuellen Dehnzustand des betroffenen Skelettmuskels und übermitteln ihre Erkenntnisse zum Rückenmark an das jeweilige Motoneuron.

Wie in vorherigen Abschnitten bereits erwähnt wurde, gibt es Körperteile, die eine feinere motorische Abstimmung aufweisen als andere Regionen. Das hängt nach Thompson (2001) mit einem Innervierungsverhältnis zwischen den Fasern des jeweiligen Skelettmuskels sowie den versorgenden motorischen Bahnen zusammen. Je weniger betroffene Muskelbestandteile von einer einzigen Neuronenfaser versorgt werden, desto kleiner ist das Innervierungsverhältnis, was speziell für feinmotorische Bewegungen wie etwa die der Finger essenziell ist. Für flächenmäßig umfangreichere Muskelgruppen sind deutlich höhere Verhältnisse ausreichend, hier steht die Feinmotorik weniger im Vordergrund. Ein Beispiel wäre etwa die Rückenmuskulatur, bei der über 100 Fasern von einer einzelnen Nervenbahn angesteuert werden und die willkürlichen motorischen Befehle, die ihren Ursprung im Gehirn haben, an die verschiedenen Zielorte übermittelt.

4. Einfluss körperlicher Aktivität auf die mentale Leistungsfähigkeit

Im dritten Kapitel wurden das menschliche Gehirn, seine Entwicklung vom Embryonalstadium bis zum Ende der Adoleszenz, der anatomische sowie funktionale Aufbau sowie die Funktionsweise einiger kognitiver Fähigkeiten wie das Gedächtnis ausgiebig thematisiert. Jedoch ist dieses „Rechenzentrum“, das eine Vielzahl von neuronalen und motorischen Prozessen perfekt koordiniert und plant, kein starres Konstrukt, sondern hat vielmehr die Eigenschaft, sich durch das Einwirken bestimmter Faktoren wie etwa Bewegung und Sport, Ernährung oder Schlaf einer Veränderung zu unterziehen und damit mentale Parameter – beispielsweise die Aufmerksamkeit oder Konzentrationsleistung – förderlich zu beeinflussen. In diesem Kontext ist von der sogenannten „Plastizität“ die Rede, welche in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert wird. Zudem wird der Stellenwert der bereits angeführten Faktoren hinsichtlich ihrer Förderlichkeit mithilfe fundierter Erkenntnisse und aktueller Journals durchleuchtet.

4.1. Die Plastizität – die Wandelbarkeit neuronaler Strukturen

Vor einigen Jahrzehnten gingen Experten noch davon aus, dass es sich beim Enzephalon um eine Art Rechensystem handelt, welches in den frühen Lebensjahren entwickelt sowie durch die individuellen Umstände angepasst wird und sich bis zum Tod nicht mehr weiteren Veränderungen unterzieht (vgl. Voelcker-Rehage, 2013; Costandi, 2016). Es kommt lediglich zur kontinuierlichen Degeneration vorhandener neuronaler Verbindungen und Hirnzellen. Des Weiteren nimmt auch das volumenmäßige Ausmaß des gefurchten Organs stetig ab. Diese Abbauprozesse machen sich vor allem in den Bereichen der exekutiven Funktionen sowie in lernbezogenen Arealen wie dem Hippocampus bemerkbar. Aber auch bei Situationen, in denen ein erhöhter Aufmerksamkeits- sowie Konzentrationsbedarf besteht, haben Menschen fortgeschrittenen Alters meist größere Probleme, sich auf bestimmte Inhalte zu fokussieren und Selektionsmaßnahmen zu treffen (vgl. Voelcker-Rehage, 2013).

Mittlerweile ist dieses Paradigma veraltet – vielmehr ist die Adaptierungsfähigkeit der neuronalen Strukturen bekannt. Ein Begriff, der die Wandelbarkeit des Gehirns ins Zentrum stellt, ist die (Neuro-)Plastizität, die wie folgt definiert wird: „Neuro-Plasticity is a catch-all term referring to the many different ways in which the nervous system can change.“ (vgl. Costandi, 2016, S. 1). Calabrese et al. (2014) beschreiben ebenfalls die Veränderlichkeit des Enzephalons in ihrem Definitionsansatz, betonen aber, dass diese Adaptierung der neuronalen Strukturen durch externe oder interne Anforderungen der Umwelt bewerkstel-

ligt wird und zu einer Restrukturierung führen kann. Auch gesammelte Erfahrungen scheinen die Adaptierung zu beeinflussen und können sowohl auf prozesstechnischer als auch struktureller Ebene Anpassungen bewirken (vgl. Jäncke, 2013). Ragert (2017) erachtet externe Einwirkungen und Gegebenheiten als besonders relevant für die neuroplastizitären Prozesse. Häufig wird die Theorie der Neuroplastizität als neuartige Annahme dargestellt, wobei erste Ansätze schon im 18. Jahrhundert bestanden. Experten und Expertinnen gingen bereits damals davon aus, dass sich die Struktur und die mentale Funktionsfähigkeit des Gehirns durch gezielte kognitive Übungen positiv verändern lassen. Durch den Einsatz moderner, zum Teil bildgebender Verfahren lassen sich die Vorgänge der neuronalen Adaption deutlich besser erklären und Rückschlüsse für den gezielten Gebrauch bestimmter Faktoren ziehen (vgl. Ragert, 2017). Månsson et al. (2017) kritisieren aber, dass es hinsichtlich des Einflusses verschiedener Therapie- sowie Interventionsansätze auf die Neuroplastizität und deren Funktionsweise lediglich wenig aussagekräftige Untersuchungen gibt und dringend weiterer Forschungsbedarf besteht.

Neuroplastizität beschreibt ein Phänomen, welches eigentlich auf Mikroebene abläuft. Damit Informationen vom Ursprungsort zum angestrebten Ziel gelangen, nutzen sie verschiedene neuronale Strukturen wie Axone oder Dendriten (siehe dazu Kapitel 3.6.1.). Um von einer Nervenzelle zur nächsten zu gelangen, müssen die elektrischen Impulse in chemische Signale umgewandelt werden und umgekehrt – dieser Prozess findet im Bereich der Synapsen statt (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2016). Durch entsprechende Lehr-Lern-Situationen kommt es dazu, dass die synaptischen Verbindungen gestärkt werden und die Übertragung durch die Neurotransmitter optimiert wird. Dieser Effekt tritt vor allem durch rasche und intensive Nutzung der neuronalen Verbindungen ein, wie es etwa bei unterschiedlichen Lernprozessen der Fall ist, und wird in der Literatur als „long-term potentiation“ oder Langzeitpotenzierung (LTP) beschrieben (vgl. Bliss & Lomo, 1973; Malenka, 2003; Sala & Segal, 2014; Ryan, Roy, Pignatelli, Arons & Tonegawa, 2015; Costandi, 2016) und kann zu einer Stärkung und Verbesserung der Nervenverbindungen im Ausmaß von wenigen Minuten bis hin zu Jahren führen.

Dieser Effekt führt dazu, dass bestimmte Veränderungen sowohl im prä- als auch im postsynaptischen Bereich auftreten. Das erste Areal weist Vesikel auf, in denen Neurotransmitter bis zu ihrer Freisetzung durch ein eintreffendes Nervensignal zwischengelagert sind (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Costandi, 2016). Zwar gibt es eine Vielzahl dieser „Lagerbläschen“, jedoch steht nur ein Bruchteil davon für die chemische Übermittlung des elektrischen Impulses zur Verfügung. Durch Lernprozesse, die eine long-term potentiation bewirken, kann die Anzahl der mit der präsynaptischen Membran verschmelzenden Bläschen erheblich gesteigert werden (vgl. Böttger, 2016; Costandi,

2016). Außerdem werden Vorgänge zum erneuten Gebrauch der Vesikel merkbar beschleunigt, wodurch die ohnehin sehr schnell ablaufende Freisetzung von bestimmten Botenstoffen noch zügiger erfolgen kann.

Durch die Langzeitpotenzierung wird aber auch die andere Komponente der Impulsübermittlung, der postsynaptische Spalt, in seiner Funktionstüchtigkeit optimiert. Bestimmte Rezeptoren werden durch aktive Lernvorgänge herantransportiert und verschmelzen – ähnlich wie die Vesikel – mit der postsynaptischen Oberfläche, wodurch mehr „Kontaktstellen“ für die Neurotransmitter vorhanden sind. Gleichzeitig werden weniger bis gar nicht aktive Synapsen durch die long-term potentiation zur Mitarbeit bei der Informationsüberbrückung angehalten (vgl. Malinov & Malenka, 2002; Costandi, 2016).

Der Einfluss von Lernen auf die neuronalen Strukturen und Übertragungseinheiten von Nervensignalen beschränkt sich aber nicht nur auf die Beeinflussung weniger aktiver Synapsen sowie deren Optimierung auf den prä- sowie postsynaptischen Enden. Vielmehr sind Langzeitpotenzierungen imstande, gänzlich neue synaptische Verbindungen zwischen zwei Neuronen zu schaffen und somit das Informationsnetz dichter zu gestalten (vgl. Costandi, 2016). Die Bildung neuartiger neuronaler Brücken geht mit einer strukturellen Adaptierung verschiedener Bestandteile des Enzephalons einher. So schreibt Jäncke (2013) etwa, dass durch Erfahrung und kognitive Beanspruchung das Ausmaß der grauen sowie weißen Masse im Gehirn ansteigt und sich die Windungen (Gyri) an diese Veränderungen adaptieren.

Der überwiegende Teil der Reizweiterleitung findet in den dendritischen Dornfortsätzen statt (vgl. Carter et al., 2010). Die Auswirkungen der long-term potentiation beeinflussen diese Dornfortsätze insofern, als dass sich diese um rund 15 Prozent vergrößern und das in unter zehn Minuten. Der Wachstumsschub kann bis zu einer Stunde andauern, wobei kurzfristig die meisten größenmäßigen Änderungen zustande kommen (vgl. Sala & Segal, 2014; Costandi, 2016). In weiterer Folge profitiert auch die absolute Anzahl an Synapsen von dieser Zunahme und die postsynaptischen Enden erfahren eine Optimierung in der Transmitteraufnahme. Sala & Segal (2014) vertreten aber die Meinung, dass in diversen Publikationen unterschiedliche Ergebnisse aufgetreten sind, wobei unterschiedliche Werte hinsichtlich des Wachstums und der quantitativen Ausprägung festgestellt wurden. Costandi (2016) merkt an, dass die genauen Korrelationen zwischen den Ausprägungen und Entstehungen der Dornen und deren Beziehung zum Gedächtnis nicht eindeutig geklärt ist: „Yet, the precise relationship between modification, spine formation and memory is still unclear, and there is some evidence to suggest that new spines are not actually necessary for memory.“ So konnten sich beispielsweise Eichhörnchen, deren dendritische Dor-

nendichte durch den Winterschlaf deutlich abgenommen hatte und anschließend wieder gestiegen ist, an Übungen von vor der Überwinterung erinnern (vgl. Costandi, 2016).

Auch durch motorisches Lernen können neue Stacheln oder Dornen gebildet werden, die aber in vergleichsweise größeren Clustern auftreten und dadurch benachbarte, bereits bestehende Cluster schwächen und sie kleiner werden lassen (vgl. Lamprecht & LeDoux, 2004; Costandi, 2016). Diese Stachel-Netzwerke sind jedoch deutlich resistenter und langlebiger als einzelne Stacheln und somit gegen die Entstehung neuer Cluster beständiger. Jedoch zeigt das im vorherigen Absatz angeführte Beispiel mit den Eichhörnchen, dass die Beständigkeit der dendritischen Dornen nicht zwingend notwendig für langfristige Sicherung und Abspeicherung von Erinnerungen und gelernten Inhalten sein muss (vgl. Costandi, 2016).

Der Langzeitpotenzierung steht ein entgegengerichteter Prozess gegenüber, der als „long-term depression“ betitelt wird (vgl. Lüscher & Malenka, 2011; Costandi, 2016). Dadurch werden Botenstoffe weniger wirksam und die bestehenden synaptischen Schnittstellen deutlich geschwächt. Ein anderer Prozess, der die neuronalen Verbindungen ebenfalls schwächen oder sogar gänzlich zerstören kann, wird als Pruning bezeichnet (siehe Kapitel 3.6.1.). Der wesentliche Unterschied zur long-term depression, bei der keine effiziente Aktivierung der Neuronen und zugehörigen Synapsen erfolgt, ist die förderliche Wirkung für das gesamte Nervensystem und kognitive sowie motorische Handlungen. Letztere werden durch die gezielte „Auslese“ dieses Prozesses geschärft und erfahren eine Art Feinschliff, um ihre Funktionen noch präziser ausführen zu können (vgl. Costandi, 2016).

Einen beachtlichen Einfluss auf die Plastizität der neuronalen Strukturen des Gehirns haben auch die Gliazellen und ihre Subformen, die durch verschiedenste Funktionsweisen ihren Beitrag zur Aufrechterhaltung und Optimierung der Impulsübertragung leisten (vgl. Tremblay et al., 2011; Allen, 2014; Costandi, 2016). Gingen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen zu früheren Zeiten fälschlicherweise davon aus, dass die Gliazellen nur als Assistenten der Neuronen oder als deren „Kleber“ notwendig waren (siehe Kapitel 3.6.1.), so ist mittlerweile ihre Wichtigkeit für die Plastizität durch die intensive Beforschung zutage gefördert worden. Insbesondere die sternförmigen Astrozyten leisten einen wesentlichen Beitrag zur Adaptierungsfähigkeit, indem sie wie eine Art Klammer oder Mantel auf die Synapsen einwirken können und somit die Freisetzung von Neurotransmittern reduzieren oder komplett hemmen. Diese Limitation kann aber auch jederzeit gelöst werden, um einen umfangreicheren und dichteren Gebrauch von Botenstoffen zwischen den synaptischen Enden zu ermöglichen (vgl. Costandi, 2016). Zu den Möglichkeiten, die neuronalen

Strukturen im Gehirn zu beeinflussen, zählt auch die Ausschüttung des Botenstoffes Glutamat, welcher für die Abstimmung und Koordination mehrerer verschiedener Neuronen verantwortlich ist, um eine möglichst synchrone Aktivität zu schaffen (vgl. Allen, 2014)

Von Relevanz für die neuronale Plastizität des Enzephalons sind auch die Mikrogliazellen, deren Tätigkeitsbereich mit dem einer Art körpereigener „Müllabfuhr“ verglichen werden kann (vgl. Carter et al., 2010; Costandi, 2015; Costandi, 2016). Sie fungieren als eine Art hirnbezogene Immunabwehr, die bei infektiösen Erregern frühzeitig zur Verfügung steht. Bereits beschädigte oder funktionslose Zellen oder deren Bestandteile werden durch organische Prozesse abgebaut, um Raum für neue Verbindungen zu schaffen. Bereits bestehende synaptische Verbindungen werden in Abhängigkeit von der individuellen Beanspruchung und Relevanz für den Organismus mit einem bestimmten Stoff versehen, der das Signal für sich in naher Umgebung befindliche Mikrogliazellen zum Abbau darstellt (vgl. Tremblay, 2011; Costandi, 2016). Diese Maßnahme tritt vor allem beim „Pruning“ auf, bei dem nach selektiven Prinzipien Verbindungen und Synapsen zugunsten der Funktionalität anderer Schnittstellen und neuronaler Wege eliminiert werden.

4.2. Die Kognition „in Bewegung bringen“ – der Einfluss von Sport

Im Laufe der letzten Jahrzehnte haben sich viele verschiedene Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen mit der Fragestellung auseinandergesetzt, ob Bewegung und Sport die mentalen Fähigkeiten beeinflussen kann und in welche Richtung – positiv oder negativ – diese Korrelationen gehen. In den einleitenden Kapiteln wurden bereits Studienergebnisse angeführt, die zum Teil unterschiedliche Erkenntnisse brachten. Gingen Autoren wie Hillmann, Erickson & Kramer (2008) von einem nennbaren Einfluss von Bewegungsinterventionen auf diverse kognitive Leistungsfähigkeiten aus, so vertraten andere Publikationen (Stroth et al., 2009) den Standpunkt, dass der generelle Fitnesszustand eines Probanden oder einer Probandin im Zusammenhang mit der Ausprägung seiner oder ihrer mentalen Fähigkeiten steht.

Aus diesem Grund soll in den nachfolgenden Absätzen eine umfangreiche hermeneutische Auseinandersetzung mit ausgewählten Publikationen ab dem Jahr 2010 erfolgen, um einen möglichst aktuellen und zeitnahen Überblick über gegenwärtige Ansichten, Theorien und Erkenntnisse zu erhalten. Neben diversen Meta-Analysen, die verschiedene Studien aufgreifen und einer systematischen Auswertung unterziehen (u.a. Ahn & Fedewa, 2011; Chang, Labban, Gapin & Etnier, 2012; Jansen, 2014; McMorris & Hale, 2015; Dadaczynski & Schniemann, 2015; Norris, Shelton, Dunsmuir, Duke-Williams & Stamatakis, 2015; Hillmann et al., 2016) wird auch eine Selektion von konventionellen Untersuchungen (u.a. Davranche, Brisswalter & Radel, 2015; Suzuki, 2016; McMorris, 2016; Pin-

dus et al., 2016) sowie Trendstudien (u.a. Dirksen et al., 2015, Resaland et al., 2016) berücksichtigt und näher erläutert.

Generell hat sich gezeigt, dass körperliche Aktivität messbare Auswirkungen auf die Struktur des Gehirns hat und auch eine Rolle bei der Plastizität zu spielen scheint. Verschiedenste mentale Fähigkeiten profitieren von gezieltem Sporttreiben, darunter beispielsweise die Eigenschaft, Inhalte schneller und effizienter zu lernen und im Gedächtnis zu behalten (vgl. Voss, Vivar, Kramer & van Praag, 2013; Voelcker-Rehage et al., 2013; Beck, 2014; Suzuki, 2016; Böttger, 2016). Vor allem jenes Hirnareal, das für Lern- und Merkprozesse verantwortlich gemacht wird, der Hippocampus, scheint durch Bewegung und Sport neue neuronale Verbindungen und Bahnen auszubilden.

Eine sehr aktuelle Untersuchung, die Suzuki (2016) in ihrem Buch beschreibt, widmet sich den Auswirkungen von kurzen aeroben Trainingsinterventionen bei Studenten sowie Studentinnen im Zuge ihrer Lehrveranstaltung an einer Universität. Sie verglich die Ergebnisse mit Studierenden einer Lehrveranstaltung, in der kein akutes aerobes Sporttreiben veranlasst wurde. Nach 15 Wochen wurden die Ergebnisse gegenübergestellt und es zeigte sich, dass die Versuchsgruppe im Bereich der Reaktionsgeschwindigkeit beziehungsweise Arbeitsgeschwindigkeit eine signifikante Steigerung erfahren hatte, wohingegen sich die Höhe der Gedächtnisfunktion nicht messbar unterschieden hat. Die Autorin betont aber, dass durch körperliche Aktivität die Generierung und Entstehung neuer Gehirnzellen im Areal des Hippocampus positiv beeinflusst wird, indem die Ausschüttung eines bestimmten Proteins (BDNF, „brain-derived neurotrophic factor“), welches beim Aufbau und Ausbau von Neuronen beteiligt ist, gefördert wird (Suzuki, 2016). Zudem vertritt sie die Meinung, dass auch das Volumen der Großhirnrinde ansteigt. Andere Autoren (Beck, 2014) vertreten ebenfalls die Meinung, dass Schüler und Schülerinnen, die sich regelmäßig bewegen, besser schulische Leistungen über alle Fächer hinweg aufweisen. Jedoch steht hier mehr die körperliche Fitness, gemessen am Body-Mass-Index, im Zusammenhang mit der erhöhten mentalen Leistungsfähigkeit im Setting Schule.

Eine sehr umfangreiche Untersuchung stellte die Meta-Analyse von Ahn & Fedewa (2011) dar, die zunächst 250 mögliche Quellen im Zeitraum von 1940 bis 2009 mithilfe verschiedenster Datenbanken erhoben haben. Nach einigen Selektionsprozessen, bei denen beispielsweise das Alter, der Untersuchungsgegenstand sowie die Publikationssprache berücksichtigt wurden, kam es zu einer massiven Auslese, wodurch im Endeffekt 59 Untersuchungen übrigblieben. Die vorwiegend aus Amerika stammenden Jungen und Mädchen waren durchschnittlich zwischen sechs und 16 Jahre alt. Es sollte der Einfluss von unterschiedlichen körperlichen Bewegungsformen und -arten auf die kognitive Leistungsfähig-

keit sowie den akademischen Erfolg untersucht werden. Ahn & Fedewa (2013) kamen zu dem Schluss, dass sich die genannten Faktoren durch Sport steigern lassen, wobei statistische Mehrfachvergleiche den rein aeroben Trainingseinheiten einen vergleichsweise höheren Einfluss als etwa einem konventionellen Sportunterricht zuschrieben. Die größten Auswirkungen gab es im Bereich der mathematischen Kompetenz, dicht gefolgt vom Intelligenzquotienten sowie der Lesefähigkeit. Auch die Gruppengröße spielt bei der Höhe der kognitiven Leistungsfähigkeit eine Rolle: „[...] the small group intervention showed the largest effect of physical activity on cognitive outcomes, followed by the medium group physical activity intervention“ (Ahn & Fedewa, 2011, S. 527). Hinsichtlich der Länge pro Einheit sowie Häufigkeit pro Woche zeigten sich interessante Ergebnisse. Scheint die Effektstärke der körperlichen Tätigkeit relativ unabhängig von deren zeitlicher Dauer zu sein, so sind die Auswirkungen von häufigeren Bewegungseinheiten pro Woche auf mentale Fähigkeiten signifikant höher als bei etwa nur zwei Trainingsinterventionen. Berücksichtigt wurde von den Autoren und Autorinnen auch der Fitnesszustand, den sie hinsichtlich der Aspekte Stärke, Entwicklung, Ausdauer, Flexibilität sowie Entwicklung untersuchten. Den größten Einfluss auf die mentale Leistungsfähigkeit sowie den akademischen Erfolg hatten diejenigen Probanden und Probandinnen, die eine hohe ausdauerbezogene Fitness – gemessen an entsprechenden aeroben Übungen – aufwiesen, wobei jede der Kategorien – mit Ausnahme der Flexibilität – zu einem signifikanten Anstieg führte. „Thus, children appear to gain the largest cognitive and achievement benefits when exposed to aerobic-based activity“ (Ahn & Fedewa, 2011, S. 528). Diese Erkenntnisse decken sich mit einer aktuellen Untersuchung, bei der die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen ebenfalls eine Korrelation zwischen aerober Belastung und einer Steigerung der Buchstaberleistung nachweisen konnten, jedoch keine signifikante Beeinflussung anderer kognitiver Leistungsfähigkeiten feststellten (van der Niet, Hartman, Smith & Visscher, 2014; Scudder et al., 2014; Pindus et al., 2016). Andere Experten und Expertinnen (Booth et al., 2013; Syväoja, Tammelin, Ahonen, Kankaanpää & Kantomaa, 2014) zeigten in ihren Untersuchungen auf, dass auch andere der Kognition zugehörige Fähigkeiten wie etwa die exekutiven Funktionen oder die Reaktionsschnelligkeit beim Erarbeiten von Inhalten von der körperlichen Aktivität positiv stimuliert werden.

Ungefähr ein Jahr später wurde eine neue Meta-Analyse von Chang, Labban, Gappin & Etnier (2012) veröffentlicht, die sich im Gegensatz zu Ahn & Fedewa (2011) dezidiert mit den Auswirkungen einer akuten Sporteinheit auf die mentale Leistungsfähigkeit auseinandersetzte. Die Lebensjahre der Probanden und Probandinnen wurden nicht auf das Kindes- und Jugendalter limitiert, sondern auch Personen fortgeschrittenen Alters miteinbezogen. Somit wurden insgesamt 2072 Individuen aus 79 verschiedenen Publikationen

berücksichtigt. Durch die systematische Auswertung der inkludierten Studien kamen die Autoren zur Erkenntnis, dass eine einzige akute Trainingsintervention zwar nur einen kleinen, aber dennoch statistisch signifikanten Effekt auf ausgewählte kognitive Fähigkeiten hat, die während der körperlichen Aktivität selbst oder unmittelbar danach durch adäquate Aufgabenstellungen gefordert werden. Lambourne & Tomporowski (2010) konnten in ihren Untersuchungen mit einer in etwa halb so großen Studienstichprobe von 40 Publikationen identische Ergebnisse bei der mentalen Leistungsfähigkeit unmittelbar nach einer Bewegungssequenz feststellen, wohingegen bei mentalen Testanforderungen, die während des Sporttreibens selbst zu bewerkstelligen waren, eine kleine sowie negative Korrelation gemessen wurde. Somit widersprechen sich die beiden Journale, wobei Chang et al. (2012) aufgrund der fast doppelt so großen Stichprobengröße repräsentativere Ergebnisse aufweist. Letzteres Autorenteam widmete sich auch dem Zeitpunkt der Überprüfung mentaler Leistungsparameter und untergliederte diesen in „während“, „unmittelbar danach“ oder „mit einiger Verzögerung“ nach der Bewegungsintervention. Unterschiedliche Effekte wurden ermittelt, bei denen auch der Fitnesszustand sowie die Dauer der akuten körperlichen Aktivität einen Einfluss zu haben scheinen.

Zeitpunkt der kognitiven Testung in Bezug auf die Sportintervention		Moderierende Variablen		
		<i>Fitnesszustand</i>	<i>Kognitive Parameter</i>	<i>Sportintensität</i>
Direkt im Anschluss	➡	Signifikant bei: Hoher Fitnesszustand Niedriger Fitnesszustand	Signifikant bei: Intelligenz Aufmerksamkeit Exekutive Funktionen Informationsverarbeitung	Signifikant bei: Sehr leicht Leicht Moderat
Währenddessen	➡	Signifikant bei: Hoher Fitnesszustand Niedriger Fitnesszustand	Signifikant bei: Intelligenz Aufmerksamkeit Exekutive Funktionen Informationsverarbeitung Reaktionsgeschwindigkeit Gedächtnis	Signifikant bei: /
Mit Verzögerung	➡	Signifikant bei: /	Signifikant bei: Intelligenz Aufmerksamkeit Exekutive Funktionen	Signifikant bei: Sehr leicht Leicht Moderat Intensiv Sehr intensiv Maximal

Abbildung 14: Moderierende Variablen und deren Effektstärke (vgl. Chang et al., 2012, S. 88ff.)

Wie aus der Abbildung hervorgeht, klassifizierten Chang et al. (2012) drei wesentliche Moderator-Variablen, die je nach Testzeitpunkt unterschiedlich hohe Effektstärken nach sich gezogen haben. So zeigte sich etwa, dass der Fitnesszustand bei unmittelbar auf die körperliche Belastung folgenden mentalen Überprüfungen sowohl bei gut sowie wenig trainierten einen signifikanten Einfluss ausübt, wohingegen bei Menschen mit einem

durchschnittlichen Fitnesszustand kein statistisch auffälliger Effekt bewirkt wurde. Findet die kognitive Testung bereits während der sportlichen Aktivität statt, dann scheint es, als ob ein niedriger Fitnesslevel mit einer negativen Auswirkung bei der Testprozedur einhergeht. Bei den kognitiven Parametern gibt es keine negativen Korrelationen, vor allem in den Testkategorien Intelligenz, Aufmerksamkeit sowie generelle exekutive Funktionen gibt es überwiegend deutlich signifikante Effektstärken, wobei letzterer Teilbereich der Kognition den stärksten Effekt aufweist (Chang et al., 2012). Die letzte moderierende Variable stellt die Intensität der körperlichen Beanspruchung dar, bei der es in Abhängigkeit von der Belastungsform ebenfalls unterschiedliche Effektstärken gibt. Während der Sporttätigkeit selbst spielt die Intensitätsform keine nennenswerte Rolle, wohingegen im unmittelbaren Anschluss sehr leichte bis mittlere Bewegungsvarianten den meisten Einfluss haben. Bei einer zeitlichen Differenz zwischen der motorischen Aktivität sowie der kognitiven Überprüfung wirken sich alle Formen – mit Ausnahme einer sehr leichten Intensität, welche negativ mit der Testleistung korreliert – positiv auf die Effektstärke aus.

Andere relevante Ergebnisse aus dieser sehr umfangreichen Untersuchung einer Vielzahl von Studien zeigten sich laut Chang et al. (2012) auch in der Ausführungsdauer der Sportinterventionen. Die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen sind der Ansicht, dass ein statistisch signifikanter und damit relevanter förderlicher Einfluss auf verschiedene mentale Leistungsfähigkeiten erst dann durch akute körperliche Beanspruchung erfolgt, wenn diese zumindest ein Ausmaß von 20 Minuten aufweist. Bei kürzeren Einheiten, die in einem Bereich von 11 bis zu 20 Minuten liegen, wurde ein negativer Effekt hinsichtlich der mentalen Leistungsfähigkeit festgestellt. Den Grund dafür sehen die Autoren und Autorinnen in bestimmten organischen Vorgängen im Körper, die durch Sport initiiert beziehungsweise begünstigt werden. Diese Prozesse benötigen allerdings einige Zeit – zumindest 20 Minuten – um ein bestimmtes für die mentalen Parameter förderliches Niveau zu erreichen. Das Team beschreibt das Wirkungsschema und die dazugehörigen Bedingungen wie folgt:

Again, this may suggest that physiological mechanisms are relevant and that these mechanisms require some time to reach peak levels necessary to benefit cognition. When examined in studies that had a delay following the exercise, the duration of the exercise session impacted the results such that shorter exercise bouts negatively affected cognitive performance, but longer exercise bouts had positive effects. Thus, whether assessed during exercise or post-exercise, it appears that at

least 20 min of exercise is necessary to see effects. (Cheng et al., 2012, S. 95)

Mittlerweile ist die Untersuchung von Jansen (2014) zwar drei Jahre alt, stellt aber dennoch einen sehr guten wissenschaftlichen Beitrag dar, der mehrere Studien sowie Tests unterschiedlicher Autoren und Autorinnen aufgreift und systematisch gegenüberstellt. Die vom Institut für Sportwissenschaft Regensburg stammende Expertin widmet sich nicht nur dem gesundheitsförderlichem Potenzial von körperlicher Betätigung, sondern auch dessen Einfluss auf kognitive Teilbereiche wie etwa die exekutiven Funktionen, die raumbezogenen visuellen Kompetenzen sowie die schulbezogenen Fähigkeiten, die beispielsweise beim Lesen, Buchstabieren und bei Rechenaufgaben benötigt werden. In ihrer Arbeit sind unter den exekutiven Funktionen arbeitsbezogene Hirnregionen, welche für die spontane Zwischenspeicherung von wahrgenommenen Inhalten zuständig ist, aber auch die mentale Fähigkeit zur Abschirmung gegenüber möglicher Ablenkungen inkludiert. Erweitert wird das Konzept um die sogenannte „kognitive Flexibilität“ (Jansen, 2014, S. 268), die einen interdisziplinären sowie fächerübergreifenden Transfer von bereits erworbenen Kompetenzen auf andere Bereiche und Situationen ermöglicht. Dem gegenüber stehen die „visuell-räumlichen Fähigkeiten“ (Jansen, 2014, S. 268), die im Grunde für die mentale Erhebung sowie Verarbeitung raumbezogener Informationen zuständig sind. Dazu zählt unter anderem die Eigenschaft, bestimmte Gegenstände fiktiv im Gehirn drehen zu können, sodass diese vor dem geistigen Auge in verschiedenen Ansichten vorliegen. Für all die genannten Aspekte liegen gesicherte Erkenntnisse vor, die aber in ihrer Aussagekraft sowie Tendenz variieren.

Jansen (2014) vertritt die Ansicht, dass der Schulsport essenziell zum schulischen Ausbildungserfolg beitragen kann, da es ihrer Meinung nach Korrelationen zwischen kognitiven Parametern, welche sich durch Sporttreiben optimieren lassen, und dem Ausprägungsniveau der schulbezogenen Leistungen gibt. Doch nicht nur kurzfristige motorische Interventionen, sondern auch das körperliche Fitnessniveau wirken sich offensichtlich förderlich aus, wie die Forschungs-Ergebnisse anderer Autoren sowie Autorinnen (vgl. Castelli, Hillman, Buck & Erwin, 2007; Dadaczynski & Schniemann, 2015) zutage gefördert haben. Als Beispiel führt die Wissenschaftlerin (2014) einen scheinbaren Zusammenhang zwischen der körperlichen Konstitution von Schülern und Schülerinnen und der Höhe der jeweiligen mathematischen Ergebnisse an. Jansen (2014, S. 268) merkt aber auch an, dass nicht jede Bewegungsintervention den gleichen Effekt bei den kognitiven Parametern bewirkt, sondern vielmehr eine sensible Unterteilung in verschiedene Formen und Ausprägungsversionen notwendig ist – etwa „[...] in konditionelle (Ausdauer, Kraft und

Schnelligkeit) und koordinative Fähigkeiten (Reaktionsschnelligkeit, Ausführung unter Zeitdruck und Präzision)“.

Für den systematischen Vergleich nutzt Jansen (2014) die Daten von sieben verschiedenen Studien, die sich über den Zeitraum von 1999 bis zum Jahr 2010 erstrecken. Somit sind die berücksichtigten Ergebnisse nicht als aktuell zu bezeichnen, wobei die Autorin die dargestellten Zusammenhänge und Beziehungen zwischen sportlicher Betätigung und deren Rolle bei der Ausprägung bestimmter kognitiver Parameter als nachwievor gültig sieht. So verweist Jansen (2014) beispielsweise auf Hillman, Pontifex, Raine, Castelli, Hall & Kramer (2009), die mithilfe eines einmaligen moderaten Sportprogramms im Ausmaß von zwanzig Minuten signifikante Optimierungen bei der Kognition von neunjährigen Lernenden feststellen konnten. Aber auch der Fitnesszustand wirkt sich förderlich aus und ist entscheidend für die Größe des erwirkten Effektes (vgl. Hillman & Schott, 2013). Dieser Erkenntnis schließen sich Stroth et al. (2009) an, sie konnten aber die Frage der Wirksamkeit einer kurzfristigen körperlichen Betätigung im Vergleich zu Hillman et al. (2009) mit keinem signifikanten Ergebnis beantworten. Auch Chaddock, Hillman, Pontifex, Johnson, Raine & Kramer (2013) widmeten sich mit ihren Forschungen zu Unterrichtenden – die Analyse zeigte, dass es eine starke Korrelation zwischen dem Grad des Fitnesszustandes der Probanden sowie Probandinnen und der Leistung bei mentalen Testungen gibt. Ein Aspekt, der zwar bei der Untersuchung berücksichtigt wurde, aber keinen relevanten Zusammenhang lieferte, ist der soziale sowie wirtschaftliche Background der Lernenden. Aktuellere Untersuchungen (vgl. Dadaczynski & Schniemann, 2015) betonen jedoch, dass jener Faktor sehr wohl einen gewissen Beeinflussungsgrad aufweist. Auch die Art, wie die visuellen Sinnesorgane zur Informationsgenerierung eingesetzt werden, lässt sich Jansen (2014) nach durch Bewegung und Sport beeinflussen. Diejenigen zu Unterrichtenden, die über drei Quartale hinweg ein zweistündiges Bewegungsangebot nach dem Unterricht wahrgenommen haben, hatten im Vergleich zur Kontrollgruppe, der das Freizeitprogramm nach den schulischen Aktivitäten freigestellt war, eine deutlich effizientere Nutzung der Augen zur Wahrnehmung von Inhalten. Hinsichtlich der Kompetenz zur mentalen Drehung von Objekten gibt es ebenfalls Analysen, die von positiven Auswirkungen sportlicher Programme sprechen. Bereits in sehr jungen Lebensjahren sind Effekte messbar, wie Jansen & Heil (2010) aufzeigten. So schnitten 5- bis 6-jährige Kinder bei entsprechenden kognitiven Messungen besser ab, wenn die Leistung bei einem entsprechenden Motoriktest ebenfalls überdurchschnittlich war. Ähnliche Korrelationen, jedoch negativen Ausmaßes, gibt es beim Vorhandensein von Bewegungseinschränkungen infolge genetischer Krankheiten oder fehlerhafter Ernährung, die in einem überdurchschnittlichen Körperumfang resultierte (vgl. Jansen, Schmelter, Kasten & Heil, 2011). Auch die umfang-

reiche Literaturrecherche konnte Jansen (2014) somit klar aufzeigen, dass ein gewisser Benefit durch sportliche Trainingsintervention erzielt werden kann. Dennoch gibt sie sich (Jansen, 2014, S. 272) kritisch und unterstreicht den Bedarf an weiterer Forschung: „Bewegung macht nicht per se schlau – spezifische Bewegungen können helfen, spezifische kognitive Fähigkeiten abhängig vom Alter der Kinder und Jugendlichen zu fördern. Für die Forschung gilt es, diese Beziehungen im Detail zu untersuchen.“

Kurze Zeit später widmete sich ebenfalls ein Team, bestehend aus drei deutschen Wissenschaftlern (vgl. Dirksen, Zentgraf & Wagner, 2015), der Frage nach den Auswirkungen von bestimmten Sportprogrammen – in vorliegendem Beitrag koordinativer Natur – auf die Kognition, die sich in weiterer Folge in vergleichsweise höheren schulbezogenen Leistungen äußert. Gleichzeitig soll eine gesteigerte Ausprägung der koordinativen Kompetenzen mit den Schulresultaten korrelieren, wie etwa Dhingra, Manhas & Kohli (2010) mithilfe eines querschnittlichen Studiendesign darlegen konnten. Somit stellten Dirksen et al. (2015) eine Stichprobe, bestehend aus 224 zu Unterrichtenden, auf, die einen Altersmittelwert von etwa zwölf Jahren aufwiesen. Diese wurden in zwei kleinere Gruppen unterteilt: die Experimentalpersonen, welche die kommenden 20 Wochen spezielle koordinative Schwerpunkte im Bewegungsunterricht der Schule durchführen mussten. Die Lehrkräfte des anderen Verbands an Probanden sowie Probandinnen hingegen hatten keine besondere Vorgabe für die Unterrichtsplanung sowie -durchführung. Für Dirksen et al. (2015) war es von Interesse, die Veränderungen der schulbezogenen Fähigkeiten im Bereich des Lesens, Schreibens sowie der Arithmetik zu messen und entsprechend darzustellen. Zudem wurde auch die Entwicklung unterschiedlicher Aspekte der koordinativen Fähigkeiten, zu denen die deutschen Forscher „[...] Gleichgewicht, räumliche Orientierung, kinästhetische Differenzierung und Auge-Hand-Koordination [...]“ (Dirksen et al., 2015, S. 75) zählen, gemessen. Für die Schulung Letztere wurden bewährte Übungen aus unterschiedlichen Testdesigns entnommen, die in der tabellarischen Abbildung 4 dargestellt und erläutert werden. So wurden beispielsweise Standübungen, aber auch Sportgeräte für das effektive Training genutzt. Jene Station, die sich mit dem möglichst exakten Werfen eines Balles in einem vorgegebenen Bereich beschäftigt, findet auch Berücksichtigung im empirischen Teil dieser wissenschaftlichen Arbeit (siehe Kapitel 5.3.3.).

Tabelle 4: Überblick über das koordinative Testdesign (vgl. Dirksen et al., 2015, S. 76)

Leistungsbereich	Aufgabe	Sportmotorischer Test
Gleichgewicht	Einbeinstand auf der T-Schiene (Anzahl der Fehler nach 60 Sekunden)	EuroFit (van Mechelen, 1991)
Räumliche Orientierung	Medizinballnummernlauf (Mittelwert der benötigten Zeit aus zwei Wertungsdurchgängen)	Orientierungstest nach Jung (in Hirtz, Hotz, & Ludwig, 2000)
Kinästhetische Differenzierung	Zielwerfen (Mittelwert der erreichten Punktzahl aus zwei Wertungsdurchgängen)	Münchener Fitnesstest (Rusch & Irrgang, 1994)
Auge-Hand-Koordination	Einhändiges Fangen (Mittelwert der gefangenen Bälle aus zwei Wertungsdurchgängen)	M-ABC für Kinder (Petermann, 2009)

Wie die Auswertung der Resultate mithilfe eines statistischen Programms zeigte, gab es sowohl positive als auch negative Entwicklungen beziehungsweise Tendenzen. Bezogen auf die koordinativen Kompetenzen der zu Unterrichtenden wurden, bei zwei Parametern – der Auge-Hand-Koordination sowie der Differenzierungsfähigkeit – statistisch signifikante Optimierungen bei der Experimentalgruppe festgestellt, die denen der Referenzpersonen überlegen waren. Die Werte bei den anderen beiden Eigenschaften reduzierten sich über die Untersuchung hinweg, wobei keine relevanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppierungen feststellbar waren. Bei den schulbezogenen Kompetenzen wurden drei unterschiedliche Resultate ermittelt (vgl. Dirksen et al., 2015). Bei den Schreibergebnissen beider Gruppen stiegen die Leistungen im Laufe der Studie an, jedoch ist die Entwicklung der Experimentalpersonen höher ausgefallen, wie die Abbildung 15 verdeutlicht. Dahingegen ist der Verbesserungsverlauf bei den arithmetischen Fertigkeiten im Schnitt bei beiden Testverbänden identisch, wobei die Kontrollgruppe bereits bei der Prä-Erhebung höhere Grundleistungen erzielen konnte. Entgegengesetzte Tendenzen liefert die Analyse der Lesefertigkeit der Lernenden, bei der zwar die Koordinationsgruppe ein besseres Ausgangsresultat erzielte, aber bei der abschließenden Datenerhebung schlechter abschnitt als der Referenzverband, welcher eine deutliche Steigerung zeigte. Diese Ergebnisse stehen zum Teil in Widerspruch mit den Messungen von Resaland et al. (2016), bei denen lediglich im Bereich der arithmetischen Leistungen signifikante Optimierungen festgestellt wurden, jedoch nur bei den vergleichsweise leistungsschwächeren Kindern. Pindus et al. (2016) konnten in ihrem wissenschaftlichen Beitrag auch keine generelle Korrelation nachweisen, sondern nur einen Effekt auf die bei Dirksen et al. (2015) nicht berücksichtigte Buchstabierkompetenz feststellen.

