

**Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die
kognitive Leistungsfähigkeit:
Wie beeinflussen Sportfechten und le Parkour
die Konzentrationsfähigkeit bzw. Kreativität
von Studierenden?**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER PHILOSOPHIE
(Dr. phil.)

von der Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften
des
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)
angenommene

DISSERTATION

von
Hans-Christian Kleppel
aus Karlsruhe

Dekan: Prof. Dr. phil. Andreas Böhn

1. Gutachter: apl. Prof. Dr. Swantje Scharenberg
2. Gutachter: Prof. Dr. Ulrich Ebner-Priemer

Tag der mündlichen Prüfung: 17.02.2016

Zusammenfassung

Die Erkenntnis, dass kognitive Leistungsfähigkeit durch körperliche Aktivität beeinflussbar ist, konnte inzwischen vor allem durch die Zusammenarbeit der Forschungsdisziplinen Sportwissenschaft, Psychologie und Neurowissenschaft bestätigt werden und wird hier anhand der Zielgruppe der Studierenden untersucht. Von diesen jungen Erwachsenen in der Übergangsphase zwischen Jugend- und Erwachsenenalter sowie zwischen Schule und Beruf wird angenommen, dass ihre kognitive Leistungsfähigkeit bezüglich exekutiver Funktionen und der gesamten Lebensspanne während des Studiums maximal ist. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass die körperliche Aktivität sowie die körperliche Leistungsfähigkeit während dieses Lebensabschnitts vorneweg als positiv eingeschätzt werden, sodass der Effekt körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit vermutlich eher gering ist.

Anders als der Großteil der bisherigen Untersuchungen, die vor allem biologische und psycho-soziale Wirkungsmechanismen als Gründe für die positiven Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit nennen, wählt diese Forschungsarbeit eine lernunterstützende bzw. motorische Wirkungannahme. Demzufolge steigern sportartenspezifische Lernsituationen spezifische kognitive Fähigkeiten. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden aus sportwissenschaftlicher Sicht zwei Interventionsstudien beispielhaft durchgeführt.

In der ersten Interventionsstudie erlernten 26 Studierende Sportfechten, während 46 Studierende aeroben Ausdauersport oder le Parkour in vergleichbarem Umfang (Dauer $\bar{\Delta}$ 87,8 \pm 3,5 Tage) absolvierten. Die Konzentrationsfähigkeit wurde mittels d2-R erfasst. Die Ergebnisse zeigen keine sportartenspezifische Beeinflussbarkeit der Konzentrationsleistung durch Sportfechten. Der große Lerneffekt des d2-R, der als Messinstrument für die Konzentrationsfähigkeit häufig eingesetzt wird, ist jedoch bekannt. Möglicherweise ist die Konzentrationsleistung der Studierenden per se bereits sehr hoch und verhindert somit mögliche Auswirkungen von körperlicher Aktivität bzw. von Sportfechten auf die Konzentrationsleistung (Deckeneffekt).

Die zweite Interventionsstudie sowie deren Replikation zeigten hingegen einen sportartenspezifischen Effekt von le Parkour auf die kreative Denkleistung. Die Studierenden ($N=20$ bzw. $N=16$), die über ein Semester (Dauer $\bar{\Delta}$ 87,5 \pm 3,6 Tage bzw. 86,5 \pm 3,4 Tage) hinweg die Bewegungsform le Parkour erlernten, konnten ihre Denkleistung im verbalen Kreativitätstest ASK in beiden Studien durchführungen signifikant mehr steigern als die körperlich aerob aktive Kontrollgruppe ($p=.001$, $\eta^2=.215$ bzw. $p=.001$, $\eta^2=.266$). Somit konnte eine domänenübergreifende Leistungssteigerung der kreativen Denkleistung durch eine spezifische Sportart auf die verbale Kreativität nachgewiesen werden. Offensichtlich sind die wechselnden Umweltbedingungen des le Parkour, die stets individuelle und kreative Lösungsmöglichkeiten erfordern, der Steigerung kognitiver Leistungsfähigkeit förderlich.

Die Art der körperlichen Aktivität hat somit einen signifikanten Einfluss auf domänenübergreifende kognitive Fähigkeiten.

Abstract

The cooperation of research disciplines such as sports science, psychology and neuroscience confirm the insight that there is a general effect of physical activity on cognitive performance, which this study aims to examine among university students. It is assumed that during tertiary education while transitioning from youth to adulthood and between school and work life, young adults' cognitive functions are at a peak regarding executive functions and total lifespan. As physical activity and physical performance of students are, however, also assessed positively during this lifespan, the impact of physical activity on students' cognitive functions might be rather small.

Unlike the majority of previous studies, which have especially denominated biological and psycho-social impact mechanisms as reasons for positive effects of physical activity on cognitive functions, this research focusses on learning supportive as well as motion impact expectations. Sport-specific learning situations would thus increase specific cognitive skills. To test this hypothesis, two intervention studies were conducted sport-scientifically.

In the first intervention study, 26 students learnt fencing, while 46 students participated in aerobic endurance training or le Parkour to a comparable extent (duration $\bar{\Delta}$ 87.8 \pm 3.5 days). The ability to concentrate was tested with the d2-R test. The results indicate no sport-specific influence of fencing on the ability to concentrate. Despite often being used to measure the ability to concentrate, the large learning effect of the d2-R test is known. The concentration skills of the students might already be very high per se and could thus inhibit a potential effect of physical activity, or fencing in particular, on the ability to concentrate (ceiling effect).

The second intervention study as well as its replication on the other hand indicated a sport-specific effect of le Parkour on creative thinking skills. The students (N=20 and N=16), who learnt le Parkour for one semester (duration $\bar{\Delta}$ 87.5 \pm 3.6 days and 86.5 \pm 3.4 days), could increase their performance in the verbal creativity test ASK in both study implementations significantly more than the aerobically active control group ($p=.001$, $\eta^2=.215$ and $p=.001$, $\eta^2=.266$). An increase of creative thinking performance which overarches domains due to a specific sport could thus be proven. Apparently, the changing surroundings of le Parkour which continuously demand individual and creative solutions support the increase of cognitive performance.

The kind of physical activity has a significant influence on overarching cognitive abilities.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Abstract	III
Inhaltsverzeichnis	IV
I Einleitung	1
Problemstellung	1
Theoretische Einordnung	2
Aufbau der Arbeit	3
II Theoretischer Hintergrund.....	5
2.1 Körperliche Aktivität	5
2.1.1 Körperlich-sportliche Aktivität.....	7
2.1.2 Körperliche Fitness und Leistungsfähigkeit	7
2.1.3 Motorisches Lernen.....	10
2.2 Kognition	13
2.2.1 Kognitive Funktionen.....	13
2.2.2 Exekutive Funktionen.....	14
2.2.3 Diagnostik kognitiver Funktionen	31
Exkurs: Das Gehirn	38
2.3 Studierende als Zielgruppe	44
2.3.1 Jugendliche oder Erwachsene?	44
2.3.2 Körperliche Aktivität	44
2.3.3 Kognitive Anforderungen.....	46
III Forschungsstand	52
3.1 Schwerpunkte des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit	58
3.1.1 Akute Auswirkungen körperlicher Aktivität.....	58
3.1.2 Chronische Auswirkungen körperlicher Aktivität.....	61
3.2 Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit im Lebensverlauf.....	63
3.2.1 Kindesalter	63
3.2.2 Jugendliche	66
3.2.3 Junge Erwachsene.....	66
3.2.4 Erwachsene	69
3.2.5 Senioren	69
3.3 Auswirkungen unterschiedlicher körperlicher Trainingsformen auf die kognitive Leistungsfähigkeit	71
3.3.1 Aerobes und anaerobes Training.....	72
3.3.2 Koordinationstraining	73
3.3.3 Physisches Training mit kognitiven Anforderungen	74
3.4 Durch körperliche Aktivität beeinflussbare kognitive Funktionen bzw. Fähigkeiten	75
3.4.1 Exekutive Funktionen.....	75

3.4.2	Aufmerksamkeit	77
3.4.3	Kreativität	78
3.4.4	Gedächtnis	80
3.4.5	Schulleistungen.....	81
3.5	Wege der Einflussnahme körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit	83
3.5.1	Direkter Zusammenhang	83
3.5.2	Indirekter Zusammenhang.....	84
3.6	Wirkungsmechanismen des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit.....	85
3.6.1	Psycho-soziale Mechanismen	88
3.6.2	Biologische Mechanismen	89
3.6.3	Lernunterstützende bzw. motorische Mechanismen	94
3.7	Neuronale Verknüpfungen von körperlicher Aktivität und kognitiven Fähigkeiten .	97
3.7.1	Cerebellum.....	97
3.7.2	Hippocampus	98
3.8	Interventionsstudien mit Studierenden als Zielgruppe.....	100
3.9	Zusammenfassung	102
IV	Empirische Untersuchungen.....	104
4.1	Konzentrationssteigerung durch Sportfechten?	107
4.1.1	Methodik	109
4.1.2	Ergebnisse	113
4.1.3	Diskussion.....	118
4.2	Kreativitätssteigerung durch le Parkour!	124
4.2.1	Methodik	125
4.2.2	Ergebnisse	129
4.2.3	Diskussion.....	133
V	Schlussbetrachtung	143
	Zusammenfassung.....	143
	Kritische Betrachtung und Empfehlungen.....	146
	Schlussfolgerung.....	149
	Literaturverzeichnis	150
	Abbildungsverzeichnis	175
	Tabellenverzeichnis	177
	Anhang.....	179

I Einleitung

Ein aus dem Alltag bekanntes und dennoch erstaunliches Phänomen ist die effiziente, präzise und teilweise sehr schnelle Ausführung komplexer Bewegungen von beispielsweise geübten Musikern oder Sportlern. Auch meistern Experten spezifische kognitive Herausforderungen besser und schneller als Ungeübte. Einer Konzertpianistin gelingt die Koordination ihrer zehn Finger und der beiden Füße sowie das zeitgleiche Lesen der Noten scheinbar spielerisch über längere Zeit und unter hoher Konzentration. Ein Fußballprofi lässt sich durch Fangesänge und die Medienpräsenz im Stadion kaum aus der Ruhe bringen. Offensichtlich kann sich der Profi besser auf sein Spiel konzentrieren als der Ungeübte.

Erkenntnisse aus der Lerntheorie legen nahe, dass motorisches und kognitives Lernen eng zusammenhängen. Nicht nur komplexe Bewegungen, sondern auch kognitive Anforderungen scheinen sich durch körperliches Training beeinflussen zu lassen.

Die griechischen Philosophen, wie beispielsweise Platon (427-347 v. Chr.), betrachteten die beiden Instanzen Körper und Geist getrennt voneinander. Diese Beziehung zwischen Körper und Geist hat sich bis heute stark gewandelt (Etnier, et al., 1997). Seit den 1930er-Jahren beschäftigt sich die Wissenschaft vermehrt mit dem Zusammenhang von körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit (Hillman, Erickson & Kramer, 2008). Als einer der Ersten erkannte Piaget (1936) eine Verbindung zwischen Körper und Geist bezogen auf die motorische und intellektuelle Entwicklung von Kindern. In der Folgezeit wurden zahlreiche Studien in unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen durchgeführt, die sich mit den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die Kognition, mit den Wirkungsmechanismen und den Gründen des Zusammenhangs sowie mit Trainingsempfehlungen beschäftigten.

Problemstellung

Das House of Competence (HoC) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) bietet seit mehreren Semestern das Seminar „Besser Lernen durch körperlich-sportliche Aktivität“ (erarbeitet von PD Dr. Ilka Seidel) fächerübergreifend an. Dieses Seminar beruht auf dem für Kinder und Senioren vielfach nachgewiesenen positiven Zusammenhang von kognitivem und motorischem Lernen und befasst sich theoretisch sowie praktisch mit den Einflüssen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit bei Studierenden. Neben der großen Nachfrage an Seminarplätzen machten die Teilnehmer des Seminars selbst deutlich, wie groß das Interesse an diesem Zusammenhang insbesondere für sie selbst als Zielgruppe wie auch der Bedarf an wissenschaftlich verifizierten Instrumenten zur Steigerung kognitiver Fähigkeiten der Studierenden ist. Die positiven Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit waren und sind den Studierenden mehrheitlich nicht bekannt. Studierende sind sich der damit verbundenen Chancen, durch körperliche Aktivität positiven Einfluss auf ihr

Studium zu nehmen, nicht bewusst. Diese Aspekte und die Tatsache, dass bezüglich der Zielgruppe der Studierenden ein Forschungsdesiderat in diesem Fachbereich der Sportwissenschaft existiert, waren Ideengeber für die vorliegende Dissertation.

Bislang stehen vor allem die Auswirkungen einiger motorischer Fähigkeiten auf die kognitive Leistungsfähigkeit im Mittelpunkt dieses interdisziplinären Forschungsfeldes (siehe u. a. Davis und Lambourne, 2009; Hillman et al., 2008). Hauptsächlich wurden hierfür aerobe körperliche Aktivitäten als Interventionen durchgeführt (z. B. Ausdauerlauf, Radfahren) oder Unterschiede bezüglich der kardiovaskulären Fitness der Probanden¹ betrachtet (Hötting & Röder, 2013). Die Sportpraxis hingegen lässt vermuten, dass die Art der körperlichen Aktivität ebenfalls einen Einfluss auf (spezifische) kognitive Fähigkeiten haben kann. Geübte Bogenschützen scheinen sich beispielsweise besser konzentrieren zu können als Anfänger. Einige Untersuchungen, vor allem aus Sport- und Neurowissenschaft, stellen die durch körperliche Aktivität spezifisch erzeugten Lernsituationen in den Vordergrund und schlussfolgern, dass körperliche Aktivität die kognitive Leistungsfähigkeit auch über lernunterstützende bzw. motorische Wirkungsmechanismen positiv beeinflussen kann (Kubesch, 2014a; Sibley & Etnier, 2003; Taddei, Bultrini, Spinelli & Di Russo, 2012).

Diese Arbeit hat daher das Ziel herauszufinden, ob körperliche Aktivität eine domänenübergreifende kognitive Leistungsänderung bei Studierenden bewirken kann, und legt dabei eine lernunterstützende bzw. motorische Wirkungsannahme zugrunde. Hierfür wurden beispielhaft Interventionsstudien mit Sportfechten und le Parkour durchgeführt.

Theoretische Einordnung

Körperliche Aktivität verbessert die Lebensqualität in verschiedener Art und auf verschiedene Weise (Antunes et al., 2006; Dishman et al., 2006). Neben der physischen und psychischen Gesundheit verbessert körperliche Aktivität ebenfalls die kognitive Leistungsfähigkeit (u. a. Burkhalter & Hillman, 2011; Colcombe & Kramer, 2003; Etnier, Nowell, Landers & Sibley, 2006; Hillman et al., 2008; Verburch, Konigs, Scherder & Oosterlaan, 2014). Vor allem exekutive Funktionen stehen im Verdacht, durch körperliche Aktivität gut beeinflussbar zu sein (Colcombe & Kramer, 2003; Davis & Lambourne, 2009; Dishman et al., 2006; Hall, Smith & Keele, 2001).

Die durch körperliche Aktivität hervorgerufenen biologischen Veränderungen im Körper (z. B. gesteigerter zerebraler Blutfluss, Zunahme an Neurotransmittern, verbesserte Konnektivität der Neuronen) werden hauptsächlich als Wirkungsmechanismen für die gesteigerten Gehirnfunktionen diskutiert. Hingegen finden Wirkungsmechanismen – hervorgerufen durch motorisches Lernen – in der Forschung bislang wenig Beachtung (Sibley & Etnier, 2003). Allerdings lässt sich beispielweise Kreativität im Sportspiel domänenspezifisch positiv beeinflussen

¹ Aus Gründen der Lesbarkeit wird nachfolgend die maskuline Form verwendet. Es sind jedoch stets beide Geschlechter gemeint.

(Memmert, 2012). Der Übertrag der kreativen Leistungssteigerung auf andere (studiumsrelevante) Domänen wurde bislang nicht erbracht.

Neben Kindern beschäftigt sich die Forschung zu den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit hauptsächlich mit älteren Erwachsenen bzw. Senioren (Chang, Labban, Gapin & Etnier, 2012; Hötting & Röder, 2013; Kamijo et al., 2009; Sibley & Etnier, 2003; Verburch et al., 2014). Junge Erwachsene (18-35 Jahre) und vor allem Studierende hingegen werden aufgrund ihrer über die gesamte Lebensspanne gesehenen vergleichsweise hohen kognitiven Leistungsfähigkeit weniger als Zielgruppe für den Zusammenhang von körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit herangezogen (Etnier et al., 2006; Hillman et al., 2008; Hötting & Röder, 2013; Pérez, Padilla, Parmentier, Andrés & Di Pellegrino, 2014; Stroth, Hille, Spitzer & Reinhardt, 2009). Allerdings existieren gerade bei Studierenden gruppen-spezifische Anforderungen an ihre kognitiven Fähigkeiten zur Bewältigung des Studiums bzw. für zukünftige Berufe (siehe Köck & Stein, 2010). Sowohl bezüglich dieser Zielgruppe als auch bezüglich lerntheoretischer Wirkungsmechanismen besteht ein Forschungsdesiderat, dem sich diese Dissertation annimmt.

Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in der Schnittmenge von Sportwissenschaft, Psychologie und Neurowissenschaft zu verorten und in vier Bereiche aufgeteilt. Zunächst werden in Kapitel II einige Begriffe wie körperlicher Aktivität (2.1) sowie Kognition (2.2) definiert und entsprechende Modelle dargestellt. Der Fokus der vorliegenden Forschungsarbeit liegt auf den Studierenden (2.3), einer Zielgruppe, die bislang in diesem Kontext wenig erforscht wurde, wie im nachfolgenden und ausführlichen Forschungsstand zu den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit (Kapitel III) deutlich wird. Die dargestellten Meta-Analysen sowie die daraus abgeleitete Systematik bilden die Basis für den empirischen Teil (Kapitel IV) der Arbeit. Zur Untersuchung der Forschungshypothese wird die Beeinflussbarkeit der beispielhaft ausgewählten kognitiven Fähigkeiten Konzentrationsleistung (4.1) und kreatives Denken (4.2) durch spezifische körperliche Aktivität anhand getrennter Interventionsstudien analysiert. Abschließend wird sich eine Tendenz bezüglich sportartspezifischer Lern- und Handlungssituationen ableiten lassen (V), die zukunftsweisend für künftige Untersuchungen in der Zielgruppe der Studierenden sein kann.

II Theoretischer Hintergrund

2.1 Körperliche Aktivität

Die Begriffe körperliche Aktivität, körperlich-sportliche Aktivität, Sport, Fitness, Training, Motorik und einige damit in Verbindung stehende Begrifflichkeiten gilt es, trennscharf zu benutzen.

Körperliche Aktivität – so Caspersen, Powell und Christenson (1985, S. 126) – "is defined as any bodily movement produced by skeletal muscles that results in energy expenditure". Bouchard, Blair und Haskell (2012, S. 12) stellen eine fast identische Definition auf: "physical activity comprises any bodily movement produced by the skeletal muscles that results in an increase in metabolic rate over resting energy expenditure".

Auch Bouchard und Shephard (1994, S. 77) haben die durch Skelettmuskulatur erzeugte Körperbewegung und den Anstieg des Energieverbrauchs über den Grundumsatz als die beiden wesentlichen Aspekte körperlicher Aktivität hervor.

Deutlich wird hier, dass körperliche Aktivität ein komplexer Gegenstand ist (Caspersen, 1989, S. 433) und nicht näher beschrieben wird. Diese Definitionen sind also sowohl im Alltag als auch in spezifischen Situationen anwendbar.

Nach Ainsworth und Kollegen (2000, S. 499) existieren 21 Haupttypen körperlicher Aktivität. Beispielweise unterscheiden die Autoren zwischen "sports" (Type 15) und "running" (Type 12) oder zwischen "home activities" (Type 05) und "home repair" (Type 06). Zweck und Kontext einer Bewegung sind entscheidend, um diese in die Unterkategorien „berufs-, haushalts- oder freizeitbezogener körperlicher Aktivität“ (Woll, 2004, S. 56) einzuordnen. Körperliche Aktivität im Sinne des Sports bzw. Trainings wird als „Subkomponente[n] der freizeitbezogenen körperlichen Aktivität“ (Woll, 2004, S. 56) verstanden (siehe Abb. 1).

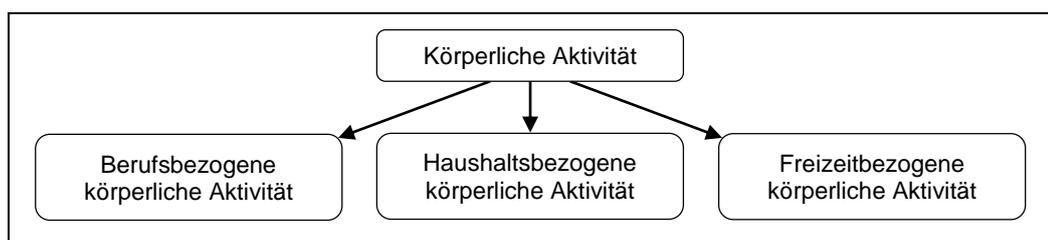


Abb. 1 Epidemiologische Einteilung der körperlichen Aktivität, nach Woll (2004, S. 56).

Bouchard und Shephard (1994) unterteilen körperliche Aktivität in fünf Komponenten (siehe Abb. 2). Dabei decken sich zwei Komponenten (körperliche Aktivität im Haushalt und bei der Arbeit) mit der Unterteilung von Woll (2004). Die freizeitbezogene körperliche Aktivität unterteilen Bouchard und Shephard (1994) hingegen nochmals (siehe Abb. 2). Der Unterschied zwischen "exercise" und "sport" wird im folgenden Abschnitt (Körperlich-sportliche Aktivität, S. 7) diskutiert.

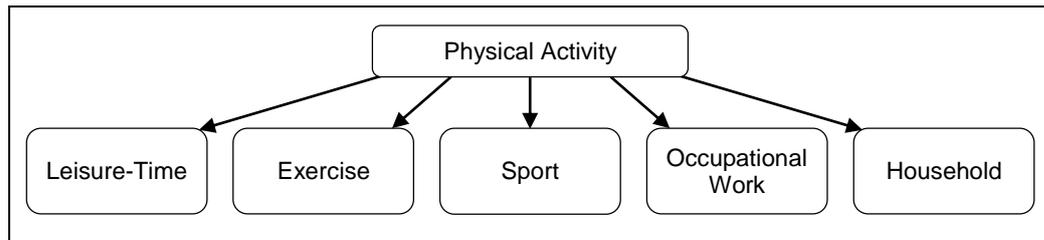


Abb. 2 Komponenten körperlicher Aktivität nach Bouchard und Shephard (1994, S. 77).

Rost (1997) gliedert körperliche Aktivität in unstrukturierte körperliche Aktivität (selbstverständliche und oft unbewusste Alltagsbewegungen, z. B. Gehen, Putzen, Treppensteigen, mit geringer Intensität) und strukturierte körperliche Aktivität (Bewegungen werden bewusst und mit höherer Intensität ausgeführt, z. B. Joggen zur Verbesserung des Herz-Kreislauf-Systems).

Da sich körperliche Aktivität je nach Dauer in unterschiedlicher Weise auf Körper bzw. Geist auswirkt, wird grundlegend zwischen akuter und chronischer körperlicher Aktivität unterschieden. Unter letztgenannte werden im Allgemeinen körperliche Aktivitäten in einem Zeitraum bis hin zu mehreren Jahren, wie beispielsweise regelmäßiges und längerfristiges Joggen, subsummiert. Bei akuter körperlicher Aktivität werden lediglich die letzten Stunden und eventuell Tage betrachtet. Häufig stehen hierbei die Auswirkungen einer einzelnen Einheit körperlicher Aktivität im Vordergrund, beispielsweise die Veränderungen, die durch eine Trainingseinheit auf dem Ruderergometer hervorgerufen werden.

Neben der Dauer spielt die Intensität von körperlicher Aktivität eine wichtige Rolle und wird in Abhängigkeit vom individuellen maximalen Sauerstoffverbrauch ($VO_2\max$) bzw. als Vielfaches des Stoffwechselverbrauchs in körperlicher Ruhe (resting metabolic rate, MET) angegeben (Bouchard, Shephard, Stephens, Sutton & McPherson, 1990). Die Angaben sind abhängig vom Lebensalter (siehe Tab. 1).

Tab. 1 Intensität der körperlichen Aktivität in Abhängigkeit des Lebensalters mod. nach Bouchard et al. (1990, S. 6).

	Relative intensity (% $VO_2\max$)	Absolute intensity (METs)			
		Young (28-39) [†]	Middle-aged (40-64) [†]	Old (65-79) [†]	Very old (>80) [†]
Rest	-	1.0	1.0	1.0	1.0
Light	<35	<4.5	<3.5	<2.5	<1.5
Fairly light	>35	<6.5	<5.0	<3.5	<2.0
Moderate	>50	<9.0	<7.0	<5.0	<2.8
Heavy	>70	>9.0	>7.0	>5.0	>2.8
Maximal	100	13.0	10.0	7.0	4.0

[†] Ergänzung der Altersbereiche in Jahre nach Pollock et al. (1998).

2.1.1 Körperlich-sportliche Aktivität

Im Zusammenhang mit Gesundheit und Fitness definiert Woll (1996, S. 29):

„Sportliche Aktivität ist ein aktiver, zielmotivierter, spezifisch organisierter Umgang mit dem Körper innerhalb eines sportlichen Rahmens. Sportliche Aktivität ist immer körperliche Bewegung unter Ausnutzung bestimmter motorischer Fähigkeiten und Fertigkeiten, verbunden mit Befinden und Erleben und eine Form der sozialen Interaktion und Kommunikation.“

Woll (1996) nimmt eine Eingrenzung der körperlichen Aktivität auf einen sportlichen Rahmen vor: Sportliche Aktivität ist zweckgebunden und ist spezifisch organisiert. Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit und Koordination stellen die motorischen Fähigkeiten dar (Bös, 1987). Beweglichkeit ist als passives System der Energieübertragung und daher nach Bös (1987) als individuelle Bewegungsvoraussetzung getrennt von den motorischen Fähigkeiten anzusehen.

Eine allgemeingültige Definition des Begriffs Sport existiert nicht. Röthig und Prohl (2003, S. 493) nennen unter anderem die „Einbindung in soziale, ökonomische, politische und rechtliche Gegebenheiten“ als Begründung für die heterogene Auslegung des Sportbegriffs.

Caspersen et al. (1985) sehen „exercise“ inklusive weiterer Spezifizierungen (geplant, strukturiert und wiederholbar mit dem Ziel der körperlichen Leistungssteigerung) als eine Unterkategorie von körperlicher Aktivität an:

"Exercise, however is not synonymous with physical activity: it is a subcategory of physical activity. Exercise is physical activity that is planned, structured, repetitive, and purposive in the sense that improvement or maintenance of one or more components of physical fitness is an objective." (Caspersen et al., 1985, S. 128)

Für Bouchard und Shephard (1994) ist "exercise [...] a form of leisure-time physical activity" (S. 78), die über längere Zeit (exercise training) und unter Verfolgung bestimmter Ziele ("fitness, physical performance or health", S. 78) ausgeübt wird. Dabei wird Sport bzw. "exercise" stets unter Angabe von Typ, Intensität, Häufigkeit und Dauer beschrieben (Bouchard & Shephard, 1994; Sallis & Owen, 1999). Unter dem englischen Begriff "sports" verstehen Bouchard und Shephard (1994) "a form of physical activity that involves competition" (S. 79) und verweisen somit auf den zentralen Charakter von Wettkampfsport.

In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe sportliche Aktivität und körperlich-sportliche Aktivität, genau wie von Woll (2006), synonym verwendet.

2.1.2 Körperliche Fitness und Leistungsfähigkeit

Clarke (1976) und Woll (2006) verstehen aus epidemiologischer Sichtweise unter Fitness die „allgemeine körperliche Leistungsfähigkeit“ (Woll, 2006, S. 25). Auch Werle, Woll und Tittlbach (2006) verwenden die Begriffe körperliche Leistungsfähigkeit und Fitness synonym und nutzen körperliche Leistungsfähigkeit als Oberbegriff der motorischen Fähigkeiten, die durch „beobachtbare Bewegungsleistungen messbar“ (Werle et al., 2006, S. 69) sind.

In der Sportwissenschaft wird der Begriff der Motorik breit diskutiert. Die Definition von Bös und Mechling (1983) wonach Motorik „die Gesamtheit aller Strukturen und Funktionen [ist,] die für den Erwerb und das Zustandekommen von sportbezogener Bewegungshandlung verantwortlich sind“ (S. 30), ist nach wie vor anerkannt.

Im Englischen wird unter "motor fitness" die allgemeine körperliche Leistungsfähigkeit verstanden, wohingegen "physical fitness" die konditionelle Leistungsfähigkeit beschreibt (Woll, 2006). Werden zusätzlich zur körperlichen Leistungsfähigkeit auch emotionale, psychische und soziale Befindlichkeiten einbezogen, so ist der Begriff "total fitness" treffender (Woll, 2006). "In contrast with physical activity, which is related to the movements that people perform, physical fitness is a set of attributes that people have or achieve" (Caspersen et al., 1985, S. 128). Dabei unterteilen die Autoren körperliche Fitness in eine athletische bzw. fertigungsbezogene und gesundheitsbezogene Komponente (siehe Abb. 3).

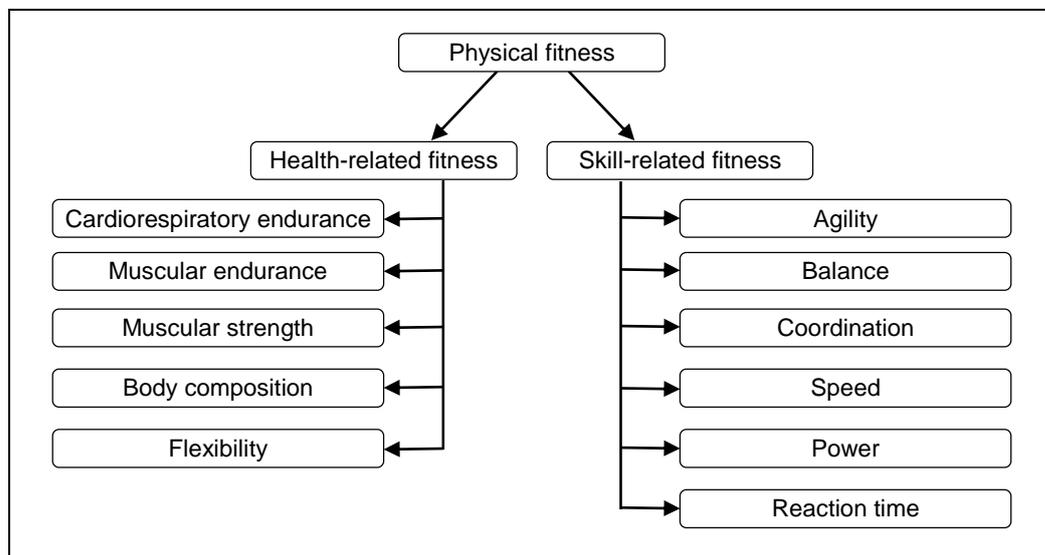


Abb. 3 Komponenten der körperlichen Fitness; mod. nach Caspersen et al. (1985, S. 128).

Zur Erfassung der unter anderem altersabhängigen körperlichen Fitness sollten nach Bouchard und Kollegen (1990, S. 8f) folgende Komponenten beachtet werden:

- Flexibility
- Body Composition
- Muscle Strength and Endurance
- Anaerobic Abilities
- Aerobic Abilities

Bös (1994) beschreibt den Verlauf der körperlichen Leistungsfähigkeit mit einem Anstieg bis ins frühe Erwachsenenalter (18 bis 35 Jahre). Mit fortschreitendem Alter nimmt die körperliche Leistungsfähigkeit immer weiter ab.

Körperliches Training kann sich auf diese Leistungsfähigkeit jederzeit auswirken

Hautdurchblutung und Adrenalinausschüttung. Dies hat einen erhöhten Energieumsatz zur Folge und wird im Folgenden erläutert.

2.1.3 Motorisches Lernen

Bewegungen sind für Menschen essenziell, da sie „die einzige Möglichkeit des Menschen [sind], mit seiner Umwelt zu interagieren“ (Stein & Bös, 2014, S. 57). Große Unterschiede in der Bewegungsausführung sind beispielweise zwischen Anfängern und Olympiateilnehmern im Gerätturnen, aber auch bei unterschiedlich geübten Musikerinnen zu erkennen. Die Bewegungen von Experten und Laien unterscheiden sich dabei in „Präzision und Geschwindigkeit“ (Stein & Bös, 2014, S. 57).

Das Erlernen neuer Bewegungen ist ein für Lebewesen fundamentaler adaptiver Mechanismus (Buitrago, Schulz, Dichgans & Luft, 2004; Kantak & Winstein, 2012). Die Skelettmuskulatur wird mit Hilfe „zentralnervöser Funktionen“ (Boutellier, 2010, S. 869) angesteuert. Die „internen Steuerungs- und Regelungsprozesse, die äußerlich sichtbaren Bewegungen zugrunde liegen“ (Stein & Bös, 2014, S. 57), werden motorische Kontrolle genannt. Werden diese Prozesse dauerhaft durch Übung verändert, wobei der Faktor Zeit eine entscheidende Rolle spielt, so sprechen Stein und Bös (2014) dabei von motorischem Lernen.

Motorische Lernprozesse laufen nach Wulf (2009) schematisch ab, wenn auch das „Lösen neuer Bewegungsaufgaben innovativ und kreativ“ (Illert & Kutz-Buschbeck, 2006, S. 94) ist. Wulf (2009) orientiert sich bei der Differenzierung der Lernstadien an Fitts (1964; siehe Tab. 2). Nach einer von der Neuartigkeit und Komplexität der Aufgabe abhängigen Anzahl an Versuchen pendelt sich die Bewegungsleistung ein (Buitrago et al., 2004).

Zunächst liegt die volle Aufmerksamkeit des Lernenden (Novize) bei der Bewegungsausführung (Wulf, 2009). Der Muskeleinsatz ist groß und teilweise überflüssig und unökonomisch. Die Freiheitsgrade einiger Gelenke werden verringert und lassen die Bewegungen starr und kantig aussehen. Nach einigem Üben wird der Muskeleinsatz koordinierter, und passive Kräfte können kontrolliert oder vermindert werden. Die erste Lernphase endet mit dem Erlernen grundlegender Bewegungsmuster (siehe Tab. 2). Der Aufmerksamkeitsfokus des Lernenden verlagert sich in der zweiten Lernphase allmählich von der Bewegungsausführung zu anderen Einflüssen, wie beispielsweise der Beschaffenheit des Untergrunds. Eine Automatisierung der Bewegung tritt langsam ein. Die Bewegungen werden beständiger und unterliegen weniger zufälligen Einflüssen. Wulf (2009) merkt an, dass zum Erreichen der dritten Phase langes Üben erforderlich ist. Die Bewegungen werden exakt und fließend (Experte). Der Aufmerksamkeitsfokus liegt nur noch wenig oder gar nicht auf der Bewegungsausführung, die somit nahezu automatisch abläuft. Aufmerksamkeit ist zu Lernbeginn „fertigungsbezogen“ (Wulf, 2009, S. 5). Im Verlauf des Lernprozesses nicht die Zuteilung Aufmerksamkeit auf die Bewegungskontrolle jedoch ab.

Tab. 2 Lernstadien nach Fitts (1964); siehe Wulf (2009).

Lernstadium	Merkmal	Geforderte Aufmerksamkeit
Kognitiv (verbal)	Bewegungen sind langsam, unbeständig und ineffizient. Erhebliche kognitive Aktivität erforderlich.	Bewegung wird weitgehend bewusst kontrolliert.
Assoziativ	Bewegungen sind flüssiger, sicherer und effizienter. Weniger kognitive Aktivität erforderlich.	Einige Bewegungsanteile werden bewusst kontrolliert, andere sind bereits automatisiert.
Autonom (motorisch)	Bewegungen sind genau, beständig und effizient. Wenig oder keine kognitive Aktivität erforderlich.	Bewegungsablauf ist weitgehend automatisiert.

Die neurowissenschaftliche Differenzierung des motorischen Lernen in (1) "motor adaptation learning" (Hallett & Grafman, 1997, S. 298) und (2) "motor skill learning" (Hallett & Grafman, 1997, S. 299) geht nicht von einem Stufenmodell aus, sondern von zwei unterschiedlichen Lernzielen (siehe hierzu auch Stein und Bös, 2014). Motorisches Adaptionlernen (1) wird als "change in motor performance without a change in the operating characteristic" (Hallett & Grafman, 1997, S. 298) definiert. Bekannte Bewegungen werden an veränderte Bedingungen angepasst (Stein & Bös, 2014). Beim Fertigkeitlernen (2) hingegen werden Bewegungen optimiert oder neu gelernt. Das Üben hat stets eine „Leistungssteigerung verglichen mit dem Ausgangsniveau“ (Stein & Bös, 2014, S. 57) zur Folge.

Motorisches Lernen benötigt stets kognitive Fähigkeiten, wie beispielsweise Aufmerksamkeit, Selbstkontrolle und Wahrnehmungsfähigkeiten (Gazzaniga, Ivry & Mangun, 2014, S. 367). Sensorisches Feedback ist essenziell für Lernvorgänge, da diese dynamischen Prozessen unterliegen.

Neben sichtbaren Veränderungen zwischen Novizen und Experten existieren ebenfalls physiologische Unterschiede. Geübte Volleyballerinnen weisen eine höhere kortikale Repräsentation ihres Schlagarms im Vergleich zum nichtdominanten Arm auf (Tyč, Boyadjian & Devanne, 2005). Das bedeutet, es existieren mehr Neuronen im spezifischen Bereich des motorischen Kortex für den dominanten Arm.

Erlernete Bewegungen laufen Großteils unbewusst ab. Die Sensomotorik spielt für diese unbewusste Verarbeitung eine große Rolle. Nach Roth und Willimczik (1999) können Regelungsprozesse erst nach 150 bis 200 ms in die Bewegung eingreifen. Davor „scheinen Bewegungen im Sinne einer Open-Loop-Kontrolle vorprogrammiert“ (Beck & Beckmann, 2009, S. 36).

Das Kleinhirn ist ein für motorisches Lernen zentraler Bereich des Gehirns. Es ist hauptsächlich am Adaptionlernen beteiligt (Hallett & Grafman, 1997) und für die Automatisierung von Bewegungsabläufen essenziell (Bellebaum & Daum, 2007). Vor allem bei stark variierenden Umgebungsbedingungen wird das Kleinhirn vermehrt eingebunden. Der Einsatz des Kleinhirns ermöglicht eine größere Zuweisung von Aufmerksamkeit auf neue, parallel ablaufende Prozesse. Die zentrale Bedeutung des Kleinhirns für neue Bewegungsabläufe gilt als gesichert. Gazzaniga et al. (2014, S. 379f) merken an, dass das Kleinhirn wichtig für die Zuordnung dieser Lerninhalte ist. Nach Lehmann-Horn (2010) ist das Kleinhirn,

neben präfrontaler Kortex, Basalganglien und Hirnstamm, für motorisches Lernen essenziell.

Die Einspeicherung von neuen Gedächtnisinhalten läuft für motorische Fertigkeiten und Faktenwissen ähnlich ab (Kantak & Winstein, 2012). Dies wird unter anderem bei Störungen von Bewegungsabläufen deutlich. Solche Störungen, auch visuo-motorischen Neuerungen genannt, verändern die gesamte Aktivität des Gehirns. So vergrößert sich die Aktivität in vielen Bereichen der Großhirnrinde (z. B. präfrontaler, motorischer, visueller und temporaler Kortex), sowie im Kleinhirn und den Basalganglien (Gazzaniga et al., 2014; Seidler, Noll & Chintalapati, 2006). Wird die Störung aufgehoben, verringert sich die Aktivierung der Gehirnbereiche wieder. Im Exkurs zum Gehirn (siehe S. 38) werden diese Verknüpfungen weiter beschrieben.

Körperliche Aktivität ist der Oberbegriff für körperlich-sportliche Aktivität und findet in allen Bereichen des Lebens statt. Die körperliche Leistungsfähigkeit nimmt bis zum jungen Erwachsenenalter zu, unterliegt anschließend jedoch der Degeneration und kann durch körperliches Training beeinflusst werden. Motorisches Lernen ist ein komplexer Vorgang, an dem das Gehirn zentral beteiligt ist, und findet ständig – jedoch vor allem beim Erlernen einer neuen Sportart – statt.

2.2 Kognition

Kognition beschreibt als Oberbegriff alle Gedächtnis- und Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen inklusive deren exekutive Kontrolle (Davis & Lambourne, 2009). Bezüglich der Verarbeitungsreihenfolge unterscheiden Davis und Lambourne (2009, S. 250) zeitlich vorgeschaltete bottom up-Prozesse (z. B. Analyse von Informationen) und nachfolgende top down-Prozesse (z. B. Planung und Zielverfolgung).

Nach Kluwe (2001) wird Kognition „als Sammelbezeichnung für die geistige Aktivität von Menschen verwendet“ (S. 352). Weiter „bezeichnet Kognition die Gesamtheit der informationsverarbeitenden Prozesse und Strukturen eines intelligenten Systems [...], unabhängig vom materiellen Substrat dieses Systems“ (Kluwe, 2001, S. 352).

Beide Definitionen verdeutlichen die Vielfalt kognitiver Prozesse und deren Wichtigkeit für das Lernen.

2.2.1 Kognitive Funktionen

Nach Birbaumer und Schmidt (2006a, S. 449) sind kognitive Funktionen „alle bewussten und nicht bewussten Vorgänge, die bei der Verarbeitung von organismusexterner oder -interner Information ablaufen“. Die Autoren nennen Verschlüsselung und Vergleiche von Informationen, sowie Problemlösung als Beispiele für kognitive Funktionen.

"Cognitive abilities (and disabilities) are functional properties of the individual that are not directly observed but instead are inferred from his/her behavior" (Sivan & Benton, 1999, S. 425). Lezak, Howieson und Loring (2004) setzen kognitive Funktionen mit kognitiven Fähigkeiten, die wiederum zweckmäßige Eigenschaften eines Individuums sind, die nicht direkt beobachtet, jedoch durch das Verhalten des Individuums abgeleitet werden können, gleich.

Lezak et al. (2004) teilen die kognitiven Funktionen in vier Hauptkategorien ein. Viele dieser Funktionen arbeiten untrennbar zusammen. Die (1) "receptive functions" (Lezak et al., 2004, S. 20) sind Fähigkeiten, um eintreffende Informationen auszuwählen und zu klassifizieren. Das Einspeichern und Abrufen von Informationen gehört zur Kategorie (2) "memory and learning" (Lezak et al., 2004, S. 20). Diese Funktionen sind für alle kognitiven Funktionen wichtig und maßgeblich an dem Verhalten eines Individuums beteiligt. Es gibt diverse Gedächtnismodelle, die teilweise interagieren (u. a. Sensorischer Speicher nach Balota, David A., Dolan und Duchek, 2000; Arbeitsgedächtnis nach Baddeley, 1986; Baddeley & Hitch, 1974). Alle Vorgänge rund um die (Neu-) Ordnung von Informationen werden von Lezak und Kollegen (2004) zur Hauptkategorie (3) "thinking" (Lezak et al., 2004, S. 20) zusammengefasst. Beispielsweise gehören komplexe kognitive Funktionen, wie logisches Denken, Planen, Abstrahieren, Problemlösen und Beurteilen zum Denken. (4) "Expressive functions" (Lezak et al., 2004, S. 20) subsummieren alle Möglichkeiten der Informationswiedergabe, um eine Kommunikation einzuleiten. Unter anderem sind Schreiben, Sprechen und

sich Bewegungen einige Ausdrucksmöglichkeiten, die das erkennbare Verhalten eines Individuums ausmachen.

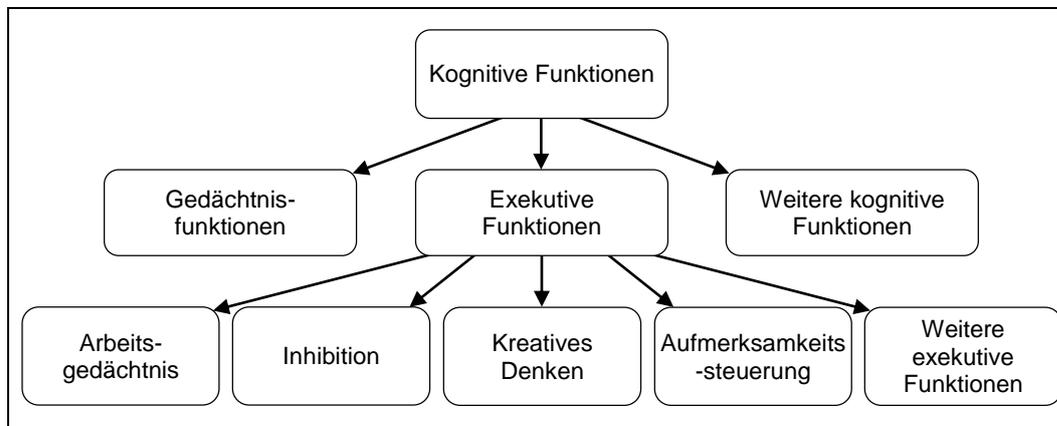


Abb. 5 Beispielhafte und schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen kognitiven Funktionen, exekutiven Funktionen und einigen Beispielen exekutiver Funktionen (eigene Darstellung).

2.2.2 Exekutive Funktionen

Exekutive Funktionen werden als anderen kognitiven Funktionen übergeordnete kognitive Kontrollmechanismen definiert (Bellebaum & Daum, 2007; Diamond, 2014; Gazzaniga et al., 2014; Verburch et al., 2014) und stellen eine Teilmenge der kognitiven Funktionen dar. "The executive functions consist of those capacities that enable a person to engage successfully in independent, purposive, self-serving behavior" (Lezak et al., 2004, S. 35). Kluwe (2001) beschreibt die exekutiven Funktionen aus Sicht der kognitions- und neuropsychologischen Forschung als „Mechanismen [...], die eine Kontrolle und Bewertung sowie eine flexible Steuerung kognitiver Prozesse leisten“ (S. 355). Der Vergleich dieser Definitionen zeigt die vorherrschende Einigkeit der Literatur in diesem Bereich. Obwohl die exekutiven Funktionen eine Vielzahl von Mechanismen beinhalten, ist dieser Begriff eindeutig.

Es existieren viele Konzepte und Systematisierungen zu den exekutiven Funktionen (Bellebaum & Daum, 2007; Jurado & Rosselli, 2007). Nach Seiferth, Thienel und Kircher (2007) werden „unter dem Begriff exekutive Funktionen [...] kognitive Prozesse subsummiert, die durch die Kontrolle, Steuerung und Koordination verschiedener Subprozesse das Erreichen eines übergeordneten Ziels ermöglichen“ (S. 266). Exekutive Funktionen sind wichtig bei der Verhaltenssteuerung in neuen Situationen, beim Planen von Handlungen und Stecken neuer Ziele (Diamond, 2013). Nach Diamond (2014) sind sie „die Voraussetzung für logisches Denken“ (S. 19). Sie bestehen aus vier Komponenten: (1) "volition", (2) "planning", (3) "purposive action" und (4) "effective performanc" (Lezak et al., 2004, S. 611). Gazzaniga et al. (2014) beschreiben exekutive Funktionen als breite Auswahl an Fähigkeiten, die es uns erlauben,

Wahrnehmung, Wissen und Zielsetzung so zu nutzen, dass die Auswahl der Aufmerksamkeit und die Gedanken beeinflusst werden.

Kubesch (2014b) sowie Stoodley und Schmahmann (2009) heben Arbeitsgedächtnis, Inhibition und kognitive Flexibilität bzw. Entscheidungsfindung als die zentralen exekutiven Funktionen hervor, die zudem essenziell für Lernen und selbstgesteuertes Arbeiten sind. Weitere Beispiele für exekutive Funktionen sind Planungsprozesse und Entscheidungsfindung (Seiferth et al., 2007). Nach Diamond und Lee (2014) sind Kreativität und kognitive Flexibilität eng verbunden und zentrale Beispiele für exekutive Funktionen, da sie für das Finden neuer Lösungswege essenziell sind.

Inhibition wird im Verlauf des Lebens als erste exekutive Fähigkeit entwickelt (Jurado & Rosselli, 2007). Allerdings bilden sich zielgerichtetes Denken, selektive Aufmerksamkeit und das Arbeitsgedächtnis ebenfalls in der Kindheit aus (Zelazo, Craik & Booth, 2004). Nach Best, Miller und Jones (2009) reicht die positive Entwicklung exekutiver Funktionen bis ins junge Erwachsenenalter (siehe auch Paus, 2005). Insgesamt beschreibt die Entwicklung der exekutiven Funktionen im Verlauf des Lebens eine umgekehrte U-Funktion (Dempster, 1992), die ihr Maximum im Alter der jungen Erwachsenen hat (Craik & Bialystok, 2006; Zelazo et al., 2004).

Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren konnten zeigen, dass verschiedene exekutive Funktionen spezifische Bereiche des Gehirns stimulieren (Anderson, 2002; Jurado & Rosselli, 2007; Kaufmann et al., 2005). Demnach sind nicht nur frontale Hirnlappen und präfrontaler Kortex, sondern auch Teile des Kleinhirns für die Aktivierung dieser hochrangigen Kontrollfunktionen zuständig (Bellebaum & Daum, 2007). Eine genaue Bereichszuweisung ist jedoch schwer.

In ihrer Meta-Analyse schlussfolgern E, Chen, Ho und Desmond (2014), dass einige exekutive Funktionen sich mit dem Arbeitsgedächtnis decken und diese im Kleinhirn verortet sind. Teilbereiche des Kleinhirns (Crus 1 und 2) werden sogar von den Domänen zusammen genutzt. Nach Garavan, Ross, Li und Stein (2000) sind mehrere kognitive Funktionen vom Arbeitsgedächtnis abhängig.

Barkley (1997) erklärt, dass ein Teil der fehlenden Aufmerksamkeitskontrolle, die das Aufmerksamkeits-Defizit-Syndrom (kurz ADS) charakterisiert, auf die Wirkungslosigkeit exekutiver Prozesse zurück zu führen ist. Gut ausgeprägte exekutive Funktionen hingegen hängen nach Davis und Lambourne (2009) positiv mit verschiedenen Schulleistungen (St. Clair-Thompson & Gathercole, 2006), wie mathematische Fähigkeiten (Espy et al., 2004), Vokabellernen (Dempster & Cooney, 1982) und Lesen (Gernsbacher, 1993), zusammen. Auch nach Kubesch (2013) korrelieren exekutive Funktionen hoch mit schulischen Leistungen.

2.2.2.1 Aufmerksamkeit und Konzentration

Die Form der Aufmerksamkeit ist maßgeblich für die Wahrnehmung (Alfermann & Stoll, 2010). Dies verdeutlicht die zentrale Rolle, die die Zuweisung von Aufmerksamkeitsressourcen für alle kognitiven Fähigkeiten spielt. Aufmerksamkeit wird häufig als Herzstück der Kognition umschrieben (Pérez et al., 2014). Beispielsweise für Sprache und Gedächtnis ist die Steuerung der Aufmerksamkeit essenziell. Den Aufmerksamkeitsfokus zu wechseln ist eine zentrale Funktion der kognitiven Flexibilität und zudem eine exekutive Funktion (Kubesch, 2014b). Rapp (1982) unterteilt Aufmerksamkeit in (1) geistige Konzentration, (2) Vigilanz bzw. Daueraufmerksamkeit, (3) selektive Aufmerksamkeit, (4) Aktivierung, (5) Einstellung und (6) Orientierungsreaktionen.

Aufmerksamkeit ist der Schlüssel für Lernerfolg im schulischen Kontext (Bloom, 1976). Auch das Phasenmodell von Gagné und Driscoll (1988) zeigt die Wichtigkeit von Aufmerksamkeit für den gesamten Lernprozess auf: Dieser beginnt in der Vorbereitungsphase mit der Herstellung von Aufmerksamkeit bzw. eines Wachheitszustandes, der Voraussetzung für die späteren Erwerbs- und Transferphasen ist (vgl. Aktivierung nach Rapp, 1982). Kognitive Leistungen und somit auch Lernprozesse setzen die Aufnahme und Selektion von Informationen voraus (Gerbig-Calcagni, 2010). Aufmerksamkeit ist an der Wahrnehmung beteiligt (Kullmann & Seidel, 2005) und kann willentlich (selektiv; mit einem spezifischen Ziel) und/oder reflexartig (durch einen Stimulus verursacht) auf etwas gerichtet werden (Gazzaniga et al., 2014). „Aufmerksamkeitsprozesse sind in hohem Maße auch bei der Weiterverarbeitung der aufgenommenen Informationen und der Konstruktion neuer Wissens Elemente sowie beim Abruf gespeicherten Wissens aus dem Langzeitgedächtnis beteiligt“ (Gerbig-Calcagni, 2010, S. 26).

Aufmerksamkeit (engl. attention/awareness) ist bislang nicht einheitlich definiert, jedoch merken Lezak et al. (2004) an, dass in den meisten Definitionen die beiden Aspekte "reflex" (S. 34) und "voluntary" (S. 34) eine zentrale Bedeutung haben. In seinem Review schlussfolgert Baddeley (2003), dass Aufmerksamkeitsressourcen eine begrenzte Kapazität aufweisen. Diese Kapazität kann innerhalb einer Person variieren (Lezak et al., 2004). Aufmerksamkeit ist ein „Prozess gerichteter, selektiver, häufig auch bewusster Wahrnehmung“ (Munzert, 2003, S. 59). Depression und Ermüdung sind demnach zwei Gründe, die die Aufmerksamkeit verringern können. Arbeitsbedingungen haben ebenfalls einen großen Einfluss auf die aktuelle Konzentrationsleistung einer Person (Hagemeister & Westhoff, 2011). Aufmerksamkeit unterliegt motivationalen Faktoren, die durch Abwechslung positiv beeinflusst werden kann (Leitner, 2005).

Der aktuelle Wachheits- und Erregungszustand kann im Tagesverlauf variieren und stellt ein Kontinuum dar, das „von Tiefschlaf zu höchsten Erregungsformen reicht“ (Rapp, 1982, S. 42). Neben Musikhören und Kaffeegenuss gehört auch körperliche Aktivität zu den Maßnahmen, die den Aktivierungspegel verändern können (Rapp, 1982). Bereits 1962 konnten Eggers und Kollegen (zitiert nach Rapp, 1982, S. 66) nachweisen, dass Mädchen (12-14 Jahre), die sich nach einer körperlichen Aktivität schneller erholen, eine bessere Konzentrationsleistung aufweisen, als Mädchen mit einer längeren Erholungsdauer.

