



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Bewegung und Kognition: Analyse von
Zusammenhängen und Auswirkungen von
körperlicher Aktivität auf die kognitive
Leistungsfähigkeit von Kindern im Alter von 10 bis
14 Jahren. Eine systematische Literaturanalyse.“

verfasst von / submitted by

Susanna Buttinger-Kreuzhuber

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

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2016 / Vienna, 2016

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

A 190 482 353

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

Lehramtsstudium UF Bewegung und Sport
und UF Spanisch

Betreut von / Supervisor:

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

Bewegung und Kognition

„Könnte man die Sprünge der Aufmerksamkeit messen,
die Leistungen der Augenmuskeln,
die Pendelbewegungen der Seele und alle Anstrengungen,
die der Mensch vollbringen muß [sic!],
um sich im Fluß [sic!] einer Straße aufrecht zu halten,
es käme vermutlich – so hatte er gedacht
und spielend das Unmögliche zu berechnen versucht –
eine Größe heraus,
mit der verglichen die Kraft,
die Atlas braucht, um die Welt zu stemmen, gering ist,
und man könnte ermessen,
welche ungeheure Leistung
heute schon ein Mensch vollbringt,
der gar nichts tut.“

(Musil, 1952, S. 12 f.)

Zusammenfassung

Studien bestätigen mehrfach, dass körperliche Aktivität und hohe aerobe Fitness bei Heranwachsenden im Alter von 10 bis 14 Jahren in einem positiven Zusammenhang mit der kognitiven Leistungsfähigkeit stehen. Daneben liegen Untersuchungen vor, welche jedoch von keinem signifikanten Zusammenhang zwischen Bewegung und Kognition bei Kindern berichten. Nur verschwindend wenige Studien dokumentieren negative Auswirkungen. Überwiegend wird ein positiver Einfluss von körperlicher Aktivität im Allgemeinen sowie von konditionellem Training auf die kognitiven Bereiche der exekutiven Funktionen und der akademischen Leistungen festgestellt.

Gründe für Kritik an bisherigen Studien zu den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit sind allerdings vielfach und können unter anderem im heterogenen Studiendesign oder im teils unscharf definierten Gebrauch von Begriffen liegen. Außerdem wird die Notwendigkeit von Langzeitstudien mit größerem Stichprobenumfang hervorgehoben, um generelle Aussagen der Studienergebnisse zu ermöglichen. Des Weiteren liegen noch unzureichende Untersuchungen und Ergebnisse zum Einfluss von Art, Dauer, Häufigkeit und Intensität der körperlichen Aktivität auf konkrete kognitive Leistungen vor. Überdies sollten Faktoren wie Motivation, Ernährung, Geschlecht und genetische Veranlagungen beachtet und einbezogen werden.

Die vorliegende Arbeit bietet einen systematischen Überblick zum derzeitigen neurowissenschaftlichen Forschungsstand und analysiert aktuelle Studien zum Thema Bewegung und Kognition bei Kindern im Alter von 10 bis 14 Jahren. Zusammenfassend kann als Ergebnis dieser Arbeit festgehalten werden, dass bestimmte körperliche Aktivitäten die Entwicklung spezieller kognitiver Fähigkeiten bei Heranwachsenden fördern. Zur Beantwortung der Frage, um welche konkreten körperlichen Aktivitäten und kognitiven Fähigkeiten es sich dabei handelt, bedarf es noch weiterer Forschung.

Schlüsselwörter:

Kinder – körperliche Aktivität und Fitness – Kognition

Abstract

This review of the current literature discusses the effects of physical activity and cognitive performance in children aged 10 to 14 years. Most scientific studies suggest a positive impact of both physical activity and aerobic fitness on cognitive performance. Nevertheless, some studies describe no significant effects, as well as a few studies report negative effects of physical activity on specific cognitive functions.

Together the selected studies show a positive effect of physical activity in general and of aerobic exercise on children's executive function and academic performance.

Although this data supports a small positive impact of physical activity on children's cognition, no evidence clearly demonstrates which type, intensity, duration and frequency of physical activity is needed to enhance a specific type of cognitive function. Also, the impact of other influencing factors, such as age, sex, nutrition, genetics or motivation, remain unanswered. With regard to the research design, more longitudinal studies with a larger sample size are needed to scrutinize the causal link between physical activity and improved cognitive performance in children.

This review provides a systematic overview of the current state of neuroscientific research, and analyses the latest publications concerning the relationship between physical activity and cognition in children aged 10 to 14 years. In summary, the recent literature suggests the possible improvement of several aspects of cognitive function in children caused by certain types of physical activity.

Key terms:

children – physical activity and fitness – cognition

Vorwort

Der Abschluss meines Studiums ist mit der Verfassung dieser Diplomarbeit nun so nahe wie nie zuvor. Deshalb möchte ich mich an dieser Stelle bei all jenen Personen bedanken, welche mich während dieses Lebensabschnitts und beim Erreichen dieses Ziels unterstützt haben.

Unbeschreiblich dankbar bin ich meinen Eltern, welche mir den schulischen und universitären Weg überhaupt ermöglicht haben. Verständnisvoll unterstützten sie mich immer liebevoll und bekräftigten mich in meinen Vorhaben.

Meinen Geschwistern und meinem Freund möchte ich ebenfalls ganz besonderen Dank aussprechen. Mein Leben konnte noch so bunt, lehr- oder emotionsreich sein, sie waren immer für mich da und haben somit die vergangenen Jahre zu außerordentlich schönen gemacht.

Auch meinen Freundinnen und Freunden ein Danke für die vielen lustigen, unbeschwerten und sonnigen Momente während meiner Studienzeit.

Die Beschäftigung mit dem vorliegenden Diplomarbeitsthema wurde durch meinen Diplomarbeitsbetreuer Ao. Univ.-Prof. MMag. Dr. Konrad Kleiner möglich, der mich von Beginn an mit hilfreichen Gedanken und Anregungen unterstützte und mir trotzdem Freiheit zur eigenen Gestaltung ließ.

Ein großes Dankeschön gilt ebenso jenen Personen, welche diese Arbeit Korrektur gelesen haben und mich durch kritisches Hinterfragen auf andere Perspektiven und Möglichkeiten aufmerksam gemacht haben.

Inhalt

Zusammenfassung	4
Abstract	5
Vorwort	6
1 Einleitung.....	9
1.1 Hinführung zum Thema	9
1.2 Skizzierung und Konkretisierung der Fragestellungen	10
1.3 Herangehensweise zur Erarbeitung der Fragestellungen.....	11
1.4 Gliederung der Arbeit.....	13
2 Festlegung einer Definition in der Begriffsvielfalt.....	15
2.1 Bewegung und körperliche Aktivität	15
2.2 Kognition und geistige Leistungsfähigkeit	17
2.3 Zwischenfazit.....	21
3 Blitzschneller Informationsaustausch - Neurowissenschaftliche Einblicke in das komplexe Zusammenspiel von Gehirn und Skelettmuskulatur	22
3.1 Hauptakteure des Informationsaustauschs zwischen Gehirn und Skelettmuskulatur.....	22
3.1.1 Skelettmuskulatur	23
3.1.2 Gehirn.....	23
3.1.3 Nervensystem.....	27
3.1.4 Rückenmark	27
3.1.5 Neuronen.....	28
3.1.6 Gliazellen.....	32
3.2 Motorische Steuerung – Zusammenspiel verschiedener Strukturen und Gehirnregionen zur Steuerung der Skelettmuskulatur	33
3.3 Zusammenhang von Bewegung und Kognition – wie Bewegung das neuronale Netz unseres Gehirns verändert	37
3.4 Zwischenfazit.....	41

4 Situationsanalyse – neueste Erkenntnisse und Studien zum Einfluss von Bewegung auf die geistige Leistungsfähigkeit von Kindern	42
4.1 Kann durch körperliche Aktivität die geistige Leistungsfähigkeit signifikant beeinflusst werden?	42
4.1.1 Metaanalysen und Reviews	43
4.1.2 Querschnitts- und Korrelationsstudien	61
4.1.3 Längsschnitt- und Interventionsstudien.....	72
4.1.4 Kritische Momente in der Vergleichbarkeit der Studien.....	78
4.2 Welche konkreten körperlichen Aktivitäten können signifikante motorisch-kognitive Verknüpfungen auslösen?	79
4.2.1 Die Auswirkungen körperlicher Aktivität und Fitness im Allgemeinen auf kognitive Leistungen	80
4.2.2 Die Auswirkungen konditionellen Trainings auf kognitive Leistungen.....	82
4.2.3 Die Auswirkungen koordinativen Trainings auf kognitive Leistungen	84
4.2.4 Der Einfluss weiterer entscheidender Faktoren.....	84
4.3 Gibt es einen Einfluss körperlicher Aktivität auf spezielle Bereiche der kognitiven Fähigkeiten?	86
4.3.1 Körperliche Aktivität als Motor akademischer Leistungen	88
4.3.2 Körperliche Aktivität als Motor exekutiver Funktionen	89
4.4 Zwischenfazit.....	90
5 Resümee und Ausblick	95
Literaturverzeichnis.....	99
Abbildungsverzeichnis	108
Tabellenverzeichnis	109
Abkürzungsverzeichnis	110
Eidesstattliche Erklärung	111

1 Einleitung

1.1 Hinführung zum Thema

Wir leben in einer Welt, in der die Freizeit von Kindern und Jugendlichen von technischen Geräten wie Laptops, Fernseher oder Handys dominiert wird. Bereits Kleinkinder werden mit elektronischen Geräten vertraut gemacht. Von visuellen sowie akustischen Reizen überhäuft, wird die Zeit des Erforschens der Umwelt durch eigenes Tun, Handeln und Bewegen vernachlässigt. Lernen durch Spüren, Ertasten und „Begreifen“ der eigenen Lebensumwelt mit Händen und Füßen wird in den Hintergrund gedrängt.

Autos und andere Beförderungsmittel versprechen einen immer größeren Komfort, wodurch eigene körperliche Aktivität Stück für Stück aus dem Alltag verdrängt wird. Das trifft bereits Kinder auf ihrem Schulweg. Mussten früher häufig längere Wege zur Schule zu Fuß zurückgelegt werden, übernehmen dies heutzutage der Schulbus oder das „Elterntaxi“ (Kehne, 2011).

Gerade bei Kindern birgt diese gesellschaftliche Entwicklung zu einem weniger körperlich aktiven Lebensstil bedenkliche gesundheitliche Probleme. Forscher(innen) weisen ausdrücklich darauf hin, dass es einer Veränderung dieses tendenziell inaktiveren Lebensstils bedarf, denn ein aktiver Lebensstil wirkt sich positiv auf die körperliche Gesundheit aus (Chaddock, Voss, & Kramer, 2012; Titze et al., 2010).

Ebenfalls konnte festgestellt werden, dass sich körperliche Aktivität auf die geistige Gesundheit und auf die Linderung psychischer Leiden positiv auswirken kann: „Increased levels of physical activity had significant effects in reducing depression, anxiety, psychological distress, and emotional disturbance in children“ (Ahn & Fedewa, 2011, p. 393). Des Weiteren wird durch körperliche Bewegungsaktivitäten ein kurzzeitig gestärktes Selbstwertgefühl erfasst (Ekeland, Heian, & Hagen, 2005).

Körperlicher Aktivität wird neben einer Verbesserung des körperlichen und geistigen Gesundheitszustandes auch eine positive Auswirkung auf die Lernfähigkeit von Kindern zugeschrieben. Dieser Idee folgend, wird dem bewegungszentrierten Unterricht („physical education“) eine bedeutende Rolle im System Schule beigemessen. Daher wurde Bewegung und Sport in vielen Ländern bereits ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts als fester Bestandteil in den Schulalltag eingegliedert (Davis & Lambourne, 2009, p. 249).

Da der Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und verbesserter kognitiver Leistungsfähigkeit noch unzureichend geklärt ist, liegt dieser im Fokus vieler Untersuchungen. Begünstigt wird die Forschungsarbeit vor allem durch die voranschreitenden technischen Möglichkeiten, welche sowohl eine exaktere Messung und

tiefgreifendere Erforschung des kognitiven Bereichs als auch eine präzisere Erfassung von körperlicher Aktivität versprechen.

In wie weit dieser erwartete positive Zusammenhang von Bewegung und Kognition vor allem bei Heranwachsenden jedoch tatsächlich gegeben ist, wird im Zuge dieser Arbeit anhand einer systematischen Literaturanalyse geprüft und diskutiert.

1.2 Skizzierung und Konkretisierung der Fragestellungen

Die Untersuchung des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition birgt ein breit gefächertes Spektrum an Forschungsbereichen und dementsprechend facettenreiche Ergebnisse. Während sich mehrere Studien (u. a. Erickson & Hohmann, 2013; Marmeira, 2012; Paillard, 2015) mit den Auswirkungen von Bewegung auf die kognitive Leistungsfähigkeit bei älteren Menschen befassen, legen andere Studien ihren Fokus auf die Untersuchung des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition bei Kindern und Jugendlichen. Ebenso unterscheiden sich die Studien hinsichtlich der Schwerpunktsetzung und der Messmethoden im Bereich der kognitiven Leistungsfähigkeit sowie der körperlichen Aktivität.

In der vorliegenden Arbeit wird dieses umfangreiche Themengebiet klar abgegrenzt und eingeschränkt, um auf ausgewählte Fragestellungen detailliert eingehen zu können.

Die Hauptfragestellung dieser Arbeit zum Thema Bewegung und Kognition wird wie folgt formuliert:

- „Gibt es Zusammenhänge und Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Heranwachsenden im Alter von 10 bis 14 Jahren?“

Ausgehend von dieser zentralen Frage führt dies zu einigen Unterfragestellungen:

- Wie gestaltet sich das Zusammenspiel verschiedener Strukturen und Gehirnregionen zur Steuerung der Skelettmuskulatur?
- Wie verändert körperliche Aktivität das neuronale Netz unseres Gehirns?
- Kann durch körperliche Aktivität die geistige Leistungsfähigkeit signifikant beeinflusst werden?
- Welche konkreten körperlichen Aktivitäten können signifikante motorisch-kognitive Verknüpfungen auslösen?
- Gibt es einen Einfluss körperlicher Aktivität auf spezielle Bereiche der kognitiven Fähigkeiten?

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, anhand des aktuellen Forschungsstandes möglichst präzise auf die soeben formulierten Fragestellungen einzugehen. Zur Erreichung dieses Ziels wird anfangs ein Überblick über den neurowissenschaftlichen Forschungsstand zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition sowie einiger dabei involvierter Strukturen und Funktionen des menschlichen Organismus gegeben. Anschließend erfolgt eine ausführliche und systematische Untersuchung aktueller Metaanalysen, Reviews und Studien ab dem Publikationsjahr 2000 zum Thema Bewegung und Kognition bei Heranwachsenden im Alter von 10 bis 14 Jahren.

1.3 Herangehensweise zur Erarbeitung der Fragestellungen

Um die soeben beschriebenen Fragestellungen zu beantworten, wird eine umfassende hermeneutische Literaturrecherche durchgeführt. Nur ausgewählte Studien zum Thema Bewegung und Kognition, welche bestimmten Selektionskriterien entsprechen, können zur genaueren Analyse und zum späteren Vergleich mit anderen Studien herangezogen werden. Sibley und Etnier (2003, p. 245) merken dazu an: „It should be noted that there are relatively few well-designed studies on childhood exercise and cognition.“

Ein wichtiges Einschlusskriterium bildet bei dieser Diplomarbeit die Aktualität der Publikationen. Diese sollten möglichst aktuell sein und werden daher frühestens ab dem Jahr 2000 verwendet. Des Weiteren muss der Fokus der Studien auf Kinder oder Jugendliche im Alter von 10 bis 14 Jahren gerichtet sein oder diese Altersspanne jedenfalls teilweise eingeschlossen werden. Befinden sich Studien hinsichtlich des Alters im „Grenzbereich“, wird darauf an betreffender Stelle hingewiesen und das untersuchte Alter angegeben.

In dieser Arbeit werden lediglich Studien erfasst, welche in englischer oder deutscher Sprache publiziert wurden.

Den Ausgangspunkt fand die Literaturrecherche vorwiegend im Bestand der Universitätsbibliothek Wien. Dabei stellte sich vor allem die Suchmaschine „u:search“ als hilfreich heraus. In einem weiteren Schritt wurden ausgewählte Datenbanken wie PubMed und PsycINFO für die Recherche herangezogen. Überdies wurde auch nach geeigneten Artikeln im Bestand der Universitätsbibliothek der Medizinischen Universität Wien gesucht und ausgewertet. Zentrale Begriffe für die Suche bildeten in englischer Sprache „cognition“, „physical activity“, „exercise“, „children“ und „(pre-)adolescents“. Ähnlich dazu wurde die deutschsprachige Suche von Kernbegriffen wie „Kognition“, „geistige Leistungsfähigkeit“, „körperliche Aktivität“, „Bewegung“, „Kinder“ und „Jugendliche“ geprägt.

Die Auswahl und Recherche der Metaanalysen, Reviews und Studien erfolgt in drei wesentlichen Schritten: der Sichtung aktueller Literatur, der Prüfung des Abstracts auf

Relevanz und falls passend, dem Lesen und Analysieren des Volltextes. Wenn in Publikationen auf möglicherweise relevante Literatur verwiesen wird, erfolgt nach dieser eine gesonderte Suche. Anschließend wird die derart aufgefundene Publikation wieder in den bereits genannten drei Schritten analysiert und falls sie den Selektionskriterien entspricht, in die vorliegende Arbeit aufgenommen.

Die Literatur wird unter anderem aus dem Bereich der Neurowissenschaften, demnach vor allem der Medizin, der Psychologie und der Biologie, bezogen. Auch Erkenntnisse aus der Sportpsychologie und der Sportwissenschaft werden eingearbeitet.

Als Methode der Bearbeitung wird, wie bereits erwähnt, die hermeneutische Forschungsweise herangezogen, um anhand der vorliegenden aktuellen Metaanalysen, Reviews und Studien ein möglichst klares Gesamtbild des aktuellen Forschungsstandes abilden zu können. Um die vorliegenden Publikationen (mit unterschiedlichen Forschungsdesigns) zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Kindern möglichst strukturiert aufzuarbeiten, werden diese in drei Gruppen zusammengefasst: in Metaanalysen und Reviews, in Querschnitts- und Korrelationsstudien sowie in Längsschnitt- und Interventionsstudien. Damit soll der gegenwärtige Forschungsstand übersichtlich und geordnet dargestellt werden. Hierbei werden die Vor- und Nachteile verschiedener Studiendesigns abgewogen. Zum Beispiel werden Querschnittsstudien häufig für die Erforschung des Zusammenhangs zwischen einzelnen motorischen Aktivitäten und der kognitiven Leistungsfähigkeit herangezogen. Eine gültige Aussage über einen kausalen Wirkungszusammenhang erlauben diese Querschnittsstudien jedoch nicht. Um Erkenntnisse über die Wirkungsrichtung zu erfahren, liegen große Hoffnungen auf den Längsschnittstudien. Diese erstrecken sich über einen längeren Zeitraum und enthalten mehrere Messzeitpunkte. Dadurch kann die zeitliche Entwicklung widergespiegelt werden und es können Aussagen über die Wirkungsrichtung von Bewegung und Kognition getroffen werden. Da diese Längsschnittstudien jedoch in ihrer Durchführung sehr aufwendig sind, wird häufig auf Querschnitts- oder Korrelationsstudien zurückgegriffen.

In diese Übersichtsarbeit werden lediglich wissenschaftliche Studien eingearbeitet, welche sowohl den allgemeinen Gütekriterien wissenschaftlicher Untersuchungen (Reliabilität, Validität und Objektivität) als auch den geforderten Selektionskriterien dieser Arbeit (Alter der Studienteilnehmer(innen) und Aktualität der Publikationen) entsprechen. Trotz Einhaltung dieser Voraussetzungen gestaltet sich ein Vergleich zwischen den einzelnen Studien als herausfordernd. Hauptgrund hierfür ist unter anderem die unterschiedliche Operationalisierung der körperlichen Aktivität als auch der geistigen Leistungsfähigkeit. Es wird besonders darauf hingewiesen, dass verschiedene Studiendesigns und

Untersuchungsstichprobengrößen folglich auch unterschiedliche Studienergebnisse mit sich ziehen (Jansen, 2014).

1.4 Gliederung der Arbeit

Der Weg zur Beantwortung der Forschungsfrage bedarf einer Annäherung in mehreren Schritten.

Nach dem einleitenden ersten Kapitel (S. 9-13) gilt es zu Beginn des zweiten Kapitels (S. 15-21) Ordnung in die Begriffsvielfalt von Bewegung, körperlicher Aktivität und Fitness sowie Kognition und geistiger Leistungsfähigkeit zu bringen. Definitionen zu diesen Begriffen werden nicht nur deutschsprachiger, sondern zu einem Großteil auch englischsprachiger Literatur entnommen, da in dieser Arbeit überwiegend Daten englischsprachiger Untersuchungen verwendet werden.

Bei einer eingehenden Auseinandersetzung mit dem Themenfeld „Bewegung und Kognition“ wird deutlich, dass ein gewisses „Grundwissen“ verschiedener biologischer bzw. neurologischer Gegebenheiten und Vorgänge von Vorteil, ja vermutlich sogar dringend notwendig, ist. Die hierfür notwendige Basis stellt das dritte Kapitel (S. 22-41) mit seinen drei Unterkapiteln dar.

Im Unterkapitel 3.1 (S. 22-33) werden einige entscheidende Körper- und Gehirnregionen und neuronale Vorgänge beschrieben, welche für das Zusammenspiel von Gehirn und Skelettmuskulatur unerlässlich sind. Darauf aufbauend wird im Unterkapitel 3.2 (S. 33-37) speziell auf das Zusammenwirken bestimmter Gehirnregionen und Strukturen zur Steuerung der Skelettmuskulatur eingegangen. Im Unterkapitel 3.3 (S. 37-40) wird anschließend auf die möglichen durch Bewegung ausgelösten neurobiologischen Veränderungen im Gehirn und auf deren Bedeutung für die kognitive Leistung eingegangen.

Die genannten Kapitel dienen der Orientierung und bieten einen Überblick über wichtige Begrifflichkeiten und über entscheidende neurologische Gegebenheiten und Vorgänge. Damit wird der Grundstein für das vierte Kapitel (S. 42-94) gelegt. In diesem Abschnitt werden aktuelle wissenschaftliche Studien ab dem Publikationsjahr 2000 zusammengetragen, analysiert und zusammengefasst. Anhand dieser Studienergebnisse wird in den jeweiligen Unterkapiteln, welche sich durch klare Fragestellungen definieren, jeweils ein bestimmter Aspekt des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition bei Kindern im Alter von 10 bis 14 Jahren untersucht. Aufgrund der sehr umfangreichen Studienergebnisse werden diese zur Beantwortung der Fragestellungen nach Metaanalysen und Reviews, nach Querschnitts- und Korrelationsstudien sowie nach Längsschnitt- und Interventionsstudien systematisch geordnet dargestellt.

Bewegung und Kognition

Im fünften Kapitel (S. 95-98) werden die Gesamtergebnisse dieser Arbeit nochmals zusammengefasst und diskutiert. Überdies wird erörtert, welche Auswirkungen die Ergebnisse der Arbeit und die daraus gewonnenen Erkenntnisse zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Kindern auf den Schulalltag haben bzw. haben könnten. Besonders wird dabei auf den bewegungszentrierten Unterricht eingegangen.

2 Festlegung einer Definition in der Begriffsvielfalt

Am Anfang dieser Arbeit gilt es, Ordnung in die Begriffsvielfalt zu bringen. Es werden Definitionen von Bewegung und körperlicher Aktivität sowie Kognition und geistiger Leistungsfähigkeit gegeben.

2.1 Bewegung und körperliche Aktivität

Da in dieser Übersichtsarbeit fast ausschließlich Daten englischsprachiger Untersuchungen Verwendung gefunden haben, scheint es sinnvoll, eine Definition zu Bewegung und körperlicher Aktivität nicht nur aus deutschsprachiger, sondern auch aus englischsprachiger Literatur zu entnehmen. Im Folgenden werden aus diesem Grund sowohl die deutschsprachigen, als auch die dazugehörigen englischsprachigen Begriffe angeführt.

In der englischsprachigen Literatur finden sich für körperliche Aktivität und Bewegung hauptsächlich die Termini „physical activity“ und „exercise“. Im Allgemeinen führen Definitionen zu diesen Begriffen meist zu recht ähnlichen Ergebnissen mit nur leicht unterschiedlichen Akzentuierungen.

Die Beschreibung von Caspersen, Powell und Christenson aus dem Jahr 1985 kann als Grundlage weiterführender Definitionen betrachtet werden. Caspersen, Powell und Christenson (1985, p. 126) legen fest: „Physical activity is defined as any bodily movement produced by skeletal muscles that results in energy expenditure“. Demzufolge wird unter körperlicher Aktivität jede körperliche Bewegung verstanden, welche von der Skelettmuskulatur ausgeht und zu einem Energieumsatz führt.

Mit dem englischen Begriff „exercise“ wird eine Untergruppe von „physical activity“ beschrieben, welcher jedoch einen strukturierten, wiederholten und geplanten Ablauf meint. Als (Zwischen-)Ziel kann dabei die Verbesserung oder Aufrechterhaltung körperlicher Fitness angesehen werden (Caspersen, Powell, & Christenson, 1985, p. 126).

Weitere Differenzierungen sind in „acute exercise“ (kurzzeitige Bewegungsaktivitäten) und „chronic exercise“ (langfristige Bewegungsaktivitäten) möglich (Pesce, 2009).

Der vorhin erwähnte Begriff der körperlichen Fitness („physical fitness“) wird in englischer Sprache als „the ability to carry out daily tasks with vigor and alertness, without undue fatigue, and with ample energy to enjoy leisure-time pursuits and respond to emergencies“ (Centers for Disease Control and Prevention, 2015) definiert. Somit bezieht sich körperliche Fitness vorwiegend auf bestimmte Merkmale, wie z. B. die kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit, welche mit der Fähigkeit zur Ausübung körperlicher Aktivitäten

einhergeht (Caspersen et al., 1985; Schlicht, & Brand, 2007). Die körperliche Fitness dient oftmals als Parameter, um indirekt Aussagen über die körperliche Aktivität der Studienteilnehmer(innen) treffen zu können (Dadaczynski & Schiemann, 2015, S. 190).

Körperliches Training („physical training“) kann wiederum als regelmäßiges Bewegungsprogramm beschrieben werden mit dem Ziel, die körperliche Fitness zu verbessern (Davis & Lambourne, 2009, p. 250).

In einer deutschsprachigen Definition wird körperliche Aktivität als „die Summe aller Prozesse, bei denen durch aktive Muskelkontraktion Bewegungen des menschlichen Körpers hervorgerufen werden bzw. vermehrt Energie umgesetzt wird“ (Rost, 1997, S. 23 f., zit. n. Wagner, Woll, Singer, & Bös, 2006, S. 59) beschrieben. Weiter unterscheidet Rost (1997; zit. n. Wagner, Woll, Singer, & Bös, 2006, S. 59) zwischen „unstrukturierten Bewegungen“, welche im Alltag selbstverständlich und unbewusst erfolgen und „strukturierten Bewegungen“, welche bewusst und mit einem bestimmten Ziel ausgeführt werden. Treppen steigen, Kochen oder Putzen können beispielsweise den unstrukturierten Bewegungen zugeordnet werden, welche tendenziell mit geringerer körperlicher Aktivität einhergehen. Strukturierte Bewegungen, wie ein sportartspezifisches Training, sind meist mit höherer Intensität verbunden. Diese Einteilung in Bewegungen niedriger Intensität im Alltag und in jene höherer Intensität im sportbezogenen Kontext gestaltet sich teilweise als schwierig (Kehne, 2011, S. 24 f.). Wagner, Woll, Singer und Bös (2006, S. 59 f.) erklären weiter, dass in der deutschen Sprache mit „unstrukturierten Bewegungen“ meist körperliche Aktivitäten oder Bewegungen und mit „strukturierten Bewegungen“ sportliche Aktivitäten bezeichnet werden.

Im Englischsprachigen jedoch scheint es diese Unterscheidung nicht zu geben und „physical activity“ fungiert als Synonym für jede, sowohl körperliche als auch sportliche Aktivität. „Physical activity“ umfasst demnach alle Bewegungsaktivitäten mit erwähnenswerter Energieproduktion wie bspw. Hausarbeiten, Weg zur Schule oder Arbeit, sportliche Bewegungen oder Freizeitaktivitäten (Wagner, Woll, Singer, & Bös, 2006, S. 59 f.).

Um körperliche Aktivität quantitativ zu erfassen, erweisen sich die Intensität, Häufigkeit und Dauer als wesentliche Faktoren. Die Messmethoden zur Quantifizierung körperlicher Aktivität im Kindesalter greifen großteils auf die Parameter Häufigkeit und Dauer zurück und vernachlässigen dabei mitunter die Intensität, obwohl dieser eine ebenso entscheidende Rolle beigemessen werden kann. Bis heute besteht bei der Erfassung körperlicher Aktivität, besonders im Kindes- und Jugendalter, hoher Forschungsbedarf. Es gibt noch keine aussagekräftige, praktikable und den Gütekriterien entsprechende optimale

Methode, welche sich auch für die Erfassung körperlicher Aktivität bei großen Stichprobenumfängen eignet (Beneke & Leithäuser, 2008, S. 218 f.). Letztendlich bleibt sowohl die Einteilung körperlicher Aktivität und Bewegung in bestimmte Kategorien, als auch ihre Erfassung eine gewisse Herausforderung.

Großteils basiert diese Arbeit auf Studien, welche den Einfluss körperlicher Aktivität und Fitness im Allgemeinen, als auch die Effekte aerober Bewegungsaktivitäten auf die kognitive Leistung bei Heranwachsenden analysieren. Umfasst werden dabei sowohl Studien zu kurzzeitigen, als auch zu langfristigen Bewegungsinterventionen und deren Auswirkungen auf die kognitiven Leistungen.

Die vorliegende Arbeit stützt sich auf die von Wagner, Woll, Singer und Bös (2006) angeführte Beschreibung, wonach unter „körperlicher Aktivität“ alle Aspekte von Bewegung subsumiert werden, bei welchen „physikalische Arbeit verrichtet und Energie verbraucht wird. Sie umfasst sowohl körperliche Aktivitäten im Alltag (Beruf und Freizeit) z. B. Gehen oder Radfahren als auch explizit Sportaktivitäten – vom individuellen Training über angeleitete Sportprogramme bis zu diversen Wettkampfformen des Sports“ (Wagner, Woll, Singer, & Bös, 2006, S. 60 f.). Ferner kann unter körperliche Aktivität auch das Spielen eines Musikinstruments fallen.

2.2 Kognition und geistige Leistungsfähigkeit

Fragt man sich woher einem der Begriff „Kognition“ (lat. „cognitio, -nis“) geläufig sein könnte, oder was dieser genau bedeuten könnte, durchläuft man bereits in einem informationsverarbeitenden Prozess und mithilfe der Gedächtnisleistung jenen Vorgang, welcher unter Kognition verstanden werden kann. „Cognition is a general term that reflects a number of underlying mental processes“ (Tomporowski, Davis, Miller, & Naglieri, 2008, p. 112).

Aktuellen Definitionsversuchen zufolge werden unter „Kognition“ alle Prozesse der Wahrnehmung, Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung von Informationen zusammengefasst (u. a. Alfermann & Stoll, 2010, S. 29 f.). Die Autoren führen weiter aus, dass damit auch die Vorgänge des Entwerfens und Planens von Aktionen, sowie die Problemlösung und die Entscheidungsfindung erfasst werden. Kognition ist somit ein Sammelbegriff für alle Prozesse des Erkennens, Wahrnehmens, Denkens, Vorstellens und des Erinnerns (Alfermann & Stoll, 2010, S. 29 f.).

Eine ähnliche Definition geben Davis und Lambourne (2009) in englischer Sprache:

„The term ‘cognition’ [...] is typically used to describe human information processing and memory. Cognition has to do with how individuals understand and make sense of internal and external phenomena. It

involves such processes as attention, perception and problem solving. Cognitive processing includes both basic information processing and executive control" (Davis & Lambourne, 2009, p. 250).

Auch Voll und Buuck (2005, S. 4) beschreiben mit dem Begriff der Kognition sowohl einfache Informationsverarbeitungsprozesse, als auch höhere geistige Funktionen, welche sie als „*exekutive Funktionen*“ anführen. Zum Bereich der Kognition zählen sie unter anderem „die Aufmerksamkeit, das Gedächtnis, das Lernen, die Kreativität, das Planen, das Orientieren, das Entscheiden und die Intelligenz“ (Voll & Buuck, 2005, S. 4).

Um den Zusammenhang zwischen Bewegung und Kognition zu ergründen, werden in den vorliegenden Studien meist einzelne Komponenten kognitiver Leistungsfähigkeit herausgegriffen und in Zusammenhang mit körperlicher Aktivität gesetzt. Sibley und Etnier (2003) stellen für die Erfassung kognitiver Fähigkeiten beispielsweise acht Kategorien auf. Diese bestehen aus: Wahrnehmung, Intelligenz, schulische Leistung, Gedächtnis, allgemeiner Entwicklungsstand (Schulreife), verbale als auch mathematische Fähigkeiten und Sonstige (z. B. Kreativität und Konzentrationsfähigkeit). Wie soeben dargestellt, beinhaltet der Begriff der Kognition sehr viele unterschiedliche Teilbereiche, welche im Rahmen der jeweiligen Untersuchungen meist separat aufgegliedert werden. Folglich wird auch mit dem Begriff der „kognitiven Leistungsfähigkeit“ ein sehr weites Spektrum kognitiver Komponenten untersucht. In dieser Übersichtsarbeit liegt der Schwerpunkt der vorliegenden Studien zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Kindern primär auf den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf akademische Leistungen, sowie auf exekutive Funktionen. Selbst in diesen beiden Bereichen muss eine weitere Unterteilung erfolgen, z. B. kann die ademische Leistung etwa weiter in Mathematik-, Lese- und Rechtschreibleistung aufgeschlüsselt werden.

Nachdem die exekutiven Funktionen bereits erwähnt wurden und im Mittelpunkt diverser Forschungsarbeiten stehen, dieser Begriff aber nicht zwingend geläufig sein muss, erfolgt an dieser Stelle eine definitorische Abgrenzung der „*exekutiven Funktionen*“. Tomporowski et al. (2008) und Best (2010) beschreiben „*exekutive Funktionen*“ als jene geistigen Prozesse, welche für zielgerichtete kognitive Leistungen und für das Verhalten notwendig sind. Diamond (2013, p. 135) führt aus: „Executive functions (EFs) make possible mentally playing with ideas; taking the time to think before acting; meeting novel, unanticipated challenges; resisting temptations; and staying focused“. Die zentralen Punkte, welche unter dem Begriff der „*exekutiven Funktionen*“ (auch „*kognitive Kontrolle*“ oder „*exekutive Kontrolle*“ genannt) verstanden werden, sind die Inhibition, das Arbeitsgedächtnis und die kognitive Anpassungsfähigkeit. In Abbildung 1 wird ein umfassender und detaillierter Überblick über die exekutiven Funktionen von Diamond (2013) abgebildet.