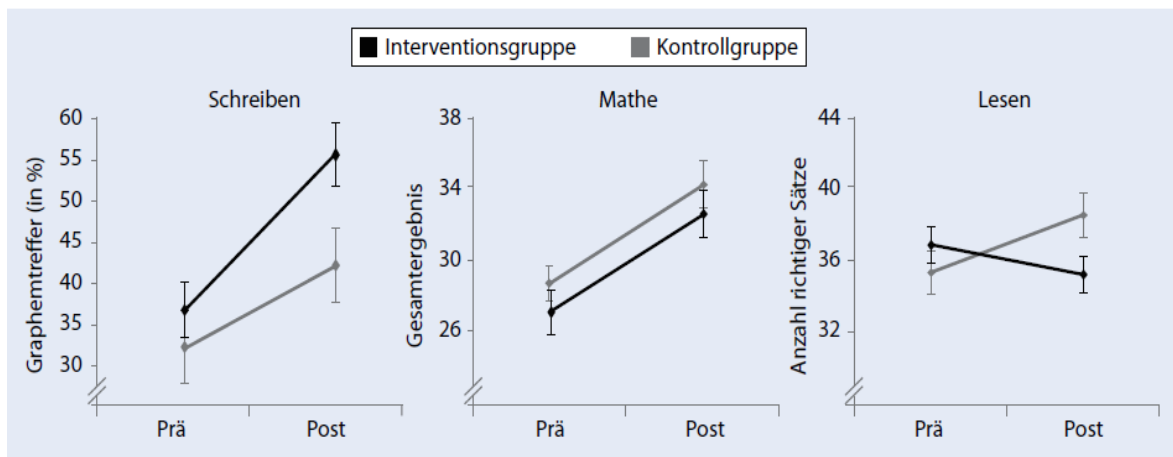


Abbildung 15: Leistungsverlauf der schulbezogenen Kompetenzen (Dirksen et al., 2015, S. 78)

Neuere Untersuchungsergebnisse lieferten McMorris & Hale (2015), die sich mit der Fragestellung beschäftigten, mit welcher Bewegungsintensität eine förderliche und messbare Steigerung der Einsatzgeschwindigkeit der kognitiven Leistungsfähigkeit möglich ist. Sie gingen davon aus, dass sich der Einsatz kognitiver Fähigkeiten und deren Gebrauch durch einen bestimmten Anforderungsgrad der Sporthandlung merklich optimieren lassen. Auf neurochemischer Ebene wird durch ein bestimmtes körperliches Beanspruchungslevel ein gewisser Punkt erreicht, an dem die Konzentration von Noradrenalin sowie Adrenalin exponentiell ansteigt. Diese Stelle bezeichnen McMorris & Hale (2015) als Katecholamin-Schwelle, welche durch Bewegung und Sport beeinflusst wird und zu einer Steigerung der Konzentration diverser Neurotransmitter wie Dopamin oder Adrenalin im Gehirn führt (Kitaoka et al., 2010; Yanagisawa et al., 2010). Gerade in Enzephalon-Arealen, die etwa für das Arbeitsgedächtnis, die Aufmerksamkeit oder das Langzeitgedächtnis zuständig sind, kommen diese Botenstoffe vermehrt bei der Übertragung von Nervensignalen zum Einsatz und werden deshalb im Zusammenhang mit einer Steigerung kognitiver Leistungsfähigkeit gesehen, wenn sie – begünstigt durch eine akute motorische Intervention – in erhöhtem Ausmaß im Körper vorliegen. Aber auch andere Schwellen wie die des Blutlaktats oder die Grenze zwischen der aeroben und anaeroben Energieversorgung des Organismus (ventilatorische Schwelle) gelten als jene Punkte, ab denen es zu einer signifikanten Steigerung der kognitiven Leistung kommt.

Insgesamt wurden in die Meta-Analyse von McMorris & Hale (2015) 43 verschiedene Publikationen zur beschriebenen Thematik miteinbezogen und einer Adaptierung unterzogen, damit vergleichbare Effektstärken ermittelt werden können. Die Auswertung ergab, dass Sport in einer moderaten Intensität (zwischen 40 und 79 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme) zwar zur Steigerung der mentalen Verarbeitungsgeschwindigkeit führen kann, jedoch nur dann, wenn die Bewegungssituation oder -aufgabe vom Sportler

oder der Sportlerin als anspruchsvoll sowie herausfordernd empfunden wird. Diese Stresssituation sorgt dafür, dass es zu einem Anstieg des Katecholamin-Spiegels im Individuum kommt und die kognitive Leistungsfähigkeit positiv beeinflusst wird (vgl. Wann, Audet & Anisman, 2010; McMorris & Hale, 2015; McMorris, 2016).

Aktuellere Publikationen (vgl. McMorris, 2016) vertreten nach wie vor die Ansicht, dass sich die Geschwindigkeit, mit der Aufgabenstellungen durch den Einsatz geeigneter mentaler Fähigkeiten erledigt werden, positiv durch akute Sportinterventionen beeinflussen lässt. Mithilfe moderater körperlicher Leistungen, die sich über einen Zeitraum von elf bis maximal 20 Minuten erstrecken, lässt sich die kognitive Leistung verbessern, insbesondere bei Aufgabenstellungen, die bereits bekannt oder gar beherrscht werden (Dietrich & Audiffren, 2011). Wird die Dauer aber auf über 60 Minuten erweitert, so kann das zu einer merkbaren Verschlechterung führen (Moore, Romine, O'Conner & Tomporowski, 2012). Diese Erkenntnisse widersprechen zum Teil den Meinungen von Chang et al. (2012), denen eine akute Sportintervention von unter 20 Minuten zu kurz ist, um die für die Hebung der kognitiven Leistungsparameter notwendigen Prozesse im Individuum zu starten. Auch eine höhere Belastungsintensität der gewählten Bewegungsform, welche über 80 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme liegt, scheint sich förderlich auf mentale Prozesse wie die Ausübung automatisierter Vorgänge sowie die Bewältigung von Lernaufgaben auszuwirken (vgl. Griffin et al., 2011; McMorris, 2015).

Eines der wenigen Autorenteams, welche sich mit der Thematik in deutscher Sprache auseinandersetzen, sind Dadaczynski & Schnieman (2015). Für ihren untersuchungsübergreifenden Beitrag wurden insgesamt 14 verschiedene Studien aus unterschiedlichen Ländern herangezogen und einander gegenübergestellt. Die Besonderheit dieser Arbeit ist die ausschließliche Berücksichtigung von Trendstudien, die verschiedene Parameter zu unterschiedlichen Messzeitpunkten erheben und somit einen Vergleich über längere Spannen erlauben. Im Fokus steht das Ausmaß der akademischen oder schulischen Leistungsfähigkeit sowie dessen Beeinflussbarkeit durch körperliche Aktivität. Ergänzt wird die Fragestellung durch die Abklärung des Stellenwerts der motorischen Verfassung einer Person und des daraus resultierenden Benefits für die Kognition (vgl. Dadaczynski & Schnieman, 2015). Somit untergliederte sich die Forschungsarbeit in zwei unterschiedliche Sparten, auf die hin die verwendeten Ergebnisse sowie Erkenntnisse analysiert wurden. Es zeigte sich, dass knapp ein Dutzend der wissenschaftlichen Arbeiten für einen signifikanten Einfluss von Bewegung und Sport sowie der körperlich-motorischen Verfassung auf die Leistung bei schulischen Tests in Form von beispielsweise Schularbeiten eintreten. Jedoch kritisieren die Autoren (2015), dass nur eine knappe Mehrheit der vorliegenden Forschungsarbeiten ein ausreichendes Niveau im Hinblick auf die angewandte

Untersuchungsmethodik aufweist, wodurch sich eine stärkere Streuung der Ergebnisse ergibt. Sowohl der Fitnesslevel als auch die sportliche Betätigung sind in der Lage, einen messbaren Effekt zu generieren, wobei ersterer Faktor den Studienergebnissen zufolge stärker zum Tragen kommt. Diese Verbesserung sorgt dafür, dass die Schüler und Schülerinnen von kontinuierlichem Sporttreiben im Kontext Schule profitieren können. Dadaczynski & Schniemann (2015, S. 190) führen als Beispiele die „[...] schulspezifische Testleistung und den Notendurchschnitt [...]“ an. Aus diesem Grund plädieren die beiden Autoren dafür, dass dem Bewegungsverhalten und dem Fitnesslevel der zu Unterrichteten deutlich mehr Beachtung geschenkt werden sollte.

Von Norris et al. (2015) wurde – im Vergleich zu den anderen Studien und Untersuchungen – neben der Frage nach den Auswirkungen von Unterrichtssettings, in denen aktive körperliche Betätigung während des Lehr-Lern-Prozesses vorgesehen war, auf den schulischen Erfolg auch der Effekt auf das Ausmaß des freiwilligen Sporttreibens behandelt. Indizien, die für den ersten vermuteten Zusammenhang sprechen, wurden bereits von anderen Experten (vgl. Best, 2010; Tomporowski, Lambourne & Okumura, 2011) in Untersuchungen festgestellt. Nach entsprechender Literatursichtung wurden schlussendlich elf verschiedene Studien ausgewählt, die in die systematische Auswertung miteinbezogen wurden. Dabei war es Norris et al. (2015) ein Anliegen, lediglich jene Resultate zu verwenden, bei denen ein regulärer Unterricht stattfand, der um aktive sportspezifische Elemente erweitert wurde. Damit sind aber etwa keine bewegten Unterbrechungen oder der konventionelle Sportunterricht gemeint. Das Alter der Schüler sowie Schülerinnen stellte kein Auswahlkriterium dar, sodass sich die Ergebnisse nicht nur auf einen Jahrgang beschränken lassen. Insgesamt zeigte sich, dass ein Großteil der erhobenen Daten dafür spricht, dass sowohl Burschen als auch Mädchen durch das gesteigerte Sporttreiben während des Unterrichtsgeschehens im Setting Schule von höherem Lern-Erfolg profitieren. Speziell die schulbezogenen Kompetenzen im Bereich der Arithmetik, des Lesens sowie Buchstabierens verbesserten sich bei einem Großteil der Experimentalgruppen, wohingegen die Kontrollpersonen lediglich eine Steigerung bei rechnerischen Aufgabestellungen erzielen konnten. Diese Ergebnisse eröffnen erneut die Diskussion um den Stellenwert von Bewegung und Sport zur Beeinflussung bestimmter schulbezogener Leistungsparameter, da – wie bereits erwähnt – diverse Autoren mit ähnlichen Untersuchungen andere Tendenzen und Entwicklungsverläufe feststellen konnten (vgl. Diksen et al., 2015; Pindus et al.; Resaland et al., 2016). Jedoch führen Norris et al. (2015) auch zwei Studien (vgl. Helgeson, 2013; Graham et al., 2014) an, die keinen signifikanten Benefit durch die erweiterte Möglichkeit sportlicher Betätigung während des Unterrichts auf die Höhe und das Ausmaß des erzielten Lernerfolges feststellen konnten.

Hinsichtlich der körperlichen Leistungsfähigkeit sowie des Ausmaßes an Sport, welches durch das zusätzliche Sporttreiben im Unterrichtsgeschehen beeinflusst werden sollte, gibt es laut Norris et al. (2015) ebenfalls verschiedene Erkenntnisse. Jedoch zeigte sich auch bei dieser wissenschaftlichen Fragestellung, dass viele Experten und Expertinnen von einer positiven Korrelation sprechen (vgl. Liu, Hu & Ma, 2008; Donnelly et al., 2009; Erwin, Beighle, Morgan & Noland, 2011). Das äußert sich unter anderem darin, dass zwischen den beiden sportlastigen Lehr-Lern-Situationen ein Leistungszuwachs verzeichnet werden kann. Auch das außerschulische Bewegungsverhalten wurde im positiven Sinne beeinflusst. Jene Schüler und Schülerinnen, die Teil der Experimentalgruppe waren, investierten am Wochenende im Schnitt fast 20% mehr Zeit in die Ausübung einer körperlichen Aktivität im Vergleich zu den Teilnehmern und Teilnehmerinnen des konventionellen Unterrichts (vgl. Donnelly et al., 2009).

Eine andere Gruppe, bestehend aus diversen Experten und Expertinnen (vgl. Resaland et al., 2016), widmete sich nahezu derselben Fragestellung wie Dadaczynski & Schniemann (2015), beschränkte sich aber rein auf die Höhe des Einflusses, welcher durch Bewegung und Sport bei der schulischen Leistungsfähigkeit von Kindern erreicht werden kann. Sie stützt sich dabei auf die zahlreichen Erkenntnisse anderer Forscher und Forscherinnen, die in ihren Arbeiten die förderliche Wirkung von körperlicher Aktivität auf kognitive Fähigkeiten wie etwa die Konzentrationsleistung oder die Aufmerksamkeitsfähigkeit (vgl. Fedewa & Ahn, 2011; Mura et al., 2015; Norris et al., 2015; Donnelly et al., 2016) beschreiben. Gerade durch die Steigerung der angeführten mentalen Fähigkeiten profitieren Lernende in Schulen von einer optimierten Funktionsweise der benötigten Kompetenzen. Jedoch kritisieren Resaland et al. (2016), dass es zwar zahlreiche Erkenntnisse darüber gibt, dass ein zusätzliches Angebot an Sportstunden keine leistungsmindernde Auswirkung auf die kognitiven Fähigkeiten von Kindern und Jugendlichen hat, jedoch nur wenig aussagekräftige Ergebnisse darüber vorhanden sind, ob eine Ergänzung der im Curriculum vorgesehenen Sporteinheiten eine messbare Verbesserung der schulbezogenen mentalen Leistungen zufolge hat. Aus diesem Grund stellte das Team, bestehend aus 20 verschiedenen Personen, eine Untersuchung mit 10-jährigen norwegischen Schülern sowie Schülerinnen über einen Zeitraum von sieben Monaten an. Dabei wurde unter anderem auch die Rolle des Geschlechts sowie die sozioökonomische Situation des jeweiligen Probanden sowie der jeweiligen Probandin berücksichtigt. Letztgenannter Aspekt spielte auch bei Dadaczynski & Schniemann (2015) eine signifikante Rolle beim Grad der Ausprägung bestimmter kognitiver Parameter.

Für die Untersuchung an den ausgewählten Schulen wurden gewisse Adaptierungen hinsichtlich der Unterrichtsgestaltung und des Angebots an körperlicher Aktivität vorgenom-

men. Dazu zählten etwa bewegte Lehr-Lern-Konzeptionen in den Fächern Norwegisch, Mathematik und Englisch, bei denen die Möglichkeit für zumindest 30 Minuten körperliche Aktivität vorhanden ist. Zudem wurde das Bewegungsangebot um kurzzeitige aktive Pausen im Ausmaß von etwa fünf Minuten während der Stunden sowie in Form von einer motorischen Hausübung, welche von den Lehrkräften in Auftrag gegeben wurden erweitert. Durch alle Adaptierungen erhalten die Lernenden somit die Chance, sich rund fünf Stunden motorisch zu betätigen, wohingegen in den Kontrollschulen das herkömmliche Sportpensum von lediglich etwas mehr als zwei Stunden beibehalten wurde (vgl. Resaland et al., 2016). Die beteiligten Pädagogen sowie Pädagoginnen der Pilotschulen wurden instruiert, ein möglichst abwechslungsreiches Sportprogramm anzubieten und auch die weniger interessierten sowie schwächeren Lernenden zur Beteiligung zu bewegen. Mithilfe spezieller Messungen wurde auch das motorische Leistungsniveau der beteiligten Schüler und Schülerinnen erhoben, wodurch exaktere Aussagen hinsichtlich des Verbesserungspotenzials ausgewählter mentaler Fähigkeiten durch ein erhöhtes Bewegungsangebot möglich sind.

Die Auswertung der Ergebnisse bei den verbleibenden Probanden und Probandinnen zeigte, dass die schulbezogene Leistung über die gesamte Stichprobe hinweg nicht signifikant durch die Modifizierung der Schule hin zu einem körperlich aktiveren Lehr-Lern-Umfeld verbessert wurde. Lediglich die motorisch schwächeren zu Unterrichtenden konnten durch die Intervention im Ausmaß von sieben Monaten eine Optimierung im Bereich ihrer mathematischen Kompetenzen erreichen (vgl. Resaland et al., 2016). Nichtsdestotrotz zeigt das umfangreiche Ergebnis der Studie ähnlich wie bei anderen Untersuchungen auf, dass weiterer Forschungsbedarf bezüglich der Relevanz von Sport im Kontext Schule zur Optimierung diverser kognitiver Parameter besteht (vgl. Howie and Pate, 2012; McMorris, 2016).

Im selben Jahr stellten Pindus et al. (2016) ein ähnliches empirisches Experiment an, bei dem die Auswirkungen von moderaten sowie kräftigen körperlichen Belastungen auf kognitive Parameter wie etwa die schulbezogenen Leistungen im Bereich des Sprechens, Lesens sowie Rechnens gemessen wurden. Zudem ermittelten die Experten und Expertinnen auch andere mentale Aspekte wie den Ausprägungsgrad des Arbeitsgedächtnisses oder der Verhaltenskontrolle der Kinder. Die Intervention dauerte eine Woche und wurde mithilfe unterschiedlicher Gerätschaften sowie Erhebungsinstrumente erhoben, die zum Teil den von Resaland et al. (2016) genutzten Methoden in groben Zügen ähneln. Der Alters-Mittelwert der aus 74 Kindern bestehenden Stichprobe betrug 8,64, wobei das Verhältnis zwischen Burschen und Mädchen nahezu ausgeglichen war.

Für die Berücksichtigung der Testergebnisse waren von Pindus et al. (2016) gewisse Kriterien im Vorfeld definiert worden. Dazu zählte beispielsweise ein Intelligenzquotient von über 85, der durch eine geeignete Messung erhoben wurde. Des Weiteren war es notwendig, dass die verwendeten Accelerometer für zumindest zehn Stunden oder mehr von den Probanden sowie Probandinnen getragen wurden, sodass eine ausreichend große Menge an aussagekräftigen Daten zur Verfügung stand. Vom gesundheitlichen Standpunkt her war es notwendig, dass die Schüler und Schülerinnen weder physische noch psychische Einschränkungen aufwiesen. Dazu zählten etwa eine Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätsstörung und motorische Limitierungen. Jene Lernenden, die infolge dieser Aspekte von der Testgruppe ausgeschieden worden waren, galten als Referenz- oder Kontrollgruppe für einige Auswertungsschritte.

Die Ergebnisse zeigten, dass es offensichtlich einen positiven Zusammenhang zwischen aeroben, körperlichen Belastungen sowie der kognitiven Verhaltenskontrolle bei Schülern und Schülerinnen gibt. Diese Erkenntnis zeigt sich unter anderem dann, wenn die Kinder sich auf wesentliche Lehr-Lern-Prozesse fokussieren und Ablenkungen gezielt vermeiden sollen (vgl. Pindus et al., 2016). Andere Forschungsgruppen konnten ebenfalls ähnliche Tendenzen hinsichtlich der beschriebenen Korrelation nachweisen (vgl. Pontifex et al., 2011; Moore et al., 2013; Audiffren & André, 2015). Von dieser Optimierung kann den Forschern und Forscherinnen nach in weitere Folge auch der schulische Erfolg profitieren. Speziell eine sportliche Intervention in moderatem Ausmaß im Anschluss an den Schulaufenthalt kann die mentale Fähigkeit zur Kontrolle des eigenen Verhaltens signifikant steigern, wie die Untersuchung gezeigt hat (vgl. Pindus et al., 2016). Auch bei schulbezogenen Leistungen wie dem Buchstabieren von Wörtern oder Sätzen kann eine Verbesserung erzielt werden – das erwirkte Ausmaß ist aber umstritten (vgl. Lambourne et al., 2013) und hängt zum Teil mit der Selektion der Probanden und Probandinnen sowie der schlussendlich vollzogenen Stichprobenzusammensetzung zusammen. Kein signifikantes Ergebnis konnte bei der Fragestellung nach dem Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität sowie dem Arbeitsgedächtnis erzielt werden, was sich mit früheren Untersuchungserkenntnissen einer anderen Expertengruppe deckt (vgl. Syvaioja et al., 2014).

Die letzte, sehr aktuelle Meta-Analyse, die in dieser Arbeit erläutert und deren Ergebnisse thematisiert werden, stammt von Donnelly et al. (2016) und widmet sich zwei zum Teil umfangreichen Fragestellungen. Zum einen behandeln die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen die Wirkung von Bewegung und sportlicher Betätigung auf diverse kognitive Parameter, den Aufbau und die Weiterentwicklung des Enzephalons beziehungsweise bestimmter zugehöriger Areale sowie die Lernleistung von Kindern im Alter zwischen fünf

bis 13 Jahren. Andererseits widmet sich das Team rund um Donnelly den differenziellen Bewegungsmöglichkeiten im Kontext ihrer Auswirkungen auf den Ausprägungsgrad von Konzentration und Aufmerksamkeit. Letzter Fähigkeit wird in diesem Artikel – wie auch von anderen Autoren und Autorinnen – den exekutiven Funktionen zugeordnet (vgl. Jäncke, 2013; Kerntke, 2014; Donnelly et al., 2016), wohingegen die Konzentrationsfähigkeit parallel dazu existiert. In die Analyse selbst wurden schlussendlich 137 verschiedene Studien integriert und deren Ergebnisse miteinander verglichen. Diese beinhalteten – je nach Design und Umfang – 24 bis hin zu 224 Probanden und Probandinnen im Alter von sechs bis 13 Jahre. Die Auswertung von Donnelly et al. (2016) zeigte, dass der überwiegende Teil der vorliegenden Daten deziert aufzeigen kann, dass einzelne akute Sportinterventionen, aber auch das individuelle körperliche Fitnessniveau mit einer Optimierung der kognitiven Funktionalität einhergeht. Lediglich zwei der beinhalteten Studien (vgl. Mokgothu & Gallagher, 2010; Chaddock et al., 2012) konnten keine signifikanten Testresultate betreffend die beschriebene Korrelation generieren. In gewissen Analysen wurden auch individuelle Kausalzusammenhänge aufgestellt. So schreiben etwa Scudder et al. (2014) dem Fitnesslevel eines Kindes eine beeinflussende Funktion im Hinblick auf die Ausprägung des Arbeitsgedächtnisses zu. Auch Syväoja et al. (2014) berichten von einem merkbaren Anstieg der Konzentrationsleistung durch moderate sportliche Aktivität und die Rolle, welche die sportlich-körperliche Konstitution dabei spielt. Einen besonderen Stellenwert in der Meta-Analyse nimmt auch eine Trendstudie von Chaddock et al. (2012) ein, die den Zeitrahmen der Untersuchung und der damit verbundenen Erhebung von Daten auf 12 Monate angesetzt haben. Anhand des individuellen Sauerstoffmaximums wurden die Jugendlichen in sehr fit (über dem 70. Perzentil) sowie weniger fit (unter dem 30. Perzentil) unterteilt. Nach einem Jahr, in dem in regelmäßigen Abständen aerobe Interventionen vollzogen wurden, erreichten die fitteren Kinder höhere Ergebnisse bei entsprechenden kognitiven Testungen in den Bereichen Genauigkeit und mentale Verarbeitungsgeschwindigkeit als die schwächere Referenzgruppe. Hinsichtlich der Wirksamkeit einmaliger Bewegungsinterventionen bringen Donnelly et al. (2016) klar zum Ausdruck, dass die unterschiedlichen Studien-Designs und Erhebungsinstrumente stark variieren, sodass der Vergleich teilweise kaum bis gar nicht möglich ist. Nichtsdestotrotz tendieren die Erkenntnisse in Richtung einer positiven Korrelation: „Regardless of the inconsistencies across study results, the overall findings support a beneficial relationship between acute physical activity and cognitive performance“ (Donnelly, 2016, S. 1203). Auf neuro-naler Ebene gibt es ebenfalls Anzeichen dafür, dass sich durch körperliche Aktivität die Gehirnstruktur entsprechend adaptieren lässt, wovon unterschiedliche kognitive Fähigkeiten im Grad ihrer Ausprägung profitieren (vgl. Chaddock et al., 2010; Krafft et al., 2014).

Dabei entscheidet Donnelly et al. (2016) zufolge auch der Fitnesslevel der Probanden und Probandinnen darüber, in welchem Ausmaß die neuronale Plastizität vor sich geht.

Zusammenfassend betonen Donnelly et al. (2016), dass die überwiegende Mehrheit der verwerteten Daten die Tatsache untermauert, dass sowohl die sportlich-körperliche Konstitution als auch unterschiedliche Formen von bewegungsbezogenen Maßnahmen zu einer förderlichen Entwicklung des Gehirns und der daraus hervorgehenden kognitiven Funktionen beitragen können. Im Hinblick auf die schulbezogenen Leistungen, die – wie bereits mehrfach erwähnt – in Zusammenhang mit kognitiven Parametern wie der Konzentration, Aufmerksamkeit oder Gedächtnisprozessen auf unterschiedlichen zeitlichen Ebenen stehen, gibt es verschiedenste Resultate und Tendenzen. Dies sei Donnelly et al. (2016) unter anderem darauf zurückzuführen, dass bei der Erhebung und Wahl der Messinstrumente nicht immer identische Methodiken gewählt werden, wodurch keine einheitliche Aussage möglich ist.

Somit hat die hermeneutische Auseinandersetzung mit ausgewählter, zum Teil sehr aktueller Literatur zweifelsfrei dargelegt, dass Sport durchaus das Potenzial in sich trägt, die Kognition von Kindern und Jugendlichen in vielerlei Hinsicht positiv zu beeinflussen. Gerade im Kontext Schule wäre es ratsam, mit gezielten sportlichen Intervention zu arbeiten und den zu Unterrichtenden die Wichtigkeit von Bewegung aufzuzeigen – sowohl für die physischen als auch psychischen Komponenten des Körpers. Unklärt bleiben nach wie vor die exakten Mechanismen, die hinter den Optimierungsprozessen stehen, sowie eine allgemeingültige Unterrichtsmethodik, um diese zu initiieren. Zwar wurden einige Vermutungen hinsichtlich der erhöhten Sauerstoffversorgung des Gehirns sowie der Stimulierung verschiedenener Hormone und die damit verbundene Neurogenese als mögliche Erklärungsansätze plausibel dargestellt, es mangelt jedoch an evidenten Forschungsergebnissen, die zur Absicherung oder Widerlegung der Hypothesen notwendig wären.

5. Auswirkungen verschiedener Interventionen auf die Konzentrationsleistung von Lernenden – ein empirischer Test

Gerade in den letzten Jahren sind bereits viele verschiedene wissenschaftliche Studien zu den Auswirkungen von Bewegung und Sport auf unterschiedliche kognitive Leistungsparameter wie etwa auf die exekutiven Funktionen allgemein oder auf einzelne Aspekte – beispielsweise die Aufmerksamkeit sowie Konzentration von Schülern – vollzogen worden, wobei die Resultate jedoch zum Teil deutlich variierten (siehe das vorherige Kapitel). Aus diesem Grund war es von großem Interesse, die bestehenden Daten und Untersuchungen mit aktuellen Erkenntnissen aus einer heimischen Schule abzugleichen und gegebenenfalls Schlüsse für bereits bestehende Bewegungsempfehlungen abzuleiten. Die nachfolgenden Unterkapitel widmen sich nicht nur dem Setting, in welchem die Untersuchung stattgefunden hat, sondern stellen auch die Stichprobe, das Untersuchungsdesign, die genauen Schritte bei der Erhebung, Auswertung sowie die obligatorischen Ergebnisse in den Mittelpunkt.

5.1. Ausgangslage und Basis des Untersuchungsdesigns

Ist die Rede vom Forschungsdesign bei einer wissenschaftlichen Arbeit, so ist darunter „[...] der Vorgang empirischer Überprüfung theoretischer Hypothesen [...]“ (Atteslander, 2008, S.44) zu verstehen. Damit die empirische Testung erfolgreich durchgeführt und die Erkenntnisse wissenschaftlichen Kriterien wie etwa der Objektivität, Validität oder Reliabilität standhalten können, bedarf es einiger vorausgehender Überlegungen hinsichtlich des geeigneten Untersuchungsdesigns. Dieses sollte nach Möglichkeit so gestaltet werden, dass die formulierten Fragestellungen dieser Diplomarbeit sowie die dazugehörigen Fragestellungen möglichst eindeutig beantwortet werden können. Dafür empfiehlt sich laut Kromrey (2006) beispielsweise ein Experiment, auf welches vor allem in sozialwissenschaftlichen Disziplinen vermehrt zurückgegriffen wird. Dadurch sei es möglich, wissenschaftliche „Vermutungen“ und Thesen auf den Prüfstand zu stellen und unter kontrollierbaren präparierten Bedingungen kritisch zu hinterfragen. Ein solches Experiment zu der Frage nach den Auswirkungen von Interventionen auf die Konzentrationsleistung von Jugendlichen wurde auch von Autoren wie Budde et al. (2008) durchgeführt und dient als Basis für die Forschungsleistung, die im Zuge dieser Diplomarbeit stattfindet.

Das wissenschaftliche Team rund um Budde et al. (2008) stellte die Vermutung auf, dass sich bereits eine kurze sportlich-koordinative Intervention im Ausmaß von zehn Minuten auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Schülern und Schülerinnen förderlich auswirkt. Dafür erstellten die Forscher und Forscherinnen eine Stichprobe, bestehend aus 11 zu

Unterrichtenden im Alter zwischen 13 und 16 Jahren, die sich einem speziellen Konzentrations- sowie Aufmerksamkeitstest – dem d2-Test von Brickenkamp aus dem Jahre 2002 – unterzogen haben. Im Anschluss wurden die Jugendlichen in zwei Gruppen unterteilt: die Experimental-Gruppe, die sich aus 47 Lernenden zusammensetzt, sowie die Kontrollgruppe, in der sich die restlichen 52 Testpersonen wiedergefunden haben. Die Differenz zur ursprünglichen Stichprobengröße lässt sich nach Budde et al. (2008) auf Missverständnisse bei der Instruktion des Tests zurückführen, die zu verfälschten Werten geführt hat. Auf die genaue Testzusammensetzung sowie die Änderungen zur „neueren“ Version, dem d2-R-Test, wird jedoch zu einem späteren Zeitpunkt näher eingegangen.

Die Versuchsgruppe unterzog sich unmittelbar nach Absolvierung des d2-Tests einer zehnminütigen koordinativen Intervention, wohingegen die Kontrollpersonen für denselben Zeitraum an einer konventionellen Bewegungs- und Sport-Einheit teilnehmen mussten, bei der es keinen besonderen Schwerpunkt auf koordinative Elemente gab (vgl. Budde et al., 2008). Die Übungen für die Koordinationsgruppe lehnten sich dabei an spezielle Übungen aus dem Bereich des Fußballs (vgl. Schreiner, 2000) sowie an den Münchner Fitnesstest (vgl. Rusch & Irrgang, 2001) an. Während der Testung wurde die Herzfrequenz der Testpersonen mithilfe entsprechender Geräte in einem Intervall von fünf Sekunden überwacht, um die Art der körperlichen Aktivität – koordinativ oder konditionell – unterscheiden zu können. Direkt im Anschluss erfolgte eine zweite Erhebung der kognitiven Leistungsfähigkeit hinsichtlich der „konzentrierten Aufmerksamkeit“ (vgl. Brickenkamp, Schmidt-Atzert & Liepmann, 2010), an der wieder die Probanden sowie Probandinnen beider Gruppen teilgenommen haben. Die Ergebnisse dieser Testungen wurden mithilfe unterschiedlicher statistischer Testverfahren mit dem Programm SPSS ausgewertet. Es zeigte sich, dass die Konzentrationsleistung in beiden Gruppen gestiegen ist, jedoch die Differenz in der Versuchsgruppe zum Referenzwert von der Prätestung deutlich höher ausfiel. Aus diesem Grund plädieren die Autoren und Autorinnen dafür, kurze koordinative Interventionen in den Schulalltag einzubauen. Dadurch kommt es allem Anschein nach zur Voraktivierung bestimmter Areale im Gehirn, die für die Aufmerksamkeits- sowie Konzentrationsleistung beim Menschen verantwortlich gemacht werden können (vgl. Budde et al., 2008). Eine Schwäche sahen die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen jedoch bei der Rolle des Lerneffektes, welcher nicht klar von jenem Einfluss, der durch die koordinative Intervention erfolgte, getrennt werden konnte. Unter Umständen hätte es auch eine sinnvolle Ergänzung sein können, eine dritte Gruppe in das Untersuchungsdesign einzubauen, die sich keiner sportlichen Intervention unterzieht. Somit wären klarere Differenzen erkennbar gewesen und die Rolle des Sports hätte besser beurteilt werden können.

5.2. Der d2-R-Test zur Erhebung kognitiver Parameter

Im Gegensatz zum d2-Test, welcher bei Budde et al. (2008) zum Einsatz gekommen ist, wurde für die empirische Untersuchung eine neuere Version verwendet, die von Brickenkamp et al. (2010) als „d2-Revision“ bezeichnet wird. Die Urform dieses Tests wurde bereits im Jahre 1962 zusammengestellt und seitdem kontinuierlich Weiterentwicklungen sowie Adaptierungen unterzogen. Er dient unter anderem dazu, verschiedene kognitive Parameter wie etwa das generelle mentale Leistungsniveau, aber auch Subkomponenten wie die Konzentrationsfähigkeit, die Aufmerksamkeit, die Geschwindigkeit von geistigen Vorgängen, die Zeit bis zur bewussten Wahrnehmung bestimmter Gegenstände sowie Inhalte und die kognitive Verarbeitung jener Wahrnehmungsobjekte zu beurteilen. Dabei sind einige Definitionen unentbehrlich, welche von Brickenkamp et al. (2010) wie folgt zusammengefasst werden:

- **Schnelligkeit von Denkprozessen:**
Wird in der Literatur häufig auch als „mental speed“ bezeichnet und steht nicht selten in Zusammenhang mit der Höhe der Intelligenz einer Person, wobei sich Experten sowie Expertinnen darüber nicht immer einig sind (vgl. Schweizer, 2005; Sheppard & Vernon, 2008). Der Begriff lässt sich nicht eindeutig definieren und umfasst unterschiedliche Aspekte, die von Aufrufgeschwindigkeit bereits erworbenen Wissens in bestimmten Gehirnarealen bis hin zur Verarbeitungsgeschwindigkeit momentan wahrgenommener Inhalte reichen.
- **Wahrnehmungsgeschwindigkeit:**
Dieser Aspekt, welcher laut Brickenkamp et al. (2010) einer eindeutigeren Abgrenzung von „mental speed“ bedarf, wird im englischsprachigen Raum auch als „perceptual speed“ beschrieben. Autoren wie Horn & Blankson (2005) zufolge lässt sich die Höhe dieser Teilkomponente der Kognition darüber definieren, wie schnell ein Individuum zwischen ähnlichen, aber dennoch unterschiedlichen visuell wahrgenommenen Mustern und Informationen differenzieren kann.
- **Bearbeitungsgeschwindigkeit:**
Auch diese kognitive Eigenschaft wird durch den d2-R-Test überprüft, da es sich bei der Geschwindigkeit der Bearbeitung um „Arbeitstempo, Auffassungsgleichheit und Konzentrationskraft beim Lösen einfach strukturierter Aufgaben von geringem Schwierigkeitsgrad“ (Jäger, Süß & Beauducel, 1997, S. 6) handelt.

5.2.1. Unterschiede zum bisherigen d2-Test (9. Auflage)

Damit der Test erfolgreich durchgeführt werden kann und es zu keiner Verfälschung kommt, sind verschiedene Materialien notwendig, die sich aber zwischen dem d2- und

dem aktuelleren d2-R-Test einigen Veränderungen unterzogen haben. Allen voran steht die Testerklärung, welche sowohl verbal also auch schriftlich in einer abgewandelten und stark vereinfachten Form erfolgt. Ein besonderes Merkmal dieser Erläuterungen ist der vorgegebene Text, welcher vom Instruktor oder der Instruktorin vorgelesen werden soll (vgl. Brickenkamp et al., 2010). Hier sehen Daseking & Putz (2015) jedoch Verbesserungspotenzial, da der Verbalisierungsvorschlag zwar für ältere Probanden sowie Probandinnen verfasst, eine Version für jüngere Personen wie beispielsweise Schüler und Schülerinnen aber nicht angeführt ist. Zudem gibt es kleinere Differenzen zwischen den Erklärungen, welche die Testpersonen auf der Kurz-Anleitung vorfinden, und den verbalen Erläuterungen. Dadurch sei es durchaus möglich, dass Missverständnisse bei den Vorgaben auftreten, wodurch die Höhe des Testergebnisses negativ beeinflusst werden könnte (vgl. Daseking & Putz, 2015). Insgesamt betrachtet wurden die Erklärungen gekürzt und die wichtigsten Punkte besonders hervorgehoben.

Damit die Vorgaben klarer werden und die Fehleranfälligkeit während der Testbewältigung weiter reduziert wird, weisen beide Versionen des d2-Tests eine Probereihe auf, an der die Testsubjekte ohne Zeitdruck üben können. Des Weiteren werden die anzustreichenden Inhalte sowie die zu vermeidenden Zeichen dezidiert angeführt (vgl. Brickenkamp et al., 2010) und der d2-Revisions-Test um eine zweite Probezeile erweitert, bei der die Testpersonen ebenfalls ihr Verständnis vom Testprozedere überprüfen können. Jedoch sind die richtigen Zeichen farblich hervorgehoben, wodurch das Verständnis und die Objektivität verbessert werden sollen. Gab es bei der vorherigen Version der Aufmerksamkeitsüberprüfung vier verschiedene Arten und Weisen, durch welche welche die Probanden sowie Probandinnen überprüft werden konnten, so entfällt eine der Variationen beim d2-Revisions-Test. Somit besteht laut Brickenkamp et al. (2010) nur noch die Möglichkeit zu folgenden Abläufen:

- I. Testbearbeitung, bei der die Aufforderung zum Zeilenwechsel aufgrund der Überschreitung der jeweiligen Bearbeitungszeit entfällt. Somit obliegt es den Testpersonen, wann sie mit welcher Zeile starten. Dadurch ist es aber in vielen Fällen nicht mehr möglich, die Schwankungen der einzelnen Kennwerte über die Blöcke hinweg zu beurteilen (vgl. Brickenkamp et al., 2010).
- II. Absolvierung der Prüfung mit der Instruktion, möglichst zügig und exakt zu arbeiten, sodass zwar ein hohes Tempo erreicht, aber dennoch kaum bis keine Verwechslungen oder Auslassungen auftreten (vgl. Brickenkamp, 2010). Diese Variante wurde auch für die empirische Untersuchung der Diplomarbeit verwendet.
- III. Prä-Post-Testsetting, bei dem die beforschten Männer und Frauen zwei Durchgänge absolvieren müssen. Dabei kommt es aber zwischen dem ersten und zwei-

ten Ablauf zu einem Wechsel jener Inhalte, die markiert werden sollen. Somit werden Brickenkamp et al. (2010, S. 17) zufolge „[...] die alten Distraktoren [...] zu Zielobjekten erklärt“.