Die Beziehung zwischen geistiger Wachheit und Leistungsfähigkeit wird im

Yerkes-Dodson-Gesetz (siehe Yerkes und Dodson, 1908) dargestellt und beschreibt annähernd eine umgekehrte U-förmige Kurve (siehe Abb. 6). Dabei verändert die Komplexität einer Aufgabe den Bereich der Wachheit. Abb. 6 zeigt deutlich, dass einfache Aufgaben unter einem vergleichbar höheren Wachheitszustand lösbar sind. Rapp (1982) verweist auf die Begrenztheit der „Zone der Wachheit, bei der die bestmöglichen Leistungen gezeigt werden“ (S. 46). Bei einem niedrigen oder hohen Erregungszustand ist die kognitive Leistungsfähigkeit gering (McMorris, Sproule, Turner & Hale, 2011). Bei einem moderaten Erregungszustand des Körpers ist die kognitive Leistungsfähigkeit hingegen optimal. Bei einer Aktivierung von 120 Herzschlägen pro Minute wird nach Delignières, Brisswalter und Legros (1994) das Optimum der umgekehrten U-Kurve erreicht. Diese optimale Herzfrequenz durch körperliche Aktivität zu erreichen, ist relativ einfach möglich.

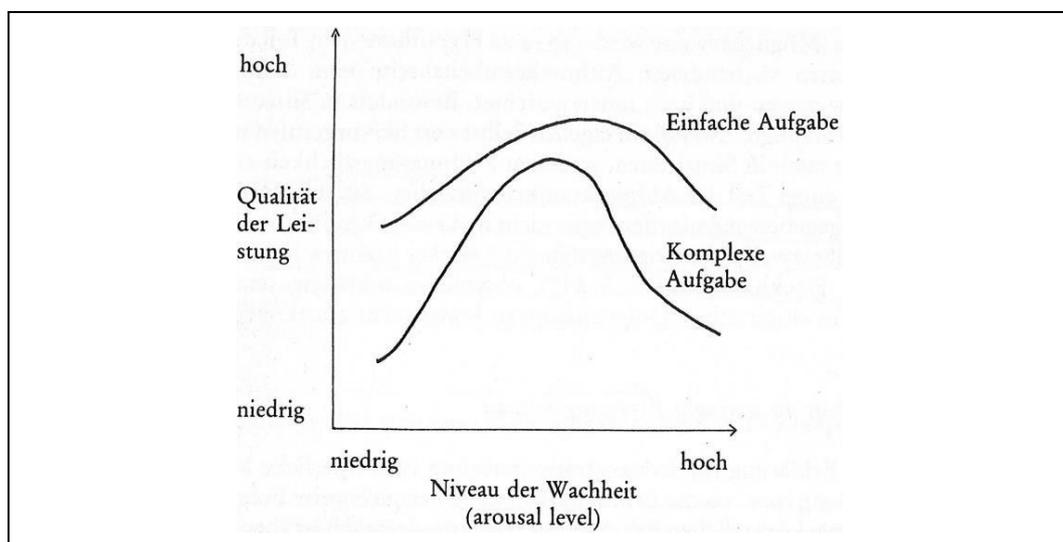


Abb. 6 Das Yerkes-Dodson-Gesetz (nach Kahneman, 1973, S. 34; zitiert nach Rapp, 1982).

Alle Modellen zur Aufmerksamkeit „postulieren einen Mechanismus einer willentlich kontrollierten Anstrengung für Koordination und Kontrolle“ (Hagemeister & Westhoff, 2011, S. 53). Dies ist entscheidend, da Menschen sich somit willentlich auf eine Aufgabe konzentrieren können. Die individuelle Konzentrationsleistung kann jedoch stark schwanken (Hagemeister & Westhoff, 2011).

Die meisten Leichtsinnsfehler passieren nach einer Studie von Bjerner, Holm und Swensson (1948) über den Tagesverlauf gesehen um 3 Uhr und 15 Uhr (Haider, 1962; Rapp, 1982, S. 51). Zwischen 7 und 11 Uhr sowie 16 und 20 Uhr werden hingegen relativ wenige Fehler gemacht. Kinder haben einen ähnlichen Tagesrhythmus ihrer Wachheit: „Tiefpunkte sind tagsüber um die Zeit von 13 bis 15 Uhr und nachts zwischen 1 Uhr und 5 Uhr feststellbar“ (Rapp, 1982, S. 51). Von 9 bis 12 Uhr und 16 bis 19 Uhr rechnen Schulkinder hingegen am schnellsten. Die kognitive Leistungsfähigkeit ist demnach vormittags und nachmittags am größten, weist jedoch einen Tiefpunkt gegen Mittag (13-15 Uhr) auf.

Umgangssprachlich sowie teilweise in der deutschsprachigen Fachliteratur werden die Begriffe Aufmerksamkeit und Konzentration häufig synonym

verwendet. Nach Sivan und Benton (1999) ist "concentration" ein Aspekt der Aufmerksamkeit und dabei stets über eine Zeitspanne definiert. Rapp (1982) spricht von der „Konzentration als eine Gipfel- und Steigerungsform der Aufmerksamkeit“ (Rapp, 1982, S. 22). Der Intensitätsgrad der Konzentration ist dabei maximal (Rapp, 1982). Für Kullmann und Seidel (2005) stellt „die Konzentration die Fähigkeit, unsere Aufmerksamkeit zu bündeln und für längere Zeit auf ein Ziel zu richten“ (S. 26), dar. Die Autoren weisen auf die hohe Konzentrationsfähigkeit von Sportler und Schauspielern hin.

Konzentration „bezieht sich auf einen spezifischen Typus des Handelns, bei dem Ziele mit willentlicher Anstrengung und unter Ausschöpfung von Aufmerksamkeitskapazitäten angestrebt werden“ (Munzert, 2003, S. 306). Hierbei wird die Aufmerksamkeit auf wenige wichtige Ideen oder Informationen gerichtet (Lezak et al., 2004). Hagemeister und Westhoff (2011) beschreiben Konzentration mit „einer Arbeit nachgehen und dabei bewusst Informationen verarbeiten“ (S. 51), wobei Konzentration einerseits ein momentaner Zustand und andererseits ein Persönlichkeitsmerkmal sein kann.

2.2.2.1.1 *Theorien und Modelle zu Aufmerksamkeit und Konzentration*

Theoretischer Überlegungen konnten „die perzeptive Selektion und die handlungssteuernde Selektion“ (Müller, Krummenacher & Schubert, 2015, S. 4). als zwei mögliche Funktionsweisen der selektiven Aufmerksamkeit im kognitiven System bestimmen.

Bei der perzeptiven Selektion werden Informationen mithilfe von Aufmerksamkeitsprozessen ausgewählt. Dabei ist die Bedeutung der Information für den Gesamtkontext und somit auch für den Selektionsprozess entscheidend. Müller et al. (2015) nennen das Cocktail-Party-Phänomen als ein passendes Beispiel: Während einer Unterhaltung mit einer Person auf einer Party gelingt es, alle Störreize (beispielsweise Musik und andere Gespräche) auszublenden (Deselektion) und vorrangig dem aktuell wichtigen Reiz – den Äußerungen des Gesprächspartners – zu folgen. Das Sinnessystem registriert dabei jedoch alle Reize, diese werden lediglich nicht weiter verarbeitet.

Der zweite Ansatz hat die effiziente Handlung als Ziel (Müller et al., 2015). Die Funktion der handlungssteuernden Selektion besteht somit in der Koordination aller „Komponenten des kognitiven Systems, von der Wahrnehmung bis zur motorischen Reaktion“ (Müller et al., 2015, S. 5).

Filtertheorie der Aufmerksamkeit

Bereits im Jahr 1958 veröffentlicht Broadbent die Filtertheorie der Aufmerksamkeit. Diese stellt die Grundlage der modernen Aufmerksamkeitsforschung dar.

Aufgrund der begrenzten Kapazität des Bewusstseins findet demnach eine frühe Selektion von Informationen statt, um eine anschließende Verarbeitung der Informationen überhaupt zu ermöglichen. Physikalische Reizmerkmale bilden die Basis der Selektion, und Nachrichten werden nach dem Alles-oder-nichts-Prinzip weitergeleitet. Da lediglich ein Bruchteil der Eingangssignale diesen frühen Filter passiert, kann eine adäquate Verarbeitung der Informationen stattfinden. Ohne

diesen essenziellen Informationsfilter, würde die Reizverarbeitung aufgrund der hohen Anzahl an Reizen nicht funktionieren.

2.2.2.1.2 *Aufmerksamkeit, Kognition und das Gehirn*

Birbaumer und Schmidt (2006b) unterscheiden „automatisierte (generelle) und kontrollierte (selektive) Aufmerksamkeit, die kontinuierlich ineinander übergehen“ (S. 376). Automatische Aufmerksamkeit wird auch als „bottom-up-Aufmerksamkeit“ (Birbaumer & Schmidt, 2006b, S. 379) bezeichnet. Bei der kontrollierten Aufmerksamkeit bestimmt das zentrale Bewertungssystem selbst die Auswahl der Reize. Man spricht daher hierbei von „top-down-Aufmerksamkeit“ (Birbaumer & Schmidt, 2006b, S. 379). Diese Form der Aufmerksamkeit ist von begrenzter Kapazität (Petersen & Posner, 2012). Ein vergleichbares Modell zur Prozessrichtungen wenden Davis und Lambourne (2009) auf die Verarbeitungsreihenfolge allgemeiner kognitiver Prozesse an (siehe Abschnitt 2.2 Kognition, S 13). Neben präfrontalem und parietalem Kortex sind auch Basalganglien, Thalamus und basales Vorderhirn Teile des limitierten Kapazitätskontrollsystems (LCCS) (Birbaumer & Schmidt, 2006a).

Das menschliche Aufmerksamkeitssystem kann nach Petersen und Posner (2012) in drei anatomisch und funktional getrennte Bereiche unterteilt werden: (1) das "alerting network" steuert den allgemeinen Wachheitszustand, (2) das "orienting network" ist für die Steuerung der Aufmerksamkeit auf sensorische Reize verantwortlich und (3) das "executive network" erkennt und löst Konflikte in Störsituationen (Pérez et al., 2014).

2.2.2.1.3 *Aufmerksamkeit im Sport*

Die Regulation von Aufmerksamkeit ist sowohl in Mannschaftssportarten als auch in Individualsportarten, mit variablen äußeren Bedingungen, entscheidend (Alfermann & Stoll, 2010; Nimz, 2012). Laufen auf einer unbekanntem Strecke mit unebenem Bodenbelag erfordert demnach mehr external-weite Aufmerksamkeit als auf einer bekannten Strecke bzw. dem Laufband.

In der Sportpraxis stellt die schnelle Regulation der Aufmerksamkeit eine zentrale Fähigkeit dar (Baumann, 2011). Durch eine verbesserte Aufmerksamkeitsregulation (internal) können externale Störreize besser ausgeblendet werden. Die begrenzte Ressource der Aufmerksamkeit wird somit mehr auf interne und für viele Bewegungsausführungen essenzielle Vorgänge gelenkt. Die Regulation der Aufmerksamkeit ist trainierbar und für viele Sportarten wichtig. Beispielsweise versuchen Bogenschützen die Umgebung mithilfe der Aufmerksamkeitssteuerung und teilweise zusätzlichen, mechanischen Hilfsmitteln auszublenden, um unter konstanten Bedingungen schießen zu können. In Sportarten muss die Konzentration blitzschnell vom gesamten Spielfeld auf einen Gegenspieler gerichtet werden, sobald der Sportler mit diesem in Aktion tritt (Baumann, 2011).

2.2.2.1.4 *Diagnose von Aufmerksamkeit*

Da Aufmerksamkeit ein „innerpsychische[r], äusserlich nicht zugängliche[r] Prozess“ (Gerbig-Calcagni, 2010, S. 26) ist, muss diese indirekt gemessen werden.

Gerbig-Calcagni (2010) nennt vier Ansätze zur Messung der Aufmerksamkeit: (1) Beobachtung, (2) Innensicht-Perspektive, (3) Testleistung und (4) neurophysiologische Verfahren. Testverfahren mit einfacher bzw. banaler Aufgabenstellung der Kategorie (3) werden in der Aufmerksamkeitsdiagnostik zur Erfassung der Aufmerksamkeitsleistung häufig angewandt.

Laut Berg und Westhoff (2006) sind bei der Diagnose von Konzentrationsfähigkeit die Bearbeitungsgeschwindigkeit und die Anzahl der „Fehler in bewusst und absichtsvoll auszuführenden Handlungen“ (Berg & Westhoff, 2006, S. 22) zu unterscheiden. Die Autoren verweisen jedoch auf die Wichtigkeit des Profilverlaufs der Konzentrationsleistung eines Probanden. Eine Diskrepanz besteht zwischen der Konzentrationsleistung im Alltag und im Test. Als eine mögliche Erklärung dafür nennen Berg und Westhoff (2006) die optimalen Laborbedingungen bei Konzentrationstests, da Störfaktoren meist ausgeschlossen werden. Die Anwendung von Konzentrationstest in wissenschaftlichen Untersuchungen (z. B. Gruppenvergleiche) halten die Autoren für überaus sinnvoll. Beispiele für Aufmerksamkeits- bzw. Konzentrationstests sind neben der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP) von Zimmermann und Fimm (2012) der KLT-R von Düker und Lienert (2001) und der d2-R von Brickenkamp, Schmidt-Atzert und Liepmann (2010). Letztgenanntes Messverfahren wird unter Diagnostik im vorliegenden Kapitel (S. 31) genauer beschrieben und im empirischen Teil dieser Arbeit angewandt (Studie Konzentrationssteigerung durch Sportfechten?, S. 106ff).

2.2.2.2 *Kreativität*

Kreativität ist ein wichtiges und viel beforschtes, jedoch schwer zu definierendes Forschungsfeld (Runco, 2014).

Innovation ist ein für die freie Wirtschaft zentraler Faktor und somit essenziell für den Erfolg von Firmen (Byrne, Mumford, Barrett & Vessey, 2009; Martins & Terblanche, 2003; McFadzean, 2000; Sawyer, 2012). Durch neue Produkte und Dienstleistungen werden Arbeitsplätze geschaffen (Sternberg & Lubart, 1999). Kreativität ist inzwischen für den beruflichen Erfolg unabdingbar (Yeh, Yeh & Chen, 2012). McFadzean (2000) sowie Schuler und Görlich (2007) sprechen von Kreativität als einer der meistgesuchtesten Fähigkeiten von Angestellten. Allerdings ist Kreativität auch für Führungskräfte (Harvey & Novicevic, 2002), Schüler (Herman-Tofler & Tuckman, 1998), Lehrer (Sadeghi Boroujerdi & Hasani, 2014) und Studierende (Ma, 2006; Yeh et al., 2012) essenziell (Runco, 2014). Neben abstraktem Denken ist auch kreatives Denken wichtig für Akademiker und deren Zukunft. Kreatives Denken ist zentral für Lernen, soziale Beziehungen und kognitive Strategien (Sadeghi Boroujerdi & Hasani, 2014).

Im Alltag wird Kreativität häufig in Form von Sprache beispielhaft eingesetzt (Runco, 2014).

Die wohl schlüssigste und meistbeachtete Definition von Kreativität liefern Sternberg und Lubart (1999, S. 3): "the ability to produce work that is both novel (i.e., original, unexpected) and appropriate (i.e., useful, adaptive concerning task constraints)". Runco und Jaeger (2012) machen jedoch klar, dass „the Standard Definition of Creativity“ (Runco & Jaeger, 2012, S. 92) immer noch nicht endgültig festgelegt ist.

Bezüglich Kreativität ist es dennoch entscheidend, neue Ideen zu generieren, die zusätzlich brauchbar und somit zielgerichtet sind. Dieser kreative Prozess besteht aus zwei Phasen: (1) dem divergenten Denken (Aiken, 1973; Guilford, 1964; Karademas & Kalantzi-Azizi, 2004) und dem anschließenden (2) konvergenten Denken (Clapham, 1997; Lezak et al., 2004).

2.2.2.2.1 *Theorien und Modelle zu Kreativität*

Die meisten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stimmen mit Guilford (1964) und Aiken (1973) überein, dass die Fähigkeit des divergenten Denkens eine zentrale Bedeutung für Kreativität hat. Diverse Ideen werden in dieser ersten Phase des kreativen Denkens generiert. "Flexibility", "fluency" und "originality" sind die zentralen Faktoren und Messgrößen des divergenten Denkprozesses und somit der Kreativität (Schuler & Görlich, 2007). Erst im zweiten Schritt werden die entstandenen Ideen bewertet (konvergentes Denken), und eine passende Lösung wird ausgewählt (Clapham, 1997). "Accuracy" und "speed" sind hierbei wichtig (Colzato, Szapora, Pannekoek & Hommel, 2013). Divergentes und konvergentes Denken sind jedoch unterschiedliche kognitive Fähigkeiten (Colzato et al., 2013; Memmert, Baker & Bertsch, 2010).

Bislang existieren diverse Modelle zur Kreativität (Kaufman & Beghetto, 2009; Lemons, 2005; Redmond, Mumford & Teach, 1993; Runco, 2014). Im Folgenden werden vier Modelle zum Kreativitätsbegriff bzw. dem Einfluss auf den kreativen Prozess vorgestellt.

The Amusement Park Theory

Die Amusement Park Theory (APT; Freizeitpark Theorie) ist ein hierarchisches Modell (Kaufman & Baer, 2005), welches die Spezifikation von Kreativität diskutiert. Zunächst wird von Kreativität als einer übergreifenden Fähigkeit einer Person ausgegangen. Ein Freizeitpark steht bildlich für diese Kreativität. Anhand von Bereichen und Vorschriften, die für einen Freizeitpark typisch sind, wird die Spezifikation der Kreativität verdeutlicht (Plucker & Zabelina, 2009). Es existieren zunehmend spezifische Ebenen: Von themenübergreifenden Gebieten (z. B. praktischer Kreativität) bis hin zu spezifischen Aufgaben (z. B. feinmotorischen Bewegungen) (Scibinetti, Tocci & Pesce, 2011). Diese werden bei der APT symbolisch dargestellt: Grundsätzliche Voraussetzungen in einem Freizeitpark (z. B. Mindestvoraussetzung Körpergröße) sind Metaphern für beispielsweise Intelligenz und Motivation als Voraussetzungen für kreatives Denken. Weiter werden übergreifende Themengebiete des Freizeitparks (z. B. Zauberlandchaft oder Disney-Studios), Bereiche (z. B. spezielle Bereich für Vorschüler) und spezielle Aufgaben (z. B. ein bestimmtes Fahrgeschäft) unterschieden. Diese

stehen in derselben Reihenfolge für übergreifende Bereiche der Kreativität (z. B. praktische Kreativität, Forschung und Kommunikation). Im übergreifenden Bereich Kommunikation ist beispielsweise Schreiben eine Domäne (Plucker & Zabelina, 2009). Ein Gedicht zu verfassen, steht im APT für eine spezielle Aufgabe dieser Domäne. Der Vorteil dieses Modells ist nach Plucker und Zabelina (2009) die übergreifende Organisation der Domänen – wenn sie auch oftmals schwer fällt.

A developmental perspective

Plucker und Beghetto (2004) gehen davon aus, dass zunächst keine übergreifende oder fachspezifische Stellung eingenommen werden darf, da diese zu Fehlern führt (Plucker & Zabelina, 2009). Die Autoren beschreiben zwei grundlegende Probleme: (1) Werden kreative Fertigkeiten domänenübergreifend gefördert, so können diese meist nicht sinnvoll angewendet werden. (2) Werden kreative Fertigkeiten domänenspezifisch gefördert, so können diese nicht auf andere Domänen übertragen werden. In diesem Modell besteht ein direkter Zusammenhang zwischen harten persönlichen Faktoren (Alter und Erfahrung) und weichen persönlichen Faktoren (Motivation und Hingabe). Mit Zunahme dieser beiden Faktoren wird das kreative Denken domänenspezifischer (siehe Abb. 7).

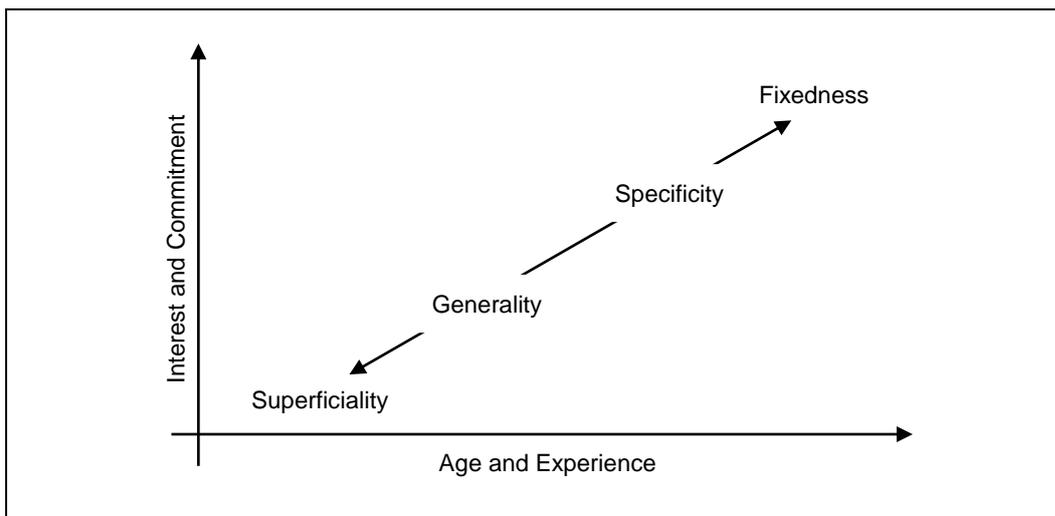


Abb. 7 "Plucker and Beghetto's (2004) conceptualization of domain specificity and generality of creativity" (Plucker und Zabelina, 2009, S. 8; mod.).

Den Einfluss von Alter und Fachkenntnis merken Scibinetti et al. (2011) ebenfalls an: Nehmen die beiden Faktoren zu, so steigt die Spezifizierung von Kreativität. Die Autoren schlussfolgern aus ihrer Studie zur motorischen und kognitiven Kreativität bei Kindern, dass ein Kreativitätsmodell übergreifende und domänenspezifische Komponenten beinhalten sollte. Die Kreativität einer Person scheint im Verlauf des Lebens zurück zu gehen (Parkin & Lawrence, 1994).

Grundlegendes Modell zum kreativen Prozess

Burow (2007) beschreibt in seiner Veröffentlichung ein etabliertes „Modell der anwendungsorientierten Kreativitätsforschung“ (S. 2; siehe Abb. 8). Es wird deutlich, dass neben der kreativen Person und dem kreativen Prozess auch förderliche und hinderliche Umfelder sowie das kreative Produkt das Phänomen der Kreativität beeinflussen.

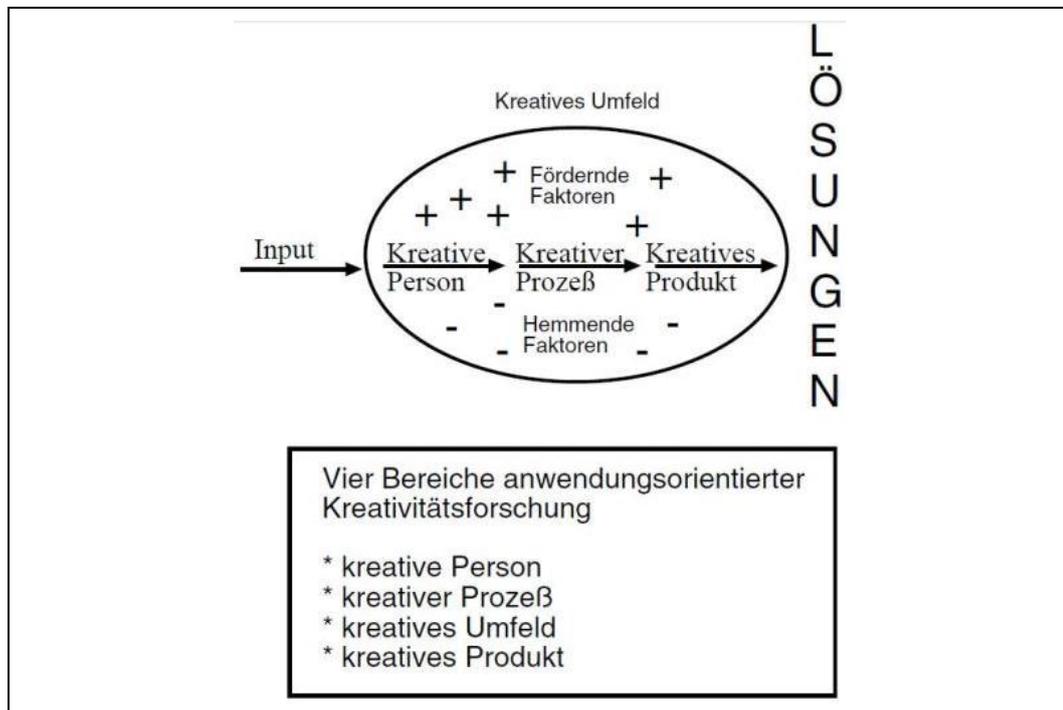


Abb. 8 Modell zum Einfluss der Kreativität nach Burow (2007, S. 3).

Grundmodell der fünf P

In ihrem ähnlichen „Grundmodell der fünf P“ (Preiser & Buchholz, 2004, S. 17) beschreiben Preiser und Buchholz (2004) das Zusammenwirken von Problem, Person, Problemumfeld, Prozess und Produkt in der kreativen Ideenfindung (siehe Abb. 9). Demnach beginnt der kreative Prozess mit einer Problemstellung, und sowohl das Problemumfeld als auch die Person wirken hemmend oder fördernd auf den kreativen Prozess ein. Die Autoren stellen fest, dass es „eine Reihe von individuellen Fähigkeiten [gibt], die Kreativität ermöglichen“ (Preiser & Buchholz, 2004, S. 20). Jeder Mensch besitzt demnach kognitive Flexibilität in unterschiedlicher Ausprägung. Diese Fähigkeit ist trainierbar und beeinflusst das kreative Produkt (Preiser & Buchholz, 2004). Dieser Aspekt ist für die vorliegende Arbeit entscheidend und wird daher hier nochmals herausgestellt. Die sieben Stufen des kreativen Prozesses dienen als Programm zur Steigerung des individuellen kreativen Potenzials.

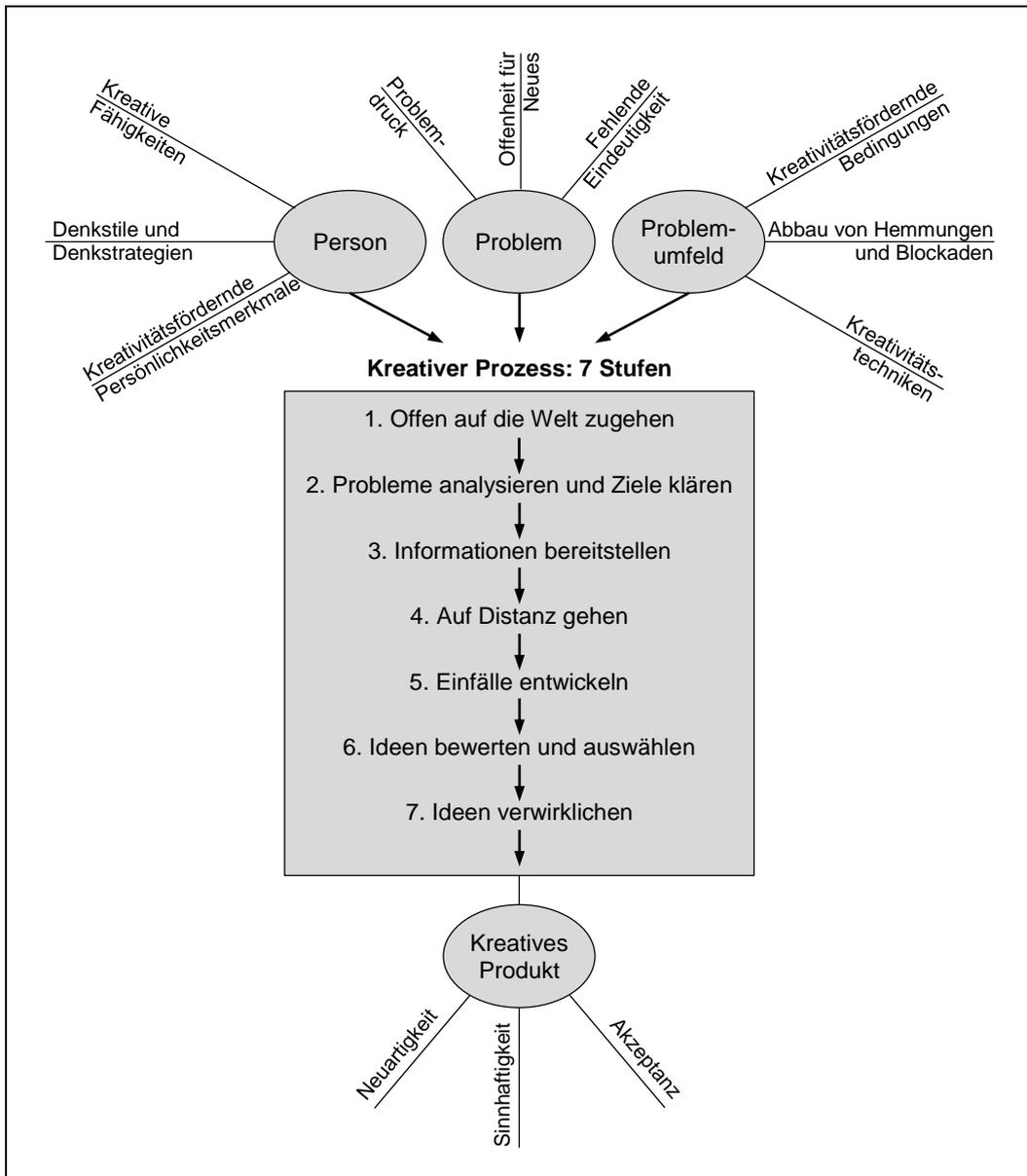


Abb. 9 Der kreative Prozess und seine Einflussfaktoren mod. nach (Preiser & Buchholz, 2004, S. 30).

In dem von Burow (2007) berichteten Modell (siehe Abb. 8) sowie im Grundmodell nach Preiser und Buchholz (2004) sind einige Gemeinsamkeiten zu erkennen. Beide Modelle zeigen die Existenz von fördernden und hemmenden Faktoren auf. Das Umfeld scheint in beiden Modellen einen vergleichsweise großen Einfluss zu nehmen. Im Detail unterschieden sich die Autoren jedoch. Preiser und Buchholz (2004) zeigen die Einflussfaktoren auf die fünf P auf, wohingegen Burow (2007) diese ungewiss lässt. In ihrem „Four C Model of Creativity“ (Kaufman & Beghetto, 2009, S. 1) beschreiben Kaufman und Beghetto (2009) die Unterschiede zwischen alltäglicher und besonderer bzw. bedeutender Kreativität. Die Autoren ergänzen mini-c und Pro-c zu den bereits bekannten little-c und Big-C Leveln.

2.2.2.2.2 *Kreativität, Kognition und das Gehirn*

Da jedes menschliche Verhalten eine kognitive Basis hat, muss auch kreatives Verhalten eine kognitive Basis haben (Runco, 2014). Kreativität ist eine exekutive Funktion (Delis et al., 2007), und grundlegende kognitive Prozesse (z. B. Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Gedächtnis) hängen demnach mit kreativem Problemlösen zusammen. Kognitive Prozesse, die alltäglich durchlaufen werden, sind auch während kreativer Denkvorgänge aktiv (Sawyer, 2012). Nach Runco (2014) existieren kognitive Prozesse, die von allen Menschen gleichermaßen genutzt werden (universals), und andere, individuelle Unterschiede der Kreativität. Es gibt kein Kreativitäts-Gen und keinen abgrenzbaren Bereich des Gehirns, in dem Kreativität verortet ist (Sawyer, 2012). Kreatives Denken findet somit in mehreren Gehirnbereichen statt. Die genauen Mechanismen und Feinheiten des kreativen Denkens sind jedoch bis heute nicht geklärt (Ma, 2009; Sawyer, 2012). Inhibition und Arbeitsgedächtnis sind beispielsweise am kreativen Prozess beteiligt (Dietrich, 2004; Vandervert, Schimpf & Liu, 2007). Scibinetti und Kolleginnen (2011) merken an, dass Inhibition die kognitive und motorische Kreativitätsleistung differenziert beeinflusst. Eine zentrale Fragestellung ist, in wie weit Kreativität eine allgemeine und übergreifende Fähigkeit oder fach- bzw. domänenspezifisch (d.h. beispielsweise bezüglich Musik, Sprache oder Sport) ist (siehe hierzu Abschnitt 2.2.4.3).

Kreativität kann nicht auf eine Hemisphäre oder sogar einen Bereich des Gehirns begrenzt werden (Runco, 2014). Vielmehr sind diverse Prozesse und Strukturen beteiligt. Obwohl der Präfrontale Kortex vor allem mit hochrangigen kognitiven Funktionen (z. B. Gedächtnis und Aufmerksamkeitssteuerung) in Verbindung gebracht wird (Vandervert et al., 2007), spielt er auch beim kreativen Denken eine Rolle (Runco, 2014). Vor allem bei visueller, verbaler und musikalischer Kreativität wird dieser Gehirnbereich aktiviert. Durch die gesamte Evolution hinweg zieht sich die starke Verbindung der beiden recht jungen Gehirnbereiche Kleinhirn und präfrontalen Kortex. Sie sind mit mehr Nervenbahnen verbunden, als es optische Nervenbahnen überhaupt gibt (circa 40 Millionen). Die Reifung von Neuronen im Kleinhirn und präfrontalen Kortex ist am kreativen Denken beteiligt (Delis et al., 2007; Diamond, 2000; Vandervert et al., 2007). Nach Vandervert et al. (2007) ist das Kleinhirn sowohl für motorische als auch kognitive Funktionen wichtig: Anpassungsfähigkeit und Effektivität von Gedanken und Bewegungen sollen im Kleinhirn geschehen. Dabei ist das Kleinhirn stets vom präfrontalen Kortex abhängig, spielt jedoch selber eine zentrale Rolle für Kreativität (Runco, 2014). Ito (1993) postuliert die Äquivalenz von Ideen und Bewegungen für das Kleinhirn.

2.2.2.2.3 *Kreativität und Domänen*

Die Debatte um den domänenübergreifenden oder -spezifischen Charakter von Kreativität dauert an und generiert verschiedene Theorien (Silvia, Kaufman & Pretz, 2009).

Es gibt einige Untersuchungen, die schlussfolgern, dass Kreativität – insbesondere divergentes Denken – domänenspezifisch ist (Kaufman & Baer, 2005; Sawyer, 2012). Allerdings wird Kreativität in diversen Untersuchungen als allgemeine Fähigkeit beschrieben (Chen, Himsel, Kasof, Greenberger & Smitrieva,

2006; Kaufman, Cole & Baer, 2009; Silvia et al., 2009). Eine domänenübergreifende kreative Fähigkeit bedeutet Übertragbarkeit von einer Domäne auf eine andere Domäne (z. B. vom Malen zum Schreiben). Memmert et al. (2010) merken an, dass es bislang unklar ist, ob „the cognitive flexibility characteristic of creativity“ (Memmert et al., 2010, S. 5) domänenübergreifend ist oder nicht. Plucker und Zabelina (2009) hingegen postulieren in ihrem Literaturüberblick (Review) den domänenübergreifenden Charakter des divergenten Denkens. Die Autoren weisen jedoch ebenfalls auf die wissenschaftlichen Nachweise zum domänenspezifischen Charakter der Kreativität hin. Kaufman und Baer (2004) konnten zeigen, dass die Kreativitätsleistung von gleichen Testpersonen in unterschiedlichen Domänen (z. B. mathematische Puzzle, Malen) nur gering korrelieren und somit von keiner übergreifenden Kreativität auszugehen ist.

Untersuchungen bezüglich der verschiedenen spezifischen Domänen ergeben wenig Einigkeit, und die Anzahl der spezifischen Domänen variiert je nach Forschergruppe. Körperliche Aktivität (z. B. Tanz) wird jedoch teilweise als eigenständige Domäne genannt. Nach Gardner (1993) ist "bodily-kinesthetic" eine von insgesamt acht Domänen der Kreativität.

In einer Meta-Analyse untersucht Ma (2009) den Einfluss von Variablen auf die kreative Person, den kreativen Prozess, das kreative Produkt und die kreative Umgebung. Insgesamt 2013 Effektstärken aus 111 Studien ergeben eine generelle Effektstärke von $ES=.69 \pm .63$. Verbale Kreativität ($ES=.79 \pm 1.11$) und Problemlösen ($ES=.86 \pm 1.29$) sind Kategorien der Kreativität, die sich besser beeinflussen lassen als andere. Akademischen Auszeichnungen und Leistung haben den größten Effekt auf das kreative Denken ($ES=1.39 \pm .18$). Das bedeutet, dass der Bildungsabschluss einen Einfluss auf die kreative Denkleistung hat.

Bislang konnte noch kein wissenschaftlicher Nachweis erbracht werden, ob Kreativität eine allgemein gültige Fähigkeit ist, oder ob sie disziplin-spezifisch und somit nicht generalisierbar ist (Plucker & Zabelina, 2009; Scibinetti et al., 2011). Nach Sawyer (2012) ist Kreativität beides: domänen-übergreifend (allgemeine Fähigkeit) und domänenspezifisch (Expertise). Plucker und Zabelina (2009) verweisen daher auf zwei Modelle zur Kreativität, die einen hybriden Standpunkt haben: Kreativität ist eine übergreifende und spezifische Fähigkeit (siehe Theorien und Modelle, S. 21 und Abb. 7).

2.2.2.2.4 *Kreativität und Intelligenz*

Bereits in den 1950er Jahren beschäftigte sich die Wissenschaft mit der Verknüpfung von Kreativität und Intelligenz (Runco, 2014). Beispielsweise zeigen Wallach und Kogan (1965) in einer Studie mit Kindern die Unabhängigkeit von Intelligenz (bzw. konvergentes Denken) und divergentem bzw. originellem Denken auf. Trotzdem merkt Runco (2014) an, dass Kreativität und Intelligenz nicht völlig getrennt zu betrachten sind: Ein minimales Level an Intelligenz ist notwendig, um kreatives Denken zu ermöglichen. Die "threshold theory" von Spearman (1927) unterstreicht die Wichtigkeit dieses Schwellenwerts des "g-factor". Demnach kann eine Person, deren Intelligenz unterhalb dieses Schwellenwerts liegt, nicht kreativ sein. Auch Nusbaum und Silvia (2011) können zeigen, dass Intelligenz und Kreativität mehr zusammen hängen, als bislang vermutet. Die Autoren schlussfolgern: "Taken together, the findings suggest that divergent thinking is more convergent than modern creativity theories presume" (Nusbaum & Silvia, 2011, S. 36).

2.2.2.2.5 *Kreativität und Problemlösen*

Nach Runco (2014) kann ein Problemlöse-Prozess stark vereinfacht werden: Es existiert stets ein Ziel und ein Hindernis. Um das Ziel zu erreichen, muss das Hindernis bewältigt werden. Probleme können somit "open-ended" sein und verlangen dann nach divergentem Denken, oder sie können "closed-ended" sein, wofür konvergentes Denken benötigt wird.

Auch Guilford (1965) kommt zu dem Schluss, dass jede Problemlösung kreatives Denken fordert, denn: Eine bislang unbekannte Fragestellung verlangt ein neuartiges Verhalten der Person, daher ist stets Kreativität verlangt.

2.2.2.2.6 *Kreativitätstraining*

Die Fähigkeit des kreativen Denkens lässt sich trainieren (Ma, 2006, 2009; Mansfield, Busse & Krepelka, 1978; Rose & Lin, 1984).

Aufgrund der komplexen Struktur von Kreativität bestehen viele Einflüsse und Möglichkeiten der Steigerung (Runco, 2014). Neben kognitiven Fähigkeiten (z. B. divergentes Denken), Stimmung und Motivation beeinflusst auch Veranlagung das kreative Denken. Eine positive Stimmung ist zwar eine gute Voraussetzung für kreatives Denken, jedoch ist dies nicht genug (Runco, 2014). Nach Preiser und Buchholz (2004) ereignet sich Kreativität ebenfalls „in einem komplexen Prozess, der Zeit für die Vorbereitung und Durchführung braucht“ (S. 17). Da unter anderem Persönlichkeitsmerkmale, kognitive Fähigkeiten, Lernklima, Arbeitstechniken und Denkstrategien dieses vielschichtige Konstrukt beeinflussen, existieren Möglichkeiten, diese Faktoren zu steigern (Preiser & Buchholz, 2004).

Kreativität kann durch Training verbessert werden (Birdi, 2005; Mansfield et al., 1978; Rose & Lin, 1984). Eine nachhaltige Steigerung der Kreativität ist dabei von der lang- oder kurzfristigen Effektivität der Trainingsmethoden unabhängig (Runco, 2014). Bei den Trainingsmethoden ist bezüglich ihrer Effektivität noch kein Ideal gefunden worden (McFadzean, 2000). Fachwissen, Arbeitsbedingung und Motivation sind für den Erfolg solcher Programme wichtig (Birdi, 2005).

Kreativitätstrainings können in drei Richtungen erfolgen (Schuler & Görlich, 2007): (1) Motivationssteigerung, (2) Verbesserung des Denkens und (3) Durchbrechen der täglichen Arbeitsroutine. Diese Trainings können zum einen Kreativitätstechniken schulen (z. B. Brainstorming, Checklisten) oder kreatives Denken als individuelle Fähigkeit verbessern (Clapham, 1997).

Die wohl bekanntesten Kreativitätstechniken sind Mindmapping und Brainstorming. Letzteres ist jedoch aufgrund auftretender Gruppeneffekte nicht so effektiv, wie im Allgemeinen vermutet (Schuler & Görlich, 2007; Schulz-Hardt, 2012). Die Angst, von den anderen Gruppenmitgliedern bewertet zu werden, hemmt oft die individuelle Kreativitätsleistung (Schuler & Görlich, 2007, S. 93). Auch Runco (2014) berichtet von der fehlenden Effektivität von Brainstorming.

Führungskräfte, die sich der Bedeutung von Kreativität bewusst sind, und förderliche Arbeitsbedingungen sind gute Möglichkeiten, die Kreativität zu verbessern (Redmond et al., 1993; Schuler & Görlich, 2007).

In ihrer frühen Meta-Analyse zur Effektivität von Kreativitätstrainings-Programmen schlussfolgern Rose und Lin (1984) einen relativ kleinen generellen Effekt von Trainingsprogrammen auf die Kreativitätsleistung (Effektstärke $ES=.468$). Verbale Kreativität ($ES=.596$; moderat) lässt sich dabei besser trainieren als figurale Kreativität ($ES=.372$; gering). Die Autoren begründen dieses Ergebnis mit der verbalen Ausrichtung der Trainingsprogramme.

Ma (2006) konnte in seiner Meta-Analyse einen größeren generellen Effekt von Trainingsprogrammen auf die Kreativitätsleistung ($ES=.77$) nachweisen als seine Kollegen 22 Jahre zuvor. Allerdings sind die Unterschiede bezüglich der Effektivität einzelner Trainingsprogramme groß: Purdue Creative Thinking Program ($ES=.48$), Osborn-Parnes Creative Problem Solving Program ($ES=.63$) und Covington's Productive Thinking Program ($ES=.12$) (Ma, 2006).

2.2.2.2.7 *Kreativität im Sport*

Körperliche Aktivität ist eine Domäne der Kreativität (Gardner, 1993).

Studien zeigen, dass die Entwicklung von motorischer Koordination und hochrangiger kognitiver Funktionen (siehe Exekutive Funktionen, S. 14) starke Gemeinsamkeiten aufweisen (Delis et al., 2007; Diamond, 2000; Vandervert et al., 2007). Zudem spielt Kreativität eine Schlüsselrolle in vielen Sportarten (Scibinetti et al., 2011, S. 262), scheint jedoch innerhalb der Domäne Sport stark aufgabenspezifisch zu sein. Scibinetti et al. (2011) merken an, dass große Unterschiede zwischen Improvisation im Tanz und taktischem Verhalten im Sportspiel bestehen. Die hohe Präsenz von Kreativität im Sport weckt besonderes Interesse, da Kreativität eine für Akademiker wichtige kognitive Fähigkeit darstellt (siehe Salvisberg, 2010; Sternberg & Lubart, 1999; bzw. Abschnitt 2.3.3, S. 46ff).

Tests zur Messung motorischer Kreativität (z. B. the divergent movement ability, DMA; Torrance Thinking Creatively in Action and Movement test, TCAM) korrelieren zwar in ihren Ergebnissen, stehen jedoch unter dem Verdacht, vor allem im Kindesalter, durch den Stand der motorischen Entwicklung beeinflussbar zu sein (Scibinetti et al., 2011, S. 263). Motorische und geistige kreative Prozesse weisen in den Dimensionen "fluency" (Pearson's $r=.451$, $p=.005$) und "flexibility" ($r=.489$, $p=.003$) signifikante Korrelationen auf (Scibinetti et al., 2011). Das lässt

auf gemeinsame (Teil-) Prozesse von motorischem und kognitivem kreativem Denken schließen. Die Frage der gegenseitigen Beeinflussbarkeit ist jedoch noch nicht abschließend geklärt. Im Forschungsstand der vorliegenden Arbeit (S.78ff) wird näher auf den Einfluss von körperlicher Aktivität bzw. Sport auf die Kreativität eingegangen.

Der Übertrag theoretischer Konzepte der Kreativität auf den Bereich des Sports geht auf Prof. Dr. Klaus Roth zurück (Memmert, 2011b, S. 373). Die Forschergruppe rund um Prof. Dr. Daniel Memmert sowie Prof. Dr. Klaus Roth und weitere (Memmert, 2011a, 2011b, 2012; Memmert et al., 2010; Memmert & Roth, 2007) befasst sich überwiegend mit dem spezifischen Zusammenhang von Kreativität und Sportspielen. Dabei stehen taktische Kreativität in Mannschafts- bzw. Ballsportarten, deren Beeinflussbarkeit und Entwicklung sowie Domänenabhängigkeit im Vordergrund der Forschung. Für ein erfolgreiches Sportspiel ist taktische Kreativität eine wichtige Komponente (Memmert & Roth, 2007). Memmert (2011b) setzt divergentes Denken und taktische Kreativität gleich und beschreibt diese als variables Verhalten eines Sportlers, auf unterschiedliche Situationen flexibel zu reagieren und somit unvorhersehbare Lösungen zu finden (z. B. einen überraschenden Pass zu spielen). Seltene und flexible Spielzüge in komplexen Spielsituationen sind somit die Folge von (taktischer) kreativer Denkleistung (Memmert & Roth, 2007). Lediglich in Angriffssituationen kann solch kreative Leistung erbracht werden, da ein Angreifer eigene Entscheidungen treffen kann und – im Gegensatz zum Abwehrspieler – nicht vom Verhalten des Gegners abhängig ist (Memmert et al., 2010). Aufmerksamkeit bzw. Wahrnehmung sind eng mit Kreativität verbunden. Bereits 2007 konnte Memmert (2007) zeigen, dass verbesserte Übersicht bzw. breite Aufmerksamkeitsleistung im Mannschaftssport die kreative Leistung signifikant steigert. Memmert sieht „a direct link between inattentional blindness, expertise and creativity“ (Memmert, 2011b, S. 376). Neben Expertise fördert auch vielfältige Erfahrungen die Entwicklung von Kreativität (Dietrich, 2004; Memmert et al., 2010).

Unter konvergentem Denken (oder taktischer Intelligenz) ist hingegen das Finden einer idealen Lösung auf eine spezifische Situation (z. B. passendes Abwehrverhalten beim Gegenangriff) zu verstehen (Memmert, 2011b).

Memmert und Roth (2007) betonen die Wichtigkeit von frühkindlichem Spiel und einem freien Zugang zu Ballsport für die Entwicklung von Kreativität im Sport. Vor allem divergentes Denken ist an kindlich freiem Spiel beteiligt (Sawyer, 2012) und kann dadurch verbessert werden.

Zusammengefasst zeigt sich, dass die Forschung um die Professoren Memmert und Roth von einem allgemeinen theoretischen Zugang von Kreativität ausgeht und einen Übertrag dieses Modells auf die ausgewählte Domäne Sport leistet (siehe Memmert, 2012). Neben Grundlagenforschung konnten dabei bereits mehrere Untersuchungen zu den Wirkungsmechanismen, Umwelteinflüssen durchgeführt sowie ein Theorie-Praxisbezug hergestellt werden (Memmert, 2012). Die vorliegende Forschungsarbeit befasst sich mit einem anderen Zugang zu „Kreativität und Sport“. Ausgangspunkt ist hier die (motorische und kognitive) spezifische kreative Leistung innerhalb der Domäne Sport und die anschließende Übertragbarkeit auf bzw. Beeinflussbarkeit der generellen Komponente kreativen Denkens. Grundlegend stellt sich diese Forschungsarbeit die Frage, ob generelle

(d.h. domänenübergreifende) kognitive Fähigkeiten durch Sport bzw. körperliche Aktivität beeinflusst werden können. Hierzu wurden beispielhaft zwei Interventionsstudien durchgeführt (siehe S 104ff).

2.2.2.2.8 *Diagnose von Kreativität*

Kreativität ist eine exekutive Funktion (Delis et al., 2007), die durch Kreativitätstest gemessen wird (Naglieri & Kaufman, 2001). Die quantitative Messung von Kreativität im Speziellen ist jedoch kontrovers diskutiert (Abraham et al., 2012; Sawyer, 2012; Steinberg et al., 1997). Eine Person ist kreativ, wenn sie ein kreatives Produkt erzeugt (Sawyer, 2012). Um Kreativität zu messen, führen Schuler und Görlich (2007) verschiedene Testverfahren an. Neben der Fähigkeit des divergenten Denkens können der Charakter und Bewertungen durch Führungskräfte unterschieden werden.

Divergentes Denken ist zwar ein wichtiger Teil von kreativem Denken, jedoch nicht dasselbe (Kim, 2006; Runco, 2014). Demnach sind für kreatives Denken Feingefühl für Probleme und die Fähigkeit zur Neubetrachtung von Problemstellungen vonnöten. Divergentes Denken lässt sich durch "fluency", "flexibility", "originality" und "elaboration" beschreiben und erfassen. "Fluency" und "flexibility" sind keine unabhängigen Dimensionen. Da diese stark korrelieren (Hébert, Cramond, Millar & Silvian, 2002, S. 15), werden sie in manchen Kreativitätstest nicht mehr gemeinsam erfasst. Torrance (1990) gibt für die bildhafte Version seines Torrance Test of Creative Thinking (TTCT) folgende fünf Messgrößen zur Erfassung der kreativen Denkleistung an (Kim, 2006):

- Fluency (Anzahl der passenden Ideen)
- Originality (Anzahl der statistisch seltenen Ideen)
- Elaboration (Anzahl der zusätzlichen Ideen)
- Abstractness of Titles
- Resistance to Premature Closure

Die verbale Form des Torrance Test of Creative Thinking (TTCT) erfasst folgende Messgrößen und ist für Personen im Alter von sechs Jahren bis zum Erwachsenenalter gedacht:

- Fluency (Anzahl der passenden Ideen)
- Flexibility (Vielfalt der passenden Ideen)
- Originality (Anzahl der statistisch seltenen Ideen)

Obwohl divergentes Denken und kreatives Denken nicht synonym zu verwenden sind, ist das Erfassen des divergenten Denkens durch Tests ein übliches und gutes Mittel, um das kreative Potenzial zu bestimmen (Runco, 2014).

Ein Messverfahren zur Erfassen der verbalen Kreativität in deutscher Sprache ist die Analyse des Schlussfolgernden und Kreativen Denkens (ASK) von Schuler und Hell (2005). Dieses Messverfahren wird nachfolgend (siehe hierzu Abschnitt 2.2.5.2, S. 32) genauer beschrieben und im empirischen Teil dieser Arbeit angewandt (Studie Kreativitätssteigerung durch le Parkour!, S. 124ff).

2.2.3 Diagnostik kognitiver Funktionen

Da sich verschiedene Fachbereiche (wie beispielsweise Medizin, Psychologie und Sportwissenschaft) mit Fragestellungen rund um das Gehirn, Kognition und der Leistungsfähigkeit einzelner kognitiver Funktionen befassen, existieren diverse Methoden zur Datenerhebung.

In der Neurowissenschaft werden Parameter, die das Gehirn betreffen (Unterschiede elektrischer Impulse, zerebraler Blutfluss, Nutzbarkeit von Glukose und Sauerstoff), gemessen und analysiert (Gazzaniga et al., 2014). Neben Untersuchungen an Menschen stehen auch Tierversuche im Fokus der Neurowissenschaftlerinnen und -wissenschaftler. Der technische Fortschritt hilft bei der Entwicklung neuer Methoden und Techniken (siehe beispielsweise funktionelle Magnetresonanztomographie und Positronenemissionstomografie, S. 36).

Die Neuropsychologie befasst sich mit Gehirn und Verhalten von Menschen und Tieren (Gazzaniga et al., 2014). Dafür sind zusätzliche Messmethoden notwendig, die beispielweise das Verhalten von Probanden auf eine spezifische Testaufgabe messen. Nachfolgend werden einige ausgewählte Messverfahren beispielhaft dargestellt, wobei d2-R und ASK im empirischen Teil dieser Arbeit praktisch eingesetzt wurden.

Die Auswirkungen körperlicher (In-) Aktivität auf das Gehirn und dessen Leistungsfähigkeit steht im Mittelpunkt des sportwissenschaftlichen Interesses. Messverfahren unter anderem aus Neurowissenschaft und Neuropsychologie werden in empirischen Untersuchungen eingesetzt, um die durch körperliche Aktivität bzw. Fitness hervorgerufenen kognitiven Veränderungen sichtbar zu machen.

2.2.3.1 d2-R

Der d2-R von Brickenkamp et al. (2010) ist ein Papier-und-Bleistift-Test zur Messung der Aufmerksamkeit und Konzentration und stellt die weiterentwickelte Version des d2-Konzentrationstests von Brickenkamp aus dem Jahr 1962 dar. Bei der Revision des d2 wurde die Testaufgabe an sich nicht verändert. Ausführlichere Instruktionen, leicht veränderte Kennwerte und eine neue Normierung sind die größten Änderungen von d2 zum d2-R.