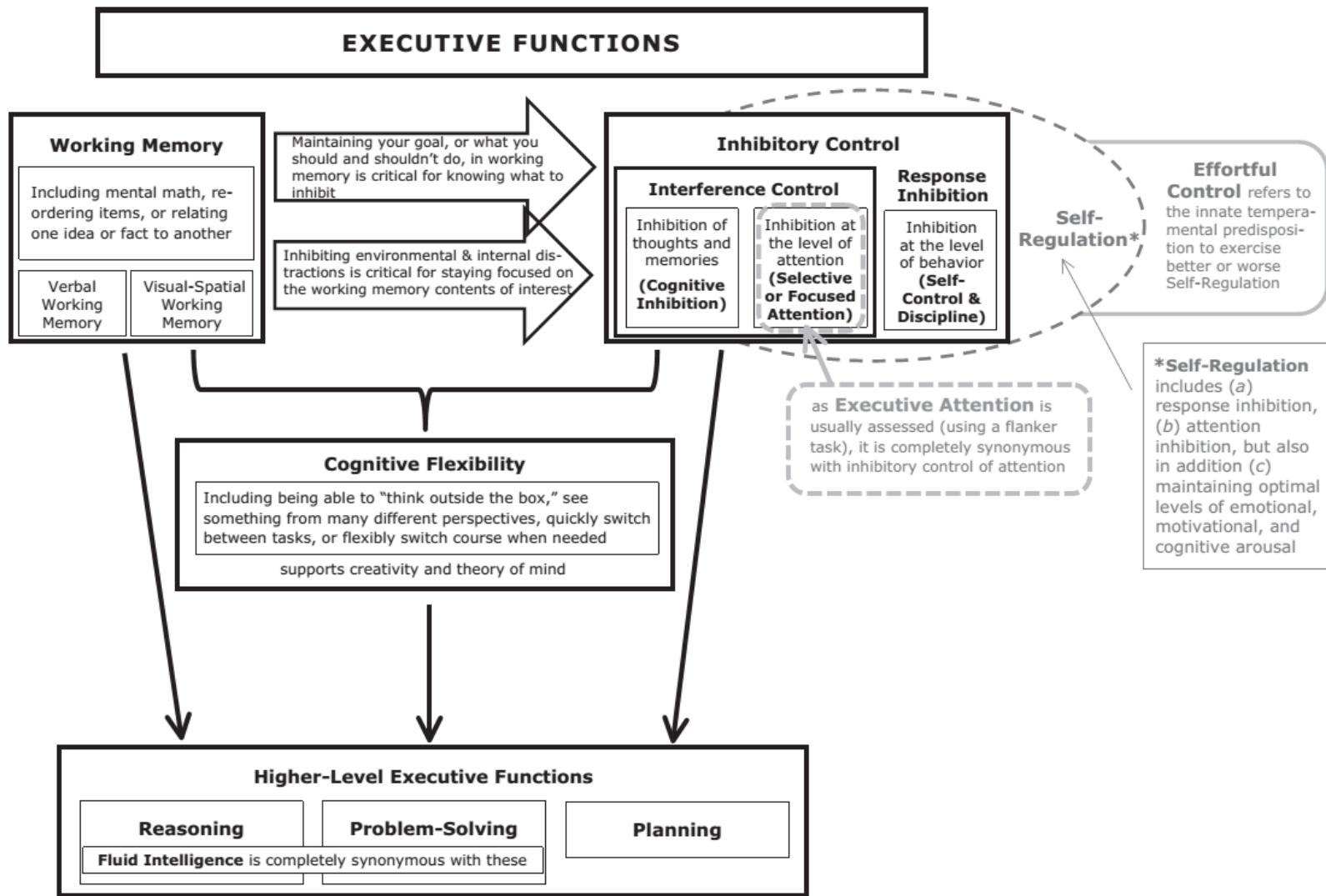


Abbildung 1: Exekutive Funktionen und damit verbundene Begriffe (Diamond, 2013, p.152).

Aufgrund der Forschungsfrage und der damit einhergehenden Fokussierung auf den Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Kindern im Alter von 10 bis 14 Jahren, erscheint es zielführend, die kognitive Entwicklung bei Heranwachsenden zu skizzieren. „Kognitive Entwicklung kann definiert werden als die allmählichen Veränderungen in der Fähigkeit, die Umwelt und sich selbst zu erkennen, zu erfahren und zu verstehen. Im Laufe dieser Entwicklung verändert sich folglich die Art und Weise, wie wir mit unserer Umwelt umgehen“ (Schmithüsen & Ferring, 2015, S. 253).

In der Entwicklungspsychologie liegen zur Beschreibung der kognitiven Entwicklung verschiedene Ansätze vor. Im Folgenden wird näher auf den Informationsverarbeitungsansatz eingegangen, wonach die kognitive Fähigkeit auf eine verbesserte Informationsverarbeitung zurückgeführt wird. Schmithüsen und Ferring (2015, S. 253) beschreiben, dass die Entwicklung der kognitiven Fähigkeiten eines Kindes kontinuierlich (stufenlos) verläuft und auf Veränderungen in den Bereichen der Aufmerksamkeit, der Lern- und Gedächtnisstrategien, des Gedächtnisses, der Verarbeitungsgeschwindigkeit, der automatischen Informationsverarbeitung und der Metakognition zurückzuführen ist. Jede quantitative Veränderung dieser Bereiche trägt zur Verbesserung der Informationsverarbeitung bei. Es verlängert sich beispielsweise die Aufmerksamkeitsspanne von der Kindheit bis hin zur Jugend, wodurch es ihnen immer besser gelingt, sich über einen längeren Zeitraum hinweg zu konzentrieren. Des Weiteren verlangen ihnen bereits bekannte Informationen weniger Aufmerksamkeit ab, wodurch den Kindern und Jugendlichen immer mehr Ressourcen zur Verfügung stehen. Auch die Verarbeitungsgeschwindigkeit nimmt aufgrund der besseren Vernetzung und der Myelinisierung von Nervenbahnen im Laufe der Entwicklung zu (Schmithüsen & Ferring, 2015, S. 260). Hier stellt sich die Frage: Können diese kognitiven Fähigkeiten durch körperliche Aktivität beeinflusst werden und wenn ja, durch welche Arten körperlicher Aktivität? Und welche Bereiche sind davon speziell betroffen? Die vorliegende Arbeit soll mitunter einen Beitrag zur Beantwortung dieser Fragestellungen leisten und eine Übersicht über den aktuellen Forschungsstand liefern.

Zusammenfassend beziehen sich somit in der vorliegenden Arbeit Ausführungen zur Kognition auf alle Prozesse der Informationswahrnehmung, -aufnahme, -verarbeitung und -speicherung, sowie auf Vorgänge des Entwerfens und Planens von Aktionen (u. a. Alfermann & Stoll, 2010, S. 29 f.; Davis & Lambourne, 2009, p. 250; Voll & Buuck, 2005, S. 4). Im Hinblick auf den Zusammenhang von Bewegung und Kognition wird der Fokus kognitiver Leistungen vorrangig auf akademische Leistungen und exekutive Funktionen gelegt.

2.3 Zwischenfazit

Kapitel 2 bietet einen Überblick über verschiedene Definitionen von Bewegung und körperlicher Aktivität sowie von Kognition und kognitiver Leistungsfähigkeit. Unter Bewegung und körperlicher Aktivität wird folglich jede Art von Bewegung verstanden, welche von der Skelettmuskulatur ausgeht und mit einem erhöhten Energieumsatz einhergeht (u. a. Caspersen, Powell, & Christenson, 1985, p. 126; Wagner, Woll, Singer, & Bös, 2006, S. 59 f.)

Der Begriff der Kognition umfasst alle Prozesse der Wahrnehmung, Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung von Informationen, sowie der Entscheidungsfindung und der Problemlösung (u. a. Alfermann & Stoll, 2010, S. 29 f.; Davis & Lambourne, 2009, p. 250; Voll & Buuck, 2005, S. 4). Die kognitive Leistungsfähigkeit gliedert sich in unterschiedliche Bereiche, wovon im Zuge dieser Arbeit und der hier analysierten Studien die akademischen Leistungen und die exekutiven Funktionen den Forschungsschwerpunkt bilden. Auch zu Letzteren erfolgte eine kurze definitorische Abgrenzung.

3 Blitzschneller Informationsaustausch – Neurowissenschaftliche Einblicke in das komplexe Zusammenspiel von Gehirn und Skelettmuskulatur

Bei einer eingehenden Auseinandersetzung mit dem Themenfeld „Bewegung und Kognition“ wird einem bewusst, dass ein gewisses „Grundwissen“ verschiedener biologischer bzw. neurologischer Gegebenheiten und Vorgänge von Vorteil, ja vermutlich sogar dringend notwendig, ist.

Dieses Kapitel stellt mit seinen drei Unterkapiteln die Basis hierfür dar. Im Unterkapitel 3.1 werden einige entscheidende Körper- und Gehirnregionen und neuronale Vorgänge beschrieben, welche für das Zusammenspiel von Gehirn und Skelettmuskulatur unerlässlich sind. Darauf aufbauend wird im Unterkapitel 3.2 speziell auf das Zusammenwirken bestimmter Gehirnregionen und Strukturen zur Steuerung der Skelettmuskulatur eingegangen. Im Unterkapitel 3.3 wird an die vorigen angeknüpft und auf die durch Bewegung ausgelösten neurobiologischen Veränderungen im Gehirn und auf deren Bedeutung für die kognitive Leistungsfähigkeit eingegangen.

3.1 Hauptakteure des Informationsaustauschs zwischen Gehirn und Skelettmuskulatur

Gleich vorweg, die folgenden Darstellungen und Beschreibungen der Hauptakteure für die Reizweiterleitung zwischen Gehirn und Skelettmuskulatur werden in komprimierter und vereinfachter Form angeführt. Dadurch sollte ein anschaulicher Überblick geboten werden, um die weiteren Ausführungen besser nachvollziehen zu können.

Für eine tiefergehende Beschäftigung mit diesen äußerst komplexen Themenbereichen wird auf die jeweiligen Literaturangaben hingewiesen, welche eine gute Möglichkeit zum genaueren Nachlesen bieten. Besonderer Erwähnung bedarf es des Buches „50 Schlüsselideen“ von Costandi (2015), welches aufgrund seiner aktuellen und präzisen Beschreibungen als Basis für die biologischen und neurowissenschaftlichen Vorgänge und für die Darstellungen der Hauptakteure des Informationsaustauschs zwischen Gehirn und Skelettmuskulatur herangezogen wurde. Des Weiteren kann das Standardwerk „Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie“ von Bear, Connors und Paradiso (2008) genannt werden, welches ebenfalls als Grundlage für neurowissenschaftliche Erläuterungen diente.

3.1.1 Skelettmuskulatur

Die Muskeln des Körpers lassen sich wegen ihres äußereren Erscheinungsbildes in zwei Hauptgruppen einteilen: in die glatte und in die quergestreifte Muskulatur. Die glatte Muskulatur wird vom vegetativen Nervensystem innerviert und kleidet unter anderem Arterien und Verdauungstrakt aus.

Die quergestreifte Muskulatur lässt sich in zwei Formen unterteilen: die Herzmuskelkultur und die Skelettmuskulatur. Bei der Herzmuskelkultur erfolgt die rhythmische Kontraktion auch ohne Innervation. Um die Herzschlagrate jedoch zu beschleunigen oder zu verlangsamen, wird der Herzmuskel durch das vegetative Nervensystem innerviert. Die Skelettmuskulatur bildet ganzheitlich betrachtet die Hauptmuskelmasse des Körpers und kann willkürlich kontrolliert bzw. gesteuert werden, wodurch die Knochen um die Gelenke bewegt werden können (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 470 f., 912, 925).

Unter Skelettmuskulatur versteht man demnach die Gesamtheit aller Skelettmuskeln, welche für das Ausführen bewusst gesteuerter Bewegungen verantwortlich ist.

3.1.2 Gehirn

Das menschliche Gehirn ist ein äußerst komplexes Organ, weshalb eine etwas ausführlichere Beschreibung der Struktur und Funktionsweise nur in jenen Bereichen erfolgen kann, welche für die vorliegende Arbeit relevant sind oder welche für ein grundlegendes Verständnis unabdingbar sind.

Das Gehirn kann in einzelne Hauptabschnitte gegliedert werden, welche meist mehrere Bezeichnungen tragen.

Das Großhirn (auch Endhirn oder Cerebrum) setzt sich aus zwei Gehirnhälften (Hemisphären) zusammen, welche über den sogenannten Balken (Corpus callosum) verbunden sind, um auf diesem Weg ihre Informationen von der gegenüberliegenden Körperseite zu erhalten. Diese beiden Hemisphären arbeiten durch ihre verstrickten neuronalen Verbindungen zusammen und es wird kaum ein Denkprozess oder eine motorische Aktivität von nur einer Gehirnregion im Alleingang geplant und ausgeführt. Eine Entwicklung der einen Seite bedingt die Anpassung der anderen Seite. Modelle, welche bestimmten Arealen der Großhirnrinde einen speziellen Aufgabenbereich zuschreiben, sollten nicht als exakt definierte und abgegrenzte Areale verstanden werden, sondern dienen lediglich der Orientierung (Bartonietz, 2008, S. 56 f.; Weineck, 2010, S. 115 f.).

Die Großhirnrinde, der Cortex cerebri, überzieht diese Hemisphären. In der Großhirnrinde befindet sich die „graue Substanz“, welche aus den Zellkörpern der Nervenzellen besteht, und darunter, im Marklager, die „weiße Substanz“ des Gehirns, in welcher unzählige markhaltige Nervenfasern sind. Diese Nervenfasern sind myelinisiert, was bedeutet, dass

sie mit Myelin („Isoliermaterial“) ummantelt sind und somit eine schnellere Reizweiterleitung erlauben.

Zur Oberflächenvergrößerung bedient sich die Großhirnrinde tiefer Furchen (Fissuren) und Windungen (Gyri) und wird in je vier Lappen unterteilt: dem Stirn-, Scheitel-, Schläfen- und Hinterhauptsappen (siehe Abbildung 2). Jedem Lappen gehört ein anderer Aufgabenschwerpunkt, alle von besonderer Wichtigkeit für die Ausführung von Bewegungshandlungen, an. Der Gyrus paeentralis, welcher im Frontallappen vor der Zentralfurche liegt, ist für die Ausführung von Bewegungen eine zentrale Hirnwundung, da sich dort der motorische Cortex befindet (Costandi, 2015, S. 4 f.; Rüegg & Bertram, 2013, S. 2-7).

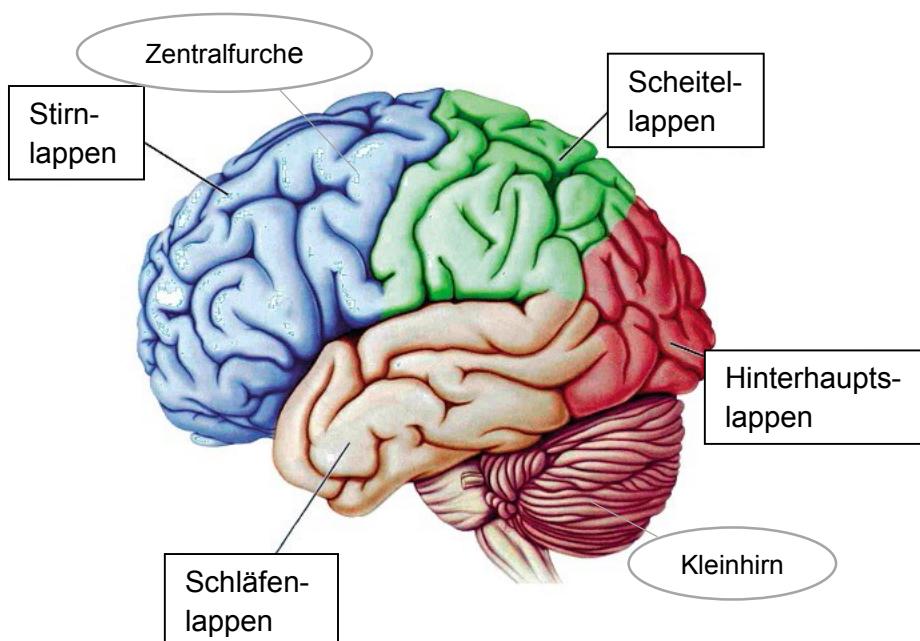


Abbildung 2: Unterteilung des Cortex cerebri (in Anlehnung an Häusel, 2012, S. 245).

Der Stirn- oder Frontallappen ist im Zusammenhang mit Bewegung von besonderer Bedeutung. Er ist nicht nur für „komplexe geistige Funktionen“ (Costandi, 2015, S. 4), wie der Entscheidungsfindung und dem logischen Denken, zuständig, sondern auch für jenen motorischen Bereich, welcher willkürliche Bewegungen plant und durchführt. Diese Funktionen sind vor allem im oberen Teil des Stirnhirns, im präfrontalen Cortex, angesiedelt, wo sich auch das Arbeitsgedächtnis und somit das Zentrum der allgemeinen Intelligenz befindet (Roth, 2011, S. 320). Der Stirnlappen wird im weiteren Verlauf der Arbeit (in Kapitel 3.3 und Kapitel 4) nochmals eine wichtige Rolle spielen.

Die somatosensorischen Areale befinden sich im Scheitel- oder Parietallappen. Hier werden Berührungsinformationen aus dem Körper (Haut und Körper) verarbeitet und

außerdem werden diverse Arten sensorischer Informationen verknüpft, wodurch ein Gefühl bzw. Wissen darüber entsteht, wie unser Körper im Raum ausgerichtet ist (Costandi, 2015, S. 4; Thompson, 2001, S. 22).

Der Schläfen- oder Temporallappen enthält an seiner Außenfläche Areale, welche für die Informationsaufnahme von den Ohren und für das Sprachverstehen von Bedeutung sind. Die Innenfläche mit dem Hippocampus ist für die Erinnerungsspeicherung wichtig und spielt ebenfalls eine bedeutende Rolle bei der räumlichen Orientierung (Costandi, 2015, S. 4).

Der Hinterhaupts- oder Okzipitallappen enthält viele verschiedene Areale, welche hauptsächlich visuelle Signale verarbeiten und interpretieren (Costandi, 2015, S. 5; Thompson, 2001, S. 22).

Diese verschiedenen Areale können hinsichtlich ihrer Funktion bestimmten Bereichen des Cortex cerebri zugeordnet werden. Einige wichtige Bereiche werden in Abbildung 3 hervorgehoben und können im weiteren Verlauf der Arbeit als Orientierungshilfe herangezogen werden.

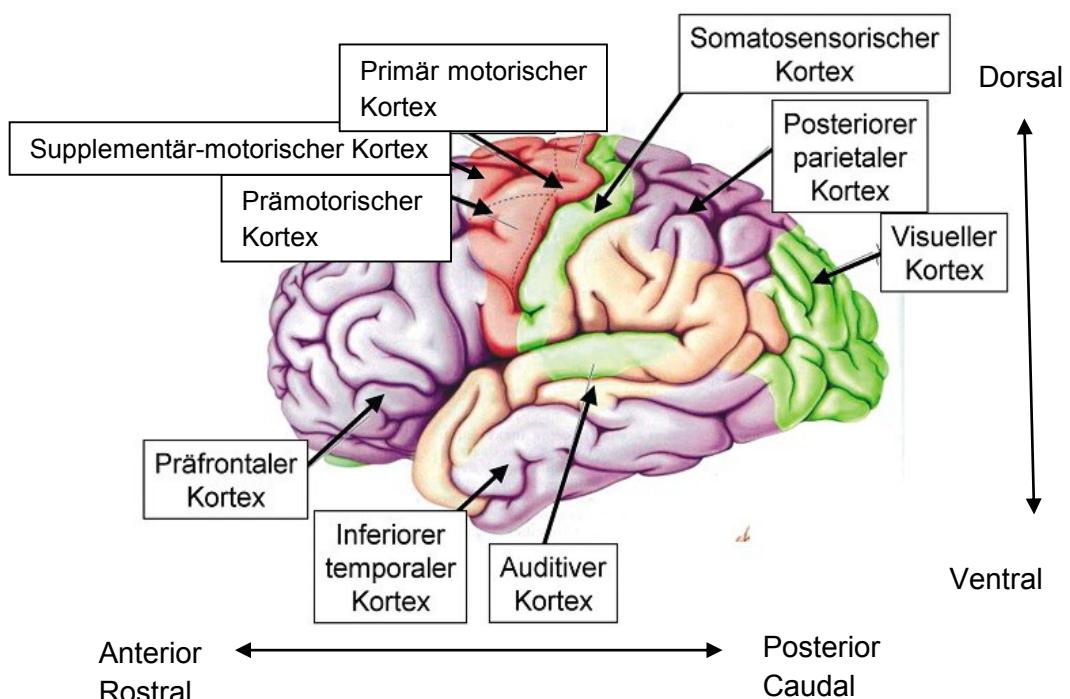


Abbildung 3: wichtige Funktionsareale des Cortex cerebri (in Anlehnung an Häusel, 2012, S. 246).

In funktioneller Hinsicht kann der Cortex cerebri nach Roth (2011, S. 316) in drei Bereiche, den sensorischen für die Wahrnehmung, den motorischen für die Bewegungssteuerung und den kognitiv-assoziativen für Vorstellung, Handlungsplanung, Denken und Erinnern eingeteilt werden.

Grob zusammengefasst wird die Großhirnrinde als Sitz des Bewusstseins gesehen, denn

„nur solche Ereignisse, die mit Aktivität des Cortex verbunden sind, können uns überhaupt bewusst werden – alles andere ist prinzipiell unbewusst [...]. Man nennt diese prinzipiell unbewusst arbeitenden Hirnzentren ‚subcortical‘, d.h. unter- und außerhalb des Cortex liegend“ (Roth, 2011, S. 321 f.). Anschließend fügt Roth (2011, S. 322) jedoch hinzu, dass es neben den assoziativ-kognitiven Bereichen auch zahlreiche Teile des Cortex gibt, welche nicht bewusstseinsfähig sind.

Im Zentrum des Gehirns, im Zwischenhirn, liegt der Thalamus, welcher die Aufgabe der Informationsweiterleitung von den Sinnesorganen an die passenden Gehirnareale hat. Der Thalamus wird von den Basalganglien eingebettet, welche vor allem willkürliche Bewegungen kontrollieren. Das limbische System entwickelte sich im Laufe der Evolution als erster Teil des Vorderhirns, weshalb es auch „Reptiliengehirn“ genannt wird. Dieses liegt zwischen Basalganglien und Großhirnrinde und umfasst verschiedenste subkortikale Strukturen. Zum limbischen System, welches unter anderem für Emotion und Motivation bedeutend ist, zählen auch der Hippocampus und der Mandelkern (Amygdala). Der Mandelkernkomplex beeinflusst neben Emotionen auch (Langzeit-)Erinnerungen (Costandi, 2015, S. 5; Thompson, 2001, S. 18 f.; Rüegg & Bertram, 2013, S. 5 f.).

Das Mittelhirn befindet sich oberhalb des Stammhirns (bestehend aus Zwischenhirn und daruntergelegenem Hirnstamm). Im Mittelhirn liegt der Hauptproduktionsort des Neurotransmitters Dopamin und zugleich des Pigments Melatonin, welches einen Bereich des Mittelhirns dunkel aussehen lässt. Daher röhrt auch die Bezeichnung dieses Teils als Substantia nigra – die schwarze Substanz (Costandi, 2015, S. 5; Rüegg & Bertram, 2013, S. 2-6).

Der Hirnstamm liegt oberhalb des Rückenmarks und wird vom Rautenhirn gebildet, welches nach Costandi (2015, S. 6) aus drei Komponenten, dem verlängerten Rückenmark (Medulla oblongata), der Brücke (Pons) und dem Kleinhirn (Cerebellum), besteht.

Für die Beschreibung jener Prozesse, welche während körperlicher Bewegung im Gehirn ablaufen, kann dem Kleinhirn die Koordination von Bewegungen und die Kontrolle des Gleichgewichts zugeschrieben werden. Nicht nur motorische Fertigkeiten (wie das Erlernen des Fahrradfahrens), sondern auch Denkprozesse und Emotionen werden vom Kleinhirn maßgeblich beeinflusst (Costandi, 2015, S. 6). Folgt man allerdings der Beschreibung von Rüegg und Bertram (2013, S. 2-5) oder jener von Roth (2011, S. 315), wird der Hirnstamm vom Mittelhirn, der Brücke (mit den Verbindungen zu Klein- und Großhirn) und dem verlängerten Rückenmark gebildet. Ebenso wie Costandi (2015, S. 6) merken Rüegg und Bertram (2013, S. 2-5) zur Funktion des Kleinhirns die Gleichgewichtssteuerung an und dass es der Körperhaltung sowie der Verbindung zum Großhirn (über die Brücke) dient. Der Unterschied zwischen Costandis (2015, S. 6) Beschreibung des Hirnstamms und

jener von Rüegg und Bertram (2013, S. 2-5) sowie von Roth (2011, S. 315) liegt folglich im Klein- bzw. Mittelhirn.

3.1.3 Nervensystem

Das Nervensystem hat die Funktion, Informationen zu sammeln, zu verteilen und zu integrieren und lässt sich beim Menschen in das Zentralnervensystem (ZNS) und das periphere Nervensystem (PNS) unterteilen.

Dabei besteht das ZNS aus dem Gehirn (Großhirn, Zwischenhirn, Mittelhirn, Brücke, Kleinhirn, verlängertes Rückenmark), einschließlich der Netzhaut, und dem Rückenmark. Das ZNS bekommt vom übrigen Körper Informationen und übernimmt die Koordination für dessen Aktivitäten (Costandi, 2015, S. 4; Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 58, 191 f., 929; Weineck, 2010, S. 91).

Das periphere Nervensystem umfasst jene Komponenten des Nervensystems, welche nicht zum ZNS (Gehirn und Rückenmark) gehören. Der Informationsaustausch zwischen Körper und ZNS wird durch das periphere Nervensystem sichergestellt. Genauer betrachtet kann das PNS in zwei Teile, in das somatische PNS und in das vegetative Nervensystem, unterteilt werden. Das somatische PNS beschreibt alle peripheren Nerven, welche die willentlich kontrollierten Muskeln, die Gelenke und die Haut innervieren. Der zweite Teil des PNS, das vegetative (oder viszerale/autonome) Nervensystem, versorgt die Eingeweide. Es setzt sich demnach aus jenen Nervenzellen zusammen, welche die inneren Organe, Drüsen und Blutgefäße innervieren (Costandi, 2015, S. 4; Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 193, 201, 921; Birbaumer & Schmidt, 2010, S. 28 f.).

3.1.4 Rückenmark

Über das Rückenmark, via Millionen von Nervenfasern, verläuft der Informationsaustausch zwischen Körper und Gehirn. Dieses Bündel an Nervenfasern ist in Abschnitte, beim Menschen in 31 Segmente, gegliedert und enthält die Zellkörper der spinalen Motoneuronen. Die Fortsätze der Motoneuronen treten zwischen den Wirbeln aus dem Rückenmark aus und können so über die motorische Endplatte mit den zugehörigen Muskelfasern kommunizieren. Bei willkürlichen Bewegungen werden die Informationen vom Gehirn über das Rückenmark, über die Fasern der Motoneuronen, bis hin zur betroffenen Skelettmuskulatur geleitet. Die Informationsübermittlung vom Körper zum Rückenmark und hinauf zum Gehirn passiert über Axone der sensorischen Neurone. In den peripheren Nerven sind beide Axone, die der motorischen und der sensorischen Neurone, gebündelt (Costandi, 2015, S. 29-31; Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 199).

Das Rückenmark ist in gewisser Weise „autonom“, da es bestimmte Funktionen, wie bspw. den Patellarsehnenreflex, in Eigenregie durchführen kann (Costandi, 2015, S. 29). Dies deutet bereits auf das komplexe Geflecht von Schaltkreisen zur Bewegungssteuerung hin.

3.1.5 Neuronen

Neuronen (Nervenzellen) sind neben den Gliazellen einer der beiden Zelltypen der Hirnzellen. Von den Neuronen gibt es im Gehirn schätzungsweise 80 bis 120 Milliarden (davon rund 80 Prozent im Kleinhirn), welche mit ihren verstrickten Netzen für die Informationsverarbeitung große Bedeutung haben. Als „Sprache der Kommunikation“ nutzen die Neuronen chemische und elektrische Signale, welche sie selbst erzeugen können und mit welchen sie Informationen weitergeben (Costandi, 2015, S. 8-11; Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 28).

Eine grobe Klassifikation der verschiedenen Neuronen kann entsprechend ihrer Verbindung, die sie eingehen, in drei Gruppen erfolgen: Eine Gruppe bilden die sensorischen Neuronen, welche Informationen von den Sinneszellen zu unserem Gehirn leiten. Eine andere Klasse stellen jene Neuronen, deren Axon zu einer Muskelzelle läuft, dar. Sie werden als Motoneuronen bezeichnet und sind dafür zuständig, Befehle vom Gehirn an Muskeln weiterzuleiten. Die Gruppe der Interneuronen ist, wie der Begriff vermuten lässt, für die Kommunikation zwischen den Neuronen zuständig. Sie übermitteln sowohl in lokalen Schaltkreisen Informationen, als auch über größere Reichweiten zwischen Neuronen unterschiedlicher Hirnregionen und sind die im menschlichen Nervensystem am öftesten vorkommenden Neuronen (Schandry, 2011, S. 55).

Der Aufbau eines Neurons besteht aus dem Zellkern, dem Zellkörper (Soma oder Perikaryon) und seinen Fortsätzen, den Dendriten und dem Axon. Zur Veranschaulichung dient die von Pinel und Pauli (2012, S. 62) veröffentlichte Darstellung eines Neurons und seiner wichtigsten äußereren Merkmale (siehe Abbildung 4).

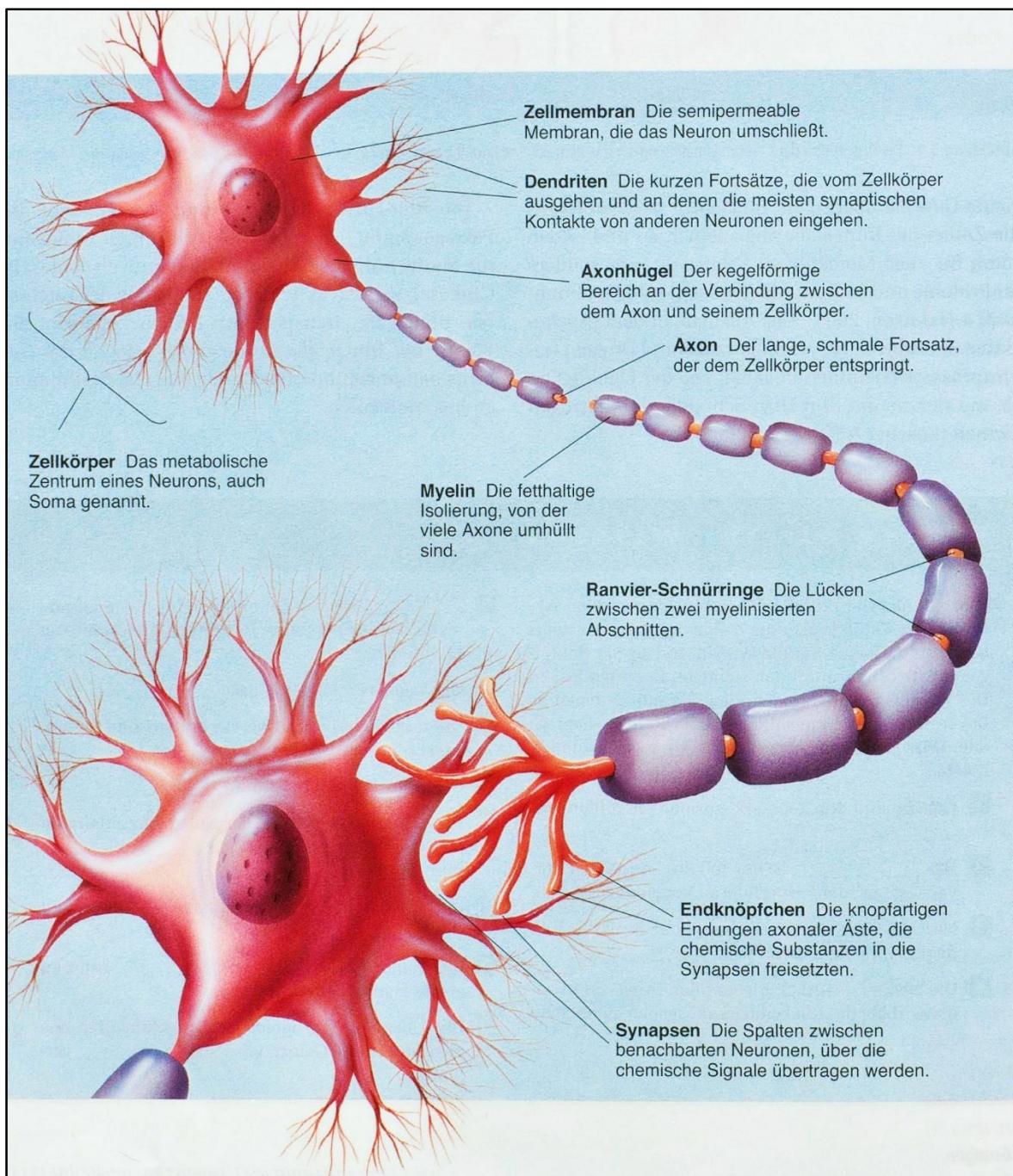


Abbildung 4: Wichtige äußere Merkmale eines Neurons (Pinel & Pauli, 2012, S. 62).

Als Dendriten werden jene verzweigten Fortsätze bezeichnet, welche elektrische Reize aufnehmen, Signale von anderen Neuronen verrechnen und zum Zellkörper leiten. Dort angelangt werden die unterschiedlichen Informationen nochmals verrechnet und daraufhin wird ein Ausgangssignal (Output) erzeugt. Im Zellkörper befindet sich auch der Zellkern, welcher mit der DNA entscheidende Informationen für die Synthese verschiedener Proteine beinhaltet. Über das Axon wird das Ausgangssignal und somit die Information an andere Neuronen bzw. an deren Dendriten weitergeleitet. Das Axon bildet somit die Output-Einheit eines Neurons.

Jene Verknüpfungspunkte zwischen einem Axon und den Dendriten eines anderen Neurons, an das Informationen weitergeleitet werden, nennt man Synapsen (siehe Kapitel 3.1.5.2) (Costandi, 2015, S. 9 f.; Roth, 2011, S. 328; Rüegg & Bertram, 2013, S. 8-10).

3.1.5.1 Nervenimpuls (Aktionspotential)

Die Gestalt des Axons kann man sich als langen, einzelnen Nervenfortsatz vorstellen, welcher am Axonhügel aus dem Zellkörper entspringt. An diesem Axonhügel werden elektrische Signale, welche als Aktionspotential (oder Spikes) bekannt sind, erzeugt. Diese wandern entlang des dünnen Nervenfortsatzes bis zum Ende des Axons (axonale Endigungen), um dort ihre elektrischen Impulse an weitere Nervenzellen abzugeben. Es können bis zu rund 1000 Aktionspotentiale pro Sekunde in einer Nervenzelle erzeugt werden. Damit das Neuron die über Aktionspotentiale weitergeleitete Information rasch an mehrere andere Neuronen übertragen kann, weisen die axonalen Endigungen Verzweigungen auf. Der Prozess der Informationsübertragung kann mit rasant hoher Geschwindigkeit von über 400 Kilometer pro Stunde ablaufen. Die Kommunikation der Nervenzellen miteinander und mit dem restlichen Körper wird folglich mit diesen elektrischen Signalen, den Nervenimpulsen, ermöglicht (Costandi, 2015, S. 10-19; Beck, 2013, S. 89).