Am Testbogen selbst wurden ebenfalls einige Adaptionen vorgenommen. Bei der bisherigen Version des d2-Tests, der in insgesamt neun Auflagen ausgegeben wurde, mussten die Testsubjekte insgesamt 47 Inhalte pro Zeile bearbeiten. Brickenkamp et al. (2010) stellten jedoch fest, dass Personen mit mental stärker ausgeprägten Fähigkeiten keine Probleme damit hatten, innerhalb der vorgegeben 20 Sekunden die Zielobjekte zu bearbeiten. Dem Umstand wurde im d2-Revisions-Test durch eine Zeilenerweiterung um zehn Zeichen bei unveränderter Zeit, welche den beforschten Teilnehmer und Teilnehmerinnen zur Verfügung steht, Rechnung getragen. Durch diese relative Steigerung von über 20 Prozent haben nicht nur begabtere Probanden sowie Probandinnen ein erhöhtes Anforderungsniveau zu bestreiten, sondern wird Brickenkamp et al. (2010) nach auch der sogenannte „Deckeneffekt“, der beim Anstehen am Ende einer Zeile durch eine zu geringe Anzahl an Zeichen oder zu großzügig gewählte Bearbeitungszeit entstehen kann (vgl. Bortz & Döring, 2007) vermieden. Die Verlängerung der Bearbeitungszeichen hatte auch zufolge, dass der bisher vorhandene Raum auf dem Bogen für erste Auswert-Prozesse genutzt werden konnte. Ein weiterer Effekt, der durch die Hebung der Anzahl der zu bearbeitenden Inhalte berücksichtigt werden musste, war laut Brickenkamp et al. (2010) die Stimmigkeit zwischen jenen Zeichen, die es zu streichen gilt, sowie den restlichen Objekten, die nach Möglichkeit vermieden werden sollten. Dafür mussten innerhalb der Reihen geringfügige Änderungen und bestimmte Zielsymbole adaptiert werden. Somit kamen die Urheber des d2-Tests auf ein Verhältnis von einem anzustreichenden Objekt zu einem Wert von etwas mehr als zwei vermeidbaren Inhalten.

Das Auswertungsprozedere, welches im Anschluss an die Testdurchführung folgt, erfuhr ebenfalls eine signifikante Veränderung. Fand die Resultatgewinnung bei der vorherigen Auflage des d2-Tests direkt auf dem Aufgabenblatt stand, das von den Probanden sowie Probandinnen bearbeitet wurde, so kommt in der aktuellsten Version Kohlepapier zum Einsatz, um die Markierungen unmittelbar auf einen dafür vorgesehenen Antwortzettel zu übertragen (vgl. Brickenkamp, 2010). Dadurch hat der Auswerter oder die Auswerterin einen besseren Überblick über die Menge der korrekt angekreuzten Inhalte sowie über die quantitative Ausprägung der Fehler. Diese Maßnahme sollte den Auswerteprozess valider und stabiler gegenüber Missinterpretation oder Fehlern bei der Berechnung verschiedener kognitiver Werte machen, wobei die Wirksamkeit laut Daseking & Putz (2015) im Vergleich zur bisherigen Auswertung mittels einer Spezialschablone nicht signifikant gesteigert werden konnte. Eine deutliche Veränderung gab es aber laut Brickenkamp et al.

(2010) bei der Auswertedauer, die um fast 50 Prozent von knapp neun auf fünfeinhalb Minuten reduziert werden konnte. Diese Messungen beziehen sich allerdings auf die Ergebnissicherung durch einen Laien – versierte Personen können diese Zeit deutlich unterschreiten.

Eine nennenswerte Adaptierung im Vergleich zur bisherigen Auflage des d2-Tests ist auch der Wegfall der ersten sowie letzten Buchstabenreihe, die bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden. Diese Maßnahme hat zur Folge, dass der gesamte Test in vier kleinere, unterordnete Gruppen unterteilt werden kann, die Brickenkamp et al. (2010) nach Auskunft darüber geben, wie der Leistungsverlauf des Probanden oder der Probandin im Laufe der Testung war. Die Gründe für den Wegfall der beiden beschriebenen Reihen sind unterschiedlich: Da der Testbogen ursprünglich mit der Rückseite in Richtung der Schüler und Schülerinnen gelegen ist und das Startkommando bereits in dieser Ausgangssituation erteilt wird, kann die Dauer bis zur Bearbeitung der ersten Zeichenzeile variieren. Die letzte Reihe birgt die Problematik, dass die Testpersonen trotz des letzten Stopp-Kommandos durch die Leitung weiterarbeiten, wodurch Verfälschungen möglich wären (vgl. Brickenkamp et al., 2010). Durch die Evaluierung der Testleistungen mithilfe des Kohlepapiers wurden auch bestimmte Kennwerte wie die Schnelligkeit bei der Bearbeitung angepasst und deren Auswertung simpler gestaltet. So ist es dem Auswerter oder der Auswerterin der Bögen nun möglich, direkt die Anzahl der korrekt markierten Zeichen auszulesen, wofür in der vorherigen Version des d2-Tests noch eine Art „Lineal“ notwendig gewesen ist (vgl. Brickenkamp et al., 2010). Dadurch kommt es – wie bereits erwähnt – zu einer deutlichen Zeit-Einsparung.

Abschließend ist anzumerken, dass sich die beiden Versionen der Tests in vielerlei Hinsicht stark ähneln. Allerdings stellten sich Experten und Expertinnen die Frage, inwiefern die Ergebnisse des bislang häufig angewandten d2-Tests mit denen des d2-R-Tests verglichen werden können und ob nach wie vor die Gütekriterien gemessen werden, welche ursprünglich vorgesehen waren. Es zeigte sich allerdings, dass – bis auf kleinere Abweichungen bei den Mittelwerten und den Streubereichen – die Ergebnisse sehr ähnlich sind, wodurch die Aussage zulässig ist, dass die beiden Testdesigns eine hohe Äquivalenz aufweisen (vgl. Brickenkamp et al., 2010).

5.2.2. Kritikpunkte und mögliche Schwächen des d2-R-Tests

Zwar weist die neueste Version des konzentrierten Aufmerksamkeitstests überwiegend gute Werte im Bereich der Reliabilität, Validität sowie Objektivität auf, wie Brickenkamp et al. (2010) anführen, jedoch merken Autoren wie Daseking & Putz (2015) gewisse Mängel und Schwächen bei der Testkonzeptionierung an. Gerade im Bereich des letzten wissen-

schaftlichen Gütekriteriums besticht der d2-Revisions-Test durch eine hohe Transparenz und Nachvollziehbarkeit, die daraus resultiert, dass das Entwicklerteam gut verständliche Erklärungen zum Ablauf sowie zur exakten Auswertung der Resultate überliefern. Allerdings betonen Daseking & Putz (2015, S. 323), dass es zwischen der Testanleitung, welche den Probanden sowie Probandinnen ausgehändigt wird, sowie den mündlichen Erklärungsvorschlägen Differenzen gibt: „Allerdings weichen die schriftliche Kurzinstruktion und der Text für die mündliche Instruktion voneinander ab, was ein unklares Aufgabenverständnis und entsprechende Leistungseinschränkungen zufolge haben könnte.“ Die Resultate der empirischen Untersuchung, welche im Zuge der Diplomarbeit angestellt wurde, können diese Bedenken kaum bis gar nicht teilen, da es in einer Stichprobengröße von $n=63$ lediglich zu drei Ausfällen aufgrund von missverstandenen Aufgabenstellungen gekommen ist. Gerade im Setting Schule sollte aber ein Erklärungs-Beispiel für Kinder und Jugendliche angeführt sein, das den Verständnisprozess erleichtern und die Fehleranfälligkeit reduzieren könnte. Diese Ansicht vertreten auch Daseking & Putz (2015), die sich für eine konkrete Anführung im Manual aussprechen.

Die Normierung, welche für einen solchen Test obligatorisch ist, fand bereits vor knapp zehn Jahren an über 4000 Probanden und Probandinnen zwischen dem neunten und dem sechzigsten Lebensjahr statt. Da bestimmte Wirkungen, die in Verbindung mit dem Alter stehen, nicht auszuschließen sind, wurden von den Autoren Brickenkamp et al. (2010) insgesamt sieben verschiedene Gruppierungen erstellt, die wie folgt unterteilt sind: 9–10, 11–12, 13–14, 15–16, 17–19, 20–39 und 40–60. Die Gründe für die spezielle Setzung der altersbedingten Schranken werden nicht angegeben – ein Blick auf die zugrundeliegenden Untersuchungen lässt aber darauf schließen, dass vor allem zu Unterrichtende ausgetestet worden sind und dort besonders viele Werte und Ergebnisse vorliegen. Dadurch fällt die Unterteilung im Bereich von neun bis 19 Jahren auch deutlich detaillierter aus als in der ältesten Klasse, welche 20 verschiedene Altersstufen zusammenfasst. Daseking & Putz (2015) kritisieren, dass erhobene Stichproben zum Teil sehr einseitig ausfallen und in der höchsten Altersgruppe (40–60) lediglich 268 Probanden sowie Probandinnen ausgetestet wurden, was einem relativen Anteil von unter zehn Prozent an der Gesamtuntersuchung entspricht.

Tabelle 5: Reliabilitätswerte für die Kennparameter der d2-Revision (mod. n. Brickenkamp et al., 2010, S. 44ff.)

	BZO	KL	F%	AF	VF
Cronbach's α	.96	.96	.87	.90.	.80
Split-Half	.94	.94	.85	.88	.76
Retest nach 1 Tag	.91	.94	.84	.78	.33
Retest nach 10 Tagen	.92	.85	.47	.42	.08

Ein weiterer Punkt, den Daseking & Putz (2015) skeptisch betrachten, ist die Reliabilität des d2-Revisions-Tests. Wie Brickenkamp et al. (2010) äußerst transparent in ihrem Erklärungs-Manual erläutern, wurden zum Erheben der Zuverlässigkeit verschiedene Testverfahren aufgegriffen und verwendet. Dazu zählen beispielsweise Cronbach's α , welcher die innere Stimmigkeit der Items und Testreihen zueinander überprüft, sowie Split-Half-Untersuchungen, bei denen die gesamte Stichprobe in zwei zirka gleich große Subgruppen unterteilt wird und typische statistische Zahlen wie etwa der Mittelwert miteinander verglichen werden.

Beide Testungen zeigten äußerst anschauliche Ergebnisse „[...] von mindestens $r=.76$, die auf eine hohe Messgenauigkeit hindeuten“ (Daseking & Putz, 2015, S. 323). Kontroverse Erkenntnisse liefert ein anderes Verfahren, bei dem die gleiche Testung zu zwei anderen Zeitpunkten erneuert durchgeführt wird. Weisen hier die Kennwerte für die Konzentrationsleistung sowie Geschwindigkeit bei der Bearbeitung der gesuchten Zeichen erneut hohe Reliabilitätswerte auf, so sinkt jene Zahl beim Sorgfaltswert drastisch ab (vgl. Daseking & Putz, 2015). Die größte Differenz zeigt sich bei der Reliabilität zwischen Chronbach's α für den Verwechslungsfehler über die vier Blöcke und dem Retest nach zehn Tagen, bei dem derselbe Wert auf etwa ein Zehntel absinkt. Die Testdesigner sind aber der Meinung, dass „[...] die Kennwerte für das Arbeitstempo (BZO) und die Gesamtleistung (KL) eine sehr hohe Retest-Reliabilität aufweisen. Die Stabilität des Fehleranteils (F%) ist im Vergleich dazu etwas niedriger, aber immer noch hoch“ (Brickenkamp et al., 2010, S. 46). Ein Faktor, der die Ergebnisse dieser Testvariante massiv beeinflussen kann, ist der Umstand, dass es beim Bearbeiten der d2-Revision zu einer Art Lern-Übungs-Effekt kommt, durch den die Probanden sowie Probandinnen bei der zweiten Testung unter anderem einen Vorteil haben könnten. Jedoch machen Brickenkamp et al. (2010) nur grobe Angaben dazu, wie stark dessen Einfluss bei den Ergebnissen des beschriebenen Aufmerksamkeits- sowie Konzentrationstests ins Gewicht fällt, sondern merken lediglich an, dass andere Experten und Expertinnen (u.a. Bühner, 2001; Westhoff & Dewald, 1990) auch von einer lerninduzierten signifikanten Steigerung bei ähnlichen kognitiven Erhebungstests ausgehen.

Tabelle 6: Referenzwerte aus anderen d2- sowie d2-R-Testungen (mod. n. Brickenkamp et al., 2010, S. 47f.)

Test & Zeitabstand	BZO		KL		F%	
	t1	t2	t1	t2	t1	t2
d2-R / 1 Tag	101	104	100	103	101	103
d2-R / 10 Tage	101	102	102	102	97	98
d2 / 30 Minuten*	99	109	101	113	/**	/**
d2 / 60-90 Min.*	101	108	102	108	/**	/**
d2 / 7 Tage	106	115	107	116	/**	/**

(Anmerkungen: *Stichprobenmittelwerte für beide Testzeitpunkte angegeben in Standardwerten laut 9. Auflage des d2-Tests; ** keine Standardwerte zur Verfügung)

Ein Versuch, die potenzielle Leistungssteigerung, welche durch die mehrmalige Bearbeitung eines d2(-R)-Tests entstehen kann, festzuhalten, wurde von Brickenkamp et al. (2010) zwar vorgenommen. Jedoch fehlen gerade für die aktuellste Version – die Revision – ausreichend empirische Untersuchungen und Belege, sodass nicht eindeutig hervorgeht, in welchem Ausmaß beispielsweise der Effekt nach etwa 15 Minuten (wie in der empirischen Untersuchung im Zuge der Diplomarbeit) auftritt. Die einzige Aussage, die sich anhand dieser Tabelle ableiten lässt, ist die Tatsache, dass der Lerneffekt bei der neunten Auflage des d2-Tests intensiver ausfällt. Dies zeigt sich beim Vergleich der Zeitspanne der sieben Tage beim d2-Test sowie der zehn Tage bei der d2-Revision. Letztgenanntes Instrument zur Erhebung kognitiver Parameter hat eine deutlich niedrigere Differenz zwischen den beiden Messzeitpunkten zu verzeichnen. Brickenkamp et al. (2010) betonen aber die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen, um mehr Klarheit über das Ausmaß des Effekts der Übung zu generieren – gerade in kürzeren Zeitabständen. Verbesserungspotenzial sehen Daseking & Putz (2015) auch bei der Handhabung dieses Umstands und seiner Berücksichtigung in der Auswertung, diese nicht thematisiert wurde. Hinsichtlich der Validität sind Daseking & Putz (2015) der Auffassung, dass die Testentwickler zwar ein breites Repertoire an wissenschaftlichen Erkenntnissen in ihren Erläuterungen angeführt haben, die sich allerdings nicht dezidiert der d2-Revision widmen, sondern dem Vorgänger in der neunten Auflage. Dadurch sind die Ergebnisse als nicht absolut gesichert zu sehen. Einzelne Analysen wie die Interkorrelation bestimmter Messwerte betonen aber die Aussagekraft der kognitiven Bearbeitungszeit sowie die dabei notwendige Präzision bei der aktuellen Version (Brickenkamp et al., 2010). Gerade bei Letzterer sind aber unterschiedliche Ergebnisse gemessen worden, wodurch die Deutungsmöglichkeiten für diesen Kennwert laut Daseking & Putz (2015, S. 324) erheblich limitiert sind: „Von einer Interpretation des Genauigkeitswertes ‚F%‘ ist wegen seiner eingeschränkten Reliabilität und der uneinheitlichen Befundlage zur konvergenten Validität abzusehen.“

Die Differenzen zeigen sich vor allem im schulischen sowie akademischen Bereich, wo Aspekte wie die settingbezogene Leistung im Vordergrund stehen.

Tabelle 7: Bewertungsraster der d2-Revision (vgl. Daseking & Putz, S. 324)

Test d2-R. Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest	Die TBS-TK-Anforderungen sind erfüllt			
	voll	weitgehend	teilweise	nicht
Allgemeine Informationen, Beschreibung und diagnostische Zielsetzung		●		
Objektivität		●		
Zuverlässigkeit		●		
Validität			●	

Zusammenfassend kann im Großen und Ganzen davon ausgegangen werden, dass es sich beim d2-Revisions-Test um ein solides Messinstrument zur Erhebung bestimmter kognitiver Parameter – in diesem Fall der „konzentrierten Aufmerksamkeit“ (Brickenkamp et al., 2010, S. 49) – handelt, welches für einen breiten Teil der Bevölkerung eingesetzt werden kann (vgl. Daseking & Putz, 2015). Für seine Anwendungsfreundlichkeit spricht vor allem die benötigte Zeit zur Anwendung und Evaluierung, die im Schnitt bei rund einer Viertelstunde liegt (vgl. Brickenkamp et al., 2010). Die größten Kritikpunkte kommen im Bereich der Gültigkeit, da beispielsweise die Aussagekraft des Genauigkeitswerts „F%“ fragwürdig ist und weiterer Untersuchungen bedarf. Auch die Reliabilität ist nicht in allen Bereichen (vor allem was die Auslassungsirrtümer sowie Fehler auf Basis von Verwechslungen betrifft) stabil. Die bereits angeführte (ungewünschte) Steigerung der Testleistung durch bereits vorhandene Kenntnis des Testprozederes muss ebenfalls umfassend untersucht und evaluiert werden, sodass dem Auswerter oder der Auswerterin entsprechende Referenzwerte zur Verfügung stehen, an denen er oder sie sich orientieren kann. Zuletzt sei noch angemerkt, dass durch dieses Messinstrument lediglich ein sehr spezifischer Teil der Aufmerksamkeits- sowie Konzentrationsfähigkeit abgefragt wird, von dem nicht auf die allgemeine Aufmerksamkeit geschlossen werden sollte (Daseking & Putz, 2015).

5.3. Der empirische Test – Planung, Ablauf und Auswertung

Damit das Experiment erfolgreich durchgeführt und mit der Vielzahl von empirischen Erkenntnissen in der Literatur abgeglichen werden kann, bedarf es einer ordentlichen und transparenten Planung, mit der rechtzeitig begonnen wird. In weiterer Folge muss auch der Ablauf, der sich auf die im Vorfeld stattgefundenen Überlegungen stützt, reibungslos und möglichst unkompliziert vonstatten gehen. Zuletzt müssen die gewonnenen Erkennt-

nisse zusammengetragen, entsprechend evaluiert und mithilfe geeigneter statistischer Programme wie SPSS untersucht werden. In den folgenden Unterkapiteln erfolgt die genaue Aufschlüsselung all jener Schritte, die im Zuge der empirischen Untersuchung gemacht wurden. Zudem wird die Stichprobe näher thematisiert und die Schule, in der die Testung erfolgte, kurz vorgestellt.

5.3.1. De La Salle Schule Strebersdorf: Durchführungsort des Tests

Eine der Kernfragen bei den Überlegungen zur Gestaltung der empirischen Untersuchungen war die Frage nach dem geeigneten Setting, bei dem nicht nur ausreichend Raum für die Durchführung vorhanden ist, sondern auch eine ausreichend große Stichprobengröße generiert werden kann, sodass die Ergebnisse der Untersuchung auch eine gewisse Repräsentativität aufweisen. Aufgrund der beiläufigen Lehrtätigkeit auf sondervertraglicher Ebene fiel die Wahl nach einigen Überlegungen auf die De La Salle Schule in Strebersdorf. Die Besonderheit an diesem Ort des Lehrens und Lernens ist nicht nur die Tatsache, dass es sich um eine Privatschule handelt, sondern auch der sportliche Bezug.



Abbildung 16: Die Lage der Schule (<https://www.google.at/maps>; letzter Aufruf am 06.06.2017)

Sowohl in der Unter- als auch in der Oberstufe besteht die Möglichkeit, die Kinder und Jugendlichen in speziellen Zweigen mit besonderer Berücksichtigung der körperlichen Aktivität anzumelden (<http://ahs.dls21.at/>; letzter Aufruf am 31.05.2017 um 16:00 Uhr). In der Sekundarstufe I handelt es sich um sogenannte „Aktiv-Klassen“, die ab der fünften Schulstufe besucht werden können und im Rahmen derer die zu Unterrichtenden für die nächsten vier Jahre zumindest fünf Stunden Bewegungs- und Sportunterricht pro Woche haben. Des Weiteren wurde der konventionelle Klassenraum adaptiert und um Ergometer

erweitert, auf denen die Lernenden sowohl im Unterricht als auch in den Pausen körperlich aktiv werden können. Ab der Sekundarstufe II besteht ebenfalls die Möglichkeit, eine Klasse mit erhöhtem Sportangebot zu wählen, bei der zudem das Fach „Sporttheorie“ gelehrt wird.

Damit dieses umfassende sportliche Programm auch adäquat praktiziert werden kann, verfügt die Schule über eine Vielzahl von Einrichtungen und Plätzen, die zur Nutzung zur Verfügung stehen. Dazu zählen beispielsweise eigene Leichtathletik-Anlagen, mehrere Tennisplätze, eine Kletterwand, einige Turnhallen unterschiedlicher Größen, ein Kunstrasenplatz sowie ein eigenes Schwimmbad, welches in den kommenden Jahren errichtet wird. Da die De La Salle Schule auch über eine Nachmittagsbetreuung bis 18 Uhr verfügt, haben die Kinder und Jugendlichen die Möglichkeit, unter der Aufsicht geschulter und kompetenter Erzieher und Erzieherinnen ihren sportlichen Neigungen auch außerhalb der regulären Unterrichtszeit nachzugehen.

Über 1.000 Schüler und Schülerinnen kann die im Norden Wiens lokalisierte Bildungseinrichtung vorweisen, was insofern von Vorteil ist, als dass die notwendige Menge an Lernenden für die Stichprobe leichter generiert werden kann. Die empirische Untersuchung beschränkte sich jedoch nur auf zu Unterrichtende der dritten Klassen, wobei das Geschlecht keine maßgebliche Rolle spielte. Ein weiterer Vorteil ist das sehr große Lehrkräfte-Team, welches aus über 100 Lehrern sowie Lehrerinnen besteht. Dadurch war die Frage nach den geeigneten Betreuungspersonen während der Testdurchführung erheblich leichter zu lösen.

Wie auf der Abbildung 16 ersichtlich ist, umfasst die Schule ein großes Gelände, das insbesondere durch Grünflächen und die bereits beschriebenen Sportstätten besticht. Der d2-R-Test selbst sowie die koordinativen Sportinterventionen wurden in der grauen Spielehalle durchgeführt, welche mit einem roten Pfeil markiert wurde. Die blaue Markierung zeigt jenen Ort, an dem die Lauf-Gruppe aktiv wurde – diese mussten Runden auf der orangen Bahn zurücklegen, in deren Mitte ein Fußballplatz zu erkennen ist. Die restlichen Schüler und Schülerinnen suchten den sogenannten „Judo-Raum“ auf, wo sie sich sitzend mit ihren Kollegen und Kolleginnen unterhalten durften.

5.3.2. Die Planung der empirischen Untersuchung

Wenn es darum geht, ein wissenschaftliches Testsetting zu entwerfen, müssen frühzeitig einige Überlegungen hinsichtlich der Organisation und Koordination aller beteiligten Personen angestellt werden. In den nachfolgenden Absätzen wird der Planungsprozess aufgebrochen und explizit beschrieben, sodass der Leser oder die Leserin dieser Arbeit die gesetzten Schritte und Maßnahmen nachvollziehen kann und die Transparenz steigt. Autoren wie Aepli, Gasser, Gutzwiller & Tettenborn (2016) weisen darauf hin, dass eine

exakte Ablaufstrukturierung, welche im Vorhinein geschieht, für den Erfolg der wissenschaftlichen Untersuchung obligatorisch ist. Diese Überlegungen sind aber nicht für jedes Design mit absoluter Passgenauigkeit vorhanden – vielmehr müsse „[...] für jedes Vorhaben ein zur jeweiligen Thematik, maßgeschneiderter‘ Forschungsplan entworfen werden [...]“ (Kromrey, Roose & Strübing, 2016, S. 77). Durch die Vorkehrungen wird es erst möglich, die essenziellen Thesen und dazugehörigen Unklarheiten auf den Prüfstand zu stellen und den notwendigen Forschungsaufwand einzuleiten.

Generell muss aber festgehalten werden, dass gewisse Aspekte beim Vorkehrungsprozess besonders relevant sind und unweigerlich abgeklärt werden müssen. Aeppli et al. (2016) zählen dazu folgende Umstände wie beispielsweise die Selektion der zu bearbeitenden Inhalte und deren strikte Abgrenzung von ähnlichen Thematiken. Innerhalb dieses Pools an Möglichkeiten und Überlegungen gilt es nun, eine geeignete These sowie die jeweiligen Unklarheiten klar zu formulieren. Nachdem die Untersuchungsmethodik selektiert wurde, wozu unter anderem die Art der Stichprobengenerierung zählt, muss sich der Testleiter oder die Testleiterin Gedanken über den zeitlichen Ablauf machen. Letztgenannte Thematik dient dazu, den empirischen Test in seiner quantitativen Ausprägung besser und präziser zu strukturieren, sodass bestimmte umfangreichere Anforderungen in mehrere kleinere und somit leichter bewältigbare Hürden unterteilt werden. Ein besonderes Merkmal eines solchen „Projektmanagements“ ist die Tatsache, dass von groben Überlegungen ausgehend im Laufe der Zeit auf immer feinere Details der Untersuchung Rücksicht genommen werden muss (vgl. Aeppli et al., 2016; Kromrey et al., 2016). In der Literatur gibt es unterschiedliche Sichtweisen sowie Ansätze zur Strukturierung des Forschungsprozesses, die sich zum Teil in den genannten Bestandteilen überschneiden oder starke Ähnlichkeiten aufweisen.

Für die empirische Untersuchung dieses wissenschaftlichen Beitrages wurden zwei Konzepte herangezogen, die im Folgenden näher erläutert werden (vgl. Aeppli et al., 2016; Kromrey et al., 2016).

I. Zeitlicher Rahmen, in dem die notwendigen Informationen generiert werden:

Mit diesem Punkt betonen Aeppli et al. (2016) die Berücksichtigung einiger Faktoren, welche die empirische Arbeit beeinflussen können – als Beispiel wird etwa das Setting Schule angeführt, in dem gewisse Anforderungen wie Schularbeiten oder der Schulschluss berücksichtigt werden müssen. Konkret für die Untersuchung im Zuge der Diplomarbeit wurde daher ein Rahmen gewählt, der für die vier teilnehmenden Klassen der siebten Schulstufe ideal geeignet war. Nach Rücksprache mit den Lehrkräften erschien der 6. April als optimaler Termin, welcher auch tatsächlich zur Durchführung herangezogen worden ist.

II. Stichprobenzusammensetzung:

Für eine hohe Repräsentativität sowie Schaffung der gewünschten Ergebnisse muss sich der Leiter oder die Leiterin der Untersuchung Gedanken über die Zusammensetzung der Stichprobe an Probanden und Probandinnen machen (vgl. Aeppli et al., 2016). Um die nötige Anzahl an Testpersonen zu erhalten, können auch elektronische Wege (beispielsweise Online-Fragebögen oder -Testungen) herangezogen werden. Gerade bei der Arbeit mit Schülern und Schülerinnen ist es jedoch wichtig, Rücksprache mit der Direktion und ggf. mit den Erziehungsberechtigten zu halten, was im Zuge der Vorbereitungen geschehen ist.

III. Notwendige Gegenstände zur Durchführung und Erhebung:

Gerade zur Messung kognitiver Aspekte wie etwa der Konzentrations- oder Aufmerksamkeitsleistung von Lernenden bedarf es bestimmter Erhebungsmittel. Dazu zählen unter anderem die Testbögen der d2-Revision sowie Kurzinstruktionen, die im Vorhinein mit entsprechenden Identifikationsnummern markiert wurden, sodass eine eindeutige Zuordnung zum bearbeitenden zu Unterrichtenden möglich ist.

IV. Literaturerfahrungen abgleichen und ggf. Probeversuch anstellen:

Wie Aeppli et al. (2016) empfehlen, sollte vor der eigentlichen Realisierung des Experiments eine Art Generalprobe durchgeführt werden, um mögliche Fehler zu erkennen und diese bei der finalen Erhebung der Werte zu vermeiden. Aufgrund der hohen Kosten des Testdesigns wurde auf eine vorzeitige Probetestung verzichtet und sich auf bereits erfolgte Untersuchungen und unabhängige Testberichte gestützt.

V. Aufstellen des Testungsteams, Festlegung des Veranstaltungsortes & Feinplanung:

Bei größeren Stichproben ist es laut Aeppli et al. (2016) von Vorteil, entsprechende Vorkehrungen betreffend die Zusammensetzung des Testungsteams anzustellen. Die ausgewählten Assistenten sowie Assistentinnen sollten entsprechend instruiert werden und nach Möglichkeit mit der Materie vertraut sein – beispielsweise aus dem Setting „Bewegung und Sport“ stammen. Nicht nur die Zustimmung über die „Nutzung“ der Schüler und Schülerinnen als Probanden sowie Probandinnen in einer empirischen Untersuchung ist laut Aeppli et al. (2016) äußerst wichtig, sondern auch die Festlegung des Durchführungsortes. Hier bedarf es ebenfalls einer Genehmigung und Zustimmung der Direktion, um Überschneidungen mit anderen schulinternen Abläufen zu vermeiden. Zum Abschluss erfolgt noch der Beschluss über die exakte Aufgabenverteilung und die genaue Datierung der Ereignisabläufe.

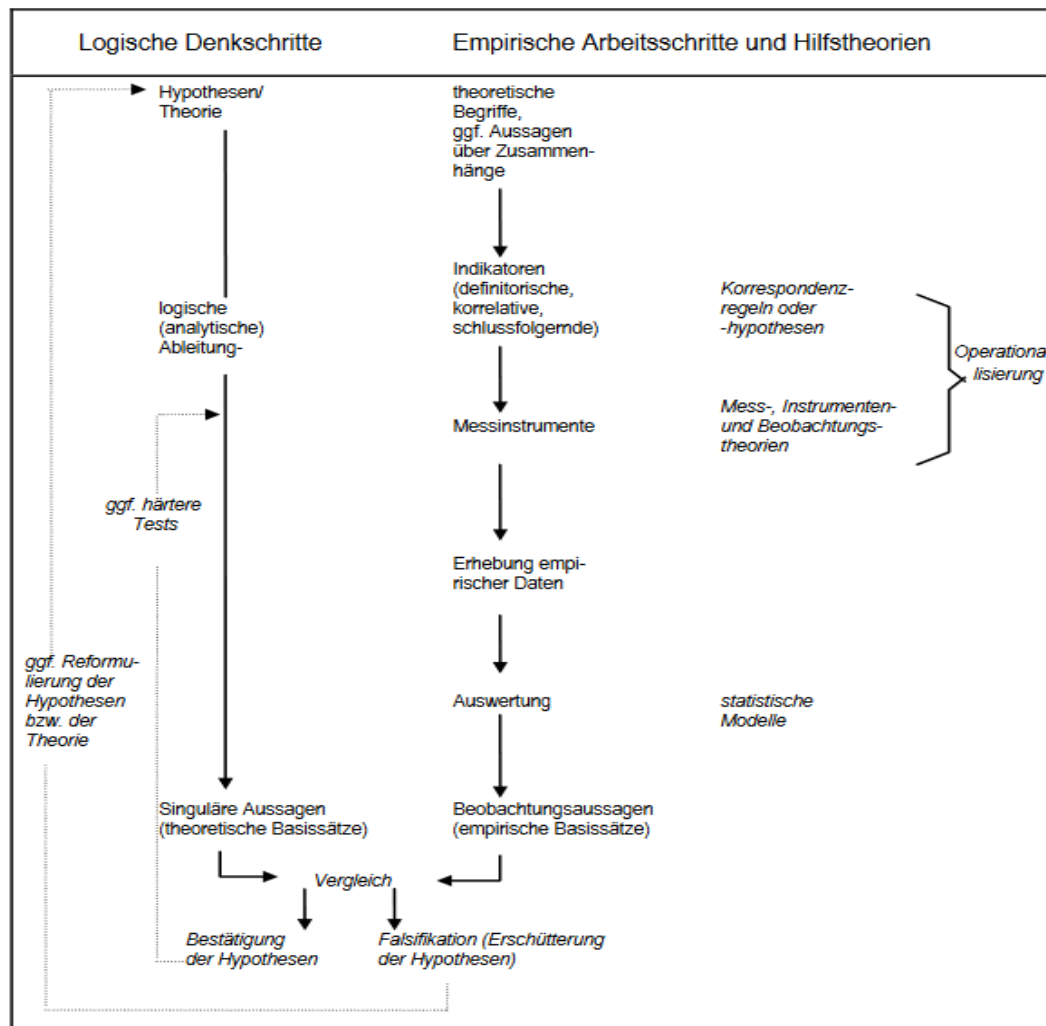


Abbildung 17: Prozedere einer empirischen Untersuchung (Kromrey et al., 2016, S. 98)

Ein Vorschlag zur Durchführung einer empirischen Testung stammt auch von Kromrey et al. (2016), die in der Abbildung 17 die wichtigsten Schritte und Bestandteile aufgelistet haben. Zu Beginn steht (fast) immer eine Annahme über einen bestimmten Sachverhalt, dessen Plausibilität mithilfe verschiedener Literaturangaben sowie Untersuchungsergebnisse abglichen wird. In weiterer Folge werden die notwendigen Methoden zur Generierung der Untersuchungsergebnisse verglichen und die bestgeeignete herangezogen, mit der die Testung durchgeführt wird. Nach der Ergebnisauswertung erfolgt erneut ein Abgleich mit vorangegangenen Vermutungen und Erkenntnissen anderer Forscher sowie Forscherinnen, die schlussendlich zu Annahme oder dem Verwurf der These führen. Unter Umständen wird es notwendig sein, das Testdesign zu überarbeiten (beispielsweise statt des d2-Tests die aktuellere d2-Revision zu nutzen oder die Untersuchungsbedingungen zu verschärfen, um klarere und eindeutiger Ergebnisse zu erhalten (vgl. Aeppli et al., 2016)).

5.3.3. Die Realisierung der empirischen Untersuchung

Nachdem die einzelnen Phasen und Schritte der Planung im vorherigen Unterkapitel aufgezeigt worden sind, gilt es nun, die Umsetzung möglichst präzise wiederzugeben. Das Experiment, mit dessen Hilfe die definierten Hypothesen überprüft werden sollten, war für Donnerstag, den 6. April 2017, um 12 Uhr angesetzt. Da bis zum genannten Zeitpunkt alle Vorkehrungen getroffen werden mussten, starteten die dafür notwendigen Arbeiten bereits um 11:20 Uhr. Dafür wurden zwei Studenten der Universität Wien engagiert, da der organisatorische Aufwand in der verfügbaren Zeit alleine kaum bewältigbar gewesen wäre. Da die Stichprobe exakt 63 Schüler und Schülerinnen umfassen sollte, wurde eine dementsprechend hohe Anzahl an Testinstruktionen in der kleineren Hälfte der Turnhalle aufgelegt. Brickenkamp et al. (2010) führen an, dass erschlichene Leistungen, die durch das bewusste Ankreuzen derselben Zeichen wie der Sitznachbar oder die Sitznachbarin keine signifikante Steigerung des Testergebnisses bringt und somit keine besonderen Sicherungsvorkehrungen wie Sichtblockaden oder Mindestabstände untereinander notwendig sind. Nichtsdestotrotz achtete das Durchführungsteam bei der Verteilung der Bögen darauf, dass die „Arbeitsplätze“ zumindest 1,50 bis zwei Meter voneinander entfernt sind, um mögliche Ablenkungen und daraus resultierende Leistungseinbußen zu reduzieren. Somit fand jeder Lernende, der an der empirischen Untersuchung teilgenommen hatte, eine Kurzinstruktion auf Deutsch, zwei Kugelschreiber sowie einen Testbogen vor. Nachdem die Vorbereitungen abgeschlossen waren, wurde der belegte Teil der Halle durch einen Deckenvorhang vom restlichen Turnsaalbereich abgetrennt und die zu Unterrichtenden von den Garderoben hereingebeten.

Nach und nach trafen die Schüler und Schülerinnen der dritten Klassen ein und verteilten sich in der verbleibenden freien Hallenfläche. Die jeweiligen Lehrkräfte wurden in der Zwischenzeit zu einem finalen Koordinationsgespräch gebeten, bei dem die wichtigsten Punkte bei der Untersuchung wiederholt wurden. Dazu zählten unter anderem der genaue Ablauf, die zeitlichen Fristen, die Interventionen der jeweiligen Gruppen sowie die exakten Instruktionsangaben. Nachdem das Gespräch vollzogen war, erfolgte die Markierung der Jugendlichen mit einem Stück Leukotape, auf dem eine bestimmte Nummer vorzufinden war. Sowohl die Lehrer und Lehrerinnen als auch die Mitglieder des Testungsteams betonten mehrmals, dass diese Streifen während des gesamten Ablaufs auf dem eigenen Sport-Shirt zu bleiben haben und dass sich jeder Lernende seine eigene Nummer merken sollte. Durch diese Maßnahme sollte sichergestellt werden, dass die zu Unterrichtenden sowohl im Prä- als auch Posttest nur jene Testbögen bearbeiten, welche dieselbe Identifikationsnummer wie der Leukotape-Streifen auf dem Kleidungsstück aufweist. Dadurch sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass die Ergebnisse bei der späteren Auswertung verfälscht

werden. Als letzte Sicherungsmaßnahme wurden die Nummern von den Untersuchungsassistenten zu dem Zeitpunkt kontrolliert, als die Schüler und Schülerinnen auf ihren Arbeitsplätzen Platz genommen haben.

Direkt nach der Verteilung der Identifikationsstreifen wurden alle Jugendlichen gebeten, sich sitzend vor einer Wand zu versammeln. Es folgte eine kurze Vorstellung des Testungsteams sowie Erklärungen über den genauen Ablauf der kommenden Stunde. Im Anschluss an die Erläuterungen wurde der Trennvorhang angehoben und die Lernenden gebeten, sich anhand von mehreren vorliegenden Lageplänen zu dem für die jeweilige Person vorgesehen Platz zu begeben.

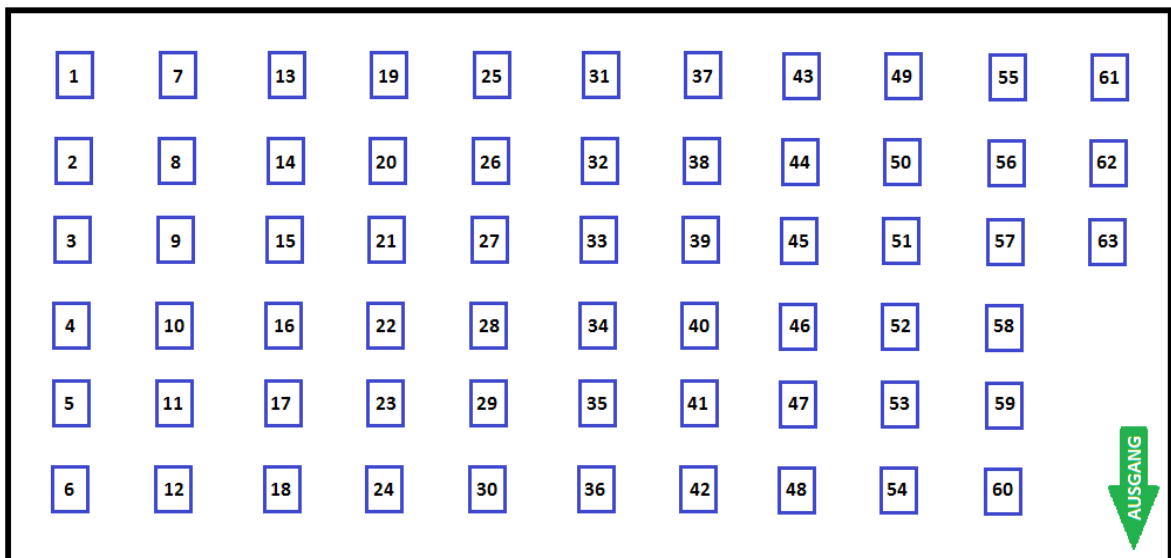


Abbildung 18: Arbeitsplatzzuteilung für die Testung

Die Abbildung 18 verdeutlicht, wie die Zuordnung der Schüler und Schülerinnen zu den jeweiligen Arbeitsplätzen erfolgt. Wie bereits im vorherigen Kapitel erläutert, findet die Unterteilung in insgesamt elf Spalten sowie sechs Reihen statt, sodass alle Probanden und Probandinnen ausreichend Platz zum Arbeiten haben. Bevor die Untersuchung gestartet und damit der erste d2-Revisions-Durchgang eingeleitet wurde, erfolgten einige Anweisungen, die sich an den Verbalisierungsempfehlungen von Brickenkamp et al. (2010) orientierten, aufgrund des Alters der Probanden und Probandinnen jedoch etwas „kinderfreundlicher“ gestaltet wurden. So verzichtete der Vortragende beispielsweise auf „Sie“ und verwendete stattdessen „du“. Zudem wurden komplizierte Passagen zum Teil wiederholt, um Irrtümer zu vermeiden und gleiche Ausgangsbedingungen für alle Beteiligten zu schaffen. Der Vorteil am d2-Revisions-Test ist – verglichen mit der „älteren“ Variante, dem konventionellen d2-Test – auch die Möglichkeit, das individuelle Verständnis von der Durchführung mithilfe zweier Übungszeilen abzugleichen und damit letzte Unsicherheiten zu beseitigen. Daraufhin folgte auch schon das Startsignal, ab welchem die zu Unterrichtenden den Bogen umdrehen und mit der Bearbeitung beginnen durften.