Der d2-R besteht aus insgesamt 798 Zeichen. Diese setzen sich jeweils aus einem Buchstaben (d oder p) und Strichen (ein bis vier Striche) oberhalb und/oder unterhalb des Buchstabens zusammen (siehe Abb. 10). Es werden 13 der möglichen Kombinationen aus Buchstabe und Strich(en) dargestellt. Drei davon sind Zielobjekte (d mit genau zwei Strichen, wobei der Anordnung der Striche keine Bedeutung zufällt), die der Proband markieren (durchstreichen) soll. Der gesamte Test enthält 359 anzustreichende Zielobjekte und 439 Distraktoren. Insgesamt gibt es 14 Zeilen mit jeweils 57 Zeichen. Pro Zeile steht eine Bearbeitungszeit von genau 20 Sekunden zur Verfügung, wobei Pausen nicht vorgesehen sind. Die gesamte Bearbeitungszeit beträgt somit 280 Sekunden. Es steht lediglich eine Version des Testbogens zur Verfügung. Der Test ist explizit für Studierende geeignet (vgl. Brickenkamp et al., 2010). Durch die Anweisung, den Test schnell und genau zu absolvieren, wird beim Probanden ein sogenannter speed-accuracy-

tradeoff-Konflikt ausgelöst: „Eine Maximierung der Schnelligkeit wird in der Regel mit mehr Fehlern bezahlt und wer so fehlerfrei wie irgend möglich arbeiten will, wird dazu langsamer arbeiten“ (Brickenkamp et al., 2010, S. 19). In Anlehnung an Budde, Voelcker-Rehage, Pietrażyk-Kendziorra, Ribeiro und Tidow (2008) korreliert der Test nicht mit dem Intelligenzquotienten der Probanden, gibt jedoch die „visuelle Wahrnehmungsgeschwindigkeit und Konzentrationskapazität“ (Budde et al., 2008, S. 220) wieder. Mehrere Interventionsstudien und Meta-Analysen zeigen den Einsatz des d2 zur Erfassung von Aufmerksamkeitsleistung oder Inhibition (Budde et al., 2012; Budde et al., 2008; Hötting & Röder, 2013; Smith et al., 2010; Stroth et al., 2009; Verburch et al., 2014; Wamser & Leyk, 2003). Der d2-R wurde daher in der Studie „Konzentrationssteigerung durch Sportfechten?“ (S. 107ff) zur Erfassung der Konzentrationsleistung eingesetzt.

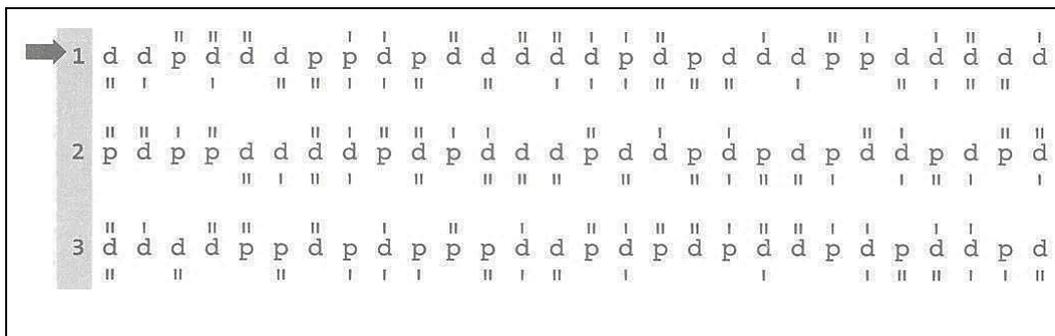


Abb. 10 Ausschnitt des Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest d2-R von Brickenkamp et al. (2010). Zu sehen sind die ersten 28 Zeichen der Zeilen 1, 2 und 3 des Testbogens. Der Pfeil markiert den Start.

2.2.3.2 ASK

Die Analyse des Schlussfolgernden und Kreativen Denken (ASK) wurde 2005 von Heinz Schuler und Benedikt Hell entwickelt. Dieser Papier-und-Bleistifttest ist sowohl in diagnostische Fragestellungen als auch in der Forschung einsetzbar. Der ASK wurde speziell für Erwachsene mit Abitur entwickelt und als Gruppentest konzipiert (Schuler & Hell, 2005). Der Test besteht aus zwei Modulen (Schlussfolgerndes Denken und Kreatives Denken), die gemeinsam oder getrennt voneinander eingesetzt werden können. Das Modul Schlussfolgerndes Denken besteht aus drei Aufgabengruppen: (1) Informationen interpretieren, (2) Schlussfolgerungen ziehen und (3) Tatsache/Meinung. Jede Aufgabengruppe umfasst wiederum zwei bis sechs Aufgaben. Die Bearbeitungszeit beträgt 30:50 Minuten. Schlussfolgerndes Denken ist nach Schuler und Hell (2005) eine „zentrale Intelligenzfacette“ (S. 10f) und für viele Berufe gut generalisierbar (Schmidt & Hunter, 1998).

Da für die vorliegende Untersuchung lediglich das kreative, nicht aber das schlussfolgernde Denken von Interesse ist, wurde in der Studie „Kreativitätssteigerung durch le Parkour!“ (S. 124) ausschließlich das zweite Testmodul des ASK angewandt. Dieses Modul wird daher im Folgenden detailliert beschrieben.

Das Modul Kreatives Denken besteht aus vier Aufgabengruppen, die wiederum zwei bis vier Aufgaben beinhalten: (1) Sätze bilden, (2) Hypothesen generieren,

(3) Bedingungsgefüge definieren und (4) Kategorien bilden. Die Aufgabe der Probanden besteht stets darin, in einer vorgegebenen Zeit so viele korrekte Antworten (Sätze, Hypothesen, Einflussfaktoren oder Kategorien) zu finden wie möglich. Bei der Aufgabengruppe „Sätze kombinieren“ sind vier Buchstaben gegeben, aus denen die Probanden sinnvolle Vierwortsätze bilden sollen, wobei einer der vier vorgegebenen Buchstaben stets Anfangsbuchstabe eines Wortes sein muss (siehe Abb. 11a). Für die beiden Aufgaben dieser Aufgabengruppe haben die Probanden jeweils genau drei Minuten Zeit. Die zweite Aufgabengruppe (Hypothesen generieren) gibt pro Aufgabe einen Sachverhalt vor (siehe Abb. 11b). Aufgabe der Probanden ist das Aufstellen so vieler Hypothesen über die Ursachen für diesen Sachverhalt, wie möglich. Die Bearbeitungszeit für die vier Aufgaben dieser Aufgabengruppe beträgt jeweils drei Minuten. Bei der Aufgabengruppe „Bedingungsgefüge definieren“ müssen die Probanden so viele Einflussfaktoren für einen dargebotenen Sachverhalt finden wie möglich (siehe Abb. 11c). Zusätzlich müssen die Verbindungen mit Pfeilen markiert werden. Die letzte Aufgabengruppe „Kategorien bilden“ gibt 25 bzw. 30 Begriffe vor, die von den Probanden in inhaltliche Kategorien zusammengefasst werden müssen. Dabei bilden mindestens zwei Begriffe eine Kategorie, die mit einem sinnvollen Namen umschrieben werden muss (siehe Abb. 11d). Die letzten beiden Aufgabengruppen beinhalten jeweils zwei Aufgaben mit einer Bearbeitungszeit von je vier Minuten. Die gesamte Testdurchführung des Moduls „Kreatives Denken“ des ASK dauert inklusive Instruktionen 38:40 Minuten (Schuler & Hell, 2005). Die Probanden erhalten nach Beendigung der Testdurchführung keine Rückmeldung bzw. Lösung der Aufgaben.

2.2.3.3 Wiener Testsystem

Das Wiener Testsystem bietet mit circa 120 Einzeltests ein umfassendes Sortiment für diverse Fachbereiche an.

Beispielsweise steht zur Erfassung der sprachgebundenen Lernfähigkeit der Verbale Lerntest (VLT) zur Verfügung (Sturm & Willmes, 2007). Auf einem Computerbildschirm werden den Probanden verschiedene Neologismen für jeweils zwei bis drei Sekunden präsentiert. Acht der gezeigten Neologismen wiederholen sich während der Testdurchführung insgesamt sieben Mal (Langform). Die Aufgabe der Probanden ist, bei jedem der insgesamt 160 dargebotenen Neologismen zu entscheiden, ob es zum ersten Mal auftaucht oder bereits schon einmal vorher gezeigt wurde. Der Test misst somit die „Lernfähigkeit für verbales Gedächtnismaterial mit Abspeicherung in einem materialspezifischen Langzeitgedächtnisspeicher“ (Sturm & Willmes, 2007, S. 4).

Der Interferenztest nach Stroop ist ein computerbasiertes Messverfahren zur „Erfassung der Farb-Wort-Interferenzneigung, d.h. Störung der Lesegeschwindigkeit oder der Farberkennung durch interferierende Informationen; einsetzbar bei Erwachsenen“ (Pühr & Wagner, 2003, S. 3). Hierfür wird zunächst die Lesegeschwindigkeit bzw. Geschwindigkeit der Farberkennung der Probanden ohne Störreiz gemessen (Baseline). Farbe und Wort stimmen dabei noch überein. Beispielsweise wird das Wort „Rot“ in Rot geschrieben. Die Probanden haben die Aufgabe, das Wort zu lesen bzw. später die Farbe zu benennen. Hierfür tippen sie die entsprechende Farbe auf dem Bildschirm mithilfe eines Lichtgriffels an. Anschließend wird die Testbedingung geändert. Nun stimmen Farbe und Bedeutung des dargebotenen Wortes nicht mehr überein (inkongruente Items). Die Probanden sollen nur weiterhin die Bedeutung des Wortes lesen – ohne sich von der unpassenden Farbe ablenken zu lassen. Beispielsweise wird nun das Wort „Rot“ in gelben Lettern dargestellt. Neben den mittleren Reaktionszeiten ist die Anzahl der falschen Reaktionen entscheidend.

2.2.3.4 Elektroenzephalogramm (EEG)

Ein Elektroenzephalogramm (EEG) ist eine Aufzeichnung von elektrischen Potentialschwankungen, die von zwischen den auf der Kopfhaut platzierten Elektroden gemessenen werden (Birbaumer & Schmidt, 2010a). Studien mit EEG-Messungen ermöglichen neuartige Einblicke in die menschliche Kognition (Davis & Lambourne, 2009, S. 264). Da sich die elektrischen Potentiale, die von nebeneinander liegenden Neuronen erzeugt werden, aufsummieren, sind diese groß genug, um sie nicht-invasiv zu messen (Gazzaniga et al., 2014, S. 98).

2.2.3.5 Ereigniskorrelierte Potenziale

Ereigniskorrelierte Potenziale (EKP; engl. event-related potential bzw. ERP) sind durchschnittliche Wellen, die bei der EEG-Messung, in Abhängigkeit eines spezifischeren Stimulus (beispielsweise eines Sinnesreizes), erfasst werden (Gazzaniga et al., 2014, S. 100). Diese neuroelektrischen Messungen lassen Rückschlüsse auf zugrunde liegende Wirkungsmechanismen zu (Hillman, Pontifex & Themanson, 2009, S. 164). Aufmerksamkeitszuwendung verändert die ereigniskorrelierten Potenziale im kortikalen, jedoch nicht im subkortikalen Bereich

(Birbaumer & Schmidt, 2010b). Die Potenziale können exogen, durch verbindliche Reaktionen, ausgelöst werden oder höherwertige endogene Prozesse, die oft willentlich ablaufen, widerspiegeln (Hugdahl, 1995). Die Wellenmaxima werden entsprechend ihres Vorzeichens mit P für positiv bzw. N für negativ und der Zeit, die seit dem Stimulus vergangen ist, benannt (Gazzaniga et al., 2014, S. 100; Hillman et al., 2009, S. 164). Beispielsweise ist N100 das lokale Minimum der Welle 100ms nach dem Stimulus.

Bis zu 100ms nach einer Reizdarbietung finden ausschließlich sensorische Prozesse statt. N100 und P100 werden nach Gazzaniga et al. (2014, S. 100) bereits mit selektiver Aufmerksamkeit in Verbindung gebracht. Hillman et al. (2009, S. 164) heben die Wichtigkeit des P3-Signals (oftmals auch P300 genannt) eines solchen EKP hervor. Veränderungen der Frequenz und Amplitude der EKPs lassen Aussagen bezüglich veränderter kognitiver Prozesse zu (Hillman et al., 2009). Neuroelektrische Messungen werden immer häufiger verwendet, um den Einfluss von körperlicher Aktivität auf das Verhalten zu untersuchen. Nach Polich und Kok (1995) verweist das P300-Signal auf die willentliche Zuweisung von Aufmerksamkeits-Ressourcen.

2.2.3.6 *Magnetresonanztomographie (MRT)*

Magnetresonanztomographie (MRT) oder Kernspintomographie genannt, ist ein Verfahren, um hochauflösende Bilder von Gewebe zu machen (Gazzaniga et al., 2014, S. 92). Radiowellen durchdringen das Gewebe (z. B. das Gehirn), das einem starken Magnetfeld ausgesetzt ist und versetzen die Protonen der Kohlenstoffatome in Schwingung. Durch die Verteilung der Protonen im menschlichen Körper kann der Magnetresonanztomograph ein dreidimensionales Bild des Gewebes erstellen. Unter anderem können die grauen und weiße Materie des Gehirns deutlich dargestellt werden (Gazzaniga et al., 2014, S. 93). Im Gegensatz zum EEG kann das gesamte Gehirn, nicht nur die Hirnrinde, sichtbar gemacht werden (Birbaumer & Schmidt, 2010a).

2.2.3.7 *Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) und Positronenemissionstomografie (PET)*

Die Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) kann, ebenso wie die Positronenemissionstomografie (PET), Stoffwechselfvorgänge im Gehirn und somit auch deren Veränderung durch körperliche Aktivität sichtbar machen (Voelcker-Rehage, Tittlbach, Jasper & Regelin, 2013). Dem zugrunde liegt das Prinzip, dass der Blutfluss in aktiven Bereichen des Gehirns ansteigt (Gazzaniga et al., 2014, S. 107). Da eine Signalverzögerung von 2-6 sec besteht, ist die zeitliche Auflösung des fMRT deutlich schlechter als die des EEG (Birbaumer & Schmidt, 2010a).

Exekutive Funktionen, in der vorliegenden Arbeit beispielhaft an Konzentration und Kreativität näher beleuchtet, sind hochrangige kognitive Kontrollfunktionen. Die Gedächtnis- und Informationsverarbeitungsprozesse werden im Verlauf der Lebensspanne mit unterschiedlicher Intensität durchgeführt. Insbesondere das junge Erwachsenenalter erscheint hier eine virulente Phase zu sein. Sowohl in Schule und Studium als auch im Beruf ist die Fähigkeit des kreativen Denkens essenziell. Wenn auch bislang keine Einigkeit bezüglich der Modelle und Mechanismen der Kreativität besteht, so hat das divergente Denken eine zentrale Bedeutung. Inhibition und Arbeitsgedächtnis sind unter anderem am kreativen Denken beteiligt, welches vor allem im Kleinhirn, aber auch im präfrontalen Kortex stattfindet. Körperliche Aktivität und Kreativität scheinen eng verbunden zu sein und können sich gegenseitig beeinflussen.

Exkurs: Das Gehirn

Allgemein

Rückenmark und Gehirn bilden das zentrale Nervensystem des Menschen (Kullmann & Seidel, 2005, S. 13). Neuronen, die Impulse leiten, um Informationen zu transportieren, und Glial Zellen sind die beiden Zelltypen, aus denen das Nervensystem des menschlichen Gehirns besteht (Gazzaniga et al., 2014; Lezak et al., 2004). Je nach Funktion variieren Neuronen in Größe und Form. Die Ausschüttung von Wachstumsfaktoren und die Versorgung mit Nährstoffen scheinen Teile der bislang nicht genauer bekannten Funktion der Glial Zellen zu sein. Voelcker-Rehage und Kolleginnen (2013, S. 19) gehen von über 100 Milliarden Nervenzellen im menschlichen Gehirn aus. Levitan und Kaczmarek (2002) beschreiben den dreiteiligen Aufbau der circa 10^{12} Neuronen (siehe Strange, 1992) bestehend aus einem Zellkörper und den Verbindungen zwischen den Zellen. Es existieren pro Neuron mehrere verzweigte Dendriten, die Signale zum Neuronen-Zellkern führen, und ein Axon, welches den spezifischen elektrischen Impuls von der Nervenzelle wegführt (Gazzaniga et al., 2014, S. 25f). Die Großhirnrinde erscheint als graue Schicht über dem weißlichen Inneren des Gehirns (Gazzaniga et al., 2014, S. 39f). Die graue Materie besteht aus Zellkernen der Neuronen. Die weiße Materie besteht aus Axonen und Glial Zellen.

Die Stellen, an denen sich zwei Neuronen nahe kommen, werden Synapsen genannt. Shepherd und Koch (1998) nehmen an, dass im menschlichen Gehirn circa 60 Billionen (60×10^{12}) solcher Verbindungen existieren. Da die Nervenzellen sich an den Synapsen nicht berühren, werden passende Neurotransmitter als chemische Wirkstoffe von den Nervenzellen abgesondert, um den Informationsfluss auch ohne elektrischen Impuls fortsetzen zu können (Gazzaniga et al., 2014; Lezak et al., 2004).

Das Gehirn gilt nach Kubesch (2014a) als „anpassungsfähigste Organ des menschlichen Körpers überhaupt“ (S. 139). Lebenslang können neue Verbindungen und Strukturen entstehen (Voelcker-Rehage et al., 2013). Vor allem im Hippocampus findet Neurogenese – auch bei Erwachsenen – statt (Gazzaniga et al., 2014, S. 65). Die Neubildung von Zellen in diesem Bereich ist vor allem für Lernen und Gedächtnis wichtig. Je mehr Neuronen zur Verfügung stehen (Plastizität), desto besser ist es für das Lernen (Gazzaniga et al., 2014, S. 369). In Tierversuchen konnte nachgewiesen werden, dass die Anzahl neuer Neuronen positiv mit Lernen und angereicherter bzw. interessanter Umwelt (neuen Sozialkontakten oder physischer Umwelt) korreliert (Gazzaniga et al., 2014, S. 65). Mit der Größe des Gehirns steigt dessen Flexibilität (Miller & Cohen, 2001, S. 167) und somit die individuelle Leistungsfähigkeit.

Auch wenn sich das Gehirnvolumen von der Geburt bis zum ausgewachsenen Menschen fast vervierfacht, bleibt die Anzahl der Neuronen nahezu gleich. Nach Gazzaniga et al. (2014, S. 67) werden lediglich mehr Synapsen gebildet (Synaptogenese) und die Verästelungen der Dendriten nehmen zu. Mit fortgeschrittenem Alter beginnt der Abbau der kognitiven Leistungsfähigkeit. Ein Grund dafür ist die Abnahme des Gehirnvolumens. Hierbei nimmt jedoch die

Anzahl der Neuronen im Gehirn von Senioren nur gering ab (Voelcker-Rehage et al., 2013, S. 21). Die Anzahl der Synapsen verringert sich hingegen zunehmend. Vor allem Hippocampus (Lernen) und Arbeitsgedächtnis (kurzzeitiges Erinnern) sind vom altersbedingten Abbau betroffen.

Bereiche

Ein grundlegendes Prinzip der Neurowissenschaft ist die "functional specialization" (Serrien, Ivry & Swinnen, 2006, S. 160), welches besagt, dass in räumlich abgrenzbaren Bereiche spezifische Berechnungen erfolgen. Beispielsweise „sind im somatosensorischen Kortex jedem Körperteil entsprechende Projektionsfelder zugeordnet (somatotopische Gliederung)“ (Silbernagl & Despopoulos, 2012, S. 340). Mit Hilfe von bildgebenden Messverfahren (siehe Funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) und Positronenemissionstomografie (PET), S. 36) können einzelnen Bereichen des Gehirns spezifische Funktionen zugewiesen werden.

Das menschliche Gehirn lässt sich nach Lezak et al. (2004) entlang des Hirnstamms in drei anatomische Hauptbereiche unterteilen: Das (1) Rautenhirn beinhaltet unter anderem das Kleinhirn im hinteren Teil des Gehirns. Im (2) Mittelhirn liegen der motorische und sensorische Bereich, sowie die Gehirnbereiche für Sehen, Hören und Reflexe. Das (3) Vorderhirn lässt sich wiederum in zwei große Bereiche unterteilen. Thalamus und Hypothalamus sind zwei wichtige Strukturen im (3.1) Zwischenhirn. Der größte Teil des Vorderhirns heißt (3.2) Großhirn und beinhaltet die am weitesten entwickelten Gehirnstrukturen. Das Gehirn ist im Laufe der Evolution von innen nach außen gewachsen (Lezak et al., 2004). Demnach liegen die Bereiche, die für einfachere Aufgaben zuständig sind, im Zentrum des Gehirns. Nachfolgend werden Bereiche des Gehirns vorgestellt, die an motorischen Vorgängen beteiligt sind.

Kleinhirn

Das Kleinhirn oder Cerebellum (engl. cerebellum) ist der zweitgrößte Teil des menschlichen Gehirns und liegt im hinteren Teil. Hier sitzen die meisten Neuronen des Gehirns (Gazzaniga et al., 2014, S. 44). Es besitzt so viele Neuronen wie alle übrigen Hirnteile zusammen (Silbernagl & Despopoulos, 2012).

Das Kleinhirn ist eng mit anderen Gehirnarealen – u.a. dem motorischen Kortex – verbunden (Bellebaum & Daum, 2007; Leiner, Leiner & Dow, 1993). Basalganglien und Kleinhirn bilden zusammen mit Thalamus und Kortex einen „wichtigen Funktionskreis“ (Lehmann-Horn, 2010, S. 148), der für die Körpermotorik essenziell ist.

Das Kleinhirn ist an einem breiten Spektrum kognitiver Aufgaben beteiligt (Stoodley & Schmahmann, 2009, S. 489). Ito (1993) spricht vom Kleinhirn als "multipurpose learning machine" (S. 449). Es ist das „wichtigste Steuerzentrum der Motorik“ (Silbernagl & Despopoulos, 2012, S. 344), und seine Beteiligung an der Planung, Durchführung und Kontrolle von Bewegungen ist seit längerem bekannt (Allen, Buxton, Wong & Courchesne, 1997; Bellebaum & Daum, 2007; Dietrich,

2006; Illert & Kutzt-Buschbeck, 2006; Lehmann-Horn, 2010; Leiner et al., 1993, 1994; Stoodley & Schmahmann, 2009). Nach Silbernagl und Despopoulos (2012) sorgt „das Kleinhirn für die motorische Anpassung an neue Bewegungsabläufe (motorisches Lernen)“ (S. 344).

Zusätzlich spielt das Kleinhirn aufgrund der zahlreichen Verbindungen zu anderen Hirnarealen für eine Reihe nichtmotorischer Funktionen eine zentrale Rolle (Diamond, 2000; E et al., 2014; Hallett & Grafman, 1997; Silbernagl & Despopoulos, 2012). Die Beteiligung des Kleinhirns an diversen mentalen Funktionen (Leiner et al., 1993) und hochrangiger Kognition (E et al., 2014; Stoodley & Schmahmann, 2009) wurde bereits nachgewiesen. Hierzu gehören unter anderem verbale Flüssigkeit, Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis, Planung, Sprache, Lernen, Kreativität und emotionale Regulation (Akshoomoff, Courchesne & Townsend, 1997; Delis et al., 2007; Gazzaniga et al., 2014; Middleton & Strick, 2000; Silbernagl & Despopoulos, 2012). Viele kognitive Aufgaben, die Teile des präfrontalen Kortex beanspruchen, werden ebenfalls im Kleinhirn bearbeitet (Diamond, 2000). Nach Stoodley und Schmahmann (2009, S. 496-498) sind Teile des Kleinhirns unter anderem an exekutiven Funktionen, verbalem Arbeitsgedächtnis und Motorik beteiligt. Das Kleinhirn vergrößert die Prozessgeschwindigkeit durch seine Beteiligung an Lernprozessen und führt somit zu schnelleren Reaktionen in motorischen und kognitiven Domänen (Leiner et al., 1994). Wörter können dadurch beispielsweise schneller gefunden werden (Leiner et al., 1994). Zusammengefasst ist das Kleinhirn ein Hauptrechen-System, das an vielen neuronalen Netzwerken und somit auch kognitiven Prozessen beteiligt ist (Akshoomoff et al., 1997).

In ihrer Meta-Analyse über 54 bildgebenden Studien mit gesunden Erwachsenen stellen Stoodley und Schmahmann (2009) die zentrale Rolle des Kleinhirns für kognitive Prozesse aus verschiedenen Domänen wie beispielsweise Motorik, Sprache, exekutive Funktionen und Arbeitsgedächtnis, heraus. Die Autoren schlussfolgern eine Zweiteilung des Kleinhirns in einen vorderen sensorischen und hinteren kognitiv-emotionalen Teilbereich. Sprache, räumliche Prozesse und Arbeitsgedächtnis sind überwiegend in gemeinsamen Bereichen verortet (Läppchen VI, Crus I und Crus II) (Stoodley & Schmahmann, 2009). Die exekutiven Funktionen treten verteilt im Kleinhirn auf (Läppchen VI, Crus I und VIIB).

E und Kollegen (2014) untersuchen in ihrer Meta-Analyse zur Beteiligung des Kleinhirns an höherer Kognition insgesamt 88 Studien, in denen bildgebende Messverfahren (PET und fMRI) eingesetzt wurden. Demnach besteht, neben der zentralen Rolle des Kleinhirns bei der motorischen Kontrolle, seit einiger Zeit ein gesteigertes Interesse daran, wie das Kleinhirn an höheren kognitiven Funktionen beteiligt ist. Die Autoren schlussfolgern, dass das Kleinhirn eine "time-keeping role" (E et al., 2014, S. 606) besitzt und stellen fest, dass weitere Forschung nötig ist, um den generellen Einsatz des Kleinhirns in höherrangigen kognitiven Vorgängen nachzuweisen. Der Einfluss des Kleinhirns auf die Zeitplanung kognitiver Prozesse scheint essenziell für das Gelingen dieser Funktionen.

Timmann et al. (2010) konnten in einem Literatur-Review ebenfalls die Beteiligung des Kleinhirns an assoziativen Lernvorgängen in den motorischen, emotionalen

und kognitiven Domänen nachweisen. Die Autoren sehen die Fähigkeit, Vorhersagen über das Zusammenspiel von sensorischen Reizen in diesen Domänen zu treffen, als Hauptaufgabe des Kleinhirns.

Das Kleinhirn ist an der Zuweisung von Aufmerksamkeit beteiligt (Allen et al., 1997). Vor allem räumlich-zeitliche Aufmerksamkeitsleistungen stehen im Vordergrund. Nach der CCAS-Theorie (cerebellar cognitive affective syndrome) ist das Kleinhirn "a mediator of functions" (E et al., 2014, S. 594). Ein weiteres Modell zur Erklärung der Einbindung des Kleinhirns in kognitive Denkvorgänge ist das "error-driven model" (E et al., 2014, S. 594), wonach das Kleinhirn ein aufgabenübergreifender Regulator für kognitive Prozesse ist. Das Kleinhirn gehört nach Ito (1997) zu einem Netzwerk, das an anpassungsfähigem Lernen, welches wiederum auf motorische Lernmodelle zurückgeht, beteiligt ist.

Die hier berichtete Literatur zeigt die vielseitige Einbindung des Kleinhirns in motorische, emotionale und kognitive Prozesse und betont somit die Wichtigkeit dieses Gehirnareals für diverse Funktionen und Abläufe im Gehirn.

Zerebraler Kortex

Die Rinde der zerebralen Hemisphäre ist "the most highly organized correlation center of the brain" (Lezak et al., 2004, S. 52). Gazzaniga et al. (2014) nennen den zerebralen Kortex sogar "the crowning glory of the cerebrum" (S. 49). Die spezielle Struktur des zerebralen Kortex aus sulci (Spalten) und gyri (Scheitel) bewirkt, dass die ausgebreitete Fläche von 2200 bis 2400 cm² auf engem Raum zusammen passt (Gazzaniga et al., 2014, S. 49). Die Falten verringern ebenfalls die Abstände zwischen den Neuronen. Der zerebrale Kortex weist die höchste Dichte an Nervenzellen des gesamten Gehirns auf und erscheint gräulich (Gazzaniga et al., 2014, S. 50). Neben der Planung und Durchführung von Bewegungen (motorischer Kortex) kommen alle eintreffenden Sinnesreize, wie beispielsweise Sehen oder Fühlen, an Nervenzellen des sensorischen Kortexes an. Auch komplexe Verhaltensweisen sind an diesen circa drei Millimeter dicken Bereich des Gehirns geknüpft. Neben dem primären motorischen und sensorischen Bereich sind frontaler und präfrontaler Kortex Teile der Großhirnrinde. Die Organisation und Planung des Verhaltens sowie kreatives Denken finden im präfrontalen Kortex statt (Birbaumer & Schmidt, 2006a; Runco, 2014), dem Zentrum der exekutiven Funktionen (Gazzaniga et al., 2014, S. 54).

Hippocampus

Der Hippocampus ist im Frontallappen gelegen und erstreckt sich fast über dessen gesamte Länge. Er ist das Zentrum des menschlichen Gedächtnissystems (Lezak et al., 2004), da er stark an der Konsolidierung neuer Informationen (Übertrag neuer Informationen in das Langzeitgedächtnis) – und somit am Lernen – beteiligt ist (Gazzaniga et al., 2014; Voelcker-Rehage et al., 2013). Die Informationen können episodische Erinnerungen, Faktenwissen oder räumliche Orientierung sein (Voelcker-Rehage et al., 2013, S. 26). Der Hippocampus fügt diesen neuen Informationen wichtige Angaben wie beispielweise Emotionen und

Zusammenhänge hinzu und beeinflusst somit den Ort der Abspeicherung im Neokortex (Lezak et al., 2004). McMorris (2009) beschreibt den Hippocampus als "key area for consolidation of memory" (S.61).

Je größer der Hippocampus ist, desto besser funktioniert das räumliche Gedächtnis (Erickson et al., 2009). Im Alter schrumpft der Hippocampus, was nach Erickson und Kollegen (2011) zu einer Beeinträchtigung des Gedächtnisses und einem Anstieg des Demenzrisikos führt.

Funktion

Das Gehirn ist ständig aktiv (Voelcker-Rehage et al., 2013). Durch jede Bewegung und jeden Sinneseindruck werden Neuronen im Gehirn aktiviert und Synapsen ausgebildet oder verstärkt.

Durch seinen komplexen Aufbau ist das Nervensystem an der Wahrnehmung, Verarbeitung, Einspeicherung und Übermittlung von Informationen beteiligt und macht somit Handeln möglich (Lezak et al., 2004, S. 40). Die Anzahl der Neuronen und deren Verbindungen sind somit wichtig für die Leistungsfähigkeit des Gehirns (Voelcker-Rehage et al., 2013). Eriksson et al. (1998) stellen fest, dass Neuronen, nach deren Absterben, nicht mehr erneuert werden. Eine Ausnahme stellt der menschlichen Hippocampus dar. Neurotrophe Faktoren beugen dem abnormen Zellsterben im Gehirn gesunder Erwachsener vor.

Im Verlauf des Lebens nimmt die allgemeine kognitive Leistungsfähigkeit der Menschen ab (Kramer, Humphrey, Larish, Logan & Strayer, 1994, S. 491). Dieser Degenerationsprozess im Alter beginnt teilweise bereits im jungen Erwachsenenalter (Craik & Bialystok, 2006, S. 131) und wird vor allem auf die geringer werdende Aktivität von Informationsverarbeitungsprozessen zurückgeführt (Salthouse, 1992). Vor allem die Anzahl der Verbindungen zwischen den Nervenzellen (Synapsen) geht im Alter zurück (Craik & Bialystok, 2006, S. 131).

Neue Erfahrung führen zu neuronalem Wachstum, das nahezu in jedem Alter auf drei verschiedene Weisen stattfinden kann (Nelson, 1999): (1) Durch die Entstehung neuer Synapsen wird das Gehirn anatomisch verändert. (2) Durch neurochemische Veränderungen können bestehende Synapsen ihre Aktivität verändern und beispielsweise durch die Ausschüttung von mehr Neurotransmittern den Informationsübertrag beschleunigen. (3) Erfahrung kann metabolische Veränderungen (z. B. Verbrauch von Sauerstoff oder Glukose) hervorrufen. Einflüsse haben jedoch nicht nur positive Auswirkungen auf das Gehirn und dessen Funktion. Stress wirkt sich schädlich auf Bereiche des Gehirns (z. B. den Hippocampus) aus (Nelson, 1999).

Das Gehirn ist das anpassungsfähigste Organ und unterliegt einem laufenden Wandel. In Lernprozessen entstehen ständig Neuronen und Verbindungen. Einzelne kognitive Funktionen können bestimmten Bereichen des Gehirn zugeordnet werden (z. B. motorische Kontrolle im Kleinhirn). Vor allem die Verortung von Aufmerksamkeitsleistungen im Kleinhirn sowie von Kreativität in Kleinhirn und präfrontalem Kortex ist für die vorliegenden Untersuchungen von Interesse, da diese Bereiche ebenfalls an motorischen Bewegungen beteiligt sind. Diese Verbindung stützt die Forschungshypothese dieser Arbeit aus neurowissenschaftlicher Sicht.

2.3 Studierende als Zielgruppe

Da sich die vorliegende Dissertation vorrangig mit den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitiven Funktionen bei Studierenden beschäftigt, wird im Folgenden eine detaillierte Betrachtung dieser Zielgruppe vorgenommen. Hierfür werden Studierende bezüglich ihres Lebensalters, Entwicklungsstandes, Sportverhaltens und der an Studierenden gestellten kognitiven Anforderungen betrachtet.

2.3.1 Jugendliche oder Erwachsene?

Studierende sind eine durch Bildungsstand, Alter sowie Setting klar abgrenzbare Gruppe.

Das Erwachsenenalter zeichnet sich durch eine sehr hohe Selbstständigkeit, Selbstbestimmung und ein großes Verantwortungsbewusstsein aus. Diese Kompetenzen werden im Jugendalter erworben, weshalb die Jugendphase als Zeit der individuellen Reifung angesehen wird (Hurrelmann, 2004). So treten laut Hurrelmann und Quenzel (2012) circa 40% eines Jahrgangs (meist mit einer kurzen Berufsausbildungszeit) im Alter um 21 Jahre und weitere 40% (meist Hochschulabsolventinnen und -absolventen) mit circa 27 Jahren ins Erwachsenenalter ein und übernehmen ihre gesellschaftliche Rolle. Die noch fehlenden 20% eines jeden Jahrgangs erreichen den Status des Erwachsenen gar nicht. Dies sind vermehrt Menschen ohne jegliche Berufs- oder Hochschulbildung (Hurrelmann & Quenzel, 2012).

Studierende können aufgrund ihrer Alters (Schneekloth, Leven & Gensicke, 2011; Verburgh et al., 2014) und ihrer meist nicht vollständig abgeschlossenen Entwicklung zum Erwachsenen (Hurrelmann, 2004; Hurrelmann & Quenzel, 2012) großteils zur Gruppe der jungen Erwachsenen (18-35 Jahre; Verburgh et al., 2014) gezählt werden.

2.3.2 Körperliche Aktivität

Ein körperlich aktiver Lebensstil wird bereits im Jugendalter mit Begünstigungen für die Gesundheit in Verbindung gebracht (Strong et al., 2005). Neben den gesundheitlichen Aspekten von körperlicher Aktivität und Sport, zeigen sich in Studien unter anderem positive Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit (Löffler, Dominok, von Haaren, Schellhorn und Gidion, 2011; siehe auch Kapitel III Forschungsstand, S. 52ff).

Trotzdem bewegen sich rund 46 Prozent der Deutschen zu wenig und erreichen nicht einmal die Mindestempfehlung der Weltgesundheitsorganisation (WHO): 150 Minuten moderate Aktivität pro Woche (Froböse & Wallmann, 2012). Vom Kindesalter bzw. der Jugendzeit in die Adoleszenz ist zudem ein starker Rückgang der körperlichen Aktivität festzustellen (Brodersen, Steptoe, Boniface & Wardle, 2007): Vor allem im Alter zwischen 11 bis 12 und 15 bis 16 Jahren ist der Rückgang am größten. Froböse und Wallmann (2012) schlussfolgern in ihrer Datenerhebung

zum Gesundheitsverhalten der Deutschen:

„Je höher der Bildungsabschluss, desto geringer ist die Gesamtaktivität: Während der Median bei Personen mit Hauptschulabschluss bei 840 MET-Minuten (Mittelwert: 1.277) pro Woche liegt, sinkt dieser Wert mit steigendem Bildungsgrad und fällt bei den Akademikern auf 495 MET-Minuten (Mittelwert: 801) pro Woche. Dementsprechend erreichen gerade mal 43 Prozent der Personen mit Hochschulabschluss die Mindestempfehlung für Aktivität. In allen anderen Bildungsgruppen liegt dieser Anteil bei weit über 50 Prozent.“ (Froböse & Wallmann, 2012, S. 20)

Auch die Zeit, in der Menschen sitzen, ist vom Bildungsabschluss abhängig (Froböse & Wallmann, 2012). Personen mit Hauptschulabschluss (257 Minuten pro Tag) oder mittlerer Reife (297 Minuten pro Tag) sitzen demnach weniger als Abiturientinnen und Abiturienten (353 Minuten pro Tag). Akademiker sitzen mit durchschnittlich 386 Minuten pro Tag am meisten. „Die Gesamtaktivität allgemein und insbesondere die Bewegung bei der Arbeit“ (Froböse & Wallmann, 2012, S. 22) nehmen mit höherem Bildungsabschluss ab. In einer US-Studie aus dem Jahr 2004 wurden speziell Studierende ($N=493$) befragt: Buckworth und Nigg (2004) berichten, dass Studierende durchschnittlich 30 Stunden pro Woche (d.h. circa 255 Minuten pro Tag) einer sitzenden Tätigkeit nachgehen und liegen damit deutlich unter den Werten von Froböse und Wallmann (2012). Die Dauer sitzender Tätigkeiten nahm somit in den letzten Jahren deutlich zu. Einen Großteil dieser Zeit verbringen Studierende mit Lernen ($13,25 \pm 9,16$ Stunden pro Woche). Fernsehschauen ($10,56 \pm 8,59$ Stunden pro Woche) wurde 2004 doppelt so lang betrieben wie Zeit am Computer ($5,96 \pm 5,83$ Stunden pro Woche) (Buckworth & Nigg, 2004). Heutzutage sehen junge Erwachsene (18-19 Jahre) an Wochentag durchschnittlich 112 Minuten (entspricht ca. 13 Stunden pro Woche) fern (Feierabend, Karg & Rathgeb, 2013). Somit wird der TV etwa 2,5 Stunden pro Woche mehr genutzt als im Jahr 2004. Die Zeit am Computer hingegen hat sich fast vervierfacht: die jungen Erwachsene der JIM-Studie von Feierabend et al. (2013) sind täglich 179 Minuten (ca. 20,9 Stunden pro Woche) am Computer online. Die starke Nutzung digitaler Medien hat folglich Auswirkungen auf die Bewegungszeit der Jugendlichen, jungen Erwachsenen und Studierenden.

Sport (73%) ist hinter Freunde treffen (83%) die zweitbeliebteste non-mediale Freizeitbeschäftigung von Jugendlichen im Alter von 12 bis 19 Jahren (Feierabend et al., 2013). Laut JIM-Studie (Feierabend et al., 2013) waren im Jahr 2013 64% der Jugendlichen ($N=1200$; Alter: 12-19 Jahre) in Deutschland Mitglied in einem Sportverein. Die körperliche Aktivität nimmt jedoch ab. Im Vergleich zu Senioren (60%) erreichen junge Erwachsene (57%) seltener die Mindestempfehlung für Bewegung (Froböse & Wallmann, 2012). In Einzelfällen weisen junge Erwachsene zwar die größte körperliche Aktivität auf, jedoch existieren innerhalb dieser Altersgruppe die größten Unterschiede, sodass der Median bei lediglich 720 MET-Minuten liegt (Froböse & Wallmann, 2012).

In einer bundesweiten Umfrage ($N=1000$, Alter: 18- 36 Jahre) konnte ermittelt werden, dass Sport für 59 Prozent der Studierenden die beliebteste Freizeitaktivität ist (Earsandeyes GmbH & Unicum Verlag GmbH & Co. KG, 2012). Selbst sportlich aktiv sind hingegen nach eigenen Aussagen die meisten Studierenden (96% mind. einmal im Monat). 65 Prozent der Studierenden machen

mindestens einmal pro Woche Sport und 12 Prozent sind zwei- oder dreimal pro Monat sportlich aktiv (Earsandeyes GmbH & Unicum Verlag GmbH & Co. KG, 2012). So nutzen rund 58 Prozent der Studierenden Sport zum Stressabbau (Middendorff, Isserstedt & Poskowsky, 2012).

Nach dem Studienabschluss sinkt die Zahl der aktiven Sportlerinnen und Sportler rapide ab: „79 Prozent der Befragten mit Studienabschluss geben wenig Transport- und Freizeitaktivität an“ (Froböse & Wallmann, 2012, S. 23).

Für 22 Prozent der Studierenden ist Sport eine Möglichkeit, um die Leistungsfähigkeit zu erhalten und circa 30 Prozent der Studierenden sind der Meinung, dass Sport die Leistungsfähigkeit sogar steigert (Earsandeyes GmbH & Unicum Verlag GmbH & Co. KG, 2012). Im Vergleich dazu wird Koffein (Erhalt der Leistungsfähigkeit: 14% bzw. Steigerung der Leistungsfähigkeit: 26%) weniger als Sport, und Schlaf (42% bzw. 20%) am meisten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit zugeschrieben.

Studierende bzw. junge Erwachsene befinden sich – über die gesamte Lebensspanne gesehen – am körperlichen Leistungsmaximum (siehe Abb. 4, S. 9). Vor allem im Alter zwischen 22 und 28 Jahren scheint der Zenit erreicht.

2.3.3 Kognitive Anforderungen

Innerhalb der Gruppe der jungen Erwachsenen bilden Studierende ein definiertes Klientel, welches sich durch besonders hohe kognitive Anforderungen auszeichnet und – im Hinblick auf die Lebensspanne – teilweise auch an seinem kognitiven Leistungsmaximum angelangt ist (Lambourne, Audiffren & Tomporowski, 2010; Salthouse & Davis, 2006; Stroth et al., 2009).

Im Folgenden werden Anforderungen an Studierende beschrieben, die vor allem durch die Hochschulreform gestiegen sind und in zukünftigen Berufen gefordert werden. Der Begriff der Kompetenzen ist hierbei zentral, zudem werden einzelne kognitive Fähigkeiten benannt.

Seit Beginn des Bologna-Prozesses und den daraus resultierenden Reformen klagen viele Studierende über Zeitdruck und Lernstress (Bargel, Ramm & Multrus, 2012). Rund 68 Prozent der Studierenden berichten von starken Belastungen im Studium wie beispielsweise Anforderungen und Arbeitspensum (Ortenburger, 2013).

Die resultierende Umstrukturierung der Studiengänge haben große Veränderungen im Hochschulsystem ergeben (Klomfaß, 2011). Ein Ziel im Bologna-Prozess ist die allgemeine Beschäftigungsbefähigung der Studierenden (European Ministers of Education, 1999), welche die Voraussetzung für den Einstieg in einen Beruf darstellt und als Employability bezeichnet wird (Köck & Stein, 2010, S. 13). Hochschulen sind zunehmend an der Ausbildung dieser Employability beteiligt und schulen vermehrt fächerübergreifende Fähigkeiten, die Studierenden im späteren Beruf bei der Bewältigung neuer und komplexer Aufgaben helfen sollen.

Ein Hochschulstudium bereitet in wenigen Fällen die Studierenden auf ein spezielles Berufsfeld vor, wie dieses bei betrieblichen Ausbildungen der Fall ist.

Daher ist eine bereichsübergreifende Handlungskompetenz gerade bei Hochschulabsolventen ein wichtiger Bestandteil der „Ausbildung“. Auch wenn, oder gerade weil, die Ansprüche der Arbeitswelt an die Berufsqualifikation von Hochschulabsolventen höher sind, sollten an Hochschulen berufsorientierte und fachübergreifende Qualifikationen bzw. Kompetenzen gefördert werden.

Erpenbeck und von Rosenstiel (2007) verstehen unter Kompetenzen

„solche Fähigkeiten oder Dispositionen, die ein sinnvolles und fruchtbares Handeln in offenen, komplexen, manchmal auch chaotischen Situationen erlauben, die also ein selbstorganisiertes Handeln unter gedanklicher und gegenständlicher Unsicherheit ermöglichen.“ (Erpenbeck & von Rosenstiel, 2007, S. XI)

Diese Definition verdeutlicht das Ziel des Kompetenzerwerbs, nämlich die Befähigung, auf neue und sich verändernde Bedingungen einzugehen, und in diesen genauso handlungsfähig agieren zu können wie in bekannten Situationen. Arnold, Nolda und Nussli (2001) formulieren etwas konkreter

„Kompetenz umfasst nicht nur inhaltliches bzw. fachliches Wissen und Können, sondern auch außerfachliche bzw. überfachliche Fähigkeiten, die häufig mit Begriffen wie Methodenkompetenz (Know how to know), Sozialkompetenz, Personalkompetenz oder auch Schlüsselqualifikationen umschrieben werden.“ (Arnold et al., 2001, S. 176)

Von den Begriffen Qualifikation und Kompetenz leiten sich die Begriffe der Schlüsselqualifikation und der Schlüsselkompetenz ab. Der Begriff *soft skills*² ist in der Literatur ebenfalls geläufig und beschreibt denselben Sachverhalt wie Kompetenzen (Nünning, 2008). Schlüsselqualifikationen sind nach (Orth, 1999, S. 2) „eine semantische Strategie zur Bündelung all der Qualifikationen, die über das rein Fachliche hinausgehen“. Als Schlüssel öffnen diese disziplinübergreifenden Fähigkeiten die Tür zu einer Vielzahl an unterschiedlichen Aufgaben, Funktionen und Tätigkeitsbereichen und erweitern so die Berufsperspektiven (Nünning, 2008). An vielen Hochschulen werden spezielle Kurse zum Erwerb solcher außerfachlichen Kenntnisse und Fähigkeiten angeboten, die meist als Schlüsselqualifikationen bezeichnet werden, wobei dieser Begriff laut Schaeper und Briedis (2004) von dem der Schlüsselkompetenz abgelöst wird.

Der von Mertens (1974) benannte Katalog an Schlüsselqualifikationen, der unter anderem die Fähigkeiten zum lebenslangem Lernen, Kreativität, Verknüpfung von Theorie und Praxis, Planungsfähigkeit, Fähigkeit zur Zusammenarbeit, zur Ausdauer und zur Konzentration sowie die Befähigung zur Kommunikation beinhaltet, wurde bis 1990 stark erweitert.

Für eine bessere Übersichtlichkeit verleiht unter anderem Schelten (1994) den Systematisierungsversuchen über die zahlreichen Fähigkeiten und Fertigkeiten neuen Aufschwung. Er unterteilt die Fähigkeiten und Fertigkeiten in vier Kategorien. Unter (1) materialen Fähigkeiten verstehen sich Kenntnisse, die in berufsspezifischen Kontexten erworben, aber berufsfeldübergreifend zum Einsatz kommen können. (2) Formale Fähigkeiten qualifizieren dazu, Sachverhalte verstehen, diese zu hinterfragen und Lösungsstrategien entwerfen zu können. Im psychomotorischen Bereich geht es zudem um die Steuerung der Konzentrations-

² "soft skills" (=weiche Fähigkeiten) (Peters-Kühlinger & John, 2012)

und Reaktionsfähigkeit in Bezug auf mentale Prozesse. Die emotionale Verarbeitung und Bewertung von Sachverhalten fällt in den Bereich der (3) personalen Fähigkeiten und die Fähigkeit, mit anderen Menschen zu kommunizieren und zusammenzuarbeiten in den Bereich der (4) sozialen Fähigkeiten (Schelten, 1994).

Der Systematisierungsansatz von Salvisberg (2010) beruht auf der bereits früher entstandenen Systematisierung von Roth (1971) (siehe Gogoll, 2011). Auch hier gibt es vier Kompetenzbereiche, die den Bereichen der vorangegangenen Systematisierung zum Teil sehr ähnlich sind. Unter (1) Sachkompetenz werden sowohl die Fachkompetenzen, also studienfach-, aufgaben- und berufsspezifische Kenntnisse als auch Fähigkeiten und Fertigkeiten, die bereichs- und fächerübergreifend sind, zusammengefasst (Kauffeld, 2003; Salvisberg, 2010). Beispiele hierfür sind die Allgemeinbildung, EDV-Kenntnisse, Fremdsprachen und Wirtschaftskenntnisse (Schaeper & Briedis, 2004). Der Begriff (2) Methodenkompetenz bezieht sich hingegen auf Fähigkeiten, Fertigkeiten und Verhaltensweisen, die selbstständiges Handeln, kreatives Problemlösen und eine zielgerichtete Handlungsfähigkeit ermöglichen. Allgemeine Persönlichkeitsmerkmale, Charaktereigenschaften und Wertorientierungen werden unter dem Bereich der (3) Selbstkompetenz zusammengefasst. Dies spiegelt die individuelle Haltung zur eigenen Person – daher auch zuweilen personale Kompetenz genannt (Erpenbeck & von Rosenstiel, 2007) – zur Arbeit und allgemein zur Gesellschaft und zur Welt wider (Orth, 1999; Salvisberg, 2010). Bei (4) Sozialkompetenz handelt es sich um die Fähigkeit, soziale Beziehungen herzustellen, sie zu gestalten und aufrechtzuerhalten. Hierzu zählen unter anderem Kooperations-, Kommunikations- und Teamfähigkeit sowie Konfliktmanagement. Diese Fähigkeiten ermöglichen die Interaktion in sozialen Gruppen (Salvisberg, 2010; Schaeper & Briedis, 2004).

Kompetenzen und kognitive Fähigkeiten überschneiden sich in manchen Bereichen. So ist die Konzentrationsfähigkeit nach Mertens (1974) eine (Schlüssel-) Kompetenz. Den exekutiven Funktionen sind im Allgemeinen eine größere Bedeutung für den akademischen Erfolg (Schule, Universität und Beruf) zuzuweisen als dem reinen Wissenserwerb (St. Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Aufmerksamkeitssteuerung stellt jedoch eine zentrale kognitive Fähigkeit (genauer exekutive Funktion, siehe Aufmerksamkeit und Konzentration, S. 16) dar. Nach Mertens (1974) und Salvisberg (2010) ist Kreativität ebenfalls eine (Schlüssel-) Kompetenz. Kreativität ist zudem eine exekutive Funktion und somit eine kognitive Fähigkeit (siehe Kreativität, S. 20).

Den Schlüsselkompetenzen als Grundlage für Erfolg im Studium und Beruf wird auf dem Arbeitsmarkt ein sehr hoher Stellenwert beigemessen. Reichten vor einigen Jahren die fachlichen Qualifikationen aus, um im Bewerbungsverfahren zu überzeugen, so sind heute zusätzlich außerfachliche Kompetenzen vorzuweisen (Peters-Kühlinger & John, 2012). Ein Grund hierfür ist der Wandel der Gesellschaft, des Arbeitsmarktes sowie des Wirtschafts- und Beschäftigungssystems (Peters-Kühlinger & John, 2012; Schaeper & Briedis, 2004).

Im Jahr 2003 wurde von der HIS (Schreiber & Sommer, 2005) mit 2673 Probanden eine Online-Befragung zur Bewertung der schulischen Vorbereitung auf das

Hochschulstudium durchgeführt. Hierfür sollten die Probanden Selbsteinschätzungen zu ihren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten angeben. Bei der Selbsteinschätzung der eigenen Kompetenzen, Fähigkeiten und Arbeitstechniken wurde die deutsche Rechtschreibung, das Herausarbeiten von Kernaussagen, ein breites Allgemeinwissen, Gruppenarbeit, verständliche Ergebnisdarstellung und Basiskenntnisse am PC auf einer fünfstufigen Skala (1=völlig ausreichend, 5=überhaupt nicht ausreichend) von jeweils mehr als 50% der Probanden als ausreichend bis völlig ausreichend (Stufen 1+2) eingestuft. 30-40% der Probanden haben dagegen ihre Fähigkeiten und Kompetenzen in den Bereichen des spezifischen Fachwissens, Texte in anderen Fremdsprachen (nicht Englisch) zu verstehen, der systematischen Recherche und der Benutzung spezifischer EDV-Programme als weniger ausreichend bis überhaupt nicht ausreichend angegeben. Insgesamt wurde die schulische Vorbereitung auf das Studium von 40% aller Befragten als gut oder sehr gut eingestuft (Schreiber & Sommer, 2005).

Neben den, in der oben genannten Studie erfragten, fachlichen Kenntnissen sowie Persönlichkeitsmerkmalen, individuellen Rahmenbedingungen und den zur Verfügung stehenden Informationen zum Studium, wird vor allem den sozialen Kompetenzen ein großer Einfluss auf das Gelingen des Übergangs beigemessen (Schreiber & Sommer, 2005). Für einen guten Einstieg in das Leben als Studierende sind hierbei vor allem Kontakt-, Kommunikations- und Teamfähigkeit von entscheidender Bedeutung (Heine, Didi, Haase & Schneider, 2008), da diese für das Knüpfen neuer sozialer Kontakte notwendig sind.

Wie im Systematisierungsansatz von Salvisberg (2010) deutlich wird, ist kreatives Problemlösen eine wichtige Fähigkeit für Studierende. Zudem wird in Kreativität (siehe S. 20) die Wichtigkeit von kreativem Denken für die Wirtschaft (Sternberg & Lubart, 1999) und beruflichen Erfolg (Yeh et al., 2012) deutlich. Kreativität ist wichtig für Angestellte (McFadzean, 2000), Führungskräfte (Harvey & Novicevic, 2002) und Studierende (Ma, 2006; Yeh et al., 2012). Im Speziellen setzen Studierende der Ingenieurwissenschaften kreatives Denken häufig beim Lösen von Problemstellungen und bei Neuentwicklungen ein. Kreatives Denken und die Entwicklung dieser kognitiven Fähigkeit hat somit eine hohe Bedeutung für Studierenden des Ingenieurwesens (Baillie, 2002). Kleppel, Wunsch und Ebner-Priemer (2014) überprüften dieses Statement und verglichen das kreative Denkvermögen von Ingenieursstudierenden mit anderen Studierenden des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Insgesamt 297 Probanden führten einen Subtest des ASK (Aufgabengruppe Sätze kombinieren, siehe S. 32) durch. Anschließend verglichen die Autoren die kreativen Denkleistungen der Probanden, wobei explizit darauf verwiesen werden muss, dass hierbei aus Gründen der Durchführbarkeit lediglich eine von vier Aufgabengruppen des ASK durchgeführt wurde. Die Studierenden verschiedener Fachrichtungen ($N=36$; 11,1% Frauen; Alter: $23,0 \pm 2,6$ Jahre) erzielten demnach einen durchschnittlichen standardisierten Messwert von $95,9 \pm 9,2$ Punkten. Die Studierenden der Ingenieurstudiengänge ($N=211$; 24,2% Frauen; Alter: $20,0 \pm 1,5$ Jahre) waren mit durchschnittlich $94,8 \pm 8,1$ standardisierten Punkten vergleichbar kreativ, da zwischen den beiden Gruppen kein signifikanter Unterschied bestand ($F=.55$; $p=.46$; $\eta^2=.002$). Mit $96,0 \pm 10,2$ Punkten erzielten die Sportstudierenden ($N=50$; 28% Frauen, Alter: $21,4 \pm 1,9$ Jahre) den höchsten durchschnittlichen Messwert

der Untersuchung, wobei statistisch kein Unterschied zwischen den kreativen Denkleistungen der drei Gruppen vorhanden war ($F=.53$; $p=.59$; $\eta^2=.004$) (Kleppel et al., 2014).