Nun gilt es die Grundvoraussetzung für die Impulsübertragung zu klären:

Jedes Neuron enthält eine Lösung verschiedener Ionen, also elektrisch geladener Atome. Ionen tendieren dazu, einen Gleichgewichtszustand herzustellen. Das ist vor allem deshalb nennenswert, da das Neuron mit den enthaltenen Ionen wieder in einer Flüssigkeit liegt, welche zwar teils dieselben Ionen, jedoch eine andere Konzentration aufweist. Die Ionen versuchen vom hoch konzentrierten Bereich zum niedriger konzentrierten zu gelangen, um dadurch den angestrebten Gleichgewichtszustand zu erreichen. Von diesem Bestreben werden die Ionen von der Nervenmembran abgehalten, welche für die Ionen nahezu undurchlässig (impermeabel) ist. Bestimmte Ionen sammeln sich deshalb an der Innenseite der Membran und andere wiederum an der Außenseite an. Aus dieser ungleichen Ionenverteilung und somit dem Ungleichgewicht elektrischer Ladungen ergibt sich im Ruhezustand des Neurons ein, im Vergleich zur Außenseite, negativ geladener innerer Bereich des Neurons. In dieser Situation spricht man von einer „polarisierten“ Membran (Costandi, 2015, S. 16-19).

Kurz zusammengefasst, ein Neuron wird im Ruhezustand innen von negativ geladenen Ionen und an der Außenseite der Membran von positiv geladenen Ionen dominiert. Daraus ergibt sich, dass die Innenseite im Vergleich zur Außenseite negativ geladen ist.

Damit die Impulsübertragung funktionieren kann, muss als erste Voraussetzung ein Neuron aktiviert werden. Dies passiert entweder als Reaktion auf Signale eines anderen Neurons

oder selbstgeneriert. Im Grundzustand variiert die Spontanaktivität (von der Zelle selbst generiert) bei verschiedenen Nervenzellentypen und kann durch elektrische Impulse anderer Zellen verändert werden (Costandi, 2015, S. 16-18).

Beim Aktionspotential kommt es zu einer schnellen Umkehrung der elektrischen Ladungen, wonach „kurzzeitig das Innere der Membran im Verhältnis zur Außenseite positiv geladen ist“ (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 84). Das Aktionspotential wird häufig auch als Entladung, Spike oder Nervenimpuls bezeichnet und kann nur nach dem „Alles-oder-Nichts-Gesetz“ weitergeleitet werden. Das bedeutet, sobald nicht ein bestimmtes Schwellenpotential überschritten ist, wird die Information als „unwichtig“ angesehen und nicht weitergeleitet. Überschreitet dieser elektrische Impuls das Schwellenpotential, wird er weitergegeben (Birbaumer & Schmidt, 2010, S. 37 f.). Diese Nervenimpulse haben „alle dieselbe Größe und Dauer, und sie nehmen nicht ab, wenn sie ein Axon entlang weitergeleitet werden. Entscheidend für die Codierung von Informationen sind die Frequenz und das Muster von Aktionspotenzialen“ (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 84).

Sobald das Aktionspotential an den axonalen Endigungen angelangt ist, veranlasst es dort die Ausschüttung von chemischen Botenstoffen (Neurotransmitter) in den synaptischen Spalt, über welchen die Informationen an ein anderes Neuron weitergegeben werden (Costandi, 2015, S. 18).

3.1.5.2 Synaptische Übertragung

„Damit diese Informationen [des Aktionspotentials] vom übrigen Nervensystem verarbeitet werden können, müssen die neuronalen Signale auf andere Neuronen übertragen werden – etwa auf motorische Neuronen, die die Muskelkontraktion kontrollieren, sowie auf Neuronen im Gehirn und Rückenmark, die eine koordinierte Reflexreaktion auslösen“ (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 114).

Diese Übertragung der Informationen passiert an speziellen Kontaktstellen, welche der wegbereitende englische Neurophysiologe Charles Sherrington als „Synapsen“ bezeichnete. Als synaptische Übertragung versteht man demnach den Vorgang der Informationsübertragung an einer Synapse (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 114).

Von den Synapsen gibt es zwei Arten, elektrische und chemische. Elektrische Synapsen werden von zwei Nervenzellen gebildet, welche über extrem enge Zellkontakte („Gap junctions“) miteinander verknüpft sind. Bei chemischen Synapsen berühren sich die Fortsätze nicht unmittelbar, sondern die Informationen werden durch einen submikroskopisch kleinen Spalt, den synaptischen Spalt, weitergegeben (Costandi, 2015, S. 21; Roth, 2011, S. 328).

Wie bereits angemerkt, berühren einander die einzelnen Axone nicht unmittelbar mit den „Antennen“ (den Dendriten) der anderen Zellen, sondern sie müssen über den winzig

kleinen synaptischen Spalt miteinander „kommunizieren“. Dort müssen die Nervenzellen chemische Botenstoffe oder auch Neurotransmitter genannt, zu Hilfe nehmen, um ihre Informationen weitergeben zu können. Von diesen Impulsen der Informationsweiterleitung über den synaptischen Spalt wird das Empfängerneuron entweder erregt oder aber in seiner Aktivität gehemmt. Ob ein Neuron aktiviert oder gehemmt wird, hängt letztendlich von der Summe aller empfangenen (hemmenden bzw. erregenden) Signale ab. Somit kann die Aktivität des Gehirns auf die zahllosen Botenstoffe zurückgeführt werden, welche erregende oder hemmende Synapsen durchfließen. Ein Neurotransmitter in hemmenden Synapsen des Zentralnervensystems, welcher die Informationsweiterleitung einschränkt, ist bspw. GABA (Gamma-Aminobuttersäure). Dem gegenüber ist die Aminosäure Glutamat der entscheidende Transmitter, um die „Feuerwahrscheinlichkeit“ einer Zelle zu erhöhen (erregender Neurotransmitter) (Birbaumer & Schmidt, 2010, S. 57; Rüegg & Bertram, 2013, S. 8-10).

Neben diesen genannten Neurotransmittern sind der Wissenschaft noch viele andere bekannt. Hinsichtlich des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition kann noch auf drei aus der Gruppe der Monoamine (Serotonin, Noradrenalin und Dopamin) und auf Neuropeptide, wie die schmerzlindernden Endorphine, hingewiesen werden. Das Abfallen bzw. die Zunahme dieser Überträgerstoffe kann zu schwerwiegenden Störungen der Funktionalität des Gehirns und des Verhaltens führen (Rüegg & Bertram, 2013, S. 8-10).

Um die Information von einem Neuron zum nächsten weiterzuleiten, sitzen auf der Zellmembran von Neuronen Rezeptoren, welche jeweils für einen speziellen Neurotransmitter bestimmt sind. Wird eine Nervenzelle durch einen Neurotransmitter aktiviert, werden im Zellinneren biochemische Programme gestartet, welche in Folge die bioelektrischen Eigenschaften der Nervenzelle ändern und dadurch entweder erregen oder hemmen. Diese neurochemische Übertragung (Transmission) kann bspw. durch Lernen modifiziert werden. Die Wirkung eines Neurotransmitters endet vorrangig durch die Wiederaufnahme in die präsynaptischen Endigungen (Birbaumer & Schmidt, 2010, S. 57; Costandi, 2015, S. 20; Rüegg & Bertram, 2013, S. 9 f.).

3.1.6 Gliazellen

Beide Zelltypen, Neuronen und Gliazellen, sind im Gehirn enthalten und spielen eine essentielle Rolle bei der Informationsverarbeitung.

Während viele wissenschaftliche Forschungen die Anzahl der Gliazellen auf das Zehnfache jener von Neuronen schätzen (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 28; Costandi, 2015, S. 12-14), zweifeln andere dies an und gehen insgesamt betrachtet von einer etwa gleichen Anzahl beider Zellarten aus, auch wenn in manchen Gehirngebieten die Gliazellen

dominieren (Azevedo, et al., 2009). Seit der Entdeckung der Gliazellen und ihrer bereits bekannten Funktion als sogenannte „Hilfszellen“ fanden sie in der Forschung kaum Beachtung, während die Neuronen bereits im Fokus vieler wissenschaftlicher Forschungen standen. Die bisher bekannten Aufgaben der Gliazellen beschränkten sich also häufig auf die unterstützende Funktion für die Erhaltung, Isolation und Ernährung der Neuronen (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 28; Costandi, 2015, S. 12-14).

Dem aktuellen Forschungsstand zufolge wird jedoch immer mehr auf die bemerkenswerten Leistungen der verschiedenen Gliazelltypen hingewiesen, welche auch für Gehirnfunktion, -entwicklung und -erkrankung eine wesentliche Rolle einnehmen (ebd.). Neben diesen wichtigen Aufgabenbereichen können noch weitere Funktionen hervorgehoben werden. Bestimmte Gliazelltypen (die Astrozyten) können zum Beispiel die Effektivität der synaptischen Übertragung beeinflussen. Andere Gliazelltypen (Oligodendrozyten) sind an der Beschleunigung der Informationsleitung durch die Bildung von fetthaltigem Myelin beteiligt, mit welchem sie die Axone einiger Neuronen umhüllen. Diese dadurch gebildeten Myelinscheiden optimieren die Effizienz und die Geschwindigkeit der axonalen Leitung (Pinel & Pauli, 2012, S. 64-66; Schandry, 2011, S. 56).

3.2 Motorische Steuerung – Zusammenspiel verschiedener Strukturen und Gehirnregionen zur Steuerung der Skelettmuskulatur

Unglaublich komplex ist das motorische System, welches aus allen Muskeln und den Neuronen, die diese steuern, besteht (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 470).

Schandry (2011) merkt dazu treffend und gleichzeitig ernüchternd an:

„Diejenigen Gehirngebiete, die sich in das motorische Geschehen einschalten können, sind so zahlreich und liegen so weit verstreut, sind aber auch größtenteils in ihrer Funktion so vielschichtig, dass es nur für einige eng umgrenzte Gebiete sinnvoll scheint, von ‚motorischen Zentren‘ zu sprechen“ (Schandry, 2011, S. 207).

Wer kennt nicht die beinahe unglaublich scheinende Beschreibung jener Hühner, welche, nachdem sie geköpft wurden, noch eine Zeit am Hühnerhof umherlaufen können? Dieses etwas skurril anmutende Beispiel verdeutlicht, dass manche Verhaltensmuster oder Bewegungen auch ohne Beteiligung des Gehirns durchgeführt werden können. Dabei handelt es sich vor allem um immer wiederkehrende Bewegungen, wie die Fortbewegung, für welche es eine Menge von Verschaltungen innerhalb des Rückenmarks gibt. Das Rückenmark enthält also bestimmte motorische Programme, welche koordinierte Bewegungen erzeugen können. Durch Befehle vom Gehirn können diese Programme

abgerufen, ausgeführt und modifiziert werden. Knapp zusammengefasst kann die motorische Kontrolle beim Menschen in zwei Bereiche unterteilt werden. Zum einen können motorische Programme im Rückenmark durch Befehle vom Gehirn gesteuert und kontrolliert werden. Zum anderen ist auch eine Steuerung und Kontrolle koordinierter Muskelkontraktionen durch das Rückenmark möglich (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 470). Willkürbewegungen können daher mithilfe des motorischen Systems des menschlichen Gehirns geplant, ausgeführt und kontrolliert werden.

Costandi (2015, S. 28) sieht in der Bewegung „eine der Hauptfunktionen des Nervensystems, und ein großer Teil seiner Arbeit besteht in der Planung und Ausführung von Bewegungen.“ Des Weiteren führt der Autor aus, dass für die Bewegungssteuerung viele verschiedene Regionen des Gehirns und auch das Rückenmark zusammenspielen.

Verfolgt man überblicksartig jene Schritte, welche zur Planung und Ausführung körperlicher Bewegung erforderlich sind, lassen sich folgende Vorgänge aufzeichnen:

Ausgehend vom Cortex cerebri (Großhirnrinde) zieht die kortikospinale Bahn (Pyramidenbahn) zum Rückenmark, wo die dort gelegenen α-Motoneuronen umgeschaltet werden, um die geplanten Bewegungsimpulse hinsichtlich ihrer Schnelligkeit, Richtung und Kraftentwicklung unmittelbar an die Muskulatur weiterzuleiten (Pritzel, Brand, & Markowitsch, 2009, S. 258).

Damit sowohl die Bewegungsabsicht und -durchführung als auch die Vorlast und Ausrichtung der Halte- und Stützmotorik aufeinander abgestimmt werden, bedarf es verschiedenster Verknüpfungen motorischer und sensorischer Areale im Cortex und mehrerer Kontrollsleifen über die Basalganglien und das Kleinhirn (Cerebellum) (Pritzel, Brand, & Markowitsch, 2009, S. 258 f.).

Die Bedeutung und Funktion dieser Cortexareale, der Basalganglien und des Cerebellums werden im Folgenden genauer betrachtet:

Beginnend mit den bewegungssteuernden Gehirnregionen werden dazu nach Costandi (2015, S. 28) ebenfalls bestimmte Teile des Cortex cerebri und der subkortikalen Strukturen, welche skizzenhaft in Kapitel 3.1.2 lokalisiert und beschrieben wurden, gezählt.

Manche Areale des Cortex cerebri stehen dabei in unmittelbarer Verbindung mit der Bewegungsausführung. Im Stirnlappen, welcher für „komplexe geistige Funktionen“ (Costandi, 2015, S. 4) und für die willkürliche Bewegungsplanung und -durchführung zuständig ist, sind der supplementär-motorische, der prämotorische und der primär-motorische Cortex angesiedelt (siehe Abbildung 3) (Costandi, 2015, S. 28; Pritzel, Brand, & Markowitsch, 2009, S. 259 f.). Bei all diesen Gebieten liegt der Schwerpunkt auf einem speziellen Bereich der Bewegungsplanung und -durchführung. Costandi (2015, S. 28) und

Pritzel, Brand und Markowitsch (2009, S. 260 f.) beschreiben diese Cortexbereiche wie folgt: Der supplementär-motorische Cortex beteiligt sich vor allem an der Bewegungsplanung (Entwurf des Bewegungsplans). Der prämotorische Cortex codiert die Absicht, eine spezifische Bewegung auszuführen und wählt mithilfe sensorischer Informationen die passende Bewegung dazu aus. Das primär-motorische Areal liegt an der Rückseite des Stirnlappens und erhält von den anderen soeben beschriebenen Cortexarealen Signale. Außerdem empfängt dieses Areal Informationen über die Lage des Körpers und die Position der einzelnen Glieder zueinander. Vom primär-motorischen Areal ausgehend reichen die langen Fortsätze dieser sehr großen Neuronen (den sogenannten Betz-Zellen) ins Rückenmark, wo sie Synapsen mit Motoneuronen bilden, welche Signale an die Muskelzellen weiterleiten können.

Das Zusammenspiel der genannten Cortexregionen mit anderen Strukturen, die ebenso an Willkürbewegungen beteiligt sind, ist äußerst komplex. Die Annahme, dass es sich dabei nur um jene soeben hervorgehobenen Cortexareale handle, wäre nicht zulässig und würde die Wirklichkeit zu stark vereinfacht darstellen. Weiß man jedoch, dass diese Areale nicht die einzige wichtigen hinsichtlich der Bewegungsplanung, -steuerung und -durchführung sind, kann diese umrissene Beschreibung der Funktion und Bedeutung dieser Cortexareale hilfreich sein und zur Orientierung dienen.

Hinsichtlich der bewegungssteuernden subkortikalen Gehirnstrukturen bedarf es der Nennung der Basalganglien und ihrer Bedeutung.

Die Basalganglien sind große Nervenzellansammlungen und können als eine Gruppe subkortikaler Kerne (Nucleus caudatus, Putamen und Globus pallidus) beschrieben und unter dem frontalen Cortex lokalisiert werden. Die Strukturen zweier solcher Kerne, des Nucleus caudatus und des Putamens, stellen gemeinsam das Striatum (den Streifenkörper) dar. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Kontrolle von Willkürbewegungen und stehen in engem synaptischen Kontakt mit dem Cortex cerebri (Costandi, 2015, S. 29; Schandry, 2011, S. 212; Thompson, 2001, S. 318). Zur Rolle der Basalganglien bei der Bewegungsausführung gibt es nach Costandi (2015, S. 29) zwei Hypothesen. Zum einen liegt die Vermutung nahe, dass die Basalganglien verschiedene Bewegungsmuster erschaffen, welche daraufhin vom Cortex ausgeführt werden. Anschließend belohnen sie die erfolgreichsten Resultate eines Bewegungsmusters mit einem Dopaminsignal. Zum anderen führen neuere Forschungen zu der Annahme, dass die Basalganglien schnell neue Fertigkeiten durch das Überwachen der Bewegungsvarianten erlernen, um im Anschluss daran den Cortex zum Auswählen der besten Bewegungsoption zu trainieren.

Um komplexe Bewegungsabläufe exakt auszuführen, muss die Hemmung von Begleitbewegungen (wie bspw. das Schwingen der Arme beim Gehen) unterdrückt werden

können, was vor allem über die hemmenden und aktivierenden Kerngebiete der Basalganglien geschieht. Eine Aktivierung der Basalganglien wirkt daher insgesamt aktivierend. Es wird angenommen, dass die hemmenden Impulse großteils vom Striatum ausgehen. Denkt man an das Klavierspiel, wird uns durch das Striatum das notwendige separate Bewegen eines einzelnen Fingers zum richtigen Zeitpunkt ermöglicht. Dabei wird die Hemmung der erwünschten Begleitbewegung (das gezielte Ansteuern der einzelnen Finger) unterdrückt. Gerade am Anfang fällt dies häufig etwas schwer und muss erst erlernt werden (Schandry, 2011, S. 212). Für Pritzel, Brand und Markowitsch (2009, S. 277) haben die Basalganglien „höchstwahrscheinlich an kognitiven Aspekten unserer Bewegungskontrolle Anteil und sind in die Planung und Ausführung komplexer, motorischer Strategien einbezogen. In diese fließen [...] auch emotionale und motivationale Aspekte unseres Verhaltens mit ein“.

Neben der genaueren Betrachtung bestimmter Cortexareale und der Basalganglien für die Bewegungsdurchführung und für die Abstimmung der Vorlast und Ausrichtung der Halte- und Stützmotorik muss die bewegungssteuernde Bedeutung des Kleinhirns (Cerebellums) untersucht werden.

Das Cerebellum hat für die Bewegungskoordination, Bewegungskontrolle und für das Gleichgewicht besondere Wichtigkeit, da es sensorische Signale mit Informationen der motorischen Cortexareale verbindet. Außerdem ist das Kleinhirn für das motorische Lernen, die zeitliche Abstimmung und die Genauigkeit der Bewegungsausführung entscheidend. Am Beginn erfordert das Erlernen einer motorischen Fertigkeit noch sehr viel Aufmerksamkeit, doch sobald man diese erlernt hat, lässt sich die Bewegung beinahe unbewusst und ohne großer Mühen ausführen. Diese Eigenschaft kann vor allem auf das Cerebellum zurückgeführt werden, in dessen Schaltkreise die erlernten Bewegungen einprogrammiert werden. Alkohol stört diese Schaltkreise erheblich und führt aufgrund seiner Wirkung auf das Cerebellum zum typischen „Schwanken“ beim Gehen (Costandi, 2015, S. 30). Während also die Basalganglien für einen groben Bewegungsentwurf sorgen, „unterstützt uns das Cerebellum bei der Berechnung der Lage unserer Körperteile im Raum und hinsichtlich Kraft und Richtung, mit der sie zielgenau am gewünschten Punkt ankommen bei gleichzeitiger Wahrung und Kontrolle über unseren Stand und Gang“ (Pritzel, Brand, & Markowitsch, 2009, S. 277 f.).

Nachdem verschiedene für die Planung, Ausführung und Kontrolle von Bewegungen entscheidende Gehirnstrukturen vorgestellt wurden, erfolgt eine Beschreibung der Beteiligung des Rückenmarks an der Bewegungsausführung.

Um die Skelettmuskulatur (siehe Kapitel 3.1.1) in Gang zu bringen, sind die spinalen Motoneuronen von großer Bedeutung. Diese innervieren im Vorderhorn des Rückenmarks

die Skelettmuskulatur und werden als periphere Motoneuronen bezeichnet. Dadurch wird eine Abgrenzung zu den übergeordneten zentralen Motoneuronen ermöglicht, welche dem Rückenmark erst den Input vom Gehirn liefern. Die peripheren Motoneuronen sind also direkt an der Steuerung der Muskelkontraktion beteiligt, während die zentralen Motoneuronen des Gehirns dem Rückenmark erst den Input liefern (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 472 f.). Die peripheren Motoneuronen kommunizieren über spezialisierte Synapsen, den neuromuskulären oder motorischen Endplatten, mit ihren dazugehörigen Muskeln. Fasst man ein einzelnes Motoneuron und seine dazugehörigen Muskelfasern, welche vom Motoneuron kontrolliert werden, zusammen, spricht man von einer motorischen Einheit. Wollen wir eine gezielte Bewegung durchführen, planen wir diese zuerst im Gehirn, leiten die Kommandos zur Bewegungsausführung das Rückenmark hinab und geben diese über die motorische Endplatte an den Muskel weiter (Costandi, 2015, S. 30 f.). Wie aber bereits am Anfang dieses Kapitels anhand des „Hühner-Beispiels“ illustriert, kann das Rückenmark koordinierte Muskelkontraktionen auch in Eigenregie einleiten (sogenannte „Reflexe“), ohne dabei das Gehirn zu beteiligen (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 470; Costandi, 2015, S. 31).

3.3 Zusammenhang von Bewegung und Kognition – wie Bewegung das neuronale Netz unseres Gehirns verändert

Noch bis vor wenigen Jahren lag keine aussagekräftige Studie vor, welche die Meinung widerlegte, dass das Gehirn ein unveränderbares Organ sei, in welchem keine neuen Nervenzellen gebildet werden konnten und die Durchblutung sowie der Stoffwechsel im Gehirn unabhängig vom übrigen Körper verliefen. Erst Dank neuerer Untersuchungsmethoden, z. B. der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT) oder der Positronen-Emissionstomografie (PET), konnte von Eriksson im Jahr 1998 festgestellt werden, dass sich Neuronen im Gehirn, vor allem im Hippocampus, das ganze Leben lang neu bilden können (Voll & Buuck, 2005, S. 1; Eriksson, et al., 1998, p. 1313). Dazu erklärten Eriksson et al. (1998, p. 1315): „Our study demonstrates that cell genesis occurs in human brains and that the human brain retains the potential for self-renewal throughout life.“ Diese wissenschaftliche Studie bot Anreiz für viele neue Untersuchungen. Noch war unklar, ob diese neu gebildeten Zellen, welche teilweise die Charakteristik eines Neurons besaßen, auch wie solche funktionierten. Eriksson et al. (1998) führten dazu weiter aus:

„Although our results demonstrate that cells in the adult brain undergo cell division and that some of the newly generated cells can survive and differentiate into cells with morphological and phenotypic characteristics of neurons, we have not proven that these newly generated cells are functional“ (Eriksson, et al., 1998, p. 1315).

Heute gilt das Gehirn als plastisches und flexibles Organ, welches je nach Gebrauch geformt wird – es ist somit eher mit Knetmasse vergleichbar, als mit Porzellan. Ähnlich einem Muskel, der je nach Krafteinsatz geformt wird, kann man sich die Plastizität des Gehirns vorstellen.

Ratey und Hagerman (2013, S. 50) sprechen sich ausdrücklich dafür aus, dass Bewegung die Gehirnfunktion durch eine Anpassung der Synapsen, Nervenzellen und Gehirnarealen verbessern kann. Diese Eigenschaft gilt für jene Autoren als Grundvoraussetzung, um die Optimierung der Gehirnfunktion durch Bewegung zu verstehen. Die Verbindung von Gehirnzellen oder Neuronen stellt also kein fest verdrahtetes Netz dar, sondern vielmehr kann es sich je nach gegebenem Input anpassen, verändern oder eine neue Form annehmen (Ratey & Hagerman, 2013, S. 50). Dieser Aspekt lässt bereits den komplexen und verstrickten Wirkungszusammenhang von Bewegung und Kognition erahnen. Voll und Buuck (2005, S. 2) stellen dazu fest: „Bei jedem Gedanken, jedem Wahrnehmungsvorgang und jeder Bewegung werden Nervenzellen aktiviert. Dabei verzweigen sich die Dendriten und bilden an den Verbindungsstellen neue Synapsen im Gehirn, so dass sich die Nervenzellen zu Informationsnetzen verschalten.“

Neben Veränderungen der Verbindungen von Gehirnzellen oder Neuronen kommt es auch zur Neubildung von Nervenzellen (Neurogenese). Bei der Neurogenese kann hervorgehoben werden, dass sich nicht nur die Neuronenzahl ändert, sondern sich diese neugebildeten Neuronen hinsichtlich Qualität und Funktionalität zu den anderen Neuronen unterscheiden können. Trotzdem wird vermutet, dass die durch Bewegung angeregten neugebildeten Neuronen im Hippocampus (siehe Kapitel 3.1.2) bei Lern- und Gedächtnisvorgängen eine entscheidende Rolle spielen (Voll & Buuck, 2005, S. 2 f.). Auch Bear, Connors und Paradiso (2008, S. 900) weisen deutlich darauf hin: „Lernen und Gedächtnis erfolgen durch Veränderungen an Synapsen.“

Diese Bildung von Nervenzellen und von synaptischen Verbindungen muss in einem ausgewogenen Gleichgewicht zur Eliminierung von Zellen und Synapsen erfolgen, damit sich die Hirnfunktion richtig entwickeln kann. Die synaptische Kapazität (jene Anzahl an Synapsen, welche ein Neuron an seinem Zellkörper und seinen Dendriten beherbergen kann) ist beispielsweise im visuellen Cortex eines Kleinkindes noch eineinhalbmal höher als bei einem Erwachsenen (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 798-800). Grundsätzlich weist der Mensch bei der Geburt einen Überschuss an Neuronen und synaptischen Verschaltungen auf, welche in einem selektiven Prozess erhalten und verstärkt oder abgebaut werden (Braun & Meier, 2004, S. 513; Pauen, 2004, S. 525). „Aus dem Überangebot an neuronalen Verschaltungen werden diejenigen Synapsen, die durch frühe Erfahrungen und Lernprozesse häufig und stark aktiviert werden, selektiv erhalten und

verstärkt, während die Verbindungen, die selten, nur schwach oder gar nicht aktiviert werden, abgebaut werden“ (Braun & Meier, 2004, S. 513). Lernen kann also sowohl zu einer Zunahme, als auch zu einer Abnahme anderer Synapsen – nach dem Motto „Use it or lose it“ – führen.

Nachdem in der vorliegenden Arbeit die Untersuchung des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition bei Kindern im Alter von 10 bis 14 Jahren im Zentrum steht, wird auf die altersbedingten „Möglichkeiten“ der Plastizität hingewiesen. Während dem erwachsenen Gehirn gewisse Grenzen gesetzt sind, können bei Kindern noch größere Veränderungen und Verfeinerungen der synaptischen Verschaltungen im Gehirn wahrgenommen werden (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 798, 899; Tomporowski, Lambourne, & Okumura, 2011, p. 9). Nichts desto trotz belegen aktuelle Forschungsergebnisse, dass auch im adulten Gehirn noch „Veränderungen der Struktur von Axonterminalen oder der Effizienz ihrer Synapsen“ möglich sind (Bear, Connors, & Paradiso, 2008, S. 899).

Neben der Veränderung der synaptischen Verschaltungen erfolgt durch körperliche Aktivität eine Erhöhung der Konzentration an Neurotransmittern (Botenstoffen), deren bedeutende Funktion als Informationsübermittler von einem Neuron zum anderen bereits in Kapitel 3.1.5.2 behandelt wurde. Obwohl die Wissenschaft viele Neurotransmitter kennt, stehen in Zusammenhang mit den Auswirkungen von Bewegung auf die geistige Leistungsfähigkeit besonders die Neurotransmitter Serotonin, Dopamin und Noradrenalin im Fokus. Die durch Bewegung hervorgerufene erhöhte Konzentration an Dopamin und Noradrenalin kann bei einem Überschuss eine gesteigerte körperliche Aktivität begünstigen. Liegt ein Mangel dieser Neurotransmitter vor, kann dies zu Antriebslosigkeit und Unlust führen. Die erhöhte Serotonin-Konzentration reduziert Angstzustände und fördert das Selbstvertrauen. Körperliche Aktivität wirkt folglich durch die Konzentrationsveränderung der Neurotransmitter auf das menschliche Verhalten und auf Lern- und Gedächtnisvorgänge ein (Boos, 2010, S. 102; Voll & Buuck, 2005, S. 3 f.).

Dazu gibt es jedoch auch kritische Stimmen wie jene von McMorris (2009, pp. 41-68), welche sich speziell mit der Rolle von Katecholamine (wie Noradrenalin, Adrenalin und Dopamin), Cortisol und Serotonin (5-Hydroxytryptamin, 5-HT) beschäftigt. Die Autorin (McMorris, 2009, p. 47) hält fest: „Exercise is a stressor and will, therefore, affect brain concentrations of catecholamines, 5-HT [Serotonin] and cortisol in the same way as any other stressor.“ Nachfolgend deutet McMorris (2009, p. 47) aber an, dass sich jener durch Bewegung hervorgerufene Stress doch wesentlich komplexer gestaltet, als vorerst angenommen. Theoretisch gesehen würde zwar die Annahme auf der Hand liegen, dass die erhöhte Konzentration an Neurotransmittern wie Noradrenalin und Dopamin im Gehirn

mit einer verbesserten Leistung in jenen spezifischen Wirkungsbereichen, der Reaktionszeit und des Arbeitsgedächtnisses, einhergehen würde. Diese Hypothese kann McMorris (2009) jedoch nicht ohne genauerer Analyse bestätigen. Wie vorhin beschrieben, ist Bewegung ein Stressor, wodurch das limbische System, speziell die Amygdala („Mandelkern“), aktiviert wird. Noradrenalin, Dopamin und Serotonin sind dabei die hauptsächlichen Neurotransmitter.

„Noradrenaline and dopamine are also the main neurotransmitters for the premotor cortex and supplementary motor areas, which control movement. So not all of the noradrenaline and dopamine can be allocated to the prefrontal cortex, basal ganglia and related areas, when cognition takes place during the physical activity“ (McMorris, 2009, p. 63).

Demnach können für McMorris (2009) Noradrenalin und Dopamin nicht vorrangig dem präfrontalen Cortex, welcher in Kapitel 3.1.2 als Sitz des Arbeitsgedächtnisses und der allgemeinen Intelligenz beschrieben wurde, den Basalganglien und verwandten Bereichen zugewiesen werden, sondern dienen auch dem prämotorischen Cortex (siehe Abbildung 3) und dem supplementär-motorischen Cortex.

Die moderate Steigerung der Aktivierung des limbischen Systems kann aufgrund der erhöhten Erregung zu einer verbesserten kognitiven Leistung führen. Bei darüber hinausgehender Aktivierung der Amygdala wird jedoch von einem negativen Effekt ausgegangen (McMorris, 2009, p. 63).

Neben diesen Auswirkungen (Bildung neuer Nervenzellen und synaptischer Verbindungen, sowie erhöhte Konzentration spezieller Neurotransmitter) wird angenommen, dass sich bei körperlicher Aktivität die Durchblutung in bestimmten Gehirnarealen erhöht. Dies führt zu einer besseren Sauerstoffversorgung des Gehirns (Boos, 2010, S. 102; Kehne, 2011, S. 99; Voll & Buuck, 2005, S. 1). Aus dieser geht für Voll und Buuck (2005, S. 1) eine verbesserte Konzentrationsfähigkeit und eine Senkung des Stresshormonspiegels hervor. Wie bereits anfangs dargelegt wurde, umfasst das Thema Bewegung und Kognition auch das Musizieren. So ist etwa während des Klavierspielens die zerebrale Durchblutung um 30 % höher als im Ruhezustand. Beide Hände machen gemeinsam zwar nur rund 2 % der Körpermasse aus, sind aber in zirka 60 % des Cortex cerebri repräsentiert. Diese Repräsentation in der Großhirnrinde kann durch vermehrte bewegungstypische Beanspruchung des zugehörigen Köperteils vergrößert werden. Durch diese Untersuchung konnte verdeutlicht werden, dass Fingerbewegungen in beinahe 60 % der Großhirnfläche eine Durchblutungssteigerung um 20 bis 30 % bewirken können (Hollmann & Strüder, 2003, S. 265).

3.4 Zwischenfazit

In diesem Kapitel wurden jene Strukturen und Funktionen des menschlichen Organismus genauer beleuchtet, welche für ein umfassendes Verständnis des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition erforderlich sind. Außerdem wurden die motorische Steuerung, das Zusammenspiel der verschiedenen Strukturen und Gehirnregionen zur Kontrolle der Skelettmuskulatur und die Auswirkungen von Bewegung auf das neuronale Netz des Gehirns beleuchtet. Somit stellte dieses Kapitel die Grundlage für weitere Ausführungen zum Zusammenhang und den Auswirkungen von Bewegung auf kognitive Leistungen bei Heranwachsenden dar.

Besonders festzuhalten ist, dass körperliche Aktivität neben der Bildung von Nervenzellen und von synaptischen Verbindungen auch eine gesteigerte Konzentration spezieller Neurotransmitter begünstigt. Überdies wird eine erhöhte Gehirndurchblutung angenommen, was zu einer besseren Sauerstoffversorgung des Gehirns führt.

4 Situationsanalyse – neueste Erkenntnisse und Studien zum Einfluss von Bewegung auf die geistige Leistungsfähigkeit von Kindern

Die vorhergehenden Kapitel dienen der Orientierung und bieten einen Überblick über wichtige Begrifflichkeiten und neurologische Gegebenheiten und Vorgänge. Damit wird der Grundstein für dieses Kapitel gelegt.

Hier werden aktuelle wissenschaftliche Studien ab dem Publikationsjahr 2000 zusammengetragen, analysiert und zusammengefasst. Anhand dieser Studien wird in den jeweiligen Unterkapiteln, welche sich durch klare Fragestellungen definieren, jeweils ein bestimmter Aspekt des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition bei Kindern im Alter von 10 bis 14 Jahren untersucht. Dafür werden Informationen und Ergebnisse der gefundenen und den Selektionskriterien entsprechenden Studienergebnisse herangezogen.

Eine umfassendere Formulierung dieser Kapitelüberschrift könnte auch folgendermaßen lauten: „Situationsanalyse – neueste Erkenntnisse und Studien ab dem Publikationsjahr 2000 zum Einfluss von Bewegung auf die geistige Leistungsfähigkeit von Kindern im Alter von 10 bis 14 Jahren“.

4.1 Kann durch körperliche Aktivität die geistige Leistungsfähigkeit signifikant beeinflusst werden?

Eine Vielzahl an Studien (Erickson & Hohmann, 2013) berichtet von einem positiven Zusammenhang körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit bei älteren Menschen. Auch Marmeleira (2012) fasst in seinem Review zusammen:

“Physical activity positively influences brain health and cognitive functioning in older adults. Several physiological and psychological mechanisms have been identified to underlie such a relationship. Cardiovascular fitness is accompanied with changes in mechanisms such as cerebral blood flow, neurotrophic factors, neurotransmitter systems and neural architecture that have themselves been associated with cognitive performance” (Marmeleira, 2012, p. 83).

Des Weiteren konstatieren aktuelle Studien (Chaddock, Voss, & Kramer, 2012; Erickson & Hohmann, 2013), dass Bewegung eine altersbedingte Atrophie des Cortex und der subkortikalen Strukturen und das Eintreten einer sich entwickelnden Demenz verzögern kann. Ein erst kürzlich erschienener Artikel von Paillard (2015, p. 5) unterstreicht: „Regular

aerobic exercise can limit cognitive decline and the risk of dementia as a result of various neurobiological mechanisms".

In weitaus spärlicherem Ausmaß liegen jedoch Studien zur Auswirkung von Bewegung auf die geistige Leistungsfähigkeit bei Kindern vor. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine weitere Eingrenzung auf das präpubertäre Alter von Kindern von 10 bis 14 Jahren vorgenommen.

Die Ergebnisse wissenschaftlicher Studien sind vielseitig und reichen von einer signifikanten Auswirkung von Bewegung auf die kognitive Leistung bei Kindern bis hin zu einem nicht signifikanten und sehr selten, bis zu einem negativen Zusammenhang. Um diese Studien und deren Ergebnisse möglichst geordnet darzustellen, erfolgt eine Einteilung in drei Bereiche gemäß dem Studiendesign in Metaanalysen und Reviews, Querschnitts- und Korrelationsstudien sowie Längsschnitt- und Interventionsstudien.