Mithilfe einer Stoppuhr wurde alle 20 Sekunden ein Kommando erteilt, auf welches hin die Schüler und Schülerinnen in die darauffolgende Zeile wechseln und die gesuchten Zeichen (ds mit zwei Strichen) suchen sollten. Insgesamt dauerte die Bearbeitungszeit vier Minuten sowie 40 Sekunden. Währenddessen wurden die Lehrkräfte sowie die Testassistenten gebeten, sich ruhig zu verhalten und sich nicht durch die Halle zu bewegen, um Ablenkungen oder Störungen der Lernenden zu vermeiden und eine möglichst produktive Arbeitsatmosphäre zu schaffen. Nach Beendigung des ersten Durchganges wurden alle Jugendlichen erneut im anderen Teil der Halle versammelt und die Gruppierungen vorgenommen. Zeitgleich wurde der Deckenvorhang abgesenkt, die Prä-Testungen von den Assistenten eingesammelt und gegen die Post-Bögen ausgetauscht, welche ebenfalls mit einer Identifikationsnummer versehen waren. Nun wurden jene Schüler und Schülerinnen, deren Zahl im Bereich 1 bis 21 lag, mit zwei Lehrkräften zur Laufbahn geschickt, da die Witterungsbedingungen ideal waren. Ihre Aufgabenstellung war es, innerhalb von zehn Minuten möglichst viele Runden in einem variabel gewählten Tempo zurückzulegen. Die nächsten 21 zu Unterrichtenden blieben in der Hallenhälfte sitzen – sie erhielten eine koordinative Intervention, die sich an den Übungen von Budde et al. (2008) orientierte, welche zum Teil dem Münchner Fitnesstest (vgl. Rusch & Irrgang, 2001), aber auch einem speziellen Fußballtraining (vgl. Schreiner, 2000) zugeordnet werden können. Diese Übungen werden in einer Art Zirkel organisiert und in Stationen unterteilt. Jeder Teilnehmer sowie jede Teilnehmerin widmet sich aktiv eineinhalb Minuten jeder Übung. Auf einen Pfiff hin wechseln die Testpersonen im Uhrzeigersinn zur nächsten Station – dafür haben sie 30 Sekunden Zeit. Die koordinativen Elemente sehen wie folgt aus (siehe Abbildung 19):

I. Volleyball-Prellen auf einer umgedrehten Turnbank:

Die Probanden sowie Probandinnen haben die Aufgabe, abwechselnd mit der linken und der rechten Hand einen Volleyball auf den Boden zu prellen. Dabei müssen sich die Schüler sowie Schülerinnen auf eine umgedrehte Turnbank stellen, deren schmales Stück Richtung Decke zeigt. Um das koordinative Niveau zu erhöhen, wurden die Testpersonen zudem aufgefordert, nach Möglichkeit während des Prellens kleine Distanzen auf dem Gerät entlangzubalancieren, ohne absteigen zu müssen.

II. Paralleles Prellen von Basket- und Volleyball:

Beim zweiten Teil des Zirkels war es das Ziel, zwei verschiedene Spielgeräte – in diesem Fall einen Basket- sowie einen Volleyball – gleichzeitig auf den Boden zu prellen. Für koordinativ besser geschulte Jugendliche bestand die Möglichkeit, das Tempo des Prellens zu variieren – unter der Bedingung, dass die Simultanität aufrechterhalten wird.

III. Handballwerfen in Gymnastikreifen:

Diese Präzisionsaufgabe verlangte von den Lernenden, abwechselnd mit der linken und der rechten Hand einen Handball aus einer Distanz von zirka zehn Metern in einen Gymnastikreifen zu werfen. Um eine Unterforderung zu vermeiden und die Teilnehmer sowie Teilnehmerinnen zu einer stetigen Aktivität zu motivieren, wurden Reifen in unterschiedlichen Distanzen aufgelegt, sodass das Anforderungslevel beliebig variiert und den eigenen Fertigkeiten entsprechend angepasst werden konnte.

IV. Synchrones Werf-Pass-Spiel:

Mit einer Distanz von etwa fünf Metern mussten sich jeweils zwei zu Unterrichtende gegenüber aufstellen. Einer oder eine der beiden hält einen Handball in der Hand, wohingegen der Partner oder die Partnerin einen Fußball führt. Auf ein Signal, welches sich das jeweilige Team untereinander ausmacht, erfolgt ein gleichzeitiger Austausch der beiden Spielgeräte per Wurf und Pass. Die Schwierigkeit konnte individuell erhöht werden, in dem abwechselnd die linken oder rechten Extremitäten für die motorischen Aktionen genutzt wurden.

V. Paralleles Führen und Pellen von Bällen:

Die letzte Station verlangt von den Schülern und Schülerinnen, dass sie zwei motorische Aufgabenstellungen miteinander koppeln und erneuert möglichst gleichzeitig in einem vorgegebenen Feld ausführen. Zum einen sollen die Probanden sowie Probandinnen einen Fußball mit dem Fuß führen. Andererseits muss ein Volleyball auf den Boden geprellt werden. Möglichkeiten zur Variation bestehen durch den Wechsel der verwendeten Hand beziehungsweise des verwendeten Fußes.

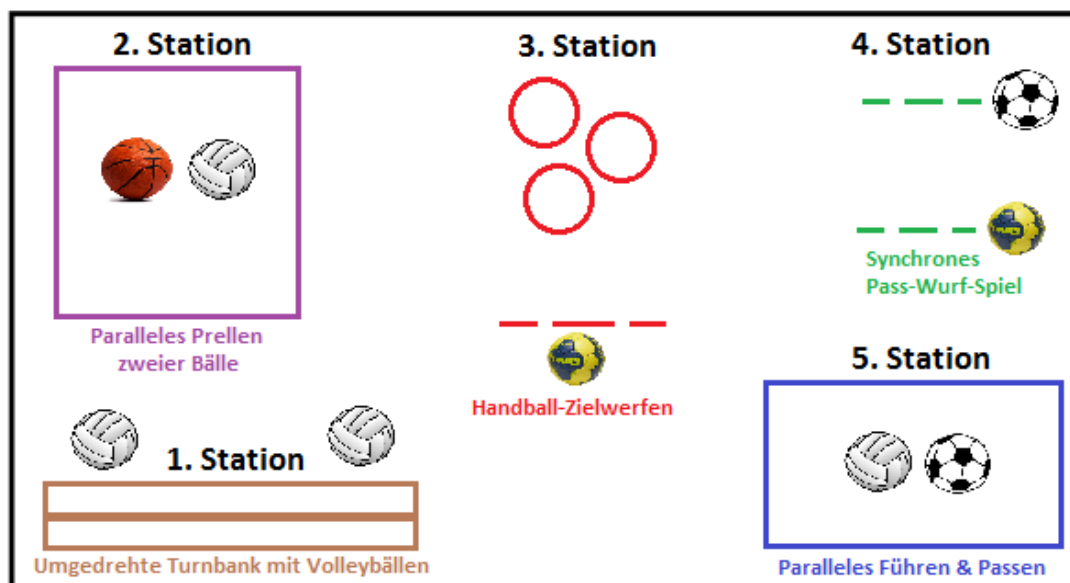


Abbildung 19: Koordinations-Zirkel

Die letzte Gruppe, bestehend aus den Schülern und Schülerinnen mit der Nummerierung 43 bis 63 erfuhren eine nicht motorische Intervention. Unter der Aufsicht zweier Lehrkräfte suchten sie einen Raum auf, in dem Turnmatten auf dem Boden platziert waren. Im Gegensatz zu deren körperlich aktiven Kollegen und Kolleginnen wurde bei diesen Lernenden penibel darauf geachtet, dass keine Bewegung im Raum stattfindet. Um diesen Umstand sicherzustellen, wurden die Kinder dazu aufgefordert, sich zu dritt auf einer Matte zu platzieren und miteinander über ein beliebiges Thema zu sprechen. Die Wahl des Gesprächspartners wurde nicht beeinflusst, sondern von den Lernenden selbst festgelegt. Auch die Art und die Richtung des Gespräches unterlagen keinen speziellen Vorgaben. Um die Dauer der jeweiligen Interventionen zu koordinieren und besser abstimmen zu können, wurden die verwendeten Stoppuhren, welche auf den jeweiligen Smartphones vorinstalliert sind, miteinander verglichen. Die Zeitzoneneinstellung wurde ebenfalls kontrolliert (Mitteleuropäische Zeit, UTC +01:00). Sobald die zehn Minuten verstrichen waren, musste jegliche Aktivität – gleich ob aktive Bewegung oder Sprechen – beendet werden und die Gruppen von den betreuenden Lehrern sowie Lehrerinnen zurück in die große „Spielehalle“, wo der Prä-Test durchgeführt wurde, zurückgeführt werden. Im Anschluss an eine erneute, kurze Ansprache betreffend den verbleibenden Ablauf sollten sich die Jugendlichen anhand der zur Verfügung gestellten Orientierungspläne wieder bei ihrem Arbeitsplatz einfinden. Die Instruktionen der d2-Revision wurden wiederholt und auf die wichtigsten Aspekte wie etwa das nach Möglichkeit äußerst flotte Bearbeiten, jedoch unter Einhaltung der größtmöglichen Sorgfalt wurde hingewiesen. Zwischen der Intervention und dem Start der Post-Testung hinsichtlich der „konzentrierten Aufmerksamkeit“ (vgl. Brickenkamp et al., 2010) vergingen exakt zehn Minuten. Während der Erklärungen kontrollierten die Assistenten – wie bereits zu einem früheren Zeitpunkt erwähnt – die Identifikationsnummern, sodass eine eindeutige Zuordnung der Ergebnisse und deren Vergleichbarkeit gegeben waren. Wie auch beim ersten Durchgang erfolgte alle 20 Sekunden ein Signal, auf welches hin die Schüler und Schülerinnen die Bearbeitung der aktuellen Zeile abbrechen und in die darauffolgende Reihe springen sollten. Nach dem Ablauf des Countdowns wurden alle Teilnehmer und Teilnehmerinnen der empirischen Untersuchung wieder in die andere Hälfte des Turnsaals gebeten, um einige abschließende Punkte zu klären. Inzwischen sammelten die Assistenten der Testung die Bögen des zweiten Durchgangs ein und sortierten diese nach der Identifikationsnummer. Bei der Schlussrede wurde wie auch zu Beginn des empirischen Experiments die Rolle der Anonymität geklärt und aufgrund des gegebenen Interesses einiger Lernender der weitere Auswertungsprozess in groben Zügen angeschnitten. Das Testungsteam bedankte sich bei allen Probanden und Probandinnen sowie den zugehörigen Lehrkräften, womit

der formale Teil der Untersuchung abgeschlossen war. Sowohl die Prä- als auch die Post-Testungen wurden unmittelbar nach deren Verwendung in speziellen Umschlägen verwahrt, wodurch sie bis zu ihrer Auswertung nicht mehr mit Dritten oder anderen unberechtigten Personen in Kontakt gekommen sind. Somit wurde auch die Phase von der Durchführung zur tatsächlichen Ergebnissicherung möglichst verfälschungssicher gestaltet.

5.3.4. Die Auswertung: ein analoger sowie digitaler Prozess

Um die generierten Ergebnisse zu sammeln und für eine anschließende statistische Bearbeitung vorzubereiten, sind ein im d2-Revisions-Set mitgeliefertes Auswertungsblatt sowie Instruktionen aus dem Manual (vgl. Brickenkamp et al., 2010) notwendig. Zunächst werden die erhobenen Resultate in Durchgänge (Prä- und Post-Testung) geordnet und nach der Identifikationsnummer mit einem entsprechend gleich markierten Auswertungsbogen bearbeitet. Aufgrund der Markierungen ergeben sich Zahlen, die sich in bestimmte Standardwerte, welche Brickenkamp et al. (2010) im Laufe des Testdesigns errechnet haben, transferieren lassen. Diese dienen dazu, einen besseren analogen und in weiterer Folge digitalen Vergleich zu schaffen – ähnlich der aus der Statistik bekannten z-Transformation, bei der beliebige Resultate durch einen Berechnungsvorgang in Form einer annähernden Normalverteilung gebracht werden (vgl. Aepli et al., 2016).

Einen weiteren Vorteil, den die Auswertbögen bieten, ist die zugehörige Auswertgrafik, auf der von Hand die Werte für den Anteil der Fehler bezogen auf Auslassungen und Verwechslungen sowie die Geschwindigkeit der Testbearbeitung eingetragen werden können. So ist es Brickenkamp et al. (2010) bereits während der analogen Ergebniserzeugung möglich, einen visuellen Überblick über einige Kennparameter der empirischen Überprüfung zu erhalten, ohne die Daten dafür in entsprechende Programme wie Microsoft Excel speisen zu müssen. Durch zwei Achsen, die sich in der Mitte der Darstellung befinden, wird die Grafik in vier Felder unterteilt. Liegen die Werte im linken unteren Bereich, so kann von einer sehr niedrigen bis maximal durchschnittlichen Leistung des Probanden oder der Probandin ausgegangen werden. Direkt darüber ist zumindest der Wert für Genauigkeit während der Bearbeitung mittelmäßig bis hin zu sehr hoch. Schräg gegenüber, also rechts unten, ist wieder einer der beiden Faktoren – in diesem Fall die Geschwindigkeit der Durchführung – erhöht. Fallen die Werte beider kognitiver Parameter durchschnittlich bis hin zu sehr überdurchschnittlich aus, so sind die Markierungen im rechten oberen Quartal vorzunehmen. In diesem Fall ist von einem optimalen Ergebnis auszugehen.

Nach der Beendigung der analogen Ergebnissicherung werden die Daten in eine speziell angelegte Excel-Tabelle übernommen, wobei zudem auch andere Aspekte wie beispielsweise die Händigkeit, das Geschlecht, das Alter und die Notwendigkeit einer Brille sowie

deren Verwendung während der Testung eingetragen werden. Die dafür notwendigen Informationen wurden mithilfe des Kurz-Instruktions-Bogens erhoben. Somit ergaben sich insgesamt 63 Datensätze, zu denen neben den soziodemographischen Angaben auch die Ergebnisse der Prä- sowie Posttestung vermerkt wurden. Wie durch die Grafik bei dem händischen Auswertebrett bestand auch in Excel die Möglichkeit, einen schnelleren Überblick über die Leistungen ohne umfangreiche Interpretationsvorgänge zu erhalten. Dafür wurden mit einer vorangefertigten Zellenformel die jeweiligen Mittelwerte der Schüler und Schülerinnen von den beiden Durchgängen verglichen und die tatsächliche Differenz in einem eigenen Feldbereich ausgegeben.

Der letzte Auswertungsschritt fand mithilfe eines entsprechenden statistischen Programms – IBM SPSS Statistics 24 – unter Microsoft Windows 10 statt. Hierfür wurde der bereits in Excel angelegte Datensatz in die Software importiert und erste Aufbereitungs- sowie Sortierungsmaßnahmen vorgenommen. Dazu zählte beispielsweise das Festlegen des Skalenniveaus oder die Stellenausprägung der Werte in den Zellen. Aufgrund der schlechten Bewertung hinsichtlich der mangelnden Aussagekraft vom Kennparameter „F%“, welcher eine Art Fehlerquote bei der Bearbeitung darstellt, wurde auf dessen Interpretation und Auswertung verzichtet (vgl. Daseking & Putz, 2015). Im Zentrum der Untersuchungen stehen ohnedies die Auswirkungen auf die Konzentrationsfähigkeit von Jugendlichen, deren Höhe etwa durch den Wert „KL“ (vgl. Brickenkamp et al., 2010) in quantitativer Art und Weise ausgedrückt wird. Als sinnvolle Ergänzung wird zudem die kognitive Bearbeitungsgeschwindigkeit in die statistische Analyse miteinbezogen, da es auch hier laut Mittelwertvergleich in Excel deutliche Veränderungen gibt. Neben einigen Testungen aus dem Bereich der deskriptiven Statistik, in der beispielsweise Beschreibungen hinsichtlich der Stichprobe getroffen werden, kommen auch Testungen aus der Inferenzstatistik zum Einsatz, um Schlüsse von der vorliegenden Testgruppe auf die Grundgesamtheit ziehen zu können (vgl. Aeppli et al., 2016). Da die beiden Durchgänge zeitlich verbunden und einem einzigen Probanden zuordenbar sind, scheint ein Testungsprozedere für verbundenen Werte am geeignetsten zu sein. Trotz einer vermuteten Normalverteilung wurde ein nicht parametrisches Verfahren gewählt, um die Mittelwerte der Prä- sowie Posttestung zu vergleichen. Genauer genommen handelt es sich um die Wilcoxon-Testung, da die Ergebnisse zweier Erhebungszeitpunkte zueinander in Bezug gestellt werden sollen. Abschließend werden die Erkenntnisse an geeigneter Stelle mit grafischen Aufbereitungen visualisiert.

5.3.5. Die Stichprobe: kurze Vorstellung sowie einige formale Angaben

Bevor die Ergebnisse der empirischen Untersuchung näher erläutert werden, bedarf es einer Vorstellung der Stichprobe, sodass der Leser oder die Leserin einen höheren Grad

an Transparenz erhält und die Objektivität des wissenschaftlichen Beitrages steigt. Wie bereits erwähnt, wurden im Zuge der empirischen Testung einige personenbezogene Angaben erfragt, wobei dezidiert auf die Aufrechterhaltung der Anonymität geachtet wurde. Letzterem Umstand ist es auch verschuldet, dass statt Namen auf Identifikationsnummern zur Zuordnung der Leistungen ausgewichen wurde.

Für die Testung der Auswirkung verschiedener Interventionen auf die Konzentrationsleistung von Lernenden wurde eine Stichprobe von insgesamt 63 Probanden sowie Probandinnen erhoben. Wie die Tabelle 8 darstellt, beträgt das durchschnittliche Alter 12,60 Jahre, was zum Ausdruck bringt, dass deutlich mehr 13-Jährige – genauer genommen 38 – als 12-Jährige – exakt 25 – am Experiment teilgenommen haben. Der Grund ist in der gewählten Schulstufe zu sehen, welche in der Regel mit dem erstgenannten Alter besucht wird. Trotz des Hinweises der Testautoren (vgl. Brickenkamp et al., 2010) sowie anderer Experten und Expertinnen (vgl. Budde et al., 2008), dass das Geschlecht keine signifikante Rolle bei der Ergebniserzeugung spielt, wurde dennoch auf eine Ausgewogenheit zwischen den Geschlechtern geachtet. So sind mit 33 Mädchen zu 30 Burschen zwar die Probandinnen stärker vertreten, jedoch nur in geringem Ausmaß. Auch die Händigkeit der zu Unterrichtenden wurde abgefragt. Es zeigte sich, dass über 50 Testpersonen Schreibaufgaben mit der rechten Hand absolvieren, wohingegen lediglich 9 Schüler und Schülerinnen die linke Hand verwenden.

Einen entscheidenden Einfluss bei der Berücksichtigung der Ergebnisse hatten aber der Brillenbedarf sowie die unter Umständen notwendige Nutzung der Sehhilfe. Brickenkamp et al. (2010) führen an, dass durch eine verminderte Sehleistung, die nicht durch eine optische Unterstützung ausgeglichen wird, eingeschränkte Untersuchungsleistungen im Individualfall möglich sein können, da der Teilnehmer oder die Teilnehmerin die gesuchten Zeichen innerhalb der Reihe nicht eindeutig erkennen kann oder dafür deutlich mehr Zeit benötigt. Rund 98 Prozent der Jugendlichen gab an, keine Sehhilfe zu benötigen oder diese bei vorhandener Notwendigkeit auch zu benutzen. Somit bestand bei 62 Probanden und Probandinnen keine Sorge zur Verfälschung der Ergebnisse aufgrund visueller Probleme oder Einschränkungen. Lediglich ein Schüler teilte bereits vor Beginn der Untersuchung mit, dass er seine Brille zu Hause vergessen habe. Auf Nachfrage zeigte sich allerdings, dass er diese Sehhilfe ausschließlich zum Ausgleich seiner Schwäche beim Sehen von Objekten oder Inhalten in größerer Distanz benötigt. Um letzte Bedenken auszuschließen, wurden die beiden Testdurchläufe des betroffenen zu Unterrichtenden speziell auf ein überdurchschnittlich hohes Auftreten von Fehlern auf Basis von falsch angekreuzten Zielzeichen untersucht – allerdings ohne merkbare Auffälligkeiten. Dadurch erschien es durchaus legitim, seine Leistungen in die Gesamtauswertung miteinzubeziehen.

Tabelle 8: Alter, Geschlecht, Händigkeit sowie Brillenbedarf & -verwendung der Stichprobe (n=63)

Alter		Geschlecht		Händigkeit		Brillenbedarf & -verwendung		
12J.	13J.	M	W	Rechts	Links	Nein	Ja, verw.	Ja, nicht verw.
25	38	30	33	54	9	50	12	1

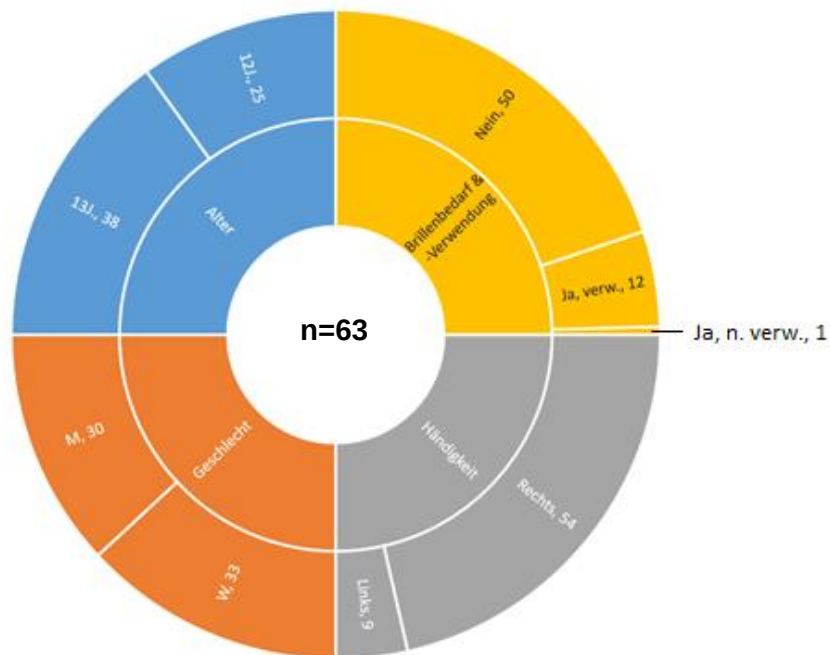


Abbildung 20: Verteilung der formalen Angaben in der Stichprobe

Da die gesamte Stichprobe aber in drei kleinere Gruppen, die jeweils eine andere Intervention in Form von Laufen, koordinativen Aufgabenstellungen sowie Sprechen erfuhren, aufgeteilt wurde, ist auch deren Aufteilung von Interesse. Für die ersten 21 Schüler sowie Schülerinnen, die für zehn Minuten einer konditionellen Belastung nachgehen mussten, ergibt sich – wie die Tabelle 9 und die dazugehörige Grafik 21 zum Ausdruck bringt – eine Altersverteilung von neun 12-jährigen zu zwölf 13-jährigen Kindern. Hinsichtlich des Geschlechts zeigt sich eine annähernde Gleichverteilung, was bei der Händigkeit sowie dem Brillenbedarf und der Verwendung der Sehhilfe weniger der Fall ist. In dieser Interventionsgruppe finden sich fast dreimal so viele Rechtshänder und Rechtshänderinnen wie Personen, welche ihre linke Hand für die Bewältigung von Schreibaufgaben verwenden. In jenem Lernenden-Verband befindet sich auch jener Schüler, der seine Sehhilfe vergessen hat, diese jedoch nur zum Zwecke der Fernsicht benötigt hat. Fast 20 Personen hatten keine Notwendigkeit einer Sehhilfe.

Tabelle 9: Alter, Geschlecht, Händigkeit sowie Brillenbedarf & -verwendung der ersten Gruppe (n=21)

Alter		Geschlecht		Händigkeit		Brillenbedarf & -verwendung		
12J.	13J.	M	W	Rechts	Links	Nein	Ja, verw.	Ja, nicht verw.
9	12	10	11	16	5	18	2	1

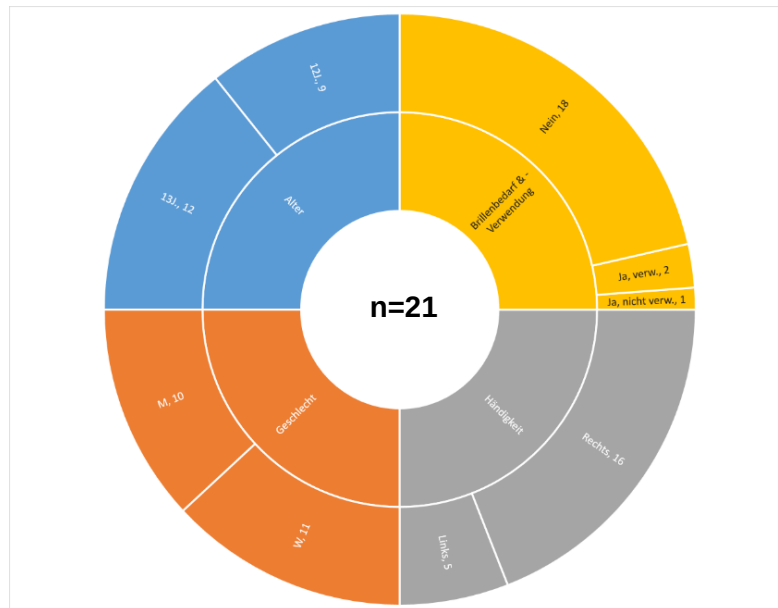


Abbildung 21: Verteilung der formalen Angaben in der ersten Gruppe

Auch die Schüler und Schülerinnen, welche eine Intervention in Form eines koordinativen Zirkels absolvieren mussten, weisen ein ähnliches Verteilungsmuster wie die vorherige Gruppe auf. Erneuert sind die 13-jährigen Rechtshänder ohne Bedarf an einer Sehhilfe in Form von Brillen oder Kontaktlinsen stärker vertreten als die restlichen Kombinationen. Der leichte Überhang an weiblichen Lernenden macht sich auch hier bemerkbar – der Unterschied beträgt exakt eine Person.

Tabelle 10: Alter, Geschlecht, Händigkeit sowie Brillenbedarf & -verwendung der zweiten Gruppe (n=21)

Alter		Geschlecht		Händigkeit		Brillenbedarf & -verwendung		
12J.	13J.	M	W	Rechts	Links	Nein	Ja, verw.	Ja, nicht verw.
5	16	10	11	19	2	15	6	0

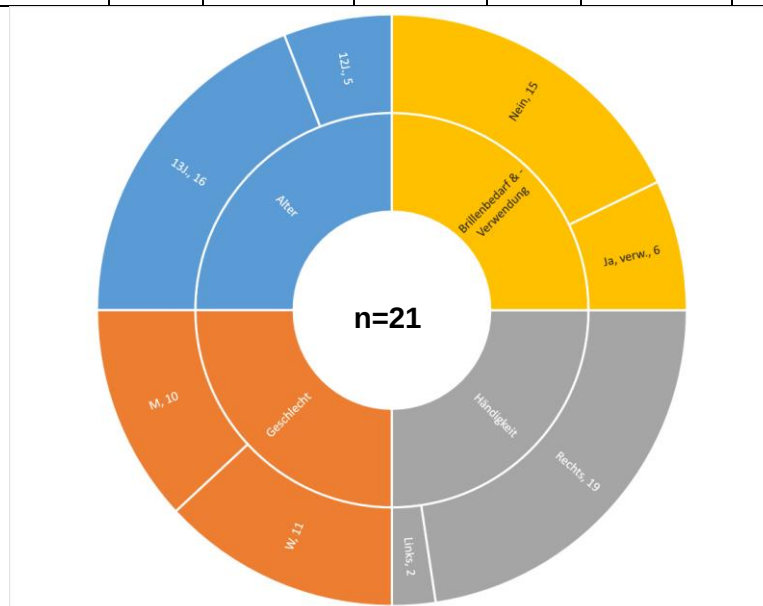


Abbildung 22: Verteilung der formalen Angaben in der zweiten Gruppe

Die verbleibenden Kinder, welche eine Identifikationsnummer von 43 bis 63 erhalten hatten, durften sich für eine vorgegebene Zeit hinsetzen und sich mit einem Gesprächspartner ihrer Wahl unterhalten. Die Angaben der jeweiligen Probanden und Probandinnen zeigten in Hinblick auf das Alter und das Geschlecht eine fast ausgeglichene Verteilung auf. Signifikante Unterschiede gab es wieder bei der Frage nach der Händigkeit und der Notwendigkeit einer Brille.

Tabelle 11: Alter, Geschlecht, Händigkeit sowie Brillenbedarf & -verwendung der dritten Gruppe (n=21)

Alter		Geschlecht		Händigkeit		Brillenbedarf & -verwendung		
12J.	13J.	M	W	Rechts	Links	Nein	Ja, verw.	Ja, nicht verw.
11	10	10	11	19	2	17	4	0

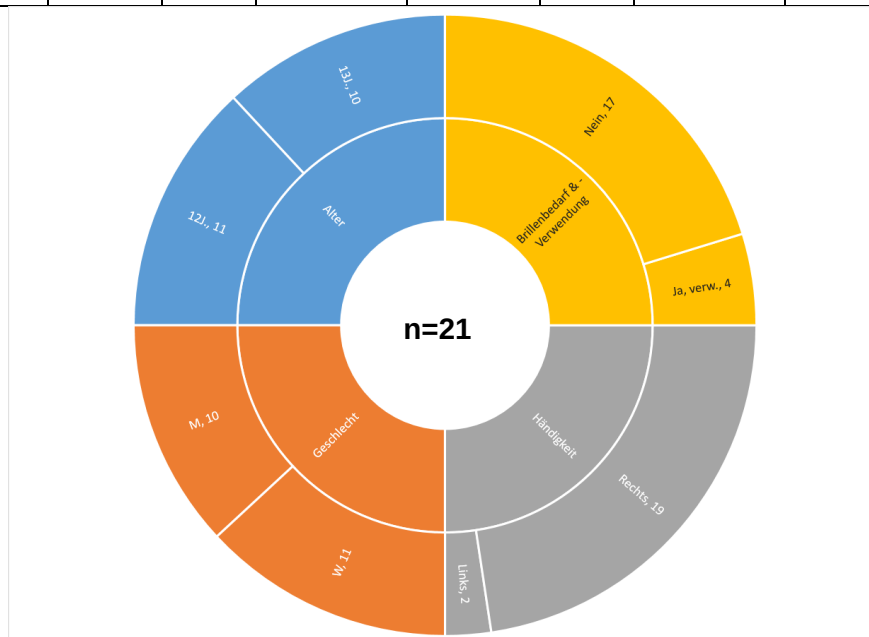


Abbildung 23: Verteilung der formalen Angaben in der dritten Gruppe

An dieser Stelle gilt es zu erwähnen, dass von der gesamten Untersuchung insgesamt drei verschiedene Fälle ausgeschlossen wurden. Diesen waren bei der Zuteilung vor Beginn der empirischen Testung die Identifikationsnummern 5, 13 sowie 28 zugeordnet worden. Somit entfallen in der ersten Interventionsgruppe sowohl eine Schülerin im Alter von 12 Jahren, welche eine Brille benötigt sowie verwendet hätte und den Test mit der rechten Hand bearbeitet hätte, als auch ein 13-jähriger Rechtshänder ohne Sehhilfebedarf. Auch in der Koordinationsgruppe entfiel eine weibliche Teilnehmerin, welche dieselbe Ausgangslage in den Bereichen Alter, Händigkeit sowie Bedarf und Verwendung von Sehhilfen gehabt hatte. Der Grund für den Ausfall der drei Personen ist im falschen Verständnis der korrekten Bearbeitung der d2-Revision zu sehen. Von allen drei Lernenden wurden überdurchschnittlich viele falsche Zeichen in den Reihen markiert, was laut Brickenkamp et al. (2010) ein eindeutiges Indiz für einen misslungenen Bewältigungsversuch darstellt.

5.4. Die Testergebnisse: die Konzentration „ins Laufen bringen“

Anders als beim Untersuchungsdesign von Budde et al. (2008) wurden drei verschiedene Gruppen in das Experiment miteinbezogen. Somit wurde neben den sportlichen Interventionen auch der Effekt einer zehnminütigen bewegungslosen Aufgabenstellung in Form von simplem Sprechen mit einem Partner oder einer Partnerin gemessen. Zunächst wird der erste Durchgang thematisiert, dessen Ergebnisse vor den unterschiedlichen Programmen erhoben wurden. Zwar umfasste jede Gruppe zunächst 21 Probanden und Probandinnen, wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, musste jedoch auf zwei Fälle verzichtet werden. Somit ergibt sich ein Umfang von 19 Testpersonen, die in Tabelle 13 vermerkt wurden. Jener Parameter, der die kognitive Geschwindigkeit bei der Bearbeitung von Konzentrations- sowie aufmerksamkeitsfordernden Inhalten Brickenkamp et al. (2010) messen soll, erstreckte sich in einem Standardwertausmaß von zumindest 88 bis hin zu 120. Somit kann laut Interpretationsansatz von Brickenkamp et al. (2010) davon ausgegangen werden, dass kein Proband sowie keine Probandin eine sehr schwache Leistung aufweist, jedoch einige überdurchschnittliche Ergebnisse erzielt haben. Die Beurteilungsmethode von Brickenkamp et al. (2010, S. 36) wurde in den Instruktionen folgendermaßen erläutert: „Per Konvention wird der Bereich ± 0.5 SD um den Mittelwert als durchschnittlich klassifiziert. Abweichungen von 0.5 bis 1.5 SD gelten als hoch bzw. niedrig, solche von mehr als 1.5 SD als sehr hoch bzw. sehr niedrig.“ Die Tabelle 12 gibt die daraus resultierende exakte Abstufung wieder:

Tabelle 12: Zuordnung der Standardwerte in die jeweiligen Stufen (Brickenkamp et al., 2010, S. 37)

Abstufungsbereich	Grenzen	Standardwerte
<i>sehr hoch</i>	untere	116
<i>hoch</i>	obere	115
	untere	106
<i>durchschnittlich</i>	obere	105
	untere	95
<i>niedrig</i>	obere	94
	untere	85
<i>sehr niedrig</i>	obere	84

Somit fällt der Mittelwert für den Parameter „Bearbeitungsstempo“ in den durchschnittlichen Bereich. Die Standardabweichung beträgt fast 10, was die Durchschnittsdifferenz der festgestellten Leistungen zum errechneten Mittelwert auf Basis der Varianz darstellt. Vergleicht man die Werte mit jenen des zweiten Durchlaufes, so ist eine deutliche Steigerung erkennbar. Das zeigt sich bereits bei Betrachtung der Spannweite, die sich tendenziell in

eine positivere Richtung verschoben hat. Unterstützt wird dieser Eindruck durch den deutlich höher ausfallenden Mittelwert, der beinahe schon in den sehr überdurchschnittlichen Leistungsbereich fällt. Die Standardabweichung ist ebenfalls angestiegen, was den Schluss auf größere Abweichungen hin zum Mittelwert legitim erscheinen lässt.

Tabelle 13: Deskriptive Statistik des Bearbeitungstempos in der ersten Gruppe

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Bearbeitungstempo Durchgang A	19	88	120	102,21	9,635
Bearbeitungstempo Durchgang B	19	90	130	114,53	12,967

Auch bei der zweiten Gruppe sind signifikante Differenzen erkennbar (siehe Tabelle 14). Lag der Minimumwert beim ersten Ablauf noch bei 88, so stieg dieser beim Post-Test auf 93 an. Dadurch ist die schwächste Testperson um drei Standardwertepunkte besser als jene des ersten Interventionsteams. Die Mittelwertsdifferenz ist ebenfalls beträchtlich, wenn diese auch kleiner als bei den Läufern und Läuferinnen ausfällt. Dafür bringen die Werte der Standardabweichung zum Ausdruck, dass die Leistungen der Teilnehmer sowie Teilnehmerinnen enger um das Durchschnittsergebnis streuen.

Tabelle 14: Deskriptive Statistik des Bearbeitungstempos in der zweiten Gruppe

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Bearbeitungstempo Durchgang A	20	88	114	98,50	7,008
Bearbeitungstempo Durchgang B	20	93	130	109,55	11,450

Die größten Veränderungen hinsichtlich der Spannweite sind im letzten Untersuchungsverband festzustellen. So stieg laut Tabelle 15 das Minimum über die beiden Durchgänge hinweg um neun Punkte an – nach oben hin kann aufgrund der „Deckelung“ keine Veränderung erkenntlich gemacht werden, da bereits beim ersten Ablauf der maximal erzielbare Wert erreicht wurde. Auch der Mittelwert ist – fast im selben Ausmaß wie bei den Schülern und Schülerinnen mit der koordinativen Zirkel-Intervention – signifikant angestiegen. Jedoch ist anzumerken, dass die Standardabweichung bereits beim ersten Messzeitpunkt der empirischen Untersuchung merklich höher ausgefallen ist als bei den anderen beiden Gruppierungen. Somit ist bei diesen Probanden und Probandinnen von einer breiteren Streuung auszugehen.

Tabelle 15: Deskriptive Statistik des Bearbeitungstempos in der dritten Gruppe

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Bearbeitungstempo Durchgang A	21	80	130	104,76	11,090
Bearbeitungstempo Durchgang B	21	89	130	115,14	12,350

Abbildung 24 visualisiert die Mittelwertsveränderungen der kognitiven Bearbeitungsgeschwindigkeit der Aufgabenstellung innerhalb der drei Gruppen in Form von Geraden. Die blaue Linie symbolisiert dabei die Läufer und Läuferinnen, die orange Gerade die Koordinations-Personen und die graue Leiste die sprechenden Probanden und Probandinnen. Ohne Berücksichtigung der Mittelwertsentwicklung erreicht somit der letzte Verband einen durchschnittlichen Standardwert von 115,14 Punkten. Auf das Ausmaß der Steigerung und deren Signifikanz wird zu einem späteren Zeitpunkt näher eingegangen.

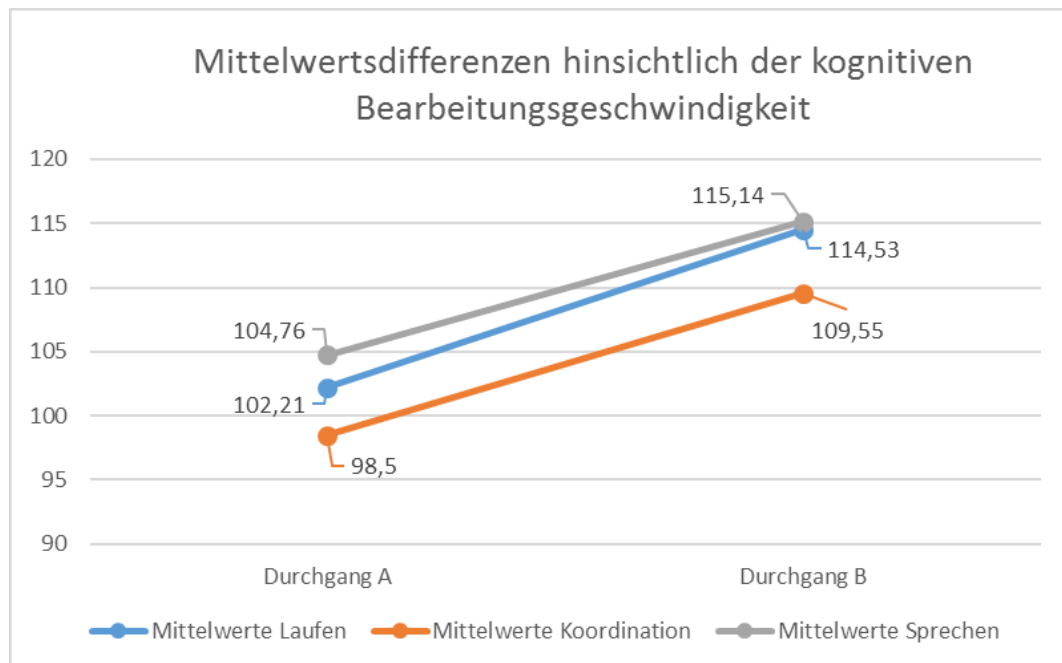


Abbildung 24: Entwicklung der Bearbeitungsgeschwindigkeits-Mittelwerte in den drei Gruppen

Beim zweiten kognitionsbezogenen Parameter, der durch die Durchführung der Untersuchung erhoben werden konnte, handelt es sich um die Konzentrationsleistung, welche von Brickenkamp et al. (2010, S. 38) als „KL“ abgekürzt wird und „[...] ein Maß für die Konzentrationsfähigkeit der Testperson [...]“ ist. Auch bei diesem Aspekt gibt es zum Teil deutliche Veränderungen, die näher erläutert werden müssen.