Ob und welche Kompetenzen im angegebenen Altersbereich durch Sport gefördert werden können, wird im Folgenden näher betrachtet. Dabei werden bei den nachfolgenden Ausführungen die drei Bereiche der Methoden-, Selbst- und Sozialkompetenzentwicklung durch Sport betrachtet. Die Sachkompetenz wird außen vor gelassen. Einige der Inhalte beziehen sich in der Originalliteratur auf den Sportunterricht, können aber durchaus auch in Schlüsselkompetenzkursen an Hochschulen zur Anwendung kommen.

Sport und körperliche Aktivität ermöglichen mehr als nur körperbezogene Erfahrungen im Bereich der Leistungsfähigkeit und Fitness. Es gibt noch weitere pädagogische Zielperspektiven des Sports „wie z. B. Bewegungsfreude, Wagnis, Risiko, Sozialerfahrung, Spannung, Ausdruck, Ästhetik, Wohlbefinden, Gesundheit, Körpererfahrung und Emotionalität“ (Finke & Zubrägel, 2012, S. 2), durch die Sport zu einem geeigneten Medium für die Kompetenzentwicklung werden kann. In einer Untersuchung den Auswirkungen aerober körperlicher Aktivität auf die emotionale Stressreaktivität konnten von Haaren, Haertel, Stumpp, Hey und Ebner-Priemer (2015) nachweisen, dass eine 20-wöchiges aerobes Interventionsprogramm den Stress von Studierenden in Prüfungssituationen reduziert. Zusätzlich zu gesundheitsfördernden Auswirkungen haben Sport und körperliche Aktivität einen positiven Einfluss auf die kognitive, emotionale und soziale Entwicklung (siehe z. B. Brown, Pearson, Braithwaite, Brown und Biddle, 2013; Finke und Zubrägel, 2012; Tomporowski, 2003b; Tomporowski, Davis, Miller und Naglieri, 2008). Beispielsweise verweisen Studien auf einen positiven Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Konzentrationsfähigkeit (Chang et al., 2012). Insbesondere Aufgaben zur Koordination können zu einer Verbesserung der Konzentration (auch bei nicht motorischen Tätigkeiten) beitragen (Graf et al., 2003).

Sport kann sowohl Handlungskompetenz als auch berufsqualifizierende Kompetenzen vermitteln (Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2004). Entscheidend für die Entwicklung von Handlungskompetenz sind unter anderem das Sammeln vielseitiger Bewegungserfahrungen und Sinnperspektiven, das Erfahren unterschiedlicher Aktionsformen (z. B. Erkunden, Trainieren, Wettkämpfen, Gestalten), die Ziele und Inhalte des Unterrichts gemeinsam abzusprechen, die Akzeptanz unterschiedlicher Begabungen und Leistungsniveaus und Handlungsräume selbständig erfahren und belegen zu können. Durch solche Erfahrungsspielräume im Fach Sport können die hierbei erworbenen Fach-, Methoden-, Selbst- und Sozialkompetenzen auch fachübergreifend kognitive, affektive und soziale Lernprozesse fördern (Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 204).

Bei der Berufsorientierung stehen vor allem der Erwerb von Schlüsselqualifikationen wie Teamfähigkeit, Fairness, Kritikfähigkeit und Verantwortungsbewusstsein sowie die Förderung selbständiger Lebens- und Arbeitsweisen, die Befähigung „sachkompetent und wertebewusst in sozialer

Verantwortung für sich und andere zu handeln“ (Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2004, S. 8) und das Erleben von Selbstwirksamkeit und dem eigenen Können im Vordergrund.

Sozial-, Methoden- und Selbstkompetenz können nicht als jeweils ein Bereich angesehen werden, der als Ganzes erlernt oder gefördert werden kann. Alle drei Bereiche weisen unterschiedliche Fähigkeiten auf. Über Sport und körperliche Aktivität können Schüler wie auch Studierende für einzelne dieser Fähigkeiten sensibilisiert werden (Mehr & Ulrich, 2010). Allerdings muss am Beispiel Fußball „der Kompetenzerwerb [...] aber auch als bewusste Gestaltungsaufgabe erkannt und gefördert werden, damit die unterstützenden Potenziale des Fußballsports auch zur vollen Entfaltung kommen“ (Rolff, 2008, S. 110). Sport hat demnach Möglichkeiten, positiv auf kognitive, soziale und emotionale Kompetenzen zu wirken (Rolff, 2008).

Sport kann in Schulen und an Hochschulen Kompetenzen weiterentwickeln, weil „die Bezüge zwischen diesen Schlüsselqualifikationen und sportlichen Anforderungssituationen [...] evident“ (Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2004, S. 6) sind. Schulsport verspricht im Vergleich zum Hochschulsport bessere Möglichkeiten zum Kompetenzerwerb, da dieser meist verpflichtend stattfindet und die Lehrkraft auch mit Schülern, die freiwillig keinen Sport treiben, arbeiten kann. Die Entwicklung einer fachübergreifenden Handlungsfähigkeit und eine Employability der Absolventen kann jedoch nur stattfinden, wenn die im und durch Sport erworbenen Kompetenzen auf andere Bereiche des Alltags übertragen werden können. Hierzu sind weitere Untersuchungen notwendig.

Studierende stehen unter zunehmendem Leistungsdruck während des Studiums und die Anforderungen an ihre Schlüsselkompetenzen steigen (Bargel et al., 2012). Dieser Trend wird in Zukunft voraussichtlich eher zunehmen.

Sport bzw. körperliche Aktivität scheint für viele Studierende eine zentrale Rolle zu spielen und stellt zusätzlich eine Möglichkeit dar, den Studierenden bestimmte Schlüsselkompetenzen (z. B. Kommunikationsfähigkeit) zu vermitteln bzw. positiv auf deren physische und psychische Gesundheit einzuwirken. In wieweit körperliche Aktivität bei der Entwicklung spezifischer und für Studierende essenzieller kognitiver Fähigkeiten (z. B. Konzentrationsfähigkeit) helfen kann bzw. ob ein Übertrag dieser beim Sport erworbenen Fähigkeiten auf den Studierendenalltag möglich ist, konnte bislang nicht geklärt werden. Hier besteht akuter Forschungsbedarf.

III Forschungsstand

Seit den 1930ern beschäftigt sich die Wissenschaft mit dem Zusammenhang von körperlicher Aktivität und Kognition (Hillman et al., 2008). Als einer der Ersten ist hier Piaget (1936) zu nennen. Seine aufgrund des Untersuchungsdesigns kritisierten Ergebnisse konnten inzwischen durch viele Studien und nachfolgende Meta-Analysen teilweise verifiziert werden. Insgesamt kann ein positiver, wenn auch heterogener Effekt von körperlicher Aktivität auf die kognitiven Funktionen geschlussfolgert werden (Colcombe & Kramer, 2003; Etnier et al., 1997; Etnier et al., 2006; Hillman et al., 2008; Sibley & Etnier, 2003; Smith et al., 2010; Verburch et al., 2014). Körperliche Aktivität beeinflusst neben der körperlichen auch die kognitive Gesundheit (z. B. Burkhalter und Hillman, 2011) und das Gehirn (z. B. Erickson, 2012) positiv.

Während die Festlegung der abhängigen Variable „kognitive Leistungsfähigkeit“ vergleichsweise eindeutig ist, fällt die Definition der unabhängigen Variable weitaus schwerer. Neben Unklarheiten, die sich aus der Übersetzung vom Angloamerikanischen ins Deutsche ergeben (siehe Abschnitt 2.1 Körperliche Aktivität, S. 5ff), ist vor allem die lückenhafte empirische Befundlage als Grund für diese Schwierigkeiten zu nennen.

Im Folgenden wird ein allgemeiner Überblick über den aktuellen Forschungsstand zu den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit gegeben. Anschließend erfolgt eine Unterteilung des gesamten Forschungsstandes entlang der verschiedenen Einflussbereiche (siehe Abschnitt 3.1 bis 3.8). Die für den empirischen Teil der vorliegenden Arbeit zentralen Forschungsbereiche befassen sich mit den chronischen Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die exekutiven Funktionen im jungen Erwachsenenalter.

In einer frühen Meta-Analyse befassen sich Etnier und Kollegen (1997) allgemein mit den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf kognitive Funktionen. Unabhängig vom Alter der Probanden (6-90 Jahre) konnten aus 134 Studien insgesamt 1260 Effektstärke (*ES*) ermittelt werden. Für den generellen Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit schlussfolgern die Autoren einen geringen bis moderaten signifikanten Effekt ($p < .05$; $ES = .25 \pm .69$). Die Art der körperlichen Intervention beeinflusst dabei das Ergebnis signifikant ($p < .001$). Wird lediglich eine Einheit körperliche Aktivität (z. B. einmaliges Radfahren auf dem Fahrradergometer; $p < .05$, $ES = .16 \pm .60$) untersucht, sind die Effekte geringer als bei längerfristiger und regelmäßiger körperlicher Aktivität ($p < .05$, $ES = .33 \pm .58$) oder sogar gemischten Interventionsformen ($p < .05$, $ES = .54 \pm .43$). Etnier et al. (1997) unterteilen die Untersuchungslandschaft grundlegend in die Bewegungsparadigmen akut, chronisch, "cross-sectional/correlational" und "mixed". Vor allem die "cognitive test category" (Etnier et al., 1997, S. 259; $F(10,360) = 5.23$, $p < .0001$), das Geschlecht der Probanden ($F(3,367) = 25.09$, $p < .0001$) und die interne Validität ($F(4,366) = 9.52$, $p < .0001$) beeinflussen die akuten Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die Kognition. Bei Untersuchungen mit chronischer körperlicher Aktivität konnten Etnier und Kollegen (1997) unter anderem das Alter der Probanden ($F(7,350) = 7.60$, $p < .0001$) und die Gruppengröße ($F(5,352) = 18.39$, $p < .0001$) als Moderatoren identifizieren.

Colcombe und Kramer (2003) beschränken sich in ihrer Meta-Analyse auf die Auswirkungen aerober Fitness älterer Erwachsener auf deren kognitive Funktionen. Die insgesamt 18 Interventionsstudien zeigen dabei, dass vor allem die exekutiven Funktionen durch aerobe Fitness positiv beeinflussbar sind. Neben der Trainingsmethode (Typ, Dauer und Gesamtdauer der Intervention) müssen, laut Autoren, jedoch auch die Eigenschaften der Probanden (Alter und Geschlecht) und die Art des kognitiven Tests beachtet werden.

Mit den Auswirkungen einmaliger körperlicher Aktivität auf die Kognition von Erwachsenen befasst sich das Review von Tomporowski (2003b). Trainingseinheiten, die systematische Veränderungen physiologischer Funktionen (z. B. Veränderung von Körpertemperatur, Atmung und Hormonsystem) hervorrufen, wurden dabei beachtet. Vor allem der Zeitpunkt des Kognitionstests (während oder kurz nach der körperlichen Aktivität) sowie die Intensität der körperlichen Aktivität nehmen Einfluss auf die kognitive Funktion (Tomporowski, 2003b). Die Verarbeitungsgeschwindigkeit von Informationsverarbeitungsprozessen wird beispielsweise durch submaximale aerobe körperliche Aktivität von bis zu einer Stunde Aktivität gesteigert. Sport über einer Stunde Dauer beeinflusst sowohl das Gedächtnis als auch Informationsverarbeitungsprozesse. Tomporowski (2003b) nennt physiologische Gründe für die Limitation des Zusammenhangs.

Etnier et al. (2006) untersuchten in ihrer Meta-Analyse die "cardiovascular fitness hypothesis" (S. 120), wonach verbesserte aerobe Fitness (meist bezüglich $VO_2\text{max}$) zu einer Steigerung der mentalen Gesundheit und der kognitiven Leistungsfähigkeit führt. Neben dem zerebralen Blutfluss werden neurotrophe Faktoren und Veränderungen zerebraler Strukturen als physiologischen Mechanismen des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und Kognition diskutiert. Die Autoren schlussfolgern aus insgesamt 37 Studien zu den Auswirkungen aerober Fitness auf die kognitive Leistungsfähigkeit in allen Altersklassen einen positiven generellen Zusammenhang zwischen den beiden Faktoren ($ES=.34$), jedoch kann die "cardiovascular fitness hypothesis" im Allgemeinen nicht bestätigt werden. Beispielsweise besteht bei Studien mit Prä-Posttest-Vergleichen ein negativer Zusammenhang zwischen aerober Fitness und kognitiver Leistungsfähigkeit. Das Alter der Probanden konnte mittels Regressionsanalysen als ein Moderator des Zusammenhangs identifiziert werden. Im Kindes- und jungen Erwachsenenalter ($p<.03$) stellt die aerobe Fitness einen negativen Prädiktor für kognitive Leistungsfähigkeit dar (Etnier et al., 2006). Hingegen wirkt aerobe Fitness positiv auf die Kognition von Erwachsenen ($p<.01$) und ist nicht signifikant bei Senioren. Diese Ergebnisse passen nicht zu den Ergebnissen anderer Meta-Analysen (z. B. Sibley & Etnier, 2003). Neben der aeroben Fitness sollen zukünftige Untersuchungen weitere Variablen finden, welche die positiven Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit erklären (Etnier et al., 2006).

Ein häufig zitierter Literaturüberblick zu den Auswirkungen aerober körperlicher Aktivität auf die Kognition und Gehirnfunktionen stammt von Hillman et al. (2008). Die Autoren schlussfolgern, dass eine Vielzahl kognitiver Fähigkeiten existiert, die von körperlicher Aktivität profitieren. Vor allem Untersuchungen an Tieren

untermauern demnach den positiven Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit. Sogenannte "enriched environments" (Hillman et al., 2008, S. 58) fördern das neuronale Wachstum und verbessern Lern- und Gedächtnisprozesse. Nervenzellen im Hippocampus können durch körperliche Aktivität erhalten werden und nehmen sogar zu (van Praag, Christie, Sejnowski & Gage, 1999). Die im Tierversuch gewonnenen Erkenntnisse konnten bislang in Untersuchungen mit menschlichen Probanden teilweise bestätigt werden. Hillman und Kollegen (2008) weisen deutlich auf die unterschiedliche Wirkung des Alters der Probanden auf den Zusammenhang von körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit und deren Wirkungsmechanismen hin. Vor allem im Seniorenalter und weniger bei jungen gesunden Erwachsenen zeigen mehrere Untersuchungen die positiven Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die Kognition (Hillman et al., 2008). Insgesamt existieren wenige Untersuchungen mit Kindern und jungen Erwachsenen. Dennoch betonten die Autoren ebenfalls den positiven Zusammenhang zwischen Schulleistungen und körperlicher Aktivität. Beispielsweise korreliert aerobe Fitness positiv mit allgemeinen Schulleistungen (Pearson Korrelation $r=.42$ $p<.01$; Castelli, Hillman, Buck & Erwin, 2007).

In ihrem Literaturreview schlussfolgert van Praag (2009), dass Lern- und Gedächtnisleistungen im Allgemeinen bei Tieren und Menschen von körperlicher Aktivität profitieren. Die Autorin diskutiert einige Wirkungsmechanismen des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und gesteigerten kognitiven Funktionen und hebt dabei vor allem die Wichtigkeit des Hippocampus hervor. Neurotrophe Faktoren, Neurogenese und Dendritenwachstum sind demnach einige grundlegende biologische Wirkungsmechanismen des Zusammenhangs.

Die Wichtigkeit des Zeitpunktes der kognitiven Tests wird von Lambourne und Tomporowski (2010) in ihrem Review hervorgehoben. Die Autoren befassen sich mit körperlicher Aktivität, die große Muskelgruppen (z. B. Fahrradfahren, Laufen) der erwachsenen Probanden beansprucht. Im Allgemeinen ist die Kognition während der körperlichen Aktivität beeinträchtigt ($ES=-.14$), wohingegen die kognitive Leistungsfähigkeit im Anschluss an die körperliche Aktivität steigt ($ES=.20$). Die Art der körperlichen Aktivität und des Kognitionstests haben ebenfalls Einfluss auf den komplexen Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit (Lambourne & Tomporowski, 2010).

McMorris et al. (2011) grenzen die Einschlusskriterien für ihre Meta-Analyse stark ein, indem sie lediglich die akuten Auswirkungen von körperlicher Aktivität mit mittlerer Intensität (50%-75% VO_2max) für das Arbeitsgedächtnis bzw. dessen Geschwindigkeit und Genauigkeit untersuchen. Aus 24 Artikeln mit überwiegend jungen Erwachsenen Probanden (20-30 Jahre) können insgesamt 37 Effektstärken zur Berechnung herangezogen werden. Dies verdeutlicht die Komplexität des Zusammenhangs von körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit. Art der Auswirkungen (akut oder chronisch) und kognitiven Fähigkeit sowie die Intensität der körperlichen Aktivität scheinen ausschlaggebend zu sein. Die Autoren können nachweisen, dass das Arbeitsgedächtnis durch akute und mittelintensive körperliche Aktivität schneller arbeitet (Hedges' $g=-1.41$, $p<.001$), jedoch die Genauigkeit dabei signifikant reduziert wird ($g=.40$, $p<.01$). Als

Gründe für diese Auswirkungen nennen McMorris et al. (2011) den Anstieg an Katecholaminen im Gehirn bzw. den aktivitätsabhängigen Erregungszustand.

Die Auswirkungen einmaliger körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit untersuchten Chang et al. (2012) in einer Meta-Analyse bezüglich aller Altersklassen (\bar{X} 28,5 \pm 17,2 Jahre). Aus 79 Studien erhielten die Autoren 1034 Effektstärken und konnten so Moderatoren des Zusammenhangs zwischen akuter körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit identifizieren. Insgesamt kann ein kleiner positiver Effekt ($ES=.097$, $N=1034$) von akuter körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit gefolgert werden. Die meisten Studien, die alle Einschlusskriterien dieser Meta-Analyse (körperliche Aktivität zur Verbesserung der körperlichen Fitness, durchgeführt an einem Tag und diverse kognitive Tests) erfüllen, befassen sich mit jungen Erwachsenen (20-30 Jahre, $N=42$ Studien). Kinder (5-20 Jahre, $N=9$), Senioren (>60 Jahre, $N=9$) und Erwachsene (30-60 Jahre, $N=4$) werden weniger untersucht. Chang und Kollegen (2012) unterteilen die kognitiven Tests in sechs Kategorien mit jeweils 2-13 spezifischen Tests: (1) Informationsprozesse (z. B. Stroop word, visual search task), (2) Reaktionszeit (z. B. simple Reaktionstests und Reaktionstests mit Auswahl), (3) Aufmerksamkeitsleistungen (PASAT und Woodchuck-Johnson test of concentration), (4) "crystallized intelligence" (z. B. Math, Eysenck's IQ), (5) exekutive Funktionen (z. B. Erickson flankers task, Stroop interference) und (6) Gedächtnisleistungen (z. B. free recall, verbales Arbeitsgedächtnis). Die Moderatoren des Zusammenhangs scheinen stark vom Zeitpunkt der kognitiven Testdurchführung abhängig. Die Autoren nehmen daher eine grundsätzliche Einteilung vor (Chang et al., 2012). (1) Während körperlicher Aktivität haben Dauer bis zur Kognitionstestdurchführung ($p<.001$), Art des Kognitionstests ($p<.01$) und Fitnesszustand der Probanden ($p<.001$) einen Einfluss auf die Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die Kognition. (2) Direkt im Anschluss sind Intensität der körperlichen Aktivität ($p<.01$), Art des Kognitionstests ($p<.01$) und Fitnesslevel der Probanden ($p<.01$) primäre Moderatoren. (3) Liegt eine Pause zwischen körperlicher Aktivität und der Durchführung des jeweiligen Kognitionstests, so haben ebenfalls Intensität der körperlichen Aktivität ($p<.001$) und Art des Kognitionstests ($p<.01$) einen Einfluss auf den Effekt. Zu den sekundären Moderatoren zählen Chang et al. (2012) unter anderem Geschlecht ($p<.001$) und Alter ($p<.05$) der Probanden sowie die Art der körperlichen Aktivität ($p<.001$). Diese umfangreiche Meta-Analyse zeigt, dass die Effekte von körperlicher Aktivität auf die kognitiven Leistungsfähigkeiten stark von einer Vielzahl von Faktoren abhängen. Diese Effekte scheinen für körperlich fitte Probanden (nach den Richtlinien des American College of Sports Medicine, 2010) und körperlicher Aktivität ab 20 Minuten Dauer am größten zu sein. Die Intensität der körperlichen Aktivität muss dabei hoch genug sein, um physiologische Veränderungen der Kognition hervorrufen zu können.

Der Literaturüberblick von Hötting und Röder (2013) zeigt die Einigkeit über die vorteilhaften Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die Neuroplastizität bestimmter Gehirnareale und die damit einhergehende kognitive Leistungssteigerung auf. Der Großteil an Studien befasst sich hierzu mit mittelalten und älteren Erwachsenen. Sowohl in Tierversuchen als auch in Studien mit Menschen

konnten einige Wirkungsmechanismen (z. B. Neurotrophine, Angiogenese und Neurogenese) wissenschaftlich belegt werden. Körperlich aktivere Senioren reduzieren beispielsweise das Risiko an Demenz zu erkranken im Vergleich zu sitzenden Gleichaltrigen. Die Autorinnen verweisen jedoch auf die Problematik des kausalen Zusammenhangs. Zwar können Längsschnittstudien die Aussagen über den Zusammenhang der untersuchten Variablen im Vergleich zum Querschnittsdesign verbessern, lassen jedoch auch keine gesicherten Aussagen über den Grund einer Veränderung zu. Lediglich Interventionsstudien mit experimentellem Forschungscharakter (randomisierte Interventions- und Kontrollgruppen) lassen gesicherte kausale Aussagen zu. Als "main types of intervention studies" (Hötting & Röder, 2013, S. 2245) werden Untersuchungen zu den akuten bzw. chronischen Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit beschrieben. Des Weiteren existieren große Unterschiede bei Interventionsstudien bezüglich deren Dauer (Wochen bis Jahre), sowie bezüglich Art (z. B. Laufen, Fahrradfahren, Schwimmen) und Intensität der körperlichen Aktivität. Da der kardiovaskuläre Fitnesszustand der Probanden einen starken Einfluss auf die Kognition hat, scheint vor allem dessen Steigerung einen positiven Effekt auf die kognitive Leistungsfähigkeit in allen Altersklassen hervorzurufen (Hötting & Röder, 2013).

Die jüngste Meta-Analyse zu den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die Kognition befasst sich mit 24 Studien und ist auf exekutive Funktionen von Kindern (6-12 Jahre), Jugendlichen (13-17 Jahre) und jungen Erwachsenen (18-35 Jahre) beschränkt (Verburgh et al., 2014). Die Autoren unterteilen die Forschungslandschaft dabei in Untersuchungen zu den akuten bzw. chronischen Auswirkungen körperlicher Aktivität. Für alle drei Altersgruppen berichten die Autoren signifikante akute Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die exekutiven Funktionen (*Cohen's d*=.52, $p<.001$). Den fehlenden Effekt längerfristiger (chronischer) körperlicher Aktivität auf die exekutiven Funktionen ($d=.14$, $p=.19$) begründen Verburgh et al. (2014) mit der geringen Studienanzahl ($N=5$). Dennoch schlussfolgern die Autoren, dass vor allem exekutive Funktionen durch körperliche Aktivität bis zum dreißigsten Lebensjahr gut beeinflussbar sind. Dies hängt hauptsächlich mit der neuronalen Entwicklung bis zum dreißigsten Lebensjahr zusammen (Verburgh et al., 2014).

Mögliche Moderatoren des akuten Zusammenhangs von körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit sind: (1) Dauer der körperlichen Aktivität, (2) Intensität der körperlichen Aktivität, (3) Typ der erfassten kognitiven Leistungsfähigkeit und (4) Fitness der Stichprobe (Chang et al., 2012). Des Weiteren können die Erfahrung der Stichprobe und das kognitive Messverfahren den Zusammenhang beeinflussen (Tomporowski, 2003b). Beispielsweise werden nach Chang et al. (2012) Konzentration ($p<.05$; *Cohen's d*=.416; $N_c=7$) und exekutive Funktionen ($p<.001$) der Probanden signifikant durch körperliche Aktivität verbessert. Verbale Flüssigkeit ($p<.05$; $d=.314$; $N_c=38$) und Entscheidungsfindung ($p<.05$; $d=.300$; $N_c=44$) sind zwei durch körperliche Aktivität gut zu beeinflussende exekutive Funktionen. Beim Gedächtnis ($p<.001$) weist das verbale Arbeitsgedächtnis einen geringen positiven Effekt auf ($d=.072$; $N_c=30$) (Chang et al., 2012).

Die hier dargestellten Meta-Analysen und Reviews verdeutlichen die Komplexität des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit. Dabei können folgende Einflussfaktoren des Zusammenhangs identifiziert werden:

- Main areas, d.h. akute oder chronische körperliche Aktivität
- Dauer der körperlichen Aktivität
- Art der körperlichen Aktivität
- Intensität der körperlichen Aktivität
- Alter der Probanden
- Geschlecht der Probanden
- Körperlicher Fitnesszustand der Probanden
- Art der gemessenen kognitiven Fähigkeit bzw. Typ des kognitiven Tests
- Zeitpunkt der Durchführung des kognitiven Tests in Abhängigkeit der körperlichen Aktivität (während/im Anschluss an die körperliche Aktivität)

Eine systematische Darstellung des aktuellen Forschungsstands in Anlehnung an diese Einflussfaktoren erscheint daher sinnvoll. Trotz fehlender Erkenntnisse zu den Details des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit, werden nachfolgend die Wirkungsmechanismen des Zusammenhangs diskutiert sowie einige davon betroffenen Gehirnareale vorgestellt.

3.1 Schwerpunkte des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit

Die Forschungslandschaft zum Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiven Funktionen lässt sich in zwei Schwerpunkte bzw. "main areas" (Pesce, 2009, S. 213) unterteilen: die Auswirkungen von akuter (während oder unmittelbar nach der körperlichen Aktivität) und chronischer (durch regelmäßige körperliche Aktivität über mehrere Woche bzw. gesteigerte Fitness) körperlicher Aktivität auf die Kognition (Brisswalter, Collardeau & René, 2002; Hötting & Röder, 2013; Kubesch, 2014b; Pesce, 2009). Dabei konnten diverse Meta-Analysen und Reviews die positiven Auswirkungen sowohl chronischer als auch akuter körperlicher Aktivität auf kognitive Fähigkeiten nachweisen (Antunes et al., 2006; Chang et al., 2012; Hötting & Röder, 2013; Lambourne & Tomporowski, 2010; McMorris et al., 2011; McMorris, Tomporowski & Audiffren, 2009a; Sibley & Etnier, 2003, Tomporowski, 2003a, 2003b).

Studien zu den akuten Auswirkungen körperlicher Aktivität untersuchen die Auswirkungen einer einzelnen Einheit körperlicher Aktivität (meist 10-40 min) (Verburch et al., 2014) und werden häufig mit jungen und alten Erwachsenen als Zielgruppe durchgeführt (Chen, Yan, Yin, Pan & Chang, 2014). Bei chronischer körperlicher Aktivität werden stets körperliche Interventionen über einen längeren Zeitraum hinweg (meist mehrmals wöchentlich für 6- 30 Wochen) durchgeführt und anschließend deren Auswirkung mittels geeigneter Messverfahren festgestellt. Außerdem spielt "cognitive aging" (Pesce, 2009, S. 213) eine zentrale Rolle beim chronischen Zusammenhang.

Im Jahr 1997 konnten Etnier und Kollegen in ihrer Meta-Analyse mit fast 200 Studien lediglich sechs Interventionsstudien finden, die sowohl akute als auch chronische körperliche Aktivität erfassen. Pesce (2009) schließt aus der hohen Effektstärke ($ES=.54$) für dieses gemischte Versuchsdesign, dass eine Interaktion zwischen akuter und chronischer körperlicher Aktivität besteht. Die Meta-Analyse lieferte geringere bis moderate Effektstärken für Untersuchungen mit rein akuten ($ES=.16$) oder chronischen ($ES=.33$) Aktivitäten. Die Art der körperlichen Intervention beeinflusst den Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit signifikant ($p<.001$). Körperlich leistungsfähige Probanden profitieren mehr von einer Sporteinheit als unfitte Probanden (Pesce, 2009, S. 215).

3.1.1 Akute Auswirkungen körperlicher Aktivität

Veränderungen der kognitiven Funktionen im Anschluss an körperliche Aktivität sind seit längerem von wissenschaftlichem Interesse (Tomporowski, 2003b). Die positiven Auswirkungen akuter körperlicher Aktivität konnten bislang in mehreren Literatur-Reviews (Brisswalter et al., 2002; Tomporowski, 2003b) und Meta-Analysen (Chang et al., 2012; Etnier et al., 1997; Lambourne & Tomporowski, 2010; Verburch et al., 2014) nachgewiesen werden. Chang et al. (2012) schlussfolgern aus 79 Studien einen kleinen positiven generellen Effekt von akuter körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit ($p<.001$; Cohen's $d=.097$;

$N_o=1034$). Verburgh et al. (2014) berichten ebenfalls einen signifikanten generellen Effekt von akuter körperlicher Aktivität auf die exekutiven Funktionen im Alter zwischen sechs und fünfunddreißig Jahren aus 19 Studien ($p<.001$, $d=.52$). Neben dem d2-Test wurden unter anderem auch Stroop Test und Working memory span tasks zur Erfassung der kognitiven Leistungsfähigkeit eingesetzt. Das Alter der Probanden hat dabei keinen Einfluss auf den Zusammenhang. Vor allem die Domänen Inhibition bzw. Interferenzkontrolle werden im Anschluss an körperliche Aktivität stark verbessert ($p<.001$, $d=.46$). Die für den akuten Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und diversen kognitiven Tests optimale Intensität körperlicher Aktivität liegt nach Brisswalter et al. (2002) zwischen 40-80% der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}). Hochintensives Training ist demzufolge weniger wirkungsvoll. Die Autoren schlussfolgern zudem, dass körperliche Aktivität ab einer Dauer von 20 Minuten (überwiegend aerobe Aktivität) für die Wahrnehmung am wirksamsten ist. Die obere Grenze scheint bei 60 Minuten zu liegen (Tomprowski, 2003b). Demnach überschatten ab dieser Dauer physikalische Ermüdungserscheinungen (z. B. Dehydration) die positiven Effekte körperlicher Aktivität auf die Kognition.

In einer Übersicht beschreibt Pesce (2009) den Einfluss der Messzeitpunkte bei akuter körperlicher Aktivität auf das Testergebnis. Werden die Tests nicht nach der körperlichen Aktivität, sondern bereits währenddessen durchgeführt, beeinflusst körperliche Aktivität die kognitive Leistungsfähigkeit negativ (Chen et al., 2014). Lambourne und Tomporowski (2010) konnten diesen negativen Effekt in ihrer Meta-Analyse ebenfalls nachweisen ($ES=-.14$). Chang et al. (2012) spezifizieren die Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die Kognition, noch weiter: In den ersten zehn Minuten der körperlichen Aktivität besteht ein geringfügiger Zusammenhang ($d=.060$), von Minute 11-20 wirkt sich körperliche Aktivität negativ auf die Kognitionstests aus ($d=-.182$), jedoch ab 20 Minuten Aktivität profitiert die kognitive Leistungsfähigkeit ($d=.261$). Nach einer Stunde überschatten physikalische Ermüdungserscheinungen den positiven Effekt (siehe oben). Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den Ergebnissen von Chen et al. (2014) und Lambourne und Tomporowski (2010), wonach ein kleiner jedoch generell negativer Effekt während körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit besteht. Pesce (2009) berichtet von widersprüchlichen Ergebnissen während körperlicher Aktivität (z. B. Dietrich & Sparling, 2004; Pontifex & Hillman, 2007). Dietrich und Sparling (2004) konnten nachweisen, dass aerobes Laufen auf dem Laufband, als eine nicht-kognitive Aufgabe, trotzdem zu verringerten Ressourcen für die Kognition führt. Während körperlicher Aktivität ist der Zusammenhang demnach noch nicht gesichert, scheint jedoch stark von der betrachteten kognitiven Funktion abhängig zu sein.

Messungen außerhalb dieser körperlichen Aktivitätsphasen zeigen hingegen klare und eindeutige Begünstigungen der Kognition durch körperliche Aktivität (z. B. Chang et al., 2012; Kamijo, Nishihira, Higashiura & Kuroiwa, 2007). Im Anschluss an eine Einheit körperlicher Aktivität profitiert die kognitive Leistungsfähigkeit ($ES=.20$) (Lambourne & Tomporowski, 2010). Der verbesserte Erregungszustand des Körpers führt zu verbesserten Gedächtnisleistungen und schnelleren Denkprozessen. Hillman, Snook und Jerome (2003) konnten nachweisen, dass Erwachsene Informationen direkt im Anschluss an aerobe körperliche Aktivität

schneller erkennen und verarbeiten können als ohne körperliche Aktivität. Dieses Ergebnisse decken sich mit der Meta-Analyse von Chang et al. (2012), wonach die Aufmerksamkeitsleistung im Anschluss an körperliche Aktivität positiv beeinflusst wird ($p < .05$; $d = .416$).

Die Intensität der akuten körperlichen Aktivität und der durchgeführte Kognitionstest (z. B. Finger tapping, Stroop, Simple reaction time, PASAT, Verbal fluency, free recall) sind Moderatoren des Zusammenhangs zwischen akuter körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit (Chang et al., 2012; Kamijo et al., 2007). Abhängig vom Messzeitpunkt (während bzw. direkt im Anschluss zur körperlichen Aktivität oder mit einer kurzen Pause) unterscheiden sich die für den Zusammenhang optimalen Intensitäten beträchtlich. Wird der Kognitionstest während körperlicher Aktivität durchgeführt, wirkt sich die Intensität der körperlichen Aktivität nicht auf das kognitive Messergebnis aus. Dies widerspricht der "invertet-U hypothesis" und den "drive theories" (Chang et al., 2012). Direkt im Anschluss an die körperliche Aktivität werden die besten Messergebnisse bei vorangegangener geringer Intensität erzielt ($p < .05$; $d = .169$) (Chang et al., 2012). Liegt eine Pause zwischen der einmaligen Einheit körperlicher Aktivität und dem Kognitionstest, zeigt die Meta-Analyse von Chang et al. (2012), dass der Zusammenhang zwischen Intensität der körperlichen Aktivität und Effektstärke nicht linear ist: geringe Intensität ($p < .05$; $d = .245$), moderate Intensität ($p < .05$; $d = .202$), hohe Intensität ($p < .05$; $d = .268$) und sehr hohe Intensität ($p < .05$; $d = .465$). EEG-Messungen zeigen die positive Auswirkung akuter körperlicher Aktivität auf die Amplitude und Reaktionszeit des P3-Signals. Nach Kamijo und Kollegen (2007) könnte der Zusammenhang von P3-Amplitude und Intensität der akuten körperlichen Aktivität eine umgekehrte U-Kurve beschreiben. Als Messverfahren wurde hierfür eine modifizierte Version des "flanker task" eingesetzt. Der durch körperliche Aktivität beeinflussbare Erregungszustand wird als Wirkungsmechanismus für die positiven Auswirkungen akuter körperliche Aktivität auf kognitive Funktionen diskutiert (Audiffren, Tomporowski & Zagrodnik, 2008). Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren konnten einen starken Zusammenhang zwischen akuter körperlicher Aktivität mit durchschnittlicher Intensität und dem Arbeitsgedächtnis bzw. der Geschwindigkeiten der Antworten nachweisen (McMorris et al., 2011), jedoch sinkt lediglich die Reaktionszeit (siehe hierzu auch Arcelin, Brisswalter & Delignieres, 1997). Die Genauigkeit der Antworten nimmt laut McMorris und Kollegen (2011) nicht zu. Die Art der körperlichen Aktivität ist für die Auswirkungen auf die Kognition ebenfalls entscheidend. Beispielsweise scheinen Aktivitäten, die eine (wenn auch geringe) Aufmerksamkeitsleistung fordern, zu einer verminderten kognitiven Leistungsfähigkeit während der körperlichen Aktivität zu führen. Lambourne und Tomporowski (2010) konnten nachweisen, dass die Kognition während eines Ausdauerlaufs gemindert ($ES = -.57$), hingegen beim Fahrradfahren leicht gesteigert ($ES = .03$) ist. Sportartspezifische Anforderungen scheinen daher unterschiedliche Aufmerksamkeitsressourcen zu fordern. Kombinationen aus Ausdauer- und Krafttraining weisen die größten positiven Effekte auf die kognitive Leistungsfähigkeit auf ($p < .05$; $d = .371$) (Chang et al., 2012). Rein aerobe körperliche Aktivität beeinflusst die Kognition ebenfalls signifikant, jedoch mit einer geringen Effektstärke ($p < .05$; $d = .096$). Da lediglich neun Studien mit reinem

Krafttraining in die Meta-Analyse von Chang und Kollegen (2012) einfließen, ist der negative Effekt auf die Kognition differenziert zu bewerten ($p < .05$; $d = -.325$). Die Ergebnisse decken sich mit den Untersuchungen von Colcombe und Kramer (2003) zu den längerfristigen Auswirkungen körperlicher Aktivität. Demnach ist die Stimulation mehrerer physiologischer Systeme am effektivsten (Chang et al., 2012).

Der biologische Tagesrhythmus wirkt sich auf den Zusammenhang zwischen akuter körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit aus (Chang et al., 2012). Die Effekte körperlicher Aktivität sind am Morgen ($p < .05$; $d = .436$) größer als am Abend ($d = .164$).

3.1.2 Chronische Auswirkungen körperlicher Aktivität

Die chronischen Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit wurden bislang vor allem mit medizinischem Hintergrund an älteren Erwachsenen untersucht (Colcombe & Kramer, 2003; Etnier et al., 1997). Hötting und Röder (2013) schlussfolgern in ihrem Review, dass diverse Interventionsstudien die positiven Auswirkungen längerfristiger (Wochen bis Monate) körperlicher Aktivität (meist aerober Aktivität, wie z. B. Laufen, Fahrradfahren, Schwimmen oder Walking) auf kognitive Funktionen (z. B. exekutive Funktionen, Gedächtnis und Aufmerksamkeit) nachweisen. Dabei wirkt sich längerfristige aerobe körperliche Aktivität auf die kardiovaskuläre Fitness der Probanden und diese sich wiederum auf die kognitive Leistungsfähigkeit positiv aus. Wenige Monate regelmäßiger körperlicher Aktivität reichen demnach, um die Kognition nachweislich zu fördern (Hötting & Röder, 2013). Zur Erfassung der Aufmerksamkeitsleistung wurde der d2-Test von Brickenkamp (2002) – wie auch in der vorliegenden Untersuchung – eingesetzt. Dieser Test wird auch in der nachfolgenden Studie angewandt. Beispielsweise konnten Hötting et al. (2012) nachweisen, dass zweimal wöchentliches Fahrradfahren nach einem halben Jahr das Gedächtnis von Erwachsenen (Alter: 40-56 Jahre) positiv beeinflusst. Dabei korrelieren episodische Gedächtnisleistung und kardiovaskuläre Fitness der Probanden positiv miteinander. Neben Interventionsstudien, die einen eindeutigen Vorteil von chronischer körperlicher Aktivität für die kognitive Leistungsfähigkeit nachweisen, existieren auch Studien mit qualitativ hochwertigem Forschungsdesign, die keinen Zusammenhang zwischen chronischer körperlicher Aktivität und der Kognition vermuten lassen (McMorris, Tomporowski & Audiffren, 2009b). Insgesamt wurde bislang jedoch bei viele Untersuchungen, die chronische körperliche Aktivität beforschen, ein Querschnittsdesign eingesetzt (Burkhalter & Hillman, 2011; Hillman & Schott, 2013; Verburch et al., 2014).

Die Meta-Analyse von Verburch et al. (2014) zeigt keinen generellen Effekt von chronischer körperlicher Aktivität auf exekutive Funktionen im Alter bis 35 Jahre ($p = .19$, $d = .14$). Allerdings wurden lediglich fünf Studien in diese Untersuchung mit einbezogen. Die heterogenen Ergebnisse verhindern laut Verburch et al. (2014) daher die Signifikanz des möglichen Zusammenhangs. In der einzigen Studie, die sich mit dem chronischen Zusammenhang körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit im jungen Erwachsenenalter befasst, wurde der d2-Test zur

Erfassung der Inhibition eingesetzt. Weitere Untersuchungen hierzu sind notwendig, da vor allem im Kindes- und Jugendalter die Ausbildung und Förderung der exekutiven Funktionen entscheidend ist und die positiven Auswirkungen einer verbesserten aeroben Fitness auf die akademische Leistung bereits bekannt sind (Castelli et al., 2007). Auch Reaktionszeit und mathematisches Denken profitieren von besserer aerober Fitness (Beunen, 1994). Chronische körperliche Aktivität verringert Degenerationsprozesse (Colcombe & Kramer, 2003) und verbessert die Gesundheit (Sibley & Etnier, 2003). Studien mit Tieren zeigen, dass vor allem Gedächtnisprozesse positiv beeinflusst werden können (Hötting & Röder, 2013). Die Schwierigkeiten bezüglich der Auswirkungen der körperlichen Fitness auf die Kognition beschreiben Voelcker-Rehage, Godde und Staudinger (2010) deutlich, indem sie auf den mehrdimensionalen Charakter von Fitness hinweisen: verschiedene Dimensionen der Fitness haben unterschiedliche Auswirkungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit. Demnach sind die Trainingsinhalte (aerobe Ausdauer, Koordination usw.) entscheidend.

Bislang existiert keine wissenschaftliche Theorie zum Zusammenhang längerfristiger körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit (McMorris et al., 2009b, S. 310f). Verschiedene Hypothesen, beispielsweise zum neurologischen Zusammenhang oder die "executive function hypothesis", werden aktuell diskutiert.

Dishman und Kollegen (2006) beschreiben die positiven Auswirkungen chronischer körperlicher Aktivität auf das Gehirn. Vor allem über den Einfluss auf das zentrale Nervensystem soll längerfristige körperliche Aktivität die kognitive Leistungsfähigkeit verbessern sowie Stress abbauen. Emotionaler Stress von Studierenden in Prüfungssituationen lässt sich durch längerfristige aerobe körperliche Aktivität signifikant reduzieren (von Haaren et al., 2015). Nach Hötting und Röder (2013) kann die durch längerfristige aerobe körperliche Aktivität verbesserte kardiovaskuläre Fitness nicht alleine für die positiven Auswirkungen auf die Kognition verantwortlich sein.

Neurogenese und Angiogenese sind ebenfalls Wirkungsmechanismen des chronischen Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiven Fähigkeiten (Verburgh et al., 2014). Um Veränderungen des neuronalen Netzwerks hervorzurufen, ist jedoch längerfristige und regelmäßige körperliche Aktivität notwendig. Verburgh und Kollegen (2014) begründen den geringeren Einfluss chronischer körperlicher Aktivität mit der zeitverzögerten Anpassung neurophysiologischer Strukturen. Dieser erschwert die Messungen und die Nachweisbarkeit des Effekts chronischer körperlicher Aktivität.

3.2 Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit im Lebensverlauf

Das Alter der Stichprobe stellt ein Moderator des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit dar (z. B. Chang et al., 2012; Colcombe & Kramer, 2003). Daher befassen sich diverse Studien in diesem Forschungsbereich mit speziellen Zielgruppen wie beispielsweise Seniorinnen und Senioren (Colcombe & Kramer, 2003; Hötting & Röder, 2013; Kamijo et al., 2009). Vor allem bei Studien zum chronischen Einfluss körperlicher Aktivität auf die Kognition besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen ($p < .001$; Etnier et al., 1997). Der Großteil der Interventionsstudien dieses Fachbereichs untersucht Erwachsene ab 55 Jahren (Hötting & Röder, 2013). Nur wenige Untersuchungen befassen sich mit jungen und mittelalten Erwachsenen und vor allem Studierenden (Voelcker-Rehage & Niemann, 2013).

3.2.1 Kindesalter

Wie in mehreren Meta-Analysen (Colcombe & Kramer, 2003; Etnier et al., 1997; Sibley & Etnier, 2003; Verburch et al., 2014) bislang gezeigt werden konnte, existieren speziell im Kindesalter positive Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die kognitive Kontrolle, die unter anderem für Schulleistungen wichtig sind. Sibley und Etnier (2003) bestätigen die signifikanten positiven Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit im Kindesalter (4-18 Jahre) ($ES = .32$). Die Autoren beziehen dabei 125 Effektstärken aus 44 Studien in ihre Meta-Analyse ein und identifizierten neben dem Alter der Probanden den Typ der gemessenen kognitiven Funktion als Moderator des Zusammenhangs. Vor allem mathematische Fähigkeiten, Gedächtnisfunktionen, Wahrnehmung und verbale Fähigkeiten profitieren laut Sibley und Etnier (2003) von körperlicher Aktivität.

In einem schulbezogenen systematischen Literaturüberblick unterteilen Rasberry et al. (2011) die in insgesamt 50 Studien berichteten "251 associations between physical activity and academic performance, representing measures of academic achievement, academic behavior, and cognitive skills and attitudes" (Rasberry et al., 2011, S. 10) hinsichtlich ihrer Auswirkungen. Demnach hat körperliche Aktivität in über der Hälfte der Zusammenhänge (50,5%) positive Auswirkungen auf die gemessene kognitive Fähigkeit bzw. Schulleistung. Lediglich 1,5% der Zusammenhänge zeigen einen negativen Effekt körperlicher Aktivität, und in 48% der Zusammenhänge existieren keine signifikanten Veränderungen durch körperliche Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit bzw. Schulleistung (Rasberry et al., 2011). Pellegrini und Smith (1993) verweisen hingegen auf die fehlenden negativen Auswirkungen durch mehr Bewegung im Schulalltag auf die Kognition. Demnach existiert entweder keine kognitive Veränderung, oder körperliche Aktivität steigert die kognitiven Funktionen der Schulkinder signifikant und verbessert deren Lernverhalten (Pellegrini & Smith, 1993). Selbst wenn keine direkt kognitive Leistungssteigerung durch mehr körperliche Aktivität erzielt werden kann, so wird in jedem Fall die körperliche Gesundheit der Kinder durch

mehr körperliche Aktivität verbessert. Die Autoren sprechen sich daher deutlich für mehr Bewegung im Schulalltag aus.

Systematische körperliche Trainingsprogramme helfen bei der Entwicklung spezifischer mentaler Prozesse und führen somit zu verbesserten Schulleistungen (Burkhalter & Hillman, 2011; Hillman, Kamijo & Scudder, 2011; Tomporowski et al., 2008). Vor allem exekutive Funktionen und deren Entwicklung sind durch körperliche Aktivität im Kindesalter positiv beeinflussbar (Chang et al., 2012; Hillman, Castelli & Buck, 2005; Hillman et al., 2008; Tomporowski et al., 2008; Verburch et al., 2014). Solche körperlichen Trainingsprogramme sind zwar einfache, jedoch wichtige "methods of enhancing aspects of children's mental functioning that are central to cognitive and social development" (Tomporowski et al., 2008, S. 126). Exekutive Funktionen sind unter anderem wichtig für einen Lernzuwachs und Problemlösestrategien von Schülern (Kubesch et al., 2009). Moderater Ausdauerlauf verbessert Inhibition ($F(1,79)=16.45$; $p<.001$, *partielles* $\eta^2=.17$), Arbeitsgedächtnis ($F(1,79)=28.97$; $p<.001$, *partielles* $\eta^2=.27$) und Entscheidungsfindung ($F(1,79)=17.03$; $p<.001$, *partielles* $\eta^2=.17$) bei gesunden Kindern signifikant (Chen et al., 2014). Neben der Konzentrationsleistung profitieren ebenfalls verhaltensorientierte Fähigkeiten und somit wiederum schulische Leistungen von gesteigerter körperlicher Fitness im Kindesalter (Hillman & Schott, 2013). Auch das Literaturreview von Chaddock, Pontifex, Hillman und Kramer (2011) befasst sich mit dem Zusammenhang zwischen aerober Fitness bzw. chronischer körperlicher Aktivität und kognitiven Funktionen bzw. Strukturen des Gehirns im Kindesalter. Die Autoren schlussfolgern, dass eine Verbindung zwischen kindlicher aerober Fitness und hochrangiger Kognition bzw. Unterschieden in Gehirnfunktion und -struktur besteht. Körperlich fittere Kinder weisen verbesserte kognitive Kontrolle und Flexibilität auf und können daher ihre Schulleistungen im Vergleich zu körperlich weniger fitten Gleichaltrigen steigern (Hillman et al., 2011). Vor allem die kortikale Entwicklung von Kindern scheint durch einen aktiven Lebensstil gefördert zu werden (Hillman et al., 2008). In einer Querschnittuntersuchung zeigen Hillman et al. (2005) unter Erfassung der neuronalen Potenziale (EEG Messung), dass Kinder mit guter körperlicher Fitness schneller reagieren als unfitte Kinder. Dies lässt auf bessere Aufmerksamkeitskontrolle und exekutive Funktionen schließen (siehe auch Donnelly & Lambourne, 2011). Chaddock und Kollegen (2010) können ebenfalls einen Zusammenhang zwischen kognitiver Kontrolle und körperlicher Fitness nachweisen. Die Basalganglien sind demnach bei Kindern (9-10 Jahre) mit besserer Fitness größer ausgebildet als bei weniger fitten Kindern. Dies hilft beispielsweise bei Entscheidungsprozessen und willkürlichen Bewegungen (Brown, 1977). In ihrer Interventionsstudie mit übergewichtigen Kindern (Alter: $9,2 \pm 0,8$ Jahre) konnten Davis et al. (2007) nachweisen, dass aerobes Fitnesstraining die kognitive Entwicklung fördert. Nach 15 Wochen bestand ein signifikanter Gruppenunterschied zwischen Kindern mit wenig körperlicher Aktivität (20min/Tag körperliche Aktivität), mehr körperlicher Aktivität (40min/Tag körperliche Aktivität) und keiner körperlichen Aktivität (Kontrollgruppe) ($F(2,88)=3.56$, $\eta^2=.08$, $p=.03$). Kinder, die täglich für 40 Minuten an der Trainingsintervention teilnahmen, waren bei den Planungsaufgaben (Cognitive Assessment System) signifikant besser als die Kontrollgruppe ($t(88)=-2.55$, $p=.01$)

und Kinder mit 20-minütigem Training ($t(88)=-1.98, p=.05$). Ebenfalls Tuckman und Hinkle (1986) sowie Hinkle, Tuckman und Sampson (1993) konnten die positiven Auswirkungen von aerobem Ausdauerlauf auf Teile der exekutiven Funktionen (hier Kreativität) nachweisen.

Kinder, die in den Bereichen Schnelligkeit, Kraft, Koordination und Beweglichkeit höhere motorische Leistungsfähigkeit aufweisen, haben zusätzlich bessere kognitive Grundfunktionen (Voelcker-Rehage, 2005). Sechswöchiges Krafttraining (isometrische Übungen zur Körperstabilisation) führt, im Gegensatz zu körperlicher Inaktivität, bei zwölfjährigen Jungen ($N=40$) zu gesteigerter Intelligenz (Stanford-Binet Intelligence Test, $ES_{exercise}=.86$; $ES_{control}=.13$) und verbesserten sozialen Komponenten (Vineland Social Maturity Scale, $ES_{exercise}=.86$; $ES_{control}=.08$).

Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen die "importance of physical activity and aerobic fitness for maximizing brain health and cognitive function during development" (Chaddock et al., 2011, S. 981). Vor allem in der Schule rückt körperliche Aktivität als Möglichkeit der Gesundheits- und Lernförderung in das Zentrum der Diskussion. Ein körperliches Trainingsprogramm im Anschluss an die Schule für eine Dauer von neun Monaten verbessert die Kontrolle der Aufmerksamkeit und Interferenz bei Kindern (acht bis neun Jahre) (Chaddock-Heyman et al., 2013). Im Gegensatz zu Kindern ohne diese körperliche Aktivität konnten die Kinder, die an dem umfangreichen Trainingsprogramm teilnahmen, ihre Aktivität im präfrontalen Kortex der von jungen Erwachsenen (Studierenden) anpassen.

Hillman und Schott (2013) schlussfolgern „eine Vielzahl an Vorteilen für die gesamte Lebensspanne“ (S. 33) durch körperliche Aktivität im Kindesalter.

Verburgh und Kollegen (2014) konnten in ihrer Meta-Analyse einen großen generellen Effekt von akuter körperlicher Aktivität auf die exekutiven Funktionen im Kindesalter nachweisen ($ES=.52$). Im Vergleich mit anderen Altersklassen, scheinen die exekutiven Funktionen bei Kindern stärker durch einmalige körperliche Aktivität beeinflussbar zu sein (Chen et al., 2014).

Die Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit sowie kognitiver Entwicklung sind auch im Kindesalter bislang nicht näher bekannt. Ein Grund dafür könnten die fehlenden Interventionsstudien mit dieser Altersklasse sein. Der Großteil der in ihrem Literaturüberblick berichteten Studie wurde in einem deskriptiven Forschungsdesign ($N=22$) durchgeführt (Rasberry et al., 2011). Lediglich 11 Studien weisen ein experimentelles und 17 Studien ein quasi-experimentelles Design auf (Rasberry et al., 2011).

Insgesamt kann geschlussfolgert werden, dass vor allem höherrangige kognitive Funktionen von körperlicher Aktivität, sowohl akut als auch chronisch, im Kindesalter profitieren (Colcombe & Kramer, 2003; Etnier et al., 1997; Sibley & Etnier, 2003; Verburgh et al., 2014). Dabei scheinen Typ, Dauer und Intensität der körperlichen Aktivität einen Einfluss auf diesen Zusammenhang zu haben. Beispielsweise wirkt sich zwölf- bzw. achtwöchiges aerobes Lauftraining positiv auf die Kreativität aus (Hinkle et al., 1993; Tuckman & Hinkle, 1986). Die WHO empfiehlt aktuell "at least 60 minutes of moderate - to vigorous-intensity physical activity daily" (WHO, 2011, S. 1) für Heranwachsende (5-7 Jahre). Um das

neuronalen Netzwerk zu beeinflussen reicht nach Hollmann (2000) täglich mindestens einmal körperliche Aktivität mit einer Intensität von 60% der individuellen körperlichen Leistungsfähigkeit sein.