Um die Übersicht zu wahren, werden die Studienergebnisse außerdem hinsichtlich der Jahreszahl chronologisch und bei mehreren Studien gleichen Jahrganges nach alphabethischer Reihenfolge der Nachnamen der Autor(inn)en sortiert. Länger zurückliegende Forschungserkenntnisse werden zuerst beleuchtet, um eine schrittweise Aufzeichnung der Entwicklung bis hin zum heutigen Forschungsstand des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition bei Kindern zu erlauben.

4.1.1 Metaanalysen und Reviews

Grundbestandteile der vorliegenden aktuellen Metaanalysen und Reviews sind eine Vielzahl an Quer- und Längsschnittstudien, welche die Auswirkung von langfristiger oder von kurzzeitiger körperlicher Aktivität und Fitness auf die kognitive Leistungsfähigkeit zu erfassen versuchen. Dabei ist das Design der inkludierten einzelnen Studien auch hinsichtlich der Verfahren zur Messung der kognitiven Leistungsfähigkeit und der körperlichen Aktivität sehr unterschiedlich, was eine Herausforderung beim Vergleich der Studien darstellt.

Für die Bearbeitung der Forschungsfrage, ob durch körperliche Aktivität die geistige Leistungsfähigkeit signifikant beeinflusst werden kann, konnten vier klar als Metaanalysen (engl. „Meta-Analysis“) definierte Untersuchungen gefunden werden und insgesamt dreizehn klassische und systematische Übersichtsarbeiten (engl. „Literature Reviews“ und „Systematic Reviews“). In all diesen Reviews und Metaanalysen wurden Studien betrachtet, welche sich mit Kindern und Jugendlichen beschäftigten. Der Altersbereich von 10 bis 14 Jahren lag, falls nicht explizit hervorgehoben, im Fokus der Untersuchungen. Die Methode der Aufarbeitung des publizierten Wissens bestimmt, ob es sich dabei um ein klassisches oder systematisches Review oder um eine Metaanalyse handelt.

Bei klassischen Übersichtsarbeiten liegt der Vorteil darin, einen sehr breiten Überblick über ein Thema zu erhalten. Dabei genießen die Autor(inn)en einen höheren Grad an Freiheiten sowohl die Literaturauswahl betreffend, als auch hinsichtlich der Bewertung der Daten. Klassische Übersichtsarbeiten können dadurch subjektiv gefärbt sein, was in systematischen Literaturarbeiten nach Möglichkeit vermieden wird. Bei systematischen Literaturarbeiten wird bereits in der Recherche jene Strategie, mit welcher die Literatursuche erfolgt, festgehalten und als wichtiger Teil der Methodik offen dargelegt. Hinzugefügt kann dieser eine Metaanalyse werden, muss jedoch nicht. Bei einer Metaanalyse von publizierten Daten werden die Ergebnisse durch statistische Methoden quantitativ zusammengefasst und ausgewertet (Al-Nawas, Baulig, & Krummenauer, 2010, S. 400-402; Ressing, Blettner, & Klug, 2009, S. 457).

Beginnend mit den Metaanalysen können chronologisch geordnet folgende angeführt werden: Metaanalyse von Etnier et al. (1997), von Sibley und Etnier (2003), Ahn und Fedewa (2011) und von Chang, Labban, Gapin und Etnier (2012).

Obwohl die Metaanalyse der Arbeitsgruppe um Etnier et al. aus dem Jahr 1997 nicht dem angestrebten Untersuchungsbereich ab dem Publikationsjahr 2000 entspricht, wird sie dennoch herangezogen, da diese häufig auch in aktuellen Untersuchungen zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition Erwähnung findet (u. a. Chang et al., 2012; Ellemborg & St-Louis-Deschênes, 2010; Guiney & Machado, 2013).

In dieser umfassenden Metaanalyse von Etnier et al. (1997) mit dem Publikationstitel „The Influence of Physical Fitness and Exercise Upon Cognitive Functioning: A Meta-Analysis“ werden 134 Studien analysiert und verglichen. Das Ergebnis deutet auf einen geringfügigen signifikanten positiven Effekt (Effektstärke (ES) = 0,25) von körperlicher Aktivität und Fitness auf die kognitive Leistungsfähigkeit hin. Diese Metaanalyse schließt sowohl Studien mit Proband(inn)en aller Altersgruppen, als auch die Auswirkungen auf die kognitiven Leistungen nach kurzzeitigen (engl. „acute exercise“), sowie nach langfristigen körperlichen Aktivitäten (engl. „long-term exercise“ oder „chronic exercise“) ein. Während kurzzeitige körperliche Aktivitäten einen geringen Effekt (ES = 0,16) zeigen, weisen langfristige Bewegungsprogramme einen stärkeren Effekt (ES = 0,33) auf. Bei Querschnitts- bzw. Korrelationsstudien konnten mit einer Effektstärke von ES = 0,53 die stärksten Effekte festgestellt werden. Hier darf jedoch an die limitierenden Faktoren von Querschnittsstudien gedacht werden, wonach diese kognitiven Leistungsunterschiede nicht erst durch die Bewegungsintervention auseinanderdriften können, sondern bereits zuvor erkennbar gewesen wären. Es besteht die Annahme, dass sich Personen mit einem höheren Ausbildungsgrad und welche einen höheren sozioökonomischen Status genießen, tendenziell eher zu einer bewegungsorientierten Lebensweise bekennen. Somit gehen

Ursache und Wirkung des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition aus vielen dieser Querschnitts- und Korrelationsstudien nicht klar hervor. Die Arbeitsgruppe um Etnier et al. (1997) fasst dennoch ihre Untersuchungsergebnisse mit folgenden Worten zusammen:

„exercise may not have a meaningful impact on cognition when it is administered in acute bouts, but exercise that is administered as a chronic treatment to produce fitness gains, or exercise that has been adopted by an individual for a sufficiently long period of time to produce fitness gains, may be a useful intervention for enhancing cognitive abilities“ (Etnier, et al., 1997, p. 266 f.).

Somit legt diese Metaanalyse die Vermutung nahe, dass besonders langfristige körperliche Bewegungsprogramme für kognitive Leistungen förderlich sind.

Diese Ergebnisse boten Anreiz für weitere Untersuchungen, woraufhin Sibley und Etnier (2003) eine Metaanalyse speziell für das Kindes- und Jugendalter durchführten (und deshalb für diese Arbeit von besonderer Bedeutung ist).

Analysiert wurden 44 Studien, in welchen das Alter der Proband(inn)en zwischen 4 und 18 Jahren lag. Eine genauere Differenzierung erfolgte in vier Altersgruppen, in 4 bis 7-jährige, 8 bis 10-jährige, 11 bis 13-jährige und 14 bis 18-jährige Kinder und Jugendliche. Wesentliche Charakteristika der Messung der kognitiven Fähigkeiten, sowie die Art (Ausdauer-, Krafttraining, Schulsportunterricht oder psychomotorisches Training) und die Ausprägung (langfristige oder kurzzeitige Bewegungsaktivitäten) der körperlichen Aktivität blieben an die Metaanalyse von Etnier et al. (1997) angelehnt und unterscheiden sich nur wenig. Die kognitiven Fähigkeiten wurden dabei von Sibley und Etnier (2003) für die Bewertung in acht Kategorien zusammengefasst: Wahrnehmung, Intelligenz, schulische Leistung, Gedächtnis, allgemeiner Entwicklungsstand (Schulreife), verbale als auch mathematische Fähigkeiten und Sonstige (z. B. Kreativität und Konzentrationsfähigkeit). Insgesamt konnten die gesammelten Daten einen signifikanten positiven Zusammenhang ($ES = 0,32$) von Bewegung und Kognition bei Heranwachsenden in allen Bereichen, außer dem Gedächtnis, im Alter von 4 bis 18 Jahren belegen. Ein deutlicher Unterschied zwischen langfristigen körperlichen Bewegungsprogrammen und kurzzeitigen Bewegungsaktivitäten konnte jedoch von Sibley und Etnier (2003) entgegen dem Ergebnis der Studie von Etnier et al. (1997) nicht mehr festgestellt werden. Ebenfalls als wenig entscheidend stellte sich die Art der körperlichen Aktivität, gleichbleibend ob Ausdauer-, Krafttraining, Schulsportunterricht oder psychomotorisches Training, heraus.

Ein Unterschied konnte bezüglich der verschiedenen Altersgruppen aufgezeichnet werden. Die stärksten Effekte $ES = 0,48$ zeigten Kinder in der präpubertären Zeit im Alter von 11 bis 13-jährigen (middle school), gefolgt von 4 bis 7-jährigen (early elementary school) mit einer Effektstärke von 0,40. Dabei wird bei Kindern in der präpubertären Phase eher von einem

indirekten Einfluss von Bewegung auf Kognition ausgegangen, indem das Selbstwertgefühl gestärkt und Angst abgebaut wird. Das Ergebnis der 4 bis 7-jährigen Kinder überrascht weniger, da in dieser Altersgruppe dem Lernen durch Bewegung und durch das aktive Sammeln von Bewegungserfahrungen ohnehin eine größere Bedeutung beigemessen wird. Durch die Metaanalyse von Sibley und Etnier (2003) wird deutlich, dass es bei Kindern einen signifikanten positiven Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit gibt. Dieser Zusammenhang scheint bei den Heranwachsenden mit einer Effektstärke von 0,32 stärker zu sein, als jener welcher von Etnier et al. (1997) für alle Altersgruppen mit einer Effektstärke von 0,25 ermittelt wurde.

Nachdem bereits von Sibley und Etnier (2003) der indirekte Einfluss von Bewegung auf Kognition bei vorpubertären Kindern erwähnt wurde, konnten in einer aktuelleren Metaanalyse von Ahn und Fedewa (Ahn & Fedewa, 2011) 73 Studien zum Zusammenhang körperlicher Aktivität auf die geistige Gesundheit von Kindern beleuchtet werden. Dabei wird ein kleiner, aber doch signifikanter Zusammenhang von körperlicher Aktivität auf eine verbesserte mentale Gesundheit vermerkt. Neben den von Sibley und Etnier (2003) genannten positiven Auswirkungen auf ein gestärktes Selbstwertgefühl und verminderter Angst werden von Ahn und Fedewa (2011) auch reduzierte Depressionen, psychische Leiden und Gemütsstörungen hinzugefügt.

Chang, Labban, Gapin und Etnier (2012) analysieren anhand von 79 relevanten Studien die Effekte einer einzelnen Bewegungseinheit auf die kognitiven Leistungen bei Menschen jeden Alters (inklusive Kinder und älterer Personen). Diese Forschungsarbeit liegt der Prämisse zugrunde, dass durch Bewegung physiologische Veränderungen ausgelöst werden, welche sich auf die kognitiven Funktionen auswirken. Die Ergebnisse der Metaanalyse deuten darauf hin, dass Bewegung die Leistung beim Lösen kognitiver Aufgaben während oder knapp nach der Bewegungseinheit begünstigt. Wie stark sich dieser positive Effekt auf die kognitive Leistungsfähigkeit auswirkt, hängt von einer Reihe an Faktoren ab. Generell kann von einem größeren Effekt bei fitten Individuen ausgegangen werden, welche körperliche Aktivität für 20 Minuten oder länger ausführen. Obwohl viele von Chang et al. (2012) untersuchten Studien die Tageszeit, zu welcher die Testung durchgeführt wurde, nicht nannten, konnte von denjenigen, welche sie vermerkten, geschlossen werden, dass eine Bewegungseinheit am Morgen größere Effekte zeigte, als am Nachmittag oder Abend/Nacht. Hinsichtlich der Bewegungsintensität konnten Chang et al. (2012) herausfinden, dass bei der Bewältigung der kognitiven Aufgabenstellungen während der Bewegung jede Intensität zu einem positiven Effekt führt. Wird die Überprüfung der kognitiven Leistungen jedoch unmittelbar nach der Bewegungseinheit gestartet, führen leichtere Bewegungsintensitäten zu einem größeren

Vorteil. Hohe Intensitäten scheinen dann die geeignetsten zu sein, wenn der Test nicht unmittelbar auf die Bewegung, sondern erst nach einer kurzen Verzögerung erfolgt. In Anbetracht der Ergebnisse weisen Chang et al. (2012) darauf hin, dass sich bestimmte physiologische Mechanismen erst nach einer gewissen Bewegungsdauer zeigen. Um Auswirkungen auf kognitive Leistungen feststellen zu können, muss zunächst eine ausreichend hohe Veränderung physiologischer Faktoren erreicht werden. Die Autor(inn)en berichten neben dem positiven Effekt auf die kognitiven Leistungen bei Bewegungseinheiten von über 20 Minuten auch von einem negativen Effekt, wenn die Bewegungsdauer unter 20 Minuten (11 bis 20 Minuten) liegt. Welche Mechanismen konkret für die positiven Effekte auf die geistigen Leistungen zuständig sind, gilt es nach Chang et al. (2012) in zukünftigen Untersuchungen noch zu klären.

Bei der Suche nach Reviews wurde darauf geachtet, besonders aktuelle heranzuziehen, um einen Überblick über den neuesten Forschungsstand von Bewegung und Kognition bieten zu können. Dabei konnten ab dem Jahr 2007 insgesamt vierzehn Reviews, sowohl klassische, als auch systematische, gefunden werden. Jede dieser Übersichtsarbeiten entspricht dem Kriterium, dass der Fokus speziell auf Kinder im Schulalter liegt. An erster Stelle wurden die Reviews der Jahreszahl entsprechend chronologisch und bei gleichen Jahrgängen in alphabethischer Reihenfolge der Nachnamen der Autor(inn)en geordnet: Tomporowski, Davis, Miller und Naglieri (2008), Trudeau und Shephard (2008), Best (2010), Rasberry et al. (2011), Tomporowski, Lambourne und Okumura (2011), Chaddock, Voss und Kramer (2012), Guiney und Machado (2013), Hillman und Schott (2013), Lees und Hopkins (2013), Khan und Hillman (2014), Jansen (2014), Dadaczynski und Schiemann (2015), Hillman, Khan und Kao (2015) und Tomporowski, McCullick, Pendleton und Pesce (2015).

Aus der Übersichtsarbeit von Tomporowski, Davis, Miller und Naglieri (2008) geht hervor, dass Bewegung bei Kindern vor allem die exekutiven Funktionen fördert. Unter exekutiven Funktionen verstehen die Autor(inn)en „processes required to select, organize, and properly initiate goal-directed actions“ (Tomporowski, Davis, Miller, & Naglieri, 2008, p. 126). Die exekutiven Funktionen sind somit daran beteiligt, zielgerichtete Handlungen in komplexen und/oder neuen, sich ändernden Situationen auszuführen. Diesen gesteigerten exekutiven Funktionen werden neben einer positiven Auswirkung auf die geistige Leistungsfähigkeit auch positive Effekte auf die soziale Entwicklung zugesprochen. Tomporowski et al. (2008) fügen dem hinzu, dass sich Kinder nicht in einem sozialen Vakuum entwickeln. Es macht somit einen Unterschied hinsichtlich der kognitiven Leistungen, ob Kinder mit einer Gruppe oder alleine trainieren. Altersabhängig betätigen sich Kinder in verschiedenen Teamsportarten, welche die Auswirkungen auf die kognitiven Leistungen beeinflussen.

Ältere Kinder betätigen sich häufig bei Gruppenaktivitäten wie Basketball, welche taktische Überlegungen und Planungen fordern. Jüngere Kinder tendieren eher zu einfacheren Spielen, wie dem Fangenspiel. Tomporowski et al. (2008) gehen folglich davon aus, dass ein positiver Zusammenhang zwischen Bewegung und Kognition besteht. Angemerkt sei jedoch, dass bei der Erforschung dieses Zusammenhangs bei Heranwachsenden noch vieles, wie etwa der Einfluss von Dauer, Art, Häufigkeit oder Intensität der Bewegung, weitgehend ungeklärt ist. Auf diesen Forschungsbedarf weisen auch Sibley und Etnier (2003) und Trudeau und Shephard (2008) hin. Bezüglich der Beantwortung der Fragen, welche konkreten physiologischen Vorgänge für den Einfluss von Bewegung auf kognitive Leistungen verantwortlich sind und auf welche kognitiven Bereiche Bewegung signifikante Effekte zeigt, steckt dieses Forschungsgebiet jedoch noch in ihren Kinderschuhen (mehr dazu unter Kapitel 4.2 und Kapitel 4.3).

Trudeau und Shephard (2008) versuchen mit der Analyse mehrerer Querschnitts- als auch Längsschnittstudien, diese noch ungelösten Fragen beantworten zu können. Sie schließen dabei Studien ein, welche den Einfluss schulbezogener körperlicher Aktivitäten auf verschiedene Bereiche schulischer Leistungen untersuchen. Unter schulbezogenen körperlichen Aktivitäten verstehen Trudeau und Shephard (2008, o. Seitenangabe) „physical education (PE), free school physical activity (PA) and school sports“. Aus dieser Übersichtsarbeit geht hervor, dass sich ein Hinzufügen schulischer Bewegungsprogramme in den Schulalltag nicht hinderlich auf akademische Leistungen der Schüler(innen) auswirkt, auch wenn diese zeitlich zulasten anderer Unterrichtsfächer gingen. Es wird angenommen, dass sich eine stärkere Gewichtung und Durchführung des bewegungszentrierten Unterrichts („physical education“), sowohl auf die körperliche Fitness, als auch auf den Notendurchschnitt positiv auswirkt. Besonderen Einfluss scheinen diese schulischen Bewegungsprogramme auf Konzentration, Gedächtnis (im Gegensatz zu Sibley und Etnier (2003)) und Verhalten der Schüler(innen) im Klassenzimmer zu haben. Zusammenfassend halten Trudeau und Shephard (2008) fest, zusätzliche schulische Bewegungsprogramme wirken sich auf die Gesundheit der Schüler(innen) positiv aus, ohne dabei die schulischen Leistungen negativ zu beeinflussen. „On the other hand, adding time to ‘academic’ or ‘curricular’ subjects by taking time from physical education programmes does not enhance grades in these subjects and may be detrimental to health“ (Trudeau & Shephard, 2008, o. Seitenangabe). Somit zieht eine Kürzung des bewegungszentrierten Unterrichts negative gesundheitliche Auswirkungen mit sich, ohne dabei jedoch positive Effekte auf gesteigerte akademische Leistungen aufweisen zu können.

Wie Tomporowski et al. (2008) feststellten, kann Bewegung die exekutiven Funktionen bei Kindern fördern. Zwei Jahre später untersuchte Best (2010) in seiner Übersichtsarbeit die

Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die exekutiven Funktionen bei Heranwachsenden. Ähnlich wie Tomporowski et al. (2008) beschreibt auch Best (2010) exekutive Funktionen als jene geistigen Prozesse, die für zielgerichtete kognitive Leistungen und für das Verhalten notwendig sind. Exekutive Funktionen entwickeln sich folglich erst im Laufe der Kindheit und Jugend. Den Ergebnissen der Forschungsarbeit zufolge geht Best (2010) von einer Verbesserung der exekutiven Funktionen sowohl nach kurzzeitigen Bewegungsaktivitäten, als auch nach langfristigem aeroben Training aus. Diese zwei Formen aeroben Trainings unterscheiden sich zwar hinsichtlich der physiologischen Veränderungen, die sie bewirken, dennoch begünstigen beide die exekutiven Funktionen. Nicht jede Form aeroben Trainings zieht dieselben positiven Wirkungen auf die exekutiven Funktionen bei Heranwachsenden mit sich. Kognitiv forderndes Training scheint einen größeren Effekt zu haben, als weniger kognitiv forderndes Training. Der Autor schließt daraus, dass allein durch aerobes Training die exekutiven Funktionen beeinflusst werden können, die Verbindung von aeroben Aktivitäten und kognitiven Anstrengungen jedoch einen noch größeren Effekt haben.

Für die Auswirkungen auf die exekutiven Funktionen scheint für Best (2010) auch das Alter der Kinder eine entscheidende Rolle zu spielen. Denn entgegen anderer Gehirnregionen, welche beispielsweise für die motorische und sensorische Verarbeitung oder für die Sprech- und Sprachentwicklung zuständig sind, reifen neuronale Schaltkreise im präfrontalen Cortex, welcher bei der Entwicklung exekutiver Funktionen eine Schlüsselfunktion einnimmt, erst sehr spät im Jugendalter (Shimamura, 2000). Wie bereits im vorigen Kapitel 3.3 erwähnt, passen sich diese neuronalen Schaltkreise besonders in den jungen Jahren an die jeweilige Situation und an die Erfahrungen, welche ein Kind macht, sehr schnell an. Dabei können synaptische Verbindungen verbessert oder reduziert werden. Für Best (2010) liegt die Schlussfolgerung nahe, dass der langwierige Prozess der kognitiven und neuronalen Entwicklung zu einem umfassenderen Verständnis beiträgt, warum sich aerobes Training auf die exekutiven Funktionen bei Heranwachsenden besonders stark auswirkt. Denn sowohl die exekutiven Funktionen, als auch die unterstützenden neuronalen Schaltkreise sind in der späten Kindheit und auch in der Jugend noch nicht fertig ausgebildet, was dazu führt, dass bestimmte Erfahrungen diese Entwicklung fördern oder vorübergehend ihre Funktion verbessern können. Als eine dieser Erfahrungen, welche eine positive Auswirkung auf die exekutiven Funktionen und die zugrunde liegenden neuronalen Schaltkreise zeigt, kann für Best (2010) das aerobe Training gesehen werden.

Aufhorchen lässt das Ergebnis der systematischen Übersichtsarbeit des Forscherinnenteams um Rasberry et al. (2011). Sie untersuchten die Verbindung zwischen

schulischer körperlicher Aktivität (einschließlich des bewegungszentrierten Unterrichts) und akademischer Leistung anhand von 43 Artikeln, welche sich auf 50 einzelne Studien stützten. Rasberry et al. (2011) schließen aus ihrer Studienanalyse, dass körperliche Aktivität entweder eine positive oder aber keine signifikant nachweisbare Auswirkung auf die akademische Leistung mit sich zieht. Zu diesem Schluss kommen sie, da nur knapp über der Hälfte (50,5 %) aller festgestellten Zusammenhänge körperlicher Aktivität und akademischer Leistung einen positiven Zusammenhang zeigten. Knapp unter der Hälfte lagen mit 48 % jene Verbindungen, welche sich als nicht signifikant herausstellten und lediglich 1,5 % wiesen einen negativen Zusammenhang auf. Durch diese Verteilung, dass es einen etwas stärkeren positiven Zusammenhang, als einen nicht signifikanten Zusammenhang gibt, und nur ein vernachlässigbarer Anteil von negativen Auswirkungen festgestellt wurde, kann angenommen werden, dass sich ein Hinzufügen schulischer körperlicher Aktivität nicht hinderlich auf die akademischen Leistungen auswirkt, sondern die akademischen Leistungen verbessern kann. Somit unterstützen die Erkenntnisse von Rasberry et al. (2011) die Ergebnisse des positiven Zusammenhangs von schulischen Bewegungsprogrammen und schulischer Leistung von Trudeau und Shephard (2008).

In der Untersuchung von Tomporowski, Lambourne und Okumura (2011) wurden Forschungsergebnisse zusammengetragen und analysiert, welche die Effekte von körperlichen Bewegungsprogrammen auf die mentalen Funktionen von Kindern beschreiben. Klar zeigte sich, dass diese für amerikanische Kinder geplanten Bewegungsinterventionen zum einen die körperliche Fitness und zum anderen aber auch die emotionale, soziale und intellektuelle Entwicklung fördern. Die Studienergebnisse lassen Tomporowski et al. (2011) darauf schließen, dass sich Training auf die Entwicklung mentaler und insbesondere exekutiver Funktionen auswirkt. Während diese Bewegungsinterventionen die mentalen Funktionen sowohl durch eine direkte Veränderung des Zentralnervensystems begünstigt, werden andere mit einem indirekten Zusammenhang in Verbindung gebracht, welcher von verschiedenen Faktoren, wie z. B. Gesundheits-, Trainingszustand, Alter, Geschlecht und psychosozialen Umständen, beeinflusst wird.

Chaddock, Voss und Kramer (2012) legen den Schwerpunkt ihrer Untersuchungen auf die Auswirkungen körperlicher Aktivität und Fitness auf Kognition und Gehirngesundheit sowohl in der Kindheit als auch im Alter. Mit diesem Review weisen die Autor(inn)en auf die Notwendigkeit einer Veränderung des zunehmend inaktiveren Lebensstils hin. Chaddock et al. (2012) betonen, dass Kindern mit einer gesteigerten aeroben Fitness und körperlichen Aktivität eine bessere akademische und kognitive Leistung zugeschrieben werden kann. Mögliche Gründe für diesen Leistungsunterschied bei der Bewältigung kognitiver Aufgaben

können in einem unterschiedlichen Hirnvolumen und unterschiedlichen Gehirnfunktionen fitter und weniger fitter Gleichaltriger liegen (Chaddock L. , et al., 2010a; Chaddock L. , et al., 2010b; Chang, Labban, Gapin, & Etnier, 2012). Chaddock et al. (2012, p.40) fassen zusammen: „participation in physical activity and higher levels of aerobic fitness during childhood relate to 1) increased school achievement, 2) better cognitive control and memory task performance, 3) larger regional brain volumes, and 4) more adaptive and efficient brain function“. Mit dieser Darlegung hoffen sie auf eine stärkere Einbindung körperlicher Aktivitäten auch in den Schulalltag.

Nachdem der aktuelle Forschungsstand vermuten lässt, dass regelmäßiges aerobes Training die exekutiven Funktionen verbessert, untersuchten Guiney und Machado (2013), welche Bereiche exekutiver Funktionen bei gesunden Menschen besondere Vorteile von diesem Training ziehen. Obwohl in dieser Hinsicht noch großer Forschungsbedarf bei Kindern und jungen Erwachsenen besteht, konnten Guiney und Machado (2013) aus den Studienergebnissen schließen, dass sich die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern durch regelmäßiges Training verbesserte. Die untersuchten Fitness-Querschnittsstudien legen des Weiteren einen möglichen Vorteil bezüglich selektiver Aufmerksamkeitsprozesse und inhibitorischer Kontrolle dar.

Aus dem Review von Hillman und Schott (2013) zum Thema „Der Zusammenhang von Fitness, kognitiver Leistungsfähigkeit und Gehirnzustand im Schulkindalter“ geht hervor, dass durch gesundheitlich bedeutsame Verhaltensweisen jene neuronalen Prozesse und Hirngewebe beeinflusst werden, welche für akademische Leistungen entscheidend sind. In der Übersichtsarbeit schlossen Hillman und Schott (2013) Studien ein, welche die kurzfristigen Auswirkungen einer einzelnen Trainingseinheit auf die geistige und kognitive Gesundheit als auch auf die schulische Leistung analysierten. Festgestellt werden konnten Auswirkungen auf die kognitive Gesundheit, auf die generelle Atmosphäre im Klassenraum und auf das Lernen. Für Heranwachsende kann dieser positive Einfluss sowohl in der schulischen Leistungsfähigkeit, als auch in der effizienten Funktionsfähigkeit gesehen werden. Die Entwicklung fortschrittlicher bildgebender Verfahren kommt der genaueren Erforschung der Gehirnfunktionen und -strukturen, welche in Verbindung mit aerober Ausdauerleistungsfähigkeit und körperlicher Aktivität stehen, entgegen, wodurch Schritt für Schritt neue Erkenntnisse gewonnen werden können.

Lees und Hopkins (2013) untersuchten in einem systematischen Review acht randomisierte Kontrollstudien zu den Effekten aeroben Trainings auf Kognition, akademische Leistung und psychosoziale Funktionen. Die Autorinnen konnten herausfinden, dass aerobe körperliche Aktivität bei Kindern allgemein positive Auswirkungen auf die Kognition, sowie die psychosozialen Funktionen hat. Diese Beziehung wurde jedoch in einigen Studien als

minimal befunden und in manchen Messungen gab es auch keine signifikante Verbesserung. Es berichtete jedoch keine der acht untersuchten randomisierten Studien von einer negativen Auswirkung aeroben Trainings auf die Kognition und auf die psychosoziale Gesundheit bei Kindern. Selbst dann nicht, wenn eine gewisse Zeit vom Unterricht im Klassenzimmer für aerobe körperliche Aktivität aufgewendet wurde. Diese Forschungserkenntnis stimmt mit der allgemeinen Tendenz überein, dass es entweder einen kleinen positiven Zusammenhang oder keinen signifikanten Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Kognition gibt, wie auch Ergebnisse voriger Studienergebnisse u. a. von Chaddock et al. (2012), Trudeau und Shephard (2008) oder von Rasberry et al. (2011) belegen konnten.

Nachdem das Gehirn in der Kinderheit und der Pubertät noch tiefgreifende Veränderungen der Gehirnstruktur und -funktionen durchläuft, kann diese Phase besonders sensibel für Reize, wie körperliche Aktivität und deren Auswirkungen auf die kognitiven Leistungen, sein. In dem Review von Khan und Hillman (2014) beschäftigen sich die Autoren mit unterschiedlichen Aspekten dieser Beziehung körperlicher Aktivität und aerober Fitness auf die Gehirnfunktion und Kognition bei Kindern. Sie kommen zu dem Schluss, dass ausreichend regelmäßige körperliche Aktivität und gute aerobe Fitness entscheidende Vorteile nicht nur für die körperliche, sondern auch für die kognitive Leistung und für die Gehirngesundheit mitbringen.

Eine der wenigen deutschsprachigen Übersichtsarbeiten stammt von Jansen (2014). Die Autorin stellte in Frage, ob Bewegung neben der positiven Effekte auf die Gesundheit Kinder und Jugendliche auch schlauer macht. Jansen (2014) kommt zu dem Ergebnis, dass sich allgemein eine positive Auswirkung von Bewegung auf die exekutiven Kontrollfunktionen und auf die visuell-räumlichen Fähigkeiten konstatieren lässt. Es wird in dieser Übersichtsarbeit aber auch angemerkt, dass es in diesem komplexen Forschungsgebiet noch unzählige ungeklärte Fragen gibt, auch hinsichtlich der Erforschung jener motorischen Fähigkeiten, welche auf bestimmte kognitive Bereiche Auswirkungen versprechen und zu welchem Zeitpunkt der Entwicklung der Kinder diese am effektivsten sind. Abschließend hält die Autorin fest, dass Bewegung nicht automatisch schlau macht, sondern dass bestimmte Bewegungen helfen können, spezifische kognitive Fähigkeiten in Abhängigkeit vom Kindesalter zu begünstigen.

Die Übersichtsarbeit von Dadaczynski und Schiemann (2015) bietet die erste deutschsprachige Zusammenfassung des internationalen Forschungsstandes zum längsschnittlichen Einfluss körperlicher Fitness und Aktivität im Kindes- und Jugendalter auf Bildungsoutcomes. Im Gegensatz zu anderen Reviews behandeln die Autoren die Auswirkungen von Fitness und jene von körperlicher Aktivität auf die akademischen

Leistungen getrennt. Außerdem beziehen sie ausdrücklich nur Längsschnittstudien (und keine Querschnittsstudien) in ihre Untersuchung ein, wodurch erhofft wurde, auch kausale Rückschlüsse zwischen der Wirkungsrichtung von körperlicher Aktivität oder Fitness auf die Bildungsoutcomes, wie Notendurchschnitt oder spezifische Testleistungen, ziehen zu können. Von den 14 final inkludierten Studien zeigten 11 statistisch abgesichert, dass sowohl körperliche Aktivität als auch Fitness im Kindes- und Jugendalter einen positiven Einfluss auf die Bildungsoutcomes aufweisen können. Die Autoren beschreiben eine weitaus homogener Befundlage im Bereich der körperlichen Fitness, als in jenem der körperlichen Aktivität. Die körperliche Fitness weist in fünf von sechs untersuchten Studien einen positiven Zusammenhang mit den Bildungsoutcomes auf, während bei dem Einfluss körperlicher Aktivität auf die Bildungsoutcomes sechs von acht Studien einen positiven Zusammenhang sehen. Auf den ersten Blick wirken diese Ergebnisse sehr ähnlich, doch im Bereich der körperlichen Aktivität lässt sich neben den Studien mit positiven Einfluss sowohl eine Studie finden, welche keinen signifikanten Unterschied beschreibt (Darling, Caldwell, & Smith, 2005) als auch eine, welche von negativen Assoziationen ausgeht (Koivusilta, Rimpelä, Rimpelä, & Vikat, 2001). Dadaczynski und Schiemann (2015) konnten bei den Auswirkungen körperlicher Aktivität oder Fitness auf die Bildungsoutcomes darüber hinaus den Einfluss diverser Drittvariablen, insbesondere des sozioökonomischen Status (auch bei London und Castrechini (2011) erwähnt), ausmachen.

Unlängst erschien ein kurzer Überblick von Hillman, Khan und Kao (2015) über die derzeitige Forschungsliteratur zum Zusammenhang des Gesundheitsverhaltens von Kindern und deren Kognition und Gehirngesundheit. Dabei fokussierten sie sich auf Auswirkungen körperlicher Aktivität und Übergewicht in der Kindheit auf Gehirnstruktur, Gehirnfunktion und auf den Aspekt der exekutiven Kontrolle. Die Ergebnisse ihrer Untersuchung legen nahe, dass tägliche körperliche Aktivität und verbesserte aerobe Fitness zu größerem Gehirnvolumen und Integrität der Gehirnstruktur, sowie zu effizienteren Gehirnfunktionen und einer gesteigerten exekutiven Kontrolle führen. Übergewicht wird von den Autoren eng mit einer verringerten Integrität der Gehirnstruktur, weniger effektiven Gehirnfunktionen und einer schwächeren exekutiven Kontrolle verbunden.

Eine ebenso aktuelle Übersichtsarbeit bieten Tomporowski, McCullick, Pendleton und Pesce (2015) zu „Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition“. Sie beschäftigten sich mit der Rolle von sowohl kurzzeitigen, als auch langfristigen Bewegungsinterventionen und unterteilten diese in quantitative oder qualitative Interventionen, je nach Komplexität der Aufgabe und demzufolge auch nach mentalem Einsatz. Bei beiden Bewegungsinterventionsarten konnten die Autor(inn)en bei

den Heranwachsenden eine kognitive Verarbeitung und Kognition beobachten, hinsichtlich der Auswirkungen auf die metakognitiven Prozesse ist jedoch noch wenig bekannt. Nachdem Tomporowski et al. (2015) nur spärlich Literatur zur Funktion der möglicherweise als Vermittler zwischen Bewegung und akademischer Leistung fungierenden Metakognition finden konnten, modifizierten sie das von Howie und Pate (2012) aufgestellte Modell. Diesem Modell zum Zusammenhang von körperlicher Aktivität, kognitiver Funktion und akademischer Leistung fügten Tomporowski et al. (2015) die Kategorie der Metakognition ein (siehe Abbildung 5).