Aus platztechnischen Gründen wurde die Tabellenvorlage geringfügig adaptiert und der Begriff „Mittelwert“ gegen das Kürzel „MW“ ausgetauscht. Der zum Ausdruck gebrachte Inhalt bleibt aber identisch. Die tabellarische Darstellung 16 zeigt, dass sich die Spann-

weite der Läuferinnen und Läufer von 20 auf 34 erweitert hat – in eine überwiegend positive Richtung. Auch die Mittelwerte der beiden Erhebungen haben sich verändert – war die Gruppe zunächst eher durchschnittlich, so weist die Mehrheit der Kinder eine hohe Leistung im Bereich der Konzentration auf. Auffällig ist auch die verhältnismäßig geringe Standardabweichung, die sich beim zweiten Durchgang fast verdoppelt hat.

Tabelle 16: Deskriptive Statistik der Konzentrationsleistung in der ersten Gruppe

	N	Minimum	Maximum	MW	Standardabweichung
Konzentrationsleistung Durchgang A	19	89	109	98	6,574
Konzentrationsleistung Durchgang B	19	95	129	112,68	11,265

Auch die koordinative Intervention scheint zu einer signifikanten Veränderung der erhobenen Werte geführt zu haben. Jedoch bringen die tendenziell niedrigeren Mittelwerte zum Ausdruck, dass die Leistungen jener Schüler und Schülerinnen im Hinblick auf die Konzentrationsleistung im Altersdurchschnitt eher schwächer ausgefallen sind. Nichtsdestotrotz ist eine positive Mittelwertsentwicklung vorhanden, die mit einer gleichzeitigen Verschiebung der Spannweite in höhere Ergebnisbereiche einhergeht. Die Standardabweichung ähnelt der vorherigen Gruppierung, wobei diese bei der zweiten Messung um knapp einen Punkt geringer ausfällt und die Streuung somit enger ist.

Tabelle 17: Deskriptive Statistik der Konzentrationsleistung in der zweiten Gruppe

	N	Minimum	Maximum	MW	Standardabweichung
Konzentrationsleistung Durchgang A	20	78	106	94,60	6,573
Konzentrationsleistung Durchgang B	20	89	128	106,50	10,288

Jene zu Unterrichtenden, die während der Zeit der Intervention nur miteinander gesprochen und keiner aktiven Bewegung im Raum nachgegangen sind, weisen ebenfalls Differenzen zwischen den beiden Durchgängen auf (siehe Tabelle 18). Der Grund dafür wurde bereits in den vorherigen Kapiteln erläutert – der sogenannte Übungs- oder Lerneffekt (vgl. Brickenkamp, 2010; Daseking & Putz, 2015). Letztere Veränderung ist im Vergleich mit den anderen beiden Interventionen jedoch am geringsten gewesen. Eine Auffälligkeit stellt auch die Spannweite dar, die bei beiden Erhebungszeitpunkten sehr hoch ausfällt. Im Vergleich zu den anderen Gruppen und den Differenzen bei der Bearbeitungsge-

schwindigkeit zeigt sich bei den sprechenden Testpersonen auch die Standardabweichung, die relativ hoch ist.

Tabelle 18: Deskriptive Statistik der Konzentrationsleistung in der dritten Gruppe

	N	Minimum	Maximum	MW	Standardabweichung
Konzentrationsleistung Durchgang A	21	70	122	99,29	11,332
Konzentrationsleistung Durchgang B	21	70	130	108,76	14,707

Wie auch bei der kognitiven Bearbeitungsgeschwindigkeit der Aufgabenstellungen der d2-Revision wurden die Mittelwerte der drei Gruppen zum ersten Messzeitpunkt sowie zur zweiten Erhebung der Leistung in die Abbildung 25 eingetragen, wodurch drei Entwicklungsgraphen entstehen. Eine gute Möglichkeit zur Interpretation des Diagramms bietet der Winkel der Linien: Je steiler diese vom ersten Untersuchungszeitpunkt hin zur zweiten Messung ansteigen, desto größer ist die – in diesem Fall – positive Differenz. Wird dieser Ratschlag befolgt, so ist der Anstieg bei den Läufern sowie Läuferinnen am meisten ausgeprägt, wobei die Koordinations-Gruppe einen ähnlichen Verlauf aufweist. Dafür zeigt sich bei den sprechenden Schülern sowie Schülerinnen der höchste Ausgangswert hinsichtlich der Konzentrationsleistung, was für deren vergleichsweise erhöhte Leistungsfähigkeit spricht. Die Verbesserung beträgt jedoch unter zehn Standardwertpunkte bei der nonmotorischen Gruppe.

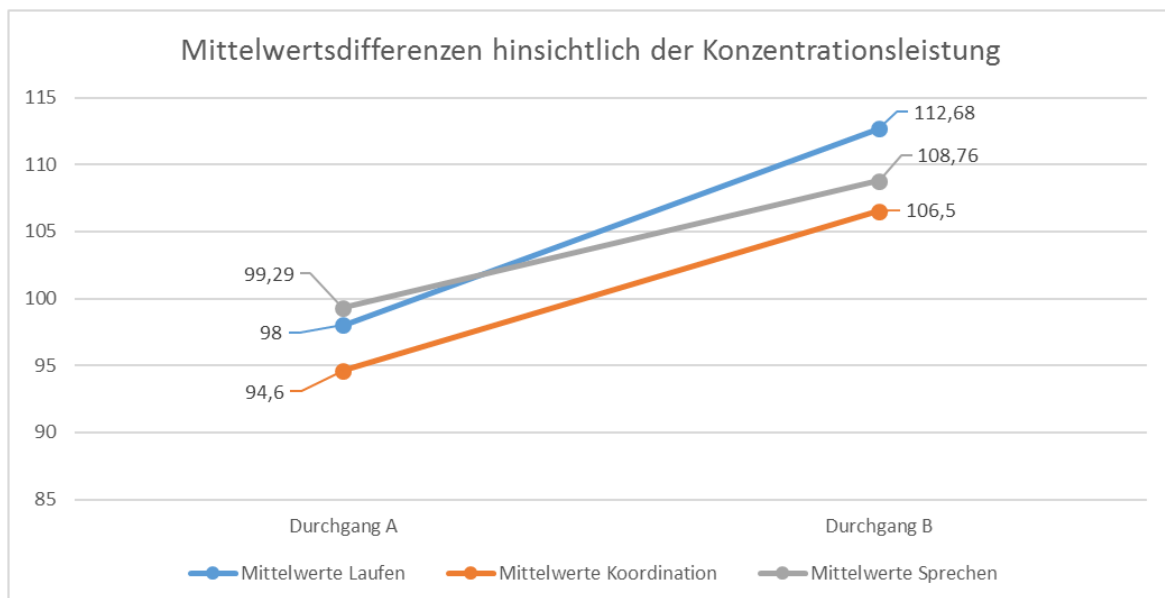


Abbildung 25: Entwicklung der Konzentrationsleistungs-Mittelwerte in den drei Gruppen

Damit die statistische Auswertung vollständig ist und die Ergebnisse auf ihre Signifikanz geprüft werden können, sind noch die Resultate des bereits angekündigten Wilcoxon-

Tests ausständig. Zunächst wird die Signifikanz der kognitiven Bearbeitungsgeschwindigkeit geprüft. Dazu wird folgendes Hypothesenpaar formuliert:

- **H0:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent besteht zwischen den beiden Messungen hinsichtlich des Bearbeitungstempos bei den Läufern und Läuferinnen kein signifikanter Unterschied.
- **H1:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent besteht zwischen den beiden Messungen hinsichtlich des Bearbeitungstempos bei den Läufern und Läuferinnen ein signifikanter Unterschied.

Der in der Tabelle 19 vorliegende Wert für die Signifikanz liegt unter .05, weswegen die Nullhypothese abgelehnt und von der Alternativhypothese ausgegangen werden muss. Es besteht somit ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten bei den Läufern und Läuferinnen, der bei den vorherigen grafischen Aufbereitungen in Form von Tabellen und Diagrammen ersichtlich wurde. Bis auf einen Fall, welcher zufälligerweise die gleichen Ergebnisse bei beiden Testungen aufwies, haben alle anderen Testpersonen eine Steigerung erzielt. Die Stärke der Intervention und des dadurch erzielten Einflusses beträgt .85, was nach Cohen (1992) einem starken Effekt, der durch die konditionelle körperliche Beanspruchung entsteht, entspricht.

Tabelle 19: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests betreffend die Bearbeitungsgeschwindigkeit in der ersten Gruppe

		Ränge		Statistik für Test ^a	
		N	Mittlerer Rang	Rangsumme	
Bearbeitungstempo Durchgang A - Bearbeitungstempo Durchgang B	Negative Ränge	18 ^a	9,50	171,00	Bearbeitung stempo Durchgang A - Bearbeitung stempo Durchgang B
	Positive Ränge	0 ^b	,00	,00	
	Bindungen	1 ^c			
	Gesamt	19			
a. Bearbeitungstempo Durchgang A < Bearbeitungstempo Durchgang B				Z	-3,727 ^b
b. Bearbeitungstempo Durchgang A > Bearbeitungstempo Durchgang B				Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000
c. Bearbeitungstempo Durchgang A = Bearbeitungstempo Durchgang B				Exakte Signifikanz (2- seitig)	,000
				Exakte Signifikanz (1- seitig)	,000
				Punkt-Wahrscheinlichkeit	,000
a. Wilcoxon-Test					
b. Basiert auf positiven Rängen.					

Aufgrund der Resultate von Budde et al. (2008) zu erwarten war, scheinen die zehnminütigen koordinativen Übungen gewisse Auswirkungen auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit der Kinder zu haben. Davor gilt es aber wieder, die obligatorischen Hypothesen aufzustellen:

- **H0:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent besteht zwischen den beiden Messungen hinsichtlich des Bearbeitungstempos bei den Koordinationsportlern und Koordinationssportlerinnen kein signifikanter Unterschied.
- **H1:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent besteht zwischen den beiden Messungen hinsichtlich des Bearbeitungstempos bei den Koordinationsportlern und Koordinationssportlerinnen ein signifikanter Unterschied.

Die Tabelle 20, welche die SPSS-Ergebnisse der Wilcoxon-Testung wiedergibt, zeigt einen p-Wert von unter .05, weswegen erneuert die Alternativhypothese anzunehmen und daher von einem statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Messergebnissen auszugehen ist. Im Gegensatz zur vorherigen Gruppe tritt hier eine Person hervor, die sich im Zuge der Testung verschlechtert hat. Der Proband trägt die Identifikationsnummer 35 und hat sich beim zweiten Durchlauf um zwei Standardwertpunkte verschlechtert. Die nach der Interpretationshilfe von Cohen (1992) ermittelte Effektstärke beträgt .87, und fällt damit ebenfalls hoch und in geringem Ausmaß stärker als jene der Läufer und Läuferinnen aus. Somit sind momentan beide Interventionen gut geeignet, um eine förderliche Steigerung bei der kognitiven Bearbeitungsgeschwindigkeit zu erzielen.

Tabelle 20: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests betreffend die Bearbeitungsgeschwindigkeit in der zweiten Gruppe

Ränge		Statistik für Test ^a			
		N	Mittlerer Rang	Rangsumme	
Bearbeitungstempo Durchgang A - Bearbeitungstempo Durchgang B	Negative Ränge	19 ^a	11,00	209,00	Bearbeitung stempo Durchgang A
	Positive Ränge	1 ^b	1,00	1,00	-
	Bindungen	0 ^c			Bearbeitung stempo Durchgang B
	Gesamt	20			
a. Bearbeitungstempo Durchgang A < Bearbeitungstempo Durchgang B				Z	-3,889 ^b
b. Bearbeitungstempo Durchgang A > Bearbeitungstempo Durchgang B				Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000
c. Bearbeitungstempo Durchgang A = Bearbeitungstempo Durchgang B				Exakte Signifikanz (2- seitig)	,000
				Exakte Signifikanz (1- seitig)	,000
				Punkt-Wahrscheinlichkeit	,000
a. Wilcoxon-Test					
b. Basiert auf positiven Rängen.					

Nun bedarf es nur noch der Aufstellung eines geeigneten Hypothesenpaars für jene Lernenden, die sich im Beeinflussungszeitraum mit ihren Kollegen oder Kolleginnen über ein beliebiges Thema unterhalten haben und keiner aktiven körperlichen Bewegung im Raum nachgegangen sind. Jene Werte dienen zur Referenz und ermöglichen unter Umständen eine grobe Einschätzung des lernbezogenen Effekts (vgl. Brickenkamp, 2010; Daseking & Putz, 2015). Die beiden Thesen sehen folgendermaßen aus:

- **H0:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent besteht zwischen den beiden Messungen hinsichtlich des Bearbeitungstempos bei den sprechenden Personen kein signifikanter Unterschied.
- **H1:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent besteht zwischen den beiden Messungen hinsichtlich des Bearbeitungstempos bei den sprechenden Personen ein signifikanter Unterschied.

Erstaunlicherweise ist auch das Ergebnis des letzten parameterfreien Testverfahrens unter dem Signifikanzniveau von .05, wodurch zum dritten Mal die Nullhypothese aufgegeben werden und die Alternativthese über den offensichtlich signifikanten Unterschied akzeptiert werden muss. Auch die Stärke des Effekts ist außerordentlich hoch und entspricht mit einem Wert von .84 einem starken Effekt, der mithilfe der gewählten Intervention in Form von Sprechen generiert werden kann. Betrachtet man in Abbildung 21 die Verteilung der Ränge, so ist erkennbar, dass sowohl ein Fall in beiden Durchgängen dasselbe Ergebnis erzielt hat als auch ein Schüler eine verminderte Leistung bei der zweiten Testung aufbringen konnte.

Tabelle 21: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests betreffend die Bearbeitungsgeschwindigkeit in der dritten Gruppe

Ränge		Statistik für Test ^a		
		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Bearbeitungstempo Durchgang A - Bearbeitungstempo Durchgang B	Negative Ränge	19 ^a	10,95	208,00
	Positive Ränge	1 ^b	2,00	2,00
	Bindungen	1 ^c		
	Gesamt	21		
a. Bearbeitungstempo Durchgang A < Bearbeitungstempo Durchgang B		Z		-3,853 ^b
b. Bearbeitungstempo Durchgang A > Bearbeitungstempo Durchgang B		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,000
c. Bearbeitungstempo Durchgang A = Bearbeitungstempo Durchgang B		Exakte Signifikanz (2-seitig)		,000
		Exakte Signifikanz (1-seitig)		,000
		Punkt-Wahrscheinlichkeit		,000
a. Wilcoxon-Test				
b. Basiert auf positiven Rängen.				

Somit haben sich bei allen drei Gruppen die Mediane vom Zeitpunkt der ersten d2-Revisions-Bearbeitung bis zum zweiten Messergebnis erhöht, was sich so interpretieren lässt, dass die Hälfte der Probanden sowie Probandinnen im Schnitt höhere Ergebnisse erzielt hat als im ersten Durchgang. Die größte Differenz gab es bei den Läufern sowie Läuferinnen mit einem Wert von 14, gefolgt von den koordinativ geforderten Personen mit einem Median-Unterschied von 11. Die sprechenden Schüler sowie Schüler hatten zwar die höchsten Ausgangswerte im Durchgang A, konnten aber nur eine Steigerung von 8 Punkten erreichen, wie die Tabelle 22 zeigt.

Tabelle 22: Vergleich der Medianentwicklung die Bearbeitungsgeschwindigkeit in den drei Gruppen

		Bearbeitung stempo Durchgang A		Bearbeitung stempo Durchgang B		Bearbeitung stempo Durchgang A		Bearbeitung stempo Durchgang B		Bearbeitung stempo Durchgang A		Bearbeitung stempo Durchgang B	
N	Gültig	19	19	N	Gültig	20	20	N	Gültig	21	21	N	Gültig
	Fehlend	0	0		Fehlend	0	0		Fehlend	0	0		Fehlend
Median		101,00	115,00	Median		97,00	108,00	Median		106,00	114,00		

Die letzten Ergebnisse, die im Zuge der empirischen Untersuchung noch erwähnt werden müssen, sind jene über die Konzentrationsleistung der zu Unterrichtenden der siebten Schulstufe. Für die erste Gruppe, die sich dem Laufen widmete, wurden folgende mögliche Annahmen aufgestellt:

- **H0:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent besteht zwischen den beiden Messungen hinsichtlich der Konzentrationsleistung bei den Läufern und Läuferinnen kein signifikanter Unterschied.
- **H1:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent besteht zwischen den beiden Messungen hinsichtlich der Konzentrationsleistung bei den Läufern und Läuferinnen ein signifikanter Unterschied.

Die tabellarische Darstellung 23 bringt zum Ausdruck, dass der Signifikanzwert p wieder unter der Schwelle von .05 liegt, wodurch die Alternativhypothese mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von rund fünf Prozent angenommen und gleichzeitig die Nullhypothese abgelehnt werden muss. Somit gibt es auch hier eine statistisch signifikante Differenz zwischen den Konzentrationswerten der beiden Testdurchgänge. Jeder Proband und jede Probandin hat sich den positiven Rängen zufolge verbessert – der erzielte Effekt muss mit einem Wert von .88 als stark eingestuft werden (vgl. Cohen, 1992).

Tabelle 23: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests betreffend die Konzentrationsleistung in der ersten Gruppe

		Ränge			Statistik für Test ^a	
		N	Mittlerer Rang	Rangsumme		
Konzentrationsleistung Durchgang A - Konzentrationsleistung Durchgang B	Negative Ränge	19 ^a	10,00	190,00	Konzentrationsleistung Durchgang A	
	Positive Ränge	0 ^b	,00	,00	-	
	Bindungen	0 ^c			Konzentrationsleistung Durchgang B	
	Gesamt	19				
a. Konzentrationsleistung Durchgang A < Konzentrationsleistung Durchgang B					Z	-3,826 ^b
b. Konzentrationsleistung Durchgang A > Konzentrationsleistung Durchgang B					Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000
c. Konzentrationsleistung Durchgang A = Konzentrationsleistung Durchgang B					Exakte Signifikanz (2-seitig)	,000
					Exakte Signifikanz (1-seitig)	,000
					Punkt-Wahrscheinlichkeit	,000
a. Wilcoxon-Test						
b. Basiert auf positiven Rängen.						

Bei denjenigen Teilnehmern und Teilnehmerinnen, welche die Identifikationsnummer 22 bis 42 erhalten haben und somit am Koordinations-Zirkel teilnehmen mussten, deutete das entsprechende Diagramm 25 bereits einen merkbaren Unterschied an. Die Hypothesen dazu sind wie folgt formuliert worden und werden mithilfe des Ergebnisses des Wilcoxon-Tests überprüft:

- **H0:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent besteht zwischen den beiden Messungen hinsichtlich der Konzentrationsleistung bei den Koordinationsportlern und Koordinationssportlerinnen kein signifikanter Unterschied.
- **H1:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent besteht zwischen den beiden Messungen hinsichtlich der Konzentrationsleistung bei den Koordinationsportlern und Koordinationssportlerinnen ein signifikanter Unterschied.

Bei Interpretation des Signifikanzwertes p aus der Tabelle 24, der mit .00 eindeutig unter dem Niveau von .05 liegt, muss klarerweise wieder jene These angenommen werden, die sich für eine signifikante Differenz zwischen den beiden gemessenen Konzentrationsleistungen ausspricht. Wie auch bei der ersten Gruppe wurde bei diesem Kennparameter weder eine Verschlechterung in Form von positiven Rängen noch eine Bindung durch gleichbleibende Ergebnisse, sondern lediglich Verbesserungen festgestellt. Nach Cohen (1992) muss auch hier wieder von einer sehr hohen Effektstärke ausgegangen werden, da der dazugehörige Wert .88 beträgt und damit die gleiche Stärke wie bei den Läufern und Läuferinnen erreicht wurde.

Tabelle 24: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests betreffend die Konzentrationsleistung in der zweiten Gruppe

Ränge		Statistik für Test ^a		
		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Konzentrationsleistung Durchgang A - Konzentrationsleistung Durchgang B	Negative Ränge	20 ^a	10,50	210,00
	Positive Ränge	0 ^b	,00	,00
	Bindungen	0 ^c		
	Gesamt	20		
a. Konzentrationsleistung Durchgang A < Konzentrationsleistung Durchgang B		Z		-3,927 ^b
b. Konzentrationsleistung Durchgang A > Konzentrationsleistung Durchgang B		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,000
c. Konzentrationsleistung Durchgang A = Konzentrationsleistung Durchgang B		Exakte Signifikanz (2-seitig)		,000
		Exakte Signifikanz (1-seitig)		,000
		Punkt-Wahrscheinlichkeit		,000
		a. Wilcoxon-Test		
		b. Basiert auf positiven Rängen.		

Wie bei der kognitiven Bearbeitungsgeschwindigkeit wird auch beim Kennwert der Konzentrationsleistung eine Steigerung bei der dritten Interventionsgruppe vermutet, der al-

lerdings weniger hoch ausfallen sollte. Der Vollständigkeit geschuldet, wird aber das letzte Hypothesenpaar ausformuliert und auf Annahme sowie Verwerfung getestet:

- **H0:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent besteht zwischen den beiden Messungen hinsichtlich der Konzentrationsleistung bei den sprechenden Personen kein signifikanter Unterschied.
- **H1:** Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von fünf Prozent besteht zwischen den beiden Messungen hinsichtlich der Konzentrationsleistung bei den sprechenden Personen ein signifikanter Unterschied.

Zum ersten Mal ist eine Abweichung des Signifikanzwertes p von 0 aufgetreten, die jedoch das Niveau von .05 nicht überschreitet. Aus diesem Grund muss erneuert die Nullhypothese mit einer bestimmten Fehlerwahrscheinlichkeit verworfen und stattdessen die Alternative angenommen werden. Dieser Umstand bestätigt die im Vorfeld aufgestellte Vermutung, dass auch die Sprachgruppe eine Steigerung der Konzentrationsleistung erzielen wird. Ein nennenswerter Aspekt findet sich bei den vorliegenden Rängen wieder – zwei Personen der dritten Gruppe haben beim zweiten Durchgang niedrigere Ergebnisse als bei der ersten Testdurchführung erzielt. Einen Unterschied gibt es jedoch im Ausmaß der Effektstärke, die mit .69 als hoch einzustufen ist, jedoch deutlich von den Werten der anderen Gruppen abweicht. Somit dürfte die Intensität des Effekts durch die Interventionen auf die Steigerung der Konzentrationsleistung höher ausfallen.

Tabelle 25: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests betreffend die Konzentrationsleistung in der dritten Gruppe

Ränge		Statistik für Test ^a		
		N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Konzentrationsleistung Durchgang A - Konzentrationsleistung Durchgang B	Negative Ränge	19 ^a	10,87	206,50
	Positive Ränge	2 ^b	12,25	24,50
	Bindungen	0 ^c		
	Gesamt	21		
a. Konzentrationsleistung Durchgang A < Konzentrationsleistung Durchgang B		Z		-3,166 ^b
b. Konzentrationsleistung Durchgang A > Konzentrationsleistung Durchgang B		Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,002
c. Konzentrationsleistung Durchgang A = Konzentrationsleistung Durchgang B		Exakte Signifikanz (2-seitig)		,001
		Exakte Signifikanz (1-seitig)		,000
		Punkt-Wahrscheinlichkeit		,000
		a. Wilcoxon-Test		
		b. Basiert auf positiven Rängen.		

Zum Abschluss werden noch die Mediane, welche in der Tabelle 26 aufgelistet sind, miteinander verglichen. Hier zeigen sich deutlichere Unterschiede im Vergleich zur ersten tabellarischen Darstellung, welche die Mediane der Bearbeitungsgeschwindigkeit beinhaltete. Die höchste Differenz ist bei den Läufern und Läuferinnen zu finden, bei denen sich

der Median um 16 Punkte in einen höheren Leistungsbereich verschoben hat. Darauf folgen jene Lernende, die sich koordinativen Aufgabenstellungen gewidmet haben. Diese erreichten ebenfalls eine Steigerung im Ausmaß von 10 Punkten. Die kleinste Median-Verbesserung wurde bei den sprechenden Teilnehmern sowie Teilnehmerinnen erzielt, die drei Punkte hinter der koordinativen Interventionsgruppe liegen.

Tabelle 26: Vergleich der Medianentwicklung der Konzentrationsleistung in den drei Gruppen

		Konzentration leistung Durchgang A	Konzentration leistung Durchgang B			Konzentration leistung Durchgang A	Konzentration leistung Durchgang B			Konzentration leistung Durchgang A	Konzentration leistung Durchgang B
N	Gültig	19	19	N	Gültig	20	20	N	Gültig	21	21
	Fehlend	0	0		Fehlend	0	0		Fehlend	0	0
Median		98,00	114,00	Median		94,00	104,00	Median		101,00	108,00

5.5. Untersuchungsresümee und -diskussion

Die statistische Auswertung hat zweifelsfrei bewiesen, dass sich durch verschiedene Interventionsprogramme eine Verbesserung verschiedener kognitiver Parameter erzielen lässt. Somit sind die zu Beginn der Arbeit formulierten Hypothesen wie folgt zu beantworten:

I. *Durch eine akute Trainingsintervention lässt sich die Konzentrationsleistung steigern.*

Diese Hypothese hat ihren Stellenwert und wird durch die Resultate der vorherigen Seite untermauert. Beide sportlichen, kurzzeitigen Programme sorgen für eine Steigerung der kognitiven Bearbeitungsgeschwindigkeit, liefern aber auch aus statistischer Sicht einen signifikanten Beitrag zur Optimierung der Konzentrationsleistung von Schülern und Schülerinnen im Alter von zwölf bis 13 Jahren. Nichtsdestotrotz darf der Umstand, dass reines Sprechen ohne Koppelung mit einer Bewegungsform im Raum ebenfalls zu einer Steigerung der Kennwerte führt, nicht außer Acht gelassen werden. Wie Brickenkamp (2010) sowie Daseking & Putz (2015) betonen, gibt es für das Phänomen des Lern- oder Übungseffekts bei diesem Testdesign wenig bis keine Erfahrungs- oder Referenzwerte, sodass die Leistungen explizit dargestellt und von Verfälschungen bereinigt werden könnten. Dieser Umstand könnte in die Liste möglicher Verbesserungen bei zukünftigen Auflagen der d2-Revision aufgenommen werden, um die Aussagekraft der Ergebnisse drastisch zu erhöhen. Ein weiterer Punkt, den es zu berücksichtigen gilt, ist die motorische Aktivität des Sprechens. Zwar erfolgt bei dieser Interventionsmaßnahme keine aktive Bewegung im Raum, jedoch werden bestimmte Muskelpartien und Areale im Gehirn durch den Sprechvorgang aktiviert, was zu einer intensiveren Durchblutung und Freisetzung verschiedener Botenstoffe führt (vgl. Turecek, 2012; Costandi, 2015; Böttger, 2016).

Somit wäre es für künftige Forschungsprozesse von Interesse, wie sich der Unterschied zu einer Interventionsgruppe auswirkt, bei der gar keine Aktivität stattfindet.

II. Der Einfluss auf die Konzentrationsleistung durch ein akutes koordinatives Training ist stärker ausgeprägt als der durch eine konditionelle oder rein auf Sprechen limitierte Intervention.

Diese Annahme muss klar widerlegt werden. Wie bereits erwähnt, lassen sich sowohl die Geschwindigkeit bei der Bearbeitung bestimmter Aufgabenstellungen als auch die Intensität der Konzentration von Kindern durch sportliche Maßnahmen steigern. Allerdings sind die Auswirkungen, die durch konditionelle Beanspruchungen in Form von Laufen erzielt werden, eindeutig höher als jene durch koordinative Aufgabenstellungen. In manchen Bereichen – etwa der Bearbeitungsgeschwindigkeit – wurde jedoch eine geringfügig höhere Effektstärke nach Cohen (1992) errechnet. Offen bleibt die Frage, wie sich beispielsweise ein gemischt konditionell-koordinatives Setting auf die Leistungsfähigkeit bestimmter kognitiver Parameter von zu Unterrichtenden auswirkt. So könnte beispielsweise in künftigen Untersuchungen eine bestimmte Anzahl an Schülern sowie Schülerinnen während des Laufens koordinative Elemente aus der Lauf-Schule einbauen oder die zehnminütige Interventionszeit jeweils zur Hälfte für eine der beiden Beanspruchungsformen genutzt werden.

Für weitere wissenschaftliche Auseinandersetzungen mit der brisanten Thematik wäre es ratsam, die Stichprobengröße der einzelnen Interventions-Gruppen zu erhöhen, um solidere und repräsentativere Ergebnisse zu erzielen. Dabei muss aber der organisatorische Aufwand zur Generierung der notwendigen Anzahl an Lernenden berücksichtigt werden, was sich aufgrund verschiedener „Barrieren“, wie Schularbeiten, schulbezogenen Veranstaltungen oder andere Gründe, als schwierig entpuppen kann. Zudem bedarf es der Zustimmung des jeweiligen Schulleiters oder der jeweiligen Schulleiterin sowie gegebenenfalls der Information und Erlaubnis der Erziehungsberechtigten. Ein weiteres Hindernis stellt der finanzielle Faktor dar, welcher bei einer größeren Anzahl an Untersuchungsteilnehmern sowie Untersuchungsteilnehmerinnen drastisch ansteigen kann, da die d2-Revision nicht nur frei nutzbar ist. Somit wäre es unter Umständen von Vorteil, auf ein billigeres, den geläufigen wissenschaftlichen Gütekriterien entsprechendes Erhebungsinstrument auszuweichen.

6. Neurodidaktische Überlegungen unter besonderer Berücksichtigung des Optimierungspotenzials von Sport

In den nachfolgenden Kapiteln wird darüber referiert, welche Erkenntnisse unterschiedliche Experten und Expertinnen zum Thema der Neurodidaktik gewonnen haben. Anhand dieser Ansätze werden nach Möglichkeit gezielte Ableitungen für Lehrer und Lehrerinnen gemacht, um den Lehr-Lern-Prozess im Setting Schule aus neurodidaktischer Sicht zu „optimieren“. Dabei finden auch der Sport und sein Potenzial zur Förderung schulischer Erkenntnisprozesse Berücksichtigung, indem eine Auswahl unterschiedlicher Erklärungsansätze hinsichtlich der mikrobiologischen sowie organischen Zusammenhänge zwischen dem Sporttreiben und der Steigerung kognitiver Funktionen vorgestellt wird (vgl. Ainsworth et al., 2000; Turecek, 2012; Voelcker-Rehage et al., 2013; Beck, 2014; Koutsandréou, Niemann, Wegner & Budde, 2016). Zum Abschluss werden aus der Literatur einige praktische Übungen vorgestellt, die zur Steigerung der kognitiven Leistungsfähigkeit in der Schule beitragen können.

6.1. Die Neurodidaktik – gehirngerechte Lehr-Lern-Settings schaffen

Seine Ursprünge hat das Konzept in der Sonderpädagogik, in der zu Unterrichtenden aufgrund genetischer oder pathogener Faktoren an bestimmten Handicaps leiden, die zu Problemen beim Erlernen oder Interpretieren von Inhalten führen (vgl. Herrmann, 2009; Böttger, 2016). Bereits vor 25 Jahren beschrieb der Wissenschaftler Preiß (1992, S. 99) die Neurodidaktik und definierte diese wie folgt: „[...] das Forschungs- und Handlungsgebiet, das vor allem die Zusammenhänge zwischen neurologischen Bedingungen und Lernprozessen des Menschen zu erkennen und zu beschreiben versucht, um daraus theoretische und praktische Schlussfolgerungen für die Didaktik abzuleiten“. Somit soll durch die Neurodidaktik gelingen, die kognitiven Neurowissenschaften mit didaktischen Ansätzen zu vereinen (vgl. Müller, 2016). Ergänzt wurde das interdisziplinär aufgestellte Fachgebiet durch psychologische, erziehungswissenschaftliche sowie neurobiologische Erkenntnisse (vgl. Böttger, 2016). Gasser (2008) griff den geläufigen Definitionsansatz auf und führte dabei explizit den schulbezogenen Kontext an. Seiner Meinung nach sollen lernförderliche sowie weniger geeignete Maßnahmen sowohl in der Planung, der Durchführung als auch im Zuge der Evaluierung des Unterrichtsgeschehens anhand neurowissenschaftlicher Theorien abgeglichen werden, um eine verbesserte Lernleistung zu erzielen.

Ein Begriff, der als Synonym für die Neurodidaktik gesehen wird, ist laut Müller (2016) die Neuropädagogik. Im englischsprachigen Raum werden dafür unter anderem die Bezeich-

nungen „neurodidactics“ oder „educational neurosciences“ (Böttger, 2016, S. 19) verwendet. Erstere Variante ist aber laut Herrmann (2009a) keine ideale Bezeichnung, da diese seiner Meinung nach zu falschen Annahmen führen kann. Es handle sich nämlich weniger um ein didaktisches Konzept, welches die Selektion und Strukturierung von relevanten Themen festlegt, sondern vielmehr um eine auf wissenschaftliche Befunde gestützte Methodik zur Optimierung des Vermittlungsprozesses (siehe Abbildung 26).

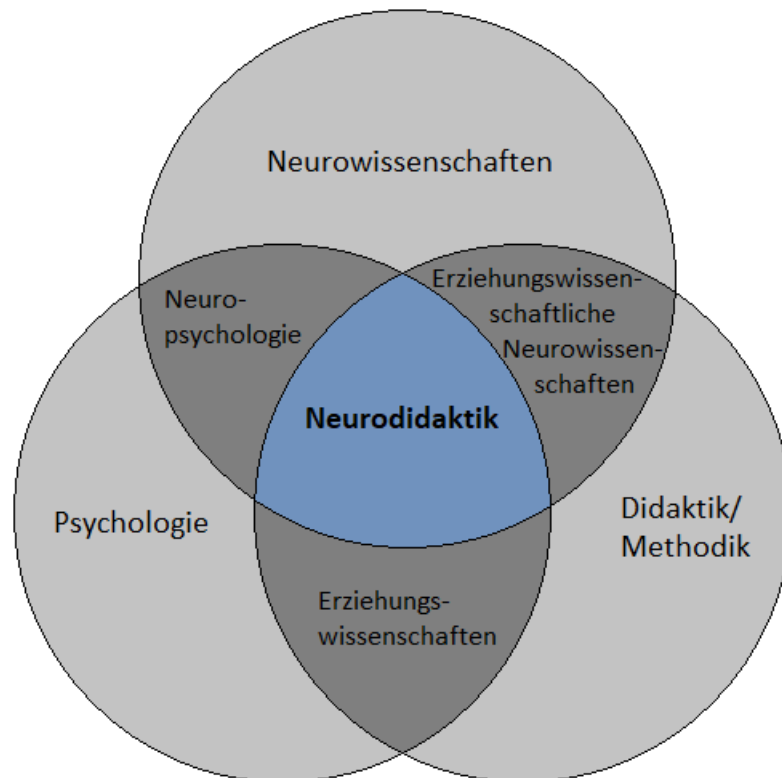


Abbildung 26: Die Neurodidaktik — eine interdisziplinäre Wissenschaft (Böttger, 2016, S. 18)

Generell setzt sich der Begriff der Neurodidaktik aber aus zwei großen Strömungen zusammen, die sich durch ihren Umfang und die Richtung ihrer Arbeitsweise abgrenzen lassen. Zum einen widmet sich diese Disziplin der gezielten Generierungen von neurowissenschaftlichen Rezepten für die klassische Didaktik. Somit fand die Betrachtung der Inhalte vorwiegend aus der Sicht von Didaktikern und Didaktikerinnen statt, wodurch eine bestimmte Filterung schulrelevanter Aspekte zustande kam (vgl. Müller, 2016). Dem gegenüber stehen unterschiedliche Kognitionswissenschaftler sowie Kognitionswissenschaftlerinnen, die zum Großteil über keine schulische Erfahrung verfügen und somit rein wissenschaftliche Thesen für Lehr-Lern-Prozesse formulieren können. Im Zuge dieser wissenschaftlichen Arbeit wird aber erstere Variante bevorzugt, da die Relevanz im Setting Schule im Vordergrund steht.

Durch den interdisziplinären Zugang wird der eigentliche Lernvorgang, der durch die neurodidaktischen Überlegungen optimiert werden soll, unter verschiedenen Gesichtspunkten

und Zugangsweisen beschrieben und erläutert (vgl. Herrmann, 2009a; Böttger, 2016). So findet in den Augen eines der größten Teilbereiche, der Neurowissenschaft, die Verarbeitung von relevanten Inhalten auf molekularbiologischer Basis statt. Diese Prozesse sorgen in weiterer Folge dafür, dass bestimmte Bestandteile des Enzephalons wie etwa die Neuronen und die zugehörigen Schnittstellen adaptiert werden, wodurch eine schnellere und stärkere Reizleitung möglich wird (vgl. Carter et al., 2010; Costandi, 2015; Böttger, 2016). Aus kognitionswissenschaftlicher Sicht stehen jene mentalen Verarbeitungsschritte, die für die Selektion und Übermittlung der erhobenen Informationen in den wahrgenommenen bzw. unbewussten Teil des Bewusstseins dienen, im Vordergrund. Damit eine Wissensvermittlung überhaupt zustande kommen kann, muss das jeweilige Setting stimmen – speziell was die Motivation und die Erfolgszuversicht betrifft. Jene Faktoren und Aspekte greifen psychologische Fachbereiche auf (vgl. Herrmann, 2009a). Die gesamten Erkenntnisse laufen – bezogen auf das schulische Umfeld – bei den Lehrkräften zusammen, die anhand der erziehungsbezogenen Forschung konkrete „Rezepte“ und Anstöße erhalten sollen. Dadurch soll es den pädagogisch geschulten Fachkräften möglich sein, das jeweilige Vermittlungssetting individuell an die vorliegenden lernbezogenen Hürden oder Interessen in der Klasse anzupassen.

Durch das zunehmende Interesse diverser Experten und Expertinnen an Forschungen im Kontext des Gehirns und den damit verbundenen Lernprozessen wurden von Herrmann (2009a) einige Fakten zusammengetragen, die in der nachfolgenden Aufzählung angeführt und näher erläutert werden:

- Enzephalon als Informationsgenerator:

Ging man laut Herrmann (2009a) in früheren Paradigmen davon aus, dass das Gehirn lediglich für die Abspeicherung von über die Sinnesorgane wahrgenommenen, relevanten Information zuständig war, so wird dem Enzephalon mittlerweile vielmehr einer generierende Funktion zugeschrieben. Die verschiedenen Areale vollziehen größtenteils unbewusst mentale Strukturierungsprozesse, in denen beispielsweise Assoziationen gebildet sowie individuelle Wertigkeiten verteilt werden.

- Förderliche Wirkung einer bestimmten Stress-Dosis:

Wie bereits erwähnt, kann das individuelle Setting, in dem der Lehr-Lern-Prozess stattfindet, über den Vermittlungserfolg sowie die Informationssicherung entscheiden (vgl. Sandi, 2001; Böttger, 2016). Dazu zählt beispielsweise auch ein bestimmtes Herausforderungsniveau, welches durch den Faktor Stress beschrieben wird (vgl. Herrmann, 2009a). Sowohl ein zu niedriges als auch ein zu hohes psychisches Forдерungsniveau kann zu einer Beeinträchtigung des Lernprozesses führen, da davon

abhängig förderliche oder eher weniger förderliche Neurotransmitter freigesetzt werden (Böttger, 2016, S. 108). Interessant ist jedoch der bei zu Unterrichtenden und Studierenden weitverbreitete Terminus „Prüfungsangst“. Dieser Zustand wirkt sich nachweislich negativ auf kognitive Leistungsfähigkeit aus, da es auch hier meist zu einer erhöhten psychischen Belastung des Organismus kommt, die unweigerlich mit der bei Abbildung 27 beschriebenen Ausschüttung bestimmter, hemmender Botenstoffe wie etwa Adrenalin verbunden ist (vgl. Böttger, 2016).