3.2.2 Jugendliche

Die Zielgruppe der Jugendlichen in der Adoleszenz wurde bislang wenig beachtet, rückt nach Verburgh et al. (2014) jedoch vermehrt in den Mittelpunkt der Forschung. Die positiven Auswirkungen körperlicher Aktivität konnten auch bei dieser speziellen Zielgruppe bereits nachgewiesen werden (Best, 2010; Tomporowski et al., 2008). Die teils widersprüchlichen Befunde sind unter anderem durch unterschiedliche Entwicklungsstadien aufgrund des Probandenalters und fehlende sensitive Testverfahren zu begründen (Tomporowski et al., 2008).

Die Meta-Analyse von Brown et al. (2013) kann einen signifikanten, wenn auch geringen, positiven Effekt von körperlicher Aktivität auf die Prävention und Behandlung von Depression bei Jugendlichen (12-19 Jahre) schlussfolgern. Sieben Interventionsstudien mit dieser Altersgruppe zeigen deutlich die geringe Anzahl an Studien mit Jugendlichen, können jedoch eine mittlere Effektstärke von *Hedge's g* = -.288 nachweisen.

Die positiven Auswirkungen von körperlicher Fitness auf die exekutive Kontrolle von 13 und 14 Jährigen konnten Stroth et al. (2009) in einem "controlled cross-over study design" (S. 114) nachweisen. Die Autoren teilen die Probanden ($N=35$, Alter: $14,2 \pm 0,5$ Jahre) in eine "higher-fit" ($N=17$; maximale Leistung bei Stufentest auf dem Fahrradergometer $P_{max}=167,6 \pm 32,7$ Watt) und "lower-fit" ($N=16$, $P_{max}=140,6 \pm 25,6$ Watt) Gruppe ein und ermitteln mithilfe von ereigniskorrelierten Potenzialen (siehe S. 35) deren Aufmerksamkeitsleistung und exekutive Kontrolle. Die Ergebnisse zeigen eine signifikant größere CNV-Amplitude ($F(1,31)=4.74$, $p<.04$) der fitten Probanden und eine signifikant kleinere N2-Amplitude der frontalen Elektroden bei fitten im Vergleich zu weniger fitten Probanden ($F(1,31)=5.16$, $p<.04$). Zusätzlich wurde eine Einheit körperlicher Aktivität (20 min Fahrradfahren) durchgeführt. Diese hat keinen akuten Einfluss auf die Testergebnisse der Untersuchung (Stroth et al., 2009).

3.2.3 Junge Erwachsene

Untersuchungen mit jungen und gesunden Erwachsenen sind rar (Hötting & Röder, 2013) und zeigen bislang noch keinen klaren Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit auf (Stroth et al., 2009).

Derzeit sind vor allem die akuten Auswirkungen einer körperlichen Aktivität auf einzelne kognitive Teilprozesse von wissenschaftlichem Interesse (Tomporowski, 2003a). Van Praag et al. (1999) konnten in Tierversuchen nachweisen, dass im jungen Erwachsenenalter die Anzahl der Neuronen im Hippocampus durch körperliche Aktivität gesteigert werden kann. Die jüngste Meta-Analyse von Verburgh et al. (2014) zeigt einen mittleren positiven Effekt von akuter körperlicher Aktivität auf die exekutiven Funktionen (Effektstärke Cohen's $d=.52$, $p<.0001$) und

deckt sich mit den Ergebnissen von Chang und Kollegen (2012). Vor allem in der Voradoleszenz ($d=.57$, $p<.05$) und bei jungen Erwachsenen ($d=.54$, $p<.05$) sind die Auswirkungen auf die exekutiven Funktionen signifikant (Verburgh et al., 2014). Die Aufmerksamkeitszuweisung von jungen Erwachsenen ($N=12$; \bar{X} Alter: $25,7 \pm 0,7$ Jahre) erhöht sich direkt im Anschluss an leichtes und moderates aerobes Fahrradfahren (Kamijo et al., 2007). Da Fahrradfahren mit hoher Intensität diesen Vorteil jedoch nicht zeigt, gehen die Forscher von einem "inverted U"-Zusammenhang (Kamijo et al., 2007, S. 114) von P3-Amplitude und Intensität der körperlichen Aktivität aus. Neben dem Stroop-Test wird in der Meta-Analyse mehrfach vom Einsatz des d2-Tests nach Brickenkamp (2002) zur Erfassung der exekutiven Funktionen berichtet (Verburgh et al., 2014). Lambourne und Tomporowski (2010) diskutieren in ihrer Meta-Analyse aus 40 Studien mit mehreren Messzeitpunkten ebenfalls den akuten Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit. Im Anschluss an körperliche Aktivität bestehen demnach signifikante positive Auswirkungen auf die Kognition (Cohen's $d=.20$), wohingegen während der körperlichen Aktivität die kognitive Leistungsfähigkeit sinkt ($d=-.14$). Die Autoren können neben dem Zeitpunkt und Art des Kognitionstest ebenfalls Dauer und Intensität der körperlichen Aktivität sowie das Studiendesign als Moderatoren des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit identifizieren.

Die Möglichkeiten zur Verbesserung der kognitiven Leistungsfähigkeit im jungen Erwachsenenalter durch regelmäßige (chronische) körperliche Aktivität wurden bisher kaum erforscht (Etnier et al., 2006; Hansen, Johnsen, Sollers, Stenvik & Thayer, 2004; Hillman et al., 2008; Pérez et al., 2014). Die Meta-Analyse von Verburgh und Kollegen (2014) kann keinen signifikanten Zusammenhang zwischen chronischer körperlicher Aktivität und den exekutiven Funktionen nachweisen. Die geringe Anzahl der betrachteten Interventionsstudien ($N=5$) verringert jedoch die Aussagekraft der Analyse.

Als Grund für die geringe Untersuchungsdichte in dieser Altersklasse wird von Salthouse und Davis (2006) sowie Lambourne et al. (2010) und Bialystok, Craik und Luk (2012) das – über die gesamte Lebensspanne gesehen – kognitive Leistungsmaximum junger Erwachsener genannt. Ein weiteren Grund für die fehlenden Nachweise des positiven Effekts körperliche Aktivität auf die exekutiven Funktionen bei jungen Erwachsenen nennt Burgess (1997) die Komplexität der exekutiven Funktionen in diesem Alter. Stroth et al. (2009) kritisieren, dass die Feststellung von kognitiven Defiziten durch zu einfache kognitive Leistungstests erschwert wird und somit eine mögliche, durch körperliche Aktivität hervorgerufene Verbesserung nicht nachgewiesen werden kann. Zur Erfassung der Aufmerksamkeitsleistung setzten die Autoren in ihre Interventionsstudie daher den d2-Test von Brickenkamp (2002) ein. Demzufolge lassen sich bei jungen Erwachsenen messbare Verbesserungen der kognitiven Funktionen durch körperliche Aktivität schwieriger hervorrufen als bei Kindern oder Senioren. Ein weiteres Hindernis bei Untersuchungen mit jungen Erwachsenen ist häufig deren unvollständiger Entwicklungsstand. Nach Verburgh et al. (2014) dauert die Reifung des Gehirns bis ins junge Erwachsenenalter (18-35 Jahre) an. Sowohl graue als auch weiße Materie entwickeln sich bis zum dreißigsten Lebensjahr weiter (Lebel,

Walker, Leemans, Phillips & Beaulieu, 2008).

Dennoch haben einige Interventionsstudien gezeigt, dass sowohl bei jungen als auch bei älteren Erwachsenen ein positiver Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit (vor allem Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Arbeitsgedächtnis, einfache Reaktionszeit und Prozessgeschwindigkeit) besteht (Hillman et al., 2003; Kamijo et al., 2009; Newson & Kemps, 2008; Stroth et al., 2010; Themanson & Hillman, 2006; Yagi, Coburn, Estes & Arruda, 1999). Zudem schnitten in einer Studie von Newson und Kemps (2008) trainierte Erwachsene, unabhängig von ihrem Alter (18-30 Jahre und über 65 Jahre), in den Bereichen Arbeitsgedächtnis, einfache Reaktionszeit und Aufmerksamkeit signifikant besser ab als untrainierte Gleichaltrige. Des Weiteren wirkt sich chronische körperliche Aktivität positiv auf die exekutiven Funktionen von jungen Erwachsenen aus (Kamijo et al., 2009; Kamijo et al., 2011). In einer Interventionsstudie mit 64 gesunden jungen Erwachsenen (Alter: $24,12 \pm 3,26$ Jahre; 38 Frauen) können Pérez et al. (2014) den selektiven positiven Effekt von körperlicher Aktivität auf das exekutive Netzwerk der Aufmerksamkeit nachweisen. Dabei beziehen sich die Autoren auf die Dreiteilung des Aufmerksamkeitssystems nach Petersen und Posner (2012). Die Ergebnisse zeigen, dass junge Erwachsene, die in den letzten zehn Jahren mindestens sechs Stunden pro Woche Ausdauersport betrieben, in Teile des Aufmerksamkeitstests ANT (Attention Network Test) signifikant besser abschnitten als körperlich inaktive Gleichaltrige (d.h. in den vergangenen vier Jahren maximal zwei Stunden pro Woche körperlich aktiv waren). Die Autoren nennen neben Neurotrophinen auch Angiogenese, Neurogenese und die Zunahme an Gehirnvolumen im präfrontalen Kortex als mögliche Gründe für die positiven Auswirkungen aerober körperlicher Aktivität. Die verbesserte exekutive Kontrolle kann den jungen Erwachsenen beim Lernen und bei der Steigerung der Schulleistungen helfen (Pérez et al., 2014).

Insgesamt besteht jedoch ein Forschungsdesiderat bezüglich der Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit bei jungen Erwachsenen. Vor allem Interventionsstudien zu den chronischen Auswirkungen körperlicher Aktivität mit Kontrollgruppe sind rar (z. B. Verburch et al., 2014).

3.2.4 Erwachsene

Colcombe und Kramer (2003) zeigen in ihrer Meta-Analyse, dass sowohl ein genereller als auch ein spezifischer Effekt von körperlicher Aktivität auf die Kognition bei älteren Erwachsenen (ab 55 Jahren) existiert. Vor allem profitieren auch mit zunehmendem Alter die exekutiven Funktionen von mehr körperlicher Aktivität (Tomprowski et al., 2008). Dies ist auf die Hypothese des regionalen spezifischen Effekts zurückzuführen, welche besagt, dass eine verbesserte Vernetzung der Gehirnbereiche, an denen exekutive Funktionen verortet sind (präfrontaler und temporaler Kortex), zu einer verbesserten Funktionsweise dieser exekutiven Funktionen führt (Erickson, 2012). Körperlich fitte Erwachsene weisen in "cross-sectional" Studien besser ausgeprägte exekutive Teilfunktionen und kürzere Reaktionszeiten auf als überwiegend sitzende Gleichaltrige (Hillman, Belopolsky, Snook, Kramer & McAuley, 2004).

Dustman et al. (1990) zeigen, dass junge und ältere Männer abhängig vom Zustand ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit unterschiedliche Werte beim Elektroenzephalogramm (EEG) aufweisen. Ein hohes $VO_2\max$ -Level geht demnach mit kürzeren Latenzzeiten des visuell evozierten Potenzials einher ($F=6.0, p<.02$). Fittere junge (20-31 Jahre) sowie ältere Erwachsene (50-62 Jahre) schnitten in den Kognitionstests (Sternberg reaction time, Stroop Color Interference, Symbol Digit Modalities und Trails B) signifikant besser ab als ihre weniger fitten Gleichaltrigen ($F=6.8, p<.02$).

Derzeit existieren wenige Interventionsstudien speziell mit mittleren und älteren Erwachsenen, verglichen mit Senioren. Der Aspekt der kognitiven Degeneration und die Möglichkeiten von körperlicher Aktivität, dem entgegenzuwirken, gewinnen zunehmend an Wichtigkeit.

3.2.5 Senioren

Mit zunehmendem Alter setzt der allgemeine altersbedingte Abbau kognitiver Leistungsfähigkeit ein (Newson & Kemps, 2008). Es besteht Einigkeit über die positiven Auswirkungen von regelmäßiger körperlicher Aktivität im Verlauf des Lebens auf die Kognition allgemein (Hötting & Röder, 2013) und die präventive Wirkung bezüglich vieler Krankheiten im Speziellen (Haskell et al., 2007).

Colcombe und Kramer (2003) konnten in ihrer Meta-Analyse zeigen, dass Seniorinnen und Senioren ab 66 bis 70 Jahre ($N_{Studien}=37; p<.01; ES=.693$) signifikant stärker von chronischer körperlicher Aktivität profitieren als alte Menschen (71-80 Jahre; $N_{Studien}=33; p<.01; ES=.549$) und ältere Erwachsene (55-65 Jahre; $N_{Studien}=52; p<.01; ES=.41$). Gehirnstrukturen und vor allem exekutive Funktionen, wie beispielsweise Kontrollprozesse, Prozessgeschwindigkeiten, Planung, Inhibition und visuelle Aufmerksamkeit, können durch körperliche Aktivität im Alter verbessert werden. Kognitive Degenerationsprozesse können somit angehalten oder zumindest verlangsamt werden. Die Autoren untersuchten 18 Interventionsstudien zwischen 1966 und 2001 mit gesunden, aber häufig sitzenden Senioren. Vor allem Trainingsprogramme, die aus einer Kombination

von Kraft- und Ausdauertraining bestehen ($p < .05$; $g = .59$) und eine Dauer von über sechs Monate haben ($p < .05$; $g = .67$), sind am effektivsten. Diese Ergebnisse decken sich mit Erkenntnissen aus Tierversuchen.

Mehrere Meta-Analysen und Interventionsstudien konnten einen kausalen Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und einem Anstieg kognitiver Leistungsfähigkeit bei älteren Erwachsenen nachweisen (u. a. Gomez-Pinilla & Hillman, 2013; Kamijo et al., 2009; Verburch et al., 2014).

Bei acht von elf untersuchten Studien hängen die durch aerobe körperliche Aktivität verbesserte körperliche Fitness und gesteigerte kognitive Fähigkeiten zusammen (Angevaren, Aufdemkampe, Verhaar, Aleman & Vanhees, 2008). Der stärkste Zusammenhang besteht demnach zwischen körperlicher Aktivität und motorischen Funktionen (Effektstärke $ES = 1.17$) bzw. akustischer Aufmerksamkeit ($ES = .50$). Die Geschwindigkeit der kognitiven Prozessgeschwindigkeit und die visuelle Aufmerksamkeit werden ebenfalls durch die verbesserte Fitness positiv beeinflusst (jeweils $ES = .26$). Der Großteil der untersuchten kognitiven Funktionen bleibt jedoch durch regelmäßige körperliche Aktivität unverändert. Gomez-Pinilla und Hillman (2013) heben in ihrem Review ebenfalls die verbesserte Aufmerksamkeitszuweisung und dadurch verkürzte Reaktionszeiten bei fitten Personen hervor.

Vor allem körperliche Aktivität zur Verbesserung der Fitness wirkt sich positiv auf neurologische und psychische Erkrankungen aus (Erickson, 2012). Beispielweise scheint die Erhöhung des Gehirnvolumens durch körperliche Aktivität bei Alzheimer zu helfen. Davis und Lambourne (2009) zitieren Larson und Kollegen (2006), welche feststellen, dass regelmäßige und längerfristige körperliche Aktivität – wie beispielsweise Walking – das Risiko, an Demenz zu erkranken, reduzieren kann. Aerobe Fitness verringert die altersbedingte Degeneration kognitiver Funktionen (Gomez-Pinilla & Hillman, 2013).

Kramer und Kollegen (1999) konnten in ihrer Studie mit 124 Senioren (Alter: 60-75 Jahre; vorher überwiegend sitzende Tätigkeiten) zeigen, dass aerobes Training (3 Tage/Woche für je 45min Walking) nach einem halben Jahr die exekutive Kontrolle der Probanden mehr verbessert als Krafttraining (Dehnen und Muskeltraining) (leider berichten die Autoren keine detaillierten Daten bzw. Statistik). Verbesserte aerobe Fitness scheint demnach Teile der Kognition positiv zu beeinflussen. Ähnliche Ergebnisse zeigen Voelcker-Rehage et al. (2010) im hohen Alter auf: Exekutive Kontrolle kann durch gesteigerte physische und motorische Fitness verbessert werden, wohingegen lediglich die motorische Fitness einen positiven Einfluss auf die Wahrnehmungsgeschwindigkeit älterer Menschen hat.

Der Abbau der kardiovaskulären Funktionen im Alter führt zu einem Rückgang der Sauerstoffversorgung und somit zu einem kognitiven Abbau (Antunes et al., 2006). Körperliche Aktivität kann diesen Rückgang verlangsamen bzw. aufhalten und eine kognitive Reserve für das Alter schaffen.

3.3 Auswirkungen unterschiedlicher körperlicher Trainingsformen auf die kognitive Leistungsfähigkeit

Die Art und Intensität der körperlichen Aktivität beeinflussen den Effekt der körperlichen Aktivität auf die Kognition (Chang et al., 2012; McMorris et al., 2011; Tomporowski, 2003b). Eine differenzierte Betrachtung der Unterschiede zwischen verschiedenen körperlichen Trainingsformen ist daher notwendig.

Körperliche Aktivität ist ein breiter Begriff und kann bezüglich der Kriterien "frequency, intensity, time and type (FITT)" (Sallis & Owen, 1999, S. 71) eingeteilt werden. Wird die Intensität der körperlichen Aktivität verändert, ändern sich unter anderem die Energiegewinnungswege, weshalb die Sportwissenschaft körperliche Aktivität in aerobe sowie anaerobe körperliche Aktivität unterteilt. Dieser grundlegende Unterscheid hat einen großen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit (Chang et al., 2012; Hötting & Röder, 2013; McMorris et al., 2011; Tomporowski, 2003b).

Die Intensität der körperlichen Aktivität hat signifikante Auswirkungen auf den Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit (Chang et al., 2012). Werden die Kognitionstest direkt im Anschluss an die körperliche Aktivität durchgeführt, weist körperliche Aktivität mit geringer Intensität die größten Effekte auf ($p < .05$; $d = .169$).

Wird zwischen körperlicher Aktivität und Kognitionstest eine Ruhepause (meist mehrere Minuten bis wenige Stunden) eingeschoben, so ist der Effekt am größten, wenn die vorangegangene körperliche Aktivität mit sehr hoher Intensität durchgeführt wurde ($p < .05$; $d = .465$). Im Vergleich weisen körperliche Aktivitäten mit geringer ($p < .05$; $d = .245$), moderater ($p < .05$; $d = .202$) und hoher Intensität ($p < .05$; $d = .268$) ebenfalls signifikante Auswirkungen jedoch mit geringeren Effektstärken als hochintensive Aktivität auf (Chang et al., 2012).

Die Analyse unterschiedlicher Interventionsdauern chronischer körperlicher Aktivität im Erwachsenenalter (55-80 Jahre) ergibt einen unerwarteten, da nicht linearen, Zusammenhang zwischen Dauer der körperlicher Aktivität und der Verbesserung der Kognition (Colcombe & Kramer, 2003). Lange Interventionen ab sechs Monaten ($N = 27$; $p < .01$; $ES = .674$) wirken sich signifikant effektiver auf die kognitive Leistungsfähigkeit aus als kurze ($N = 38$; $p < .01$; $ES = .522$) und vor allem mittellange Interventionen ($N = 36$; $p < .01$; $ES = .269$) (Colcombe & Kramer, 2003).

Bezüglich der Dauer der einzelnen Trainingseinheiten hat moderate Dauer (31-45 min; $N = 24$; $p < .01$; $ES = .614$) einen signifikant größeren Effekt auf die Kognition als kurze (15-30 min; $N = 11$; *n.s.*; $ES = .176$) und lange (46-60 min; $N = 53$; $p < .01$; $ES = .466$) Trainingseinheiten (Colcombe & Kramer, 2003).

In der Fachliteratur zum Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit sind vorrangig Studien zu Sportarten zitiert, die standardisiert durchgeführt werden und somit überprüfbar sind. Radfahren auf dem Fahrradergometer und Laufen auf dem Laufband werden am häufigsten angewandt. Neben Ausdauersport und Krafttraining stehen neuerdings auch die Auswirkungen von Koordinationstraining auf die Kognition im Fokus der Wissenschaft (Etnier et al., 2006; Voelcker-Rehage, Godde & Staudinger, 2011).

Ein Literaturüberblick von Hötting und Röder (2013) zeigt, dass unterschiedliche Arten körperlicher Aktivität die kognitive Leistungsfähigkeit auf unterschiedliche Weise beeinflussen. Aerobes und anaerobes Training, sowie Koordinations-training "affect different neuro-cognitive networks" (Hötting & Röder, 2013, S. 2248). Auch Voelcker-Rehage und Niemann (2013) können in ihrem Review zeigen, dass sowohl koordinatives als auch metabolisches Training die kognitive Leistungsfähigkeit beeinflusst. Daher werden im Folgenden spezifische Auswirkungen einiger unterschiedlicher Arten körperlicher Aktivität dargestellt.

3.3.1 Aerobes und anaerobes Training

Die ausführliche Meta-Analyse von Chang und Kollegen (2012) zeigt deutlich, dass sich der Großteil aller Interventionsstudien mit sehr leichter bis moderater körperlicher Aktivität befasst. Von insgesamt 398 Studien werden bei 53 Studien mit sehr leichter Intensität (13,3%), 231 Studien mit leichter Intensität (58,0%) und 49 Studien mit moderater Intensität (12,3%) die Kognitionstests während der körperlichen Aktivität durchgeführt. Bei Studien mit Testzeitpunkt direkt nach der Einheit körperlicher Aktivität ist die Intensität am häufigsten moderat ($N=145$, 36,5%) und bei 139 Studien (35,0%) sehr leicht bzw. leicht. Körperliche Aktivitäten mit sehr hohen bzw. hohen Intensitäten ($N=70$, 17,6%) werden häufiger eingesetzt als solche mit maximalen Intensitäten ($N=20$, 5,0%).

Untersuchungen mit Ruhepause zwischen körperlicher Aktivität und Kognitionstest werden am häufigsten mit sehr geringer körperlicher Intensität durchgeführt ($N=88$, 40,4%). Lediglich eine der über 200 betrachteten Studien mit diesem Untersuchungsdesign wurde mit maximaler körperlicher Intensität durchgeführt (Chang et al., 2012).

Bezüglich der Wirksamkeit von Einheiten körperlicher Aktivität mit unterschiedlicher Intensität schlussfolgern Chang und Kollegen (2012), dass Kognitionstests direkt im Anschluss an die körperliche Aktivität vor allem durch sehr leichte, leichte und moderate Intensitäten am stärksten verbessert werden. Bereits nach einer Minute Pause hat sehr geringe körperliche Aktivität jedoch keinen messbaren Effekt mehr. Sehr intensive körperliche Aktivität scheint vor Pausen am effektivsten zu sein ($N=20$; $p<.05$; $d=.465$) (Chang et al., 2012). Die Autoren schlussfolgern, dass dieser Zusammenhang auf physiologische Wirkungsmechanismen (Herzfrequenz, BDNF und Katecholamine) zurückzuführen ist. Diese werden in der vorliegenden Arbeit (siehe Abschnitt 3.6, S. 85ff) diskutiert.

Aerobe körperliche Aktivität wirkt sich wenn kurzfristig (eine Einheit) und längerfristig (mehrere Einheiten aerober körperlicher Aktivität über einen längeren Zeitraum) betrieben auf die Kognition aus (Hötting & Röder, 2013). Dabei verbessert chronische aerobe Aktivität (z. B. Ausdauerlauf oder Fahrradfahren) die kardiovaskuläre Fitness, die einen größeren Einfluss auf die Kognition hat als die Art der körperlichen Intervention (Hötting & Röder, 2013). Im präfrontalen Kortex von Senioren vergrößert aerobe körperliche Aktivität (aerobes Fitness Training) die weiße und graue Materie (Colcombe et al., 2006). Die Meta-Analyse von Smith et al. (2010) schlussfolgert aus 29 Studien mit mindestens einem Monat aerober körperlicher Aktivität, dass diese einen signifikanten Effekt auf die Kognition

besitzt. Vor allem werden Aufmerksamkeit und Prozessgeschwindigkeit (*Hedge's* $g=.158$, $p=.003$), exekutive Funktionen ($g=.123$, $p=.018$) und Gedächtnis ($g=.128$, $p=.026$) gefördert.

Ein Literaturüberblick von Tomporowski (2003b) zeigt, dass Vermutungen, wonach ein Abfall kognitiver Leistungsfähigkeit im Anschluss an maximale anaerobe körperliche Aktivität existiert, nicht haltbar sind. Zwar steigt der Erschöpfungszustand der Probanden durch die intensive Belastung, jedoch erholt sich der Körper ausreichend schnell von den relativ kurzen und intensiven Belastungen.

Die Meta-Analyse von Colcombe und Kramer (2003) zeigt, dass eine Kombination aus Kraft- und Ausdauertraining ($N=49$; $p<.01$; $ES=.59$) die Kognition von Erwachsenen (ab 55 Jahren) signifikant stärker verbessert als reines kardiovaskuläres Training ($N=52$; $p<.01$; $ES=.41$). Dies lässt vermuten, dass Sportarten mit wiederkehrenden Wechseln der Intensitäten (beispielsweise azyklische Spieldauer beim Fußball) oder Sportarten, die den gesamten Körper mit hohem Krafteinsatz beanspruchen (beispielsweise le Parkour), anders wirken als zyklische Sportarten mit Großteils konstanter Intensität (beispielsweise Ausdauerlauf). Auch Chang und Etnier (2009) machen die positive Auswirkungen von akutem Krafttraining auf "automatic cognitive processes and [on] particular types of executive function in middle-aged adults" (Chang & Etnier, 2009, S. 19) deutlich. Der positive Effekt von Krafttraining bzw. Training mit mittlerer bis hoher Intensität auf die Prozessgeschwindigkeit und vor allem exekutive Funktionen konnte bestätigt werden (Etnier & Chang, 2013)

3.3.2 Koordinationstraining

Die positiven Auswirkungen von komplexen Bewegungsausführungen auf neuronale Prozesse von Seniorinnen und Senioren konnten Voelcker-Rehage et al. (2011) nachweisen. Koordinationstraining verbessert demnach die Leistung bei visuellen Aufgaben stärker als Entspannungsübungen oder Dehnen. Dabei spielt die Stimulation verschiedener neuronaler Netzwerke eine zentrale Rolle (Hötting & Röder, 2013).

Die Auswirkungen von Koordinationstraining (10 Minuten im regulären Sportunterricht) auf die Konzentration untersuchen Budde et al. (2008) bei Jugendlichen (13-16 Jahre). Dabei zeigt sich, dass sowohl körperliche Aktivität im Allgemeinen als auch Koordinationstraining im Speziellen die Testergebnisse des d2-Tests verbessern. Allerdings muss angemerkt werden, dass der d2-Test einen relativ großen Lern- bzw. Übungseffekt besitzt, der aufgrund des vorliegenden Studiendesigns nicht genauer ermittelt werden kann (Budde et al., 2008).

Nach Voelcker-Rehage und Niemann (2013) wirkt Koordinationstraining (ähnlich wie "enriched environment") über andere Wirkungsmechanismen auf Kognition und Gehirn wie metabolische Aktivität. Hingegen scheinen die koordinativen und metabolischen Anforderungen von Dehnen zu klein, um die Kognition zu beeinflussen.

3.3.3 Physisches Training mit kognitiven Anforderungen

Mäuse, die zusätzlich zum körperlichen Training in einem Laufrad in einer anregenden Umgebung gehalten werden, zeigen 30% mehr Neurogenese als Mäuse, die das gleiche körperliche Training absolvieren (Fabel et al., 2009). Dabei scheint die Umgebung das Gehirn der Nager zusätzlich zu stimulieren. Hillman et al. (2008) heben ebenfalls die kognitionsfördernde Wirkung von "enriched environments" (S.58) hervor. Bislang werden jedoch häufig automatisierte Bewegungen, wie beispielsweise Laufen und Fahrradfahren, als körperliche Interventionen eingesetzt (Voelcker-Rehage et al., 2013).

Ähnliche Ergebnisse konnten bislang vereinzelt auch in Studien mit Menschen und kognitivem Training nachgewiesen werden: Die Kombination aus physischem (aerober Ausdauersport) und kognitivem Training (z. B. Gedächtnis- oder Aufmerksamkeitstraining) wirkt bei älteren Menschen effektiver ($F=11.60$; $p<0.001$) als die beiden Interventionen alleine (Fabre, Chamari, Mucci, Massé-Biron & Préfaut, 2002). Mentales und körperliches Training wirken beide positiv auf Neurogenese im Hippocampus, jedoch auf unterschiedliche Weise (Curlik & Shors, 2013). Demnach regt körperliche Aktivität die Produktion neuer Neuronen in dem für Lernen wichtigen Gehirnbereich an. Hingegen erhöht "mental training via skill learning" (Curlik & Shors, 2013, S. 506) die Anzahl der überlebenden Neuronen. Das Review von Hötting und Röder (2013) fasst die Hypothese der Kombination von physischem und kognitivem Training als vielversprechend zusammen und fordert daher weitere Untersuchungen. Kognitive Anforderungen durch "environmental enrichment" (Curlik & Shors, 2013, S. 510) sind jedoch nicht zu vergleichen mit "mental skill training" (Curlik & Shors, 2013, S. 510) und scheinen unterschiedliche Mechanismen zu nutzen.

Die Wichtigkeit des motorischen Lernen heben Curlik und Shors (2013) in ihrem Literaturüberblick hervor: Das Erlernen neuer motorischer Fertigkeiten (z. B. Erlernen eines neuen Instruments, Basketballfreiwurf oder neue Bewegungsabläufe beim Turnen) fordert neben der Koexistenz sogar eine Interaktion von Bewegungslernen und mentalem Fertigkeitlernen. In einer Studie wurden 30 erwachsene Tiere zu einem motorischen Lernprozess (auf einer sich drehenden dünnen Stange in Drehrichtung Laufen) gezwungen (Buitrago et al., 2004). Ein siebentägiges Laufbandtraining vor dem Lernprozess verbesserte das Leistungsniveau signifikant ($p<.001$). Einmaliges Laufen hatte jedoch keinen Einfluss auf den Lernprozess. Die Autoren schlussfolgern daher, dass verbesserte Fitness positiv auf motorische Lernprozesse wirkt. Nach Curlik und Shors (2013) wird bei motorischen Lernprozessen das Arbeitsgedächtnis vermehrt eingebunden und zudem die Anzahl der Neuronen im Hippocampus gesteigert. Dabei existiert ein Unterschied zwischen reinem motorischen Lernen und motorischem Lernen mit erhöhter körperliche Aktivität: Die Kombination aus körperlicher Aktivität und dem motorischen Lernprozess bindet die neue entstandenen Neuronen sofort in das Netzwerk ein und verhindert somit das Absterben (Curlik & Shors, 2013).

3.4 Durch körperliche Aktivität beeinflussbare kognitive Funktionen bzw. Fähigkeiten

Körperliche Aktivität wirkt sich unterschiedlich auf unterschiedliche kognitive Fähigkeiten bzw. Funktionen aus (Chang et al., 2012; Colcombe & Kramer, 2003; Lambourne & Tomporowski, 2010).

3.4.1 Exekutive Funktionen

Exekutive Funktionen sind durch Sport positiv beeinflussbar (Kubesch, 2008, 2014a). Mittlerweise befassen sich viele Untersuchungen mit höheren kognitiven Prozessen, wohingegen frühe Untersuchungen zum Zusammenhang körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit vor allem Reaktionszeiten und Kurzzeitgedächtnis als Art der Kognition erfasst haben (Chang et al., 2012; Chen et al., 2014).

Hochrangige kognitive Prozesse, wie beispielweise Inhibition oder Planung, sollen nach der "executive function hypothesis" (Davis & Lambourne, 2009, S. 251) stärker durch körperliche Aktivität oder Fitness beeinflussbar sein als andere Prozesse. Die "executive function hypothesis" besagt, dass besonders Prozesse, die kognitive Kontrolle fordern, durch körperliche Aktivität gefördert werden können (Hall et al., 2001). Nach einem Review von Hall et al. (2001) sind besonders bei älteren Erwachsenen die exekutiven Funktionen durch moderate körperliche Aktivität beeinflussbar. Colcombe und Kramer (2003) bestätigten dieses Ergebnis in ihrer Meta-Analyse mit 18 Interventionsstudien zu aktiven und sitzenden Senioren. Regelmäßige aerobe körperliche Aktivität verbessert demnach die Ergebnisse der Senioren in allen kognitiven Tests um etwa eine halbe Standardabweichung ($N=101$; $p<.01$; $ES=.478$). Die Kontrollgruppen mit sitzenden Tätigkeiten konnten ihre kognitive Leistung um durchschnittlich circa eine Achtel Standardabweichung steigern ($N=96$; $p<.05$; $ES=.164$). Der Einfluss der körperlichen Aktivität auf exekutive Prozesse ($N=37$; $p<.05$; $ES=.680$) ist dabei signifikant größer als auf andere kognitive Prozesse. Exekutive Funktionen werden sowohl durch akute (Colcombe & Kramer, 2003; Hillman et al., 2003; Tomporowski et al., 2008; Verburch et al., 2014) als auch durch regelmäßige körperliche Aktivität (Erickson, 2012; Smith et al., 2010) verbessert.

Die "transient hypofrontality hypothesis" von Dietrich (2006) erklärt den Abfall einiger kognitiver Funktionen während körperlicher Aktivität (siehe Transient hypofrontality hypothesis, S. 89). Nimmt die Intensität der körperlichen Aktivität zu stark zu, so wird die Messung der exekutiven Funktionen behindert (Chang et al., 2012, S. 95). Die Ergebnisse der Meta-Analyse von Chang und Kollegen (2012) widersprechen zunächst der "transient hypofrontality hypothesis". Die Autoren berichten von einer Verbesserung der exekutiven Funktionen sowohl während, direkt im Anschluss an körperliche Aktivität und nach einer kurzen Pause (akute Auswirkungen). Nach der "transient hypofrontality hypothesis" sollten jedoch vor allem während körperlicher Aktivität verringerte exekutive Funktionen gemessen werden. Ein Grund für diesen Widerspruch kann die körperliche Fitness der Probanden darstellen: Ein guter Fitnesszustand wirkt sich positiv auf die kognitive

Leistungsfähigkeit – auch während körperlicher Aktivität – aus (Chang et al., 2012). Demnach können fitte Probanden während körperlicher Aktivität mehr Ressourcen für Kognitionstests frei halten und somit nutzen als unfitte Probanden. Dies lässt auf einen positiven Effekt regelmäßiger körperlicher Aktivität auf den Einsatz exekutiver Funktionen schließen. Außerdem scheinen Erfahrung und Expertise einen Einfluss auf den Zusammenhang zu haben (Chang et al., 2012). Nach Davis und Lambourne (2009) wirkt sich intensive körperliche Aktivität durch ein gesteigertes Level an Wachstumsfaktoren und Neurogenes positiv auf exekutive Funktionen aus (siehe Abb. 12).

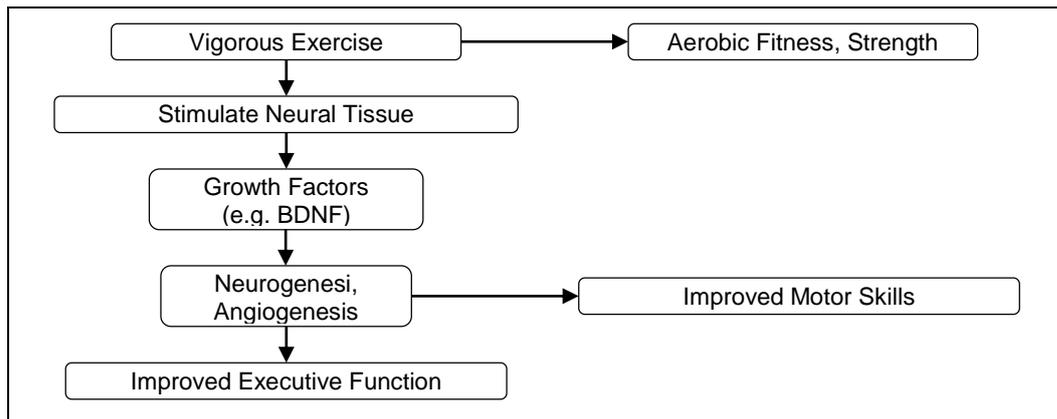


Abb. 12 Modell zu den Auswirkungen körperliche Aktivität auf exekutive Funktionen, mod. nach Davis und Lambourne (2009, S. 265).

Verburgh et al. (2014) begründen in ihrer Meta-Analyse die durch körperliche Aktivität verbesserten exekutiven Funktionen mit einer verbesserten Konnektivität zwischen den Neuronen, vor allem im präfrontalen Kortex. Dieser Bereich des Gehirns spielt eine zentrale Rolle für Arbeitsgedächtnis (D'Ardenne et al., 2012) und Inhibition (Chen et al., 2014; Verburgh et al., 2014). Neben dem Stroop-Test findet der d2-Test häufig Anwendung zur Erfassung der Inhibition (Verburgh et al., 2014). Die strukturelle Zusammenhang passt zu den Ergebnissen mit jungen Erwachsenen (Padilla, Pérez, Andres & Parmentier, 2013; Padilla, Pérez & Andrés, 2014). Eine verbesserte biologische Struktur des präfrontalen Kortex' durch gesteigerte aerobe Fitness scheint daher bessere Voraussetzungen für höherrangige kognitive Funktionen zu schaffen, die in eben diesem Gehirnbereich verortet sind. Zudem erhöht akute körperliche Aktivität den zerebralen Blutfluss im präfrontalen Kortex (Chen et al., 2014). Weitere Studien sind hierbei jedoch nötig, um die Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die exekutiven Funktionen genauer zu verstehen. Die kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit bei Aufgaben mit hohen Anforderungen an die exekutive Kontrolle wird durch akute aerobe Aktivität positiv beeinflusst (Hillman et al., 2003).

3.4.2 Aufmerksamkeit

Die Änderung des Erregungszustandes durch körperliche Aktivität wird als Wirkungsmechanismus des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und verbesserter kognitiver Leistungsfähigkeit diskutiert (Chang et al., 2012; Kamijo et al., 2007; Tomporowski, 2003b; Yagi et al., 1999). Messverfahren zur Erfassung der Aufmerksamkeitsleistungen und Reaktionszeit werden hierfür häufig eingesetzt (siehe z. B. Kubesch, 2014a; Smith et al., 2010).

Studien mit ereigniskorrelierten Potenzialen zeigen unterschiedliche Ergebnisse zu den akuten Auswirkungen körperlicher Aktivität auf kognitive Prozesse (Kamijo et al., 2007). Demnach beeinflussen vier methodische Faktoren das Ergebnis: (1) körperliche Fitness der Probanden, (2) Intensität und Dauer der körperlichen Aktivität (3) psychologische bzw. kognitive Messverfahren und (4) Zeitpunkt der Testdurchführung (Collardeau, Brisswalter, Vercruyssen, Audiffren & Goubault, 2001). Akute körperliche Aktivität kann den Erregungszustand des Körpers verändern: Herzfrequenz, Sauerstoffaufnahme usw. werden der körperlichen Belastung angepasst. In einem Review konnten Polich und Kok (1995) nachweisen, dass der allgemeinen Erregungszustand des Körpers Auswirkungen auf das P3-Signal hat (Weitere Informationen zum P3-Signal: Ereigniskorrelierte Potenziale, S. 35). Es erscheint somit klar, dass körperliche Aktivität das P3-Signal beeinflusst.

In Anbetracht der Studiendichte zum Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Aufmerksamkeitsleistung bietet sich die Betrachtung einiger Meta-Analysen an. Aus insgesamt 79 Untersuchungen (1034 Effektstärken) können Chang und Kollegen (2012) den signifikanten Effekt von akuter körperlicher Aktivität auf die Konzentrationsleistung bestätigen ($p < .05$; $d = .416$). Die positiven Auswirkungen von regelmäßiger aerober körperlicher Aktivität (mind. für einen Monat) auf die Aufmerksamkeitsleistung (*Hedge's $g = .158$, $p = .003$*) weisen Smith et al. (2010) in ihrer Meta-Analyse nach. Ebenfalls konnten Hillman et al. (2008) die positiven Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die Aufmerksamkeit in ihrer Meta-Analyse zeigen. Da jedoch ein Großteil der Untersuchungen mit Seniorinnen und Senioren durchgeführt wurde, ist der aufmerksamkeitssteigernde Effekt körperlicher Aktivität hauptsächlich im Seniorenalter nachgewiesen (Guiney & Machado, 2013; Hillman et al., 2008). Der d2-Test nach Brickenkamp (2002) wird neben der Inhibition auch zur Erfassung der Aufmerksamkeitsleistung eingesetzt (Hötting & Röder, 2013; Verburch et al., 2014). Gesunde und junge Erwachsene werden in diesem Zusammenhang wenig beachtet (Guiney & Machado, 2013). Vor allem die chronischen Auswirkungen körperlicher Aktivität werden selten mit dieser Zielgruppe durchgeführt (Pérez et al., 2014). Die Veränderungen im Gehirn durch chronische körperliche Aktivität sollen längerfristig sein (Dishman et al., 2006). Weitere Untersuchungen (Hillman et al., 2003; Kamijo et al., 2007) lassen den Schluss zu, dass dieser Einfluss vor allem bei anspruchsvollen Testaufgaben positiv ausfällt.

3.4.3 Kreativität

Bislang konnten mehrere Studien die positiven Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die Kreativität von gesunden Erwachsenen nachweisen, jedoch sind die Ergebnisse teils uneindeutig (Colzato et al., 2013; Curnow & Turner, 1992; Gondola, 1986, 1987; Gondola & Tuckman, 1985; Steinberg et al., 1997). Dabei scheint vor allem die Anzahl der Antworten (divergentes Denken) auf eine Fragestellung beeinflussbar zu sein. Der körperliche Leistungszustand hat ebenfalls Auswirkungen auf das kreative Denken (Gondola & Tuckman, 1985).

Bislang existieren keine speziellen Meta-Analysen zu den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf das kreative Denken. Als Teil der exekutiven Funktionen werden jedoch einige Aspekte von Kreativität in einigen Untersuchungen erfasst und berichtet. Chang und Kollegen (2012) berichten in ihrer Meta-Analyse von "verbal fluency", als sekundärer Moderator des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit. Verglichen mit den anderen sekundären Moderatoren im Bereich der exekutiven Funktionen hat körperliche Aktivität einen großen Effekt auf "verbal fluency" ($N_{ES}=38$; $p<.05$; Cohen's $d=.314$). Decision making ($N_{ES}=44$; $p<.05$; $d=.300$), "incompatible reaction time" ($N_{ES}=9$; $p<.05$; $d=.292$) und "Stroop interference" ($N_{ES}=14$; $p<.05$; $d=.249$) werden ebenfalls durch körperliche Aktivität signifikant beeinflusst, wessen jedoch geringere Effektstärken auf. Kreativität wird im Speziellen jedoch nicht genannt.

Interventionsstudien, die sich mit Kreativität als kognitive Fähigkeit befassen, existieren bereits seit fast 30 Jahren. Vor allem Ausdauersport oder Sportarten, die selbst kreatives Denken und kognitive Flexibilität fordern, stehen im Mittelpunkt des Forschungsinteresses (Herman-Tofler & Tuckman, 1998). Deren positiver Einfluss auf Teile des kreativen Denkens konnte bereits nachgewiesen werden. Die positive Wirkung von Ausdauerlauf (20 Minuten; 16 Einheiten zweimal wöchentlich) auf Teile des kreativen Denkens konnten Gondola und Tuckman (1985) nachweisen. Die Testergebnisse der Interventionsgruppe verbesserten sich im Posttest des "Alternate Uses Tests" signifikant mehr als die Ergebnisse der körperlich inaktiven Kontrollgruppe ($t=3.12$; $p<.01$). Die Autoren schlussfolgern, dass vor allem divergentes Denken durch körperliche Aktivität beeinflussbar ist. Ein zwölfwöchiges aerobes Lauftraining verbessert die Kreativität bei 8- bis 12-jährigen Kindern signifikant stärker als normaler Schulsport (Tuckman & Hinkle, 1986).

Im Jahr 1986 konnte Gondola (1986) den starken positiven Zusammenhang von körperlicher Aktivität und Kreativität nachweisen und somit die Studienergebnisse von 1985 (Gondola & Tuckman, 1985) bestätigen. In ihrer Interventionsstudie liefen Studierende ($N=23$ und $N=19$) zweimal pro Woche für 20 Minuten (16 bzw. 12 Einheiten insgesamt). Mithilfe einer Kovarianzanalyse (ANCOVA, Posttest) und dem jeweiligen Prätest als Kovariate verglich die Autorin die Testergebnisse der beiden Interventions- und der Kontrollgruppe miteinander. Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Verbesserungen der Kreativität in den Bereichen "flexibility" ($F=11.0$; $p<.001$) und "originality" ($F=9.7$; $p<.01$) über den gesamten Messzeitraum. Auch im Anschluss an eine Einheit Ausdauerlauf (akute Auswirkung) konnte der positive Effekt auf die kreative Denkleistung mittels T-Test nachgewiesen werden (flexibility: $t=5.77$; $p<.001$). Gondola (1986) nennt die

verbesserte Stimmung als möglichen Grund für die Verbesserung.

Basierend auf den vorangegangenen Untersuchungen schlussfolgert Gondola (1987), dass andere Bewegungsformen mit "moderate to strenuous intensity" (Gondola, 1987, S. 276) und vergleichbarem Umfang (20 Minuten) die Kreativität ebenfalls steigern können. Als körperliche Aktivität wählt die Autorin "aerobic dance" und untersucht daher die Auswirkungen von Tanz auf die Kreativitätsleistung. Insgesamt 37 Studentinnen (Alter \bar{X} : 21,3 Jahre) nahmen an dem angeleiteten und fitness-orientierten Tanzkurs teil. "Creative expression" (Gondola, 1987, S. 276) stand dabei nicht im Vordergrund des Kurses. Die bereinigten Messergebnisse der ANCOVA (Kovariate: Prätest) zeigen einen signifikanten Effekt der körperlichen Aktivität im Vergleich zur inaktiven Kontrollgruppe in den Bereichen "flexibility" ($F(1,23)=23.73$, $p<.001$), "remote consequences" ($F(1,23)=5.80$, $p <.05$) und "obvious consequences" ($F(1,23)=8.73$, $p<.01$) auf. Gondola (1987) nennt Entspannung, verminderte Angst und geringerer Stress als mögliche Gründe für den Anstieg.

Die Kombination von Musik und körperlicher Aktivität (20 Minuten Fahrradfahren mit submaximaler Intensität) wurde von Curnow und Turner (1992) bezüglich ihrer Wirkung auf die figurale Kreativität von Studierenden ($N=46$; Alter: 18-24 Jahre, \bar{X} 19,2 Jahre) untersucht. Lediglich die Anzahl der Antworten (fluency; $F=4.35$; $p<.05$) wird demnach signifikant durch körperliche Aktivität und/oder Musik gesteigert.

Hinkle und Kollegen (1993) können, ähnlich wie bereits 1986 (Tuckman & Hinkle, 1986), in einem randomisierten Versuchsdesign den positiven Einfluss von moderatem Lauftraining auf die Kreativität von Schülern ($N=85$) nachweisen.

Steinberg und Kollegen (1997) konnten zeigen, dass körperliche Aktivität ("aerobic workout" oder "aerobic dance") die Kreativität signifikant steigert (flexibility: $p<.05$). Körperliche Aktivität wirkt sich dabei unabhängig von der Stimmung auf die Kreativität aus.

Die Interventionsstudie von Herman-Tofler und Tuckman (1998) zeigt, dass Aerobic (dreimal wöchentlich über acht Wochen) die Kreativität bei Kindern signifikant mehr (figural flexibility: $p<.05$) steigert als regulärer Sportunterricht (Rückschlagsportarten, z. B. Tennis). Eine Einheit bestand dabei aus fünf Minuten Dehnen, 25 Minuten angeleitetem Aerobic mit geringer bis mittlerer Intensität und fünf Minuten cool down.

Sowohl direkt im Anschluss ($p<.001$) als auch zwei Stunden nach körperlicher Aktivität ($p=.001$) ist das kreative Denken von Studierenden signifikant erhöht (Blanchette, Ramocki, O'del & Casey, 2005). Insgesamt 60 Studierende (30 Frauen, Alter: 18-27 Jahre, \bar{X} 20 Jahre) aus verschiedenen Fachbereichen nahmen an der Interventionsstudie teil. Direkt im Anschluss, zwei Stunden nach und ohne vorangegangene körperliche Aktivität, wurde der figurale Kreativitätstest "Thinking Creatively with Pictures" (Blanchette et al., 2005, S. 261) durchgeführt. Als körperliche Aktivität diente 30 Minuten Ausdauersport (z. B. schnelles Gehen, Joggen, Schwimmen) in mittlerer Intensität.

Den Einfluss der körperlichen Fitness und akuter körperlicher Aktivität (Fahrradfahren mit moderater bzw. hoher Intensität) auf das divergente und konvergente Denken untersuchten Colzato et al. (2013). Sportler ($N=48$; Alter: 20,6 Jahre) und Nichtsportler ($N=48$, Alter: 20,7 Jahre) absolvierten nach körperlicher Ruhe, intensiver und moderater körperlicher Aktivität zwei Tests zum

divergenten und konvergenten Denken. Die Ergebnisse zeigen, dass körperliche Aktivität das divergente Denken bei beiden Gruppen verbessert ($p < .05$, $\eta^2 = .03$). Konvergentes Denken, eine kognitive Fähigkeit, die mit kognitiver Kontrolle in Verbindung gebracht wird, ist vom Fitnesszustand abhängig. Die Sportler konnten hierbei mehr von der körperlichen Aktivität profitieren als Nichtsportler. Dieses Ergebnis passt zu anderen Studien, wonach exekutive Kontrollprozesse durch längerfristiges Fitnessstraining positiv beeinflussbar sind (Colcombe & Kramer, 2003).

Insgesamt kann aus den hier berichteten Untersuchungen zum Einfluss von körperlicher Aktivität auf kreatives Denken gefolgert werden, dass bereits kurze Einheiten (ab 20 Minuten) einen positiven Effekt auf, vor allem, divergente Denkvorgänge hat (z. B. Colzato et al., 2013; Gondola, 1986, 1987; Gondola & Tuckman, 1985).

Überraschender Weise werden vor allem angeleitete und/oder zyklische Bewegungsformen als Interventionen gewählt. Gerade da umweltbezogene Erfahrungen die Kreativität als Entwicklungsprozess beeinflussen können (Dudek, Strobel & Runco, 1993), erscheinen freie Bewegungsformen, die kreatives Denken an sich fordern und eventuell auch fördern, als interessante Interventionen zur Beeinflussung von kreativem Denken. Scibinetti et al. (2011) zeigen in ihrer Querschnittuntersuchung, dass ein signifikanter Korrelation zwischen kreativem Bewegen und kreativem Denken (fluency: $r = -.451$; $p = .005$ und flexibility: $r = .489$; $p = .003$) im Kindesalter ($N = 31$; Alter: 7-8 Jahre) besteht. "The ability to produce creative movements" (Scibinetti et al., 2011, S. 263) ist dabei im Tanz (Improvisation) und Sportspiel (unvorhersehbare Spielzüge, vgl. Memmert & Roth, 2007) unterschiedlich zu betrachten. Die Autoren schlussfolgern, dass Kreativität sowohl domänenübergreifende, als auch -spezifische Komponenten besitzt. Bewegungsformen mit hohen kreativen Anforderungen (wie beispielsweise freier Tanz) erhalten demnach andere Bedeutung für den Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kreativem Denken als beispielsweise Sportspiele.

Derzeit sind die Wirkungsmechanismen, über die körperliche Aktivität Einfluss auf die Kreativität nehmen kann, nicht bekannt (Colzato et al., 2013). Studien zu den Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf kreatives Denken befassen sich meist mit "aerobic exercise" und diskutieren physiologische Anpassungsreaktionen des Körpers und veränderte Stimmung als Wirkungsmechanismen (Blanchette et al., 2005; Gondola, 1986, 1987; Steinberg et al., 1997). Colzato und Kollegen (2013) merken zusätzlich an, dass "creative people sometimes use bodily movement to help overcome mental blocks and to get deeper into a problem" (Colzato et al., 2013, S. 1). Körperliche Aktivität scheint demnach Blockaden lösende Wirkungen zu haben. Diese wurden bislang jedoch nicht wissenschaftlich nachgewiesen.

3.4.4 Gedächtnis

Empirische Untersuchungen konnten bislang einen positiven Effekt körperlicher Aktivität auf das Gedächtnis nachweisen (Curlik & Shors, 2013; Ferris, Williams & Shen, 2007; Roig, Nordbrandt, Geertsen & Nielsen, 2013; Smith et al., 2010; Winter et al., 2007). Über den genauen Zusammenhang besteht jedoch keine Einigkeit. Smith und Kollegen (2010) können aus 16 Interventionsstudien einen

signifikanten Effekt längerfristiger körperlicher Aktivität (mind. einen Monat) auf das Gedächtnis im Allgemeinen nachweisen ($g=.128$, $p=.026$). Tomporowski (2003b) schlussfolgert in seinem Literaturüberblick, dass vor allem das Langzeitgedächtnis durch eine Einheit körperlicher Aktivität positiv beeinflusst werden kann. Die Meta-Analyse von Chang et al. (2012) hingegen zeigt, dass gerade das Kurzzeitgedächtnis (free recall: $p<.05$; $d=.485$; visual working memory: $p<.05$; $d=.234$) von akuter körperlicher Aktivität profitiert. Körperliche Aktivität beschleunigt demnach den Abruf gespeicherter Informationen.

Eine Meta-Analyse von Roig et al. (2013) untersucht speziell die Auswirkungen kardiovaskulärer Aktivität auf das Gedächtnis. 22 Studien liefern einen geringen bis moderaten Effekt von akuter körperlicher Aktivität (*standardized mean difference SMD*=.22; $p<.0001$; $N=85$) und einen geringen, jedoch signifikanten Effekt von längerfristiger kardiovaskulärer Aktivität (*SMD*=.15, $p=.006$, $N=59$) auf das Gedächtnis. Dieses Ergebnis passt zu der drei Jahre älteren Meta-Analyse von Smith et al. (2010). Das Arbeitsgedächtnis scheint vor allem direkt im Anschluss an körperliche Aktivität Verbesserungen aufzuweisen (Roig et al., 2013). Knapp die Hälfte der Studien (47,8%) mit akuter körperlicher Aktivität und lediglich ein Drittel der Studien (30,0%) mit längerfristiger körperlicher Aktivität zeigen einen positiven Effekt auf das Arbeitsgedächtnis auf. Obwohl die Anzahl der Studien, die einen positiven Effekt körperlicher Aktivität auf das Langzeitgedächtnis nachweisen, vergleichbar sind (akut, 58,3%; chronische, 54,6%), weist die Meta-Analyse von Roig et al. (2013) lediglich bei akuter körperlicher Aktivität einen signifikanten Effekt nach (*SMD*=.52, $p<.0001$, $N=20$). Bei jungen Erwachsenen (*SMD*=.45, $p=.02$, $N=5$) ist das Arbeitsgedächtnis durch chronische körperliche Aktivität besser zu beeinflussen, als bei älteren Erwachsenen (*SMD*=.44, $p=.13$, $N=1$) oder Senioren (*SMD*=.10, $p=.13$, $N=31$). Allerdings zeigt die Meta-Analyse klar auf, dass vor allem im jungen und älteren Erwachsenenalter bislang wenige Studien mit längerfristiger und regelmäßiger körperlicher Aktivität existieren. Weitere Untersuchungen sind in diesem Zusammenhang notwendig (u. a. Hillman & Schott, 2013).