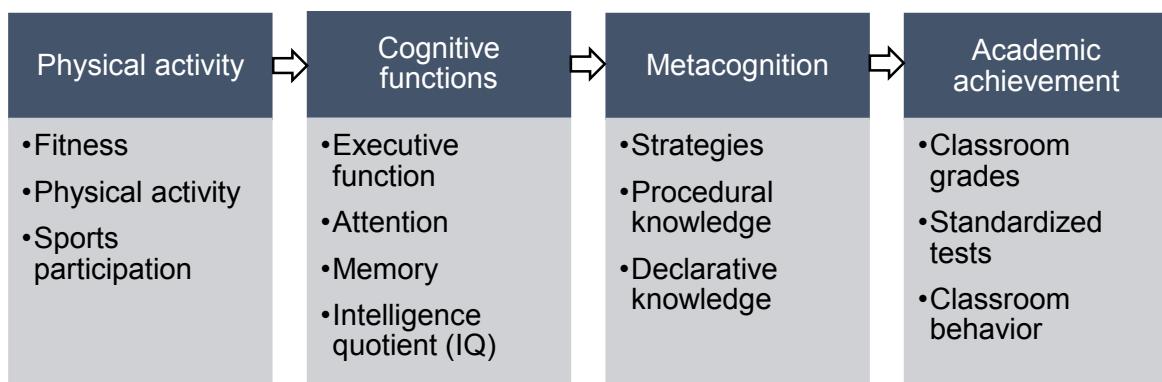


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität, kognitiven Funktionen, Metakognition und akademischer Leistung (in Anlehnung an Howie & Pate, 2012; Tomporowski et al., 2015, p. 51)

Tomporowski et al. (2015) sehen in diesem Modell den Vorteil, dass für die Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die akademischen Leistungen sowohl die kognitiven Funktionen, als auch der Aspekt der Metakognition umfasst wurde. Die Autor(inn)en erklären: „Examining how exercise influences both ‚on-line‘ rapid executive processing and slower strategic planning [metacognition] may help researchers better understand how different types of PA [physical activity] affect children’s performance in real world conditions“ (Tomporowski, McCullick, Pendleton, & Pesce, 2015, p. 51). Wie bereits im Laufe der Arbeit mehrfach erwähnt, weisen auch Tomporowski et al. (2015) in diesem aktuellen Review auf die Notwendigkeit weiterer Forschungsanstrengungen hin, denn die Verfahren zur Messung des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition könnten unterschiedlicher kaum sein.

Tabelle 1: Überblick über die vorliegenden Metaanalysen und Reviews zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Kindern

Nr.	Autor(in)	Jahr	Metaanalyse/Review	Staat	Anzahl inkl. Studien	Alter der Proband (inn)en	Ergebnis
1	Etnier et al.	1997	The Influence of Physical Fitness and Exercise Upon Cognitive Functioning: A Meta-Analysis	USA	134	all ages	The overall effect size was 0,25, suggesting that exercise has a small positive effect on cognition. Examination of the moderator variables indicated that characteristics related to the exercise paradigm, the participants, the cognitive tests, and the quality of the study influence effect size. However, the most important finding was that as experimental rigor decreased, effect size increased.
2	Sibley & Etnier	2003	The Relationship Between Physical Activity and Cognition in Children: A Meta-Analysis	USA	44	4-18 years	The overall ES [effect size] was 0,32 (SD = 0,27), which was significantly different from zero. Significant moderator variables included publication status, subject age, and type of cognitive assessment. As a result of this statistical review of the literature, it is concluded that there is a significant positive relationship between physical activity and cognitive functioning in children. All age groups had ESs significantly greater than zero. Middle-school-aged students [11-13 years, ES=0,48] showed the largest effects, followed by young-elementary-age students [4-7 years, ES=0,40]. There were no significant differences in average ES between chronic interventions, acute interventions, and cross-sectional/correlational studies.
3	Ahn & Fedewa	2011	The Effects of Physical Activity and Physical Fitness on Children's Achievement and Cognitive Outcomes: A Meta-Analysis	USA	59	mean age ranged from 5,77 to 16 years old	Results indicated a significant and positive effect of physical activity on children's achievement and cognitive outcomes, with aerobic exercise having the greatest effect. A number of moderator variables were also found to play a significant role in this relationship.
4	Chang et al.	2012	The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis	USA	79	all ages; average age of the	Consistent with past findings, analyses indicated that the overall effect was positive and small. Positive and small effects were also found in all three acute exercise

Nr.	Autor(in)	Jahr	Metaanalyse/Review	Staat	Anzahl inkl. Studien	Alter der Proband (inn)en	Ergebnis
					samples = 28,51 years (reported in 61 studies)		paradigms: during exercise ($g=0,101$; 95% confidence interval (CI); 0,041-0,160), immediately following exercise ($g=0,108$; 95% CI; 0,069-0,147), and after a delay ($g=0,103$; 95% CI; 0,035-0,170). In conclusion, the effects of acute exercise on cognitive performance are generally small; however larger effects are possible for particular cognitive outcomes and when specific exercise parameters are used.
5	Tomporowski et al.	2008	Exercise and Children's Intelligence, Cognition, and Academic Achievement	USA		children	Similar to adults, exercise facilitates children's executive function (i.e., processes required to select, organize, and properly initiate goal-directed actions). Exercise may prove to be a simple, yet important, method of enhancing those aspects of children's mental functioning central to cognitive development.
6	Trudeau & Shephard	2008	Physical education, school physical activity, school sports and academic performance	Canada		children and adolescents	Quasi experimental data indicate that allocating up to an additional hour per day of curricular time to PA [physical activity] programmes does not affect the academic performance of primary school students negatively, even though the time allocated to other subjects usually shows a corresponding reduction. An additional curricular emphasis on PE [physical education] may result in small absolute gains in grade point average (GPA). On the other hand, adding time to "academic" or "curricular" subjects by taking time from physical education programmes does not enhance grades in these subjects and may be detrimental to health.
7	Best	2010	Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise	USA		children	In summary, these experimental studies suggest that single bouts of aerobic exercise may transiently facilitate children's EF [executive functions] and also that chronic participation in aerobic exercise may induce more enduring improvements to EF. Additionally, the amount of EF engagement during the exercise appears to be an important

Nr.	Autor(in)	Jahr	Metaanalyse/Review	Staat	Anzahl inkl. Studien	Alter der Proband (inn)en	Ergebnis
							factor, at least for acute aerobic exercise. Whether this engagement is an important factor for chronic exercise remains to be tested.
8	Rasberry et al.	2011	The association between school-based physical activity, including physical education, and academic performance: A systematic review of the literature	USA	43 articles (reporting a total of 50 unique studies)	between 5 and 18 years of age	Across all the studies, there were a total of 251 associations between physical activity and academic performance, representing measures of academic achievement, academic behavior, and cognitive skills and attitudes. Slightly more than half (50.5%) of all associations examined were positive, 48% were not significant, and 1.5% were negative. Results suggest physical activity is either positively related to academic performance or that there is not a demonstrated relationship between physical activity and academic performance.
9	Tomporowski et al.	2011	Physical activity interventions and children's mental function: An introduction and overview	USA		children	Physical activity interventions designed for American children have reflected two competing views: activities should promote physical fitness and activities should promote social, emotional, and intellectual development. Research results indicate that exercise fosters the emergence of children's mental function; particularly executive functioning. The route by which physical activity impacts mental functioning is complex and is likely moderated by several variables, including physical fitness level, health status, and numerous psycho-social factors.
10	Chaddock et al.	2012	Physical Activity and Fitness Effects on Cognition and Brain Health in Children and Older Adults	USA		children and older adults	In children, increased physical activity and higher levels of aerobic fitness have been associated with superior academic achievement and cognitive processes. Differences in brain volumes and brain function of higher-fit and lower-fit peers are potential mechanisms underlying the performance differences in cognitive challenges.

Nr.	Autor(in)	Jahr	Metaanalyse/Review	Staat	Anzahl inkl. Studien	Alter der Proband (inn)en	Ergebnis
11	Guiney & Machado	2013	Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations	New Zealand		consider separately children, young adults, and older adults	In children, working memory capacity has been shown to benefit, and cross-sectional data suggest potential benefits for selective attention and inhibitory control.
12	Hillman & Schott	2013	Der Zusammenhang von Fitness, kognitiver Leistungsfähigkeit und Gehirnzustand im Schulkindalter. Konsequenzen für die schulische Leistungsfähigkeit	USA, Deutschland		Schulkindalter	Dadurch wird die Annahme unterstützt, dass gesundheitlich relevante Verhaltensweisen einen Einfluss auf bestimmte Hirngewebe und neuronale Prozesse haben, die für akademische Leistungen verantwortlich sind. Des Weiteren werden Forschungsarbeiten vorgestellt, die kurzfristige Effekte einzelner Einheiten körperlicher Aktivität auf die kognitive und geistige Gesundheit sowie die schulische Leistung untersucht haben. Diese Ergebnisse haben Auswirkungen auf die kognitive Gesundheit und das Lernen sowie die generelle Atmosphäre im Klassenzimmer. Die Auswirkungen dieser Forschungsergebnisse zeigen sich während des Reifungsprozesses in einer Verbesserung der effizienten Funktionsfähigkeit als auch der schulischen Leistungsfähigkeit, so dass daraus eine Vielzahl an Vorteilen für die gesamte Lebensspanne entsteht.
13	Lees & Hopkins	2013	Effect of Aerobic Exercise on Cognition, Academic Achievement, and Psychosocial Function in Children: A Systematic Review of Randomized Control Trials	USA	8	children younger than 19 years	All studies showed that APA [aerobic physical activity] had a generally positive impact on children's cognition and psychosocial function. However, this relationship was found to be minimal in many studies and in some measures, no significant improvement was seen at all. There was no documentation of APA having any negative impact on children's cognition and psychosocial health, even in cases where school curriculum time was reassigned from classroom teaching to aerobic physical activity.

Nr.	Autor(in)	Jahr	Metaanalyse/Review	Staat	Anzahl inkl. Studien	Alter der Proband (inn)en	Ergebnis
14	Khan & Hillman	2014	The Relation of Childhood Physical Activity and Aerobic Fitness to Brain Function and Cognition: A Review	USA		children	Given that the human brain is not fully developed until the third decade of life, preadolescence is characterized by changes in brain structure and function underlying aspects of cognition including executive control and relational memory. Achieving adequate physical activity and maintaining aerobic fitness in childhood may be a critical guideline to follow for physical as well as cognitive and brain health.
15	Jansen	2014	Macht Bewegung unsere Kinder wirklich schlauer? Neue Erkenntnisse zum Zusammenhang von Bewegung und kognitiven Fähigkeiten bei Kindern und Jugendlichen	Deutschland		Kinder und Jugendliche	Allgemein zeigt sich, dass ein positiver Effekt der Bewegung sowohl auf die so genannten exekutiven Funktionen als auch auf die visuell-räumlichen Fähigkeiten nachgewiesen werden konnte. Viel zu wenig ist noch bekannt darüber, welche motorischen Aktivitäten welche kognitiven Fähigkeiten zu welchem Zeitpunkt im Kindes- und Jugendalter beeinflussen.
16	Dadaczynski & Schieman	2015	Welchen Einfluss haben körperliche Aktivität und Fitness im Kindes- und Jugendalter auf Bildungsoutcomes? Eine systematische Übersicht von Längsschnittstudien	Deutschland	14	Kindes und Jugendalter	Insgesamt weisen 11 von 14 Studien statistisch abgesichert nach, dass ausreichende körperliche Aktivität und Fitness im Kindes- und Jugendalter einen positiven Einfluss auf Bildungsoutcomes ausüben können, z. B. auf schulspezifische Testleistung und den Notendurchschnitt. Hierbei konnten verschiedene Drittvariablen identifizieren werden, wobei dem sozioökonomischen Status eine bedeutende Rolle zukommt.
17	Hillman et al.	2015	The Relationship of Health Behaviors to Childhood Cognition and Brain Health	USA		childhood	Generally, the findings indicate that daily physical activity or higher aerobic fitness is related to greater volume and integrity of brain structure, efficient and effective brain function, and superior executive control. Alternatively, excess body mass is related to decreased integrity of brain structure, less effective brain function, and poorer executive control.

Nr.	Autor(in)	Jahr	Metaanalyse/Review	Staat	Anzahl inkl. Studien	Alter der Proband (inn)en	Ergebnis
18	Tomporowski et al.	2015	Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition	USA, Italy		pre-adolescent children	Acute and chronic exercise interventions were classified as quantitative or qualitative on the basis of manipulations of task complexity and, by inference, mental engagement. Both types of interventions enhance aspects of children's cognition; however, their effects on metacognitive processes are unknown.

4.1.2 Querschnitts- und Korrelationsstudien

Um den Zusammenhang von Bewegung und Kognition zu analysieren, werden überwiegend Querschnittsstudien durchgeführt. Vor allem in den letzten Jahren stieg die Zahl querschnittlicher Studien stark an, da die Entwicklung neuer bildgebender Verfahren voranschritt und eine präzisere Analyse jener Gehirnstrukturen und -funktionen ermöglicht, welche durch körperliche Aktivität, wie z. B. aerobe Fitness (Hillman & Schott, 2013, S. 34), beeinflussbar sind. Zu beachten gilt jedoch, dass Querschnittsstudien keinen kausalen Zusammenhang (Wirkungsrichtung) zwischen fitten bzw. weniger fitten Kindern und deren kognitiven Leistungen oder dem akademischen Erfolg erlauben.

Im Rahmen dieser Arbeit kristallisierten sich acht den Einschlusskriterien entsprechende Querschnitts- oder Korrelationsstudien heraus, welche sich mit dem Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Heranwachsenden im Alter von 10 bis 14 Jahren beschäftigten. Obwohl etliche Untersuchungen den Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Personen jeden Alters ergründen, liegt nur mehr eine sehr begrenzte Anzahl an Studien vor, welche sich besonders mit dem Kindes- bzw. Jugendalter von 10 bis 14 Jahren beschäftigt. Alle nachfolgenden Studien fokussieren sich speziell auf dieses Alter oder schließen diese Altersspanne partiell ein. Besonders wurde bei der Suche nach relevanten Studien, neben dem Alter der Heranwachsenden, auf die Aktualität der Studien geachtet (publiziert von 2009 bis 2016). Folgende Studien werden chronologisch geordnet und falls im gleichen Jahr erschienen, alphabethisch nach den Nachnamen der Autor(innen)en beleuchtet: Pesce, Crova, Cereatti, Casella und Bellucci (2009), Chaddock et al. (2010a), Chaddock et al. (2010b), Ellemborg und St-Louis-Deschênes (2010), Pontifex et al. (2011), Hogan, Kiefer, Kubesch, Collins, Kilmartin & Brosnan (2013), Chaddock-Heyman et al. (2015a), Swagerman, de Geus, Koenis, Hulshoff Pol, Boomsma und Kan (2015).

Pesce, Crova, Cereatti, Casella und Bellucci (2009) verglichen zwei verschiedene Arten aeroben Trainings gleicher Intensität. Dazu führten präpubertäre Kinder im Alter von elf bis zwölf Jahren einmal kein körperliches Training, in einer weiteren einstündigen Einheit ein individuelles Zirkeltraining und in der dritten einstündigen Einheit aerobe Teamspiele gleicher Intensität durch. Pesce et al. (2009) stellten fest:

„Whereas circuit training contained more opportunities to learn motor skills, the group games provided more opportunities to apply those motor skills in a competitive and strategic manner. [...] After each session, children completed a list-learning procedure to assess both immediate and delayed word recall“ (Pesce, Crova, Cereatti, Casella, & Bellucci, 2009, p. 336).

Dabei wurde unmittelbar nach dem Training und anschließend nach einer kurzen Pause festgehalten, an wie viele Wörter aus der ganzen Liste sich die Studienteilnehmer(innen) erinnern konnten. Ebenfalls wurde erfasst, in wie weit sie sich sowohl an die ersten („primacy items“), als auch an die letzten („recency items“) Wörter der Liste erinnern konnten (siehe Abbildung 6).

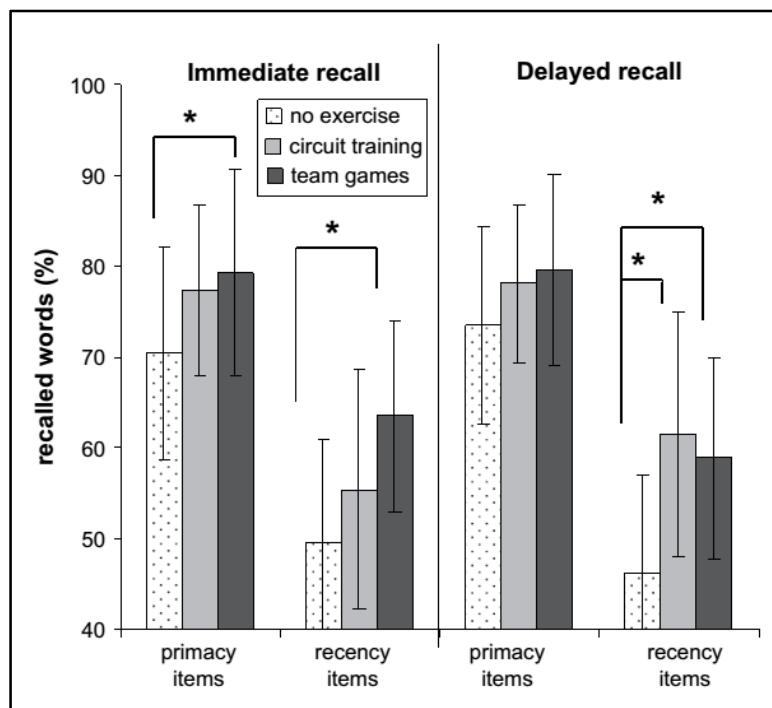


Abbildung 6: Prozentsatz sowohl der frei wiedergegebenen korrekten ersten Wörter einer Wortliste, als auch der letzten Wörter: ohne vorhergehender Bewegungsaktivität, mit vorangehendem Zirkeltraining und mit vorangehendem Teamspiel

Beim unmittelbaren Abruf der Wörter wiesen beide körperlich aktiven Gruppen eine verbesserte Gedächtnisleistung in Relation zur Ausgangsleistung auf. Die besten Gedächtnisleistungen wurden nach den aeroben Teamspielen erreicht.

Auch bei einer verzögerten Überprüfung der Wörter zeigten beide Trainingsarten eine gesteigerte Gedächtnisleistung.

Pesce et al. (2009) schließen daraus, dass sowohl aerobe Teamspiele als auch aerobes Zirkeltraining zu einer allgemein erhöhten Aktivierung führen. Diese gesteigerte Aktivierung begünstigt die Konsolidierung der Wörter. Die besonders guten Ergebnisse nach den Teamspielen liegen für die Autor(inn)en darin, dass sie eine spezifische kognitive Aktivierung auslösen, welche sich positiv auf den unmittelbaren Abruf der Wörter auswirkt. Man vermutet, dass sich dieser Effekt deshalb bei Teamspielen in höherem Maße abzeichnet, da die Kinder zum einen ihre motorischen Fähigkeiten auf taktische Weise einsetzen müssen und zum anderen diese Art aeroben Trainings eine stärkere soziale Interaktion verlangt.

Ebenfalls mit den Auswirkungen aeroben Trainings beschäftigte sich das Forscher(innen)team um Chaddock (2010a; 2010b). Im querschnittlichen Untersuchungsinteresse lagen vor allem die Effekte aeroben Trainings auf Gehirnstruktur und -funktionen. Chaddock et al. (2010a) unterteilten 9 bis 10-jährige Kinder entsprechend ihrer VO_{2max}-Ergebnissen in eine Gruppe fitter und in eine Gruppe weniger fitte Kinder. Die Ergebnisse der Magnetresonanztomographie (MRT) belegen, dass eine höhere Fitness mit einem größeren bilateralen Hippocampusvolumen korreliert (siehe Abbildung 7).

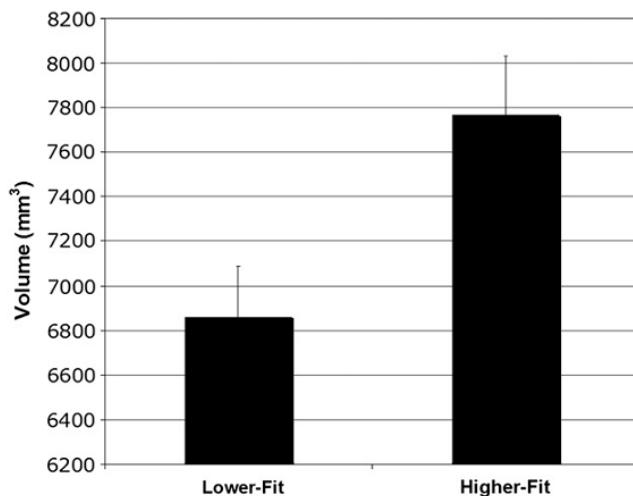


Abbildung 7: Bilaterales Hippocampusvolumen in Abhängigkeit von der aeroben Fitnessgruppe. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar (Chaddock et al., 2010a, p. 175).

Körperlich leistungsstärkere Kinder schnitten in jenen Aufgaben besser als ihre Altersgenoss(inn)en ab, welche das relationale Gedächtnis beanspruchten. Das relationale Gedächtnis, ein Bereich des Langzeitgedächtnisses, welcher auch als deklaratives oder explizites Gedächtnis bezeichnet wird, wird vorwiegend vom Hippocampus unterstützt. Somit steht das größere bilaterale Hippocampusvolumen bei fitten Kindern mit besseren kognitiven Fähigkeiten besonders im Bereich des relationalen Gedächtnisses in Verbindung.

Beinahe zeitgleich erschien die bereits erwähnte Studie von Chaddock et al. (2010b), in welcher ebenfalls fitte mit weniger fitten Kindern im Alter von 9 bis 10 Jahren verglichen wurden. Anhand der MRT wurde festgestellt, dass sich auch das Volumen anderer subkortikaler Strukturen, besonders der Basalganglien, zwischen Kindern höherer und jener geringerer aerober Fitness unterscheidet. Wie in Kapitel 3.2 ausführlicher beschrieben, sind die Basalganglien für einen groben Bewegungsentwurf und somit für das Zusammenspiel von Kognition und willkürlicher Bewegung zuständig. Chaddock et al. (2010b) konnten bei besonders fitten Kindern nachweisen, dass sie ein größeres Volumen des dorsalen Striatums (u. a. Putamen, Nucleus caudatus) aufweisen, welches mit einer verbesserten kognitiven Kontrolle in Verbindung gebracht wird. Keine Verbindung konnte

jedoch zwischen aerober Fitness und dem ventralen Striatum festgestellt werden. Fittere Kinder zeigten außerdem eine bessere Leistung bei der Bewältigung der Erikson-Flanker-Aufgabe (Eriksen & Eriksen, 1974), welche häufig zur Erforschung kognitiver Aufmerksamkeits-, Verarbeitungs- und Kontrollprozesse eingesetzt wird. In den Ergebnissen der Untersuchung von Chaddock et al. (2010b) wird betont, dass aerobe Fitness die kognitive Kontrolle (exekutiven Funktionen) während der Kindheit und der präpubertären Phase positiv beeinflussen kann.

Obwohl die Studie von Ellemberg und St-Louis-Deschênes (2010) im äußersten altersbezogenen Grenzbereich liegt, erfüllt sie dennoch die Einschlusskriterien. Ellemberg und St-Louis-Deschênes (2010) untersuchten Buben im Alter von 7 und 10 Jahren hinsichtlich der Auswirkungen von kurzzeitiger körperlicher Aktivität auf einfache Reaktionsaufgaben, als auch auf Reaktionsauswahl-Aufgaben (Antwortauswahl-Aufgaben). Dafür wurde die Gruppe geteilt und während die eine Hälfte vorm Fernseher saß, führte die andere Hälfte ein 30-minütiges aerobes Training durch. Unmittelbar vor und unmittelbar nach der Intervention wurden die Buben getestet und es konnte in der Trainingsgruppe eine signifikante Verbesserung beider Aufgaben, vor allem aber der Reaktionsauswahl-Aufgaben, verzeichnet werden. 30-minütiges aerobes Training führte demnach zu einem positiven Effekt auf kognitive Funktionen der Kinder. In Abbildung 8 werden die Daten für die einfache Reaktionszeitaufgabe präsentiert und in Abbildung 9 jene für die Reaktionsauswahl-Aufgaben.

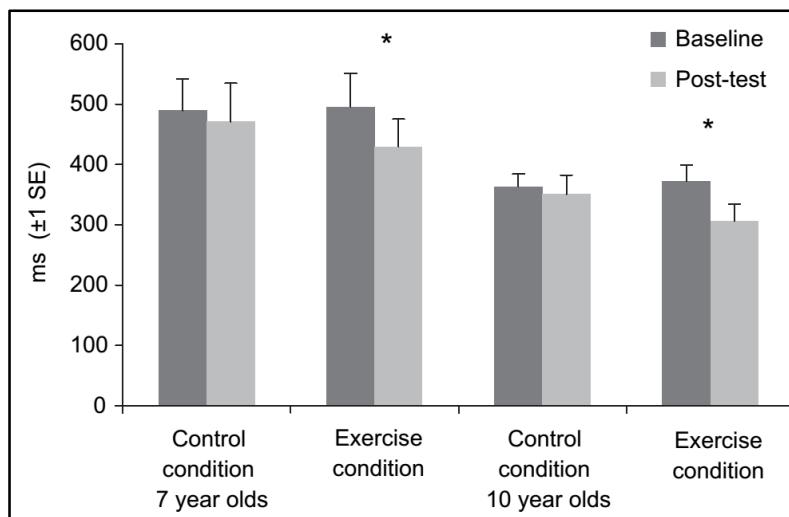


Abbildung 8: Einfache Reaktionszeitaufgabe (mittlere Zeit in Millisekunden). Die dunklen Balken stellen die Überprüfung vor und die hellen Balken die Überprüfung nach der Intervention dar (Ellemborg & St-Louis- Deschênes, 2010, p. 124).

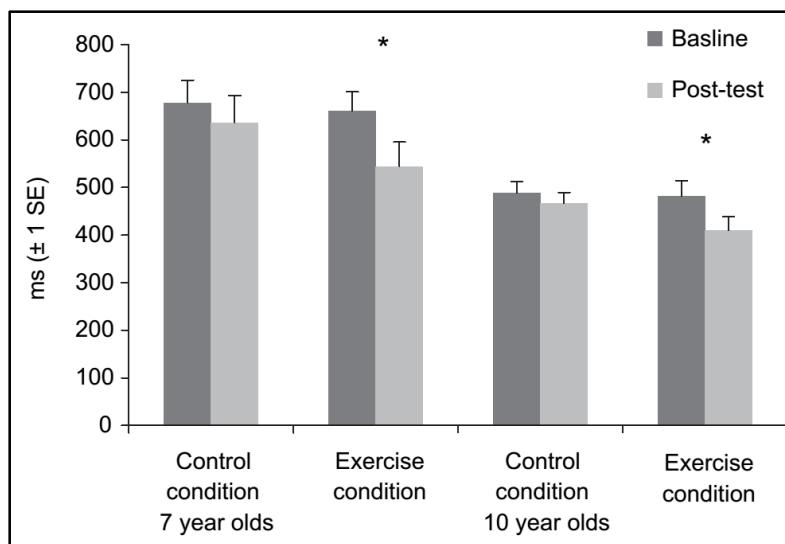


Abbildung 9: Reaktionsauswahl-Aufgabe (mittlere Zeit in Millisekunden). Die dunklen Balken stellen die Überprüfung vor und die hellen Balken die Überprüfung nach der Intervention dar (Ellemborg & St-Louis- Deschênes, 2010, p. 124).

Pontifex et al. (2011) rückten den Zusammenhang kardiorespiratorischer Fitness und flexibler Modulation der kognitiven Kontrolle bei präadoleszenten Kindern in den Mittelpunkt ihrer Untersuchungen. Von den 48 rechtshändigen Teilnehmerinnen und Teilnehmern wurden ähnlich wie bei Chaddock et al. (2010a) 24 (davon 13 Mädchen) in eine Gruppe weniger fitter Kinder (niedrigere maximale Sauerstoffaufnahme, $\text{VO}_{2\text{max}}$) und 24 (davon 10 Mädchen) in eine Gruppe fitter Kinder (höhere $\text{VO}_{2\text{max}}$) eingeteilt. Das durchschnittliche Alter der Kinder lag bei rund zehn Jahren. Das Ergebnis der durchgeföhrten modifizierten Eriksen-Flanker-Aufgabe (Eriksen & Eriksen, 1974) zeigte, dass für weniger fitte Kinder

möglicherweise die flexible Anpassung der kognitiven Kontrollprozesse, um den Aufgabenanforderungen gerecht zu werden, schwieriger ist, als für fitte Kinder. Bei der modifizierten Eriksen-Flanker-Aufgabe führten die Teilnehmer(innen) kompatible und inkompatible Reiz-Reaktions-Aufgaben, bestehend aus kongruenter und inkongruenter Anordnung, durch. Das funktionierte zum Beispiel so, dass die Kinder bei den kompatiblen Reiz-Reaktions-Aufgaben angehalten wurden, so schnell und genau wie möglich in Richtung des mittleren aufscheinenden Pfeiles zu antworten, entweder inmitten kongruenter (z. B. <<<< oder >>>>) oder inkongruenter (z. B. <><< oder >><>) Pfeile (Hillman, et al., 2006; Pontifex & Hillman, 2007). Bei den inkompatiblen Reiz-Reaktions-Aufgaben bekamen die Kinder die Anweisung in die entgegengesetzte Richtung des mittleren Pfeiles zu antworten (Friedman, Nessler, Cycowicz, & Horton, 2009).

Fitte Kinder konnten sowohl bei kompatiblen Reiz-Reaktions-Aufgaben eine bessere Antwortgenauigkeit, als auch bei inkompatiblen Reiz-Reaktions-Aufgaben eine höhere Leistung als weniger fitte Kinder, vorweisen. Abschließend halten Pontifex et al. (2011, p. 1343) fest: „these data speak to the importance of physical activity for the maturation of neural networks underlying aspects of cognitive control and have implications for maximizing cognitive health and function in real-world settings during development“.

Hogan, Kiefer, Kubesch, Collins, Kilmartin und Brosnan (2013) erforschten die noch wenig analysierten wechselseitigen Effekte von körperlicher Fitness und kurzzeitigen aeroben Bewegungsinterventionen auf die Kohärenz elektrophysiologischer Untersuchungen und die kognitiven Leistungen bei Heranwachsenden. Diese Auswirkungen untersuchten die Autor(inn)en an 30 Kindern im Alter von 13 und 14 Jahren. Die Heranwachsenden wurden, wie auch von Pontifex et al (2011), in fitte und weniger fitte Kinder eingestuft und die Testung erfolgte anhand einer modifizierten Eriksen-Flanker-Aufgabe (Eriksen & Eriksen, 1974) kombiniert mit einer „Go/NoGo“-Aufgabe. Die Testung erfolgte nach einer einzelnen Trainingseinheit und nach einer Ruhephase. Dabei stellte sich heraus, dass fitte Teilnehmer(innen) nach der Trainingseinheit eine signifikant schnellere Reaktionszeit aufwiesen, als nach der Ruhephase. Hinsichtlich der Kohärenz von EEG-Signalen (Elektroenzephalografie-Signalen) konnte ein signifikanter Unterschied nur zwischen fitten und weniger fitten Teilnehmerinnen und Teilnehmern während „NoGo“-Prüfungen im Ruhezustand beobachtet werden. Unter diesen Bedingungen zeigten weniger fitte Heranwachsende bei bestimmten Frequenzbändern (dem unteren und oberen Alpha-Band und dem Beta-Band) eine stärkere Kohärenz, als ihre fitten Altersgenoss(inn)en, was eventuell andeutet, dass mehr kognitive Ressourcen für die Aufgabenanforderungen zugeteilt werden. Diese stärkere Kohärenz der Alpha-Bänder ist deshalb von besonderer Bedeutung, da ihnen aufmerksamkeitsbezogene und inhibitorische Prozesse

zugeschrieben werden. Hogan et al. (2013) schließen aus ihrem Studienergebnis, dass körperliche Fitness und kurzzeitige aerobe Trainingsinterventionen die Kognition durch eine gesteigerte Wirksamkeit aufmerksamkeitsbezogener Prozesse verbessern könnte.

Chaddock-Heyman et al. (2015a) führten erst kürzlich eine Studie zur Rolle der aeroben Fitness auf die kortikale Dicke und auf die Mathematikleistungen bei präadoleszenten Kindern durch, womit sie den ersten Schritt in diesem Forschungsbereich machten. Geprüft wurden die kortikale Gehirnstruktur bei fitten und weniger fitten 9 und 10-jährigen Kindern und die Auswirkungen kortikaler Dicke auf die akademischen Leistungen. Chaddock-Heyman et al. (2015a) konnten herausfinden, dass fittere Kinder (mit einer höheren maximalen Sauerstoffaufnahme) eine geringere Dicke der grauen Gehirnmasse in bestimmten Gehirnbereichen (dargestellt in Abbildung 10), im superioren Frontal-, superioren Temporal- und lateralen Okzipitallappen, im Vergleich zu den weniger fitten Kindern, aufwiesen. Diese verminderte Dicke der grauen Gehirnmasse bei fitten Kindern geht mit einer besseren Leistung in Mathematik und Arithmetik einher. Keine Unterschiede konnten bezüglich der Lese- und Rechtschreibleistung beobachtet werden.

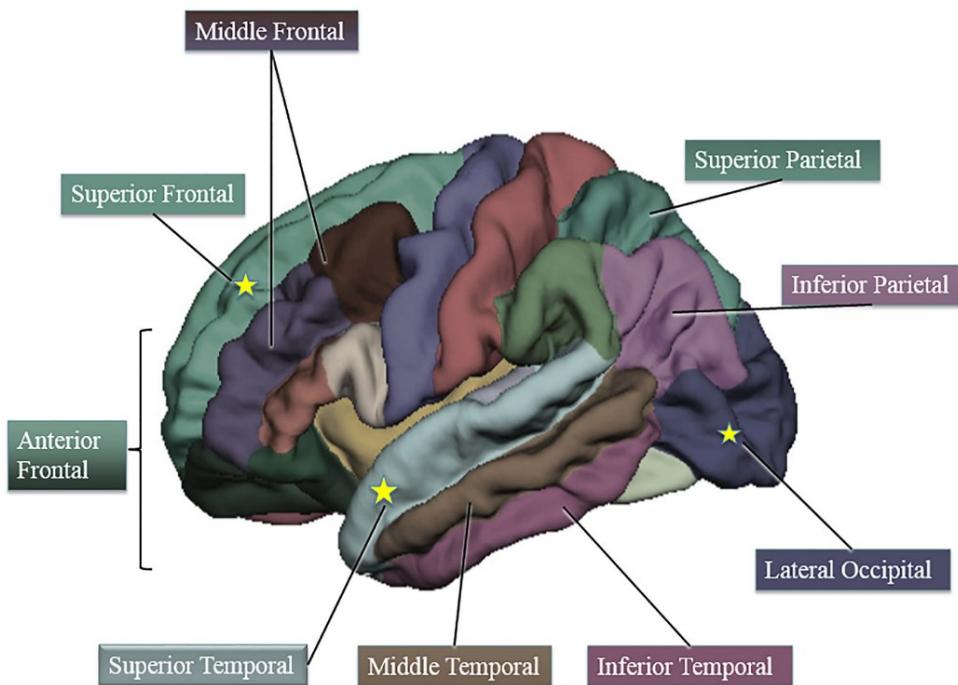


Abbildung 10: Kortikale Dicke im Vergleich: Mit einem Stern gekennzeichnete Bereiche sind jene, in welchen fittere Kinder eine verringerte kortikale Dicke, im Vergleich zu weniger fitten Kindern, zeigten (Chaddock-Heyman, et al., 2015b).

Chaddock-Heyman et al. (2015a) schließen aus ihren Untersuchungen, dass diese individuellen Unterschiede der aeroben Fitness möglicherweise eine entscheidende Rolle bei der Reduzierung der kortikalen grauen Gehirnmasse während der Gehirnreifung einnimmt. Das führt zu der weiteren Annahme, dass verbesserte aerobe Fitness die

Kognition und Gehirnplastizität verbessern und damit einhergehende positive Auswirkungen auf die schulischen Leistungen bewirken könnte.