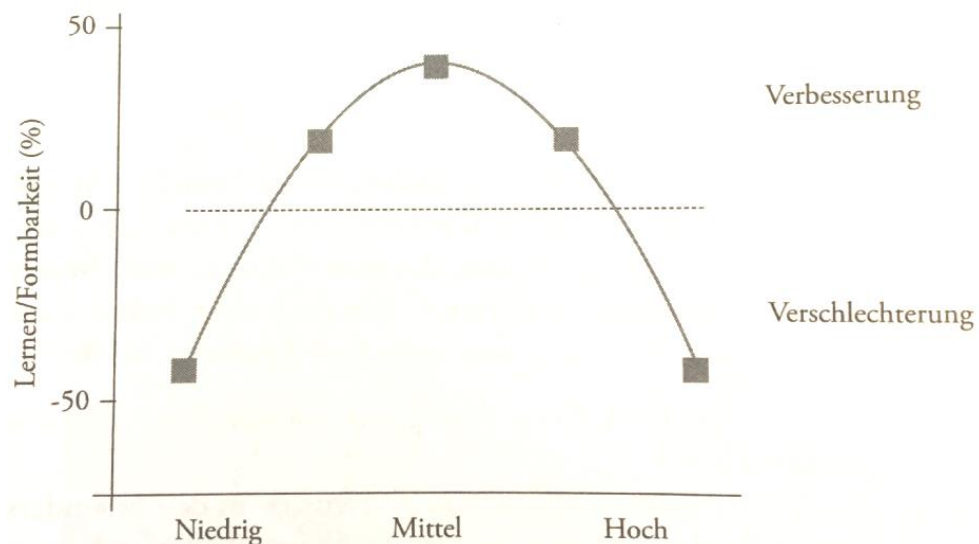


Abbildung 27: Der Einfluss von Stress auf die Lernqualität (Böttger, 2016, S. 108)

- Aufmerksamkeit durch Neugierde bündeln:
Herrmann (2009a) nach kann eine gezielte Auswahl von Themen, welche das Interesse von Lernenden weckt, für einen höheren Lernerfolg sorgen als abstrakte Themen. Auf den Sportunterricht bezogen, würde beispielsweise ein höherer Leistungszuwachs in jenen sportlichen Bereichen erwartet werden, für die sich die Kinder und Jugendlichen mehr begeistern lassen.
- Negatives Feedback vermeiden:
Zu den anerkanntesten Forscher und Forscherinnen im Bereich der Motivation zählen Deci & Ryan (1993), die schon damals das „Gefahrenpotenzial“ von negativem Feedback auf die Leistungsbereitschaft und die Höhe der Selbstüberzeugung hinsichtlich der eigenen Kompetenzen erkannt hatten. Herrmann (2009a) betont, dass es dadurch zu einer verminderten Hingabe zum Lernprozess kommt oder gar einer kompletten Verweigerungshaltung, die bis hin zur Ablehnung der Teilnahme am Unterricht führen kann (vgl. Mösch-Prill, 2014).
- Akzeptables Arbeitsumfeld:
Der Mensch ist – wie verschiedene Autoren und Autorinnen beschreiben (vgl. Bauer, 2007; Herrmann, 2009a; Carter et al., 2010) – ein soziales Wesen, wodurch entspre-

chende Faktoren einen erheblichen Einfluss auf den Grad der mentalen Leistung haben können. Fühlt sich ein Schüler beispielsweise in der Klasse gut aufgehoben, da er dort viele Freunde und Freundinnen hat, ein positives Klima zwischen den zu Unterrichtenden herrscht und er einen guten Draht zu seinen Lehrkräften hat, so wirken sich diese Umstände förderlich auf den Lernprozess aus.

- Nutzung und Auffrischung des bereits erworbenen Wissens:

Im Kapitel 3.4. dieses wissenschaftlichen Beitrags wurde bereits erläutert, wie wahrgenommene Inhalte verarbeitet und schlussendlich in die unterschiedlichen Ausprägungsformen unseres Gedächtnisses transferiert werden (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Jäncke, 2013; Costandi, 2015; Böttger, 2016). Damit die erworbenen Informationen und Fähigkeiten auch über einen längeren Zeitraum hinweg erhalten bleiben, bedarf es der regelmäßigen Verwendung, wodurch automatisch ein gewisser Übungseffekt durch die Wiederholung entsteht (vgl. Herrmann, 2009a). Somit kommt es zu besser getimtem sowie intensiviertem „Feuern“ der an der Erinnerung beteiligten neuronalen Strukturen.

- An manifestierten Erfahrung anknüpfen:

Verfügt ein Individuum über bereits im Gehirn abgespeicherte Informationen, dann tut sich die Person Herrmann (2009a) zufolge beim Erlernen neuer Inhalte erheblich leichter. Lernende, die eine fundiertere Ausgangssituation im Sinne von erworbenen fachlichen sowie sozialen Kompetenzen haben, sind imstande, gewisse „neuartige“ Aufgabenstellungen zu bearbeiten. Dieses Phänomen beschreibt auch Behrens (2016, S. 170) insofern, als „[...] dass Wissen umso besser angeeignet und umso flexibler in neuen Situationen abgerufen werden kann, je ‚tiefer‘ es verarbeitet wird“. „Tief“ meint in diesem Kontext den Umstand, dass die jeweiligen Erfahrungen durch stetigen Gebrauch und die dadurch erzielte Wiederholung zu den evidenten, manifesten Gedächtnisanknüpfungspunkten zählen. Kahlert (1997, S. 68) bezieht sich zwar auf den Sachunterricht, jedoch ist seine Ansicht problemlos auf andere Fächer übertragbar – somit gilt es, den zu Unterrichtenden „[...] einen Raum zu schaffen und zu erhalten, in den sie die aus der eigenen Lebenswelt erwachsenen Deutungen, Interpretationen, Interessen, Erfahrungen einbringen [können]“. Somit können Sichtweisen und Erfahrungen erst dann weiterentwickelt und ein Lernprozess initiiert werden, wenn das vorhandene Wissensrepertoire anhand aktuellerer Informationen abgeglichen werden kann, was durch ein lebensweltliches Unterrichtssetting ermöglicht wird (vgl. Kahlert, 1997; Herrmann, 2009a). Auch Böttger (2016) spricht in seinen neu-rodidaktischen Empfehlungen von der Wichtigkeit von Vorerfahrungen. Seiner Meinung nach ist dies ein Faktor, der die Effektivität des Lernens erheblich beeinflussen

kann. Fehlt die Vorkenntnis, so sind mehrere Replikationseinheiten notwendig, um den Inhalt mit hoher Beständigkeit abspeichern zu können (Apeltauer, 2010).

- Zeitliche Ausgewogenheit zwischen Lern- und Verarbeitungsprozessen:

Damit die gewünschte Information im Unterricht nicht nur mithilfe verschiedener Sinnesorgane aufgenommen wird, sondern auch entsprechend im Enzephalon aufbereitet sowie endgültig verarbeitet wird, ist eine bestimmte Zeitspanne notwendig. Beschränkt sich die verfügbare Zeit lediglich auf den Erwerb von Wissen, jedoch nicht auf dessen konkrete Organisation und Vernetzung in den zuständigen Arealen, dann kann der Lehr-Lern-Prozess wenig erfolgreich sein. Umso wichtiger ist es, ausreichend Entspannungszeit zu gewähren, sodass die soeben wahrgenommenen Inhalte ordentlich verdichtet werden können (vgl. Herrmann, 2009a; Carter et al., 2010; Jäncke, 2013).

- Individuelle Abspeicherung der Informationen auf Basis der Erfahrungen:

Diese Erkenntnis aus den interdisziplinären Kreisen der Neurodidaktik ähnelt jenem Punkt, der die Anknüpfung an individuelle Erfahrung und Inhalte beschreibt. Jedoch ist erwiesen, dass jeder Mensch bis hin zur Erreichung der Adoleszenz viele Entwicklungen und Umstrukturierungen in unterschiedlichen Arealen des Enzephalons durchlebt (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Jäncke, 2013; Böttger, 2016). Die Art der Adaption hängt dementsprechend stark damit zusammen, welche Erfahrungen die Person im Laufe dieser Phasen getätigt hat. Daraus resultieren individuelle Wahrnehmungen und Sichtweisen der Welt (vgl. Herrmann, 2009a), die über die Art und Weise der Datensicherung im Gehirn entscheiden können.

Jedoch kritisierte etwa Scheich (2003), dass viele der generierten Untersuchungsergebnisse bereits der Sichtweise routinierter Erzieher und Erzieherinnen glichen und somit keine bahnbrechenden Neuerungen darstellten. Dafür konnten sich die jeweiligen Personen mit pädagogischen Berufen in ihrer Tätigkeit bestärkt fühlen und diese vor Dritten anhand der vorliegenden Literatur begründen (vgl. Herrmann, 2009a).

Ein Umstand, der bei Lernprozessen berücksichtigt werden muss, sind zum Teil individuelle „kritische und sensible Lernphasen“ (Böttger, 2016, S. 107) oder „Lernfenster“ (Carter et al., 2010, S. 209). Für Pauen (2009) kommt es in diesen Abschnitten durch unterschiedliche Wahrnehmungen zu bestimmten Gehirnentwicklungen sowie -veränderungen. Dadurch wird nicht nur die individuelle Verhaltensweise des Individuums beeinflusst, sondern es werden auch eigene Sichtweisen geprägt. Nicht in jeder Altersstufe können Kinder und Jugendliche bestimmte Inhalte in gleicher Art und Weise „erlernen“ oder sich be-

stimmte Fähigkeiten und Fertigkeiten aneignen. Dies hängt unter anderem mit der Reifung verschiedener Hirnareale zusammen (siehe Kapitel 1.3.). Ein Beispiel dafür wird von Böttger (2016, S. 107) aus dem Bereich des Sprachenlernens angegeben: Jugendliche haben mehr Schwierigkeiten damit, eine Sprache ohne individuelle Aussprache vor bzw. in der Pubertät zu erwerben als nach Beendigung dieser Phase. Pauen (2009) betont aber auch, dass degenerative Prozesse möglich sind, wenn entsprechend notwendige Reize in jenen Entwicklungsfenstern ausbleiben. Diese äußern sich dahingehend, dass die synaptischen Verbindungen im Enzephalon modifiziert und zu einem gewissen Grad durch Eliminationsvorgänge reduziert werden, wodurch sich zum Teil unerwünschte Schwächen und verhaltensbezogene Nachteile entwickeln können. Zwar ist es verschiedenen Autoren und Autorinnen (vgl. Pauen, 2009; Carter et al., 2010; Böttger, 2016) nach erwiesen, dass diese besonderen Zeitspannen im Zuge der Entwicklung auftreten. Jedoch ist es nicht explizit möglich, eine einzelne Kompetenz gezielt zu fördern. Vielmehr handelt es sich dabei um „[...] eine Großbaustelle mit vielen verschiedenen Bauabschnitten, die alle etwas miteinander zu tun haben“ (Pauen, 2009, S. 39). Gewisse Fertigkeiten sind erst dann entfaltbar, sobald andere Fähigkeiten fertig entwickelt sind, wohingegen in anderen Bereichen unabhängige Entwicklungsfortschritte erzielt werden können. Wichtig ist auch die Tatsache, dass jeder Pädagoge und jede Pädagogin über die zu vermittelnden Inhalte in den jeweiligen kritischen Abschnitten selbst entscheiden muss. Etwa im Hinblick darauf, ob die geschulte Fähigkeit für das Individuum im späteren Leben überhaupt sinnvoll ist und zur regelmäßigen Anwendung kommen wird. Die selektierten Lernziele sollten nach Möglichkeit in kleinere Einheiten verpackt werden, sodass die für den Informationserwerb notwendigen energetischen Ressourcen nicht übermäßig genutzt werden. Erst dann kann das fachliche Repertoire schrittweise um breit gefächerte Reizpaletten erweitert werden, die zur Stärkung und Aufrechterhaltung der jeweiligen neuronalen Netzwerke obligatorisch sind (vgl. Pauen, 2009; Böttger, 2016).

Wie schon von anderen Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen (vgl. Herrmann, 2009a; Pauen, 2009; Carter et al., 2010; Böttger, 2016) angedeutet wurde, hat auch das bereits bestehende Know-how eine tragende Rolle bei Lehr-Lern-Prozessen. Roth (2009) differenziert zwischen den getätigten Vorerfahrungen jedoch und fokussiert sich auf die individuelle Bedeutung des zu vermittelnden Objektes für das Individuum. Er vertritt die Meinung, dass Vermittlungsarrangements – beispielsweise in der Schule – settingabhängig sind und durch nondeklarative kognitive Prozesse in ihrer Wirksamkeit modifiziert werden können. Möchte die Lehrkraft bei ihren zu Unterrichtenden den Wissensfundus erweitern, so können die dafür notwendigen Informationen nicht einfach durch Erklärungen oder andere methodische Mittel in das Gehirn der Lernenden transferiert werden. Die

gewünschten Kompetenzen müssen unter dem Einfluss des eigenen Bedeutungssystems neu generiert werden. Verbale oder grafische Instruktionen alleine sind ohne die individuelle Bewertung nicht mehr als „[...] physikalische Ereignisse (Schalldruckwellen, Verteilungen dunkler Konturen auf hellem Hintergrund), die als solche überhaupt keine Bedeutung [und Sinnhaftigkeit] haben“ (vgl. Roth, 2009, S. 59). Somit ist es für den Erfolg des Vermittlungsprozesses unumgänglich, dass die Schüler und Schülerinnen über einen gewissen Vorwissens-Pool verfügen, der als Referenzposten für die neuartigen Eindrücke dient. Dadurch entstehen beim Lernsubjekt individuelle Bewertungsvorgänge, die nicht durch den Lehrer oder die Lehrerin mittransferiert werden können. Doch nicht nur das bestehende fachliche Know-how wird in den Vergleichsvorgang miteinbezogen, sondern auch das jeweilig vorliegende Setting und soziale Aspekte, die in der „Botschaft“ enthalten sind (vgl. Watzlawick, Beavin & Jackson, 1996; von Thun, 2013). Folgendes Beispiel aus der Schule soll die Funktionsweise verständlicher machen: Einige Schüler und Schülerinnen vergessen trotz mehrmaliger Hinweise durch die Lehrkraft seit Wochen, ihr Turngewand in den Bewegungs- und Sportunterricht mitzunehmen. Der sonst eher gelassene Pädagoge fängt plötzlich zu schreien an und gestikuliert dabei wild mit seinen Armen und Händen: „Wenn das noch ein einziges Mal vorkommt, dann werde ich eure Eltern anrufen!“ Da hier sowohl der Kontext als auch die soziale und fachliche Botschaft stimmig zu sein scheinen, können die Jugendlichen die Aussage begreifen. Hält die Lehrkraft stattdessen eine lange Rede, die sich nicht nur auf das Fehlen der sportlichen Ausstattung beschränkt und hinsichtlich der eingesetzten Gestik und Mimik variiert, könnten Verständnisprobleme bei den Lernenden auftreten. Dieses Exempel zeigt, dass Vermittlungsvorgänge ausschließlich dann funktionieren können, wenn bei allen am Lehr-Lern-Prozess beteiligten Personen in etwa das gleiche Ausmaß an bestehendem Know-how sowie tendenziell ähnliche Ausrichtungszüge hinsichtlich des Bewertungssystems vorhanden sind (vgl. Hemforth, B., & Konieczny, 2002; Roth, 2009).

Der für diesen Bewertungsvorgänge zuständige Bereich im Enzephalon wird als limbisches System bezeichnet (siehe Kapitel 3.2.), das Roth (2009, S. 60) als „[...] eigentlichen Kontrolleur des Lernerfolgs“ sieht. Dort wird über motivationale sowie emotionale Aspekte die individuelle Bewertung eines Inhaltes festgelegt. Alle Handlungen, die ein Individuum aktiv oder passiv durchlebt, werden von diesem System überprüft und mit bereits vorhandenen Daten abgeglichen. Daraus resultiert die weitere Vorgangsweise, etwa ob ein Verhalten erneuert praktiziert oder künftig vermieden wird. Eine essenzielle Ergänzung stellt der Hippocampus dar, dessen Aufgabe in der Festlegung der Sinnhaftig- sowie Notwendigkeit der vorliegenden Lehrvorgänge wird.

Wie Abbildung 5 visuell verdeutlicht, erfolgt eine Selektion durch beide Komponenten, ob und in welche Gedächtnisart die Lerninhalte übermittelt werden sollen (siehe Kapitel 1.3.). Dieser Transfer findet jedoch nur dann statt, wenn die Kontrolleure einen Bedarf in der Manifestierung der jeweiligen Informationen in subkortikalen sowie kortikalen Regionen sehen. Mit subkortikaler Bereich verweist Böttger (2016) auf jenes Gebiet im Gehirn, welches unterhalb der Großhirnrinde lokalisiert ist. Dazu zählt etwa der Hirnstamm mit dem Mandelkern oder dem Hippocampus. Von dort gelangen die Inhalte in verschiedene Gedächtnisarten und werden – je nach Verwendung und Wiederholungsanzahl – in beständigere Enzephalon-Areale übermittelt und dort gesichert. Über die genauen Speicherorte sowie die dafür notwendigen Kriterien wurden bereits im Abschnitt 3.4. in umfangreichem Ausmaß Erläuterungen angestellt.

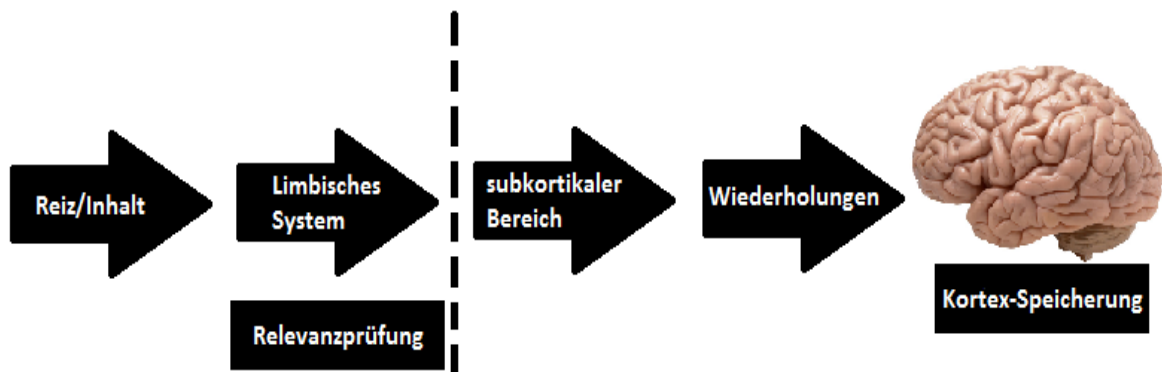


Abbildung 28: Der Weg einer Wahrnehmung bis zur Speicherung (Böttger, 2016, S. 107)

Neben dem zum Teil stark variierenden Ausgangsniveau der kognitionsbezogenen Kompetenzen, das fast ausschließlich genetisch bedingt ist, wirken laut Roth (2009) noch andere Faktoren auf Relevanzprüfeinheiten des Gehirns ein. Dazu zählt beispielsweise der Auftritt der Lehrkraft hinsichtlich ihrer fachlichen Kompetenz vor den zu Unterrichtenden. Es bedarf nur weniger Sekunden Teilhabe an einem Lehr-Lern-Setting, bis die Authentizität des Pädagogen oder der Pädagogin einer Analyse unterzogen wird, die beispielsweise anhand der Mimik, Gestik oder Stimmlage vollzogen wird. Somit haben – erneuert auf die Schule bezogen – Lernende binnen einiger Sekunden ein Gefühl darüber, wie vertraut die Lehrperson mit den zu vermittelnden Inhalten ist und ob ein eigenes Interesse dafür besteht. Schwindet die motivationale Ausprägung durch fortschreitende Berufsjahre, so ist dieser Umstand meist nur schwer vor den Kindern und Jugendlichen zu verbergen, da unbewusste Verhaltenszüge auftreten. Umso wichtiger ist es laut Roth (2009), sich stetig für die eigene Lehrtätigkeit und die damit verbundenen Vermittlungsinhalte zu begeistern, da sonst der Vermittlungsvorgang nur zu einem überschaubaren Erfolg führen wird.

Doch nicht nur die motivationale Ausprägung bei der Lehrkraft entscheidet über das Ausmaß des Lernerfolges. Auch die Schüler und Schülerinnen benötigen ein gewisses Level an Interesse und Begeisterung, damit die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Wissensgenerierung gegeben sind (vgl. Herrmann, 2009a; Roth, 2009). Nur dann werden förderliche Neurotransmitter, zu denen unter anderem Dopamin oder Acetylcholin zählen (vgl. Böttger, 2016), freigesetzt, wodurch die Motivation und die Fokussierung wesentlich beeinflusst werden. Außerdem sollte auf die unterschiedliche Interessenlage in der Klasse möglichst individuell eingegangen werden und die zu vermittelnden Kompetenzen sollten im Sinne der Verständlichkeit den Alltagsumständen und der Lebenswelt entsprechend aufbereitet werden (vgl. Kahlert, 1997). Ähnlich zu den von Herrmann (2009a) erwähnten Erkenntnissen der Neurodidaktik haben auch die Art der Rückmeldung sowie der Umgang mit angestellten Lernvorgängen ein entscheidendes Beeinflussungspotenzial betreffend den Motivationszustand der Jugendlichen. Wenn die zu Unterrichtenden im Laufe ihrer Entwicklung positive Assoziationen zum Wissenserwerb knüpfen können, ist die motivationale Einstellung gegenüber künftigen Lehr-Lern-Settings auf einem höheren Niveau als bei negativer Koppelung. Die anzustrebende förderliche Korrelation kann etwa durch positives Feedback erreicht werden. Jedoch sollte laut Roth (2009) sehr sensibel mit solchen Maßnahmen umgegangen werden und klare, transparente Kausal-Beziehungen müssen aufgestellt werden. Erfährt ein Schüler oder eine Schülerin beispielsweise eine verbale Anerkennung durch die Lehrkraft, obwohl diese Rückmeldung seiner oder ihrer Meinung nach gar nicht angebracht gewesen ist, so kann das Wirkungsschema des Feedbacks negative Tendenzen annehmen.

Unterschiedliche Erfolge entstehen auch durch die Wahl der Wissensvermittlungs- sowie Wissenserwerbsmethode. Aus neurodidaktischer Sicht ist die am meisten kritisierte Methode das stupide Aneignen von Informationen ohne wirkliches Interesse und Verständnis über die zugrundeliegenden Funktionsweisen (vgl. Roth, 2009). Ein Schüler lernt für die kommende Mathematik-Schularbeit ohne große Motivation die dafür benötigten Formeln auswendig – bei der schriftlichen Überprüfung selbst kann er diese zwar replizieren, jedoch begreift er die Mechanismen und Abläufe nicht. Diese Form unbewusster Lernvorgänge sorgt dafür, dass die zu Unterrichtenden bestimmte Fertigkeiten wie den Gebrauch von Ski oder Snowboard oder die Benutzung einer Gitarre erwerben. Durch diesen einseitigen Erwerb sind sich die Benutzer und Benutzerinnen meist nicht über die exakten Funktionsabläufe und beteiligten Komponenten im Klaren, wodurch ein Transfer auf andere Disziplinen, die einen ähnlichen Fertigkeitenbedarf aufweisen, nicht gelingt. Roth (2009) plädiert daher für eine Lernmethodik, bei der bestimmte Thematiken aus unterschiedlichen Perspektiven und Zugängen heraus behandelt werden und mit bereits vorhandenem

„Know-how“ vernetzt werden. Dadurch wird der Informationserwerbsvorgang erleichtert, die Absicherung erfolgt in einem deutlich stabileren Ausmaß und es können klarere Bezüge hergestellt werden.

Der letzte Aspekt, den Roth (2009) als relevant erachtet, ist das Setting, in dem die Vermittlung von Inhalten stattfindet. Schon Schacter (1996) stellte in seinen Theorien fest, dass neben fachlichen Inhalten auch bestimmte zugehörige Informationen durch den Wissenserwerb erhoben und abgespeichert werden. Dazu zählen beispielsweise raum- sowie ortsbezogene Daten, aber auch die Kenntnis über die vermittelnde Person. Unter Berücksichtigung dieser Umstände stellt Roth (2009, S. 67) folgende These auf: „Lehrinhalte, die in schäbigen Klassenzimmern, in einer konflikträchtigen und furchteinflößenden Umgebung von lustlosen Lehrern [und Lehrerinnen] vermittelt werden, haben deshalb eine geringe Chance, dauerhaft im Gedächtnis zu bleiben.“ Zusammenfassend stellt der Autor fest, dass schlechte Leistungen oder die fehlende Beteiligungsbereitschaft eines Lernenden oder einer Lernenden nicht automatisch mit einer Böswilligkeit gleichgesetzt werden dürfen. Vielmehr bedarf es einer Berücksichtigung aller genannten infrage kommenden Faktoren zur Abklärung der genauen Ursache. Nur dann sind diese Barrieren, die den Lehr-Lern-Prozess hemmen, auf Dauer bewältigbar und ein nachhaltiger Wissenserwerb ist möglich.

6.2. Konkrete neurodidaktische Beispiele für die Unterrichtsgestaltung

Sowohl Herrmann (2009a) als auch Roth (2009) liefern theoretische Überlegungen und Ansätze aus Bereichen der Neurodidaktik, die zu einem optimal verlaufenden Lehr-Lern-Prozess und damit erfolgreichen Erwerb von Informationen und Kompetenzen führen sollen. Zwar wurden einige Aspekte anhand praktischer Vergleiche oder Überlegungen verdeutlicht, genauere Anwendungsvorschläge für die Unterrichtspraxis formulieren jedoch Brand & Markowitsch (2009), die in den kommenden Absätzen angeschnitten werden. Diese stützen sich auf die wissenschaftlichen Grundlagen und Ansichten der anderen Autoren und versuchen, ein der schulbezogenen Tätigkeit entsprechendes „Rezept“ zusammenzustellen. Angemerkt sei allerdings die Tatsache, dass diese Empfehlungen nicht zwingend in jeder Situation auf Erfolg stoßen müssen und von dem Stoffgebiet, der Beziehung zu den Unterrichtenden oder anderen Faktoren abhängig sind. Zudem betonen Brand & Markowitsch (2009), dass sich ihre schulbezogenen Vorschläge auf jene Lernprozesse beziehen, bei denen Fakten sowie Zusammenhänge unter Berücksichtigung der Anschauungen und Erfahrungen der lernenden Schüler und Schülerinnen im Lehr-Lern-Arrangement erworben werden.

So muss sich der Lehrer oder die Lehrerin darüber Gedanken machen, wie er oder sie die geplanten fachlichen Thematiken im Unterricht hinsichtlich ihrer Komplexität so weit reduziert, dass die Anforderungen dem Niveau der mentalen Fähigkeiten entsprechen (vgl. Brand & Markowitsch, 2009). Gleichzeitig müssen potenzielle Faktoren, durch die sich bestimmte kognitive Fähigkeiten bei den zu Unterrichtenden erhöhen lassen, berücksichtigt werden. Dadurch wird der Wissenserwerb optimiert und erleichtert. Auf den Sportunterricht bezogen, sollen beispielsweise komplexe turnerische Elemente und Übungen aufgebrochen und in einer didaktisch vereinfachten Variante präsentiert werden, sodass die Lernenden nicht überfordert sind. Parallel dazu soll etwa über die Nutzung der Interessen und Neigungen der Kinder und Jugendlichen ein lernförderliches Setting durch eine Steigerung der Fokussierung und Konzentrationsleistung erreicht werden. Bezogen auf das Turnbeispiel, wäre das etwa die Trendsportart Free Running, die sich immer größerer Beliebtheit erfreut und über die Verbindungen zu konventionellen turnerischen Bewegungshandlungen gezogen werden können (vgl. Brand & Markowitsch, 2009).

Um die ohnehin beschränkte Aufmerksamkeitskapazität der Schüler und Schülerinnen in optimaler Weise zu nutzen, sollte die Unterrichtsaufbereitung entsprechend gestaltet werden, sodass keine mentale Überlastung entsteht (vgl. Brand & Markowitsch, 2009). Bereits im Vorfeld hat sich die Lehrkraft daher Gedanken zu machen, welche Anweisungen und Inhalte als besonders essenziell gelten und dementsprechend im Vermittlungsprozess hervorgehoben werden. Im Setting des Sportunterrichts müsste beispielsweise beim Erlernen einer neuen Bewegungskompetenz darauf geachtet werden, die Instruktionen auf die wesentlichen Kernpunkte zu beschränken. Wird ein Schüler oder eine Schülerin dahingehend instruiert, eine Vielzahl unterschiedlicher Aspekte gleichzeitig bei der Ausführung der körperlichen Aktivität zu berücksichtigen, so kann die Situation eine zu hohe Komplexität für eine erfolgreiche Praktizierung aufweisen (vgl. Brand & Markowitsch, 2009). Somit wäre es ratsam, ein bis maximal zwei Merkmale herauszusuchen, auf die dezidiert geachtet werden soll.

Ein weiterer wesentlicher Punkt, der beim Unterrichten beherzigt werden sollte, ist eine kurze Vorstellung des geplanten Ablaufs. Dadurch wird laut Brand & Markowitsch (2009) nicht nur die Neugierde der Lernenden befriedigt und damit verbundene Unruhe in der Klasse vermieden, sondern es werden auch zwei neurodidaktische Effekte bewirkt:

- a) Durch die Andeutungen der Lehrkraft findet im Enzephalon ein gewisser Vorbereitungsprozess statt, durch den die Kinder und Jugendlichen eine gewisse neuronale Vorahnung entwickeln, die sie auf neuartige, zum Teil unbekannte Informationen und Übungen vorbereitet (vgl. Jäncke, 2013). Durch diese Auseinandersetzung kommt

es beim späteren Durcharbeiten der jeweiligen Thematik zu einer intensiveren Art der Erinnerung, durch welche die Erwerbs- sowie Absicherungsprozesse erleichtert werden (vgl. Brand & Markowitsch, 2009).

- b) Gleichzeitig werden mentale Strukturierungsvorgänge ausgelöst, welche bei der internen Sicherung in den verschiedenen Gehirnarealen der zu vermittelnden Informationen und Kompetenzen unterstützend wirken. Durch diese planmäßige kognitive Zurechtlegung und Anordnung entstehen gewisse Assoziationen, die bei der darauffolgenden Thematisierung der Informationen, deren neuronaler Sicherung und dem späteren Wiederaufruf behilflich sein können.

Im Kapitel 3.4. wurde bereits ein Exempel aus dem sportlichen Bereich angeführt, bei dem die aus der Vorankündigung entspringenden mikrobiologischen – sowie chemischen – Vorgänge wie etwa das Priming (vgl. Jäncke, 2013) beim Erlernen neuer Bewegungskompetenzen unterstützend wirken können. Wurde etwa bereits der Vorwärtssalto geschult und die Lehrkraft kündigt für die heutige Stunde die Thematisierung des Rückwärtssaltos an, so wird bereits zu diesem Zeitpunkt ein bestimmtes kognitives Setting eingerichtet, das aufgrund der bereits getätigten Erfahrungen beim Erlernen der neuen Handlung lernprozessoptimierende Auswirkungen hat (vgl. Brand & Markowitsch, 2009). Dabei kommt auch das perzeptuelle Gedächtnis zum Tragen, das für die wahrgenommenen Ähnlichkeiten verantwortlich ist. Eine noch intensivere Förderung des Lehr-Lern-Settings kann dadurch erreicht werden, dass das Individuum die Überschneidungen zu anderen Disziplinen und Fachbereichen zwar aufgrund der Erfahrungen eigenständig erkennt, der Pädagoge oder die Pädagogin die Affinität jedoch auch offen anspricht. Dadurch kommt es zur Beschleunigung der Transfer- sowie Sicherungsabläufe in den jeweiligen Arealen des Enzephalons. Außerdem gelingt der Abruf oder die Ausführung zu einem späteren Zeitpunkt reibungsloser.

Neben den Hinweisen und Gliederungsmethoden des Lehrers oder der Lehrerin sollten die zu Unterrichtenden ausdrücklich darauf hingewiesen werden, individuelle Anmerkungen sowie Ordnungsmaßnahmen basierend auf der subjektiven Wichtigkeit der Inhalte anzustellen. Dadurch werden nicht nur die ins Gedächtnis übermittelten Abläufe positiv beeinflusst, sondern es wird dem Erzieher oder der Erzieherin die Chance geboten, beim Auftreten von Wissenserwerbsproblemen oder komplexeren Stoffgebieten die eigenen vermittelnden Methoden zur Gliederungsunterstützung anzupassen (vgl. Brand & Markowitsch, 2009). Im Kontext von Bewegung und Sport bietet es sich an, dass es den Schülern bei der Generierung einer neuen Kompetenz – etwa am Reck – freigestellt ist, wie sie sich die methodischen Hinweise und Teilbewegungen anordnen. So besteht unter anderem die Möglichkeit, durch videogestützte Rückmeldung Strukturierungen vorzunehmen,

wohingegen sich andere Lernende durch verbale Instruktionen oder schriftliche Notizen weiterhelfen.

Empfehlenswert ist Brand & Markowitsch (2009) zufolge auch der alternierende Gebrauch von Unterrichtsmedien, Vermittlungsmethoden sowie Organisationsformen des Unterrichts. Ein Beispiel wäre etwa die Verteilung von Aufgabenstellungen, die mehrere Lernende zusammen bewältigen müssen. Durch diese Maßnahme besteht nicht nur die Möglichkeit, sich hinsichtlich der Ansichten und Herangehensweisen auszutauschen. Die Jugendlichen können sich zudem auch Hilfestellungen beim Wissenserwerb sowie der dazugehörigen Sicherung der relevanten Informationen geben, wodurch unterschiedliche Praktiken ausprobiert werden. Des Weiteren sorgt diese besondere Form des Lehr-Lern-Arrangements, dass unter Umständen nicht nur die fachlichen Kompetenzen geschult werden, sondern auch kontextbezogene Informationen mitgespeichert werden, die beim erneuten Gebrauch zu einer stabileren Leistungsausführung beitragen können (vgl. Schacter, 1996; Roth, 2009). Im Bewegungs- und Sportunterricht wäre es nach der Vorstellung einer bestimmten Fertigkeit sowie gegebenenfalls notwendiger Sicherungsleistungen durchaus legitim, die Schüler und Schülerinnen paar- oder gruppenweise üben zu lassen, da dadurch die Wahrscheinlichkeit der erfolgreichen Ausführung erhöht wird. Doch nicht nur unterschiedliche Organisationsvarianten können zu einem intensiveren Lern-Benefit führen. Auch die Entscheidung über die Art der Präsentationsmethode kann mehr oder weniger großen Einfluss auf die Optimierung des Kompetenzerwerbs sowie die darauffolgenden Sicherungsvorgänge haben (vgl. Brand & Markowitsch, 2009). Dazu zählen etwa grafische Aufbereitungen in Form von Zeichnungen, Abbildungen, Videos sowie die praktische Vermittlung durch die eigene Ausübung oder Vorführung der zu angestrebten Fertigkeit. Bei komplexeren Situationen im sportlichen Bereich können multimediale Vermittlungsansätze in Form von Videos geeignet sein. Möchte die Lehrkraft ihren Lernenden etwa im Volleyball den Aufschlag von oben näherbringen, so könnte sie eine kompakte Filmsequenz von einer erfolgreichen Ausführung mittels Beamer, Laptop oder Tablet abspielen. Die Kinder können dadurch ihre Bewegungsvorstellung erweitern und parallel dazu den Lehr- sowie Sicherungsvorgang im Gehirn durch die Besonderheit dieser Methode intensivieren. Der Grund ist – ähnlich zu der gemeinsamen Bearbeitung eines Inhaltes oder einer Aufgabenstellung – erneut in den kontextbezogenen Informationen, die bei der Abspeicherung miteinbezogen werden, zu sehen (vgl. Schacter, 1996; Roth, 2009). Sind die benutzten Medien zudem unterhaltsam oder besonders eindrucksvoll gestaltet, werden emotionsbezogene Areale im Gehirn aktiviert, was eine effizientere und stabilere Absicherung sowie erneute Ausführung oder Wiedergabe zufolge hat (vgl. Brand & Markowitsch, 2009; Roth, 2009; Carter et al., 2010; Jäncke, 2013).

Wie Roth (2009), aber auch Herrmann (2009a) bereits erläuterte, kann eine Optimierung der für die lernbezogenen Vorgänge notwendigen kognitiven Fähigkeiten auch über das individuelle Interesse der Schüler und Schülerinnen gesteigert werden. Werden Themen oder fachliche Bereiche angesprochen, die sich an den Neigungen und Faibles der Lernenden orientieren, so kommt es in erster Linie zu einem Anstieg aufmerksamkeits- sowie konzentrationsförderlicher Mechanismen im Enzephalon. Ferner werden die Lerninhalte durch die scheinbar vorhandene subjektive Relation in stärker verarbeitet, was sich in einer zuverlässigeren Abspeicherung sowie Abrufbarkeit äußert (vgl. Brand & Markowitsch, 2009). Gerade der Bewegungsunterricht in der Schule bietet die Option, unterschiedlichste Facetten des breiten Spektrums an Sportarten kennenzulernen und im Unterricht zu schulen. Einerseits könnten die zu Unterrichtenden die in ihrer Freizeit praktizierten sportlichen Aktivitäten vorstellen. Es wäre – in Abhängigkeit von den finanziellen Mitteln – auch zulässig, bei bestehendem Interesse für eine Bewegungshandlung einen Experten oder eine Expertin zu engagieren, der oder die die Lehrtätigkeit für die kommenden Wochen in der Klasse übernimmt.

Die letzte unterrichtspraktische Empfehlung bezieht sich auf das Auftreten des Lehrers oder der Lehrerin vor der Klasse. Ähnlich zu den Ausführungen von Roth (2009) führen Brand & Markowitsch (2009) an, dass die Lernenden zum Teil penibel genau auf die mentale sowie physische Konstitution der Lehrkraft achten. Hinterlässt der Pädagoge oder die Pädagogin einen unmotivierten, einfallslosen sowie monotonen Eindruck bei den Jugendlichen, kann sich das drastisch auf deren schulisches Engagement und den Lerneifer auswirken. So sollte der Sportlehrer oder die Sportlehrerin nach Möglichkeit im Unterricht passende Sportbekleidung tragen, sich selbst in einer guten körperlichen Verfassung befinden und dazu in der Lage sein, verschiedene Übungen und Bewegungshandlungen vorzuzeigen. Durch diese teils einfachen Maßnahmen kann die Begeisterung bei den Schülern und Schülerinnen signifikant verbessert werden. Durch diesen positiven Eindruck werden emotionsverarbeitende Areale im Enzephalon aktiviert, die für eine stärker ausgeprägte Absicherung der Informationen und Kompetenzen in den verschiedenen Gedächtnisebenen sorgen. Zudem kommen auch hier die förderlichen, miteinbezogenen Kontextwahrnehmungen positiv zum Tragen (vgl. Schacter, 1996; Roth, 2009).

Dieser Katalog neurodidaktischer Empfehlungen wird von Herrmann (2009b) um zwei Ratschläge, die in der Unterrichtspraxis von Lehrern und Lehrerinnen berücksichtigt werden sollen, erweitert. Dazu zählt unter anderem der Stellenwert der wechselseitigen Achtung innerhalb der Klasse. Im Sportunterricht muss daher möglichst individuell auf Ängste, Bedürfnisse sowie Interessen der zu Unterrichtenden eingegangen werden, sofern es die Rahmenbedingungen wie etwa die Lernenden-Anzahl innerhalb der Klasse zulassen. Aber

auch der Respekt vor erbrachten Leistungen stärkt ein lernförderndes Klima (vgl. Herrmann, 2009b; Roth, 2009). Zuletzt sollten die Lehr-Lern-Arrangements auch so gestaltet sein, dass die Jugendlichen während der Bearbeitung der Lerninhalte die dabei entstehenden Emotionen – beispielsweise durch das Scheitern der ersten Versuche oder das gemeinsame Lösen einer Herausforderung – durchaus thematisieren können. Dadurch eignen sich die zu Unterrichtenden in weiterer Folge auch die Kompetenz zur affektiven Kontrolle in unterschiedlichen sportlichen Situationen an.

6.3. Lern-Prozesse mit Sport optimieren: diverse Erklärungsansätze

Trotz der zahlreichen wissenschaftlichen Erkenntnisse bringt Herrmann (2009) zum Ausdruck, dass noch eine Reihe von Mechanismen, die im Kontext der lernbezogenen Prozesse stehen, ungeklärt sind. Dazu zählt beispielsweise die Funktionsweise des Gedächtnisses als Speicher der wahrgenommenen und als relevant markierten Inhalte sowie deren Verbindung mit dem individuell vorliegenden Wertesystem. Aber auch die Frage, wodurch sich Lehr-Lern-Prozesse gezielt optimieren lassen, ist nicht zweifelsfrei geklärt. Zwar wurde im fünften Kapitel eine Vielzahl von Studien und Untersuchungen präsentiert, die beispielsweise für einen positiven Einfluss von Sport auf die Gehirnleistung sprechen, jedoch sind sich die Experten und Expertinnen betreffend die dabei ablaufenden Wirkungsweisen nicht einig. Einen Erklärungsversuch liefert die österreichische Kognitionsforscherin Turecek (2012), welche – basierend auf den Annahmen von Ainsworth et al. (2000) – die erhöhte Belieferung des Enzephalons mit sauerstoffreichem Blut als Grund für die Optimierung mentaler Prozesse sieht. Doch nicht jede sportliche Tätigkeit sorgt für einen gleich hohen Blutfluss und damit eine idente Sauerstoffversorgung. Entscheidend ist in den Augen der Autorin dabei das sogenannte „Metabolische Äquivalent (MET)“ (vgl. Turecek, 2012), das von einer Bewegungsvariante zur nächsten drastisch variieren kann. Im englischsprachigen Raum wird dieser Begriff in Publikationen häufig als „metabolic equivalent of task“ (Ainsworth, 2001; Löllgen, 2013; Schwarz, 2013; Schott, Hunger, Lampert, Spengler, Mess & Mielck, 2016) beschrieben, wodurch sich auch die Abkürzung erklären lässt. Sowohl Turecek (2012) als auch Schrott et al. (2016) stellen diesen Terminus mit dem körpereigenen Energieaufwand einer Kilokalorie pro Kilogramm des jeweiligen Individuum-Gewichts auf eine Stufe. Turecek (2012, S. 198) vermeidet in ihren Erklärungen jedoch die Berücksichtigung der Maßzahl für die Energieleistung, sondern setzt diese mit einem „bestimmten Sauerstoffumsatz pro Kilogramm Körpergewicht“ gleich. Generell lässt sich der Intensitätsgrad einer körperlichen Aktivität anhand der Höhe des MET-Werts klassifizieren. Ainsworth (2000) ist für die ursprüngliche Einteilung verantwortlich, Turecek (2012, S. 198) greift diese auf und formuliert sie in deutscher Sprache, wie die Tabelle 27 zusammenfasst.