McMorris et al. (2011) untersuchen ebenfalls die Auswirkungen von akuter körperlicher Aktivität mittlerer Intensität auf das Arbeitsgedächtnis und schlussfolgern eine deutliche Förderung der Antwortgeschwindigkeit (*Hedge's g* = 1.41, $p<.001$), jedoch gering bis moderat verschlechterte Genauigkeit bei Antworten ($g=.40$, $p<.01$). Die Autoren führen die Ergebnisse auf einen Anstieg von Katecholaminen und den daraus resultierenden schnelleren Prozessgeschwindigkeiten zurück. "Neural noise" (McMorris et al., 2011, S. 427) ist für die geringere Genauigkeit verantwortlich. Smith et al. (2010) können keinen signifikanten Effekt chronischer aerober körperlicher Aktivität (mind. einen Monat) auf das Arbeitsgedächtnis nachweisen.

3.4.5 Schulleistungen

Übergewicht und körperliche Inaktivität werden mit schlechten Schulleistungen in Verbindung gebracht (Davis & Lambourne, 2009, S. 253). Aufgrund des bestehenden positiven Zusammenhangs von körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit (Colcombe & Kramer, 2003; Hillman et al., 2008; Verburgh et

al., 2014), liegt die Vermutung nahe, dass körperliche Aktivität auch die Schulleistungen verbessern kann. In einer Studie konnten Castelli et al. (2007) zeigen, dass bei Dritt- und Fünftklässler eine gute aerobe Fitness mit besseren Schulleistungen einhergeht.

Bereits 1967 zeigte Ismail (1967; zitiert nach Davis & Lambourne, 2009, S. 254), dass Kinder, die acht Monate lang ihre Ausdauer trainierten, beim "Stanford Achievement Test" signifikant besser abschnitten als untrainierte Kinder. Keine Auswirkungen zeigte das Training auf den Intelligenzquotienten (IQ) der Kinder. Nach Carlson et al. (2008) haben Mädchen einen Vorteil in Lesefähigkeit und Mathematik, wenn sie an mehr als einer Stunde Schulsport pro Woche teilnehmen. Bislang beschäftigen sich jedoch nur wenige Studien mit dem Einfluss von körperlicher Aktivität auf die Schulleistung, einige dieser Studien zeigen keinen Zusammenhang auf (Davis & Lambourne, 2009). Aufgrund fehlender negativer Auswirkungen von vermehrtem Schulsport auf die Schulleistungen besteht kein legitimer Grund, die Zeit des Schulsports nicht zu erhöhen (Carlson et al., 2008).

3.5 Wege der Einflussnahme körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit

Körperliche Aktivität kann sich direkt oder indirekt auf die kognitive Leistungsfähigkeit auswirken (Antunes et al., 2006). Beim indirekten Einfluss werden sogenannte Mediatoren durch körperliche Aktivität verändert, welche dann die kognitive Leistungsfähigkeit beeinflussen (siehe Abb. 13).

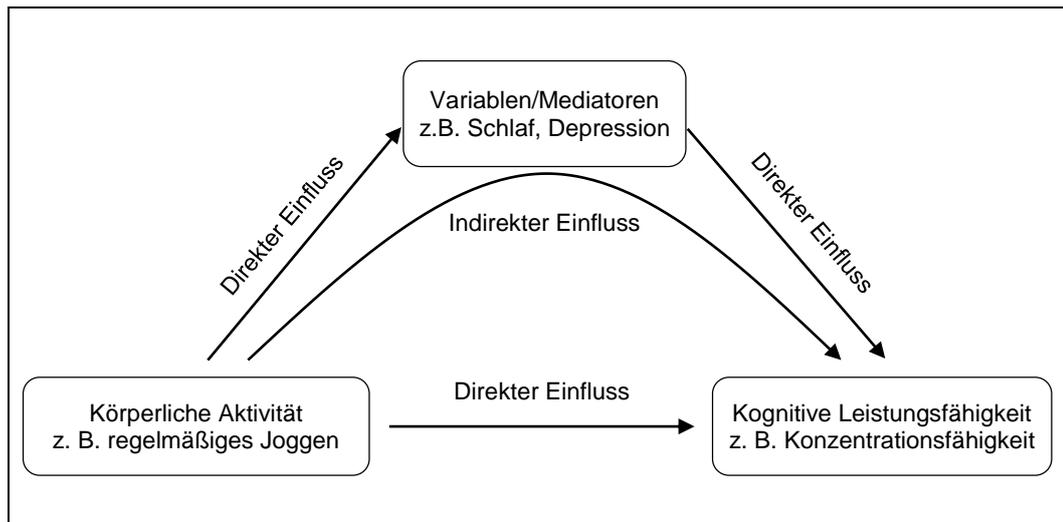


Abb. 13 Unterschiede zwischen direkten und indirekten Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit (eigene Darstellung).

3.5.1 Direkter Zusammenhang

Körperliche Aktivität kann sich direkt auf die Struktur des Gehirns und auf eine Vielzahl von neurotrophen Faktoren auswirken (Etnier, 2009, S. 246). Dabei steigern Mechanismen, die einen direkten Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit haben, stets die Geschwindigkeit kognitiver Prozesse. Beispielsweise werden die Steigerung des zerebralen Blutflusses und die Ausschüttung von Noradrenalin direkt durch körperliche Aktivität beeinflusst (Poehlman, Gardner & Goran, 1992). Auch bei Personen, die regelmäßig Sport machen, bewirkt eine Einheit körperlicher Aktivität akute Veränderungen (Antunes et al., 2006). Durch diese biologischen Wirkungsmechanismen kann körperliche Aktivität direkten Einfluss auf die Kognition nehmen.

3.5.2 Indirekter Zusammenhang

Wird die kognitive Leistungsfähigkeit nicht direkt durch einen Wirkungsmechanismus der körperlichen Aktivität beeinflusst, sondern wird durch die körperliche Aktivität zunächst ein weiterer Zustand (Dritter) verändert, der sich dann auf die Kognition auswirkt, wird von einem indirekten Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Kognition gesprochen.

Mentale Gesundheit kann durch körperliche Aktivität beeinflusst werden und wirkt sich wiederum positiv auf die kognitive Leistungsfähigkeit aus (Etnier, 2009, S. 246). Einige dieser durch körperliche Aktivität beeinflussbaren Variablen der mentalen Gesundheit bzw. Mediatoren sind Depression (Lawlor & Hopker, 2001), Affekt (Arent, Landers & Etnier, 2000) und Angst (Petruzzello, Landers, Hatfield, Kubitz & Salazar, 1991).

Ein negativer Zusammenhang konnte zwischen dem "body mass index" (BMI) und kognitiven Funktionen im Kindesalter gezeigt werden (Li, Dai, Jackson & Zhang, 2008). Das bedeutet, ein sinkender BMI korreliert mit steigender kognitiver Leistungsfähigkeit. Da körperliche Aktivität den BMI beeinflussen kann, fungiert dieser als Mediator des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit. Hierzu passen Erkenntnisse von Antunes und Kollegen (2006), wonach ein guter Fitnesszustand auf bessere Funktionen der exekutiven Funktionen und des Hippocampus schließen lässt. Ebenso zeigen Studien, dass körperliche Aktivität den BDNF Gehalt steigern kann. Der gesteigerte BDNF Gehalt hat wiederum bessere Lernleistungen und effektivere neuronale Funktionen zur Folge (Antunes et al., 2006) und ist somit ebenfalls ein Mediator. Auch eine Reduktion des Blutdrucks, der Abbau von Fett im Blutplasma und die Hemmung von Verklumpungen im Blut wirken sich indirekt positiv auf die kognitiven Funktionen aus.

3.6 Wirkungsmechanismen des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit

Bislang ist wenig über die dem Zusammenhang von körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit zugrunde liegenden Wirkungsmechanismen bekannt (Davis & Lambourne, 2009; Dietrich, 2006; Dishman et al., 2006; Hillman et al., 2008). Studien mit bildgebenden Verfahren liefern jedoch zunehmend Klarheit und zeigen Unterschiede zwischen kognitiven Funktionen während körperlicher Ruhe bzw. während körperlicher Aktivität auf (Hillman et al., 2008). Tierversuche sind eine häufig angewendete Möglichkeit, mehr über die Wirkungsmechanismen herauszufinden (Hötting & Röder, 2013).

Körperliche Aktivität steigert neben der Gesundheit auch Stimmung, Wohlbefinden und physiologische Funktionen (z. B. Körpertemperatur, Herzschlag) und verbessert so die kognitive Leistungsfähigkeit (Tomporowski, 2003b). Neben biologischen Mechanismen werden daher psycho-soziale Mechanismen vermutet. Etnier (2009, S. 228f) zählt Hypothesen zu den Wirkungsmechanismen des Zusammenhangs von chronischer körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit auf:

- "Cardiovascular fitness hypothesis" (North, McCullagh & Tran, 1990): Chronische körperliche Aktivität soll sich demnach über die verbesserte kardiovaskuläre Fitness positive auf die Kognition auswirken. Trotz diverser Interventionsstudien und cross-sectional studies konnte die Hypothese nicht bestätigt werden. Eine Meta-Analyse von Etnier und Kollegen (2006) zu diesem Zusammenhang folgert, dass die Effektstärken der Differenz bezüglich aerober Fitness keine zwingende Voraussetzung für die Effektstärken der Differenz bezüglich der kognitiven Leistung darstellt.
- "Cerebral circulation hypothesis" (Dustman et al., 1984; Spirduso, 1980)
- "Neurotrophic stimulation hypothesis" (Dishman et al., 2006): In Rückenmark, Skelettmuskulatur und Gehirn existieren neurochemische und metabolische Leitungen, über die körperliche Aktivität das zentrale Nervensystem beeinflusst. In Abb. 14 ist ein Diagramm von Dishman et al. (2006, S. 348) dargestellt, welches die komplexe Neurobiologie körperlicher Aktivität darstellt. Ein Großteil der im Diagramm aufgeführten Mechanismen werden nachfolgend ausführlich beschrieben.
- "Neural efficiency hypothesis" (Dustman et al., 1990)

Viele der Wirkungsmechanismen, die sich aus diesen Hypothesen ergeben, wurden nach (Etnier, 2009, S. 228f) mit neuen Bildgebungsverfahren am Menschen oder an Tieren untersucht. Die exakten Wirkungsmechanismus des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit sind bislang dennoch nicht gesichert (Davis & Lambourne, 2009; Dietrich, 2006; Dishman et al., 2006; Hillman et al., 2008; Hötting & Röder, 2013).

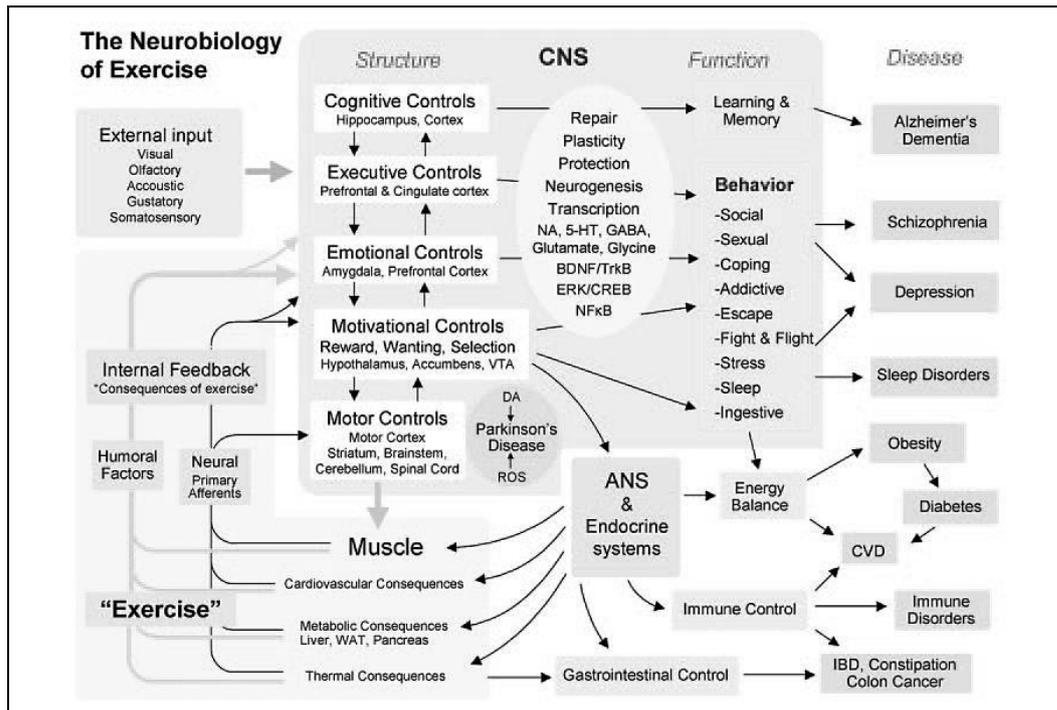


Abb. 14 A heuristic diagram for understanding the neurobiology of exercise and physical activity (Dishman et al., 2006, S. 348). ANS=autonomic nervous system; BDNF=brain-derived neurotrophic factor; CNS=central nervous system; CREB=cyclic adenosine monophosphate response element-binding protein; CVD=cardiovascular disease; DS=dopamine; ERK=extracellular signal-regulated kinase; 5-HT=5-hydroxytryptamine; GABA=gamma amino butyric acid; IBD=inflammatory bowel disease; NA=noradrenaline; NFkB=nuclear factor of kappaB; ROS=reactive oxygen species; TrkB=tyrosine residue kinase receptor-type 2; VTA=ventral tegmental area; WAT=white adipose tissue.

Körperliche Aktivität bewirkt neuronale Aktivierungen in vielen Bereichen des Gehirns (Dietrich, 2006). Dabei wird durch körperliche Aktivität die „Struktur und Funktionsweise des Gehirns“ (Kubesch, 2014a, S. 122) beeinflusst. Neben diesen direkten Einflüssen von körperlicher Aktivität auf das Gehirn nennen Verburch et al. (2014) positive Auswirkungen längerfristiger körperlicher Aktivität und verbesserter Fitness auf die Kognition. Körperliche Aktivität beeinflusst den Blutfluss im Gehirn und Anteile von bestimmten Hormonen im Blut, die sich wiederum positiv auf die kognitive Leistungsfähigkeit auswirken (McMorris, Collard, Corbett, Dicks & Swain, 2008; Querido & Sheel, 2007). Angiogenese und Neurogenese verbessern die Leistungsfähigkeit des Gehirns und werden von regelmäßiger und längerfristiger körperlicher Aktivität positiv beeinflusst (Ding et al., 2006). Eine gesteigerte körperliche Fitness ist nicht nur gut für die Gesundheit, sondern steht zusätzlich mit größerem Hirnvolumen im Zusammenhang (Chaddock et al., 2010). Dabei werden neben motorischen Kontrollbereichen auch Bereiche für kognitive Kontrolle vergrößert (z. B. der Hippocampus).

Eine Trainingseinheit (akute körperliche Aktivität) soll sich über die physiologischen Anpassungen des Körpers an die körperliche Aktivität (abhängig von deren Dauer und Intensität) auf die Kognition auswirken (Chang et al., 2012). Demnach sind dies Änderung der Herzfrequenz, des Levels neurotropher Faktoren

und des Katecholamin (biologische Stoffe, die als Hormone und Neurotransmitter agieren, z. B. Dopamin, Noradrenalin) im Blutplasma.

Sibley und Etnier (2003) teilen die zahlreichen Wirkungsmechanismen, die mit dem Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Kognition in Verbindung gebracht werden, in ihrer Meta-Analyse in zwei Kategorien ein: physiologische und lernunterstützende Mechanismen. Zu den physiologischen Mechanismen zählen die Autoren unter anderem eine Erhöhung des zerebralen Blutflusses sowie Veränderungen des zentralen Nervensystems und der Neurotransmitter im Gehirn. Der lernunterstützende Mechanismus körperlicher Aktivität wird durch lernbegünstigende Bedingungen in sportartspezifischen Situationen ausgelöst. Dieser Ansatz fehlt in vielen Analysen und wird daher gesondert beschrieben (siehe 3.6.3, S 94ff).

Hötting und Röder (2013) fassen die in Ihrem ausführlichen Literaturüberblick dargestellten Hypothesen und Wirkungsmechanismus zum Zusammenhang körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit im folgenden Modell (siehe Abb. 15) zusammen. Dabei erheben die Autorinnen keinen Anspruch auf Vollständigkeit und binden mögliche Einflussfaktoren, wie "environmental enrichment, age, gender, diseases and education" (Hötting & Röder, 2013, S. 2253) in ihr Modell mit ein. Die Komplexität des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit wird in diesem Modell deutlich. Neben den oben genannten Einflussfaktoren haben auch Genotyp, soziales Umfeld und Hormonsystem einen Einfluss auf den Zusammenhang.

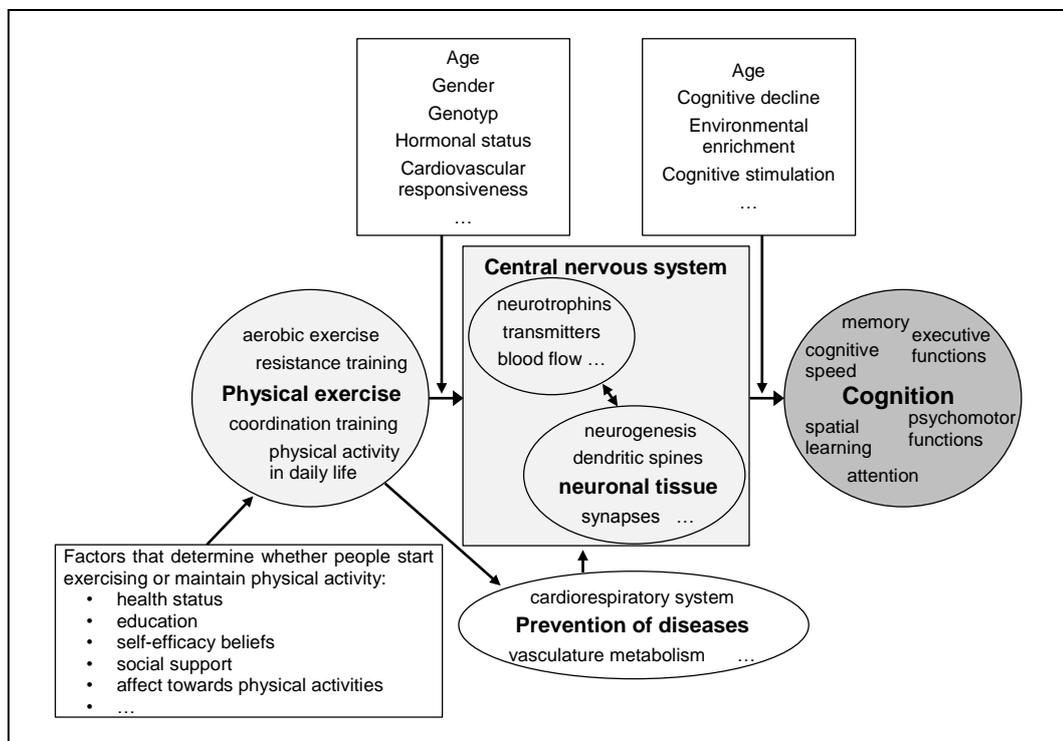


Abb. 15 Modell des möglicher Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und Kognition inkl. Einflussfaktoren mod. nach Hötting und Röder (2013, S. 2253).

Im Folgenden werden einige Mechanismen aufgeführt, die aktuell mit den Einflüssen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit in Zusammenhang gebracht werden. Diese Mechanismen lassen sich in psychosoziale, biologisch-anatomische und lernunterstützende Mechanismen unterteilen (Davis & Lambourne, 2009; Sibley & Etnier, 2003).

3.6.1 Psycho-soziale Mechanismen

Vor allem im Kindesalter scheinen psycho-soziale Faktoren den Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiven Funktionen zu beeinflussen (Tompsonski et al., 2008).

Kontrolle, Selbstwirksamkeit und Selbstkonzept sind psycho-soziale Faktoren, die durch körperliche Aktivität und Sporttreiben positiv beeinflusst werden (Judge, Erez, Bono & Thoresen, 2002) und sich dann positiv auf kognitive Leistungen auswirken können. Durch körperliche Aktivität lässt sich Wut abbauen. Vor allem Ausdauersport steht im Verdacht, einen großen Einfluss auf psycho-soziale Mechanismen zu haben (Everson-Rose & Lewis, 2005). Die starken Auswirkungen von Stimmung und Emotionen auf die Kognition sind bekannt, und körperliche Aktivität hat unter anderem einen Einfluss auf diese Faktoren (Erickson, 2012). Durch körperliche Aktivität verbesserte Stimmung führt demnach indirekt zu besseren kognitiven Leistungen.

3.6.1.1 Psychische Gesundheit

Mehrere Untersuchungen konnten bislang die positiven Auswirkungen aerober körperlicher Aktivität auf Affekt, Depression und Wohlbefinden nachweisen (Antunes et al., 2006; Kubesch, 2014a; Scully, Kremer, Meade, Graham & Dudgeon, 1998; Tomporowski, 2003b). Das Wohlbefinden lässt sich zusätzlich durch intensive anaerobe körperliche Aktivität verbessern (Scully et al., 1998). Eine Meta-Analyse zu den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf Depression bei Kindern (5-11 Jahre) und Jugendlichen (12-19 Jahre) von Brown et al. (2013) zeigt einen kleinen signifikanten Effekt auf ($N_{Studien}=9$; Hedge's $g=-.26$, $p=.004$). Demnach hilft körperliche Aktivität bei der Prävention und Behandlung von Depressionen. Der Neurotransmitter Serotonin spielt eine zentrale Rolle für die Regulation von Aggression, Angst, Stimmung und Stressverarbeitung und kann durch regelmäßige körperliche Aktivität positiv beeinflusst werden (Kubesch, 2014a).

Stress behindert die Bildung von Nervenzellen (Ameri, 2001) und die Aufnahme von Glukose im Gehirn (Kubesch, 2014a). In Tierversuchen konnte die präventive Wirkung von körperlicher Aktivität auf negative Folgen von Stress nachgewiesen werden (Kubesch, 2014a). Im Gegenzug stellt „erzwungene Bewegungslosigkeit einen besonders hohen Stressfaktor dar“ (Kubesch, 2014a, S. 131), da diese „zu einem Anstieg des Stresshormons Corticosteron (entspricht beim Menschen dem Stresshormon Kortisol) im Hippokampus“ (Kubesch, 2014a, S. 131) führt.

3.6.1.2 Transient hypofrontality hypothesis

Die metabolischen Ressourcen des Gehirns sind endlich (Dietrich, 2006). Die "transient hypofrontality hypothesis" (Dietrich, 2006, S. 79) besagt, dass während körperlicher Aktivität vermehrt Bereiche des Gehirns aktiviert werden, die mit der Bewegungsausführung zusammenhängen und somit gleichzeitig die Aktivität anderer Gehirnbereiche reduziert werden muss, um innerhalb der metabolischen Grenzen zu bleiben (Dietrich, 2006). Beispielsweise steigt die neuronale Aktivität in Bereichen für motorische Bewegungsmuster und sensorische Reizverarbeitung während körperlicher Aktivität an. Im präfrontalen Kortex hingegen nimmt die neuronale Aktivität gleichzeitig ab. Diese Verlagerung führt zu einer neuronalen Unterfunktion der präfrontalen Gehirnbereiche während körperlicher Aktivität. Nach Dietrich (2006) liefert dies eine Erklärung für den Einfluss körperlicher Aktivität auf Kognition und Emotionen.

3.6.2 Biologische Mechanismen

Neben den psycho-sozialen Mechanismen bewirkt körperliche Aktivität sowohl direkt als auch auf indirektem Weg Veränderungen auf physischer Ebene. Neben veränderter Durchblutung stehen vor allem Neurotrophine, wie beispielsweise BDNF, im Verdacht, die kognitive Leistungsfähigkeit zu beeinflussen. Die wichtigsten biologischen Mechanismen werden daher im Folgenden diskutiert.

3.6.2.1 Durchblutung im Gehirn

Ein Wirkungsmechanismus, der mit akuter körperlicher Aktivität in Verbindung gebracht wird, ist der Anstieg des zerebralen Blutflusses (Querido & Sheel, 2007; Verburch et al., 2014). Die dauerhafte Versorgung mit Sauerstoff ist wichtig für den Stoffwechsel und somit die Funktionsweise des Gehirns. Um das Wachstum von Neuronen zu ermöglichen, ist eine erhöhte Bereitstellung von Nährstoffen notwendig (Hillman et al., 2008). Ein Anstieg der Blutmenge im Gehirn bewirkt diese Zunahme an Nährstoffen, wie beispielsweise Sauerstoff und Glukose (Chodzko-Zajko, 1991). Während körperlicher Aktivität nimmt der zerebrale Blutfluss im Allgemeinen zu (Secher, Seifert, Nielsen & Quistorff, 2009, S. 194-201). Auch im Hippocampus steigert körperliches Training die Durchblutung. Die Intensität der körperlichen Aktivität hat einen Einfluss auf die Sauerstoffversorgung des Gehirns (Erickson et al., 2011). Moderate körperliche Aktivität steigert den CO₂-Gehalt im arteriellen Blut leicht, was zu einer Erhöhung des zerebralen Blutflusses und dessen Fließgeschwindigkeit führt. Intensive Ganzkörperaktivität hingegen reduziert den CO₂-Gehalt im arteriellen Blut (Jørgensen, Perko & Secher, 1992) und verlangsamt somit den Blutfluss im Gehirn (Rasmussen et al., 2006), mit Auswirkungen auf die Sauerstoffversorgung des Gehirns. Nielsen und Kollegen (1999) beschreiben einen Rückgang der zerebralen Sauerstoffsättigung um etwa 10% während intensiver körperlicher Aktivität. In Anbetracht der Tatsache, dass ein nur leicht größerer Rückgang der zerebralen Sauerstoffsättigung während der Ohnmacht bei einem vagovasalen Anfall besteht (Madsen & Secher, 1999), ist der durch intensive Ganzkörperaktivität verursachte Rückgang nicht belanglos. Davis und Lambourne (2009, S. 264) halten den durch

körperliche Aktivität verursachten Anstieg von Blutfluss, Sauerstoff und Glukose im Gehirn – und die daraus resultierenden besseren kognitiven Voraussetzungen – für möglich, merken jedoch an, dass diese bislang noch nicht gesichert nachgewiesen wurden.

Rogers, Meyer und Mortel (1990) konnten in einer Studie mit Rentnerinnen und Rentnern die positiven Auswirkungen von chronischer körperlicher Aktivität auf die Durchblutung des Gehirns nachweisen und somit die Studien an Tieren bestätigen (Larsson et al., 2001). Demnach gehen bei Rentnerinnen und Rentnern mit viel sitzender Tätigkeit die Gehirndurchblutung sowie die kognitive Leistungsfähigkeiten innerhalb von vier Jahren deutlich zurück. Körperlich aktive Rentnerinnen und Rentner hingegen können die beiden Faktoren beibehalten.

Genau wie bei einem Skelettmuskel wird auch das Gehirn über die kleinen Blutgefäßen versorgt. Nach Voelcker-Rehage et al. (2013, S. 24) vermehren sich diese Blutgefäße durch (Löffler et al., 2011)h regelmäßigen Ausdauersport. Dieser Anstieg der Kapillarisation verbessert den Nährstofftransport und den Abbau von Abfallprodukten. Die Autorinnen, sowie Hillman und Kollegen (2008), nennen den vaskulo-endothelialen Wachstumsfaktor (VEGF) und den insulinähnlichen Wachstumsfaktor (IGF-1) als Auslöser der Kapillarisation.

3.6.2.2 Neurotrophine

Neurotrophine (wie z. B. brain-derived neurotrophic factor (BDNF), insulin-like growth factor (IGF-1) und nerve growth factor (NGF)) formen die neuronalen Karten des Gehirns neu (Birbaumer & Schmidt, 2010b). Von allen neurotrophen Faktoren ist der BDNF am meisten untersucht (Etnier, 2009, S. 244). Neben der Neubildung der Nervenzellen im Gehirn (Neurogenese) (Erickson et al., 2011; Erickson, 2012) ist BDNF nach Vaynman und Gomez-Pinilla (2005) auch an der vermehrten Vernetzung dieser Nervenzellen (Synapsogenese) als wichtiger Faktor beteiligt (Gomez-Pinilla & Hillman, 2013). Mehr BDNF ist nach Etnier (2009, S. 245) gleichbedeutend mit verbesserter kognitiver Leistungsfähigkeit und gesteigerter Gehirngesundheit. Auch Vaynman, Ying und Gomez-Pinilla (2004) sehen einen direkten Zusammenhang zwischen dem BDNF Level im Hippocampus und gesteigerten Gedächtnis- und Lernfunktionen bei Nagern.

Der Anteil an Neurotrophinen und VEGF (vascular endothelial growth factor) nimmt beim Menschen im Anschluss an körperliche Aktivität zu (Pérez et al., 2014) (siehe Abb. 14). Körperliche Aktivität erhöht demnach die durch Neurotrophine angeregten Veränderungen im Gehirn und steigert somit die Gehirnleistung (Gomez-Pinilla & Hillman, 2013).

In Tierversuchen konnte gezeigt werden, dass sowohl akute als auch chronische körperliche Aktivität den BDNF Gehalt in verschiedenen Gehirnregionen anheben (Dishman et al., 2006; Ferris et al., 2007). Castellano und White (2008) konnten nachweisen, dass die körperliche Fitness der Probanden den Anstieg von BDNF durch akute körperliche Aktivität beeinflusst.

Die Intensität der akuten körperlichen Aktivität hängt positiv mit dem Anstieg des neurotrophen Faktors BDNF zusammen (Ferris et al., 2007). D.h. körperliche Aktivität mit hoher Intensität erhöht den BDNF-Gehalt im Blut stärker als körperliche Aktivität mit geringer Intensität (Knaepen, Goekint, Heyman &

Meeusen, 2010). Dennoch steigert moderates Walking den BDNF-Gehalt im Hippocampus bei Senioren (Erickson et al., 2011). Ausdauertraining bewirkt, egal ob es täglich oder alle zwei Tage durchgeführt wird, einen Anstieg von BDNF und erhöht somit Überleben und Wachstum von Nervenzellen (Kubesch, 2014a). Intensive körperliche Aktivität (zweimaliges Sprinten à drei Minuten) steigert den BDNF-Gehalt und führt zu verbesserten Vokabellernleistungen. (Winter et al., 2007).

BDNF wirkt zusätzlich zu seiner Funktion als Wachstumsfaktor auch als Neurotransmitter im Hippocampus (McMorris et al., 2009b, S. 311). Ein Anstieg des BDNF-Gehalts verbessert die Reizübertragung im Hippocampus und somit die kognitive Leistungsfähigkeit. Auch Gomez-Pinilla und Hillman (2013) berichten von mehreren Untersuchungen, die einen aktivitätsabhängigen Anstieg von BDNF und IGF-1 und dadurch verbesserte Lern- und Gedächtnisleistung nachweisen. Tierversuche lassen kausale Rückschlüsse zu. IGF-1 wird beispielsweise in der Leber und vor allem der Skelettmuskulatur gebildet und scheint daher besonders von körperlicher Aktivität zu profitieren (Gomez-Pinilla & Hillman, 2013).

Die "neurotrophic stimulation hypothesis" (Davis & Lambourne, 2009, S. 264) geht davon aus, dass körperliche Aktivität neurologische Parameter (beispielsweise Wachstum der Kapillare) und Verbindungen der Synapsen verbessern und daraus eine Verbesserung der Kognition resultiert.

3.6.2.3 Regulation des allgemeinen Erregungszustands

Das Yerkes-Dodson-Law (Yerkes & Dodson, 1908) vermutet, dass sich Erregungszustand und Leistungsfähigkeit wie ein umgedrehtes U zueinander verhalten (siehe Abb. 6). Auch Sanders (1983) postuliert, dass zwischen "arousal" (Erregungszustand) bzw. "activation" (Aktivierung) und kognitiver Leistungsfähigkeit eine "inverted-U relation" (Sanders, 1983, S. 66) besteht. Körperliche Aktivität kann diesen Zusammenhang beeinflussen und so durch diese Änderung des Erregungszustands zur Veränderung der kognitiven Leistungsfähigkeit beitragen (Kamijo et al., 2007). Dieser Wirkungsmechanismus ist häufig einsetzbar, da für die meisten kognitiven Leistungen „eine umgekehrte U-Funktion zwischen Aktivierung und Leistung“ (Birbaumer & Schmidt, 2010c, S. 198) besteht. Die "allocatable resource theory" ist zentral für alle "cognitive-energetical models" (Sanders, 1983), die den Zusammenhang akuter körperlicher Aktivität und Kognition beschreiben (Pesce, 2009, S. 219). Die optimale Aktivierung von 120 Herzschlägen pro Minute kann durch körperliche Aktivität erreicht werden (Delignières et al., 1994).

Untersuchungen mit verschiedenen Intensitäten von Krafttraining zeigen einen Zusammenhang von akuter körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit in Form eines umgekehrten U (Chang, Chu, Chen & Wang, 2011). Sowohl die "inverted-U hypothesis", als auch die "drive theories" gehen davon aus, dass die Intensität der körperlichen Aktivität den Zusammenhang von körperlicher Aktivität und Kognition beeinflusst (Chang et al., 2012). Allerdings unterscheiden sich die beiden Modelle bezüglich der Dosis: Die "inverted-U hypothesis" geht von einem optimalen Zusammenhang bei mittlerer Intensität aus, wohingegen die "drive theories" bei der größten Intensität die größten Auswirkungen auf die Kognition

sieht. Die Meta-Analyse von McMorris und Kollegen (2011) bestätigt den umgekehrten U-Zusammenhang nach Sanders (1983): Reaktionszeiten sind während oder direkt im Anschluss an körperliche Aktivität mit mittlerer Intensität am geringsten.

Unterschiedlich Ergebnissen zum Erregungszustand werden von Pesce (2009, S. 219) berichtet. Einige Untersuchungen (z. B. Davranche & Audiffren, 2004; Pesce et al., 2002, 2003; zitiert nach Pesce, 2009, S. 219) zeigen eine Verkürzung der Reaktionszeiten während akuter körperlicher Aktivität. Laut Autorin lässt dies die Verfügbarkeit größerer Prozess-Ressourcen vermuten. Yagi et al. (1999) folgern aus der höheren Reaktionsgeschwindigkeit während körperlicher Aktivität hingegen eine verminderte Ressourcenzuweisung während körperlicher Aktivität. Die Meta-Analyse von Chang und Kollegen (2012) kann keinen Einfluss der Intensität während körperlicher Aktivität nachweisen. Dieses Ergebnis widerspricht der "invertet-U hypothesis" und den "drive theories" (Chang et al., 2012). Die Autoren merken an, dass die fehlende Signifikanz bezüglich der Effekte körperlicher Aktivität auf die Reaktionszeit auf die heterogenen Testbedingungen zurückzuführen ist. Werden alle Studienergebnisse gemittelt, ist kein signifikanter Effekt mehr nachweisbar. Eine differenziertere Betrachtung der Ergebnisse legt die Vermutung nahe, dass die Intensität der körperlichen Aktivität die Reaktionszeiten beeinflusst (Chang et al., 2012, S. 95).

Aufgrund der erschwerten Datenerfassung bewerten Hillman et al. (2009) die Forschungsstudien mit ereigniskorrelierten Potenzialen während körperlicher Aktivität als spärlich und teilweise widersprüchlich. Im Gegensatz dazu liegt eine hohe Anzahl an Studien vor, die neuroelektrische Messungen direkt im Anschluss an körperliche Aktivität einsetzen (siehe für ein Review z. B. Gomez-Pinilla & Hillman, 2013). Allerdings ist eine einheitliche Aussage zu den Wirkungsmechanismen aufgrund der unterschiedlichen Studienergebnisse auch hier nicht möglich. Hillman et al. (2009, S. 177) gehen davon aus, dass eine verbesserte körperliche Fitness durch wiederholte aerobe körperliche Aktivität zu einer Verbesserung von selbstregulierenden Prozessen führen kann. Gomez-Pinilla und Hillman (2013) stellen die Beeinflussbarkeit der Gehirnpotenziale durch körperliche Aktivität und aerobe Fitness dar. Auch junge Erwachsene profitieren demnach von einem besseren Fitness-Niveau, indem sie schnelle Antworten generieren können und höhere kognitive Flexibilität aufweisen als unfitte Gleichaltrige. Die Autoren schlussfolgern eine verbesserte top down-Kontrolle bei fitten Individuen.

Nach der Untersuchung von fünf Studien, die sich mit dem Zusammenhang von Erregungszustand und körperlicher Aktivität befassen, schlussfolgert Tomporowski (2003b), dass körperliche Aktivität den Erregungszustand beeinflusst und dieser wiederum die kognitive Leistungsfähigkeit verändert. Allerdings fehlen einheitliche Laborergebnisse und daher wird die Art des Zusammenhangs weiter diskutiert.

3.6.2.4 Plastizität des Gehirns

Die Zunahme von Gehirnvolumen ist neben dem Anstieg der Neuronenzahl auch auf die Vermehrung von Zellverbindungen zurück zu führen. Dieser Abschnitt ist daher stark mit anderen Wirkungsmechanismen (siehe Neurotrophine, S. 90; Neuroendokrinologische Gründe, S. 93) verknüpft, wird jedoch aufgrund der großen Repräsentation in der Literatur gesondert behandelt.

Van Praag (2008) schlussfolgert in ihrem Review, dass durch körperliche Aktivität die Neubildung von Neuronen (Neurogenese) im Hippocampus stimuliert wird. Demnach entstehen und überleben bei Ratten drei- bis viermal so viele Neuronen im dentalen Gyrus des Hippocampus, wenn diese regelmäßig im Laufrad laufen. Sowohl bei Nagern als auch beim Menschen können durch körperliche Aktivität Lernen und Gedächtnis verbessert werden. Ähnliche Untersuchungen zeigen nach Etnier (2009, S. 243), dass chronische aerobe körperliche Aktivität den Abbau des menschlichen neuronalen Netzwerks verringert. Körperliche Aktivität ist nach van Praag (2009) sogar "the strongest neurogenic stimulus" (van Praag, 2009, S. 285).

Inzwischen konnten auch bei Menschen Veränderungen der Neuroplastizität durch körperliche Aktivität nachgewiesen werden. Pereira et al. (2007) berichten von durch körperliche Aktivität ausgelöste Neurogenese im Gehirn junger Erwachsenen.

Vor allem aerobe körperliche Aktivität und Fitness stehen im Verdacht, die Plastizität des neuronalen Netzwerks zu erhöhen (Gomez-Pinilla & Hillman, 2013; Hötting & Röder, 2013). Bei körperlich aktiven Menschen besteht eine höhere Konnektivität zwischen den Nervenzellen im Gehirn (Voss, Erickson et al., 2013; Voss, Heo et al., 2013). Um Neubildung von Nervenzellen hervorzurufen, muss die körperliche Aktivität freiwillig durchgeführt werden (Ameri, 2001). Zusätzlich fördert reizreiche Umgebung, sogenanntes "environmental enrichment" (Ehninger et al., 2011, S. 71), Neurogenese im erwachsenen Hippocampus (Ehninger & Kempermann, 2003).

Um neu entstandene Neuronen nutzen zu können, ist deren Einbindung in das neuronale Netzwerk entscheidend. In einer Tierstudie konnten Zhao, Teng, Summers, Ming und Gage (2006) nachweisen, dass körperliche Aktivität den Bau von Verbindungen zwischen den Nervenzellen beschleunigt. Wird IGF1 künstlich injiziert, so steigt die Angiogenese (Hillman et al., 2008). Körperliche Aktivität ist somit entscheidend an der Neubildung von Nervenzellen und deren Einbindung über Synapsen beteiligt.

3.6.2.5 Neuroendokrinologische Gründe

Körperliche Aktivität wirkt sich auf den Stoffwechsel und andere Wirkungsbereiche des Körpers aus (Boutellier, 2010). Anpassungen des Hormonhaushalts an körperliche Aktivität sind komplex (Bouchard et al., 1990). Der Sympathikotonus steigt an und in der Folge werden die Katecholamine Dopamin, Adrenalin und Noradrenalin in das Blut ausgeschüttet (McMorris et al., 2011). Dopamin und Noradrenalin wirken als Neurotransmitter im Gehirn (McMorris, 2009) und werden beispielsweise im Arbeitsgedächtnis benötigt (Berridge et al., 2006). Untersuchungen mit Positronenemissionstomografie konnten zeigen, dass unter

anderem Hippocampus, Basalganglien und Bereiche des Kortex durch Dopamin und Noradrenalin aktiviert werden (Jahanshahi, Dirnberger, Fuller & Frith, 2000; McMorris, 2009).

Tierversuche zeigen einen Anstieg der Konzentration von Serotonin und Dopamin während und nach körperlicher Aktivität (Meeusen & Piacentini, 2003). Ebenfalls steigt durch körperliche Aktivität die Noradrenalin-Konzentration in fast allen Bereichen des Gehirns an (Gerin, Becquet & Privat, 1995; McMorris et al., 2011). McMorris et al. (2008) konnten den Zusammenhang zwischen diesem Anstieg von Noradrenalin (bzw. MHPG) und Reaktionszeiten während körperlicher Aktivität nachweisen. Durch körperliche Aktivität wird die Ausschüttung dieser Neurotransmitter im Allgemeinen erhöht (McMorris, 2009).

Obwohl ein moderater Anstieg des Erregungszustandes den Hippocampus positiv beeinflusst, berichtet McMorris (2009) von den negativen Auswirkungen hochintensiver körperlicher Aktivität auf die Aktivität des Hippocampus. Allerdings schlussfolgert McMorris (2009), dass der Zusammenhang zwischen durch körperliche Aktivität erhöhter Neurotransmitterkonzentration und verbesserter kognitiver Leistung bislang noch nicht ausreichend untersucht wurde, um diesen gesichert anzunehmen. Die theoretischen Prinzipien legen den Zusammenhang nahe, jedoch steht deren gesicherter empirischer Beweis aufgrund der Variabilität der genutzten Testverfahren noch aus (McMorris, 2009).

3.6.3 Lernunterstützende bzw. motorische Mechanismen

In ihrer Meta-Analyse beschreiben Sibley und Etnier (2003) einen Wirkungsmechanismus des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und Kognition, der nicht über anatomische bzw. biologische oder psycho-soziale Faktoren sondern über die durch körperliche Aktivität erzeugten spezifischen Lernsituationen wirkt. Demnach schafft körperliche Aktivität bestimmte Situationen, die Lernvorgänge und kognitive Entwicklung – vor allem im Kindesalter – unterstützen. Die erworbenen Fertigkeiten sind anschließend auf Situationen und Zusammenhänge ohne körperliche Aktivität übertragbar (Kubesch, 2014a; Piaget & Piercy, 1968). Da die Reifung des Gehirns bis ins junge Erwachsenenalter (18-35 Jahre) andauert (Spitzer, 2002; Verburch et al., 2014), darf vermutet werden, dass auch Jugendliche und junge Erwachsene von den lernunterstützenden Rahmenbedingungen profitieren. Insgesamt befasst sich die Literatur wenig mit diesem Aspekt der sportartspezifischen Lernsituation. Bislang stehen biologische Wirkungsmechanismen im Vordergrund.

Sibley und Etnier (2003) postulieren, dass weniger die aktuelle körperliche Anstrengung als die motorische Bewegung innerhalb der Aktivität für den Zusammenhang mit kognitiven Fähigkeiten wichtig ist (Best, 2010). Eine Folgerung des lernunterstützenden Mechanismus von Sibley und Etnier (2003) ist die sportartspezifische Wirkungsweise auf die Kognition. Demnach können sich Sportarten mit gleichen bzw. ähnlichen Ansprüchen an die motorischen

Fähigkeiten aufgrund ihrer spezifischen Lernsituationen trotzdem spezifisch auf die Kognition auswirken.

Dieser Wirkungsmechanismus wird durch den lerntheoretischen Ansatz unterstützt. Bereits 1982 konnte Anderson (1982) nachweisen, dass der Erwerb kognitiver bzw. intellektueller Fertigkeiten ebenso in drei Lernstadien verläuft, wie motorisches Lernen (siehe hierzu S. 11; Fitts, 1964). Nachdem (1) die grundlegenden Regeln erlernt wurden, werden (2) die Schemen flüssiger und können schließlich (3) automatisiert und schneller angewandt werden (Rosenbaum, Carlson & Gilmore, 2001). Diese Ähnlichkeit beim Erwerb sowie beim Ablauf von kognitiven und motorischen Fertigkeiten lassen folgenden Schluss zu: Im Gehirn sind die motorische und kognitive Domäne wesentlich enger verbunden als lange Zeit vermutet wurde und so dürfen die kognitiven und motorischen Systeme nicht getrennt voneinander betrachtet werden (z. B. Ackerman, 1988; Fitts, 1954; Rosenbaum et al., 2001). Besonders eng ist die Verbindung zwischen den beiden Systemen in variablen bzw. komplexen Situationen (Ackerman, 1988). Allgemein ist das Gehirn für komplexe Bewegungsabläufe wichtig (Serrien, Ivry & Swinnen, 2007). Das Kleinhirn ist nach Diamond (2000) sowohl für komplexe motorische als auch für komplexe kognitive Funktionen wichtig. Dadurch können strukturelle Unterschiede entstehen (z. B. Carey, Bhatt & Nagpal, 2005). Bei automatisierten Bewegungen hingegen ist dies weniger der Fall. „The execution of complex motor movement promotes neural growth in the hippocampus, cerebellum, and cerebral cortices to a greater degree than does repetitive motor movement“ (Best, 2010, S. 340). Regelmäßige körperliche Aktivität in neuartiger und komplexer Umgebung beeinflusst die Morphologie des Gehirns (z. B. Angiogenese in Hippocampus und präfrontalem Kortex) positiv (Best, 2010; Ekstrand, Hellsten & Tingström, 2008). Best (2010) verdeutlicht die Wirkungsweise an einem Beispiel, wonach die exekutiven Funktionen durch aerobe, anspruchsvolle und komplexe Bewegungen (aerobes Spiele) stärker beeinflusst werden als durch reine aerobe körperliche Aktivität (aerobes Laufen). Chronische physiologische Veränderungen werden hierbei durch beide Bewegungsformen verursacht, jedoch schaffen die freien Sportspiele weitere Wirkungsweisen (komplexe Situationen, die weitere Denkprozesse fordern). Neben der Art der körperlichen Aktivität hat demnach auch die Bewegungsumgebung einen Einfluss auf die Ausbildung spezifischer kognitiver Fähigkeiten (z. B. Best, 2010; Curlik & Shors, 2013; Hillman et al., 2008; Hötting & Röder, 2013). Beispielsweise fördert "environmental enrichment" (Ehninger et al., 2011, S. 71) die Neurogenese im Hippocampus (siehe hier S. 74f, S. 93f).

In einer Interventionsstudie mit insgesamt 57 Mädchen (Alter: 6-14 Jahre) untersuchen Jansen, Lange und Heil (2011) die Auswirkungen von Jonglieren auf die mentale Leistungsfähigkeit. Innerhalb von drei Monaten übten die Mädchen der Interventionsgruppe ($N=26$, Alter: $10,4 \pm 2,2$ Jahre) täglich Jonglieren. Die Kontrollgruppe ($N=24$, Alter: $10,5 \pm 2,4$ Jahre) führte ein leichtes Krafttraining mit Therabändern durch. Im Anschluss an den Interventionszeitraum verkürzte sich die Reaktionszeiten der Mädchen mit Jongliertraining teilweise signifikant mehr als bei der Kontrollgruppe (90° und 180° , $p < .001$). Die Autoren schlussfolgern, dass sich Jonglieren positiv auf die "mental rotation performance in school-children"

(Jansen et al., 2011, S. 21) auswirkt.

Taddei et al. (2012) gehen ebenfalls von sportartspezifischen kognitiven Anforderungen aus. Besonders "open-skill sports" (Taddei et al., 2012, S. 1057), d.h. Sportarten, in denen "skills are executed in a constantly changing environment" (Highlen & Bennett, 1983, S. 391) wirken sich positiv auf die exekutiven Funktionen aus.

Nach Erickson (2012) erhöht körperliche Aktivität die Flexibilität von Denkstrategien. Dies führt zu verbesserten kognitiven Leistungen. Dem liegt die Theorie zugrunde, dass die Kommunikation und Konnektivität der neuronalen Bereiche untereinander durch z. B. verbesserte körperliche Fitness gesteigert wird und die kognitiven Funktionen dies nutzen können. Vor allem exekutive Funktionen profitieren von einer verbesserten Einbindung des Hippocampus. Bislang sind die "systems-level mechanisms" (Erickson, 2012, S. 325) jedoch nicht ausreichend erforscht, um detaillierte Aussagen zur Wirkungsweise treffen zu können.

Hillman und Schott (2013) weisen auf den möglichen Effekt der Trainingsinhalte bezüglich des Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und Kognition hin. Demnach kann Koordinationstraining das Gehirn in anderer Weise beeinflussen als beispielsweise Ausdauersport. Diese Erkenntnis passt zu den von Sibley und Etnier (2003) postulierten sportartspezifischen lernunterstützenden Situationen und legt nahe, dass motorischen und kognitives Lernen eng verbunden sind. Eine mögliche Erklärung ist die Stimulation verschiedener neuronaler Netzwerke durch Koordinationstraining (Hötting & Röder, 2013). Isaacs, Anderson, Alcantara, Black und Greenough (1992) konnten beispielsweise im Tierversuch „spezifische Veränderungen der Gehirnfunktion“ (Hillman & Schott, 2013, S. 38) durch Akrobatiktraining nachweisen. Weitere Untersuchungen zum „differenziellen Einfluss verschiedener Arten von Trainingsinhalten auf die Kognition“ (Hillman & Schott, 2013, S. 38) werden benötigt. Bekannt ist jedoch, dass sich komplexe Bewegungsausführungen positiv auf neuronale Prozesse im Seniorenalter auswirken (Voelcker-Rehage et al., 2011).

Wie bereits beim physischen Training mit kognitiven Anforderungen (S. 74) erwähnt wurde, können Umgebungsbedingungen die spezifischen Lernsituationen zudem unterstützen (Fabel et al., 2009; Hillman et al., 2008). Wird das Gehirn während körperlicher Aktivität beansprucht, steigert dies die Kognitionsleistung zusätzlich (Fabre et al., 2002; Hötting & Röder, 2013). Die zur Steigerung der kognitiven Funktion wichtige Einbindung von Neuronen in das neuronale Netzwerk wird durch körperliche Aktivität, vor allem in dem für Lernvorgänge wichtigen Bereich des Hippocampus, erleichtert (Curlik & Shors, 2013). Die gesteigerte Aktivität des Arbeitsgedächtnisses während motorischer Lernprozesse ist zudem ein Vorteil körperlicher Aktivität (Curlik & Shors, 2013).

Neben den psycho-sozialen und biologischen Wirkungsmechanismen (siehe S. 88 bzw. S. 89ff) liefert die lernunterstützende bzw. motorische Wirkungsannahme weitere Möglichkeiten der Einflussnahme körperlicher Aktivität auf die Kognition bzw. die Entwicklung kognitiver Fähigkeiten. Weitere Untersuchungen sind jedoch nötig. Vor allem motorisches Lernen, Koordinationstraining, komplexe Umgebungsbedingungen und spezifische kognitive Lernsituationen während körperlicher Aktivität scheinen Auswirkungen auf die Kognition zu haben.

3.7 Neuronale Verknüpfungen von körperlicher Aktivität und kognitiven Fähigkeiten

Das Gehirn ist stets an der Ausführung von Bewegungen und motorischen Lernvorgängen beteiligt. Um kognitive Denkvorgänge zu verknüpfen, sind anatomische Verknüpfungen nötig (Schmahmann & Pandya, 1997). Intellektuelle und motorische Fertigkeiten dürfen nicht getrennt betrachtet werden (z. B. Rosenbaum et al., 2001). Nachfolgend werden für den Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiven Fähigkeiten essenzielle Gehirnbereiche näher beschrieben.

3.7.1 Cerebellum

Die motorische und kognitive Entwicklung eines Menschen ist wesentlich stärker verflochten als Wissenschaftler dies für lange Zeit behauptet haben und läuft in Großteilen parallel ab (Diamond, 2000). Seit Mitte der 1980er ist bekannt, dass die Denkvorgänge im Kleinhirn nicht nur der Kontrolle und Koordination von Bewegungen dienen, sondern auch eine Reihe kognitiver Funktionen beinhalten (Rosenbaum et al., 2001). Gerade neuartige kognitive Aufgaben und Aufgaben, die Aufmerksamkeitsleistung erfordern, werden in beiden Hirnarealen gemeinsam gelöst (Diamond, 2000, S. 45).

Biologisch sind auch Kleinhirn und zerebraler Motorkortex miteinander verbunden (Ito, 1993). Schmahmann und Pandya (1997) zeigen im "cerebrocerebellar circuit" (Schmahmann & Pandya, 1997, S. 32) die Verknüpfung von zerebralem Kortex, Pontine Nuclei, Cerebellum, Red Nucleus und Thalamus auf. Dieser Kreislauf besteht aus afferenten (feedforward) und efferenten (feedback) Teilen und ist stark in die Bewegungsausführung eingebunden. Kleinhirn und dorsolateraler präfrontaler Kortex sind für eine Vielzahl an kognitiven Funktionen gemeinsam verantwortlich (Middleton & Strick, 1997).

Wissenschaftliche Untersuchungen lassen derzeit die Vermutung zu, dass bewegungskontrollierende kognitive Prozesse, die im Kleinhirn ablaufen, ebenfalls für mentale Prozesse wie beispielsweise Kreativität benutzt werden (Ito, 1993, 2008). Kleinhirn und Arbeitsgedächtnis spielen nach Vandervert et al. (2007) eine zentrale Rolle für kreatives Denken. "Movement and thought can be controlled with the same neural mechanisms" (Ito, 1993, S. 449). Die Steuerung von Körperteilen und das Lösen von Problemen stellt für das Gehirn keine großen Unterschiede dar: "both ideas and limbs are control objects" (Vandervert et al., 2007, S. 6). Bewegung und Gedanken sind für die Kontrollmechanismen im Gehirn gleichwertig (Ito, 1993). Im gleichen Maße wie das Kleinhirn für Rhythmus, Krafteinsatz und Genauigkeit von Bewegungen verantwortlich ist, kann es Kapazität, Beständigkeit und Geschwindigkeit kognitiver Prozesse regulieren (Schmahmann & Pandya, 1997). Die hier beschriebene Theorie von Vandervert et al. (2007) hat jedoch auch Kritiker. Beispielsweise äußert Jalil (2007) Bedenken bezüglich der aufgestellten Verbindung von körperlicher und kognitiver Kreativität und merkt die Wichtigkeit des Kortex' im kreativen Prozess an.