Obwohl die Studie von Swagerman et al. (2015) hinsichtlich des Alters der Proband(inn)en (10 bis 86 Jahre) nur am Rande die Gruppe der 10 bis 14-jährigen einschließt, werden sie trotzdem deutlich inkludiert, weshalb diese äußerst aktuelle Studie auch zur Erfassung des derzeitigen Forschungsstandes mit einbezogen wird. Swagerman et al. (2015) veröffentlichten erst kürzlich im Artikel „Domain dependent associations between cognitive functioning and regular voluntary exercise behavior“ ihre Studienergebnisse. Die Autor(inn)en überprüfen die aktuellen Studienerkenntnisse kritisch und stellen den häufig positiv angenommenen Effekt regelmäßiger körperlicher Aktivität auf die Kognition in Frage. Swagerman et al. (2015) sehen die doch etwas unterschiedlichen Studienergebnisse aufgrund der Heterogenität der Versuchspersonen (Alter, Geschlecht), den untersuchten kognitiven Bereichen, der Messung und Definition körperlichen Bewegungsverhaltens und dem Studiendesign. Das Ziel ihrer Studie war, jene kognitiven Bereiche zu erkunden, welche einen positiven Effekt von Bewegung tragen und das unter Berücksichtigung dieser soeben genannten Faktoren (wie Alter, Geschlecht etc.). Dazu wurden 472 männliche und 668 weibliche Proband(inn)en bezüglich ihres regelmäßigen Bewegungsverhaltens in ihrer Freizeit befragt und dementsprechend ihr durchschnittlicher Energieverbrauch pro Woche, das Metabolische Äquivalent (auch MET; engl. metabolic equivalent of task), berechnet. Die Messung der kognitiven Bereiche wurde zergliedert in: “accuracy and speed measures of abstraction and mental flexibility, attention, working memory, memory (verbal, face, and spatial), language and nonverbal reasoning, spatial ability, emotion identification, emotion- and age differentiation, sensorimotor speed, and motor speed” (Swagerman, et al., 2015, p. 32). Mithilfe von univariaten und multivariaten Verfahren wurde die Auswirkung des Bewegungsverhaltens auf diese kognitiven Bereichen analysiert. Univariate Modelle wiesen auf einen positiven Zusammenhang zwischen dem wöchentlichen Metabolischen Äquivalent und der kognitiven Geschwindigkeit und Genauigkeit hin. Multivariate Modelle berichteten jedoch von keinem oder nur einem kleinen direkten Zusammenhang. Einzig und allein die Auswirkung von Bewegung auf die Aufmerksamkeit konnte als signifikant positiv wahrgenommen werden. Aus diesem Grund stellen Swagerman et al. (2015) die Vermutung auf, dass in der Grundbevölkerung langfristige Auswirkungen von regelmäßiger freiwilliger Bewegung in der Freizeit auf die Kognition nur limitiert feststellbar sind.

Tabelle 2: Überblick über die vorliegenden Querschnitts- und Korrelationsstudien zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Kindern

Nr.	Autor(in)	Jahr	Studie	Staat	Anzahl Proband (inn)en	Alter	Ergebnis
1	Pesce et al.	2009	Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory	Italy	52	11-12 years	Immediate recall scores in both primacy and recency portions were higher following the team games than in the baseline session, whereas delayed recall scores in the recency portion were higher after both team game and aerobic training. Results suggest that an acute bout of submaximal exercise, as performed by students during physical education class, may facilitate memory storage. The differential effects of qualitatively unique types of exercise on immediate and delayed recall suggest that memory storage processes may be facilitated not only by exercise-induced increases in physiological arousal, but also by the cognitive activation induced by cognitive exercise demands.
2	Chaddock et al.	2010 a	A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children	USA	49 (20 males)	9- and 10-year-old children	Consistent with predictions, higher-fit children showed greater bilateral hippocampal volumes and superior relational memory task performance compared to lower-fit children. Hippocampal volume was also positively associated with performance on the relational but not the item memory task. Furthermore, bilateral hippocampal volume was found to mediate the relationship between fitness level ($VO_{2\text{max}}$) and relational memory. No relationship between aerobic fitness, nucleus accumbens volume, and memory was reported.
3	Chaddock et al.	2010 b	Basal Ganglia Volume Is Associated with Aerobic Fitness in Preadolescent Children	USA	55 (25 male)	9- and 10-year-old children	The results indicated that higher-fit children showed superior flanker task performance compared to lower-fit children. Higher-fit children also showed greater volumes of the dorsal striatum, and dorsal striatum volume was negatively associated with behavioral interference. The results support the claim

Nr.	Autor(in)	Jahr	Studie	Staat	Anzahl Proband (inn)en	Alter	Ergebnis
							that the dorsal striatum is involved in cognitive control and response resolution and that these cognitive processes vary as a function of aerobic fitness. The findings suggest that increased childhood aerobic fitness is associated with greater dorsal striatal volumes and that this is related to enhanced cognitive control.
4	Ellemborg & St-Louis-Deschênes	2010	The effect of acute physical exercise on cognitive function during development	Canada	36 per age group; total of 72 boys	7- and 10-year-old boys	Half of the children completed 30 min of aerobic exercise, whilst the other half watched television. Each child was tested immediately prior to and immediately following the intervention. Compared to the control group, the children in the exercise condition showed a significant improvement on both tasks [simple reaction and choice response times], with a better outcome for the choice compared to the simple task. These findings indicate that physical exercise also has an impact on cognitive functioning in children
5	Pontifex et al.	2011	Cardiorespiratory Fitness and the Flexible Modulation of Cognitive Control in Preadolescent Children	USA	48 participants	Age (years): Lower-fit: 10, 1 (0,6) Higher-fit: 10,0 (0,6)	Findings revealed decreased response accuracy for lower- relative to higher-fit participants with a selectively larger deficit in response to the incompatible stimulus-response condition, requiring the greatest amount of cognitive control. In contrast, higher-fit participants maintained response accuracy across stimulus-response compatibility conditions. These findings suggest that lower-fit children may have more difficulty than higher-fit children in the flexible modulation of cognitive control processes to meet task demands.
6	Hogan et al.	2013	The interactive effects of physical fitness and acute aerobic exercise on electrophysiological	Deutschland, Ireland	30 adolescents (19)	between the ages of 13 and 14 years	Specifically, fit participants had significantly faster reaction times in the exercise condition in comparison with the rest condition; unfit, but not fit, participants had higher error rates for NoGo relative to Go trials in the rest

Nr.	Autor(in)	Jahr	Studie	Staat	Anzahl Proband (inn)en	Alter	Ergebnis
			coherence and cognitive performance in adolescents		boys, 11 girls)		condition. Furthermore, unfit participants had higher levels of lower alpha, upper alpha, and beta coherence in the resting condition for NoGo trials, possibly indicating a greater allocation of cognitive resources to the task demands. The higher levels of alpha coherence are of particular interest in light of its reported role in inhibition and effortful attention. The results suggest that physical fitness and acute exercise may enhance cognition by increasing the efficacy of the attentional system.
7	Chaddock-Heyman et al.	2015 a	The Role of Aerobic Fitness in Cortical Thickness and Mathematics Achievement in Preadolescent Children	USA	48	9- and 10-year-old children	We demonstrate that higher fit children (>70th percentile VO2max) showed decreased gray matter thickness in superior frontal cortex, superior temporal areas, and lateral occipital cortex, coupled with better mathematics achievement, compared to lower fit children (<30th percentile VO2max). Furthermore, cortical gray matter thinning in anterior and superior frontal areas was associated with superior arithmetic performance. Here we provide additional evidence that increased aerobic fitness levels may enhance cognitive and brain plasticity, with potentially significant outcomes related to scholastic achievement.
8	Swagerman et al.	2015	Domain dependent associations between cognitive functioning and regular voluntary exercise behavior	The Netherlands	1140 (472 males; 668 females)	aged 10-86 years old	Univariate models yielded generally positive associations between weekly METhours and cognitive accuracy and speed, but multivariate modeling demonstrated that direct relations were small and centered around zero. The largest and only significant effect size ($\beta = 0.11$, $p < 0.001$) was on the continuous performance test, which measures attention. Our results suggest that in the base population, any chronic effects of voluntary regular leisure time exercise on cognition are limited. Only a relation between exercise and attention inspires confidence.

4.1.3 Längsschnitt- und Interventionsstudien

Die Notwendigkeit der Durchführung von Längsschnittstudien zur umfassenden Erforschung des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition bei Kindern ist unabdingbar, da nur so eine Aussage über die Wirkungsrichtung von körperlicher Aktivität und Kognition getroffen werden kann. Hillman und Schott (2013) formulieren diesen Anspruch folgendermaßen: „Die zukünftige Forschung muss vergleichende Studien während verschiedener Phasen der Entwicklung und letztlich Längsschnittstudien durchführen, um das Potenzial für die differenziellen Effekte von Fitness auf die kognitive Entwicklung zu bestimmen“ (Hillman & Schott, 2013, S. 39). Auch Khan und Hillman (2014, p. 143) bestätigen: „However, longitudinal studies are needed to examine how changes in physical activity affect the physical and functional developmental trajectory of the brain“.

Obwohl die Wichtigkeit der Längsschnittstudien bekannt ist, können bislang nur sehr spärlich Ergebnisse dieser Untersuchungen gefunden werden. Beachtet man des Weiteren das Alter der Proband(inn)en, welches mindestens an einem Messzeitpunkt im Alter zwischen 10 und 14 Jahren liegen muss, und der Aktualität der Publikation, ab 2008, konnten fünf entsprechende Längsschnittstudien ausfindig gemacht werden. Diese wurden von Carlson et al. (2008), London und Castrechini (2011), Wittberg, Northrup, Cottrell (2012), Chen, Fox, Ku und Taun (2013) und von Dirksen, Zentgraf und Wagner (2015) durchgeführt.

In der Längsschnittstudie von Carlson et al. (2008) zu „Physical Education and Academic Achievement in Elementary School: Data From the Early Childhood Longitudinal Study“ griffen die Autor(inn)en, wie der Titel bereits verrät, auf Daten der Early Childhood Longitudinal Study (National Center for Education Statistics (NCES), 2006) aus den USA zurück. Bei dieser groß angelegten Längsschnittstudie blieben von den initialen 9796 Schülerinnen und Schülern noch 5316, welche schlussendlich in diesen Daten erfasst wurden. Carlson et al. (2008) prüften anhand dieser bereits verfügbaren Daten der Early Childhood Longitudinal Study den Einfluss des zeitlichen Umfangs des bewegungszentrierten Unterrichts in US-amerikanischen Elementary Schools auf die akademische Leistung in Mathematik und Lesen. Dafür wurde die Teilnahme am bewegungszentrierten Unterricht und die akademische Leistung der Proband(inn)en vom Eintritt in den amerikanischen „kindergarten“ (entspricht in Österreich etwa der 1. Klasse Volksschule) 1998/99 bis hin zur fünften Schulstufe („fifth grade“) im Frühling 2004 aufgezeichnet. Die direkte Messung der akademischen Leistung erfolgte an fünf Zeitpunkten durch einen standardisierten Test. Carlson et al. (2008) konnten bei der Analyse, ob es tatsächlich Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die akademischen

Leistungen gibt, geschlechterspezifische Unterschiede feststellen. Mädchen, welche sehr häufig am bewegungszentrierten Unterricht teilnahmen (70-300 Minuten pro Woche), wiesen einen kleinen, aber dennoch signifikanten Vorteil gegenüber ihrer Altersgenossinnen mit nur 0 bis 35 Minuten Teilnahme am bewegungszentrierten Unterricht pro Woche hinsichtlich der Mathematik- und Leseleistungen auf. An dieser Stelle sei angemerkt, dass durch die große Spannbreite innerhalb der Gruppe der fitten Mädchen, von 70 bis 300 Minuten bewegungszentrierten Unterricht pro Woche, keine Feststellung des konkret notwendigen Aktivitätsniveaus für eine positive Auswirkung auf die akademischen Leistungen getroffen werden kann. Für Buben konnte keine positive oder negative Verbindung zwischen dem zeitlichen Umfang des bewegungszentrierten Unterrichts und der akademischen Leistungen festgestellt werden. Die Autor(inn)en Carlson et al. (2008) schließen aus diesem Ergebnis, dass der bewegungszentrierte Unterricht in der Grundschule auf keinem Fall negative Auswirkungen auf die akademischen Leistungen hat. Vielmehr gehen die Autor(inn)en von einer positiven Verbindung eines gesteigerten zeitlichen Umfangs des bewegungszentrierten Unterrichts bei Mädchen hinsichtlich ihrer akademischen Leistung (in Mathematik und Lesen) aus.

London und Castrechini (2011) beschäftigen sich mit dem Zusammenhang körperlicher Fitness und akademischer Leistungen. Sie führten in Kalifornien eine dreijährige Längsschnittstudie mit Schülerinnen und Schülern der vierten bis zur siebten und der sechsten bis zur neunten Schulstufe durch. Dabei schnitten mit der Zeit jene Kinder, welche wiederholt einen Fitnesstest (FITNESSGRAM®) bestanden, bei der Überprüfung der Mathematik- und Englischleistung besser ab, als jene, die ihn wiederholt nicht bestanden. Die Autorin und der Autor merken an, dass diese akademischen Unterschiede bereits vor dem Fitness Test in der fünften Schulstufe beginnen und bei Mädchen und Amerikaner(innen) lateinamerikanischer Herkunft größer sind. Der sozioökonomische Status dient laut London und Castrechini (2011) den weniger fitten Kindern als gewisser „Puffer“, um trotzdem sehr gute akademische Leistungen zu erzielen. Hinsichtlich der einzelnen Untertests des Fitnesstests konnten in dieser Studie keine signifikant unterschiedlichen Auswirkungen auf die akademischen Leistungen festgestellt werden.

Wittberg, Northrup und Cottrell (2012) untersuchten in West Virginia den Einfluss aerober Fitness auf die akademischen Leistungen von Heranwachsenden der fünften Schulstufe über zwei Jahre hinweg. Dafür wurden die Daten des aeroben Fitnesstests FitnessGram (1-Mile-Run oder Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run (PACER)) in der Schulstufe fünf und sieben und die akademischen Testleistungen (West Virginia Educational Standards Test (WESTEST)) aufgezeichnet. Es stellte sich heraus, dass jene Schüler(innen), welche beide Fitnesstests bestanden, auch in der siebten Schulstufe

bessere Testleistungen zeigten. Daraus schließen Wittberg et al. (2012), dass sehr gute aerobe Leistung von Schülerinnen und Schülern mit einer besseren akademischen Leistung korreliert. Dieser Vorteil dürfte über längere Zeit erhalten bleiben, vor allem dann, wenn die Heranwachsenden weiterhin in der gesunden Fitnesszone, der „healthy fitness zone (HFZ)“ (Wittberg, Northrup, & Cottrell, 2012), bleiben.

In der Längsschnittstudie aus Taiwan von Chen, Fox, Ku und Taun (2013) liegt der Schwerpunkt, ähnlich jenem von London und Castrechini (2011) und Wittberg et al. (2012), auf dem Zusammenhang einer Veränderung der Fitness und der darauffolgenden akademischen Leistung bei Kindern. Dafür wurden die Schulzeugnisse taiwanischer Schulkinder von der siebten bis zur neunten Schulstufe aufgezeichnet. Um die körperliche Fitness zu messen, wurden am Beginn jeder Schulstufe kardiovaskuläre Fitness (1600-Meter-Lauf Buben/ 800-Meter-Lauf Mädchen), sit-and-reach flexibility Test, bent-leg curl-ups, und Körpergewicht und -größe zur Erfassung des Body Mass Index (BMI) festgehalten. Entgegen der Erkenntnisse von London und Castrechini (2011) bezüglich der einzelnen Untertests körperlicher Fitness konnten Chen et al. (2013) feststellen, dass sich einzig die kardiovaskuläre Fitness (nicht aber muskuläre Ausdauer oder Beweglichkeit) als signifikanter Faktor für die besseren Testleistungen in Sprache, Naturwissenschaften, Mathematik und Sozialkunde erwies. Der Zusammenhang von akademischer Leistung und BMI kann als schwach und nicht signifikant betrachtet werden.

Eine der vorliegenden Studien, welche sich mit den Auswirkungen koordinativer Bewegungshandlungen befasst, ist jene von Dirksen, Zentgraf und Wagner (2015). Sie überprüfen im Rahmen ihrer erst kürzlich veröffentlichten Interventionsstudie den Einfluss eines in der Schule durchgeföhrten koordinativen Interventionsprogramms sowohl auf die koordinative, als auch auf die schulische Leistungsfähigkeit von Schülerinnen und Schülern im Alter von 11 bis 13 Jahren. Zur Überprüfung der koordinativen Leistungen wählten Dirksen et al. (2015) die Bereiche Gleichgewicht, räumliche Orientierung, kinästhetische Differenzierung und Auge-Hand-Koordination. Die schulischen Leistungen wurden anhand der Lese-, Schreib-, und Mathematikleistungen erhoben. Das Studienergebnis führt zu der Annahme, dass sich die Interventionsgruppe bereits bei geringen koordinativen Trainingsinterventionen sowohl in der kinästhetischen Differenzierungsleistung und der Augen-Hand-Koordinationsleistung, als auch bezüglich der Schreibleistung gegenüber der Kontrollgruppe signifikant verbesserte. In Bezug auf die Mathematik- und Leseleistung konnte bei der Mathematiküberprüfung kein Unterschied und bei der Leseleistung eine statistisch bedeutsame Leistungsabnahme der Interventionsgruppe im Vergleich zur Leistungssteigerung der Kontrollgruppe konstatiert werden (siehe Abbildung 11). Dirksen et al. (2015) charakterisieren diese Befundlage dennoch als indifferent, da sie stark von

anderen Einflussfaktoren, wie der psychophysischen „Tagesform“ oder Motivation, abhängen kann und auch ein größerer Stichprobenumfang anzustreben wäre.

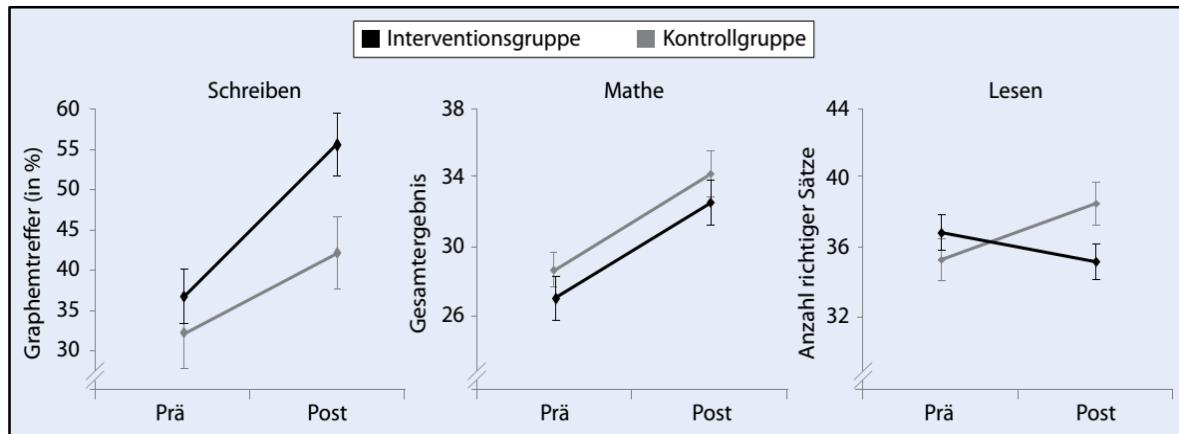


Abbildung 11: Entwicklung der schulischen Leistung der Interventions- und Kontrollgruppe in den Bereichen Schreiben, Mathematik und Lesen vom Prä- zum Posttest (Dirksen et al., 2015, S. 78).

Tabelle 3: Überblick über die vorliegenden Längsschnitt- und Interventionsstudien zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Kindern

Nr.	Autor(in)	Jahr	Studie	Staat	Anzahl Proband (inn)en	Alter	Dauer	Ergebnis
1	Carlson et al.	2008	Physical Education and Academic Achievement in Elementary School: Data From the Early Childhood Longitudinal Study	USA	5316	students from kindergarten through fifth grade	6 years	A small but significant benefit for academic achievement in mathematics and reading was observed for girls enrolled in higher amounts (70–300 minutes per week) of physical education (referent: 0–35 minutes per week). Higher amounts of physical education were not positively or negatively associated with academic achievement among boys.
2	London & Castrechini	2011	A longitudinal examination of the link between youth physical fitness and academic achievement	USA	fourth to seventh grade: 1325 sixth to ninth grade: 1410 total of: 2735	2 cohorts of students, from 4 th to 7 th and 6 th to 9 th grade	3 years	Comparing those who are persistently fit to those who are persistently unfit, we find disparities in both math and English language arts test scores. These academic disparities begin even before students begin fitness testing in fifth grade and are larger for girls and Latinos. Overall physical fitness is a better predictor of academic achievement than obesity as measured by body mass index. Socioeconomic status acts as a buffer for those who have poor physical fitness but strong academic performance.
3	Wittberg et al.	2012	Children's Aerobic Fitness and Academic Achievement: A Longitudinal Examination of Students During Their Fifth and Seventh Grade Years	USA	1725	fifth and seventh grade years	2 years	Students who stayed in the healthy fitness zone (HFZ) had significantly higher WESTEST scores [a criterion-based assessment for academic performance] than did students who stayed in the needs improvement zone (NIZ). Students who moved into or out of the HFZ occasionally had significantly higher WESTEST scores than did students who stayed in the NIZ, but they were rarely significantly lower than those of students who stayed in the HFZ.

Bewegung und Kognition

Nr.	Autor(in)	Jahr	Studie	Staat	Anzahl Proband (inn)en	Alter	Dauer	Ergebnis
4	Chen et al.	2013	Fitness change and subsequent academic performance in adolescents	Taiwan	669 (352 boys, 317 girls)	7 th grade to 9 th grade; mean age grade = 14,6	3 years	The results showed that improvement in CV [cardiovascular] fitness, but not muscular endurance or flexibility, is significantly related to greater academic performance. A weak and nonsignificant academic-BMI relationship was seen. CV fitness exhibits stronger longitudinal associations with academic performance than other forms of fitness or BMI for adolescents
5	Dirksen et al.	2015	Bewegungskoordination und Schulerfolg? Feldstudie zum Einfluss einer Bewegungsintervention auf koordinative und schulische Leistungen in der Sekundarstufe I	Deutschland	224	11-13 Jahre	20-wöchiges Interventionsprogramm	Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Interventionsgruppe schon bei geringer Trainingsdosis in zwei koordinativen Leistungsbereichen (kinästhetische Differenzierung, Auge-Hand-Koordination) sowie in einem schulischen Leistungsbereich (Schreiben) signifikant stärker verbessern konnte als die Kontrollgruppe. Insgesamt muss die Befundlage aber noch als indifferent bezeichnet werden.

4.1.4 Kritische Momente in der Vergleichbarkeit der Studien

Gründe für Kritik an bisherigen Studien zu den Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit sind vielfach und können unter anderem im heterogenen Studiendesign und der unterschiedlichen Untersuchungsstichprobengröße oder im teils unscharf definierten Gebrauch von Begriffen liegen.

Wenngleich die Fragestellung, ob körperliche Aktivität die geistige Leistungsfähigkeit beeinflusst, im Interesse diverser Studien liegt, kann dem heutigen Forschungsstand zufolge nur schwer eine allgemein gültige Antwort zum Zusammenhang bzw. dem Einfluss von Bewegung auf Kognition bei Kindern gegeben werden. Während die einen Studien dahingehend auszulegen sind, dass sie einen signifikanten Zusammenhang postulieren, deuten Ergebnisse anderer Studien nur auf mäßigen, keinen oder sogar einen negativen (nur sehr selten) Zusammenhang hin.

Die Ursachen für dieses breit gefächerte Ergebnisspektrum können, wie bereits knapp angedeutet, in der Verschiedenartigkeit des Studiendesigns zur Ermittlung der körperlichen Aktivität und der geistigen Leistungsfähigkeit gesehen werden. Auf die besondere Herausforderung, der exakten und präzisen Messung und Definition der körperlichen Aktivität und der geistigen Leistungsfähigkeit von Kindern, wird auch von Davis und Lambourne (2009, p. 266) hingewiesen. „Quality of measurement directly affects the ability of a study to detect relationships. One of the challenges with this line of research is the difficulty in measuring children’s physical activity levels. [...] Furthermore, it may be difficult to operationally define what can be considered physical activity.“ Ebenso merken die Autorinnen hinsichtlich der Messung kognitiver Leistungen relativierend an: „Measurement of cognition is also challenging“ (Davis & Lambourne, 2009, p. 266).

Um eine allgemeine Aussage über die untersuchten Studienergebnisse zu ermöglichen, wird ferner auf die Notwendigkeit von Langzeitstudien mit größerem Stichprobenumfang hingewiesen, um auf diese Weise auch die Wirkungsrichtung von Bewegung und Kognition zu berücksichtigen.

Des Weiteren gilt es zu klären, welchen Einfluss Motivation, genetische Veranlagungen, Ernährungsweisen, Lebensstil etc. in der Kindheit und Pubertät auf den Zusammenhang von Bewegung und Kognition haben. Khan und Hillman (2014, p. 143) betonen: „Further research is needed to determine to what extent genetics, motivation, personality characteristics, nutrition, and intellectual stimulation play roles in mediating the fitness-brain relationship observed in cross-sectional studies“. Unter den kritischen Stimmen finden sich auch solche, welche eine tiefergehende Differenzierung bei der Erforschung des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition, u. a. in Alter und Geschlecht, verlangen

(Swagerman et al., 2015, S. 32 f.). In der vorliegenden Arbeit wurde aus diesem Grund der Altersbereich mit 10 bis 14-jährigen Heranwachsenden scharf abgegrenzt. Hinsichtlich der geschlechtsspezifischen Differenzierung lassen die betrachteten Studienergebnisse auf einen Unterschied zwischen Mädchen und Buben in Bezug auf die Effekte körperlicher Aktivität und Fitness auf die kognitiven Leistungen schließen (Carlson, et al., 2008; London & Castrechini, 2011). Darüber hinaus mangelt es an Studien, welche den Sozialstatus der Proband(inn)en in ihren Untersuchungen anführen, obwohl bereits Manz et al. (2014) den Einfluss des Sozialstatus auf die körperliche Aktivität und Hillmert (2014) die Auswirkung auf den Bildungserfolg nachweisen konnten. Somit würde eine starke Interdependenz von Sozialstatus, körperlicher Aktivität und kognitiver Leistung durchaus nahe liegen (London & Castrechini, 2011) und bedürfe zukünftiger Forschungen.

4.2 Welche konkreten körperlichen Aktivitäten können signifikante motorisch-kognitive Verknüpfungen auslösen?

Um den aktuellen Forschungsstand zum Zusammenhang körperlicher Aktivität und Kognition zu beleuchten, bedarf es neben der Beschreibung der speziellen kognitiven Fähigkeiten (im nächsten Kapitel 4.3), welche besonders sensibel auf körperliche Aktivität reagieren, auch der differenzierten Betrachtung jener Arten von Bewegung, welche Auswirkungen auf kognitive Leistungen begünstigen.

Anhand der Untersuchung vorliegender Metaanalysen, Reviews, Querschnitts- und Korrelationsstudien, sowie Längsschnitt- und Interventionsstudien kann festgestellt werden, dass sich die meisten Studien, die sich auf das Kindes- und Jugendalter beziehen, mit den Effekten allgemeiner körperlicher Aktivität und Fitness auf die kognitiven Leistungen auseinandersetzen. Neben diesen Untersuchungen und Übersichtsarbeiten liegt der Forschungsschwerpunkt weiterer Studien (meist querschnittlichen Designs) auf dem Zusammenhang und den Auswirkungen aeroben Trainings auf die kognitiven Leistungen. Mit koordinativem Training und dessen Auswirkungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit beschäftigten sich Dirksen et al. (2015). In diesen analysierten Studien liegt der Fokus zwar entweder auf den konditionellen oder den koordinativen Fähigkeiten, eine weitere Differenzierung, z. B. im Bereich der Kondition in Kraft oder Schnelligkeit, wird jedoch teilweise nicht explizit vorgenommen.

Folglich lag hinsichtlich der körperlichen Aktivität das Hauptinteresse der untersuchten und den Einschlusskriterien entsprechenden Studien, erstens auf körperlicher Aktivität und Fitness im Allgemeinen, zweitens auf konditionellem Training und drittens auf koordinativem Training. Ergebnisse der untersuchten Metaanalysen, Reviews und Studienergebnisse bilden das Fundament für die Beantwortung der Fragestellung, welche

konkreten Arten körperlicher Aktivität sich mit großer Wahrscheinlichkeit positiv auf die kognitiven Leistungen auswirken können.

Für eine bessere Übersicht werden im Folgenden diese drei Bereiche (körperliche Aktivität und Fitness im Allgemeinen, konditionelles Training und koordinatives Training) möglichst getrennt angeführt, um dadurch zu strukturierten Ergebnissen der untersuchten Analysen und Studien zu gelangen. Zum Teil gestaltet sich die Zuordnung einzelner Metaanalysen, Reviews und Studien jedoch als schwierig, da es zum einen Studien gibt, welche sich mit mehreren Aspekten körperlicher Aktivität befassen, und zum anderen große Überschneidungen vor allem zwischen dem Bereich körperlicher Aktivität und Fitness allgemein und dem konditionellen Training auftreten. Ist dies der Fall, werden die Ergebnisse tendenziell dem Bereich der körperlichen Aktivität und Fitness im Allgemeinen zugeordnet, sofern nicht explizit auf konditionelles Training oder die Art des konditionellen Trainings, hingewiesen wird.

4.2.1 Die Auswirkungen körperlicher Aktivität und Fitness im Allgemeinen auf kognitive Leistungen

Metaanalysen, wie jene von Etnier et al. (1997) und Sibley und Etnier (2003), kommen bei der Untersuchung des Zusammenhangs körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungen zu dem Schluss, dass die Art körperlicher Aktivität als wenig entscheidender Faktor für den positiven Einfluss körperlicher Aktivität und Fitness auf die kognitiven Leistungen gilt. Gleichbleibend, ob es sich dabei um Ausdauer-, Krafttraining, Schulsportunterricht oder psychomotorisches Training handelt, es kann ein kleiner signifikant positiver Effekt auf die Kognition wahrgenommen werden. Sibley und Etnier (2003) führen dazu weiter aus:

„Type of activity was also non-significant as a moderator variable. This again is an important finding because it suggests that any type of physical activity will ultimately benefit cognitive performance [...]. However, it must be remembered that the results of a meta-analysis are limited by the design of the studies in the area“ (Sibley & Etnier, 2003, p. 252).

Studien, welche sich speziell mit den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf bestimmte Gehirnstrukturen und -funktionen beschäftigen, stehen trotz voranschreitender technischer Hilfsmittel noch am Anfang ihrer Untersuchungen. Es wird vermutet, dass tägliche Bewegung und verbesserte aerobe Fitness unter anderem zu größerem Gehirnvolumen und einer höheren Integrität der Gehirnstruktur, sowie zu effizienteren Gehirnfunktionen und folglich einer gesteigerten exekutiven Kontrolle führen (Hillman, Khan, & Kao, 2015).

Betrachtet man den aktuellen Forschungsstand zu Bewegung und Kognition bei Kindern, sticht unmittelbar der Begriff der exekutiven Funktionen (auch als kognitive oder exekutive

Kontrolle bezeichnet) ins Auge. Etliche Studien beschäftigen sich mit den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die exekutiven Funktionen. Die Ergebnisse sind vielseitig, sprechen aber dennoch in weitaus überwiegender Anzahl von einem positiven Zusammenhang (Chaddock et al., 2010b; Jansen, 2014; Pontifex et al., 2011). Es wird angenommen, dass aerobe Fitness die kognitive Kontrolle (Chaddock et al., 2010b; Jansen, 2014), ebenso wie die visuell-räumlichen Fähigkeiten (Jansen, 2014) besonders während der Kindheit und der präpubertären Phase positiv beeinflusst. Hinsichtlich der Auswirkungen kardiorespiratorischer Fitness bei präadoleszenten Kindern kann festgestellt werden, dass weniger fitte Heranwachsende mehr Schwierigkeiten bei der flexiblen Anpassung der kognitiven Kontrollprozesse (um der Aufgabenanforderung gerecht zu werden) aufweisen, als fitte Kinder (Pontifex et al., 2011).

Diesen Ergebnissen stehen Swagerman et al. (2015) in mancher Hinsicht kritisch gegenüber. In ihren Untersuchungen weisen univariate Modelle auf einen positiven Zusammenhang zwischen dem wöchentlichen metabolischen Äquivalent (MET) und der kognitiven Geschwindigkeit und Genauigkeit hin. Multivariate Modelle lassen jedoch keinen oder nur einen geringen direkten Zusammenhang zwischen den Auswirkungen von Bewegung auf Kognition erkennen. Lediglich der Effekt von Bewegung auf die Aufmerksamkeit konnte als signifikant positiv wahrgenommen werden. Swagerman et al. (2015) suggerieren, dass langfristige Auswirkungen von regelmäßigen freiwilligen körperlichen Freizeitaktivitäten auf die Kognition in der Grundbevölkerung nur limitiert feststellbar sind.

Neben dieser Reihe an Studien, welche die Zusammenhänge körperlicher Aktivität im Allgemeinen auf die exekutiven Funktionen zu erfassen versuchen, gibt es eine Vielzahl an Studien, welche sich mit schulbezogenen körperlichen Aktivitäten beschäftigen. Diese finden hier ihren Platz, da von schulbezogenen Aktivitäten angenommen werden darf, dass sie sowohl koordinative, als auch konditionelle Aspekte umfassen. Es wurde herausgefunden, dass sich vermehrte schulbezogene körperliche Aktivitäten positiv auf die Gesundheit der Schüler(innen) auswirken und selbst dann nicht hinderlich für die akademischen Leistungen der Schüler(innen) sind, wenn sie zeitlich zulasten anderer Unterrichtsfächer gingen (Lees & Hopkins, 2013; Rasberry et al., 2011; Trudeau & Shephard, 2008). Hervorgehoben wird auch von Carlson et al. (2008), dass der bewegungszentrierte Unterricht keinesfalls negative Effekte auf akademische Leistungen aufweist. Vielmehr wird, den Untersuchungen folgend, von einer positiven Verbindung eines gesteigerten zeitlichen Umfangs des bewegungszentrierten Unterrichts bei Mädchen hinsichtlich ihrer akademischen Leistungen in Mathematik und Lesen ausgegangen (Carlson et al., 2008). Auch eine taiwanische Studie (Chen et al., 2013) spricht von

verbesserten Testleistungen sowohl bei Mädchen, als auch bei Buben in den Bereichen Mathematik, Naturwissenschaften, Sprache und Sozialkunde. Sie gehen davon aus, dass bei der kardiovaskulären Fitness, nicht aber bei muskulärer Ausdauer oder Beweglichkeit, signifikant positive Auswirkungen auftreten.

Während die Begriffe der körperlichen Aktivität und Fitness in manchen Reviews und Studien als Synonyme verschwimmen, gibt es diesbezüglich auch differenzierte Übersichtsarbeiten, wie jene von Dadaczynski und Schiemann (2015). In ihrer Arbeit konnte anhand der Analyse von Längsschnittstudien festgestellt werden, dass sich sowohl die körperliche Aktivität, als auch die Fitness bei Heranwachsenden auf die Bildungsoutcomes statistisch abgesichert positiv auswirkt. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass eine weitaus homogener Befundlage im Bereich der körperlichen Fitness, als in jenem der körperlichen Aktivität vorliegt (Dadaczynski & Schiemann, 2015).

4.2.2 Die Auswirkungen konditionellen Trainings auf kognitive Leistungen

Konditionelles Training im aeroben Bereich und der Zusammenhang mit kognitiven Leistungen bei Kindern liegt im Forschungsinteresse zahlreicher Studien. Es werden dabei verschiedene Auswirkungen auf die kognitiven Leistungen untersucht und festgestellt, sowie diverse Arten aeroben Trainings beschrieben. Den Studienergebnissen zufolge geht eine sehr gute aerobe Leistung bei Heranwachsenden mit einer verbesserten akademischen Leistung einher (Chang et al., 2012; Lees & Hopkins, 2013; Wittberg et al., 2012).