Tabelle 27: MET-Klassifizierung (Turecek, 2012, S. 198)

Intensität der Bewegungshandlung	MET-Wert
Leichter Energieaufwand	< 3
Moderater Energieaufwand	3–6
Massiver Energieaufwand	6 <

Schott et al. (2016) berücksichtigen diesen Strukturierungsansatz, betonen aber, dass auch die Dauer der körperlichen Belastung über die Zuteilung zu den jeweiligen Kategorien entscheidet. So können über eine gewisse Zeit andauernde Bewegungshandlungen leichten Ausmaßes einem MET-Wert unter 3 zugeordnet werden, wohingegen eine kurzfristige, jedoch sehr intensive Intervention in der höchsten Klasse einzuordnen wäre. Mehrere Autoren sowie Autorinnen (vgl. Turecek, 2012; Schott et al., 2016) vertreten die Meinung, dass jene Bewegungen, die einem moderaten Energieaufwand entsprechen, bereits ausreichend sind, um die kognitive Leistungsfähigkeit durch die gesteigerte Versorgung des Enzephalons zu verbessern. Bewegungsbeispiele, die in den idealen Bereich fallen und sich im Setting Schule praktizieren lassen würden, wären etwa das Schieben eines Drehsessels mit moderatem Tempo oder das Laufen mit durchschnittlichem Geschwindigkeit auf einem Minitrampolin für einige Minuten (vgl. Ainsworth, 2000).

Aufgrund der Tatsache, dass die Werte von Ainsworth et al. (2000) ausschließlich für Erwachsene, jedoch nicht für Kinder geeignet sind, stellten Harrell, McMurray, Baggett, Pennell, Pearce & Bangdiwala (2005) in ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit einen Adaptierungsversuch an. Die Gründe für die mangelnde Übertragbarkeit der Werte sehen die Autoren und Autorinnen am erhöhten Energiebedarf der Jugendlichen in Ruhesituationen. Dieser entsteht durch unterschiedliche Faktoren wie etwa das Wachstum und andere pubertätsbezogene Prozesse, die jedoch in Abhängigkeit zur körperlichen Konstitution stehen. Es treten aber auch geschlechterspezifische Differenzen auf, die sich durch das – in der Regel – stärkere Muskelwachstum bei den Burschen mehr bemerkbar machen. So wäre es laut Harrell et al. (2005) ratsam, für Mädchen, die unter 15 Jahre alt sind, und bei Burschen, die nicht älter als 16 Jahre sind, eine modifizierte Berechnungsformel für die MET-Werte zu verwenden, in welcher der erhöhte Energiebedarf in Ruhe berücksichtigt wird. Abbildung 29 zeigt die von Ainsworth (2000) ursprünglich angewandte Rechenoperation.

$$3.5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ (1 kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}\text{)}$$

Abbildung 29: Berechnungsformel für die MET-Werte (mod. n. Harrell et al., 2005, S. 332)

Über dieses Alter hinaus scheinen die altersbedingten Verzerrungen zu verschwinden, wodurch die ursprünglich von Ainsworth et al. (2000) aufgestellten Bewegungs-Beispiele inklusive des zugehörigen MET-Werts zutreffen sollten (vgl. Harrell et al., 2005). Auch eine frühere Untersuchung spricht für die Modifikations-Berechtigung (vgl. Roemmich, Clark, Walter, Patrie, Weltman & Rogol, 2000).

Auch Voelcker-Rehage et al. (2013) versuchen, Gründe für die Vorgänge zu liefern. Das Frauenteam vertritt die Ansicht, dass sportliche Interventionen über einen längeren Zeitraum zur Entwicklung neuer blutleitender Strukturen in den Gehirnarealen beitragen können. Diese Genese resultiert aus einer Stimulierung zweier Körpersubstanzen, die Voelcker-Rehage et al. (2013, S. 24) als „vaskulo-endothelialen Wachstumsfaktor (VEGEF)“ sowie „insulinähnlichen Wachstumsfaktor (IGF-1)“ bezeichnen. Aber nicht nur die Entwicklung neuer neuronaler Strukturen sowie deren verbesserte Funktionsweise werden beeinflusst, sondern auch die interneuronale Vernetzung wird gefördert, wodurch das Neuronen-Netzwerk im Enzephalon kontinuierlich erweitert wird. Daraus kann das Individuum bei Lern- und den zugehörigen Verarbeitungs- sowie Absicherungsprozessen schlussendlich einen Nutzen ziehen. Ein besonders großer Effekt lässt sich beispielsweise durch das Jonglieren mehrerer Sportgeräte erzielen werden. Durch diese Übung werden Adaptionen in lernrelevanten Regionen vorgenommen, die aber innerhalb einer kurzer Zeitspanne ohne entsprechende Ausführung der sportlichen Tätigkeit zurückgebildet werden (vgl. Voelcker-Rehage et al., 2013).

Die deutschen Autorinnen Voelcker-Rehage et al. (2013) merken aber auch an, dass sich durch Bewegung und Sport die innere Strukturierung und funktionale Zusammensetzung des Hippocampus verändern lassen. Nicht umsonst ist dieser Umstand von entsprechender Bedeutung, da dieser Gehirnbestandteil den Expertinnen (Voelcker-Rehage et al., 2013, S. 26) nach „[...] das Tor zum Gedächtnis und in alle Lernvorgänge zentral eingebunden ist“. Gerade im Hinblick auf die vernetzte Organisation der Inhalte ist er von großer Bedeutung.

Koutsandréou et al. (2016) liefern eine sehr aktuelle Erklärung für die Wirkungsweise, was auch in der Grafik 30 vermittelt werden soll. Die Autoren und Autorinnen gehen etwa davon aus, dass durch gezielte körperliche Bewegung gewisse Hormone wie Testosteron ausgeschüttet werden. Zumindest das männliche Sexualhormon sorgt in weiterer Folge dafür, dass zusätzliche neuronale Strukturen im Gehirn wie etwa synaptische Verbindungen, aber auch weitere Dornenfortsätze an den Dendriten gebildet werden. Des Weiteren werden die vorhandenen sowie neu gebildeten neuronalen Organismen in ihrer Funktionstüchtigkeit optimiert (vgl. Ziehn, Avedisian, Dervin, Umeda, O'Dell & Voskuhl, 2012;

Kurth et al., 2014). Dadurch kommt es Koutsandréou et al. (2016) nach zu einer messbaren Steigerung unterschiedlicher kognitiver Parameter.

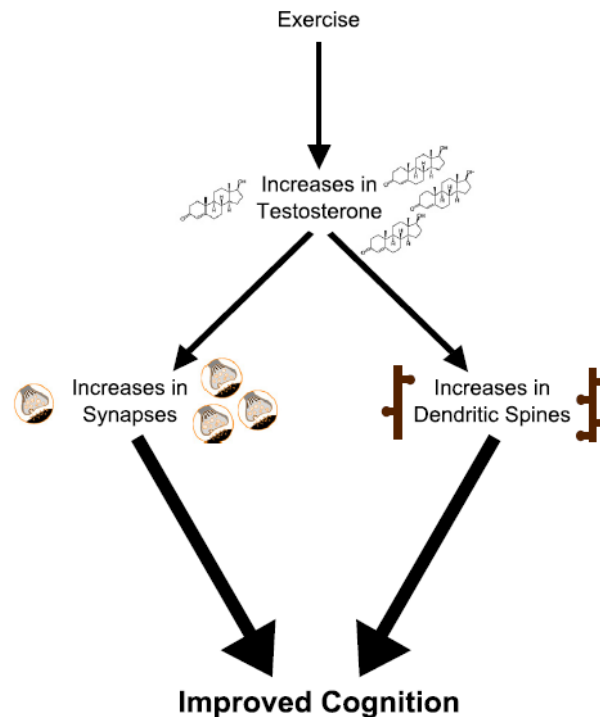


Abbildung 30: Erhöhte kognitive Leistung durch sportbedingten Anstieg von Testosteron (Koutsandréou et al., 2016, S. 291)

Böttger (2016) liefert ebenfalls eine ähnliche physiologische Erklärung für die Funktionsweise von Lernprozessen, welche die Ansätze von Koutsandréou et al. (2016) erweitert. Durch die zusätzlichen „Wege“, welche durch das männliche Sexualhormon geschaffen werden, können mehr Neurotransmitter zu den Synapsen gelangen, wodurch die Informationsverarbeitung deutlich reibungsloser und rapider erfolgen kann. Böttger (2016, S. 105) nennt folgende sechs Botenstoffe, die sich seiner Ansicht nach positiv auf den Erwerb von Inhalten und Fertigkeiten auswirken:

- Acetylcholin: beeinflusst die Aufmerksamkeitskontrolle
- Noradrenalin: Transport von Emotionen, förderlich für die Reizbearbeitung
- Dopamin: wirkt stimulierend, gilt als „Glückshormon“
- Gamma-Amino-Buttersäure: besänftigt den Organismus
- Serotonin: ebenfalls besänftigende Wirkung, fördert positive Stimmungslage
- Glutamat: steigert Empfindlichkeit der Sinnesorgane

Somit gilt es für das Forschungsteam Koutsandréou et al. (2016) als erwiesen, dass ein positiver Zusammenhang zwischen akuten Bewegungsinterventionen und einer Optimierung mentaler Funktionen besteht, welche durch einen erhöhten Testosteronspiegel initiiert wird. Dabei spielt das Alter keine Rolle, der Effekt scheint sowohl im Kindes- und Ju-

gendalter als auch in fortgeschrittenen Lebensjahren aufzutreten. Bestärkt durch die Untersuchungsergebnisse, plädieren die Autoren für mehrere kleinere Dosen an körperlicher Aktivität, die in den Alltag integriert werden sollten. Dabei sind 15 Minuten aktives Sporttreiben bereits ausreichend, um eine signifikante Verbesserung zu erzielen, wodurch die Implementierung im schulbezogenen Bereich ohne größere organisatorische Probleme möglich erscheint. Wie Koutsandréou et al. (2016, S. 291) erläutern, ist es dabei jedoch nicht zwingend notwendig, einer hoch anspruchsvollen Tätigkeit nachzugehen: „Even moderate-intensity exercise, for example fast walking, is able to enhance cognitive performance, which can be easily implemented in various settings because neither sports clothes nor sports facilities are necessary for this type of exercise.“

6.4. Auswahl sportlicher Übungen zur Steigerung der Kognition

Im vorherigen Kapitel wurden eine Reihe unterschiedlicher Ansätze zu den Vorgängen und Mechanismen, durch die Bewegung und Sport verschiedene kognitive Parameter optimiert oder verbessert, aufgelistet. Zwar zeigte die hermeneutische Auseinandersetzung mit aktuellen Untersuchungsergebnissen, dass unterschiedliche Formen von körperlicher Aktivität – etwa in akuter Form oder als chronische Intervention über einen längeren Zeitraum hinweg – positive Auswirkungen haben können. Jedoch wurden entsprechende Übungen noch kaum bis gar nicht in diesem wissenschaftlichen Beitrag thematisiert. Voelcker-Rehage et al. (2013) haben sich mit dem Zusammenhang zwischen sportlicher Tätigkeit und mentaler Leistungsfähigkeit auseinandergesetzt und liefern aus unterschiedlichen Sportbereichen entsprechende Übungen, die sich in der Schule ohne größere Adaptierungsmaßnahmen praktizieren lassen – auch im regulären Klassenraum. Diese werden zum Teil übernommen, aber auch durch sinnvolle Variationen oder Adaptionen ergänzt, um eine ideale Wirkung zu erzielen.

6.4.1. Übungen aus dem koordinativen Bereich

Vorweg betonen Voelcker-Rehage (2013), dass die Übungen dem Fertigniveau der Teilnehmer und Teilnehmerinnen entsprechend selektiert und variiert werden müssen, um einen ausreichend großen Herausforderungscharakter zu erzielen. Auch das klassische methodische Paradigma hinsichtlich der zunehmenden Schwierigkeit von einem leichteren Ausgangsniveau weg sollte berücksichtigt werden, sodass die Schüler und Schülerinnen schlussendlich auch ihre individuellen Leistungsgrenzen kennenlernen können. Das Expertinnenteam (2013) wählt Übungen aus dem Bereich der Koordination, bei denen jedoch nur das Gleichgewicht, die Reaktion sowie die Differenzierung forciert werden.

I. Gleichgewicht

Jede Übung sollte ein zeitliches Ausmaß von zehn Sekunden bis maximal eine halbe Minute aufweisen. Insgesamt sollte eine 20-minütige Trainingsdauer angestrebt werden.

i. *Schwenkübung im Stehen:*

Gerader Stand, die Arme werden in Richtung Luft ausgestreckt. Nun den gesamten Körper vorwärts richten, wobei die Hände zum Untergrund geführt werden sollen. Für bessere Schüler und Schülerinnen bietet es sich an, den Körper so weit in die andere Richtung zu lehnen, dass gerade noch das Gleichgewicht gehalten werden kann.

ii. *Blindes Zielfinden:*

Paarweise zusammengehen und in einigen Metern Distanz einen Gegenstand positionieren. Einer der beiden Lernenden prägt sich den Ort des Objekts ein und versucht dann, unter der Sicherung des anderen oder der anderen hinzufinden. Je nach Können kann der Abstand vergrößert werden oder es können kleinere Hindernisse eingebaut werden.

iii. *Hindernisstrecke:*

Eine Bahn mithilfe unterschiedlicher Gegenstände wie beispielsweise dickeren Büchern oder Magazinen, Sesseln, Tischen, Eimern, Kisten oder aufgetragenen Markierungen gestalten, die es dann zu bewältigen gilt. Wichtig ist hierbei der Sicherheitsaspekt – das Tempo sollte so gewählt werden, dass keine gefährlichen Stürze oder Verletzungen entstehen können. Gelingt die Bewältigung erneuert, so kann die Fortbewegungsrichtung gewechselt und gegebenenfalls die Strecke erneut blind bewältigt werden. Alternativ bietet es sich auch an, ein Objekt während der Zurücklegung der Bahn zu balancieren.

iv. *Sich einbeinig Gegenstände zuwerfen (ggf. auf labilem Untergrund):*

Die zu Unterrichtenden stellen sich auf einem Bein gegenüber auf, wobei jeder der Beteiligten einen für Werfen geeigneten Gegenstand in der Hand hält. Auf ein Kommando hin werden die Gegenstände durch einen Wurf ausgetauscht. Je nach Verfügbarkeit lässt sich die Übung auch auf einem labilen Untergrund wie einer Dreh- oder Balancierscheibe ausführen. Fällt die Aufgabenstellung zu leicht, so kann der Abstand erhöht oder es können zwei Gruppen vereint werden, sodass vier Würfe parallel stattfinden müssen.

II. Reaktion

Diese Übungen zielen darauf ab, die Reaktion auf einen festgelegten Reiz hin zu verkürzen, sodass die Bewegungs-Exekution schneller realisiert wird (vgl. Voelcker-Rehage, 2013).

i. *Zwei Gegenstände simultan hochwerfen:*

Die Lernenden greifen sich zwei werfbare Gegenstände wie Bälle oder Tücher und versuchen, diese möglichst gleichzeitig hochzuwerfen und wieder zu fangen. Wem diese Variante gelingt, der kann versuchen, die Übung blind auszuführen oder die Hände nach dem Wurfvorgang zu überkreuzen und die Gegenstände in dieser neuen, aber durchaus komplexeren Position wieder zu fangen.

ii. *Gegenstand weiterreichen mit Kommando:*

Mehrere zu Unterrichtende stellen sich in Gruppen zu je ungefähr vier bis sechs Personen zusammen. Sie erhalten die Aufgabe, einen Ball oder ein anderes Objekt innerhalb der Gruppe beliebig weiterzureichen. Erfolgt ein Kommando durch den Spielleiter, verlieren jene Spieler und Spielerinnen, die den Ball momentan mit einer Hand berühren, ein Leben und müssen die koordinativ besser geschulte Hand hinter den Rücken geben. Fortan dürfen die Betroffenen nur noch so mitspielen. Kommt es erneut zu einem Fehler, scheidet der jeweilige Lernende oder die jeweilige Lernende aus. Fällt der Gegenstand aus irgendeinem Grund auf den Boden, so muss sich jene Person verantworten, die das Objekt zuletzt berührt hat oder absichtlich hat fallen lassen. Die Schwierigkeit lässt sich dadurch erhöhen, dass eine größere Anzahl von Dingen pro Gruppe verwendet wird.

iii. *Nachahmen einer anderen Person:*

Zwei Spielpartner positionieren sich in einigen Metern Entfernung, sodass sich diese gegenseitig ansehen. Nun beginnt der erste Lernende oder die erste Lernende, eine gewisse Position einzunehmen, die vom Partner oder der Partnerin möglichst schnell eingenommen werden muss. Nach einigen positiven Durchgängen kommt es zum Wechsel. Zudem können die Positionen zu kleineren Bewegungsabläufen ausgebaut werden, die es ebenfalls nachzuahmen gilt. Mehr Dynamik wird durch die sogenannten Schattenläufe (vgl. Voelcker-Rehage et al., 2013) erzielt, bei denen die Partner oder Partnerinnen sich durch den Raum bewegen und der oder die jeweils vorne laufende Person eine Laufübung vorzeigt, die vom Hinteren oder von der Hinteren kopiert werden muss.

iv. *Zahlenbasiertes Bodenberühren:*

Alle Teilnehmer und Teilnehmerinnen bewegen sich frei durch den Raum. Sobald die Lehrkraft eine bestimmte Zahl in Form eines Handzeichens oder einer verbalen Anweisung äußert, muss genau jene Menge an Körperstellen von den Schülern und Schülerinnen den Fußboden berühren – beispielsweise durch die Finger, Zehen, Arme, Beine oder etwa den Kopf. Die Übung lässt sich auch zu zweit oder mit mehr Personen ausführen, sodass gemeinsam die gezeigte Anzahl an Berührungen hergestellt werden muss.

III. Differenzierung

In diesem Teilbereich der koordinativen Fähigkeiten versuchen Voelcker-Rehage et al. (2013, S. 64), durch entsprechende Übungen „[...] die Fähigkeit eines Menschen, Lage und Bewegungsrichtung seiner Körperteile zueinander und in Bezug zur Umwelt zu kontrollieren und zu steuern“ zu schulen. Dies bedarf einer präzisen Abstimmung aller beteiligten muskulären Komponenten, damit eine möglichst flüssige und stimmige Bewegungsausführung gewährleistet wird. Gleichzeitig beansprucht dieser Prozess diverse kognitive Fähigkeiten wie etwa die Aufmerksamkeit oder die Konzentrationsleistung, die dadurch eine intensivere Aktivierung erfahren.

i. *Rhythmische Differenzierung:*

Die gesamte Klasse streckt einen Arm vom Körper weg. Auf ein Signal hin wird die Hand ohne hohen Krafteinsatz auf den Brustkorb geklatscht, sodass ein Geräusch entsteht. Direkt darauf wird mit der jeweiligen Hand einmal geschnipst und im Anschluss daran zweimal geklatscht (vgl. Voelcker-Rehage et al., 2013). Die Geschwindigkeit kann mit zunehmender Ausführungsdauer durchaus erhöht werden oder die einzelnen Elemente können beliebig verändert werden, sodass unterschiedliche Rhythmen entstehen und erprobt werden.

ii. *Die Arme im Uhrzeigersinn drehen:*

Zu Beginn der Übung wird ein Arm in Richtung Decke und der andere rechts vom Körper weggestreckt. Sobald alle Beteiligten diese Position eingenommen haben, erfolgt ein Kommando durch den Lehrer oder die Lehrerin. Nun werden die Arme im Uhrzeigersinn angewinkelt und möglichst synchron wieder um den gleichen Abstand weitergedreht. Folgende Positionen sollten erkennbar sein:

- Erste Position: linker Arm 12, rechter Arm 3 Uhr
- Zweite Position: linker Arm 3, rechter Arm 6 Uhr
- Dritte Position: linker Arm 6, rechter Arm 9 Uhr
- Vierte Position: linker Arm 9, rechter Arm 12 Uhr

Je nach Level der individuellen Fertigkeiten kann das Tempo gesteigert oder die Ausführungsrichtung geändert werden.

iii. *Schrittabfolge variieren:*

Die Schüler und Schülerinnen stellen sich je nach Klassengröße in 5–6 Reihen zu je 5 Personen hintereinander auf. Die vor ihnen liegende Strecke müssen sie unter bestimmten Vorgaben der Fußwahl und Schrittsetzung zurücklegen. Dabei wird zwischen sehr breiten, normalen sowie engen Schritten differenziert. Zunächst soll die Strecke sehr eng durchgeführt werden, wie die Grafik 1 und 2 auf der Abbildung 31 verdeutlichen. Im zweiten Durchgang ist das Gegenteil der Fall: Die Bahn muss nun sehr breitbeinig durchlaufen werden. Am schwierigsten sind die letzten beiden Schrittmuster (siehe Element 3 und 4 der Abbildung 31), bei denen nicht zunächst die Schrittabfolge während der Ausführung variiert wird und schlussendlich auch die Breite der Fußaufsetzer durchgehend verändert wird.

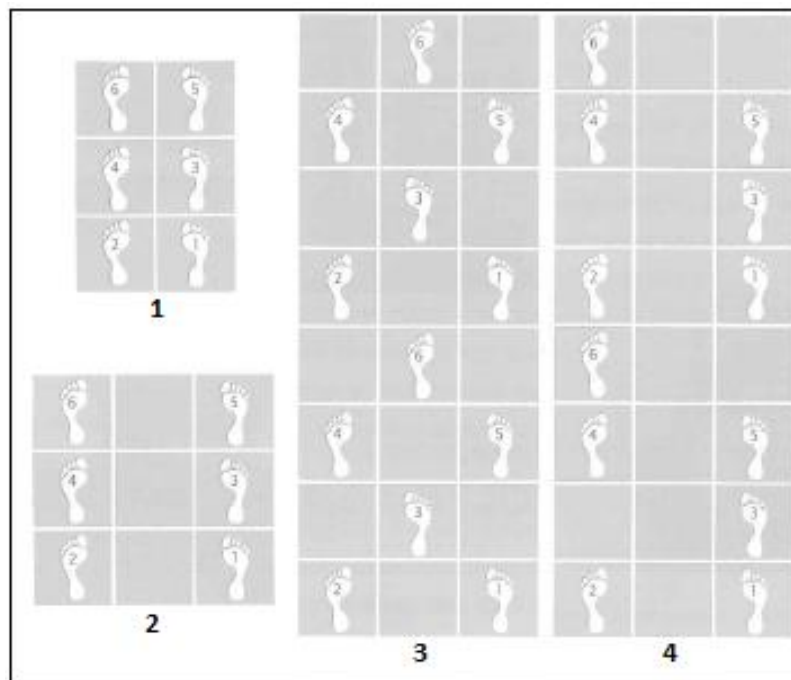


Abbildung 31: Vorgaben für die Schrittabfolge (mod. n. Voelcker-Rehage et al., 2013, S. 66f.)

6.4.2. Übungen aus dem konditionellen Bereich

Wie bereits mehrfach erwähnt, bringt sportliche Aktivität die Gehirnzellen und damit die kognitiven Prozesse „in Bewegung“ (vgl. Voelcker-Rehage et al., 2013). Diese Optimierung wird aber nicht nur durch koordinative, sondern auch durch konditionelle Anforderungen initiiert und das mit zum Teil deutlich stärkerem Effekt (siehe die empirischen Forschungsergebnisse dieser Arbeit). Nachfolgend werden einige Übungen vorgestellt.

I. *Tempo auf die Gänge abstimmen:*

Aufgrund der höheren Geschwindigkeit sollte die Übung im Freien oder in größeren Räumen ausgeführt werden, sodass Zusammenstöße mit anderen Schülern und Schülerinnen oder Kollisionen mit Objekten vermieden werden. Die zu Unterrichtenden werden in die Rolle eines Autofahrers oder einer Autofahrerin versetzt, die in Abhängigkeit vom gewählten Gang ihre Geschwindigkeit individuell anpassen. Die Gang-Selektion erfolgt über ein Kommando durch die Lehrkraft, die – wie bei einem echten Fahrzeug – den Retourwärtsgang einlegen lassen kann, woraufhin die Lernenden verkehrt „weiterfahren“ müssen.

II. *Schlangen überholen:*

Mit einer mittelmäßigen Geschwindigkeit laufen die Lernenden innerhalb des vorgegebenen räumlichen Bereiches in einzelnen Reihen hintereinander. Ziel ist es, dass der jeweils Letzte oder die Letzte der Gruppe im Slalom an den vor ihm stehenden Teammitgliedern durchläuft und sich zur Spitze durchkämpft, wo er die Führung übernimmt. Um die Motivation und die Leistungsbereitschaft zusätzlich zu steigern, könnten die Schlusslichter immer gleichzeitig loslaufen, sobald ein Kommando durch die zuständige Lehrkraft erfolgt ist. Derjenige oder diejenige, der oder die durch den Slalom hindurch als Erstes die Spitze erreicht, erhält einen Punkt. Wer am Schluss die meisten Punkte hat, gewinnt dieses konditionelle Spiel.

III. *Berührungsführen:*

Für diese Gruppe werden 2er-Teams benötigt, die sich hintereinander aufstellen. Der Vordermann oder die Vorderfrau bewegt sich mit geschlossenen oder verbundenen Augen durch den Raum. Der Partner oder die Partnerin folgt und erteilt Richtungsanweisen durch leichte Berührungen der Schultern des vorauslaufenden Mitschülers oder der Mitschülerin, der oder die darauf entsprechend mit einer viertel Drehung reagiert. Auch hier sollte die Geschwindigkeit in überschaubarem Maße gehalten und individuell gesteigert werden, sodass keine Unfälle auftreten.

IV. *Rhythmuslaufen:*

Unter der Verwendung einer Musikanlage werden unterschiedliche Lieder eingespielt, die Rhythmen sowie Tempi aufweisen. Davon abhängig erhalten die Schüler und Schülerinnen die Aufgabe, sich ihrer Meinung nach entsprechend dazu im Raum fortzubewegen. Das könnte etwa bei schnelleren Stücken zügiger sein oder in Form von Kniehebeläufen, wohingegen bei langsameren Kompositionen eher eine gedrosselte Fortbewegungsart in Form von Schleichen passen würde.

V. *Glückslauf:*

Diese Spielform ist in der Organisation etwas aufwändiger, sorgt aber durch ihren Wettkampf-Charakter für viel Spaß, der nicht nur zur Unterhaltung dient, sondern auch die mentalen Fähigkeiten positiv beeinflusst. Vor Spielbeginn muss die Lehrkraft Zettel, die mit Ziffern von eins startend bis hin zu 150 markiert sind. Diese legt der Pädagoge oder die Pädagogin verkehrt auf den Boden. Danach wird die Klasse je nach Lernenden-Anzahl in Mannschaften, bestehend aus drei bis fünf Mitgliedern, eingeteilt und erhält einen großen Schaumstoffwürfel. Sobald die Lehrperson das Signal erteilt, darf losgewürfelt werden. Nun gilt es, die gewürfelte Ziffer in der Menge an Zetteln ausfindig zu machen. Dafür darf sich die Gruppe trennen. Ist die Zahl gefunden, müssen sich dort alle Teammitglieder versammeln, um erneuert zu würfeln. Die neue Zahl wird mit der alten zusammengezählt, wodurch sich die neue aufzufindende Ziffer ergibt. An einem einfachen Beispiel verdeutlicht: war die erste Zahl zwei und die neue vier, so muss nach der Sechs gesucht werden. Ziel ist es, über einen Wert von 150 hinauszukommen oder diesen exakt zu erreichen.

VI. *Alphabets-Lauf:*

Um diese Übung erfolgreich ausführen zu können, sind – ähnlich wie beim Glückslauf – bestimmte Vorbereitungen notwendig. Der Pädagoge oder die Pädagogin muss insgesamt 26 Blätter mit jeweils einem Alphabets-Buchstaben versehen, die Zettel vermischen und gut verteilt in einem größeren Raum oder im Freien aufhängen. Nun wird jeder Schüler und jede Schülerin einem Papier zugeteilt und muss auf ein Kommando hin versuchen, von dort aus möglichst schnell zum darauffolgenden Buchstaben zu gelangen und diesen mit der Hand zu berühren. Gewinner oder Gewinnerin ist diejenige Person, die am schnellsten das gesamte Alphabet durchlaufen hat. Die Blätter sollten nach Möglichkeit aber so befestigt werden, dass dazwischen genügend Raum zum Laufen ist und gefährliche Kollisionen durch die höhere Geschwindigkeit dieser Übung vermieden werden.

7. Zusammenfassung und Resümee

Mithilfe dieses wissenschaftlichen Beitrages sollte in das breite Spektrum der kognitiven Neurowissenschaften eingetaucht und die davon relevanten Aspekte für das Setting Schule und das Unterrichtsgeschehen sollten herauskristallisiert werden. Dabei erfuhr die Rolle von Bewegung und Sport über alle Abschnitte hinweg eine besondere Berücksichtigung. Gleichzeitig wurde versucht, das Verständnis des Lesers oder der Leserin für Fachkonzepte wie etwa das „Priming“ (vgl. Jäncke, 2013) durch anschauliche Beispiele aus der Praxis des Sportunterrichts zu steigern.

Um ein Verständnis für die verwendeten Bezeichnungen zu generieren, wurden am Beginn der Arbeit die wichtigsten Definitionen erläutert. Nicht selten wird in der Literatur für einen bestimmten Sachverhalt ein und dieselbe Bezeichnung verwendet. Ein Beispiel dafür bildet das „Begriffspaar“ Konzentration sowie Aufmerksamkeit, welche auch im Alltag häufig als gegenseitige Synonyme aufgegriffen werden. Dabei bestehen laut einigen Autoren (vgl. Beckmann & Strang, 1993; Kaminski, 1994; Böttger, 2016) zumindest kleine, aber für diese akademische Auseinandersetzung relevante Unterschiede. Im Setting des Sportunterrichts verstehen Experten und Expertinnen wie beispielsweise Lau et al. (2002) oder Moran (2017) unter Aufmerksamkeit jenen Prozess, der dafür sorgt, dass Schüler und Schülerinnen bestimmte Spielhandlungen und damit verbundene Muster deuten und entsprechend verarbeiten können. Doch erste Definitionsversuche wurden schon viel früher angestellt. Bereits James (1890) verstand darunter einen mentalen Selektionsprozess, um sich bestimmten Wahrnehmungen intensiver widmen zu können. Auch Costandi (2015) erwähnt in seinen Erläuterungen den Selektionscharakter dieser Fähigkeit, womit für den aktuellen Moment unwichtig erscheinende Informationen zugunsten relevanter Reize ausgeblendet werden. Diese Eigenschaft ist aber nicht unlimitiert beanspruchbar, wie entsprechende Untersuchungen und daraus resultierende neurodidaktische Empfehlungen betonen (vgl. Herrmann, 2009a; Roth, 2009; Brand & Markowitsch, 2009). Umso wichtiger ist es als Lehrkraft, die als essenziell erscheinenden Inhalte des Unterrichts besonders hervorzuheben und eine „Überflutung“ mit beiläufigen Informationen zu vermeiden. Auch die Konzentration, welche im Zentrum der empirischen Untersuchung stand, wurde entsprechend definiert – sie ist laut Gabler (2000) und Schmidt-Atzert (2004) jene Fähigkeit, die es einem Individuum erlaubt, unter von außen gestellten Anforderungen möglichst flott und produktiv Leistung zu erbringen. Ferner kommen die selektiven Eigenschaften durch ein erhöhtes Konzentrationsniveau stärker zu tragen, wodurch der Wissenserwerb sowie dessen Sicherung stabiler und effektiver abläuft. Brickenkamp et al. (2010) kombinieren beide Begriffe und kreieren die „konzentrierte Aufmerksamkeit“, die

ihrer Meinung nach bei Prüfungssituationen ersichtlich sind und in dem von ihnen konstruierten d2-R-Test abgeprüft werden.

Nachdem eine Reihe von relevanten Begrifflichkeiten erläutert und potenzielle Differenzen aufgezeigt wurden, stand im darauffolgenden Abschnitt das Gehirn im Fokus. Neben einem kurzen historischen Abriss (vgl. Carter et al., 2010) wurden die wichtigsten hirnbezogenen Bestandteile vorgestellt und deren Tätigkeit vorgestellt. Je nach Bedeutung für die Kernthematik beschränkten sich die Ausführungen von groben Beschreibungen bis hin zu detaillierten Schilderungen hinsichtlich der Funktionsweise und Mechanismen der einzelnen Areale (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Jäncke, 2013; Costandi, 2015; Böttger, 2016). Dazu zählten etwa am Wissenserwerb beteiligte Strukturen wie der Hippocampus oder das limbische System, durch welche individuelle Bewertungen der wahrgenommenen Inhalte bedingt sind (vgl. Herrmann, 2009a). Da dieser wissenschaftliche Beitrag auf das Kindes- und Jugendalter abzielt, wurde zudem die Entwicklung und Reifung des Gehirns von der Embryonalphase bis hin zum Ende der Adoleszenz angeführt und die essenziellsten Veränderungen aufgelistet. Des Weiteren wurden die verschiedenen Gedächtnisformen vorgestellt – etwa das semantische Merkzentrum, das für klassisches Fakten- und Ablaufwissen verantwortlich ist. Auch die Bewegung fand in diesen Absätzen eine besondere Berücksichtigung. Nicht jede körperliche Aktivität entsteht in den gleichen Enzephalonbereichen. Für die „Grobstruktur“ einer motorischen Handlung zuständig ist etwa der primäre motorische Kortex, der auch als M1 bezeichnet wird. Er legt wesentliche Parameter wie Intensität oder Dauer der Ausführung fest. Damit die gewünschte Aktivität reibungslos und möglichst rund abläuft, müssen jedoch auch andere Strukturen wie das Kleinhirn ihren Beitrag leisten. Letztgenannter Bereich im Enzephalon sorgt für die individuelle Feinadjustierung und Koordination der Bewegung mit den notwendigen Körperkomponenten. Sobald der motorische Entwurf fertig gestaltet ist, wird er über das Rückenmark in die adressierten motorischen Endplatten geleitet, wo er durch biochemische Prozesse praktisch umgesetzt wird (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Jäncke, 2013; Costandi, 2015; Böttger, 2016). Bestimmte Bewegungsarten wie etwa die Reflexe laufen aber auch autonom ohne Beiwirken der Gehirnstrukturen über motorische Neuronen im Rückenmark ab. Nehmen diverse sensorische Strukturen in der Muskulatur – die sogenannten sensorischen Nervenenden – Reize wahr, die durch Schmerzen oder Schädigungen entstehen, werden umgehend Signale an das Rückenmark übermittelt. Die Ziele dieser „Warnbotschaften“ sind die motorischen Neuronen im Inneren des Rückenmarks, welche darauf mit der Generierung einer meist unbewusst ablaufenden und unkontrollierbaren Bewegung reagieren (vgl. Thompson, 2001; Carter et al., 2010; Jäncke, 2013; Costandi, 2015; Böttger, 2016).

Im Anschluss an die anatomische sowie funktionale Auseinandersetzung mit dem Enzephalon sowie anderen Strukturen, die sowohl am Lehr- und Gedächtnisprozess als auch an der Bewegungsplanung und -exekution beteiligt sind, wurden unterschiedlichste Untersuchungen präsentiert. Diese widmeten sich den möglichen Auswirkungen körperlicher Aktivität auf unterschiedliche kognitionsbezogene Parameter. Dabei variierten nicht nur die Erhebungsdesigns, sondern auch die Art der angewandten sportlichen Intervention unterschieden sich. Ein Großteil der Autoren und Autorinnen (vgl. Voss et al., 2013; Voelcker-Rehage, 2013; Beck, 14; Suzuki, 2016; Böttger, 2016) vertritt die Ansicht, dass sich durch sportliche Betätigung der Vorgang des Wissenserwerbs optimieren lässt und die Absicherung in den beteiligten Gehirnarealen zuverlässiger gelingt. Als Hauptakteur wird dabei der Hippocampus gesehen, der durch die körperliche Intervention zur Schaffung neuer neuronaler Wege und Strecken angeregt wird, wovon die mentale Leistungsfähigkeit profitiert. Aktuelle wissenschaftliche Beiträge (vgl. Koutsandréou et al., 2016) beschreiben die Vorgänge noch detaillierter. Sie sehen die erhöhte Ausschüttung von Testosteron mit der Synaptogenese sowie der Ausprägung dendritischer Dornen einhergehen, die für eine gesteigerte mentale Leistung sorgen. Aber auch die durch den Sport begünstigte erhöhte Durchblutungsrate des Gehirns ist einigen Autoren (vgl. Ainsworth, 2000; Turecek, 2012; Schott et al., 2016) zufolge für die optimierte kognitive Funktionalität verantwortlich. Gleichmaßen wichtig für den Lernerfolg dürften auch die exekutiven Funktionen sein, zu denen laut Costandi (2015) etwa die Aufmerksamkeit sowie Konzentration zählen, die ebenfalls durch Sporttreiben erhöht werden (vgl. Fedewa & Ahn, 2011; Booth et al., 2013; Syvaoya et al., 2014; Mura et al., 2015; Norris et al., 2015; Donnelly et al., 2016).

Hinsichtlich der Frage nach der idealen Dosis Sport, die für die Verbesserung benötigt wird, gehen die Meinungen auseinander. Wird einerseits für die Wirkung akuter oder chronischer körperlicher Belastungen plädiert (vgl. Ahn & Fedewa, 2011; Chang et al., 2012; Jansen, 2014; Dirksen et al., 2015; McMorris & Hale, 2015; McMorris, 2016), so ist der Fitnesszustand der Schüler und Schülerinnen für einige Experten und Expertinnen (vgl. Stroth et al., 2009; Chang et al., 2012; Beck, 2014; Dadaczynski & Schniemann, 2015; Resaland et al., 2016) mindestens ein ebenso wichtiger Faktor, der nicht außer Acht gelassen werden kann. Betreffend der exakten Auswirkungen von Bewegung und Sport auf die einzelnen Fähigkeiten und Bereiche der Kognition weisen viele Studien unterschiedliche Ergebnisse aus. Gerade bei den schulbezogenen mentalen Leistungen geht Beck (2014) etwa davon aus, dass die positive Beeinflussung über nahezu alle Kompetenzen hinweg stattfindet. Dahingegen konnte in anderen Analysen (vgl. van der Niet et al., 2014; Scudder et al., 2014; Pindus et al., 2016) beispielsweise nur eine Opti-

mierung im Bereich des Buchstabierens festgestellt werden. Kaum eine Verbesserung konnte eine relativ neue Untersuchung von Resaland et al. (2016) nachweisen, die Bewegungsmöglichkeiten während des Unterrichtsgeschehens etablierten. Lediglich die motorisch weniger geschulten Lernenden konnten signifikant verbesserte Ergebnisse erzielen, wobei sich diese nur auf den arithmetischen Bereich beschränkten.

Wie die Literaturoseinandersetzung gezeigt hat, sind sich die nahezu alle Studien einig, dass Sport – gleich, ob in Form einer Intervention oder im Sinne der allgemeinen körperlichen Konstitution einer Person – dazu in der Lage ist, die menschliche Kognition zumindest in geringem Ausmaß förderlich zu beeinflussen. Welche Fähigkeiten und Teilbereiche der mentalen Leistungsfähigkeit dezidiert optimiert werden können, bleibt im Mittelpunkt vieler Diskussionen. Aus diesem Grund sollte der empirischen Versuch an einer österreichischen Schule mit 63 zu Unterrichtenden der siebten Schulstufe mehr Klarheit schaffen. Es konnte nachgewiesen werden, dass neben den beiden sportlichen auch die nonmotorische Intervention eine Verbesserung brachte, die konditionelle Belastung aber – gefolgt von der koordinativen Beanspruchung – den größten Effekt bewirkte. Trotz des vermuteten Lern- oder Übungeffekts, der bei der d2-R-Testung sicherlich mitwirkte (vgl. Brickenkamp et al., 2010; Daseking & Putz, 2015), hat die Untersuchung erneuert für die Relevanz von Bewegung und Sport für die Steigerung mentaler Parameter wie beispielsweise die Konzentrationsleistung gesprochen.