Nach der Timing Theorie von Ivry und Keele (1989) ist die laterale Hemisphäre des Kleinhirns für den zeitlichen Ablauf von sensorischen, motorischen und kognitiven Aufgaben verantwortlich. Somit hat das Kleinhirn eine spezifische Funktion für kognitive Prozesse (Ivry, 1997). Hallett und Grafman (1997) sind ebenfalls der Meinung, dass derselbe "timing and sequence mechanism" (Hallett & Grafman, 1997, S. 318), den das Kleinhirn durch seine Verbindung zu Thalamus und Motorkortex für motorische Prozesse zur Verfügung stellt, auch bei kognitiven Prozessen über die Verbindung zum präfrontalen Kortex zum Einsatz kommt. Die beiden Hirnareale arbeiten demnach als "frontal-subcortical system" (Hallett & Grafman, 1997, S. 319). Als Folge dieser Hypothese kann vermutet werden, dass eine Einwirkung durch motorische Leistungen auf diesen Kontrollmechanismus einen Einfluss auf spezifische kognitive Prozesse hat. Strategisches Denken, Kontrollprozesse, assoziatives Lernen und Planungsvorgänge sind nach Hallett und Grafman (1997) Beispiele für diese kognitiven Fähigkeiten.

Das Arbeitsgedächtnis ist ein zentraler Bestandteil der Kognition und an vielen kognitiven Fähigkeiten beteiligt. Durch körperliche Aktivität wird die Prozessgeschwindigkeit des Arbeitsgedächtnisses signifikant verbessert (McMorris et al., 2011). Dabei entsteht jedoch neuronaler Lärm, der zu einem Abfall der Genauigkeit der Handlungen führt. McMorris und Kollegen (2011) führen die Ergebnisse auf kognitiv-energetische und neuroendokrinologische Wirkungsmechanismen zurück.

Untersuchungen an Patienten mit Verletzungen am Kleinhirn zeigen, dass beispielsweise flüssiges Sprechen (Fähigkeit verbaler Flüssigkeit), das dem präfrontalen Kortex zugeordnet wird (Diamond, 2000, S. 45), sowie Planungsvorgänge und strategisches Denken (Hallett & Grafman, 1997) und "word fluency" (Hallett & Grafman, 1997, S. 312) durch Verletzungen am Kleinhirn gestört werden.

3.7.2 Hippocampus

Durch seine zentrale Funktion bei der Konsolidierung von Wissen ist der Hippocampus ein für Lernvorgänge essenzieller Bereich des Gehirns (Trudeau & Shephard, 2008). Die "long-term potentiation" (Trudeau & Shephard, 2008, S. 8) ist für die gesteigerte Funktion des Hippocampus wichtig und kann durch körperliche Aktivität begünstigt werden (Cooke & Bliss, 2006). Neben Neurogenese und neuronaler Übertragung sind neurotrophe Faktoren Gründe für gesteigerte "long-term potentiation" durch körperliche Aktivität (Trudeau & Shephard, 2008).

In Tierversuchen (erwachsene Nagetiere) konnten bislang die positiven Auswirkungen von chronischer körperlicher Aktivität auf Neurogenese und somit Wachstum neuer Nervenzellen im Hippocampus nachgewiesen werden (van Praag et al., 1999; van Praag, Kempermann & Gage, 1999).

Auch beim Menschen scheint der Hippocampus von körperlicher Aktivität zu profitieren. Sehr fitte (ältere) Erwachsene haben nach Erickson und Kollegen (2009; 2011) einen größeren und somit leistungsfähigeren Hippocampus. Die Autoren konnten in einer Interventionsstudien mit 120 älteren Erwachsenen,

aufgeteilt auf zwei Gruppen (Aerobe Aktivität: $N=60$, Alter: $67,6 \pm 5,8$ Jahre; Kontrolle: $N=60$, Alter: $65,5 \pm 5,4$ Jahre) die positive Wirkung von aerober körperlicher Aktivität auf den Hippocampus nachweisen. Demnach stieg das Volumen des Hippocampus nach einem Jahr Trainingsintervention (40 Min/Woche moderates Walking) um 2% und somit signifikant mehr als bei der Kontrollgruppe (Dehnen) an ($F(2,114)=8.25$; $p<.001$; $\eta^2=.12$). Ähnlich wie bei Muskeln, müssen, zur Steigerung der Gehirnfunktionen, auf Phasen der Stimulation Phasen der Erholung folgen um eine "supercompensation" (Trudeau & Shephard, 2008, S. 8) hervorzurufen.

3.8 Interventionsstudien mit Studierenden als Zielgruppe

Studierende sind bezüglich Untersuchungen der kognitiven Leistungsfähigkeit eine besondere Zielgruppe (u. a. Hötting & Röder, 2013; Stroth et al., 2009; siehe auch Abschnitt 2.3 Studierende, S. 44ff). Vermutlich sind Studierende bislang weniger aufgrund ihrer Besonderheiten, als vielmehr aufgrund ihrer Verfügbarkeit als Zielgruppe zur Untersuchung des Zusammenhangs körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit herangezogen worden.

Im Folgenden werden acht Studien zum Zusammenhang von körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit vorgestellt, die sich mit Studierenden befassen, um einen Überblick über die aktuelle Studienlandschaft mit Studierenden als Zielgruppe zu geben.

Anshel (1996) zeigte in seiner Interventionsstudie mit 60 untrainierten männlichen Studenten zwischen 19,3 und 25,6 Jahren (MW=21,9 Jahre), dass chronische und aerobe körperliche Aktivität als eine Strategie der Stressprävention angesehen werden. Ähnliche Ergebnisse berichten von Haaren et al. (2015). Die Autoren konnten die positiven Auswirkungen eines 20-wöchigen aeroben Laufprogramms auf die emotionale Stressreaktivität von Studierenden ($N=61$; Alter: $21,4 \pm 1,6$ Jahre) in tatsächlichen Prüfungssituationen nachweisen.

Yagi et al. (1999) belegten in ihrer Studie mit 24 Studierenden (Alter: $20,0 \pm 2,0$ Jahre) die positiven Auswirkungen von moderater körperlicher Aktivität auf akustische und visuelle Informationsverarbeitungsprozesse. Aufmerksamkeit ist eine limitierte Ressource, die in Phasen körperlicher Aktivität gleichzeitig auf die Testaufgabe und die Durchführung der körperlichen Aktivität aufgeteilt werden muss und daher kleinere EEG-Amplituden aufweist. Die Verbesserung der Reaktionszeit während der körperlichen Aktivität wird nach Yagi et al. (1999) durch den veränderten Erregungszustand der Probanden verursacht. Dennoch bleiben die genauen Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die Aufmerksamkeitssteuerung unklar (Yagi et al., 1999).

Den positiven Einfluss von akuter kardiovaskulärer körperlicher Aktivität auf die exekutiven Kontrollprozesse und die Zuweisung von Aufmerksamkeit konnten Hillman et al. (2003) bei Studierenden ($N=19$; Alter: $20,5 \pm 0,5$ Jahre) nachweisen. Der Erregungszustand bleibt auch nach der körperlichen Aktivität für gewisse Zeit erhöht (vgl. auch Yagi et al., 1999).

Themanson und Hillman (2006) teilten Studierende aufgrund ihres $VO_2\max$ in eine körperlich fitte ($N=14$; Alter: $20,1 \pm 1,7$ Jahre) und weniger fitte Gruppe ($N=14$; Alter: $20,6 \pm 2,4$ Jahre) auf. Bei beiden Gruppen wurden EEG-Messungen während eines Reaktionstests mit Entscheidungsaufgabe (Eriksen flanker task) in Anschluss an 30 Minuten körperliche Ruhe (Lesen) und 30 Minuten Fahrradfahren (Fahrradergometer mit moderater Intensität) durchgeführt. Die unterschiedlichen Ergebnisse des ERP zeigen verbesserte top-down Aufmerksamkeitskontrolle der fitten Studierenden im Vergleich zu den weniger fitten Studierenden. Die Autoren konnten keinen akuten Einfluss der körperlichen Aktivität feststellen, d.h. die Testergebnisse im Anschluss an Lesen und Fahrradfahren unterscheiden sich nicht signifikant (Themanson & Hillman, 2006).

Die Auswirkungen von individuell angepasstem sechswöchigen Ausdauertraining (dreimal 30 Minuten pro Woche Laufen) auf mehrere kognitive Leistungsbereiche

untersuchten Stroth et al. (2009) bei 28 überwiegend Studierenden (Alter: $19,7 \pm 3,3$ Jahre) einer Akademie für Gesundheitsberufe. Im Anschluss an die Trainingsintervention erzielte die Interventionsgruppe (aerobes Laufprogramm) signifikant bessere Testergebnisse beim positiven Affekt (PANAS; $F(1,26)=3.33$; $p=.01$) und räumlich-zeitlichen Gedächtnis (VVM; $F(1,26)=7.82$; $p=.01$). Das verbale Gedächtnis und die selektive Aufmerksamkeit (Erfassung mittels d2-Test) wurden durch die körperliche Aktivität nicht beeinflusst. Die Autoren verweisen auf Schwierigkeiten bei der Erfassung kognitiver Leistungsdaten, da diese Zielgruppe wenig Spielraum zur Verbesserung ihrer kognitiven Leistungsfähigkeit hat (Stroth et al., 2009).

Lambourne et al. (2010) wiesen in ihrer Studie mit 19 Studierenden (Alter: $21,1 \pm 1,7$ Jahre) nach, dass aerobe körperliche Aktivität einen positiven Einfluss auf Informationsverarbeitungsprozesse und Reizerkennung hat, sich jedoch nicht auf die Aktivierung exekutiver Funktionen auswirkt. Die Autoren erklären diesen Zusammenhang mit der "arousal theory". Nach dieser Theorie erhöht körperliche Aktivität den Erregungszustand des Körpers und verbessert somit die Aufmerksamkeitskontrolle (vgl. auch Hillman et al., 2003; Yagi et al., 1999).

Den Einfluss des Fitnesszustands auf den Zusammenhang körperlicher Aktivität und selektiver Aufmerksamkeit untersuchten Budde et al. (2012) in ihrer Studie mit "cross-over" Design bei 46 Studierenden (Alter: $23,1 \pm 2,6$ Jahre) mithilfe des d2-Tests. Die Ergebnisse zeigen, dass lediglich körperlich aktive Studierenden den positiven Effekt von akuter körperlicher Aktivität auf die Kognition nutzen können ($F(1,42)=6.70$; $p=.013$; $\eta^2=.14$). Demnach bewirkt ein hohes allgemeines Aktivitätsniveau verbesserte selektive Aufmerksamkeit direkt im Anschluss an körperliche Aktivität mit maximaler Intensität.

Akute körperliche Aktivität wirkt sich vorteilhaft auf Bereiche der kognitiven Kontrolle aus (Scudder, Drollette, Pontifex & Hillman, 2012). In ihrer Interventionsstudie mit 34 Studierenden (Alter: $19,7 \pm 1,3$ Jahre) zeigen die Autoren, dass nach aerober körperlicher Aktivität die Inhibition der Probanden verbessert wurde und eine größere Zuweisung von Aufmerksamkeit auf zielrelevante Funktionen besteht. Die zugrundeliegenden Wirkungsmechanismen sind bislang jedoch unklar.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass während körperlich aktiver Phasen die Aufmerksamkeit aufgrund der Ressourcenteilung zwar sinkt (Yagi et al., 1999), jedoch nach körperlicher Aktivität über das Ausgangsniveau hinaus steigt (Hillman et al., 2003; Scudder et al., 2012). Zusätzlich konnte ein positiver Zusammenhang zwischen akuter körperlicher Aktivität und exekutiven Funktionen (Hillman et al., 2003; Scudder et al., 2012; Stroth et al., 2010) sowie erhöhter Wahrnehmung (Scudder et al., 2012; Yagi et al., 1999) bei Studierenden nachgewiesen werden. Regelmäßige körperliche Aktivität wirkt sich auch bei Studierenden positiv auf Teile der Kognition – vor allem Aufmerksamkeitsleistungen – aus (Budde et al., 2012; Themanson & Hillman, 2006). Eine intakte Aufmerksamkeitssteuerung kann nach Budde et al. (2008) als Voraussetzung für bessere akademische Leistungen gesehen werden. Eine Differenzierung bezüglich der Studiengänge ist nicht bekannt. Die möglichen Auswirkungen spezifischer Studiengänge auf den Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit sind daher unklar.

3.9 Zusammenfassung

Bislang konnten mehrere Literatur-Reviews und Meta-Analysen den positiven Einfluss körperlicher Aktivität auf kognitive Funktionen nachweisen (Colcombe & Kramer, 2003; Etnier et al., 1997; Etnier et al., 2006; Hillman et al., 2008; Sibley & Etnier, 2003; Smith et al., 2010; Verburgh et al., 2014). Dabei scheinen Alter und körperlicher Leistungszustand der Probanden, Intensität und Art der körperlichen Aktivität, Art der untersuchten kognitiven Funktion und deren Erhebungsverfahren bzw. Messzeitpunkt Mediatoren des Zusammenhangs zu sein (Colcombe & Kramer, 2003; Etnier et al., 1997; Lambourne & Tomporowski, 2010; Smith et al., 2010).

Vor allem hochrangige kognitive Funktionen (exekutive Funktionen) können durch körperliche Aktivität positiv beeinflusst werden (Chen et al., 2014; Davis & Lambourne, 2009; Kubesch, 2014a). Dabei sind die positiven Effekte direkt im Anschluss (Brisswalter et al., 2002; Chang et al., 2012; Chen et al., 2014; Etnier et al., 1997; Hillman et al., 2003; Lambourne & Tomporowski, 2010; Tomporowski, 2003b; Verburgh et al., 2014) sowie nach längerer körperlicher Aktivität (Castelli et al., 2007; Hötting & Röder, 2013; McMorris et al., 2009b; Verburgh et al., 2014) nachweisbar. Es scheint eine Verknüpfung hochrangiger kognitiver und motorischer Funktionen zu bestehen (Diamond, 2000; Scibinetti et al., 2011; Vandervert et al., 2007; Verburgh et al., 2014). Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis und Inhibition stellen drei erstrangige exekutive Funktionen dar, die stark von körperlicher Aktivität profitieren (Budde et al., 2008; Chen et al., 2014; Pesce, 2012). Außerdem scheinen kreative Bewegungen und kreatives Denken miteinander verknüpft zu sein (Scibinetti et al., 2011).

Die Effekte körperlicher Aktivität (mindestens 20 Minuten) auf die kognitive Leistungsfähigkeit sind für fitte Probanden am größten (Chang et al., 2012). Im Anschluss an körperliche Aktivität hat hohe Intensität die besten Auswirkungen auf die Kognition. Generell sollten aber mehrere physiologische Mechanismen (z. B. Herzfrequenz, BDNF, Dopamin) zusammen aktiviert werden, um den Effekt auf die Kognition zu vergrößern. Daher ist die Kombination aus Kraft- und Ausdauersport für Erwachsene am effektivsten (Colcombe & Kramer, 2003).

Die Untersuchungsdichte mit jungen Erwachsenen ist bislang eher gering (Hötting & Röder, 2013), und die meisten der Untersuchungen mit dieser Zielgruppe befassen sich mit dem akuten Zusammenhang körperlicher Aktivität und kognitiven Funktionen (Chen et al., 2014). Zur Erfassung der exekutiven Funktionen (hier: Inhibition) im jungen Erwachsenenalter bietet sich der d2-Test nach Brickenkamp (2002) an (Verburgh et al., 2014). Zu den chronischen Auswirkungen körperlicher Aktivität besteht insgesamt ein Forschungsdesiderat. Neben psycho-sozialen Mechanismen werden aktuell vor allem Erregungszustand, neurotrophe Faktoren (z. B. BDNF), Katecholamine und zerebrale Durchblutung als biologische Wirkungsmechanismen von körperlicher Aktivität auf verbesserte Kognition diskutiert (Chen et al., 2014; Erickson, 2012; Gomez-Pinilla & Hillman, 2013; Hötting & Röder, 2013; Kubesch, 2014a; Tomporowski et al., 2008; Verburgh et al., 2014). Weitere Untersuchungen zu Wirkungszusammenhängen zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit sind nötig (Chen et al., 2014; Davis & Lambourne, 2009;

Dietrich, 2006; Hillman et al., 2008). Unterschiede bezüglich der Trainingsinhalte und sportartspezifischen Lernsituationen (siehe Hillman & Schott, 2013; (Sibley & Etnier, 2003; Taddei et al., 2012) sind bislang wenig erforscht. Vor allem sportartspezifische kognitive Anforderungen könnten domänenübergreifende Auswirkungen haben. Sportarten mit offenem Fertigungsprofil (open-skill sports) erscheinen ebenfalls als gute Möglichkeit, um die exekutiven Funktionen von jungen Erwachsenen zu verbessern (Taddei et al., 2012). Ansätze der Lerntheorie legen nahe, dass motorisches und kognitives Lernen eng verbunden ablaufen (Ackerman, 1988; Rosenbaum et al., 2001). Vor allem für bislang wenig erforschte Zielgruppe der Studierenden besteht für diesen Wirkungszusammenhang ein Forschungsdesiderat.

IV Empirische Untersuchungen

Der theoretische Hintergrund der vorliegenden Untersuchung macht deutlich, dass Studierende eine besondere Zielgruppe mit spezifischen kognitiven Anforderungen sind (siehe S. 46ff). Ziele des Studiums wie z. B. Employability und die Ausbildung eines breiten Kompetenzrasters sowie gestiegene komplexe kognitive Anforderungen in Studium und im späteren Beruf haben zur Folge, dass Hochschulen ihr Studienangebot vermehrt fächerübergreifend ausrichten und neben Fachwissen auch allgemeine Kompetenzen fördern (z. B. House of Competence des KIT). Dieses Angebot ist jedoch nicht vollständig entwickelt und bedarf weiterer Vermittlungsmöglichkeiten.

Als übergeordnete kognitive Kontrollmechanismen sind die exekutiven Funktionen wichtig für den akademischen Erfolg (St. Clair-Thompson & Gathercole, 2006; siehe S. 14ff). Dies gilt speziell für einzelne exekutive Funktionen, wie beispielweise Aufmerksamkeitssteuerung, Konzentrationsfähigkeit und Kreativität, die eigenständige (Schlüssel-) Kompetenzen und zentrale kognitive Fähigkeiten darstellen (z. B. Kubesch, 2014b; Mertens, 1974; Salvisberg, 2010; siehe S. 16ff und S. 20ff). Die Ausbildung und Steigerung spezifischer kognitiver Fähigkeiten hilft den Studierenden neben der Ausbildung ihrer Kompetenzen zudem bei der Bewältigung studienbezogener Anforderungen (z. B. langen Klausurphasen). Untersuchungen zu den Möglichkeiten der Steigerung studienrelevanter kognitiver Fähigkeiten bzw. Kompetenzen scheinen daher sinnvoll. Körperliche Aktivität stellt eine Möglichkeit zur Beeinflussung dieser kognitiven Funktionen dar (siehe Forschungsstand, S. 58ff). Vor allem höherrangige kognitive Funktionen sind durch körperliche Aktivität positiv beeinflussbar (siehe S. 75ff). Die vorliegende Dissertation hat sich zum Ziel gesetzt, herauszufinden, ob und wie körperliche Aktivität die für Studierende relevanten kognitiven Fähigkeiten bzw. Kompetenzen positiv beeinflussen kann.

Bislang existieren wenige Untersuchungen zu den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf exekutive Funktionen bei gesunden jungen Erwachsenen – und vor allem bei Studierenden (z. B. Hötting & Röder, 2013; Pérez et al., 2014 S. 66ff). Die ausführliche Darstellung des aktuellen Forschungsstand zu den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit zeigt zudem, dass überwiegend aerobe körperliche Aktivitäten (z. B. Fahrradfahren, Laufen) als körperliche Interventionen in Interventionsstudien eingesetzt werden (Roig et al., 2013; siehe S. 71ff) und häufig biologische Wirkungsmechanismen (z. B. Gehirndurchblutung, BDNF) hinter diesem Zusammenhang vermutet werden (siehe S. 85ff). Die Auswirkungen von motorischem Lernen, Koordinationsübungen, komplexen motorischen Aktivitäten, kognitiver Beschäftigung und "environmental enrichment" auf die kognitive Leistungsfähigkeit rücken zunehmend in den Forschungsmittelpunkt, wurden jedoch bislang eher vernachlässigt (z. B. Curlik & Shors, 2013; Hillman et al., 2008; Hötting & Röder, 2013; Sibley & Etnier, 2003; siehe S. 73, S. 74, S. 94ff). Untersuchungen in diesen Bereichen gehen – neben den biologischen Wirkungsmechanismen – zusätzlich von motorischen bzw. lernunterstützenden Wirkungsmechanismen körperlicher Aktivität aus. Demnach beeinflussen Art, Komplexität und Neuartigkeit der

körperlichen Aktivität den Effekt auf die kognitiven Fähigkeiten. Vor allem exekutive Funktionen sind durch solche Bewegungsformen in komplexer und anregender Umgebung positiv beeinflussbar (z. B. Best, 2010; siehe S. 94ff). Je nach Art der körperlichen Aktivität werden spezifische morphologische Veränderungen im Gehirn hervorgerufen bzw. spezifische kognitive Fertigkeiten ausgebildet. Der Effekt von aerober Aktivität auf die Kognition ist in Verbindung mit kognitiver Herausforderung größer, als von aerober Aktivität alleine (Best, 2010, S. 347; Delignières et al., 1994).

Die vorliegende Dissertation geht von einer motorischen bzw. lernunterstützenden Wirkungsannahme aus, wonach die Art der körperlichen Aktivität sowie die Komplexität der Umgebung die Auswirkungen auf spezifische exekutive Funktionen beeinflusst. Dahinter steckt die Vermutung, dass Bewegungsformen, die unter Ausnutzung spezifischer exekutiver Funktionen durchgeführt werden, diese exekutiven Funktionen durch sportartenspezifische Lernsituationen fördern. Diese Lernsituationen unterscheiden solche Bewegungsformen von reiner körperlicher Aktivität (z. B. Laufen auf dem Laufband, Radfahren auf dem Fahrradergometer) und wirken sich somit über biologische und zudem motorische bzw. lernunterstützende Mechanismen auf die Kognition aus – so die Hypothese dieser Dissertation. Konkret soll untersucht werden, ob durch das Erlernen und die Ausübung bestimmter Sportarten bzw. Bewegungsformen die für Studierende essenziellen kognitiven Fähigkeiten beeinflusst und auf den Studierendenalltag übertragen werden können. Hierzu werden beispielhaft geeignete exekutive Funktionen herausgegriffen und deren Beeinflussbarkeit durch aerobe und spezifische körperliche Aktivität empirisch untersucht. Untersuchungen zu dieser Hypothese sind nicht bekannt. Die vorliegende Dissertation setzt sich daher zum Ziel, dieses Forschungsdesiderat zu schließen und somit ein zusätzliches Argument – neben Gesundheit, Wohlbefinden und sozialer Integration – für die längerfristige Ausübung körperlicher Aktivität im Studierendenalltag zu liefern. Eine Bestätigung dieser Hypothese hätte große Auswirkungen auf das Studium, da körperliche Aktivität eine neuartige Möglichkeit für die Ausbildung kognitiver Fähigkeiten bzw. Kompetenzen von Studierenden darstellen könnte.

Da Konzentrationsfähigkeit und Kreativität essenzielle Fähigkeiten für Studierende darstellen (Jahnke & Haertel, 2010; Ma, 2006; Salvisberg, 2010; Yeh et al., 2012; siehe kognitive Anforderungen von Studierenden, S. 46 ff) und deren Beeinflussbarkeit durch körperliche Aktivität bereits gezeigt werden konnte (siehe S. 77ff), wurden diese beiden exekutiven Funktionen als abhängige Variablen der Interventionsstudien beispielhaft ausgewählt. In den nachfolgend beschriebenen und ausführlich diskutierten empirischen Untersuchungen wird daher die Beeinflussbarkeit der Konzentrationsfähigkeit (S. 107ff) und der kreativen Denkleistung (S. 124ff) von Studierenden durch, im Sinne der lernunterstützenden bzw. motorischen Wirkungsannahme, passende Bewegungsformen untersucht.

Um den Einfluss der Art der körperlichen Aktivität auf die spezifische kognitive Fähigkeit (Konzentrationsfähigkeit bzw. Kreativität) zu messen, wurden zwei separate Untersuchungen im quasi-experimentellen Forschungsdesign mit jeweils körperlich aktiver Kontrollgruppe (aerobes Laufen) durchgeführt. Die Wahl einer körperlich aktiven Kontrollgruppe ist dahingehend entscheidend, dass in den

vorliegenden Untersuchungen nicht die körperliche Bewegung bzw. Anstrengung sondern, wie bereits beschrieben, die durch die körperliche Aktivität erzeugten kognitiven Anforderungen bzw. Lernsituationen untersucht werden sollen. Sowohl Interventions- als auch Kontrollgruppe profitieren daher von biologischen Effekten körperlicher Aktivität auf die Kognition, jedoch erzeugt lediglich die Interventionsaktivität spezifische kognitive Anforderungen, fordert dabei die ausgewählte exekutive Funktion und regt motorische bzw. lernunterstützende Wirkungsmechanismen an. Eine körperlich inaktive Kontrollgruppe würde den Untersuchungen die Differenzierbarkeit der zugrundeliegenden Wirkungsmechanismen entziehen.

Da Untersuchungen im Querschnittsdesign keine Rückschlüsse auf ursächliche Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit zulassen (Hötting & Röder, 2013), wurde die körperliche Intervention über einen längeren Zeitraum (ein Studiensemester) durchgeführt und der spezifische kognitive Leistungstest (d2-R und ASK) vor und nach diesem Interventionszeitraum wiederholt. Auf die Wichtigkeit der Wiederholung von Messzeitpunkten verweisen ebenfalls Kanning, Ebner-Priemer und Schlicht (2013): "Analyses of within-subject relations" (Kanning et al., 2013, S. 2) sind notwendig, um Zusammenhänge zwischen Variablen verstehen zu können. Dynamische Verbindungen können somit besser erfasst werden. Um den Übertrag der kreativen Denkleistung auf den Studierendenalltag zu simulieren, wurde ein Test zur Analyse der verbalen – somit sportunabhängigen – Kreativität angewandt.

Zur Überprüfung der Hypothese, ob durch körperliche Aktivität hervorgerufene Lernsituationen spezifische kognitive Fähigkeiten von Studierenden steigern können, wurden zwei Interventionsstudien durchgeführt, die nachfolgend beschrieben werden.

4.1 Konzentrationssteigerung durch Sportfechten?

Die nachfolgende Untersuchung befasst sich mit den Auswirkungen von Sportfechten auf die Konzentrationsleistung von Studierenden. Mit dieser Untersuchung soll beispielhaft die Fragestellung geklärt werden, ob sich eine ausgewählte exekutive Funktion von Studierenden (hier: Konzentrationsfähigkeit) durch das Erlernen und Ausüben einer Sportart, die ebendiese exekutive Funktion in besonderem Maße fordert, beeinflussen lässt. Nachfolgend wird die Wahl von Sportfechten als unabhängige Variable begründet.

Es existiert ein positiver Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und Aufmerksamkeitsleistung (Chang et al., 2012; Hillman et al., 2003; Kamijo et al., 2007; siehe Forschungsstand, S. 77ff). Bisläng werden jedoch hauptsächlich die Auswirkungen aerober, zyklischer Bewegungsformen (z. B. Laufen) auf Aufmerksamkeitsleistungen untersucht und vor allem biologische Wirkungsmechanismen, wie Änderungen des Erregungszustands, als Gründe für den positiven Zusammenhang vermutet. In Anlehnung an Erkenntnisse aus der Lerntheorie und lernunterstützenden Wirkungsannahmen (siehe S. 94ff) befassen sich einige Untersuchungen mit den Auswirkungen einzelner Sportarten bzw. Bewegungsformen auf Aufmerksamkeitsleistungen. Beispielsweise scheinen sich exekutive Funktionen durch Kampfkünste positiv beeinflussen zu lassen (Diamond & Lee, 2014).

In einer Interventionsstudie mit 20 Fechter(innen) (Experten; Ø Alter: 24,0 ±8,3 Jahre) und 20 Sportler(innen) aus Sportarten ohne besondere Entscheidungsaufgaben (Nicht-Experten; Ø Alter: 23,3 ±5,5 Jahre) führten Delignières et al. (1994) Reaktionstests während körperlicher Aktivität auf dem Fahrradergometer durch. Die Intensitäten betragen pro Messzeitpunkt 20%, 40%, 60% und 80% der persönlichen maximalen aeroben Leistungsfähigkeit. Delignières et al. (1994) fanden heraus, dass die Experten ihre Reaktionszeiten bei Entscheidungsaufgaben mit zunehmender körperlicher Intensität verkürzen konnten. Bei den Alltagssportlern war hingegen ein gegenläufiger Trend zu erkennen. Ihre Reaktionszeiten wurden mit zunehmender körperlicher Intensität länger. Die Anzahl der fehlerhaften Reaktionen blieb insgesamt konstant. Schnelle Reaktionen und somit ein hohes Maß an Konzentration sind im Sportfechten ständig gefordert (Delignières et al., 1994). Die Autoren schlussfolgern, dass Experten eine spezifische kognitive Fähigkeit besitzen, die es ihnen erlaubt, unter hoher körperlicher Belastung ein stabiles Leistungsniveau zu erhalten. Diese Fähigkeit könnte angeboren sein oder erlernt werden. Dahinter steckt die Frage, ob genau die Sportlerinnen und Sportler zu Experten werden, die diese Fähigkeit bereits von vornherein mitbringen oder ob Sportlerinnen und Sportler diese Fertigkeit während ihrer sportlichen Laufbahn erlernen. Um diese Fragestellung zu klären, ist eine Längsschnittstudie notwendig, welche angehende Sportlerinnen und Sportler über längere Zeit begleitet und diese spezifische Fähigkeit bzw. Fertigkeit misst.

Die Studie von Di Russo, Taddei, Aprile und Spinelli (2006) konnte zeigen, dass geübte Sportfechter schneller auf die Aktionen ihres Gegners reagieren und eine höhere Aufmerksamkeitsleistung und Inhibition als ungeübte Fechter aufweisen. In einer Querschnittstudie mit jungen und mittelalten Fechtern untersuchten Taddei

et al. (2012) die Auswirkungen von Sportfechten, als eine Sportart mit moderater aerober Belastungsintensität und offenen Fertigungsanforderungen, auf das Niveau der exekutiven Funktionen. In der Studie mit insgesamt 40 Probanden (Fechter und Nichtfechter) zeigten die Autoren, dass Fechter prinzipiell schneller reagieren als Nichtsportler und ältere Fechter ähnliche P1-Latenzzeiten aufweisen wie die jungen Probanden. Sportfechten konnte also nachweislich den altersbedingten Abbau ausgewählter kognitiver Prozesse (siehe hierzu u. a. Colcombe & Kramer, 2003 und S. 69f) verringern. Die fehlende Randomisierung ist ein Kritikpunkt der Studie. Möglicherweise waren die untersuchten Athleten nur deshalb noch im Fechtensport aktiv, da sie aufgrund ihrer guten Reaktionszeiten in der Jugend bereits erfolgreicher waren und somit ihre Motivation, die Sportart weiter zu betreiben, höher war als bei weniger erfolgreichen Fechtern. Zusammengefasst scheint Sportfechten die Aufmerksamkeitssteuerung bzw. Konzentrationsleistung der Sportlerinnen und Sportler positiv zu beeinflussen. Von Interesse ist nun die Frage, ob die Konzentrationsleistung durch eine Trainingsintervention mit Sportfechten verändert werden kann oder ob die von Taddei et al. (2012) berichteten Unterschiede in der Aufmerksamkeitsleistung zwischen Sportfechtern und Nichtsportlern auf einen Selektionsprozess zurückgeführt werden können. Es sind keine Längsschnittstudien bekannt, welche die Trainierbarkeit der Konzentrationsleistung durch das Erlernen und Ausüben von Sportfechten – insbesondere bei Studierenden – untersuchen.

Zur Untersuchung dieser Hypothese wurde eine Interventionsstudie durchgeführt. Ziel der Untersuchung war es, herauszufinden, ob und wie sich das Erlernen und Ausüben der Sportart Fechten auf die Konzentrationsleistung von Studierenden auswirkt.

Basierend auf dem aktuellen Forschungsstand und einer lernunterstützenden bzw. motorischen Wirkungsannahme wird eine größere Verbesserung der Konzentrationsleistung durch Sportfechten als durch körperliche Aktivität mit vergleichbaren Belastungsnormativa erwartet, da durch spezifische Lernsituationen im Sportfechten sowohl die Aufmerksamkeitsleistung als auch die Prozessgeschwindigkeit verbessert werden können (Taddei et al., 2012).

4.1.1 Methodik

Um Aussagen über die Auswirkungen von Sportfechten auf die Konzentrationsleistungsfähigkeit von Studierenden treffen zu können, wurde im Sommersemester 2012 (April bis Juli 2012) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) eine Interventionsstudie mit quasi-experimentellem Forschungsdesign und insgesamt 108 Probanden durchgeführt.

4.1.1.1 Hypothese

Für die Studie „Konzentrationssteigerung durch Sportfechten?“ lautet die Untersuchungshypothese somit wie folgt.

H1 Das Erlernen und Ausüben von Sportfechten steigert die Konzentrationsleistung von Studierenden signifikant stärker als körperliche Aktivität im vergleichbaren Umfang.

H0 Das Erlernen und Ausüben von Sportfechten steigert die Konzentrationsleistung von Studierenden nicht stärker als körperliche Aktivität im vergleichbaren Umfang.

4.1.1.2 Design

Um die Konzentrationssteigerung durch Sportfechten bei Studierenden zu untersuchen, wurde ein quasi-experimentelles Forschungsdesign verwendet. Zu Beginn der Studie fand der erste Messzeitpunkt (t_1) des d2-R (vgl. S. 31ff) statt. Außerdem wurde von jedem Probanden ein Datenblatt unter anderem mit allgemeinen Fragen zu Vorerkrankungen, Studium usw. ausgefüllt. Direkt im Anschluss begann der Interventionszeitraum ($87,8 \pm 3,5$ Tage), in dem alle Gruppen einmal wöchentlich an einem 90-minütigen Aktivitätsprogramm teilnahmen. Jede Gruppe absolvierte somit 12 bzw. 13 90-minütige Trainingseinheiten im Interventionszeitraum. Der Konzentrationstest wurde zweimal wiederholt: zur Halbzeit (t_2) und am Ende (t_3) des Interventionszeitraums. Die 26 Fechtanfänger der Interventionsgruppe absolvierten ein Fechttraining zum Erlernen und Ausüben der Sportart Fechten. Um die Sportart Fechten als Intervention zu betrachten und nicht den allgemeinen Effekt der Erregungssteigerung (Yagi et al., 1999) in die Ergebnisse einzubeziehen, führten die Kontrollgruppen überwiegend moderate aerobe körperliche Aktivitäten durch (Parkour und Cardio-Fit), deren Belastungsnormativa als mit denen von Sportfechten vergleichbar angenommen werden.

Um die langfristigen (chronischen) Auswirkungen der jeweiligen körperlichen Aktivität auf die Konzentration der Probanden zu messen und Störungen durch kurzfristige (akute) Effekte körperlicher Aktivität zu vermeiden, wurde der d2-R-Test vor der jeweiligen Trainingseinheit durchgeführt. Der dritte d2-R-Test stellte das Ende des Testzeitraums für alle Gruppen dar. Der mittlere Messzeitpunkt (t_2) diente ausschließlich als zusätzliche Absicherung, da die Möglichkeit bestand,

dass nur noch wenige Probanden am letzten Messzeitpunkt teilnehmen könnten. Da dies jedoch nicht der Fall war, werden die Ergebnisse zu t_2 im Folgenden zwar dargestellt, spielen in der Diskussion jedoch eine untergeordnete Rolle, da die Veränderung der Konzentrationsleistung von t_1 zu t_3 von größerem Interesse ist.

4.1.1.3 Stichprobe

Alle Probanden der vorliegenden Studie waren Studierende des KIT aus unterschiedlichen Fachrichtungen. Sie wiesen keine schwerwiegenden Erkrankungen und/oder neurologische Störungen auf und nahmen (nach eigenen Angaben) keinerlei Medikamente mit Auswirkungen auf die Gehirnfunktion ein. Alle Probanden nahmen freiwillig an der Studie teil. Da nicht alle Probanden die Auswahlkriterien (Teilnahme an allen Testzeitpunkten sowie maximal zwei Fehltermine im gesamten Untersuchungszeitraum) erfüllten, wurden lediglich 72 der zu Beginn untersuchten 108 Probanden in die Untersuchung eingeschlossen.

Die drei in dieser Studie betrachteten Probandengruppen wurden bereits vor der Durchführung der Pretests, also vor Beginn der Intervention, situationsbedingt festgelegt. Alle Probanden waren dazu aufgefordert, ihre alltägliche körperliche Aktivität während des gesamten Studienzeitraums nicht zu verändern, um aussagekräftige Messwerte zu erhalten. Zu Überprüfung von eventuellen Störvariablen wurde am Ende der Studiendurchführung von allen Probanden diesbezüglich ein Fragebogen beantwortet.

Die Interventionsgruppe („Fechten“, $N=26$, Alter: $22,6 \pm 3,0$ Jahre, siehe Tab. 3), die eigens für diese Studie gegründet wurde, verfügte über keinerlei Vorerfahrung im Bereich Sportfechten und nahm im Interventionszeitraum einmal wöchentlich an einem 90-minütigen Anfängertraining (Intervention) teil.

Als Kontrollgruppen („Parkour“, $N=20$, Alter: $23,7 \pm 3,2$ Jahre und „Cardio-Fit“, $N=26$, Alter: $21,8 \pm 2,0$ Jahre; siehe Tab. 3) wurden zwei Sportkurse des KIT ausgewählt, deren Belastungsnormativa wie Intensitäten und Trainingszeiten (einmal wöchentlich 90 Minuten) vergleichbar mit den Anforderungen des Sportfechtens waren. Ihre körperliche Aktivität, die für diese Studie nicht verändert wurde, lässt sich als langandauernd und überwiegend aerob mit Phasen intensiver Belastung beschreiben. Die Gruppe Parkour wurde unabhängig von der vorliegenden Untersuchung zum Beginn des Sommersemesters 2012 gegründet. Eine Befragung der Probanden zu Beginn der Untersuchung (Probandendatenblatt) konnte zeigen, dass die Probanden der Gruppen Fechten und Parkour als Studierende aller Fachrichtungen des KIT außerhalb dieser Untersuchung bezüglich Häufigkeit und Dauer vergleichbar körperlich aktiv waren. Die Probanden der Gruppe Cardio-Fit waren Studierende der Fachrichtungen Sportwissenschaft und -pädagogik eines jungen Fachsemesters (siehe Tab. 3) und werden aufgrund des hohen Umfangs körperlicher Aktivität und dem großen Umfang neu zu erlernender Sportarten außerhalb der Kontrolltätigkeit als gesonderte Kontrollgruppe gewertet.

4.1.1.4 Intervention

Die vorliegende Untersuchung widmet sich den lernunterstützenden Mechanismen körperlicher Aktivität nach Sibley und Etnier (2003). Um eine Verbesserung der Konzentrationsfähigkeit im Alltag zu erwirken, muss demnach eine Sportart gewählt werden, die die gewünschten Fähigkeiten in ihren spezifischen Lernsituationen fordert und fördert. Beim Sportfechten werden zusätzlich zu kardiovaskulärer Fitness und Muskelkraft Koordination der eigenen Bewegung und hohe visuelle Aufmerksamkeitsleistung gefordert. Die Interaktion mit dem Gegner erzeugt spezielle Situationen, da das Treffen schneller Entscheidungen unter Zeitdruck, eine hohe kognitive Flexibilität sowie die Beachtung taktischer Strategien und Regeln laut Taddei et al. (2012) im Gefecht ständig gegeben sind.

Die hier durchgeführte Intervention bestand aus einem von ausgebildeten Fechtrainern³ geleiteten Sportfechttraining. Einmal pro Woche wurden für jeweils 90 Minuten die praktischen Grundlagen des Sportfechtens an die Probanden vermittelt sowie im Verlauf des Trainings ein Schwerpunkt auf das Gefecht mit Gegner gelegt. Sportfechten hat eine moderate aerobe Komponente (Taddei et al., 2012). Vor den ersten vier Übungseinheiten – also außerhalb der 90 Minuten Praxis – wurden die theoretischen Grundlagen zum Sportfechten vermittelt. Diese umfassten grundlegende Inhalte wie Materialkunde, Regeln und einfache Taktikenelemente, die für das Erlernen der Sportart wichtig sind. Nach Einschätzung der Trainer konnten alle Probanden die erforderlichen Fertigkeiten des Fechtens während des Interventionszeitraums adäquat erlernen und in diversen Gefechten anwenden.

Die Sportgruppe Parkour wurde zum gleichen Zeitpunkt wie die Interventionsgruppe gegründet und daher als Kontrollgruppe für diese Untersuchung gewählt. Die überwiegend langandauernde und mittel intensive körperliche Aktivität mit Abschnitten höherer Intensität in unregelmäßigen Zeitabständen der Parkour-Gruppe war vergleichbar mit den Anforderungen des Fechtrainings.

Die Sportstudierenden besuchten den in ihrer Studienordnung festgelegten Kurs Cardio-Fit zum ersten Mal. Die wöchentliche körperliche Aktivität der Probanden der Gruppe Cardio-Fit bestand im Sportkurs aus 90 Minuten Ausdauersport. Die überwiegend aeroben Belastungsformen dieser Gruppen fanden kontinuierlich einmal wöchentlich für jeweils 90 Minuten parallel zum Fechtraining der Interventionsgruppe statt.

4.1.1.5 Datenerhebung

Zur Erfassung der Konzentrationsfähigkeit der Probanden wurde der Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest d2-R von Brickenkamp et al. (2010) eingesetzt (siehe d2-R, S. 31f). Der d2-R erfüllt nach Westhoff und Hagemeyer (2005) alle Kriterien eines Konzentrationstests und ist daher zur Messung der Konzentrationsleistung geeignet. Demnach muss ein Konzentrationstest einfache

³ Die Trainer waren selbst im Leistungssport aktiv und verfügen über anerkannte Trainerlizenzen.

und eindeutig wahrnehmbare Reize enthalten, auf die der Proband unter Verwendung unkomplizierter Regeln reagieren muss. Der Proband muss so fehlerfrei und schnell wie möglich arbeiten. Die Anzahl der Fehler und die Schnelligkeit des Probanden sind wichtige Variablen zur Interpretation der Konzentrationsleistung des Probanden (Brickenkamp et al., 2010).

Die Auswertung des d2-R ergibt drei Kennwerte, die eine Aussage über die Konzentrationsleistung des Probanden zulassen. Die Anzahl der bearbeiteten Zielobjekte (*BZO*) gilt als Maß für das Arbeitstempo. Zusätzlich wird die Anzahl der ausgelassenen Zielobjekte (*AF*) und die Anzahl der fehlerhaft durchgestrichenen Objekte (*VF*) bestimmt. Als Maß für die Konzentrationsleistung (*KL*) gilt die Anzahl der entdeckten Zielobjekte ($KL=BZO-AF-VF$). Die Sorgfalt (*F%*) gibt Maß für die Genauigkeit ($F\%=100 \times (AF+VF)/BZO$). Alle Werte werden zunächst als Rohwerte ermittelt und später mit altersadäquaten Normtabellen in standardisierte Normwerte umgewandelt, die zur Interpretation verwendet werden.

Der Test besitzt je nach Kennwert unterschiedliche Test-Retest-Reliabilitäten. Brickenkamp et al. (2010) geben die Stabilität des d2-R mit $r_{BZO}=.92$, $r_{F\%}=.47$ und $r_{KL}=.85$ ($N=145$; Retest nach 10 Tagen) an. Trotzdem verweisen sie, wie ebenfalls Bühner, Ziegler, Bohnes und Lauterbach (2006), auf die zu erwartenden deutlich erhöhten Werte bei Testwiederholung durch Lerneffekte. Der Test ist aufgrund seiner kurzen Bearbeitungszeit von 2:40 Minuten und der Tatsache, dass er von mehreren Probanden gleichzeitig durchgeführt werden kann, gut für die Praxis geeignet.

Das Arbeitstempo und die Sorgfalt sollten nach Brickenkamp et al. (2010) immer zusammen interpretiert werden, da sie stark miteinander verbunden sind. Die Konzentrationsleistung ist „weitgehend unabhängig davon, ob ein Proband versucht hat, besonders schnell oder besonders genau zu arbeiten“ (Brickenkamp et al., 2010, S. 39). Westhoff und Hagemeister (2005) postulieren, dass ein besonderes Augenmerk auf die richtige Verwendung der für die Konzentrationsmessung sinnvollen Maße gelegt werden muss. Das Tempo konzentrierten Arbeitens (hier *BZO*) ordnen sie als „für praktische Zwecke hinreichend genau“ (Westhoff & Hagemeister, 2005, S. 57) ein. Eine Auswertung des Maßes Neigung zu Konzentrationsfehlern (hier *F%*) wird erst ab 20 Minuten Testdauer empfohlen und als hinreichend genau erachtet. Von einer Betrachtung absoluter Fehlerzahlen wird generell abgeraten (Westhoff & Hagemeister, 2005).

4.1.1.6 Datenanalyse

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS 20.0 (IBM SPSS Statistics). Die deskriptive Beschreibung der Daten erfolgt mit Hilfe von Mittelwerten (MW) und Standardabweichungen (SD). Unterschiedshypothesen der demographischen Parameter sowie der Konzentrationsleistung der Probandengruppen innerhalb der Messzeitpunkte wurden mit einfaktoriellem ANOVAs (bzw. Univariate) überprüft. Unterschiedshypothesen der Kennwerte zwischen den Messzeitpunkten wurden mit Hilfe der ANOVA mit Messwiederholung (rm-ANOVA) auf Signifikanz (p) geprüft und ggf. Effektstärken (η^2) angegeben. Als Signifikanzniveau wurde $p=.05$ festgelegt.

4.1.2 Ergebnisse

4.1.2.1 Stichprobe

Die Variablen Geschlecht, Alter, Fachsemester und Dauer des Interventionszeitraums aller Probandengruppen sind in Tab. 3 dargestellt. Die Varianzanalyse zeigt zwischen den drei Gruppen keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Variablen Geschlecht, Alter und Fachsemester der Mitglieder (siehe Tab. 4). Lediglich der Interventionszeitraum zwischen t_1 und t_3 ist bei der Gruppe Parkour signifikant länger als bei den beiden anderen Probandengruppen.

Tab. 3 Stichprobenbeschreibung (Anzahl, Geschlecht, Alter, Fachsemester und Interventionszeitraum).

Gruppen	N	Geschlecht			Alter [Jahre]		FS		IZR [Tage]	
		Nw	Nm	%w	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Fechten	26	6	20	23,1	22,6	3,0	5,0	4,3	88,5	3,3
Parkour	20	3	17	15,0	23,7	3,2	5,3	3,1	91,0	0,0
Cardio-Fit	26	6	20	23,1	21,8	2,0	3,6	3,1	84,8	2,4
Gesamt	72	15	57	20,8	22,6	2,8	4,6	3,6	87,8	3,5

N=Anzahl, Nw=Anzahl Probandinnen, Nm=Anzahl Probanden, %w=prozentualer Anteil der Probandinnen, FS=Fachsemester, IZR=Anzahl der Tage von t_1 bis t_3 , MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung.

Tab. 4 Mittelwertunterschiede (einfaktorielle ANOVA/Univariate) zwischen den Probandengruppen Fechten, Parkour und Cardio-Fit.

Kennwerte	df	F	p	η^2
Geschlecht	2	.28	.76	.008
Alter	2	2.67	.08	.072
Fachsemester	2	1.57	.22	.043
IZR	2	36.48	<.001	.514

df=Freiheitsgrad, F=F-Wert der ANOVA, p=Signifikanz, η^2 =Effektstärke, IZR=Interventionszeitraum.

4.1.2.2 Konzentrationsleistung (d2-R)

Die Sorgfalt ($F\%$) war zum Zeitpunkt des ersten Konzentrationstests (t_1) bei allen Gruppen vergleichbar (siehe Tab. 5 und Tab. 6) und stieg im Verlauf des Testzeitraums bei allen Gruppen signifikant an (siehe Tab. 7 und Abb. 16a). Die Testergebnisse der Gruppen unterscheiden sich auch beim zweiten Messzeitpunkt nicht signifikant. Der Unterschied zwischen den Gruppen im Posttest war größer als zu t_1 , jedoch nicht signifikant (siehe Tab. 6). Die größte Verbesserung in Bezug auf die Sorgfalt konnten die Sportstudierenden (Gruppe Cardio-Fit) von t_1 nach t_3 mit einer Steigerung um 7,2% erzielen. Die Fechter steigerten ihre Sorgfalt um 4,1% und die Probanden der Gruppe Parkour um 4,5%. Es besteht keine signifikante Interaktion (Zeit \times Gruppe) zwischen Probandengruppe und Messzeitpunkt im Kennwert $F\%$ (siehe Tab. 7).

Alle drei Gruppen hatten im Pretest ein vergleichbares Arbeitstempo (BZO) (siehe Tab. 5 und Tab. 6) und steigerten ihre Bearbeitungsgeschwindigkeit über den Testzeitraum signifikant (siehe Tab. 7 und Abb. 16b). Die Gruppen Fechten und Parkour konnten ihr Arbeitstempo ähnlich steigern (Fechten: +8,9%, Parkour: +8,9%; vgl. Abb. 16b). Die Probanden der Gruppe Cardio-Fit erzielten eine vergleichsweise größere Steigerung des Arbeitstempos (+12,2%). Im Posttest bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen (siehe Tab. 6). Die Anzahl der bearbeiteten Zielobjekte weist eine tendenziell signifikante Interaktion (Zeit \times Gruppe) zwischen Probandengruppe und Zeit auf (siehe Tab. 7).

Abb. 16c zeigt ein für alle Probandengruppen einheitliches Ausgangsniveau der Konzentrationsleistung (KL) im Pretest (siehe Tab. 5 und Tab. 6) und eine deutliche signifikante Zunahme der Messwerte für die mittlere Konzentrationsleistung der drei Gruppen. Die größten Steigerungen erzielte die Gruppe Cardio-Fit mit 12,0% (siehe Tab. 7). Abb. 16c zeigt, dass die Gruppe Fechten (+9,7%) ihre Konzentrationsleistung vom Pre- zum Posttest mehr als die Gruppe Parkour (+8,8%) verbessern konnte (siehe Tab. 7). Unterschiede zwischen den drei Gruppen im Posttest (t_3) werden nicht signifikant (siehe Tab. 6). Die Interferenzstatistik (Zeit \times Gruppe) ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Probandengruppen über die Zeit (siehe Tab. 7).

Tab. 5 Deskriptive Statistik des d2-R (standardisierten Kennwerte) zu den Messzeitpunkten t₁, t₂ und t₃.

Gruppe	N	t ₁		t ₂		t ₃	
		MW	SD	MW	SD	MW	SD
Sorgfalt (F%)							
Fechten	26	103,7	8,2	106,9	6,8	108,0	7,4
Parkour	20	103,1	8,3	106,6	7,6	107,7	7,1
Cardio-Fit	26	104,5	7,5	109,0	8,4	112,0	8,5
Gesamt	72	103,8	7,9	107,5	7,6	109,3	7,9
Arbeitstempo (BZO)							
Fechten	26	109,0	10,9	113,7	10,2	118,7	9,9
Parkour	20	106,9	11,7	112,2	11,9	116,4	11,3
Cardio-Fit	26	107,2	7,9	114,3	8,0	120,3	8,2
Gesamt	72	107,8	10,0	113,5	9,9	118,6	9,7
Konzentrationsleistung (KL)							
Fechten	26	103,7	8,2	106,9	6,8	108,0	7,4
Parkour	20	103,1	8,3	106,6	7,6	107,7	7,1
Cardio-Fit	26	104,5	7,5	109,0	8,4	112,0	8,5
Gesamt	72	103,8	7,9	107,5	7,6	109,3	7,9

N=Anzahl, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung.

Tab. 6 Mittelwertunterschiede innerhalb der Messzeitpunkte, t₁, t₂ und t₃ (einfaktorielle ANOVA/ Univariate) zwischen den drei Probandengruppen Fechten, Parkour und Cardio-Fit.

Kennwerte	t ₁				t ₂				t ₃			
	df	F	p	η ²	df	F	p	η ²	df	F	p	η ²
F%	2	.19	.83	.005	2	.77	.49	.021	2	2.47	.09	.067
BZO	2	.32	.73	.009	2	.27	.76	.008	2	.93	.40	.026
KL	2	.10	.91	.003	2	.23	.80	.007	2	1.00	.38	.028

df=Freiheitsgrad, F=F-Wert der ANOVA, p=Signifikanz, η²=Effektstärke.

Tab. 7 Gruppenvergleiche mit Messwiederholung (rm-ANOVA) innerhalb der Probandengruppen sowie Gesamt (Zeiteffekt) und Interaktion (Zeit×Gruppe; Greenhouse-Geisser).

Gruppen	F%				BZO				KL			
	df	F	p	η^2	df	F	p	η^2	df	F	p	η^2
Zeiteffekt (t ₁ -t ₃)												
Fechten	1	11.81	<.01	.321	1	70.45	<.001	.738	1	89.05	<.001	.781
Parkour	1	8.89	<.01	.319	1	43.57	<.001	.696	1	54.95	<.001	.743
Cardio-Fit	1	19.76	<.001	.441	1	159.00	<.001	.864	1	191.36	<.001	.884
Gesamt	1	38.73	<.001	.359	1	240.96	<.001	.777	1	295.00	<.001	.810
Interaktion (Zeit×Gruppe)												
Gesamt	2	1.49	.23	.041	2	3.05	.05	.081	2	2.46	.09	.067

df=Freiheitsgrad, F=F-Wert der ANOVA, p=Signifikanz, η^2 =Effektstärke, t₁=Pretest, t₃=Posttest .