Ebenfalls im Zentrum des Forschungsinteresses stehen die Auswirkungen aeroben Trainings auf die exekutiven Funktionen (Best, 2010). Der Schluss liegt nahe, dass sowohl kurzzeitige, als auch langfristige aerobe Bewegungsaktivitäten die exekutiven Funktionen positiv beeinflussen. Kurzzeitige aerobe körperliche Aktivität weist auch im Bereich einfacher Reaktionsaufgaben und besonders bei Reaktionsauswahl-Aufgaben positive Effekte auf (Ellemborg & St-Louis-Deschênes, 2010). Überdies wird untersucht, ob sich eine kurzzeitige aerobe Trainingseinheit oder aber eine gleich lang andauernde Ruhephase auf fitte oder auf weniger fitte Kinder unterschiedlich auswirkt. Hogan et al. (2013) kommen zu dem Ergebnis, dass fitte Kinder nach einer aeroben Trainingseinheit im Vergleich zu weniger fitten Kindern eine signifikant kürzere Reaktionszeit zeigen. Das Studienergebnis deutet darauf hin, dass körperliche Fitness und kurzzeitige aerobe Trainingsinterventionen die Kognition durch eine gesteigerte Wirksamkeit aufmerksamkeitsbezogener Prozesse verbessern kann (Hogan et al., 2013).

Nur wenige Studien legen ihren Fokus auf den Vergleich verschiedener Arten aeroben Trainings und deren Auswirkungen auf Kognition bei Kindern, weshalb dazu kaum

detaillierte Ergebnisse vorliegen. Eine der wenigen Studien davon ist jene von Pesce et al. (2009), in welcher die Auswirkungen auf die kognitiven Leistungen eines einstündigen individuellen Zirkeltrainings im Vergleich zu einer anderen einstündigen Einheit aerober Teamspiele gleicher Intensität bei präpubertären Kindern analysiert wurden. Es konnte festgestellt werden, dass zwar das Zirkeltraining mehr Möglichkeiten zum Erlernen motorischer Fähigkeiten bot, jedoch Teamspiele mehr Gelegenheiten dazu gaben, diese motorischen Fähigkeiten auf eine kompetitive und strategische Art einzusetzen. Um Aussagen über die Auswirkungen auf die Kognition treffen zu können, wurden die Kinder dazu angehalten, zum einen unmittelbar nach der Einheit und zum anderen nach einer kurzen Verzögerung eine Liste von Wörtern zu lernen. Während sofort nach der Einheit eine verbesserte Gedächtnisleistung in Relation zur Ausgangsleistung nur bei Kindern der aerober Teamspiele erfasst werden konnte, zeigte sich nach einer kurzen Pause, dass beide aerober Trainingsformen mit einer gesteigerten Gedächtnisleistung korrelierten. Somit wird vermutet, dass Teamspiele spezifische kognitive Prozesse auslösen, welche sich folglich positiv auf den unmittelbaren Abruf der Wörter auswirken (Pesce, Crova, Cereatti, Casella, & Bellucci, 2009).

Neben der positiven Auswirkung aerober körperlicher Aktivität bei Kindern auf die Kognition, konnte in Studien auch ihr positiver Einfluss (wenn auch teilweise nur minimal) auf psychosoziale Funktionen sowie auf das Sozialverhalten beschrieben werden (Lees & Hopkins, 2013).

Zur Erforschung der Gehirnstrukturen und -funktionen, welche durch aerobes Training oder aerobe Fitness modelliert werden können, wurde erst kürzlich die Rolle der aeroben Fitness auf die kortikale Dicke und auf die akademischen Leistungen bei präadoleszenten Kindern untersucht (Chaddock-Heyman et al., 2015a). Dabei wurde herausgefunden, dass fittere Kinder im Vergleich zu weniger fitten, eine geringere Dicke an grauer Gehirnmasse in bestimmten Gehirnbereichen aufweisen, welche aber mit einer besseren Leistung in Mathematik und Arithmetik einhergeht. Keine Unterschiede konnten bei dieser Untersuchung bezüglich der Lese- und Rechtschreibleistung beobachtet werden.

In anderen Untersuchungen der Gehirnstruktur und -funktionen konnten die Effekte höherer aerobe Fitness mit einem größeren bilateralen Hippocampusvolumen und damit einhergehend mit verbesserten Leistungen bei Aufgaben, welche das relationale Gedächtnis beanspruchen, in Verbindung gebracht werden (Chaddock et al., 2010a; Chaddock et al., 2010b).

4.2.3 Die Auswirkungen koordinativen Trainings auf kognitive Leistungen

Im Rahmen dieser Übersichtsarbeit wurde eine Studie, welche sich ausdrücklich mit dem Zusammenhang von koordinativen Übungen und Kognition bei Kindern befasst, herangezogen. Anhand dieser an einer Schule durchgeföhrten Interventionsstudie von Dirksen, Zentgraf und Wagner (2015) kann festgehalten werden, dass koordinatives Training nicht nur auf die koordinativen, sondern auch auf die schulischen Leistungen positive Effekte erzielt. Eine Verbesserung der koordinativen Fähigkeiten konnte vor allem im Bereich der kinästhetischen Differenzierung und der Augen-Hand-Koordination aufgezeichnet werden. Im Gebiet der akademischen Leistungen konnte die Schreibleistung der Interventionsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe signifikant verbessert werden. Die Mathematikleistung ging weder mit einer Verbesserung noch einer Verschlechterung einher. Hinsichtlich der Leseleistung (welche in anderen Studien zum Teil gemeinsam mit der Schreibleistung untersucht wird) kamen Dirksen et al. (2015) jedoch zu einem hervorstechenden Ergebnis. Es wurde festgestellt, dass sich die Leseleistung der Interventionsgruppe sogar deutlich verschlechterte, während in der Kontrollgruppe eine Leistungssteigerung verzeichnet werden konnte. Jedoch weisen die Autor(inn)en darauf hin, dass dieses Studienergebnis etwas „abgeschwächt“ werden muss, da zum einen weitere Einflussfaktoren wie z. B. die Motivation nicht berücksichtigt wurden und zum anderen der Stichprobenumfang größer gewählt werden sollte.

Forschungsinteressen zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Kindern liegen derzeit großteils auf dem Bereich ausdauerorientierter Bewegungsinterventionen. Dies scheint vor allem deshalb verwunderlich, da es neben diesem auch andere Schwerpunkte, wie koordinative Bewegungsinterventionen, gibt, welche ebenso bedeutsame Effekte auf die kognitiven Leistungen mit sich ziehen könnten. Zweifellos erkennbar ist somit ein dringender Forschungsbedarf in diesem Gebiet, um durch zukünftige Studien aussagekräftigere Erkenntnisse und einen umfassenderen Einblick in die Auswirkungen koordinativen Trainings auf die Kognition im Kindesalter zu erhalten.

4.2.4 Der Einfluss weiterer entscheidender Faktoren

Von wesentlicher Bedeutung ist neben der Art von Bewegung jedoch auch der Trainingsumfang (Dauer, Intensität und Häufigkeit), welcher sich unterschiedlich positiv auf kognitive Leistungen bei Kindern auswirken kann. Beneke und Leithäuser (2008, S. 218 f.) kritisieren, dass es für die Erfassung der körperlichen Aktivität von Kindern noch unzureichend praktikable und den Güte- und Selektionskriterien entsprechende Methoden gibt. Denn bislang finden zur Messung im Kindes- und Jugendalter großteils Häufigkeit und Dauer Verwendung, obwohl die Intensität ebenso bedeutsam wäre. Eine detaillierte

Analyse dieser Parameter bedürfte einer separaten Untersuchung, da im Rahmen dieser Arbeit nicht ausführlicher darauf eingegangen werden kann.

Um jene sportlichen Aktivitäten näher bestimmen zu können, welche besonders auffallende Effekte auf die kognitiven Leistungen vermuten lassen, ist auf das Alter der Studienteilnehmer(innen) besonders einzugehen. Der ungleiche Entwicklungsverlauf der Gehirnregionen und -strukturen ist je nach Entwicklungsstadium unterschiedlich sensibel für bestimmte Arten körperlicher Aktivität. Hollmann und Strüder (2003, S. 265) ziehen als Beispiel das Vorschulalter heran, in welchem koordinative Beanspruchungen neben der Synapsenbildung auch den Erhalt der noch im Überschuss vorhandenen Gehirnneuronen fördern. Die Autoren sprechen sich dafür aus, dass aerobe dynamische und koordinative Beanspruchung eine regional gesteigerte Durchblutung des Gehirns und „einen veränderten Stoffwechsel mit Gen-Anregung und gesteigerter Produktion von zahlreichen neurotrophen Faktoren (BDNF) [engl. „brain-derived neurotrophic factor“]“ (Hollmann & Strüder, 2003, S. 265) auslösen. Während längere Zeit der Einfluss des Wachstumsfaktors BDNF in Nagerstudien erforscht wurde, deuten neuerdings auch gegenwärtige Studien am Menschen darauf hin, dass kurzzeitige Bewegungsinterventionen den Serumspiegel an BDNF erhöhen können. Es wird angenommen, dass dieser Anstieg mit der Bewegungsintensität positiv korreliert und zu besserer Gehirngesundheit, sowie gesteigerten kognitiven Leistungen führt (Cotman, Berchtold, & Christie, 2007; Ferris, Williams, & Shen, 2007).

Dementsprechend wird davon ausgegangen, dass die unterschiedlichen Bereiche körperlicher Aktivität je nach Entwicklungsstadium auch unterschiedliche Auswirkungen auf kognitive Leistungen aufweisen. Best (2010) berichtet dazu:

„Finally, certain forms of exercise may be more beneficial to EF [executive functions] at one age or another. Younger children may benefit from less structured forms of exercise that involve pretend play whereas older children may benefit from more sophisticated games containing complex rule structures. Thus, the children’s developmental level needs to be carefully considered to optimize their cognitive engagement“ (Best, 2010, p. 347).

Während Sibley und Etnier (2003) in ihrer Metaanalyse jeder Art körperlicher Aktivität eine verbesserte kognitive Leistung zuschreiben, geht Best (2010) davon aus, dass nicht jede Form aeroben Trainings in den verschiedenen Altersgruppen einen gleichen Einfluss auf die exekutiven Funktionen hat. Folglich beeinflusst aerobes Training die exekutiven Funktionen von Kindern unterschiedlichen Alters auf verschiedene Art und Weise: „From the cognitive challenges (e.g., the need to act in a goal-directed and strategic fashion)

inherent in group games to the arousing effect of vigorous movement, exercise has the potential to impact EF [executive functions] in several ways" (Best, 2010, p. 347).

Obwohl in groben Zügen Aussagen zu den diversen Arten körperlicher Aktivität gemacht werden können, wird auch ersichtlich, dass konkretere Ergebnisse (z. B. welche genauen Parameter körperlicher Aktivität letztendlich die stärksten Auswirkungen auf die kognitiven Leistungen bei Kindern nach sich ziehen) noch nicht vorliegen. Hierfür bedarf es noch weiterer Untersuchungen.

4.3 Gibt es einen Einfluss körperlicher Aktivität auf spezielle Bereiche der kognitiven Fähigkeiten?

Die Erkenntnisse zur Gehirnentwicklung verdeutlichen, dass sich nicht jede Gehirnstruktur und -funktion gleich schnell entwickelt, weshalb der Einfluss von Reizen, wie der körperlichen Aktivität, nicht auf alle kognitiven Bereiche gleich starke Auswirkungen zeigt. Eine rasante Entwicklung des Gehirns kann vor allem in der pränatalen Phase festgestellt werden. Aber auch postnatal erfährt das Gehirn weitere tiefgreifende Entwicklungen. Obwohl mit sechs Jahren bereits 95 % der maximalen Gehirngröße erreicht werden, verändern sich kortikale und subkortikale Teile des Gehirns während der Kindheit und Pubertät weiterhin sehr stark (Lenroot & Giedd, 2006). „The realization of the amount of plasticity present in even the adult brain has also made clear that the relationship between factors affecting brain development and the resultant brain structures is staggeringly complex“ (Lenroot & Giedd, 2006, p. 726). Auch andere Forscher(innen) (Ansari & Karmiloff-Smith, 2002; Karmiloff-Smith, Casey, Massand, Tomalski, & Thomas, 2014) betonen, dass das Gehirn immer das Ergebnis von Interaktionen zwischen Genetik, Epigenetik und Umweltfaktoren ist. Erst kürzlich beschreiben Hillman, Khan und Kao (2015):

„Given that the brain endures considerable growth during maturation, the influence of lifestyle factors to support plasticity is especially important during this period of the lifespan, as it appears that a healthful lifestyle stands to provide a basis for lifelong brain health“ (Hillman, Khan, & Kao, 2015, p. 3).

Seitdem festgestellt werden konnte, dass die Entwicklung des Gehirns und bestimmter Gehirnbereiche (z. B. des präfrontalen Cortex) einen länger andauernden Entwicklungsprozess bildet, wird auch möglichen Einflussfaktoren in der Entwicklung eines Kindes ein höherer Stellenwert zugeschrieben. Daraus resultierend werden auch Faktoren, wie die körperliche Aktivität und deren Einfluss auf die Gehirngesundheit und auf spezifische kognitive Funktionen, genauer analysiert (Khan & Hillman, 2014, p. 139;

Hillman, Khan, & Kao, 2015, p. 3). Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass eine höhere aerobe Fitness mit einem größeren bilateralen Hippocampus- und Basalganglienvolumen korreliert. Das trägt wiederum dazu bei, dass das Lösen von kognitiven Aufgaben, welche das relationale Gedächtnis beanspruchen, besser funktioniert, als bei weniger fitten Kindern. Somit gehen mit hoher aerober Fitness auch positive Auswirkungen auf die exekutive Kontrolle einher (Chaddock et al., 2010a; Chaddock et al., 2010b). Eine Schlüsselrolle für die Auswirkungen von Bewegung auf die Gehirnfunktionen nimmt unter einer Vielzahl involvierter Neurotrophine der bereits genannte Wachstumsfaktor BDNF (engl. „brain-derived neurotrophic factor“) ein (Cotman, Berchtold, & Christie, 2007). Das Wissen über den langwierigen Prozess der Entwicklung bestimmter Strukturen und Funktionen des Gehirns trägt zu einem umfassenderen Verständnis bei, warum sich Bewegung und körperliche Aktivität besonders bei Kindern und Jugendlichen auf die kognitiven Leistungen auswirken können.

Im Allgemeinen kann anhand der analysierten Metaanalysen, Reviews und Studien von einem kleinen positiven Zusammenhang körperlicher Aktivität und Kognition bei Heranwachsenden im Alter von 10 bis 14 Jahren ausgegangen werden. Chang et al. (2012, p. 87) fassen in Bezug auf die Auswirkungen kurzzeitiger Bewegungsaktivitäten zusammen: „In conclusion, the effects of acute exercise on cognitive performance are generally small; however, larger effects are possible for particular cognitive outcomes and when specific exercise parameters are used“. Um diese Auswirkungen auf bestimmte kognitive Bereiche zu erörtern, ist eine detaillierte Messung unabdingbar. Das führt wiederum unweigerlich zu einer Vielzahl an Messmethoden zur Überprüfung jener kognitiven Fähigkeiten, welche vermutlich durch körperliche Bewegung begünstigt werden können. Das erschwert zum Teil die Vergleichbarkeit der einzelnen Studienergebnisse.

Sibley und Etnier (2003, p. 247) unterscheiden kognitive Fähigkeiten in ihrer Metaanalyse in acht Kategorien (Wahrnehmung, Intelligenz, schulische Leistung, Gedächtnis, allgemeiner Entwicklungsstand (Schulreife), verbale als auch mathematische Fähigkeiten und Sonstige). In jeder Kategorie, außer in jener des Gedächtnisses, konnte ein signifikant positiver Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Heranwachsenden beobachtet werden. Aktuellere Studien betonen, dass nicht alle Bereiche des Gedächtnisses gleich stark vom Einfluss körperlicher Aktivität auf die Kognition berührt werden. Beispielsweise gehen Hillman und Schott (2013) davon aus, dass das Kurzzeitgedächtnis stärker als andere Bereiche von körperlichen Bewegungsaktivitäten unterstützt werden kann.

Aus der Analyse der untersuchten Studien geht deutlich hervor, dass im Bereich der Kognition vor allem der Einfluss von Bewegung auf die akademischen Leistungen und auf die exekutiven Funktionen erhoben wird. Von dieser Schwerpunktsetzung ausgehend

werden die konkreten Ergebnisse der vorliegenden Studien speziell zu diesen beiden Bereichen zusammengetragen und miteinander verglichen.

4.3.1 Körperliche Aktivität als Motor akademischer Leistungen

Generell deuten die Studienergebnisse darauf hin, dass vermehrte (schulbezogene) körperliche Bewegungsaktivität und eine bessere aerobe Fitness mit gesteigerten akademischen Leistungen korrelieren (Chaddock-Heyman et al., 2015a; London & Castrechini, 2011; Wittberg et al., 2012). Es konnte überdies gezeigt werden, dass sich vermehrte schulische Bewegungsprogramme nicht hinderlich auf die akademischen Leistungen der Schüler(innen) auswirken, selbst dann nicht, wenn diese zeitlich zulasten anderer Unterrichtsfächer gingen (Lees & Hopkins, 2013; Trudeau & Shephard, 2008). Andere Studien (Carlson et al., 2008) kommen zu dem Ergebnis, dass der bewegungszentrierte Unterricht bei einer Durchführung von mehr als einer Stunde (70 bis 300 Minuten) pro Woche, im Gegensatz zur Kontrollgruppe mit 0 bis 35 Minuten pro Woche, zu einer verbesserten Mathematik- und Leseleistung führt. Dieser Unterschied konnte ausschließlich bei Mädchen erhoben werden, während sich bei Buben keine signifikant positive oder negative Veränderung aufzeichnen ließ.

Besonders häufig wurden die Auswirkungen auf die Mathematik-, sowie Lese- und Schreibleistungen untersucht. Die Ergebnisse sind uneinheitlich und werden von verschiedenen Faktoren, wie der Art der Bewegungsintervention, beeinflusst. Im Folgenden werden die zentralen Annahmen des derzeitigen Forschungsstandes zusammengetragen.

Die Auswirkungen von Bewegung auf die Lese- und Schreibleistungen werden häufig gemeinsam behandelt. Chaddock-Heyman et al. (2015a) kommen zu dem Ergebnis, dass gesteigerte körperliche Aktivität mit keinem Unterschied hinsichtlich der Lese- und Rechtschreibleistung einhergeht. Carlson et al. (2008) wiederum sehen einen positiven Zusammenhang zwischen einem größeren zeitlichen Umfang des bewegungszentrierten Unterrichts und den Lese- und Schreibleistungen. Dieses Ergebnis ließ sich allerdings nur bei der Gruppe der Mädchen, nicht aber bei jener der Buben feststellen (Carlson et al., 2008). Eine andere nennenswerte Studie zu den Auswirkungen koordinativen Trainings auf die Schulleistungen ist jene von Dirksen et al. (2015). Diese Studienergebnisse sprechen dafür, dass koordinatives Training neben der koordinativen Fähigkeiten auch die Schreibleistung verbessert. Mathematikleistungen bleiben im Vergleich zwischen Interventions- und Kontrollgruppe unverändert. Im Gegensatz zu den Studien von Carlson et al. (2008) und Chaddock-Heyman et al. (2015a) können Dirksen et al. (2015) hinsichtlich der Leseleistungen sogar eine Verschlechterung dieser in der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe feststellen. Dieses Ergebnis muss jedoch mit gewisser

Vorsicht behandelt werden, da es weiterer Untersuchungen mit einem größeren Stichprobenumfang und der Berücksichtigung anderer Einflussfaktoren (wie Motivation) bedarf. Wieder eine andere Studie betont, dass bei englischsprachigen Heranwachsenden eine höhere Fitness mit gesteigerten Englischleistungen einhergeht (London & Castrechini, 2011). Ein heterogenes Ergebnis vor allem im Bereich der Leseleistung ist somit feststellbar.

Die Mathematik- und Arithmetikleistungen bei Heranwachsenden betreffend, wird meist von einem positiven Effekt aerober Fitness ausgegangen (Chaddock-Heyman et al., 2015a; London & Castrechini, 2011). Carlson et al (2008) stellten auch hinsichtlich der Mathematikleistungen (nur bei der Gruppe der Mädchen) verbesserte Leistungen fest. Zu schulbezogenen Bewegungsaktivitäten vermerken Trudeau und Shephard (2008, o. Seitenangabe): „PA [physical activity] has positive influences on concentration, memory and classroom behaviour“.

Dem gegenüber wurde in einer Studie, welche sich mit den Effekten eines Koordinationstrainings auf die akademischen Leistungen beschäftigte, von keinen wesentlichen Auswirkungen auf die Mathematikleistungen berichtet (Dirksen et al., 2015).

Den Studienergebnissen zufolge, kann davon ausgegangen werden, dass vermehrte körperliche Aktivität mit positiven Auswirkungen auf die akademischen Leistungen bei Heranwachsenden und speziell bei Mädchen einhergeht. Weniger fitten Kindern kann jedoch der sozioökonomische Status als „Puffer“ dienen, um trotzdem sehr gute akademische Leistungen zu erzielen (London & Castrechini, 2011).

4.3.2 Körperliche Aktivität als Motor exekutiver Funktionen

Etliche Reviews und Studien (u. a. Best, 2010; Chaddock et al., 2010b; Guiney & Machado, 2013; Hillman, Khan, & Kao, 2015; Hogan et al., 2013; Jansen, 2014; Tomporowski et al., 2008) beschäftigen sich mit den Auswirkungen körperlicher Aktivität bei Heranwachsenden auf die exekutiven Funktionen, jenen Prozessen, welche daran beteiligt sind, zielgerichtete Handlungen in komplexen und/oder neuen, sich ändernden Situationen auszuführen.

Zusammengefasst deuten die Ergebnisse dieser Untersuchungen darauf hin, dass vermehrte körperliche Bewegung (meist aerobe kurzzeitige oder langfristige Bewegungsinterventionen) die exekutiven Funktionen fördert. Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und womöglich die selektiven Aufmerksamkeitsprozesse sowie die inhibitorische Kontrolle können davon profitieren (Guiney & Machado, 2013; Pontifex, et al., 2011). Überdies wird darauf hingewiesen, dass allein durch aerobes Training die exekutiven Funktionen positiv beeinflusst werden können, die Verbindung aerober Aktivitäten mit kognitiven Anstrengungen jedoch einen noch größeren Effekt hat (Best, 2010). Unter

anderem können auch die Art der Bewegungsintervention und ob sich Kinder in einer Gruppe oder alleine körperlich betätigen, die Auswirkungen auf bestimmte exekutive Funktionen beeinflussen. Gleichesmaßen können sich nach Tomporowski, Davis, Miller und Naglieri (2008) bestimmte Arten von Bewegung je nach Alter der Heranwachsenden unterschiedlich auswirken. Neben den vorerst genannten positiven Effekten auf die geistige Leistungsfähigkeit wird auch von positiven Effekten auf die soziale Entwicklung berichtet (Tomporowski, Davis, Miller, & Naglieri, 2008).

Es gibt jedoch auch Forschungsergebnisse wie jene von Swagerman et al. (2015), welche vermuten lassen, dass nur von einer limitierten langfristigen Auswirkung regelmäßiger Bewegung in der Freizeit auf verschiedene kognitive Bereiche ausgegangen werden kann. „This pattern thus reiterates the heterogeneous findings in the literature and implies that not all cognitive functions may benefit equally from voluntary exercise“ (Swagerman, et al., 2015, p. 37). Ihren Untersuchungen zufolge ergeben univariate Modelle zur Messung des Zusammenhangs von körperlicher Aktivität und bestimmten kognitiven Bereichen ein positives Ergebnis, während multivariate Modelle lediglich von einem positiven Zusammenhang zwischen Bewegung und der Aufmerksamkeit sprechen.

Wie bereits mehrmals im Rahmen anderer Studien darauf hingewiesen wurde, kann auch aus dieser Arbeit geschlossen werden, dass weitere Untersuchungen zu den selektiven Effekten von Bewegung auf das Gedächtnis unabdingbar sind. Etnier und Chang (2009, p. 469) merken in ihrer Publikation sehr treffend an: „Research on the effect of physical activity on executive function is still in its infancy“.

4.4 Zwischenfazit

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse von Metaanalysen und Reviews, von Querschnitts- und Korrelationsstudien sowie von Längsschnitt- und Interventionsstudien analysiert und bedeutsame Erkenntnisse hervorgehoben. Des Weiteren werden zwei zentrale Fragestellungen, „Welche konkreten körperlichen Aktivitäten können signifikante motorisch-kognitive Verknüpfungen auslösen?“ und „Gibt es einen Einfluss körperlicher Aktivität auf spezielle Bereiche der kognitiven Fähigkeiten?“ anhand der vorliegenden aktuellen Studienergebnisse aufgearbeitet. Da dieses Kapitel sehr umfangreich ist, werden die Ergebnisse systematisch geordnet dargestellt, beginnend mit Metaanalysen und Reviews, den Querschnitts- und Korrelationsstudien und letztendlich den Längsschnitt- und Interventionsstudien. Die wesentlichen Ergebnisse zu den beiden genannten Fragestellungen werden im Anschluss daran beschrieben.

Die herangezogenen Metaanalysen zeigen, dass es einen kleinen signifikant positiven Effekt von körperlicher Aktivität auf die geistige Leistungsfähigkeit grundsätzlich in jedem

Alter gibt, Heranwachsende scheinen davon jedoch besonders zu profitieren (Sibley & Etnier, 2003; Trudeau & Shephard, 2008). Für Etnier et al. (1997) und Sibley und Etnier (2003) stellt sich die Art der Bewegung (egal ob Ausdauer-, Krafttraining, Schulsportunterricht oder psychomotorisches Training) als wenig relevanter Faktor für die Auswirkung auf die Kognition dar. Hinsichtlich kurzzeitiger Bewegungsaktivitäten und langfristig durchgeführter Bewegungsprogramme gibt es divergierende Meinungen. Zum einen wird keine bedeutsame Verbesserung kognitiver Leistungen durch kurzzeitige Bewegungsaktivitäten (sondern nur durch langfristige Bewegungsprogramme) konstatiert (Etnier et al., 1997; Sibley & Etnier, 2003). Zum anderen finden sich aber Untersuchungen, welche sich mit den Auswirkungen einer einzelnen kurzzeitigen Bewegungseinheit auf die kognitiven Leistungen beschäftigen. So konnte von Chang, Labban, Gapin und Etnier (2012) festgestellt werden, dass kurzzeitige Bewegungsaktivitäten, die länger als 20 Minuten andauern, die Leistungen beim Lösen kognitiver Aufgaben während oder knapp nach der Bewegungseinheit fördern. Der Einfluss von Bewegung auf präpubertäre Kinder zeigt sich daneben auch indirekt über ein gestärktes Selbstwertgefühl, verminderte Angst und Depression, sowie reduzierte psychische Leiden und Gemütsstörungen (Ahn & Fedewa, 2011; Sibley & Etnier, 2003). Es konnte folglich auf eine kleine signifikante Auswirkung körperlicher Aktivität auf eine verbesserte mentale Gesundheit geschlossen werden (Ahn & Fedewa, 2011).

Die untersuchten Reviews führen zu der Annahme, dass meist von einem kleinen signifikant positiven oder aber von keinem nachweisbaren Effekt körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit bei Heranwachsenden im Alter von 10 bis 14 Jahren ausgegangen werden kann. Der Anteil an Studien, welche von einem negativen Effekt berichten, ist, den bearbeiteten Reviews (Lees & Hopkins, 2013; Rasberry, et al., 2011; Sibley & Etnier, 2003) zufolge, vernachlässigbar.

Besonders häufig werden die Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die exekutiven Funktionen bei Kindern als Forschungsschwerpunkt herangezogen. Diese exekutiven Funktionen entwickeln sich erst im Laufe der Kindheit und Jugend, weshalb sie einem stärkeren Einfluss von Faktoren, wie z. B. körperlicher Aktivität, unterliegen (Best, 2010; Tomporowski, Davis, Miller, & Naglieri, 2008). Besonders positive Auswirkungen auf die exekutiven Funktionen kann regelmäßiges aerobes Training bezüglich der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und möglicherweise der selektiven Aufmerksamkeitsprozesse, sowie der inhibitorischen Kontrolle bewirken (Best, 2010; Chaddock et al., 2010b; Guiney & Machado, 2013; Hillman, Khan, & Kao, 2015; Hogan et al., 2013; Jansen, 2014; Tomporowski et al., 2008).

Eine Vielzahl an Reviews zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei

Heranwachsenden weist auf den dringenden Forschungsbedarf von Einflussfaktoren wie Dauer, Häufigkeit, Art oder Intensität der körperlichen Aktivität hin (Sibley & Etnier, 2003; Tomporowski, Davis, Miller, & Naglieri, 2008; Trudeau & Shephard, 2008). Diesbezüglich scheint es noch eine Vielzahl an zu klärenden Forschungsfragen zu geben.

Aus der Analyse querschnittlicher Studien geht ebenfalls ein positiver Zusammenhang zwischen Bewegung und Kognition hervor. Auffallend an den vorliegenden Querschnittsstudien ist, dass vor allem aerobes Training für die Erforschung dieses Zusammenhangs herangezogen wird. Der Fokus im Bereich der Kognition liegt sowohl auf der Messung kognitiver Leistungen (vor allem exekutiver Funktionen und akademischer Leistungen), als auch auf der Untersuchung bestimmter Gehirnfunktionen und -strukturen, von welchen eine Modifizierung durch körperliche Aktivität angenommen wird.

Studien, wie jene von Pesce et al. (2009), lassen vermuten, dass sowohl aerobes individuelles Zirkeltraining, als auch aerobe Teamspiele gleicher Intensität zu einer allgemein erhöhten Aktivierung der Gehirnfunktionen führen, welche die Konsolidierung von Lerninhalten, wie bspw. von Wortlisten, begünstigen. Dazu wurde weiter ausgeführt, dass Teamspiele beim unmittelbaren Abruf von Wörtern einen noch positiveren Effekt als Zirkeltraining bewirken.

Ellemborg und St-Louis-Deschênes (2010) analysierten überdies die Auswirkungen einer kurzen aeroben Trainingssequenz auf die kognitiven Leistungen, als Vergleich diente eine Kontrollgruppe von Kindern, welche vor dem Fernseher saßen. Daraufhin wurde sowohl an der Interventions-, als auch an der Kontrollgruppe, eine Überprüfung der kognitiven Leistungsfähigkeit durchgeführt. Daraus ging anhand einfacher Reaktionsaufgaben und Reaktionsauswahl-Aufgaben bei der Trainingsgruppe eine eindeutig verbesserte Leistung hervor.

Bereits der Vergleich der Metaanalysen und Reviews führt zu der Annahme, dass sich körperliche Aktivität auf die exekutiven Funktionen positiv auswirkt. Dies bestätigen darüber hinaus auch die Ergebnisse von Querschnitts- und Interventionsstudien. Pontifex et al. (2011) und Hogan et al. (2013) belegen, dass es zu einer Veränderung bestimmter Gehirnstrukturen und -funktionen durch körperliche Aktivität kommen kann. Es wurde des Weiteren festgestellt, dass körperliche Aktivität und erhöhte aerobe Fitness mit einem größeren Volumen bestimmter Gehirnregionen, wie z. B. den Basalganglien (Chaddock L. , et al., 2010b) und dem Hippocampus (Chaddock L. , et al., 2010a), sowie mit einer verringerten Dicke an grauer Gehirnmasse in bestimmten Gehirnbereichen (Chaddock-Heyman, et al., 2015a) einhergeht. Diese Veränderungen korrelieren wiederum mit verbesserten kognitiven Leistungen, wie z. B. im Bereich der Mathematik, der kognitiven Kontrolle und dem relationalen Gedächtnis.

Im Rahmen der Recherche konnten nur spärlich Längsschnitt- und Interventionsstudien zu den Auswirkungen von Bewegung und Kognition bei Kindern im Alter von 10 bis 14 Jahren eruiert werden. Aus diesen wenigen Studien geht hervor, dass der bewegungszentrierte Unterricht in der Grundschule tendenziell mit positiven Effekten eines gesteigerten zeitlichen Umfangs des bewegungszentrierten Unterrichts, zumindest bei Mädchen, hinsichtlich ihrer akademischen Leistung in Mathematik und Lesen einhergeht (Carlson, et al., 2008). Eine weitere Studie kam zu dem Ergebnis, dass einem höheren Fitnesslevel von Mädchen und Buben nicht nur verbesserte Mathematik-, sondern auch gesteigerte Englischleistungen (bei englischsprachigen Kindern) zugeschrieben werden können (London & Castrechini, 2011). Die Lese- und Schreibleistungen betreffend können weniger aussagekräftige Ergebnisse festgehalten werden. Vom Einfluss des sozioökonomischen Status wird angenommen, dass dieser weniger fitten Heranwachsenden als Ausgleich dienen kann, um trotzdem sehr gute akademische Leistungen zu erbringen (London & Castrechini, 2011).

Hinsichtlich der Fragestellung, welche konkreten körperlichen Aktivitäten signifikante motorisch-kognitive Verknüpfungen auslösen können, wird in dieser Arbeit deutlich, dass sich die Mehrheit aller herangezogenen Studien entweder mit den Auswirkungen körperlicher Aktivität im Allgemeinen oder mit den Effekten konditionellen Trainings auf die Kognition beschäftigen. Die Auswirkung koordinativen Trainings auf die kognitive Leistungsfähigkeit bei Kindern fand nur am Rande Erwähnung.

Im Bereich der Auswirkungen körperlicher Aktivität im Allgemeinen wird angenommen, dass hohe aerobe Fitness, sowie tägliche körperliche Aktivität zu positiven Auswirkungen auf die exekutiven Funktionen führen (Chaddock et al., 2010b; Hillman, Khan, & Kao, 2015; Jansen, 2014; Pontifex et al., 2011). Ebenso wird vermutet, dass schulbezogene körperliche Aktivitäten mit verbesserten akademischen Leistungen einhergehen (Chen et al., 2013) und sich ein Hinzufügen dieser Aktivitäten in den Schulalltag, selbst wenn sie zeitlich zulasten anderer Unterrichtsfächer gingen, nicht hinderlich auf die akademischen Leistungen auswirkt (Lees & Hopkins, 2013; Rasberry et al., 2011; Trudeau & Shephard, 2008). Dabei ist wieder auf das Ergebnis von Sibley und Etnier (2003) hinzuweisen, wonach jede Art körperlicher Aktivität letztendlich die kognitiven Leistungen positiv beeinflusst.

Studienergebnisse zu den Auswirkungen konditioneller Bewegungsinterventionen sprechen ebenfalls dafür, dass sehr gute aerobe Leistungen bei Heranwachsenden mit einer verbesserten akademischen Leistung (Chang et al., 2012; Lees & Hopkins, 2013; Wittberg et al., 2012) und positiven Effekten auf die exekutiven Funktionen (Best, 2010) einhergehen. Im Vergleich zu ihren weniger fitten Altersgenoss(inn)en schneiden körperlich leistungsstarke Kinder darüber hinaus bei Aufgaben, welche das relationale Gedächtnis

beanspruchen, besser ab (Chaddock et al., 2010a; Chaddock et al., 2010b). Eine der wenigen Studien, welche zwei Arten aeroben Trainings (individuelles Zirkeltraining und Teamspiele) gleicher Intensität gegenüberstellt und hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Konsolidierung von Wörtern untersucht, ist jene von Pesce et al. (2009). Des Weiteren kann der positive Einfluss aerober Bewegungsaktivitäten auf psychosoziale Funktionen, auf das Sozialverhalten und auf die psychosoziale Gesundheit hervorgehoben werden (Ahn & Fedewa, 2011; Lees & Hopkins, 2013).