Somit konnten alle drei zu Beginn des wissenschaftlichen Beitrags formulierten Fragestellungen sowie die damit in Verbindung stehenden Hypothesen in einem zufriedenstellenden Ausmaß beantwortet werden. Neben all den theoretischen Erkenntnissen und Theorien liefert gerade das letzte Kapitel darauf gestützte neurodidaktische Ableitungen für die Schulpraxis (vgl. Herrmann, 2009a; Herrmann, 2009b; Roth, 2009; Brand & Markowitsch, 2009; Carter et al., 2010; Böttger, 2016). Dabei hat nicht nur der Vermittlungsprozess selbst einen großen Einfluss auf den Erfolg des Lehr-Lern-Arrangements. Andere Faktoren wie etwa das soziale Klima in der Klasse, der Motivation der Schüler und Schülerinnen oder das Auftreten einer Lehrkraft hinsichtlich ihrer Leidenschaft und fachlichen Versiertheit sind mindestens ebenso bedeutsam.

Trotz der Vielzahl von Untersuchungen, Experimente oder Analysen muss in diesem für den schulischen Kontext äußerst essenziellen Bereich weitere Forschungsarbeit geleistet werden (vgl. Herrmann, 2009; Roth, 2009; Chang et al., 2012; Howie & Pate, 2012; McMorris, 2016; Resaland et al., 2016), um klarere Einblicke in die exakten Zusammenhänge zwischen Bewegung und Sport und deren Auswirkungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen zu schaffen.

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Wolfgang Altermann, erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und nur die angeführten Hilfsmittel verwendet habe. Die aus Quellen übernommenen direkten oder indirekten Gedanken, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle, noch von anderen Personen eingereicht. Die für die statistische Auswertung erhobenen Daten der empirischen Untersuchung sind abgespeichert und können auf Anfrage übermittelt werden.

Wien, 12. Juni 2017
(Ort, Datum)


(Unterschrift Verfasser)

Literaturverzeichnis

- Aeppli, J., Gasser, L., Gutzwiller, E. & Tettenborn, A. (2016). *Empirisches wissenschaftliches Arbeiten. Ein Studienbuch für die Bildungswissenschaften*. (4. Auflage). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Ahn, S. & Fedewa, A. L. (2011). A Meta-analysis of the Relationship Between Children's Physical Activity and Mental Health. *Journal of Pediatric Psychology*, 36(4), 385–397.
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., ... & Jacobs, D. R. (2000). Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(9), 498–504.
- Alfermann, D., & Stoll, O. (2016). *Sportpsychologie: Ein Lehrbuch in 12 Lektionen* (4. Ausgabe). Aachen [u.a.]: Meyer & Meyer Verlag.
- Allen, N. J. (2014). Astrocyte regulation of synaptic behavior. *Annual review of cell and developmental biology*, 30, 439–463.
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of experimental child psychology*, 106(1), 20–29.
- Apeltauer, E. (2010). Wortschatz- und Bedeutungsvermittlung durch Anbahnen von Literalität. *Flensburger Papiere zur Mehrsprachigkeit und Kulturenvielfalt im Unterricht*, 53, 1–32.
- Atteslander, P. (2008). *Methoden der empirischen Sozialforschung*. Berlin: Schmidt Verlag.
- Audiffren, M., & André, N. (2015). The strength model of self-control revisited: Linking acute and chronic effects of exercise on executive functions. *Journal of Sport and Health Science*, 4(1), 30–46.
- Barkley, R. A. (2012). *Executive functions: What they are, how they work, and why they evolved*. New York: Guilford Press.
- Barkovich, A. J. (2000). Concepts of myelin and myelination in neuroradiology. *American Journal of Neuroradiology*, 21(6), 1099–1109.

- Bartol Jr, T. M., Bromer, C., Kinney, J., Chirillo, M. A., Bourne, J. N., Harris, K. M., & Sejnowski, T. J. (2015). Nanoconnectomic upper bound on the variability of synaptic plasticity. *Elife*, 4, 1–18.
- Bauer, J. (2007). Lob der Schule. *Hamburg: Hoffmann und Campe*.
- Beckmann, J., & Strang, H. (1993). Konzentration: Überlegungen zu einem vernachlässigten Konstrukt. In *Aufmerksamkeit und Energetisierung. Facetten von Konzentration und Leistung*. (S. 11–32). Göttingen: Hogrefe.
- Behrens, U. (2016). Lebensweltbezug von Schreibaufgaben als Dogma und Leerstelle. In M. Krelle & W. Senn (Hrsg.), *Qualitäten von Deutschunterricht: Empirische Unterrichtsforschung im Fach Deutsch* (S. 163–178). Stuttgart: Ernst Klett.
- Benton, D. (2010). The influence of dietary status on the cognitive performance of children. *Molecular nutrition & food research*, 54(4), 457–470.
- Bertram, A. M., & Laube, W. (2008). *Sensomotorische Koordination: Gleichgewichtstraining auf dem Kreisel*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, 30(4), 331–351.
- Bliss, T. V., & Lømo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *The Journal of physiology*, 232(2), 331–356.
- Booth, J. N., Tomporowski, P. D., Boyle, J. M., Ness, A. R., Joinson, C., Leary, S. D., & Reilly, J. J. (2013). Associations between executive attention and objectively measured physical activity in adolescence: findings from ALSPAC, a UK cohort. *Mental Health and Physical Activity*, 6(3), 212–219.
- Bortz, J., & Döring, N. (2007). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler: Limitierte Sonderausgabe*. Berlin u.a: Springer-Verlag.
- Brand, M. & Markowitsch, H. J. (2009). Lernen und Gedächtnis aus neurowissenschaftlicher Perspektive – Konsequenzen für die Gestaltung des Schulunterrichts. In U. Herrmann (Hrsg.), *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen* (S. 69-85). Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Brandes, M. (2012). Körperliche Aktivität oder Fitness: Was ist wichtiger für die Gesundheit? *Bundesgesundheitsblatt*, 55, 96–101.

- Brickenkamp, R., Schmidt-Atzert, L., & Liepmann, D. (2010). *Test d2-Revision: Aufmerksamkeits-und Konzentrationstest*. Göttingen: Hogrefe.
- Brown, W., Burton, N. & Rowan, P. (2007). Updating the evidence on physical activity and health in women. *American Journal of Preventive Medicine*, 33, 404–411.
- Buchman, A. S., Boyle, P. A., Yu, L., Shah, R. C., Wilson, R. S., & Bennett, D. A. (2012). Total daily physical activity and the risk of AD and cognitive decline in older adults. *Neurology*, 78(17), 1323–1329.
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietraßyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P., & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience letters*, 441(2), 219–223.
- Bühner, M. (2001). *Die Bedeutung von menaler Operation und Material bei der Erfassung der Konzentrationstest-Leistung: Ein Beitrag zur Validität von Durchstreichtests*. Hamburg: Kovac.
- Calabrese, F., Rossetti, A. C., Racagni, G., Gass, P., Riva, M. A., & Molteni, R. (2014). Brain-derived neurotrophic factor: a bridge between inflammation and neuroplasticity. *Cytokines as Players of Neuronal Plasticity and Sensitivity to Environment in Healthy and Pathological Brain*, 8, 1–7.
- Carter, R., Aldrige, S., Page, M. & Parker, S. (2010). *Das Gehirn. Anatomie, Sinneswahrnehmung, Gedächtnis, Bewusstsein, Orientierung*. München: Dorling Kindersley
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public health reports*, 100(2), 126–131.
- Castelli, D. M., Hillman, C. H., Buck, S. M., & Erwin, H. E. (2007). Physical fitness and academic achievement in third-and fifth-grade students. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(2), 239–252.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Kim, J. S., Voss, M. W., VanPatter, M., ... & Cohen, N. J. (2010). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain research*, 1358, 172–183.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., VanPatter, M., Pontifex, M. B., ... & Kramer, A. F. (2012). A functional MRI investigation of the association between childhood aerobic fitness and neurocognitive control. *Biological psychology*, 89(1), 260–268.

- 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 sports sciences*, 30(5), 421–430.
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I. & Etner, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87–101.
- Chen, L. J., Fox, K. R., Ku, P. W., & Taun, C. Y. (2013). Fitness change and subsequent academic performance in adolescents. *Journal of School Health*, 83(9), 631–638.
- Chiang, M. C., Barysheva, M., Shattuck, D. W., Lee, A. D., Madsen, S. K., Avedissian, C., Klunder, A. D., Toga, A. W., McMahon, K. L., de Zubicaray, G. I., Srivastava, A., Balov, N., Thompson, P. M. & Wright, M. J. (2009). Genetics of brain fiber architecture and intellectual performance. *Journal of Neuroscience*, 29(7), 2212–2224.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological bulletin*, 112(1), 155.
- Costa, A., Foucart, A., Arnon, I., Aparici, M., & Apesteguia, J. (2015). Corrigendum to “Piensa” twice: On the foreign language effect in decision making [Cognition 130 (2)(2014) 236–254]. *Cognition*, 142, 362–363.
- Costandi, M. (2015). *50 Schlüsselideen Hirnforschung*. Berlin: Springer.
- Costandi, M. (2016). *Neuroplastic*. London: MIT Press.
- Dadaczynski, K. & Schiemann, S. (2015). Welchen Einfluss haben körperliche Aktivität und Fitness im Kindes- und Jugendalter auf Bildungsergebnisse? Eine systematische Übersicht von Längsschnittstudien. *Sportwissenschaften*, 45(4), 190–199.
- Daseking, M., & Putz, D. (2015). TBS-TK Rezension. *Report Psychologie* 140, 323–324.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.
- Demirakca, T., Cardinale, V., Dehn, S., Ruf, M., & Ende, G. (2015). The exercising brain: Changes in functional connectivity induced by an integrated multimodal cognitive and whole-body coordination training. *Neural plasticity* 2016, 1–11.
- D'Esposito, M., & Postle, B. R. (2015). The cognitive neuroscience of working memory. *Annual review of psychology*, 66, 115–142.
- Dettmers, C., Braun, N., Büsching, I., Hassa, T., Debener, S., & Liepert, J. (2016). Neurofeedback-gestütztes Bewegungsvorstellungstraining zur Rehabilitation nach einem Schlaganfall. *Der Nervenarzt*, 87(10), 1074–1081.

- Dhingra, R., Manhas, S., & Kohli, N. (2010). Relationship of perceptual abilities with academic performance of children. *J Soc Sci*, 23(2), 143–147.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135–168.
- Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental cognitive neuroscience*, 18, 34–48.
- Diaz, A. & Motta, R. (2008). The effect of an aerobic exercise program on posttraumatic stress disorder symptom severity in adolescents. *International Journal of Emergency Mental Health*, 10, 49–60.
- Dierlmeier, D. (2015). *Nervensystem in der Osteopathie: periphere Nerven, Gehirn-und Rückenmarkshäute, Vegetativum*. Georg Thieme Verlag.
- Dietrich, A., & Audiffren, M. (2011). The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 35(6), 1305–1325.
- Dirksen, T., Zentgraf, K., & Wagner, H. (2015). Bewegungskoordination und Schulerfolg? *Sportwissenschaft*, 45(2), 73–82.
- Donnelly, J. E., Greene, J. L., Gibson, C. A., Smith, B. K., Washburn, R. A., Sullivan, D. K., ... & Jacobsen, D. J. (2009). Physical Activity Across the Curriculum (PAAC): a randomized controlled trial to promote physical activity and diminish overweight and obesity in elementary school children. *Preventive medicine*, 49(4), 336–341.
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P., ... & Szabo-Reed, A. N. (2016). Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: a systematic review. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(6), 1197–1222.
- Dorner, T. E. (2016). Adipositasepidemiologie in Österreich. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 166(3-4), 79–87.
- Ekmekcioglu, C., & Kiefer, I. (2014). *Fitness geht durch den Magen: Wie Ernährung unsere geistige und körperliche Leistungsfähigkeit beeinflusst*. Wien: Braumüller Verlag.
- Erickson, K. I., Raji, C. A., Lopez, O. L., Becker, J. T., Rosano, C., Newman, A. B., Gach, H.M., Thompson, P.M. & Kuller, L. H. (2010). Physical activity predicts gray matter volume in late adulthood The Cardiovascular Health Study. *Neurology*, 75(16), 1415–1422.

- Erwin, H. E., Beighle, A., Morgan, C. F., & Noland, M. (2011). Effect of a low-cost, teacher-directed classroom intervention on elementary students' physical activity. *Journal of School Health*, 81(8), 455–461.
- Funke, J., & Frensch, P. A. (Eds.). (2006). *Handbuch der Allgemeinen Psychologie-Kognition*. Berlin [u.a]: Hogrefe Verlag.
- Gabler, H. (2000). Kognitive Aspekte sportlicher Handlungen. In: H. Gabler, R. Nitsch & R. Singer (Hrsg.), *Einführung in die Sportpsychologie, Teil I: Grundthemen* (3. Aufl.) (S. 165–196). Schorndorf: Hofmann.
- Gasser, P. (2008). *Neuropsychologische Grundlagen des Lehrens und Lernens*. Bern: hep Verlag.
- Graham, D. J., Lucas-Thompson, R. G., & O'Donnell, M. B. (2014). Jump in! An investigation of school physical activity climate, and a pilot study assessing the acceptability and feasibility of a novel tool to increase activity during learning. *Emerging Technologies to Promote and Evaluate Physical Activity*, 132.
- Griffin, É. W., Mullally, S., Foley, C., Warmington, S. A., O'Mara, S. M., & Kelly, Á. M. (2011). Aerobic exercise improves hippocampal function and increases BDNF in the serum of young adult males. *Physiology & behavior*, 104(5), 934–941.
- Hardman, A. & Stensel, D. (2009). *Physical Activity and Health. The Evidence Explained* (2. Aufl.). New York: Routledge.
- Harrell, J. S., McMurray, R. G., Baggett, C. D., Pennell, M. L., Pearce, P. F., & Bangdiwala, S. I. (2005). Energy costs of physical activities in children and adolescents. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37(2), 329–336.
- Helgeson Jr, J. L. (2013). *The impact of physical activity on academics in English classes at the junior high school level*. Arizona: Northcentral University.
- Hemforth, B., & Konieczny, L. (2002). Sätze und Texte verstehen und produzieren. *Allgemeine Psychologie*, 589–642.
- Herrmann, U. (2009). Neurodidaktik – neue Wege des Lehrens und Lernens. In U. Herrmann (Hrsg.), *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen* (S. 9-17). Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Herrmann, U. (2009). Gehirnforschung und die neurodidaktische Revision des schulisch organisierten Lehrens und Lernen. In U. Herrmann (Hrsg.), *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen* (S. 148-181). Weinheim und Basel: Beltz Verlag.

- Hillman, C. H., & Schott, N. (2015). Der Zusammenhang von Fitness, kognitiver Leistungsfähigkeit und Gehirnzustand im Schulkindalter. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 20, 33–41.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature reviews neuroscience*, 9(1), 58–65.
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044–1054.
- Hollmann, W. & Astrand, P. O. (1986). *Zentrale Themen der Sportmedizin*. Berlin [u.a.]: Springer-Verlag.
- Hollmann, W., & Strüder, H. K. (2009). *Sportmedizin: Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart: Schattauer Verlag.
- Horn, J. L., & Blankson, N. (2005). Foundations for Better Understanding of Cognitive Abilities. In D. P. Flanagan & P. L. Harrison (Hrsg.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (S. 41–68). New York: Guilford.
- Howie, E. K., & Pate, R. R. (2012). Physical activity and academic achievement in children: A historical perspective. *Journal of Sport and Health Science*, 1(3), 160–169.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology*, 2. London: Holt and Macmillan.
- Jansen, P. (2014). Macht Bewegung unsere Kinder wirklich schlauer? Neue Erkenntnisse zum Zusammenhang von Bewegung und kognitiven Fähigkeiten bei Kindern und Jugendlichen. *Sport-Orthopädie-Sport-Traumatologie-Sports Orthopaedics and Traumatology*, 30(3), 267–273.
- Jansen, P., & Heil, M. (2010). The relation between motor development and mental rotation ability in 5-to 6-year-old children. *International Journal of Developmental Science*, 4(1), 67–75.
- Jansen, P., Schmelter, A., Kasten, L., & Heil, M. (2011). Impaired mental rotation performance in overweight children. *Appetite*, 56(3), 766–769.
- Jendrusch, G. (2012). Selektive Aufmerksamkeit. Manchmal sieht man den Wald vor lauter Bäumen nicht. *Aktuelle Kontaktologie*, 8(20), 1–6.
- Kahlert, J. (1998). Grundlegende Bildung im Spannungsverhältnis zwischen Lebensweltbezug und Sachanforderungen. 1998): *Grundlegende Bildung im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, 67–81.

- Kaminski, G. (1994). „Konzentration“ im Sport aus transaktionalistischer Sicht. *Psychologie und Sport*, 8(2), 43–55.
- Kettner, S., Wirt, T., Fischbach, N., Kobel, S., Kesztyüs, D., Schreiber, A., ... & Steinacker, J. M. (2012). Handlungsbedarf zur Förderung körperlicher Aktivität im Kindesalter in Deutschland. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 63(4), 94–101.
- Kiesel, A., Steinhäuser, M., Wendt, M., Falkenstein, M., Jost, K., Philipp, A. M., & Koch, I. (2010). Control and interference in task switching—A review. *Psychological bulletin*, 136(5), 849.
- Kitaoka, R., Fujikawa, T., Miyaki, T., Matsumura, S., Fushiki, T., & Inoue, K. (2010). Increased noradrenergic activity in the ventromedial hypothalamus during treadmill running in rats. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 56(3), 185–190.
- Konczak, J. (2017). Motorische Kontrolle. In J. Müsseler & M. Rieger (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (S. 749–771). Springer: Berlin Heidelberg.
- Krafft, C. E., Schwarz, N. F., Chi, L., Weinberger, A. L., Schaeffer, D. J., Pierce, J. E., ... & Davis, C. L. (2014). An 8-month randomized controlled exercise trial alters brain activation during cognitive tasks in overweight children. *Obesity*, 22(1), 232–242.
- Kromrey, H. (2013). *Empirische Sozialforschung: Modelle und Methoden der standardisierten Datenerhebung und Datenauswertung* (Vol. 1040). Berlin: Springer-Verlag.
- Kromrey, H., Roose, J. & Strübing, J. (2016). *Empirische Sozialforschung*. (13. Auflage). Wien [u.a.]: facultas.
- Kurth, F., Luders, E., Sicotte, N. L., Gaser, C., Giessler, B. S., Swerdloff, R. S., ... & Mackenzie-Graham, A. (2014). Neuroprotective effects of testosterone treatment in men with multiple sclerosis. *NeuroImage: Clinical*, 4, 454–460.
- Kwok, T. C., Lam, K. C., Wong, P. S., Chau, W. W., Yuen, K. S., Ting, K. T., Chung, E. W. K., Li, J. C. Y. & Ho, F. K. (2011). Effectiveness of coordination exercise in improving cognitive function in older adults: a prospective study. *Clin Interv Aging*, 6, 261–267.
- Lambourne, K., Hansen, D. M., Szabo, A. N., Lee, J., Herrmann, S. D., & Donnelly, J. E. (2013). Indirect and direct relations between aerobic fitness, physical activity, and academic achievement in elementary school students. *Mental health and physical activity*, 6(3), 165–171.
- Lamprecht, R., & LeDoux, J. (2004). Structural plasticity and memory. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(1), 45–54.

- Lau, A., Stoll, O., & Wahnelt, S. (2002). *Mentales Training im Basketball: ein Handbuch für Spieler und Trainer*. Afra-Verlag.
- Lees, C. & Hopkins, K. (2013). Effect of Aerobic Exercise on Cognition, Academic Achievement, and Psychosocial Function in Children: A Systematic Review of Randomized Control Trials. *Prev Chronic Dis*, 10.
- Liu, A., Hu, X., Ma, G., Cui, Z., Pan, Y., Chang, S., ... & Chen, C. (2008). Evaluation of a classroom-based physical activity promoting programme. *Obesity Reviews*, 9(s1), 130–134.
- Löllgen, H. (2013). Bedeutung und Evidenz der körperlichen Aktivität zur Prävention und Therapie von Erkrankungen. *DMW-Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 138(44), 2253–2259.
- Lunt, L., Bramham, J., Morris, R. G., Bullock, P. R., Selway, R. P., Xenitidis, K., & David, A. S. (2012). Prefrontal cortex dysfunction and 'jumping to conclusions': bias or deficit?. *Journal of Neuropsychology*, 6(1), 65–78.
- Lüscher, C., & Malenka, R. C. (2011). Drug-evoked synaptic plasticity in addiction: from molecular changes to circuit remodeling. *Neuron*, 69(4), 650–663.
- Mack, A., & Rock, I. (1998). *Inattentional blindness* (Vol. 33). Cambridge, MA: MIT press.
- Malenka, R. C. (2003). The long-term potential of LTP. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(11), 923–926.
- Malinov, R. & Malenka, R. C. (2002). AMPA receptor trafficking and synaptic plasticity. *Annual Review of Neuroscience*, 25, 103–126.
- Månsson, K. N., Salami, A., Carlbring, P., Boraxbekk, C. J., Andersson, G., & Furmark, T. (2017). Structural but not functional neuroplasticity one year after effective cognitive behaviour therapy for social anxiety disorder. *Behavioural brain research*, 318, 45–51.
- McMorris, T., & Hale, B. J. (2015). Is there an acute exercise-induced physiological/biochemical threshold which triggers increased speed of cognitive functioning? A meta-analytic investigation. *Journal of Sport and Health Science*, 4(1), 4–13.
- Moffitt, T. E. (2012). Childhood self-control predicts adult health, wealth, and crime. In *Multi-Discipl. Symp. Improv. Well-Being Children Youth*.

- Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H., Caspi, A. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 2693–2698.
- Mokgothu, C. J., & Gallagher, J. D. (2010). Effects of aerobic fitness on attention, memory and decision-making in children. *International Journal of Body Composition Research*, 8, 37–44.
- Moore, R. D., Romine, M. W., O'Connor, P. J., & Tomporowski, P. D. (2012). The influence of exercise-induced fatigue on cognitive function. *Journal of sports sciences*, 30(9), 841–850.
- Moore, R. D., Wu, C. T., Pontifex, M. B., O'Leary, K. C., Scudder, M. R., Raine, L. B., ... & Hillman, C. H. (2013). Aerobic fitness and intra-individual variability of neurocognition in preadolescent children. *Brain and cognition*, 82(1), 43–57.
- Moran, A. (2017). Attention and concentration training in sport. *Encyclopedia of Applied Psychology*, 1–5.
- Morrison, A. B., & Chein, J. M. (2011). Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychonomic bulletin & review*, 18(1), 46–60.
- Mösch-Prill, N. (2014). *Schulverweigerung-wer ist schuld? Schule oder Familie? Grundlagen und empirische Analysen*. Hamburg: disserta Verlag.
- Mura, G., Vellante, M., Egidio Nardi, A., Machado, S., & Giovanni Carta, M. (2015). Effects of school-based physical activity interventions on cognition and academic achievement: a systematic review. *CNS & Neurological Disorders-Drug Targets (Formerly Current Drug Targets-CNS & Neurological Disorders)*, 14(9), 1194–1208.
- Nagy, Z., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Maturation of white matter is associated with the development of cognitive functions during childhood. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(7), 1227–1233.
- Niemann, C., Godde, B., Staudinger, U. M., & Voelcker-Rehage, C. (2014). Exercise-induced changes in basal ganglia volume and cognition in older adults. *Neuroscience*, 281, 147–163.
- Norris, E., Shelton, N., Dunsmuir, S., Duke-Williams, O., & Stamatakis, E. (2015). Physically active lessons as physical activity and educational interventions: a systematic review of methods and results. *Preventive medicine*, 72, 116–125.

- Pauen, Sabina (2009). Zeitfenster der Gehirn- und Verhaltensentwicklung: Modethema oder Klassiker? In U. Herrmann (Hrsg.), *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen* (S. 31-40). Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Pindus, D. M., Drollette, E. S., Scudder, M. R., Khan, N. A., Raine, L. B., Sherar, L. B., Esliger, D. W., Kramer, A. F. & Hillman, C. H. (2016). Moderate-to-vigorous physical activity, indices of cognitive control, and academic achievement in preadolescents. *The Journal of pediatrics*, 173, 136–142.
- Pontifex, M. B., Raine, L. B., Johnson, C. R., Chaddock, L., Voss, M. W., Cohen, N. J., ... & Hillman, C. H. (2011). Cardiorespiratory fitness and the flexible modulation of cognitive control in preadolescent children. *Journal of cognitive neuroscience*, 23(6), 1332–1345.
- Preiß, G. (1992). Ein System zur Stimulation natürlicher Neuronennetze mit Beiträgen zum Aufbau einer Neurodidaktik. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 24, 95–115.
- Preiß, G. (1996). *Neurodidaktik: theoretische und praktische Beiträge*. Pfaffenweiler: Centaurus.
- Pühse, U. & Ludyga, S. (2015). Bewegung und Lernen in der Grundschule. Bewegung beeinflusst Gehirnstrukturen. *Grundschule Sport*, 6, 1–4.
- Ragert, P. (2017). Neuroscience meets Sport: Wie neurowissenschaftliche Erkenntnisse genutzt werden können, um motorische Leistung zu steigern. In I. Fichtner (Hrsg.), *Technologien im Leistungssport 2 (Tagungsband zur 18. Frühjahrsschule am 13./14.4. 2016 in Leipzig, S. 57–61)*. Aachen [u.a.]: Meyer & Meyer.
- Rahe, J., & Kalbe, E. (2015). Effekte kombinierten kognitiven und physischen Trainings auf die Kognition gesunder älterer Menschen: ein Literaturüberblick. *Fortschritte der Neurologie· Psychiatrie*, 83(01), 18–29.
- Reimers, C. D., Reuter, I., Tettenborn, B., Broocks, A., Thürauf, N. & Knapp, G. (Hrsg.). (2015). *Neurologie, Psychiatrie/Psychosomatik, Schmerzsyndrom* (2. Aufl.). (Prävention und Therapie durch Sport, Band 2). München: Urban und Fischer.
- Resaland, G. K., Aadland, E., Moe, V. F., Aadland, K. N., Skrede, T., Stavnsbo, M., ... & Kvalheim, O. M. (2016). Effects of physical activity on schoolchildren's academic performance: The Active Smarter Kids (ASK) cluster-randomized controlled trial. *Preventive Medicine*, 91, 322–328.

- Rethorst, C., Wipfli, C. & Landers, D. (2009). The antidepressive effects of exercise: A meta-analysis of randomized trials. *Sports Medicine*, 39, 491–511.
- Reuter, I., & Engelhardt, M. (2010). Kann Sport den Verlust kognitiver Funktionen im Alter verhindern? *Sport-Orthopädie-Sport-Traumatologie-Sports Orthopaedics and Traumatology*, 26(4), 216–226.
- Riccio, C. A., & Gomes, H. (2013). Interventions for executive function deficits in children and adolescents. *Applied Neuropsychology: Child*, 2(2), 133–140.
- Roemmich, J. N., Clark, P. A., Walter, K., Patrie, J., Weltman, A., & Rogol, A. D. (2000). Pubertal alterations in growth and body composition. V. Energy expenditure, adiposity, and fat distribution. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 279(6), 1426–1436.
- Roth, G. (2009). Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? In U. Herrmann (Hrsg.), *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen* (S. 58-68). Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Rusch, H. & Irrgang, W. (2001). *Handreichung für den Münchner Fitnesstest*. Frankfurt: WDV-Verlag.
- Ryan, T. J., Roy, D. S., Pignatelli, M., Arons, A., & Tonegawa, S. (2015). Engram cells retain memory under retrograde amnesia. *Science*, 348(6238), 1007–1013.
- Sala, C., & Segal, M. (2014). Dendritic spines: the locus of structural and functional plasticity. *Physiological reviews*, 94(1), 141–188.
- Sandi, C. (2011). Glucocorticoids act on glutamatergic pathways to affect memory process. *Trends in neurosciences*, 34(4), 165–175.
- Schacter, D. L., & Squire, L. R. (1996). Searching for Memory: The Brain, the Mind and the Past. *Nature*, 382(6591), 503–503.
- Scheich, H. (2003). Lernen unter der Dopamindusche [DIE ZEIT Beitrag]. Zugriff am 10.06.2017 unter http://www.zeit.de/2003/39/Neurodidaktik_2.
- Schmidt-Atzert, L., Büttner, G., Bühner, M., Büttner, G., & Schmidt-Atzert, L. (2004). Theoretische Aspekte von Aufmerksamkeits-/Konzentrationsdiagnostik. *Diagnostik von Konzentration und Aufmerksamkeit*, 3–22.
- Schott, K., Hunger, M., Lampert, T., Spengler, S., Mess, F., & Mielck, A. (2016). Soziale Unterschiede in der körperlich-sportlichen Aktivität bei Jugendlichen: Analyse der

MoMo-Daten mithilfe der metabolischen Äquivalente (MET). *Das Gesundheitswesen*, 78(10), 630–636.

Schreiner, P. (2000). *Koordinationstraining Fußball*. Hamburg: Rowohlt.

Schwarz, S. (2013). „Exercise is Medicine “–Was kann körperliche Aktivität bewegen?. XX *Die Zeitschrift für Frauen in der Medizin*, 2(04), 229–234.

Schweizer, K. (2005). An overview of research into cognitive basis of intelligence. *Journal of Individual Differences*, 26(1), 43–51.

Scudder, M. R., Federmeier, K. D., Raine, L. B., Direito, A., Boyd, J. K., & Hillman, C. H. (2014). The association between aerobic fitness and language processing in children: Implications for academic achievement. *Brain and cognition*, 87, 140–152.

Scudder, M. R., Lambourne, K., Drollette, E. S., Herrmann, S., Washburn, R., Donnelly, J. E., & Hillman, C. H. (2014). Aerobic capacity and cognitive control in elementary school-age children. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(5), 1025–1035.

Sheppard, L. D. & Vernon, P. A. (2008). Intelligence and speed of information-processing: A review of 50 years of research. *Personality and Individual Differences*, 44(4), 535–551.

Simons, D. J., & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: Sustained inattention blindness for dynamic events. *Perception*, 28(9), 1059–1074.

Stroth, S., Hille, K., Spitzer, M., & Reinhardt, R. (2009). Aerobic endurance exercise benefits memory and affect in young adults. *Neuropsychological Rehabilitation*, 19(2), 223–243.

Stroth, S., Kubesch, S., Dieterle, K., Ruchow, M., Heim, R., & Kiefer, M. (2009). Physical fitness, but not acute exercise modulates event-related potential indices for executive control in healthy adolescents. *Brain research*, 1269, 114–124.

Syväoja, H. J., Tammelin, T. H., Ahonen, T., Kankaanpää, A., & Kantomaa, M. T. (2014). The associations of objectively measured physical activity and sedentary time with cognitive functions in school-aged children. *PloS one*, 9(7), 1–10.

Tiedemann, C. (2005). Was ist der Gegenstand der Sportwissenschaft. In *New Aspects of Sport History. Proceedings of the 9th ISHPES Congress Cologne, Germany*, S. 435–440.

- Titze, S., Ring-Dimitriou, S., Schober, P.H., Halbwachs, C., Samitz, G., Miko, H.C., Lercher, P., Stein, K.V., Gäbler, C., Bauer, R., Gollner, E., Windhaber, J., Bachl, N., Dorner, T.E. (2010). *Österreichische Empfehlungen für gesundheitswirksame Bewegung*. (WISSEN, 8). Wien: Geschäftsbereich Fonds Gesundes Österreich.
- Tomporski, P. D., Lambourne, K., & Okumura, M. S. (2011). Physical activity interventions and children's mental function: an introduction and overview. *Preventive medicine*, 52, 3–9.
- Tomporski, P. D., McCullick, B., Pendleton, D. M., & Pesce, C. (2015). Exercise and children's cognition: the role of exercise characteristics and a place for metacognition. *Journal of Sport and Health Science*, 4(1), 47–55.
- Tremblay, M. È., Stevens, B., Sierra, A., Wake, H., Bessis, A., & Nimmerjahn, A. (2011). The role of microglia in the healthy brain. *Journal of Neuroscience*, 31(45), 16064–16069.
- Tsai, C. L., Wang, C. H., Pan, C. Y., Chen, F. C., Huang, S. Y., & Tseng, Y. T. (2016). The effects of different exercise types on visuospatial attention in the elderly. *Psychology of Sport and Exercise*, 26, 130–138.
- Turecek, K. (2012). *Geistig fit. Ein Leben lang. Anti-Aging für das Gehirn*. Wien: Krenn.
- Van der Niet, A. G., Hartman, E., Smith, J., & Visscher, C. (2014). Modeling relationships between physical fitness, executive functioning, and academic achievement in primary school children. *Psychology of sport and exercise*, 15(4), 319–325.
- Voelcker-Rehage, C. (2013). *Gehirntraining durch Bewegung: wie körperliche Aktivität das Denken fördert*. Frankfurt: Meyer & Meyer Verlag.
- Voelcker-Rehage, C., Godde, B., & Staudinger, U. M. (2011). Cardiovascular and coordination training differentially improve cognitive performance and neural processing in older adults. *Frontiers in human Neuroscience*, 5, 26.
- Von Thun, F. S. (2013). *Miteinander reden 3: Das "Innere Team" und situationsgerechte Kommunikation: Kommunikation, Person, Situation* (Vol. 3). Rowohlt Verlag GmbH.
- Wann, B. P., Audet, M. C., & Anisman, H. (2010). Impact of acute and chronic stressor experiences on heart atrial and brain natriuretic peptides in response to a subsequent stressor. *Hormones and behavior*, 58(5), 907–916.
- Warburton, D., Nicol, C. & Bredin, S. (2006). Health benefits of physical activity: the evidence. *Canadian Medical Association Journal*, 174, 801–809.

- Watzlawick, P., Beavin, J. H., & Jackson, D. D. (1996). *Menschliche kommunikation*. Bern, Stuttgart, Toronto: Verlag Hans Huber.
- Welsh, M. C., & Pennington, B. F. (1988). Assessing frontal lobe functioning in children: Views from developmental psychology. *Developmental neuropsychology*, 4(3), 199–230.
- Westhoff, K. & Dewald, D. (1990). Effekte der Übung in der Bearbeitung von Konzentrations-tests. *Diagnostica*, 36(1), 1–15.
- Wittberg, R. A., Northrup, K. L., & Cottrell, L. A. (2012). Children's aerobic fitness and academic achievement: a longitudinal examination of students during their fifth and seventh grade years. *American Journal of Public Health*, 102(12), 2303–2307.
- Yanagisawa, H., Dan, I., Tsuzuki, D., Kato, M., Okamoto, M., Kyutoku, Y., & Soya, H. (2010). Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. *Neuroimage*, 50(4), 1702–1710.
- Young, J., Angevaren, M., Rusted, J., & Tabet, N. (2015). Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database of Systematic Reviews 2015*, 4, 1–145.
- Zamora, R. (2016). *Mentales Training und Visualisierung im Kontext Sport und Rehabilitation*. Erlangen-Nürnberg: Friedrich-Alexander-Universität, Institut für Sportwissenschaft und Sport.
- Zelazo, P. D., Carter et al., A., Reznick, J. S., & Frye, D. (1997). Early development of executive function: A problem-solving framework. *Review of general psychology*, 1(2), 126–131.
- Zheng, G., Zhou, W., Xia, R., Tao, J., & Chen, L. (2016). Aerobic Exercises for Cognition Rehabilitation following Stroke: A Systematic Review. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 25(11), 2780–2789.
- Ziegler, G., Dahnke, R., Jäncke, L., Yotter, R. A., May, A., & Gaser, C. (2012). Brain structural trajectories over the adult lifespan. *Human brain mapping*, 33(10), 2377–2389.
- Ziehn, M. O., Avedisian, A. A., Dervin, S. M., Umeda, E. A., O'Dell, T. J., & Voskuhl, R. R. (2012). Therapeutic testosterone administration preserves excitatory synaptic transmission in the hippocampus during autoimmune demyelinating disease. *Journal of Neuroscience*, 32(36), 12312–12324.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitsweise & Komponenten der exekutiven Funktionen.....	20
Abbildung 2: Gehirnunterteilung.....	27
Abbildung 3: Die Lappenpärchen des Cortex cerebri	28
Abbildung 4: Die funktionalen Gehirnbereiche	29
Abbildung 5: Verlauf der Gehirnreifung der grauen Substanz zwischen fünf und 20 Jahren	34
Abbildung 6: Am Gedächtnis beteiligte Gehirnbereiche	36
Abbildung 7: Ablauf einer bewussten motorischen Aktivität	41
Abbildung 8: Die verschiedenen Transformationsebenen	42
Abbildung 9: Bewegungskontrolle & -steuerung	43
Abbildung 10: Funktionale Zusammenhänge und Ablauf von Bewegungen	46
Abbildung 11: Aufbau eines Neurons.....	53
Abbildung 12: Ortsabhängige Synapsenklassifizierung.....	56
Abbildung 13: Sensorische und motorische Bahnen im Rückenmark	59
Abbildung 14: Moderierende Variablen und deren Effektstärke	68
Abbildung 15: Leistungsverlauf der schulbezogenen Kompetenzen	74
Abbildung 16: Die Lage der Schule.....	92
Abbildung 17: Prozedere einer empirischen Untersuchung.....	96
Abbildung 18: Arbeitsplatzzuteilung für die Testung	98
Abbildung 19: Koordinations-Zirkel	100
Abbildung 20: Verteilung der formalen Angaben in der Stichprobe	105
Abbildung 21: Verteilung der formalen Angaben in der ersten Gruppe	106
Abbildung 22: Verteilung der formalen Angaben in der zweiten Gruppe	106
Abbildung 23: Verteilung der formalen Angaben in der dritten Gruppe	107
Abbildung 24: Entwicklung der Bearbeitungsgeschwindigkeits-Mittelwerte in den drei Gruppen .	110
Abbildung 25: Entwicklung der Konzentrationsleistungs-Mittelwerte in den drei Gruppen.....	112
Abbildung 26: Die Neurodidaktik – eine interdisziplinäre Wissenschaft	122
Abbildung 27: Der Einfluss von Stress auf die Lernqualität	124
Abbildung 28: Der Weg einer Wahrnehmung bis zur Speicherung	129
Abbildung 29: Berechnungsformel für die MET-Werte.....	137
Abbildung 30: Erhöhte kognitive Leistung durch sportbedingten Anstieg von Testosteron.....	139
Abbildung 31: Vorgaben für die Schrittabfolge.....	144

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anteil adipöser Jugendlicher in unterschiedlichen Studien aus Österreich	11
Tabelle 2: Bewusste & unbewusste Teile des Langzeitgedächtnisses	38
Tabelle 3: Mögliche Konsequenzen motorischer Störungen	48
Tabelle 4: Überblick über das koordinative Testdesign	73
Tabelle 5: Reliabilitätswerte für die Kennparameter der d2-Revision	88
Tabelle 6: Referenzwerte aus anderen d2- sowie d2-R-Testungen	90
Tabelle 7: Bewertungsraster der d2-Revision	91
Tabelle 8: Alter, Geschlecht, Händigkeit sowie Brillenbedarf & -verwendung der Stichprobe	105
Tabelle 9: Alter, Geschlecht, Händigkeit sowie Brillenbedarf & -verwendung der ersten Gruppe	105
Tabelle 10: Alter, Geschlecht, Händigkeit sowie Brillenbedarf & -verwendung der zweiten Gruppe	106
Tabelle 11: Alter, Geschlecht, Händigkeit sowie Brillenbedarf & -verwendung der dritten Gruppe	107
Tabelle 12: Zuordnung der Standardwerte in die jeweiligen Stufen	108
Tabelle 13: Deskriptive Statistik des Bearbeitungstempos in der ersten Gruppe	109
Tabelle 14: Deskriptive Statistik des Bearbeitungstempos in der zweiten Gruppe	109
Tabelle 15: Deskriptive Statistik des Bearbeitungstempos in der dritten Gruppe	110
Tabelle 16: Deskriptive Statistik der Konzentrationsleistung in der ersten Gruppe	111
Tabelle 17: Deskriptive Statistik der Konzentrationsleistung in der zweiten Gruppe	111
Tabelle 18: Deskriptive Statistik der Konzentrationsleistung in der dritten Gruppe	112
Tabelle 19: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests betreffend die Bearbeitungsgeschwindigkeit in der ersten Gruppe	113
Tabelle 20: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests betreffend die Bearbeitungsgeschwindigkeit in der zweiten Gruppe	114
Tabelle 21: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests betreffend die Bearbeitungsgeschwindigkeit in der dritten Gruppe	115
Tabelle 22: Vergleich der Medianentwicklung die Bearbeitungsgeschwindigkeit in den drei Gruppen	116
Tabelle 23: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests betreffend die Konzentrationsleistung in der ersten Gruppe	116
Tabelle 24: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests betreffend die Konzentrationsleistung in der zweiten Gruppe	117
Tabelle 25: Ergebnisse des Wilcoxon-Tests betreffend die Konzentrationsleistung in der dritten Gruppe	118
Tabelle 26: Vergleich der Medianentwicklung der Konzentrationsleistung in den drei Gruppen	119
Tabelle 27: MET-Klassifizierung	137