Zum Zusammenhang koordinativen Trainings und Kognition bei 10 bis 14-jährigen Kindern konnten Dirksen et al. (2015) neben positiven Effekten auf die koordinativen Fähigkeiten auch positive Auswirkungen auf die schulischen Leistungen feststellen.

Hinsichtlich der Frage, ob es einen Einfluss körperlicher Aktivität auf spezielle Bereiche der kognitiven Fähigkeiten gibt, ist hervorzuheben, dass das Augenmerk auf der Erforschung der Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die akademischen Leistungen und auf die exekutiven Funktionen liegt. Da die Gehirnentwicklung ein lang andauernder Prozess ist, wird vermutet, dass jede Art körperlicher Aktivität je nach Gehirnentwicklung unterschiedlich starke Auswirkungen auf die kognitiven Leistungen bewirkt.

Die akademischen Leistungen betreffend wurden mehrheitlich die Auswirkungen auf Mathematik-, sowie Lese- und Schreibleistungen untersucht. Allgemein deuten die Ergebnisse der analysierten Studien darauf hin, dass erhöhte (schulbezogene) körperliche Aktivität und aerobe Fitness mit einer besseren akademischen Leistung korreliert (u. a. Chaddock-Heyman et al., 2015a; London & Castrechini, 2011; Wittberg et al., 2012).

Die gesteigerten exekutiven Funktionen werden hauptsächlich in einer verbesserten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und vermutlich in positiven Auswirkungen auf die inhibitorische Kontrolle sowie auf die selektiven Aufmerksamkeitsprozesse gesehen (Best, 2010; Chaddock et al., 2010b; Guiney & Machado, 2013; Hillman, Khan, & Kao, 2015; Hogan et al., 2013; Jansen, 2014; Pontifex, et al., 2011; Tomporowski et al., 2008).

5 Resümee und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, zuerst einen neurowissenschaftlichen Überblick über jene Strukturen und Funktionen des menschlichen Organismus zu bieten, welche in Verbindung mit Bewegung und Kognition besonderer Erwähnung bedürfen. Anschließend erfolgte davon ausgehend eine Analyse, Auswertung und Zusammenfassung aktueller Studien zum Zusammenhang und zu den Auswirkungen von Bewegung und Kognition bei Kindern im Alter von 10 bis 14 Jahren. Um eine möglichst strukturierte Darstellung des Forschungsstandes zu erhalten, wurden Untersuchungen, welche den Einschlusskriterien entsprachen, in Metaanalysen und Reviews, Querschnitts- und Korrelationsstudien, sowie Längsschnitt- und Interventionsstudien eingeteilt, chronologisch geordnet und zusammengefasst.

Primär gilt die Erkenntnis der Plastizität des Gehirns als fundamentale Annahme, wenn nicht sogar als Grundvoraussetzung, für die Erforschung des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition. Abweichend von der früheren Theorie eines fest verdrahteten Netzwerkes an Gehirnzellen und Neuronen, scheint heute vielmehr ein Vergleich mit modulierbarer Knetmasse treffender (Ratey & Hagerman, 2013, S. 50). Es kann angenommen werden, dass Gehirnstrukturen und -funktionen sensibel auf besondere Reize, wie z. B. körperliche Aktivität, reagieren und Synapsen, Nervenzellen und Gehirnareale sich dementsprechend anpassen. Diese Erkenntnis bildet die Basis für die Untersuchung des Zusammenhangs von körperlicher Aktivität und kognitiver Leistung.

Aus den Metaanalysen, Reviews und Studien gingen vorrangig zwei Tendenzen hervor, zum einen, dass körperliche Aktivität und kognitive Leistungsfähigkeit meist mit einem signifikant positiven Zusammenhang korreliert und zum anderen, dass kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden kann. Ein negativer Zusammenhang wurde nur von einer verschwindend kleinen Anzahl an Studien festgestellt (Lees & Hopkins, 2013; Rasberry et al.; Sibley & Etnier, 2003). Ein Großteil der vorliegenden Studien befasste sich sowohl mit körperlicher Aktivität im Allgemeinen, als auch mit aeroben (kurzzeitigen oder langfristigen) Bewegungsaktivitäten. Weniger starker Beachtung fanden in den untersuchten Studien koordinative Bewegungsinterventionen und deren Auswirkung auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Heranwachsenden.

Aus jenen Studien, welche sich mit den Auswirkungen körperlicher Aktivität im Allgemeinen auf die kognitiven Leistungen befassen, ging hervor, dass tägliche körperliche Aktivität und hohe aerobe Fitness zu positiven Effekten auf die exekutiven Funktionen (u. a. Chaddock et al., 2010b; Hillman, Khan, & Kao, 2015; Jansen, 2014; Pontifex et al., 2011) und auf die akademischen Leistungen (u. a. Chaddock-Heyman et al., 2015a; Chen et al., 2013;

London & Castrechini, 2011) führen können. Untersuchungen, welche den Zusammenhang zwischen konditionellen Bewegungsaktivitäten und der Kognition analysieren, zeigten, dass eine sehr gute aerobe Leistung neben einer verbesserten akademischen Leistung (u. a. Lees & Hopkins, 2013; Wittberg et al., 2012), sowie positiven Effekten auf die exekutiven Funktionen (u. a. Best, 2010) und auf das relationale Gedächtnis (u. a. Chaddock-Heyman, et al., 2015a; Chaddock-Heyman, et al., 2015b), ebenfalls mit einem positiven Einfluss auf psychosoziale Funktionen und auf die psychosoziale Gesundheit einhergingen (Lees & Hopkins, 2013).

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Studien vorgestellt, welche sich sowohl mit kurzzeitigen („acute exercise“), als auch mit langfristig („chronic exercise“) durchgeföhrten Bewegungsaktivitäten befassen. Während manche Studien (Etnier et al., 1997; Sibley & Etnier, 2003) lediglich bei langfristigen Bewegungsprogrammen (nicht aber bei kurzzeitigen) positive Effekte für möglich halten, können in anderen Untersuchungen jedoch auch positive Auswirkungen einer einzelnen kurzzeitigen Bewegungseinheit auf die kognitive Leistungsfähigkeit festgestellt werden. Dazu zeigten Chang et al. (2012), dass Kinder mit höherer aerober Fitness nach kurzzeitigen Bewegungsinterventionen von über 20 Minuten verbesserte Leistungen beim Lösen kognitiver Aufgaben während oder knapp nach der Bewegungseinheit aufwiesen. Nachdem manche physiologische Vorgänge jedoch erst nach einer gewissen Bewegungsdauer „anlaufen“, sind die Auswirkungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit erst nach einer bestimmten Zeit der Bewegungsausführung feststellbar. Dies dürfte erst bei einer Bewegungsdauer von rund 20 Minuten sein, da unter 20 Minuten sogar von einem negativen Effekt auf die kognitiven Leistungen berichtet wurde (Chang et al, 2012).

Hinsichtlich der Auswirkungen von Bewegung auf die kognitiven Leistungen wurde das Augenmerk vor allem auf die exekutiven Funktionen und auf die akademischen Leistungen gelegt. Dabei konnte herausgefunden werden, dass regelmäßiges aerobes Training positive Auswirkungen auf exekutive Funktionen, vor allem auf die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses hat. Mit großer Wahrscheinlichkeit profitieren auch die selektiven Aufmerksamkeitsprozesse und die inhibitorische Kontrolle von körperlicher Aktivität (u. a. Best, 2010; Chaddock et al., 2010b; Guiney & Machado, 2013; Hillman, Khan, & Kao, 2015; Hogan et al., 2013; Jansen, 2014; Tomporowski et al., 2008). Daneben standen akademische Leistungen im Mittelpunkt vieler Untersuchungen (u. a. Hillman & Schott, 2013; Lees & Hopkins, 2013; Trudeau & Shephard, 2008). Diese analysierten den Einfluss schulbezogener körperlicher Aktivität auf die akademischen Leistungen und fanden heraus, dass sich ein Hinzufügen schulischer Bewegungsprogramme in den Schulalltag selbst dann nicht hinderlich auf die akademischen Leistungen auswirkt, wenn andere Unterrichtsfächer

dadurch gekürzt werden. Eine weitere Studie von Carlson et al. (2008) kommt zu dem Ergebnis, dass der bewegungszentrierte Unterricht mit einem Vorteil in Mathematik und der Leseleistung bei jenen Mädchen einhergeht, welche mehr als eine Stunde pro Woche (70 bis 300 Minuten pro Woche) am bewegungszentrierten Unterricht teilnahmen (Bezugsgröße: 0 bis 35 Minuten pro Woche). Bei Buben konnte keine signifikant positive oder negative Veränderung bezüglich der schulischen Leistung aufgezeichnet werden. Demnach wird angenommen, dass bei Mädchen ein gesteigerter Umfang des bewegungszentrierten Unterrichts mit einer verbesserten akademischen Leistung einhergeht.

Ausgehend von diesen Forschungsergebnissen könnte der Fokus zukünftiger Studien darauf gerichtet sein, wie der Schulsport die akademischen Leistungen der Kinder optimal fördern kann. Außerdem könnten diese Studienergebnisse, welche durchwegs für einen positiven Zusammenhang sprechen, in Erwägung gezogen werden, wenn eine Kürzung des Unterrichtsfaches Bewegung und Sport diskutiert wird. Sibley und Etnier (Sibley & Etnier, 2003, p. 243) gaben bereits vor einigen Jahren zu bedenken: „It seems that the need to justify exercise and PE [physical education] programs in the schools has returned. PE programs are being cut from our schools in favor of ‘core academic’ subjects“. Der bewegungszentrierte Unterricht sieht sich zunehmend mit der Frage konfrontiert, ob dieser tatsächlich zum Aufgabenbereich der Schule gehöre. Die zunehmende Bedeutung jener Unterrichtsfächer, welche vielmals als Grundlage für den weiteren akademischen Werdegang eines Kindes betrachtet werden, führt unmittelbar dazu, dass diesen „akademischen Fächern“ mehr Zeit und Ressourcen zur Verfügung gestellt werden (Davis & Lambourne, 2009, p. 249). – Und das, obwohl zunehmend Studien (u. a. Hillman & Schott, 2013; Lees & Hopkins, 2013; Trudeau & Shephard, 2008) neben den positiven Effekten auf die Gesundheit darauf hindeuten, dass sich vermehrte schulbezogene körperliche Aktivitäten selbst dann nicht hinderlich auf die akademischen Leistungen auswirken, wenn sie zeitlich zulasten anderer Unterrichtsfächer gingen.

Zusammengefasst wird in den vorliegenden Studien, wenn auch nur in einem geringen Umfang, von einem signifikant positiven Effekt von Bewegung auf die kognitive Leistungsfähigkeit bei Kindern ausgegangen. Die Metaanalysen, Reviews und Studien lassen jedoch nur bedingt umfassende Schlussfolgerungen zu, da sich das Studiendesign und damit einhergehend auch die Ergebnisse äußerst heterogen gestalten. Nachdem die Studien und Publikationen großteils aus Nordamerika stammen, kann auf den Forschungsbedarf zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Heranwachsenden im deutschsprachigen Raum hingewiesen werden. Des Weiteren gilt es zu beachten, dass Faktoren wie die Ernährungsweise (Burkhalter & Hillman, 2011), der

sozioökonomische Status (Hackman, Farah, & Meaney, 2010; London & Castrechini, 2011) und andere Lebensstilfaktoren bei der Ergründung des Zusammenhangs von Bewegung und Kognition noch kaum Beachtung fanden und in zukünftige Untersuchungen einbezogen werden sollten. Tiefgreifende Erforschungen all jener Prozesse und Strukturen, welche durch körperliche Aktivität im menschlichen Organismus angekurbelt und verändert werden, stecken ebenfalls noch in ihren Kinderschuhen. „Additional investigations are needed to understand the frequency, intensity, duration, and mode of physical activity that provide the greatest brain benefit during childhood“ (Chaddock, Voss, & Kramer, 2012, p. 42). Auf diesen Forschungsbedarf, wonach es noch an stichhaltigen Ergebnissen zum Einfluss von Art, Dauer, Häufigkeit und Intensität der Bewegung auf spezielle kognitive Leistungen mangelt, wird nicht nur im Rahmen dieser Arbeit, sondern auch in aktuellen Fachpublikationen mehrfach hingewiesen (Kehne, 2011; Sibley & Etnier, 2003; Tomporowski, Davis, Miller, & Naglieri, 2008; Trudeau & Shephard, 2008; Voelcker-Rehage, Tittlbach, Jasper, & Regelin, 2013; Voll & Buuck, 2005).

Wie bereits von Jansen (2014) angemerkt, kann auch aus dieser Arbeit geschlossen werden, dass körperliche Aktivität nicht automatisch schlau macht und enorme Auswirkungen auf eine gesteigerte kognitive Leistungsfähigkeit mit sich bringt. Vielmehr kann davon ausgegangen werden, dass bestimmte körperliche Aktivitäten dazu beitragen können, die Entwicklung spezifischer kognitiver Fähigkeiten im Kindes- und Jugendalter zu fördern.

Literaturverzeichnis

- 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), pp. 385-397. doi:10.1093/jpepsy/jsq107
- Alfermann, D., & Stoll, O. (2010). *Sportpsychologie. Ein Lehrbuch in 12 Lektionen* (4 Ausg.). Aachen [u.a.]: Meyer & Meyer.
- Al-Nawas, B., Baulig, C., & Krummenauer, F. (2010). Von der Übersichtsarbeit zur Meta-Analyse - Möglichkeiten und Risiken. *Z Zahnärztl Impl*, 26(4), S. 400-404.
- Ansari, D., & Karmiloff-Smith, A. (2002). Atypical trajectories of number development: a neuroconstructivist perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(12), pp. 511-516.
- Azevedo, F. A., Carvalho, L. R., Grinberg, L. T., Farfel, J. M., Ferretti, R. E., Leite, R. E., & ... Herculano-Houzel, S. (2009). Equal Numbers of Neuronal and Nonneuronal Cells Make the Human Brain an Isometrically Scaled-Up Primate Brain. *Journal of comparative neurology*, 513, pp. 532-541.
- Bartonietz, K. (2008). "Gehirn, das [Subst.]: ein Organ, mit dem wir denken, daß wir denken" Teil 2. *Leistungssport*, 38(3), S. 55-62.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2008). *Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie* (3 Ausg.). (A. K. Engel, Hrsg., A. Held, C. Hornung, B. Jarosch, C. Lange, G. Maxam, M. Niehaus-Osterloh, & L. Seidler, Übers.) Berlin [u.a.]: Springer Spektrum.
- Beck, H. (2013). *Biologie des Geistesblitzes - Speed up your mind!* Berlin [u.a.]: Springer Spektrum. doi:10.1007/978-3-642-36533-1
- Beneke, R., & Leithäuser, R. M. (2008). Körperliche Aktivität im Kindesalter - Messverfahren. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 59(10), S. 215-222.
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, 30, pp. 331-351. doi:10.1016/j.dr.2010.08.001
- Birbaumer, N., & Schmidt, R. F. (2010). *Biologische Psychologie* (7., überarbeitete und ergänzte Ausg.). Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-540-95938-0_16
- Boos, A. (2010). *Gedächtnistraining. Theoretische und praktische Grundlagen*. (H. Schloffer, E. Prang, & A. Frick-Salzmann, Hrsg.) Heidelberg: Springer.

- Braun, A. K., & Meier, M. (Juli/August 2004). Wie Gehirne laufen lernen oder: "Früh übt sich, wer ein Meister werden will!". Überlegungen zu einer interdisziplinären Forschungsrichtung "Neuropädagogik". *Zeitschrift für Pädagogik*, 50(4), S. 507-520.
- Burkhalter, T. M., & Hillman, C. H. (2011, March). A narrative review of physical activity, nutrition, and obesity to cognition and scholastic performance across the human lifespan. *Advances in Nutrition*, 2, pp. 201S-206S. doi:10.3945/an.111.000331
- Carlson, S. A., Fulton, J. E., Lee, S. M., Maynard, M., Brown, D. R., Kohl III, H. W., & Dietz, W. H. (2008, April). Physical Education and Academic Achievement in Elementary School: Data From the Early Childhood Longitudinal Study. *American Journal of Public Health*, 98(4), pp. 721-727. doi:10.2105/AJPH.2007.117176
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985, March-April). Physical Activity, Exercise, and Physical Fitness: Definitions and Distinctions for Health-Related Research. *Public Health Reports*, 100(2), pp. 126-131.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2015, June 10). Retrieved February 20, 2016, from Physical activity glossary of terms: <http://www.cdc.gov/physicalactivity/basics/glossary/>
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Kim, J. S., Voss, M. M., VanPatter, M., & ... Kramer, A. F. (2010a). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain Research*, 1358, pp. 172-183. doi:10.1016/j.brainres.2010.08.049
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., VanPatter, M., Voss, M. W., Pontifex, M. B., & ... Kramer, A. F. (2010b). Basal Ganglia Volume Is Associated with Aerobic Fitness in Preadolescent Children. *Developmental Neuroscience*, 32, pp. 249-256. doi:10.1159/000316648
- Chaddock, L., Voss, M. W., & Kramer, A. F. (2012). Physical Activity and Fitness Effects on Cognition and Brain Health in Children and Older Adults. *Kinesiology Review*, 1, pp. 37-45.
- Chaddock-Heyman, L., Erickson K., I., Kienzler, C., King, M., Pontifex, M. B., Raine, L. B., ... Kramer, A. F. (2015b). Correction: The Role of Aerobic Fitness in Cortical Thickness and Mathematics Achievement in Preadolescent Children. *PLoS ONE*, 10(9). doi:10.1371/journal.pone.0138166
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Kienzler, C., King, M., Pontifex, M. B., Raine, L. B., ... Kramer, A. F. (2015a). The Role of Aerobic Fitness in Cortical Thickness and

- Mathematics Achievement in Preadolescent Children. *PLoS ONE*, 10(8). doi:10.1371/journal.pone.0134115
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, pp. 87-101. doi:10.1016/j.brainres.2012.02.068
- 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), pp. 631-638.
- Costandi, M. (2015). 50 Schlüsselideen Hirnforschung. Berlin [u.a.]: Springer. doi:10.1007/978-3-662-44191-6_1
- Cotman, C. W., Berchtold, N. C., & Christie, L.-A. (2007). Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends in Neurosciences*, 30(9), pp. 464-472. doi:10.1016/j.tins.2007.06.011
- Dadaczynski, K., & Schiemann, S. (2015). Welchen Einfluss haben körperliche Aktivität und Fitness im Kindes- und Jugendalter auf Bildungsoutcomes? Eine systematische Übersicht von Längsschnittstudien. *Sportwissenschaft*, 45(4), S. 190-199. doi:10.1007/s12662-015-0381-0
- Darling, N., Caldwell, L. L., & Smith, R. (2005). Participation in school-based extracurricular activities and adolescent adjustment. *Journal of Leisure Research*, 37(1), pp. 51-76.
- Davis, C. L., & Lambourne, K. (2009). Exercise and cognition in children. In T. McMorris, P. Tomporowski, & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and Cognitive Function* (pp. 249-267). West Sussex: John Wiley & Sons.
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, pp. 135-168. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Dirksen, T., Zentgraf, K., & Wagner, H. (2015). Bewegungskoordination und Schulerfolg? Feldstudie zum Einfluss einer Bewegungsintervention auf koordinative und schulische Leistungen in der Sekundarstufe I. *Sportwissenschaft*, 45(2), S. 73-82. doi:10.1007/s12662-015-0359-y
- Ekeland, E., Heian, F., & Hagen, K. B. (2005). Can exercise improve self esteem in children and young people? A systematic review of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, 39, pp. 792-798. doi:10.1136/bjsm.2004.017707

- Ellemborg, D., & St-Louis-Deschênes, M. (2010). The effect of acute physical exercise on cognitive function during development. *Psychology of Sport and Exercise*, 11(2), pp. 122-126. doi:10.1016/j.psychsport.2009.09.006
- Erickson, K. I., & Hohmann, T. (2013). Die Effekte von Alter und Training auf die kognitive Gesundheit. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 20(1), S. 25-32. doi:10.1026/1612-5010/a000086
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16(1), pp. 143-149.
- Eriksson, P. S., Perfilieva, E., Björk-Eriksson, T., Alborn, A.-M., Nordborg, C., Peterson, D. A., & Gage, F. H. (1998). Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nature Medicine*, 4(11), pp. 1313-1317.
- Etnier, J. L., & Chang, Y.-K. (2009). The Effect of Physical Activity on Executive Function: A Brief Commentary on Definitions, MeasurementIssues, and the Current State of the Literature. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31, pp. 469-483.
- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., & Nowell, P. (1997). The Influence of Physical Fitness and Exercise Upon Cognitive Functioning: A Meta-Analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 19, pp. 249-277.
- Ferris, L. T., Williams, J. S., & Shen, C.-L. (2007). The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(4), pp. 728-734. doi:10.1249/mss.0b013e31802f04c7
- Friedman, D., Nessler, D., Cycowicz, Y. M., & Horton, C. (2009). Development of and Change in Cognitive Control: A Comparison of Children, Young and Older Adults. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 9(1), pp. 91-102. doi:10.3758/CABN.9.1.91
- Guiney, H., & Machado, L. (2013). Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. *Psychon Bull Rev*, 20, pp. 73-86. doi:10.3758/s13423-012-0345-4
- Hackman, D. A., Farah, M. J., & Meaney, M. J. (2010). Socioeconomic status and the brain: mechanistic insights from human and animal research. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(9), pp. 651-659. doi:10.1038/nrn2897
- Häusel, H.-G. (2012). *Neuromarketing. Erkenntnisse der Hirnforschung für Markenführung, Werbung und Verkauf* (2. Ausg.). Freiburg [u.a.]: Haufe.

- Hillman, C. H., & Schott, N. (2013). Der Zusammenhang von Fitness, kognitiver Leistungsfähigkeit und Gehirnzustand im Schulkindalter. Konsequenzen für die schulische Leistungsfähigkeit. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 20(1), S. 33-41. doi:10.1026/1612-5010/a000085
- Hillman, C. H., Khan, N. A., & Kao, S.-C. (2015). The Relationship of Health Behaviors to Childhood Cognition and Brain Health. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 66, pp. 1-4. doi:10.1159/000381237
- Hillman, C. H., Motl, R. W., Pontifex, M. B., Posthuma, D., Stubbe, J. H., Boomsma, D. I., & de Geus, E. J. (2006). Physical Activity and Cognitive Function in a Cross-Section of Younger and Older Community-Dwelling Individuals. *Health Psychology*, 25(6), pp. 678-687. doi:10.1037/0278-6133.25.6.678
- Hillmert, S. (2014). Bildung, Ausbildung und soziale Ungleichheiten im Lebenslauf. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften*, 17(2), S. 73-94. doi:10.1007/s11618-013-0465-2
- Hogan, M., Kiefer, M., Kubesch, S., Collins, P., Kilmartin, L., & Brosnan, M. (2013). The interactive effects of physical fitness and acute aerobic exercise on electrophysiological coherence and cognitive performance in adolescents. *Exp Brain Res*, 229, pp. 85-96. doi:10.1007/s00221-013-3595-0
- Hollmann, W., & Strüder, H. (2003). Gehirngesundheit, -leistungsfähigkeit und körperliche Aktivität. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54(9), S. 265-266.
- Howie, E. K., & Pate, R. R. (2012). Physical activity and academic achievement in children: A historical perspective. *Journal of Sport and Health Science*, pp. 160-169. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2012.09.003>
- Jansen, P. (2014). Macht Bewegung unsere Kinder wirklich schlauer? Neue Erkenntnisse zum Zusammenhang von Bewegung und kognitiven Fähigkeiten bei Kindern und Jugendlichen. *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 30, S. 267-273.
- Karmiloff-Smith, A., Casey, B. J., Massand, E., Tomalski, P., & Thomas, M. S. (2014). Environmental and Genetic Influences on Neurocognitive Development: The Importance of Multiple Methodologies and Time-Dependent Intervention. *Clinical Psychological Science*, 2(5), pp. 628-637. doi:10.1177/2167702614521188
- Kehne, M. (2011). *Zur Wirkung von Alltagsaktivität auf kognitive Leistungen von Kindern: Eine empirische Untersuchung am Beispiel des aktiven Schulwegs*. Aachen [u.a.]: Meyer & Meyer.

- Khan, N. A., & Hillman, C. H. (2014). The Relation of Childhood Physical Activity and Aerobic Fitness to Brain Function and Cognition: A Review. *Pediatric Exercise Science*, 26, pp. 138-146. doi:<http://dx.doi.org/101123/pes.2013-0125>
- Koivusilta, L., Rimpelä, A., Rimpelä, M., & Vikat, A. (2001). Health behavior-based selection into educational tracks starts in early adolescence. *Health Education Research*, 16(2), pp. 201-214. doi:[10.1093/her/16.2.201](https://doi.org/10.1093/her/16.2.201)
- Lees, C., & Hopkins, J. (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. doi: <http://dx.doi.org/10.5888/pcd10.130010>
- Lenroot, R. K., & Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: Insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30, pp. 718-729. doi:[10.1016/j.neubiorev.2006.06.001](https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.06.001)
- London, R. A., & Castrechini, S. (2011). A longitudinal examination of the link between youth physical fitness and academic achievement. *Journal of School Health*, 81(7), pp. 400-408.
- Manz, K., Schlack, R., Poethko-Müller, C., Mensink, G., Finger, J., & Lampert, T. (2014). Körperlich-sportliche Aktivität und Nutzung elektronischer Medien im Kindes- und Jugendalter. Ergebnisse der KiGGS-Studie – Erste Folgebefragung (KiGGS Welle 1). *Bundesgesundheitsblatt*, 57(7), S. 840-848. doi:[10.1007/s00103-014-1986-4](https://doi.org/10.1007/s00103-014-1986-4)
- Marmeira, J. (2012). An examination of the mechanisms underlying the effects of physical activity on brain and cognition. *European Review of Aging and Physical Activity*, 10(2), pp. 83-94. doi:[10.1007/s11556-012-0105-5](https://doi.org/10.1007/s11556-012-0105-5)
- McMorris, T. (2009). Exercise and cognitive function: a neuroendocrinological explanation. In T. McMorris, P. Tomporowski, & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and Cognitive Function* (pp. 41-68). Oxford [u.a.]: Wiley-Blackwell.
- Musil, R. (1952). *Der Mann ohne Eigenschaften*. Hamburg: Rowohlt.
- National Center for Education Statistics (NCES). (2006). *Early Childhood Longitudinal Study, Kindergarten Class of 1998/99 (ECLS-K). Longitudinal Kindergarten-Fifth Grade Public-Use Data Files (NCES 2006-035)*. Washington DC: National Center for Education Statistics.
- Paillard, T. (2015). Preventive effects of regular physical exercise against cognitive decline and the risk of dementia with age advancement. *Sports Medicine - Open*, 20(1). doi:[10.1186/s40798-015-0016-x](https://doi.org/10.1186/s40798-015-0016-x)

- Pauen, S. (2004). Zeitfenster der Gehirn- und Verhaltensentwicklung: Modethema oder Klassiker? *Zeitschrift für Pädagogik*, 50(4), S. 521-530.
- Pesce, C. (2009). An integrated approach to the effect of acute and chronic exercise on cognition: the linked role of individual and task constraints. In T. McMorris, P. Tomporowski, & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and Cognitive Function* (pp. 213-226). West Sussex: John Wiley & Sons.
- Pesce, C., Crova, C., Cereatti, L., Casella, R., & Bellucci, M. (2009). Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity*, 2, pp. 16-22. doi:10.1016/j.mhpa.2009.02.001
- Pinel, J. P., & Pauli, P. (2012). *Biopsychologie* (8., aktualisierte Ausg.). München: Pearson.
- Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (2007). Neuroelectric and behavioral indices of interference control during acute cycling. *Clinical Neurophysiology*, 118, pp. 570-580. doi:10.1016/j.clinph.2006.09.029
- 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), pp. 1332-1345.
- Pritzel, M., Brand, M., & Markowitsch, H. J. (2009). *Gehirn und Verhalten. Ein Grundkurs der physiologischen Psychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Rasberry, C. N., Lee, S. M., Robin, L., Laris, B. A., Russell, L. A., Coyle, C. C., & Nihiser, A. J. (2011). The association between school-based physical activity, including physical education, and academic performance: A systematic review of the literature. *Preventive Medicine*, 52, pp. S10-S20. doi:10.1016/j.ypmed.2011.01.027
- Ratey, J. J., & Hagerman, E. (2013). *Superfaktor Bewegung. Das Beste für Ihr Gehirn!* Kirchzarten bei Freiburg: VAK.
- Ressing, M., Blettner, M., & Klug, S. J. (2009). Systematische Übersichtsarbeiten und Metaanalysen. *Deutsches Ärzteblatt*, 106(27), S. 456-463. doi:10.3238/arztebl.2009.0456
- Roth, G. (2011). *Bildung braucht Persönlichkeit. Wie Lernen gelingt*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Rüegg, J. C., & Bertram, W. (2013). Hirnlandschaften. Eine funktionell-neuroanatomische Tour d'Horizon. In M. Spitzer, & W. Bertram (Hrsg.), *Hirnforschung für Neu(ro)gierige*. Stuttgart: Schattauer.

- Schandry, R. (2011). *Biologische Psychologie* (3., vollständig überarbeitete Ausg.). Weinheim [u.a.]: Beltz.
- Schmithüsen, F., & Ferring, D. (2015). Entwicklungspsychologie. In F. Schmithüsen (Hrsg.), *Lernskript Psychologie* (S. 245-286). Berlin [u.a.]: Springer. doi:10.1007/978-3-662-44941-7_5
- Shimamura, A. P. (2000). The role of the prefrontal cortex in dynamic filtering. *Psychobiology*, 28(2), pp. 207-218.
- Sibley, B. A., & Etnier, J. L. (2003). The Relationship Between Physical Activity and Cognition in Children: A Meta-Analysis. *Pediatric Exercise Science*, 15, pp. 243-256.
- Swagerman, S. C., de Geus, E. J., Koenis, M. M., Hulshoff Pol, H. E., Boomsma, D. I., & Kan, K.-J. (2015). Domain dependent associations between cognitive functioning and regular voluntary exercise behavior. *Brain and Cognition*, 97, pp. 32-39.
- Thompson, R. F. (2001). *Das Gehirn. Von der Nervenzelle zur Verhaltenssteuerung* (3., Ausg.). (A. Held, Übers.) Heidelberg [u.a.]: Spektrum.
- Titze, S.; Ring-Dimitriou, S.; Schober, P.H.; Halbwachs, C.; Samitz, G.; Miko, H.C.; ... Arbeitsgruppe Körperliche Aktivität/Bewegung/Sport der Österreichischen Gesellschaft für Public Health. (2010). *Österreichische Empfehlungen für gesundheitswirksame Bewegung*. Wien: Eigenverlag.
- Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and Children's Intelligence, Cognition, and Academic Achievement. *Educ Psychol Rev*, 20, pp. 111-131. doi:10.1007/s106948-007-9057-0
- Tomporowski, P. D., Lambourne, K., & Okumura, M. S. (2011). Physical activity interventions and children's mental function: An introduction and overview. *Preventive Medicine*, 52, pp. S3-S9. doi:10.1016/j.ypmed.2011.01.028
- Tomporowski, 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. (Elsevier, Ed.) *Journal of Sport and Health Science*, 4, pp. 47-55. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2014.09.003>
- Trudeau, F., & Shephard, R. J. (2008). Physical education, school physical activity, school sports and academic performance. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5(10). doi:10.1186/1479-5868-5-10

- Voelcker-Rehage, C., Tittlbach, S., Jasper, B. M., & Regelin, P. (2013). *Gehirntraining durch Bewegung. Wie körperliche Aktivität das Denken fördert.* Aachen [u.a.]: Meyer & Meyer.
- Voll, S., & Buuck, S. (2005). Steigerung der geistigen Leistungsfähigkeit durch Bewegung. Modellprojekt Bewegung zur kognitiven Aktivierung (BekoAkt) an bayerischen Schulen. (E. Wutz, Hrsg.) *Schulsport: Vorschriften, Empfehlungen und Unterrichtshilfen für den Sportunterricht und außerunterrichtlichen Schulsport*, 30.
- Wagner, P., Woll, A., Singer, R., & Bös, K. (2006). Körperlich-sportliche Aktivität: Definitionen, Klassifikationen und Methoden. In K. Bös, & W. Brehm (Hrsg.), *Handbuch Gesundheitssport* (2., vollständig neu bearbeitete Ausg., S. 58-68). Schorndorf: Hofmann.
- Weineck, J. (2010). *Sportbiologie* (10., überarbeitete und erweiterte Ausg.). Balingen: Spitta.
- 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), pp. 2303-2307. doi:10.2105/AJPH.2011.300515

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Exekutive Funktionen und damit verbundene Begriffe (Diamond, 2013, p.152).	19
Abbildung 2: Unterteilung des Cortex cerebri (in Anlehnung an Häusel, 2012, S. 245).	24
Abbildung 3: wichtige Funktionsareale des Cortex cerebri (in Anlehnung an Häusel, 2012, S. 246).	25
Abbildung 4: Wichtige äußere Merkmale eines Neurons (Pinel & Pauli, 2012, S. 62)	29
Abbildung 5: Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität, kognitiven Funktionen, Metakognition und akademischer Leistung (in Anlehnung an Howie & Pate, 2012; Tomporowski et al., 2015, p. 51)	54
Abbildung 6: Prozentsatz sowohl der frei wiedergegebenen korrekten ersten Wörter einer Wortliste, als auch der letzten Wörter: ohne vorhergehender Bewegungsaktivität, mit vorangehendem Zirkeltraining und mit vorhergehendem Teamspiel	62
Abbildung 7: Bilaterales Hippocampusvolumen in Abhängigkeit von der aeroben Fitnessgruppe. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar (Chaddock et al., 2010a, p. 175).	63
Abbildung 8: Einfache Reaktionszeitaufgabe (mittlere Zeit in Millisekunden). Die dunklen Balken stellen die Überprüfung vor und die hellen Balken die Überprüfung nach der Intervention dar (Ellemborg & St-Louis- Deschênes, 2010, p. 124)	65
Abbildung 9: Reaktionsauswahl-Aufgabe (mittlere Zeit in Millisekunden). Die dunklen Balken stellen die Überprüfung vor und die hellen Balken die Überprüfung nach der Intervention dar (Ellemborg & St-Louis- Deschênes, 2010, p. 124)	65
Abbildung 10: Kortikale Dicke im Vergleich: Mit einem Stern gekennzeichnete Bereiche sind jene, in welchen fittere Kinder eine verringerte kortikale Dicke, im Vergleich zu weniger fitten Kindern, zeigten (Chaddock-Heyman, et al., 2015b)	67
Abbildung 11: Entwicklung der schulischen Leistung der Interventions- und Kontrollgruppe in den Bereichen Schreiben, Mathematik und Lesen vom Prä- zum Posttest (Dirksen et al., 2015, S. 78).	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über die vorliegenden Metaanalysen und Reviews zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Kindern	55
Tabelle 2: Überblick über die vorliegenden Querschnitts- und Korrelationsstudien zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Kindern	69
Tabelle 3: Überblick über die vorliegenden Längsschnitt- und Interventionsstudien zum Zusammenhang von Bewegung und Kognition bei Kindern	76

Abkürzungsverzeichnis

BDNF	Brain-derived neurotrophic factor
PNS	Peripheres Nervensystem
ZNS	Zentralnervensystem

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Susanna Buttinger-Kreuzhuber, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Alle wortgemäßen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Quellen sind als solche gekennzeichnet. Des Weiteren habe ich mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht (z. B. für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen (z. B. Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.

Wien, 28. April 2016

Unterschrift