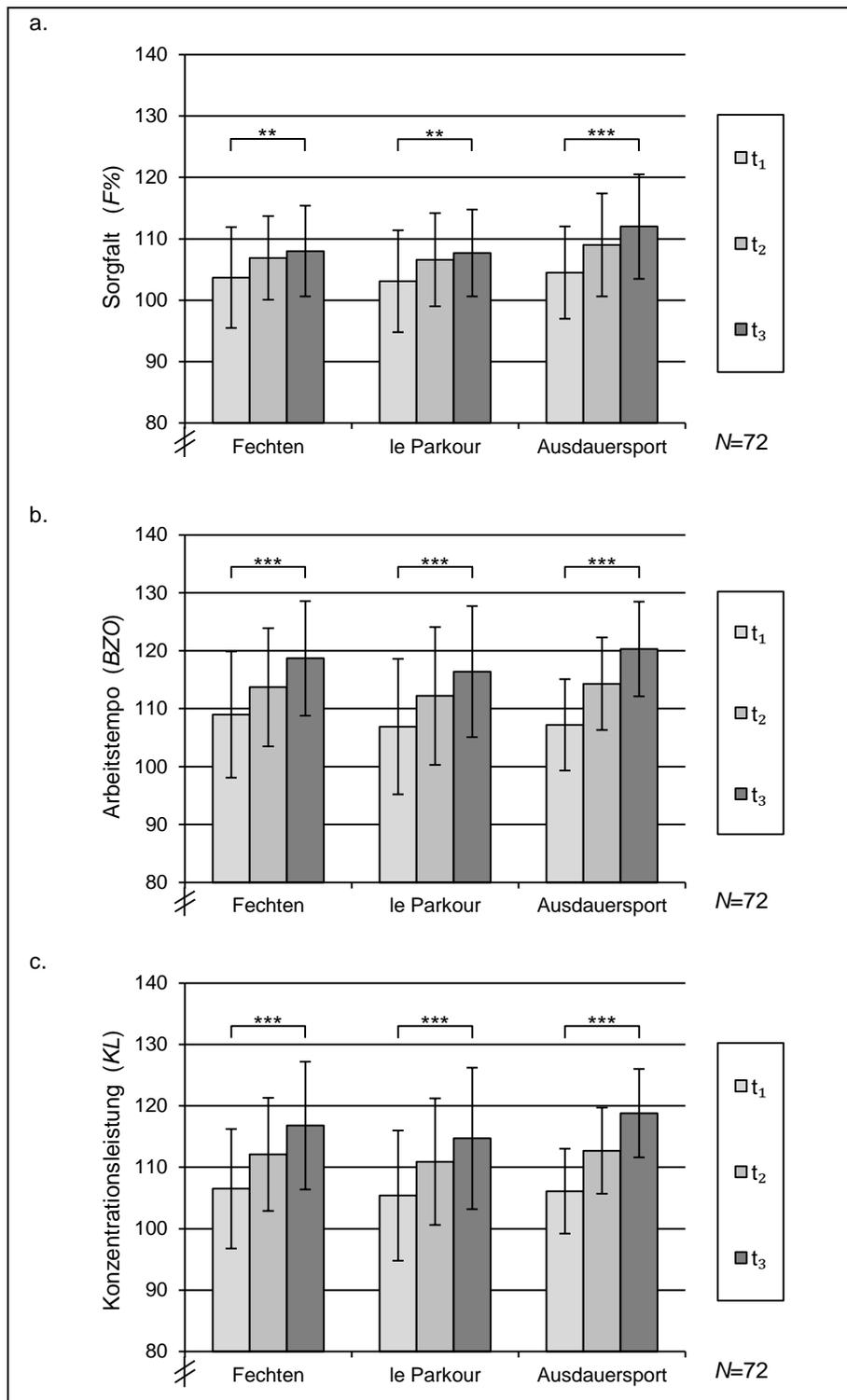


Abb. 16 Standardisierte Messwerte (Mittelwerte und Standardabweichungen) der Kennwerte Sorgfalt (a), Bearbeitungsgeschwindigkeit (b) und Konzentrationsleistung (c) des d2-R nach Brickenkamp et al. (2010) zu den Messzeitpunkten t₁, t₂ und t₃ aufgeteilt nach den Probandengruppen (Z-Werte). * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

4.1.3 Diskussion

Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit den Auswirkungen von Sportfechten auf die Konzentrationsleistung von Studierenden. Die Ergebnisse können keine größeren Auswirkungen von Sportfechten auf die Konzentrationsleistungsfähigkeit der Studierenden nachweisen als körperliche Aktivität mit vergleichbaren Belastungsnormativa. Sowohl die Interventionsgruppe als auch die Kontrollgruppen verbesserten sich im Verlauf des Studienzeitraums in allen Kennwerten signifikant (siehe Tab. 7). Diese generelle Verbesserung aller Gruppen verweist entweder auf die positiven Auswirkungen chronischer körperlicher Aktivität auf die Konzentrationsleistung aller Probanden (und bestätigt somit die rein biologische Wirkungsannahme) oder auf das Erlernen und Üben der Testaufgabe (Lerneffekt des d2-R). Immerhin verbessern die Probanden ihre Testergebnisse zusammen um 5,3% (*F%*), 10,0% (*BZO*) bzw. 10,2% (*KL*).

Frühere Studien (Hillman et al., 2003; Scudder et al., 2012) zeigen eine verbesserte Aufmerksamkeitsleistung direkt im Anschluss an körperliche Aktivität bei Studierenden (akuter Zusammenhang), lassen jedoch keine Aussage über die längerfristige (chronische) Auswirkung der moderaten körperlichen Aktivität zu. Eine gute körperliche Fitness, die unter anderem mit längerfristiger körperlicher Aktivität assoziiert werden kann, verbessert die Aufmerksamkeitsleistung junger Erwachsener (Newson & Kemps, 2008). Im Allgemeinen kann daher von einem positiven Effekt längerfristiger körperlicher Aktivität auf die Konzentrationsleistung ausgegangen werden. Die fehlende inaktive Kontrollgruppe der vorliegenden Untersuchung macht es nicht möglich, eine Aussage über einen möglichen Effekt des durch die chronische körperliche Aktivität verbesserten Fitnesszustands der Probanden zu treffen. Dieser These widerspricht jedoch der Aspekt, dass ein Großteil der Probanden bereits vor Studienbeginn regelmäßig körperlich aktiv und fit war. Keiner der Probanden nahm während des Untersuchungszeitraums an einem externen Programm zur Konzentrationssteigerung teil. Es erscheint unwahrscheinlich, dass alle Probandengruppen ihre Konzentrationsleistung aufgrund der körperlichen Aktivität im Untersuchungszeitraum tatsächlich signifikant verbessern konnten. Die Verbesserung der Probandengruppen ist daher mit dem Lerneffekt des d2-R zu erklären (vgl. Budde et al., 2008).

Die Interferenzstatistik zeigt in den Kennwerten *KL* und *F%* keinen signifikanten Unterschied zwischen den Probandengruppen über den Zeitverlauf. Die relativ kleinen Effektstärken (siehe Tab. 7) lassen die Vermutung, dass eine höhere Probandenanzahl eine Signifikanz hervorrufen könnte, nicht zu. Deskriptiv gesehen, sind es auch hier die Sportstudierenden, die die größte Verbesserung erzielen konnten. Abb. 16a und Abb. 16c verdeutlicht die unterschiedlich verbesserte Konzentrationsleistung der drei Gruppen.

Der Kennwert *BZO* (Anzahl bearbeiteter Zielobjekte) zeigt zwar eine tendenziell statistisch signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Zeit und Gruppe ($F=3.05$, $p=.05$, $\eta^2=.081$), jedoch ist nicht die Gruppe der Sportfechter für diesen nahezu signifikanten Zusammenhang verantwortlich, sondern die Kontrollgruppe Cardio-Fit. Die Sportstudierenden konnten die Anzahl der bearbeiteten Zielobjekte vom Prä- zum Posttest am meisten steigern (vgl. Abb. 16b). Möglicherweise

können Sportstudierende einen größeren Nutzen aus den beiden vorherigen Testdurchführungen ziehen. Sie erlernen demnach die Testaufgabe schneller als die anderen Probanden und machen daher weniger Fehler. Durch das praktische Erlernen neuer Sportarten könnten sie ihre motorische Fitness verbessert haben. In Anlehnung an Voelcker-Rehage et al. (2010) könnte dies zu einer Verbesserung kognitiver Fähigkeiten (hier: Konzentrationsleistung) führen. Dies würde die größere Verbesserung der Sportstudierenden im Posttest im Vergleich zu den anderen Studierenden erklären. Die Befragung aller Probanden ergab, dass die Sportstudierenden außerhalb der Studie signifikant häufiger körperlich aktiv waren, als die beiden anderen Gruppen (Fechter: $209,6 \pm 165,3$ min/Woche; Parkour: $265,5 \pm 223,1$ min/Woche; Cardio-Fit: $411,2 \pm 247,1$ min/Woche; $F=6.10$, $p<.05$; $\eta^2=.150$). Die Ursache hierfür sind die hohen Aktivitätszeiten des Sportstudiums. Die Probanden der Gruppen Fechten und Parkour machten gleich häufig Sport neben der vorliegenden Studie. Um einen möglichen Einfluss der körperlichen Aktivität neben der Studie auf die Testergebnisse des d2-R herauszufinden, wurde diese Aktivität als Kovariate in unsere Analyse mit einbezogen. Die Ergebnisse zeigen keinen Einfluss der körperlichen Aktivität außerhalb der Studie auf die Testergebnisse des d2-R.

Eine weitere Möglichkeit für den vergleichbar größten Konzentrationsleistungszuwachs der Cardio-Fit-Gruppe kann die Motivation während der Konzentrationstests darstellen. Möglicherweise gaben sich die Sportstudierenden zu t_1 weniger Mühe und steigerten ihre Motivation bis zu t_3 . Dieses würde die Testergebnisse ebenfalls beeinflussen. Da die Motivation der Probanden nicht erfasst wurde, sind keine gesicherten Aussagen hierzu möglich.

Neben körperlicher Aktivität und Motivation könnten andere Faktoren das Posttestergebnis beeinflusst haben, wie beispielsweise die Ausübung weiterer Sportarten im Testzeitraum. Nach Sibley und Etnier (2003) hat die Art der körperlichen Aktivität einen Einfluss auf die Auswirkungen auf die Kognition. Vor allem zu Beginn des Sportstudiums werden Sportstudierende mit vielen neuen Sportarten sowohl theoretisch als auch praktisch konfrontiert. Das Erlernen dieser umfangreichen Bewegungsformen könnte, in Anlehnung an eine lernunterstützende bzw. motorische Wirkungsannahme, die Ergebnisse manipuliert haben.

Die Zielgruppe kann ein weiterer Grund für den geringen Effekt der Intervention und den daraus resultierenden fehlenden Gruppenunterschied darstellen. Junge Erwachsene sind an ihrem, über die Lebensspanne gesehenen, Leistungsmaximum bzgl. ihrer kognitiven Fähigkeiten angelangt (Hillman et al., 2008). Der geringe Spielraum für Verbesserungen dieser kognitiven Leistungsfähigkeit durch körperliche Aktivität scheint daher bei jungen Erwachsenen generell eine Herausforderung für die Wissenschaft darzustellen. Es ist zu vermuten, dass dieser Effekt bei Studierenden besonders zutrifft. Eine erneute Durchführung der vorliegenden Studie mit älteren Probanden bzw. Senioren erscheint interessant, da die Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Degeneration bereits mehrfach bestätigt werden konnten (siehe S. 69f). Des Weiteren ist zu diskutieren, ob die Probanden der Interventionsgruppe nach 13 Wochen Training die Sportart Fechten ausreichend erlernt hatten. Die nach Taddei et al. (2012) sportarttypischen offenen Fertigungsanforderungen finden nicht beim Techniktraining sondern beim freien Gefecht auf der Bahn statt. Zwar

wurde im Training großer Wert auf offene Gefechte gelegt, jedoch ist zu vermuten, dass die Probanden ihre Aufmerksamkeit noch eher internal als external (auf den Gegner und das Gefecht) gerichtet haben. Auch die nach Sibley und Etnier (2003) vorhandene lernfördernde Situation von körperlicher Aktivität und die Ausbildung sportartenspezifischer kognitiver Fähigkeiten (z. B. Best, 2010; siehe motorische Wirkungsmechanismen ab S. 94) konnte in dieser Studie durch Sportfechten nicht ausreichend hergestellt werden. Dies könnte ebenfalls an der zu geringen Zeit im Gefecht liegen. Gleichzeitig muss beachtet werden, dass bei geübten Fechtern eher mit Deckeneffekten hinsichtlich der Konzentrationsleistung zu rechnen ist. Pesce (2009, S. 220f) folgert, dass die Expertise einer Person Auswirkungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit hat. Sportlerinnen und Sportler aus Sportarten, in denen in kurzer Zeit viele und korrekte Entscheidungen getroffen werden müssen (z. B. Fußballspieler), sind kognitive Experten in diesem Bereich. Tests zur Entscheidungsfindung fallen ihnen daher leichter als ungeübten Menschen. Die Autorin berichtet von den leistungsfördernden Auswirkungen von Sport auf die Bereiche visuelle Aufmerksamkeit, Entscheidungsfindung und Auswahl-Reaktionszeit (Pesce, 2009, S. 221). Die individuelle kognitive Expertise, koordinative Fertigkeiten und körperliche Fitness spielen nach Pesce (2009, S. 225) eine Schlüsselrolle beim akuten Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und der kognitiven Leistungsfähigkeit und werden von der Sportpraxis und chronischem körperlichen Training beeinflusst.

Bezogen auf die Theorie der Lernebenen (Wulf, 2009; siehe Motorisches Lernen, S. 10) ist festzuhalten, dass die Fechtanfänger zu Beginn der Intervention ihren Aufmerksamkeitsfokus hauptsächlich auf die neuartigen Bewegungen und deren Ausführung richten mussten. Durch ständiges Wiederholen und Üben der Bewegungsabläufe (z. B. Finten) wurden diese zunehmend verinnerlicht und automatisiert. Je fortgeschrittener das Lernstadium einer Person ist, desto weniger Aufmerksamkeit muss „auf die Planung und Ausführung einer motorischen Fertigkeit“ (Wulf, 2009, S. 3) gerichtet werden. Die Sportler konnten nach einiger Übungszeit ihre Aufmerksamkeit auf andere Reize lenken. Dies ist vor allem im Gefecht mit einem Gegner entscheidend, da schnelle Reaktionen über Sieg und Niederlage entscheiden. Die vorliegende Untersuchung lässt darauf schließen, dass die im Lernprozess vermehrt auftretende Aufmerksamkeitssteuerung nicht auf den Konzentrationstest übertragen werden konnte. Das technische Niveau der Fechterinnen und Fechter ist entscheidend (Gutiérrez-Dávila, Rojas, Antonio & Navarro, 2013). Demnach dürfen Elite-Fechter nicht mit Fechtanfängern verglichen werden. Dieser Unterschied wurde in der vorliegenden Studie, in der lediglich Anfängerinnen und Anfänger unterrichtet wurden, beachtet.

Bezüglich der Übertragbarkeit der Aufmerksamkeit, die im Fechten ggf. gefördert wird, auf andere Domänen wären invasive Untersuchungen vor allem der Kleinhirnaktivitäten notwendig, da dieses neben seiner zentralen Rolle für die Koordination motorischer Bewegungsabläufe unter anderem auch bei Aufmerksamkeitsleistungen beteiligt ist (Allen et al., 1997; siehe hierzu Abschnitt 3.7.1, S. 97). Bislang konnten diverse Studien mit bildgebenden Verfahren jedoch keine auffällige Beteiligung des Kleinhirns an einfachen Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsaufgaben feststellen (Hallett & Grafman, 1997). Die Ergebnisse

der vorliegenden Fechtstudie lassen ebenfalls keinen Zusammenhang von Sportfechten und allgemeiner Konzentrationsleistung vermuten.

Voelcker-Rehage et al. (2011) zeigen in ihrer Untersuchung, dass kardiovaskuläres und koordinatives Training unterschiedliche Auswirkungen auf verschiedene kognitive Prozesse haben. Vor allem in Bezug auf die Verarbeitung von visuell-räumlichen Informationen konnten die Autoren einen Vorteil von koordinativem Training bei älteren Menschen nachweisen. Übertragen auf die vorliegende Studie kann gefolgert werden, dass der Anteil koordinativer Herausforderungen von Sportfechten an Studierende zu gering ist, um eine Verbesserung der räumlich-zeitlichen Konzentrationsleistung zu bewirken. Ein weiterer Grund für den fehlenden Unterschied der Konzentrationsleistungssteigerung zwischen Interventions- und Kontrollgruppen könnte das Erhebungsverfahren sein. Eventuell kann der d2-R unterschiedliche Konzentrationsleistungen bei aerober zyklischer Aktivität und Sportfechten (räumlich-zeitlich) nicht unterscheiden.

In Bezug auf chronische Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf kognitive Fähigkeiten verweisen Etnier et al. (1997) in ihrer Meta-Analyse auf die Wichtigkeit des Bewegungsumfelds und des Trainers für die Ergebnisse. In Klassenzimmern (Effektstärke $ES=0.67$) werden bessere Effektgrößen erzielt als im Krankenhaus ($ES=0.25$) oder Fitnesscenter ($ES=0.06$). Dies lässt auf die fördernde Wirkung der gewohnten Umgebung schließen. Ein Lehrer als anleitende Person ($ES=0.60$) generiert ebenfalls signifikant höhere Effektgrößen, als wenn die körperliche Aktivität ohne Trainer ($ES=0.31$) durchgeführt wird. Da in der vorliegenden Studie stets Fechttrainer anwesend waren und das Fechttraining in der Sporthalle stattfand, würden diese Aspekte entsprechend der Metaanalyse von Etnier et al. (1997) eher größere Effektgrößen erwarten lassen.

Es scheint nicht ersichtlich, warum beide Kontrollgruppen ebenfalls im Interventionszeitraum ihre Konzentration steigern sollten. Eine Anpassung aller Probanden an die Testaufgabe erscheint wahrscheinlicher als eine tatsächliche Verbesserung der Konzentrationsleistung. Der Anstieg der Testergebnisse ist demnach auf das Erlernen der Testaufgabe und somit auf eine schnellere und mit weniger Fehlern behaftete Testdurchführung zurückzuführen. Durch das Wiederholen der Testaufgabe erkennen die Probanden die anzustreichenden Zielobjekte (Buchstabe d mit genau zwei Strichen) schneller und machen weniger Fehler. Daraus resultieren ein höheres Arbeitstempo und eine geringere Fehleranzahl. Somit werden auch die Kennwerte Sorgfalt und Konzentrationsleistung verbessert. Die tatsächliche Konzentrationsleistung der Probanden bleibt hingegen konstant. Falls die Intervention einen Effekt auf einen der Kennwerte hat, wird dieser durch den von allen Probandengruppen erzielten Lerneffekt überschattet. Die vorliegende Untersuchung lässt keine sichere Aussage über die Anteile von Lerneffekt und dem durch die erhöhte körperliche Aktivität aller Probanden eventuell verbesserten Fitnesszustands zu, da eine körperlich inaktive Kontrollgruppe fehlt. Mit einer solchen vierten Probandengruppe wäre es möglich, den reinen Lerneffekt des d2-R zu bestimmen und somit auch Rückschlüsse über einen möglichen Effekt des Fitnesszustands zu ziehen.

Die fehlende Aussagekraft des d2-R bezüglich der Interventionseffekte deckt sich

mit den Ergebnissen von Budde et al. (2008). Die Autoren bemängeln, dass der Kennwert zur Konzentrationsleistung (*SKL*, hier *KL*) des d2, den sie genau wie Brickenkamp et al. (2010) als solidesten Messwert erachten, sowohl in der Interventions- als auch in der Kontrollgruppe stark ansteigt ($F=99.92$, $p<.01$, $\eta^2=.51$). Die Autoren können somit den Lerneffekt nicht von wirklichen Auswirkungen der Koordinationsintervention auf die Aufmerksamkeit der Schüler unterscheiden. Diese Einschätzung deckt sich mit der vorliegenden Untersuchung, wonach auch hier der Lerneffekt nicht vom tatsächlichen Effekt zu trennen ist.

Bezüglich des d2-Test merken Stroth et al. (2009) an, dass die Testdurchführung zu schnell automatisiert wird. In ihrer Interventionsstudie mit Studierenden konnten die Autoren ebenfalls eine Verbesserung der Interventions- und Kontrollgruppe vom Prä- zum Posttest beim d2-Test feststellen ($F(1,26)=156.2$; $p=.000$). Die zu leichte Aufgabenstellung des d2 ist für Studierende zu wenig kognitiv fordernd, um eine Veränderung der Konzentrationsleistung durch körperliche Fitness oder andere Wirkungsmechanismen messen zu können. Durch die Revision des d2-Tests im Jahr 2010 entstand eine „grundlegende Neufassung“ (Brickenkamp et al., 2010, S. 5). Dabei wurde unter anderem die Anzahl der Zeichen pro Zeile um 21% von 47 beim d2 auf 57 beim d2-R erhöht. Dies macht den d2-R zu einem für „besonders leistungsstarke Probanden“ (Brickenkamp et al., 2010, S. 17) einsetzbaren Test, der Deckeneffekte vermeidet. Trotzdem bleibt die von Stroth et al. (2009) als für Studierende zu leicht eingestufte Aufgabenstellung erhalten. Ein Deckeneffekt des d2-R ist trotz leistungsstarker Probanden in der vorliegenden Studie nicht zu erkennen.

Der trotz des vergleichbar langen Zeitraums zwischen den drei Messzeitpunkten hohe Lerneffekt des d2-R war im Vorfeld der Untersuchung nicht abzusehen. Die von Brickenkamp et al. (2010) angegebenen Stabilitätswerte zu den Kennwerten ($r_{BZO}=.92$, $r_{F\%}=.47$ und $r_{KL}=.85$) wurden bei einem Abstand von zehn Tagen zwischen den beiden Messzeitpunkten ermittelt. Es ist davon auszugehen, dass eine Vergrößerung der Abstände der Testwiederholungen zu ähnlichen bzw. kleineren Lerneffekten führt. Die Abstände zwischen den d2-R-Tests in dieser Untersuchung waren mit $50,5\pm 2,3$ Tagen von t_1 zu t_2 und $39,4\pm 4,2$ Tage von t_2 zu t_3 deutlich länger als die von Brickenkamp et al. (2010) angegebenen zehn Tage. Die Tatsache, dass Studien zu den chronischen Auswirkungen körperlicher Aktivität auf Konzentrationsleistungen und Inhibition häufig den d2-Test einsetzen (Hötting & Röder, 2013; Verburch et al., 2014; siehe auch Abschnitt 3.1.2, S. 61f), war für die Wahl des d2-R als erprobtes Erhebungsverfahren für die vorliegende Untersuchung ausschlaggebend.

Die fehlende Randomisierung der Probanden bei der Zuteilung der drei Testgruppen ist für diese Studie kritisch anzumerken. Da die beiden Kontrollgruppen nicht verändert werden konnten und lediglich die Probanden der Interventionsgruppe akquiriert wurden, war eine Randomisierung nicht möglich. Hinsichtlich der Gruppeneinteilung zeigt die Metaanalyse von Etnier et al. (1997), dass eine "random subject assignment" ($ES=.15$) bei Studien zur Untersuchung chronischer Auswirkungen körperlicher Aktivität auf kognitive Funktionen geringere Effektstärken hervorruft als "matching" ($ES=.38$), "random stratified" ($ES=.49$) oder Untersuchungen mit Einzelgruppen ($ES=.88$). Die vorgegebene Gruppeneinteilung in der vorliegenden Studie erscheint dadurch weniger

problematisch als zu erwarten wäre. Ein weiterer Kritikpunkt an der Studie sind die unterschiedlichen Studienfächer der Probanden. Die Kontrollgruppe der Studierenden besteht ausschließlich aus Sportstudierenden, wohingegen Studierende aller Fachbereiche die anderen beiden Gruppen bilden. Da sich die Fragestellung der Studie auf Studierende im Allgemeinen bezieht, ist dies ein zusätzliches Argument für die randomisierte Gruppeneinteilung. Eine zusätzliche, körperlich inaktive Kontrollgruppe hätte dabei geholfen, die Verbesserung der Konzentrationsleistung aller körperlich aktiven Probandengruppen entweder dem Lerneffekt oder den chronischen Auswirkungen der aeroben körperlichen Aktivität zuschreiben zu können. Die Meta-Analyse von Chang et al. (2012) zeigt den signifikanten Einfluss des Studiendesigns bei akuter körperlicher Aktivität auf ($p < .001$). Demnach haben "randomized controlled trials" (Chang et al., 2012, S. 93) den größten Effekt (*Cohen's d* = .190) auf die kognitive Leistungsfähigkeit. Ein quasi-experimentelles Versuchsdesign wirkt sich negativ auf die Kognition aus ($d = -.024$). Allerdings ist anzumerken, dass die Autoren keine chronischen Auswirkungen körperlicher Aktivität in ihrer Meta-Analyse beachten (Chang et al., 2012).

Zukünftige Untersuchungen zum Zusammenhang von Sportarten mit offenen Fertigungsanforderungen und Konzentrationsleistung sollten neben oder anstelle des d2-R weitere Erhebungsverfahren anwenden. Der computerbasierte Daueraufmerksamkeitstest TAP (Zimmermann & Fimm, 2012) oder der Papier- und Bleistifttest KLT-R (Düker & Lienert, 2001) könnten eine Alternative zum d2-R darstellen. Vor allem der grafische Test TAP könnte aufgrund seiner räumlichen Komponente besser für die Erfassung der durch Sportfechten trainierten räumlich-zeitlichen Konzentrationsleistung geeignet sein. Der d2-R wurde aufgrund seiner Praktikabilität und häufigen Verwendung in der Wissenschaft (vgl. Abschnitt 3.1.2, S. 61f), den beiden anderen Aufmerksamkeitstest vorgezogen (siehe z. B. Budde et al., 2008). Randomisierte Testgruppen aus gemischten Studiengängen und ein ausreichend langer Interventionszeitraum erscheinen als Grundvoraussetzungen für aussagekräftige und plausible Ergebnisse. Die Einteilung der Probandengruppen sollte zufällig sein, um die Aussagekraft der Studie zu erhöhen.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Ergebnisse der Studie „Konzentrationssteigerung durch Sportfechten?“ keinen sportartenspezifischen Einfluss von Sportfechten auf die Konzentrationsleistung von Studierenden erkennen lassen. Allgemeine Effekte körperlicher Aktivität werden jedoch ausführlich diskutiert. Der relativ große Lerneffekt des Konzentrationstest d2-R scheint mögliche Interventionseffekte zu verwischen. Diese Studie stützt somit die Annahme der vorliegenden Forschungsarbeit nicht, wonach bestimmte, für Studierende wichtige kognitive Fähigkeiten über lernunterstützende bzw. motorische Wirkungsmechanismen durch passende körperliche Aktivitäten verbessert werden können.

4.2 Kreativitätssteigerung durch le Parkour!

Die nachfolgende Untersuchung befasst sich mit den Auswirkungen von le Parkour auf die kreative Denkleistung von Studierenden. Wie bereits diskutiert (siehe S. 25) gehen aktuelle Kreativitätsmodelle davon aus, dass Kreativität sowohl einen generalisierbaren bzw. übergreifenden als auch einen domänenspezifischen Charakter besitzt. Eine Verbesserung von Kreativität in einer spezifischen Domäne (hier: motorische Aktivität) kann somit Auswirkungen auf die allgemeine Komponente von Kreativität haben. Mit dieser Untersuchung soll beispielhaft die Fragestellung geklärt werden, ob sich das kreative Denken von Studierenden durch das Erlernen und Ausüben einer Bewegungsform, die eben diese exekutive Funktion in besonderem Maße fordert, beeinflussen lässt. Nachfolgend wird die Wahl von le Parkour als unabhängige Variable begründet.

In Anlehnung an Ito (1993; 2008) und Vandervert et al. (2007) besteht ein Zusammenhang zwischen Kreativität und kognitiven Prozessen zur Bewegungskontrolle. Zusätzlich zeigen Interventionsstudien die kreativitätsfördernde Wirkung von körperlicher Aktivität (aerobe Aktivität und Tanz) auf (Blanchette et al., 2005; Gondola, 1986, 1987; Steinberg et al., 1997). Kreatives Denken ist als domänenübergreifende Fähigkeit sowohl in motorischen als auch in kognitiven Aufgaben gefordert (Scibinetti et al., 2011). In Anbetracht der signifikanten Steigerung der Kreativität durch beispielsweise Tanz (Gondola, 1986, 1987; siehe S. 78ff) scheint die Untersuchung weiterer Bewegungsformen auf deren kreative Transferwirkung sinnvoll. Da die vorliegende Untersuchung von einer lernunterstützenden bzw. motorischen Wirkungsannahme ausgeht, muss die Art der körperlichen Aktivität neuartig und komplex sein und in einer komplexen Bewegung mit vielen Entscheidungsmöglichkeiten durchgeführt werden (siehe hierzu S. 94ff). Um die Kreativität der Studierenden zu steigern, wurde die Bewegungs- und Fortbewegungsart le Parkour ausgewählt.

Le Parkour wird in urbaner Umgebung betrieben (Spiegler, 2012). Die Sportler überwinden dabei diverse Hindernisse unter Ausnutzung kreativer Problemlösestrategien auf individuelle und teils spektakuläre Art und Weise (Neumann & Katzer, 2011). Es wird vermutet, dass das Erlernen und Ausüben von le Parkour das kreative Denken von Studierenden fördert und diese Steigerung im Studierendenalltag angewandt werden kann. Le Parkour scheint daher als Bewegungsintervention unter Berücksichtigung der lernunterstützenden bzw. motorischen Wirkungsannahme besonders geeignet.

Zur Untersuchung dieser Hypothese wurden eine Interventionsstudie und deren Replikation durchgeführt. Ziel der Untersuchung war es, herauszufinden, ob und wie sich das Erlernen und Ausüben von le Parkour auf die kreative Denkleistung von Studierenden auswirkt.

Basierend auf dem aktuellen Forschungsstand (u. a. Neumann & Katzer, 2011; Taddei et al., 2012; siehe Kapitel III, S 52ff) und der lernunterstützenden bzw. motorischen Wirkungsannahme (siehe Abschnitt 3.6.3, S. 94ff) wird eine größere Verbesserung der kreativen Denkleistung durch le Parkour als durch körperliche Aktivität mit vergleichbaren Belastungsnormativa erwartet, da diese Trendsportart durch spezifische, stets wechselnde Lernsituationen geprägt ist.

4.2.1 Methodik

Um Aussagen über die Auswirkungen von le Parkour auf die kreative Denkleistung von Studierenden treffen zu können, wurden im Sommersemester 2012 und 2013 am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) eine Interventionsstudie und deren Replikation im quasi-experimentellen Forschungsdesign mit insgesamt 86 Probanden durchgeführt. Da verbale Kreativität besser beeinflussbar ist als andere Kategorien der Kreativität (Ma, 2009; siehe S. 25f), wird in der vorliegenden Studie die verbale Kreativität untersucht.

4.2.1.1 Hypothese

Für die Studie „Kreativitätssteigerung durch le Parkour!“ lautet die Untersuchungshypothese somit wie folgt.

- H1 Das Erlernen und Ausüben von le Parkour steigert die verbale Kreativität von Studierenden signifikant stärker als Ausdauersport im vergleichbaren Umfang.
- H0 Das Erlernen und Ausüben von le Parkour steigert die verbale Kreativität von Studierenden nicht stärker als Ausdauersport im vergleichbaren Umfang.

4.2.1.2 Design

Um die Steigerung der kreativen Denkleistung durch le Parkour bei Studierenden zu untersuchen, wurde ein quasi-experimentelles Forschungsdesign verwendet. Die Studie begann zum Start des Sommersemesters 2012 mit dem ersten Messzeitpunkt (t_1) des ASK (vgl. S. 32ff) und einem Datenblatt, welches von jedem Probanden ausgefüllt werden musste und unter anderem allgemeine Fragen zu Vorerkrankungen, Studium usw. beinhaltete. Während des direkt anschließenden Interventionszeitraums ($87,52 \pm 3,57$ Tage) nahmen beide Gruppen einmal wöchentlich an einem 90-minütigen Aktivitätsprogramm (le Parkour bzw. Ausdauersport) teil. Der Kreativitätstest wurde am Ende des Interventionszeitraums wiederholt (t_2). Die 20 Probanden der Parkour-Gruppe erhielten ein angeleitetes le Parkour-Anfängertraining. Um die Fortbewegungsart le Parkour als Intervention zu betrachten und nicht den allgemeinen Effekt der Erregungssteigerung (Yagi et al., 1999) in die Ergebnisse einzubeziehen, führten die Kontrollgruppen überwiegend moderate aerobe körperliche Aktivitäten durch (Cardio-Fit-Kurs), deren Belastungsnormativa als mit denen von le Parkour vergleichbar angenommen werden.

Um die langfristigen (chronischen) Auswirkungen der jeweiligen körperlichen Aktivität auf die Konzentration der Probanden zu messen und Störungen durch kurzfristige (akute) Effekte körperlicher Aktivität zu vermeiden, wurde der ASK-Test vor der jeweiligen Trainingseinheit durchgeführt. Der zweite ASK-Test stellte das Ende des Testzeitraums für beide Gruppen dar.

4.2.1.3 Stichprobe

Alle Probanden der vorliegenden Studie waren Studierende des KIT aus unterschiedlichen Fachrichtungen. Sie wiesen keine schwerwiegenden Erkrankungen und/oder neurologische Störungen auf und nahmen (nach eigenen Angaben) keinerlei Medikamente mit Auswirkungen auf die Gehirnfunktion ein. Alle Probanden nahmen freiwillig an der Studie teil. Da nicht alle Probanden die Auswahlkriterien (Teilnahme an beiden Testzeitpunkten sowie maximal zwei Fehltermine im gesamten Untersuchungszeitraum) erfüllten, wurden von den zu Beginn untersuchten 90 Probanden lediglich 86 (68 männlich und 18 weiblich) zwischen 18 und 29 Jahren (\bar{X} Alter: 22,09 \pm 2,34 Jahre) in die Untersuchung eingeschlossen. Keiner der Probanden hat Einschränkungen in der deutschen Sprache. Die beiden in dieser Studie betrachteten Probandengruppen wurden bereits vor der Durchführung der Pretests, also vor Beginn der Intervention, situationsbedingt festgelegt.

Da die Studie aus zwei zeitlich getrennten, jedoch methodisch identischen Studien besteht, wird die deskriptive Statistik zur Stichprobe (Alter, Geschlecht, Anzahl des Fachsemesters und Dauer des Interventionszeitraums; siehe Tab. 8) getrennt voneinander berichtet. Im Sommersemester 2012 (SS 2012) nahmen 46 Probanden (37 männlich, 9 weiblich; \bar{X} Alter: 22,39 \pm 2,21 Jahre) an der ersten Durchführung der Interventionsstudie teil. In der Replikation der Studie im Sommersemester 2013 (SS 2013) bestand die Stichprobe aus 40 Probanden (31 männlich, 9 weiblich; \bar{X} Alter: 21,75 \pm 2,46 Jahre).

Alle Probanden waren dazu aufgefordert, ihre alltägliche körperliche Aktivität während des gesamten Studienzeitraums nicht zu verändern, um aussagekräftige Messwerte zu erhalten. Zur Überprüfung von eventuellen Störvariablen wurde am Ende der jeweiligen Studiendurchführung von allen Probanden diesbezüglich ein Fragebogen beantwortet.

Die Interventionsgruppe („Parkour“) bestand im SS 2012 aus 20 Probanden (17 männlich, 3 weiblich; \bar{X} Alter: 23,15 \pm 2,37 Jahre; siehe Tab. 8) und im SS 2013 aus 16 Probanden (15 männlich, 1 weiblich; \bar{X} Alter: 22,81 \pm 2,99 Jahre; siehe Tab. 8). Um an dem le Parkour-Training teilnehmen zu können, konnten sich Studierende aller Fachbereiche des KIT zu dem vom House of Competence (HoC) des KIT angebotenen Praxiskurs le Parkour anmelden. Der Kurs wurde eigens für diese Studie gegründet und richtete sich explizit an le Parkour-Anfänger. Es bestanden somit keine sportlichen bzw. körperlichen Eingangsvoraussetzungen.

Die Probanden der Kontrollgruppen („Cardio-Fit“) waren Studierende der Fachrichtungen Sportwissenschaft und -pädagogik eines jungen Fachsemesters (siehe Tab. 8). Der Praxiskurs Cardio-Fit wird jedes Sommersemester am Institut für Sport und Sportwissenschaft mit praktischen Inhalten zum Ausdauersport angeboten und wurde daher in den SS 2012 und 2013 für die Kontrolle der Studienintervention herangezogen. Im SS 2012 erfüllten 26 Sportstudierende (20 männlich, 6 weiblich; \bar{X} Alter: 21,81 \pm 1,92 Jahre) und im SS 2013 24 Sportstudierende (16 männlich, 8 weiblich; \bar{X} Alter: 21,04 \pm 1,76 Jahre) alle Teilnahme-kriterien (s.o.) und wurden somit in die vorliegenden Untersuchung mit einbezogen.

4.2.1.4 Intervention

Le Parkour ist ein sicherer, schneller und effizienter Weg der Fortbewegung in urbaner Umgebung unter Einbindung diverser Sportarten (Spiegler, 2012). Ziel ist das Erreichen eines festgelegten Punktes (Puddle & Maulder, 2013) – wobei der Weg auch als Ziel verstanden wird. Hindernisse auf diesem Weg werden auf individuelle Art überwunden, statt sie zu umgehen. Sportlerinnen und Sportler, die le Parkour betreiben, werden Traceur (franz.: traceur für denjenigen, der eine Linie zieht) genannt. Laufen, Springen, Klettern und Rollen in unterschiedlicher und individueller Art und Weise sind die Grundlagen der effektiven Fortbewegung zur Überwindung von Hindernissen eines Traceurs (Miller & Demoigny, 2008; Puddle & Maulder, 2013). Dabei spielen Freiheit und Individualität der Bewegung genauso wie der kreative Umgang mit der Umgebung entscheidende Rollen für alle Traceurs. Le Parkour vereint unter anderem die Aspekte Leistung, Wagnis, Risiko, Gesundheit und Körpererfahrung und ist gerade bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen sehr beliebt (Scheuer, 2012). Es werden einerseits Erlebnisse mit intensiven Sinnesreizen gesucht und andererseits auch die eigenen Leistungs- und Risikogrenzen ausgetestet (Gaschler, Klimek & Lauenstein, 2009). Die didaktische Idee von le Parkour liegt „in der spektakulären Überwindung von unterschiedlichen Hindernissen, wobei der eigene Weg und die individuelle kreative Problemlösung im Mittelpunkt stehen“ (Neumann & Katzer, 2011, S. 77). Geübt wird oft in der Sporthalle – unter sicheren Bedingungen – bevor die Anwendung des Könnens im urbanen Gelände folgt (Miller & Demoigny, 2008). Freerunning ergänzt le Parkour um akrobatische Bewegungselemente wie beispielsweise Salti. Dabei liegt das Hauptaugenmerk nicht mehr auf der Effektivität der Bewegung, sondern bei Ausdruck und Individualität.

Zusammengefasst sind le Parkour und Freerunning Bewegungsformen mit hohen kreativen Anforderungen an die Traceurs in einem komplexen Umfeld und erscheinen somit optimal geeignet als Intervention für die nachfolgend vorgestellte Untersuchung.

In der vorliegenden Studie wurden grundlegende le Parkour Techniken vermittelt und angewandt. Individuelle akrobatische Ergänzungen waren jedoch erlaubt.

Das le Parkour Training beider Studiendurchführungen bestand aus einmal wöchentlich 90 Minuten körperlicher Aktivität unter Anleitung eines erfahrenen le Parkour-Trainers. Jede Trainingseinheit der le Parkour-Kurse bestand aus einem Erwärmungs- und einem Hauptteil. Im Hauptteil vermittelte der Trainer zunächst grundlegende Technikelemente, welche die Probanden anschließend in den Bewegungslandschaften (Sporthalle mit diversen Sportgeräten oder im Freien) üben und anwenden konnten. Das Erlernen und Üben war auf individuellem Niveau möglich und wurde vom Trainer aktiv unterstützt. Mit fortschreitendem Studienverlauf wurden so stets neue Techniken erlernt, um den Probanden die Möglichkeit zur freien Entfaltung der Bewegungsideen zu bieten. Zum Schluss jeder Trainingseinheit war ausreichend Zeit für die individuelle Gestaltung von "runs" gegeben.

Die körperliche Aktivität der Cardio-Fit-Gruppen kann als überwiegend aerobes Ausdauertraining mit zyklischen Sportarten (Laufen oder Fahrradfahren) bezeichnet werden und wurde im SS 2012 und 2013 vergleichbar durchgeführt.

An den meisten Einheiten des Interventionszeitraums gingen die Sportstudierenden ausdauernd laufen bei mittlerer bzw. moderater Intensität. Einige Trainingseinheiten umfassten Phasen höherer Intensitäten. Die überwiegend aeroben Belastungsformen dieser Gruppen fanden einmal wöchentlich für jeweils circa 90 Minuten parallel zum le Parkour-Training der Interventionsgruppe statt.

4.2.1.5 Datenerhebung

Die Kreativität der Probanden wurde mit Hilfe der Analyse des Schlussfolgernden und Kreativen Denkens (ASK) von Schuler und Hell (2005) ermittelt (siehe zusätzlich ASK, S. 32).

Der Test besteht aus zwei Modulen (Schlussfolgerndes Denken und Kreatives Denken), die getrennt voneinander durchgeführt werden können. Für die vorliegende Untersuchung wurde lediglich das zweite Modul (Kreatives Denken) durchgeführt.

Wie bereits in den theoretischen Grundlagen zur Kognition (siehe S. 32) beschrieben wurde, besteht dieses Modul aus vier Aufgabengruppen mit jeweils zwei bis vier Aufgaben. Die Bearbeitungszeit (drei bzw. vier Minuten) pro Aufgabe wird vom Testleiter vorgegeben und überwacht. Zwischen jeder Aufgabengruppe – jedoch nicht zwischen jeder Aufgabe – gibt es eine Pause, die als Möglichkeit für Erklärungen und Fragen dienen kann.

Nach dem Austeilen der Tests gibt der Testleiter eine allgemeine Einführung in das Testverfahren nach standardisierten Richtlinien. Sobald alle Unklarheiten beseitigt sind, beginnt der eigentliche Test. Dabei wird zunächst ein Aufgabentyp vom Testleiter erklärt, ein passendes Beispiel gegeben, alle offenen Fragen geklärt und anschließend direkt die Aufgaben zu diesem Aufgabentyp von den Probanden beantwortet. So wird nacheinander mit jedem der vier Aufgabentypen verfahren.

Die ASK-Tests aller Probanden einer Studie (SS 2012 bzw. SS 2013) wurden von derselben Person aufgabenweise ausgewertet, um Fehler bei der Testauswertung zu minimieren. Die Autoren berichten aufgrund der genau formulierten Auswerterichtlinien von einer sehr hohen Auswertungs-Objektivität des ASK (Intraklassenkorrelation $ICC=.99$; $N=82$). Die Kriterien und Regeln der Auswertung wurden in der vorliegenden Untersuchung nach den Vorgaben von Schuler und Hell (2005) stets eingehalten. Falsche bzw. fehlerhafte Antworten wurden gestrichen. Nachdem die Anzahl der korrekten Antworten pro Aufgabentyp festgestellt wurde, konnten auf Grundlage der mitgelieferten Normtabellen (Schuler & Hell, 2005) spezifische standardisierte Rohwerte (KD_R) ermittelt werden. Die Summe dieser vier Werte ergibt einen unstandardisierten Facettenwert des kreativen Denkens. Eine Normtabelle liefert dann Standardnormwert (KD_S) und Prozentrang (KD_{PR}) des kreativen Denkens.

Nach Angaben der Autoren misst das Modul Kreatives Denken die Fähigkeit des divergenten Denkens (Dimension fluency). Dabei korreliert der deutschsprachige Test hoch mit verbaler Kreativität ($r=.91$). Die Facette Kreatives Denken des ASK kann laut Schuler und Hell (2005) eindeutig der "word fluency" im Modell von Thurstone (1938) und "fluency" im Modell von Casstell und Horn (1978) zugeordnet werden. Passend dazu definiert Ma (2009) "word fluency" als "ability to produce a large number of ideas" (Ma, 2009, S. 35). Verbale Flüssigkeit ist nach

Molinari, Leggio und Silveri (1997) die Fähigkeit, unter Berücksichtigung festgelegter Regeln (Zeichen oder Semantik) eine Wörter-Liste zu erstellen. In Aufgabentyp vier des ASK müssen die Probanden beispielsweise aus einer gegebenen Wörter-Liste geeignete Kategorien ermitteln. Verbale Kreativität (VKT) und Kreatives Denken (KD) korrelieren zu $r=.91$ miteinander (Schuler & Hell, 2005, S. 33). Der ASK beinhaltet vier anspruchsvolle Typen von Testaufgaben und wurde speziell für Probanden mit hohem Bildungsabschluss entwickelt (Schuler & Görlich, 2007). Er ist daher zur Messung des divergenten Denkens von Studierenden geeignet. Die Test-Retest-Reliabilität geben Schuler und Hell (2005) mit $r_{tt}=.77$ an (Überprüfung mit 47 Studierenden und 15 Monaten Zeitabstand zwischen den beiden Testterminen). Insgesamt 419 Studierenden (221 männlich; 196 weiblich; Alter $\bar{X} 20,97 \pm 1,98$ Jahre) dienten als Stichprobe zur testtheoretischen Überprüfung des ASK (Schuler & Hell, 2005, S. 23). Der ASK ist daher für die vorliegende Studie geeignet.

4.2.1.6 Datenanalyse

Die vorliegende Studie wurde im Längsschnittdesign mit zwei Messzeitpunkten t_1 und t_2 (vor und nach der Intervention) durchgeführt. Dabei ist das Kreative Denken (KD) die abhängige Variable und die Art der körperlichen Aktivität (Ausdauersport bzw. le Parkour) die unabhängige Variable. Zur Datenanalyse wurde SPSS (IBM, Version 20) benutzt. Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD) werden zu jedem Messergebnis angegeben. Die deskriptive Statistik wurde mithilfe der Standardmethode berechnet. Gruppenvergleiche zu einem festen Messzeitpunkt wurden mithilfe von einfaktoriellen ANOVAs (bzw. Univariate) berechnet. Um die Auswirkungen der unabhängigen Variable (Art der körperlichen Aktivität) auf das Kreative Denken zu bestimmen, wurde eine Zweiwege-Varianzanalyse (zweifaktorielle ANOVA, Zeit \times Gruppe) mit SPSS berechnet. Die Effektstärke wurde über partielles Eta² (η^2) berechnet. Die statistische Signifikanz wurde auf $p=.05$ festgelegt.

4.2.2 Ergebnisse

4.2.2.1 Stichprobe

Die Variablen Geschlecht, Alter, Fachsemester und Dauer des Interventionszeitraums aller Probandengruppen sind in Tab. 8 deskriptiv dargestellt. Es bestehen teilweise signifikante Unterschiede zwischen den Probandengruppen innerhalb einer Studie. Die erste Studiendurchführung im SS 2012 und die Replikation im SS 2013 zeigen dabei ähnliche Gruppencharakteristika und -unterschiede bei Alter, Fachsemester und Dauer des Interventionszeitraums auf. Die Probanden der Cardio-Fit-Gruppe waren signifikant jünger (SS 2012, $F(1,44)=4.51$, $p<.05$, $\eta^2=.093$; SS 2013, $F(1,38)=5.57$, $p<.05$, $\eta^2=.128$) und in einem niedrigeren Fachsemester (SS 2012, $F(1,44)=6.84$, $p<.05$, $\eta^2=.135$; SS 2013, $F(1,38)=30.67$, $p<.001$, $\eta^2=.447$) als die Parkour-Gruppe. Diese konnte circa eine Woche länger am Sportkurs teilnehmen als die Sportstudierenden (SS 2012, $F(1,44)=129.56$, $p<.001$, $\eta^2=.746$; SS 2013, $F(1,38)=360.15$, $p<.001$, $\eta^2=.808$). In der Cardio-Fit-Gruppe im SS 2013 war der

Frauenanteil signifikant höher als in der Parkour-Gruppe ($F(1,38)=4.27$, $p<.05$, $\eta^2=.101$).

Tab. 8 Stichprobenbeschreibung (Anzahl, Geschlecht, Alter, Fachsemester und Interventionszeitraum).

Gruppen	N	Geschlecht			Alter [Jahre]		Fachsemester		IZR [Tage]	
		Nw	Nm	%w	MW	SD	MW	SD	MW	SD
SS 2012										
Parkour	20	3	17	15,0	23,15	2,37	5,25	2,75	91,00	0,00
Cardio-Fit	26	6	20	23,1	21,81	1,92	3,19	2,56	84,85	2,41
Gesamt	46	9	37	19,6	22,39	2,21	4,09	2,81	87,52	3,57
SS 2013										
Parkour	16	1	15	6,3	22,81	2,99	4,31	1,78	90,13	2,39
Cardio-Fit	24	8	16	33,3	21,04	1,76	2,17	0,57	84,00	0,00
Gesamt	40	9	31	22,5*	21,75	2,46	3,03	1,59	86,45	3,38
SS 2012 und SS 2013										
Parkour	36	4	32	11,1	23,00	2,63	4,83	2,38	90,61	1,63
Cardio-Fit	50	14	36	28,0	21,44	1,86	2,70	1,94	84,44	1,77
Gesamt	86	18	68	20,9	22,09	2,34	3,59	2,37	87,02	2,50

N=Anzahl, Nw=Anzahl Probandinnen, Nm=Anzahl Probanden, %w=prozentualer Anteil der Probandinnen, IZR=Dauer des Interventionszeitraums (t_1 bis t_2), MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung.

Tab. 9 Mittelwertunterschiede (einfaktorielle ANOVA bzw. Univariate) zwischen den Probandengruppen Parkour und Cardio-Fit. Getrennt nach den beiden Studiendurchführungen und gesamt.

Kennwerte	SS 2012				SS 2013				SS 2012 und 2013			
	df	F	p	η^2	df	F	p	η^2	df	F	p	η^2
Geschlecht	1	0.45	.51	.010	1	4.27	<.05	.101	1	3.68	.06	.042
Alter	1	4.51	<.05	.093	1	5.41	<.05	.128	1	10.38	<.01	.110
FS	1	6.84	<.05	.135	1	30.67	<.001	.447	1	20.86	<.001	.199
IZR	1	129.56	<.001	.746	1	159.60	<.001	.808	1	271.21	<.001	.764

df=Freiheitsgrad, F=F-Wert der ANOVA, p=Signifikanz, η^2 =Effektstärke, FS=Fachsemester, IZR=Interventionszeitraum.

4.2.2.2 Kreatives Denken (ASK)

Die Ergebnisse der ASK-Tests vom SS 2012 und SS 2013 unterscheiden sich bezüglich ihrer absoluten Messwerte ($KD_{t1,gesamt}$: SS 2012, 98,96 \pm 8,25; SS 2013, 90,85 \pm 5,89) um 10,1%. Die Veränderungen der kreativen Denkleistung über den Messzeitraum sind bei beiden Studiendurchführungen hingegen ähnlich (siehe Tab. 10 und Abb. 17).

In beiden Studiendurchführungen sind die Messwerte der beiden Probandengruppen vor Beginn der körperlichen Aktivität (t_1) statistisch gleich (siehe Tab. 11). Ebenfalls konnten alle Gruppen ihre kreative Denkleistung signifikant steigern (siehe Tab. 11). Beim Posttest unterscheiden sich die beiden Probandengruppen der ersten Studiendurchführung (SS 2012) signifikant (siehe Tab. 11). In der Studienreplikation hingegen ist die kreative Denkleistung der beiden Gruppen vergleichbar ($F(1,38)=2.33$; $p=.14$; $\eta^2=.058$).

Der Leistungszuwachs beim Kreativen Denken ist bei den Probanden der Parkour-Gruppe in beiden Studiendurchführungen signifikant größer als bei den Probanden der Cardio-Fit-Gruppe. Dies wird an der signifikanten Interaktion (Zeit \times Gruppe) deutlich (siehe Tab. 11).

Tab. 10 Kreative Denkleistung (KD , standartisierter Kennwert) zum Prätest (t_1) und Posttest (t_2); Unterschied der Kreative Denkleistung (Differenz KD) von t_1 zu t_2 ; aufgeteilt nach den beiden Studiendurchführungen.

Gruppe	N	Kreatives Denken (KD)				Differenz KD		
		Prätest		Posttest		Prätest - Posttest		
		MW	SD	MW	SD	MW	SD	%
SS 2012								
Parkour	20	98,75	7,41	107,80	7,74	9,05	6,30	+9,2
Cardio-Fit	26	99,12	8,98	101,96	9,49	2,85	5,77	+2,9
Gesamt	46	98,96	8,25	104,50	9,16	5,54	6,70	+5,6
SS 2013								
Parkour	16	89,94	5,57	97,94	7,58	8,00	4,43	+8,9
Cardio-Fit	24	91,46	6,14	93,92	8,51	2,46	4,75	+2,7
Gesamt	40	90,85	5,89	95,53	8,29	4,68	5,33	+5,2

Differenz der Kreativen Denkleistung vom Prä- zum Posttest wurde mit SPSS 20 berechnet: $KDt_2 - KDt_1$; N =Anzahl, MW=Mittelwert, SD=Standardabweichung, %=prozentuale Veränderung des KD von t_1 zu t_2 .

Tab. 11 Interferenzstatistik zur Kreatives Denkleistung (*KD*, standardisierter Kennwert); getrennt nach Studiendurchführung und gesamt. Messwiederholung (rm-ANOVA) innerhalb (Gruppeneffekt) und zwischen (Zeiteffekt) den Probandengruppen. Interaktion (ZeitxGruppe; Greenhouse-Geisser).

MZP/ Gruppe	<i>KD</i> (SS 2012)				<i>KD</i> (SS 2013)				<i>KD</i> (SS 2012 und 2013)			
	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
Gruppeneffekt												
Prätest	1	.02	.88	.000	1	.63	.43	.016	1	.11	.74	.001
Posttest	1	5.01	<.05	.102	1	2.33	.14	.058	1	6.55	<.05	.072
Zeiteffekt (t_1 - t_2)												
Parkour	1	41.34	<.001	.685	1	52.25	<.001	.777	1	87.84	<.001	.715
Cardio-Fit	1	6.33	<.05	.202	1	6.44	<.05	.219	1	12.83	<.01	.207
Gesamt	1	44.43	<.001	.502	1	49.14	<.001	.564	1	92.30	<.001	.524
Interaktion (ZeitxGruppe)												
Gesamt	1	12.08	.001	.215	1	13.80	.001	.266	1	25.62	<.001	.234

df=Freiheitsgrad, *F*=*F*-Wert der ANOVA, *p*=Signifikanz, η^2 =Effektstärke, t_1 =Pretest, t_2 =Posttest, MPZ=Messzeitpunkt.

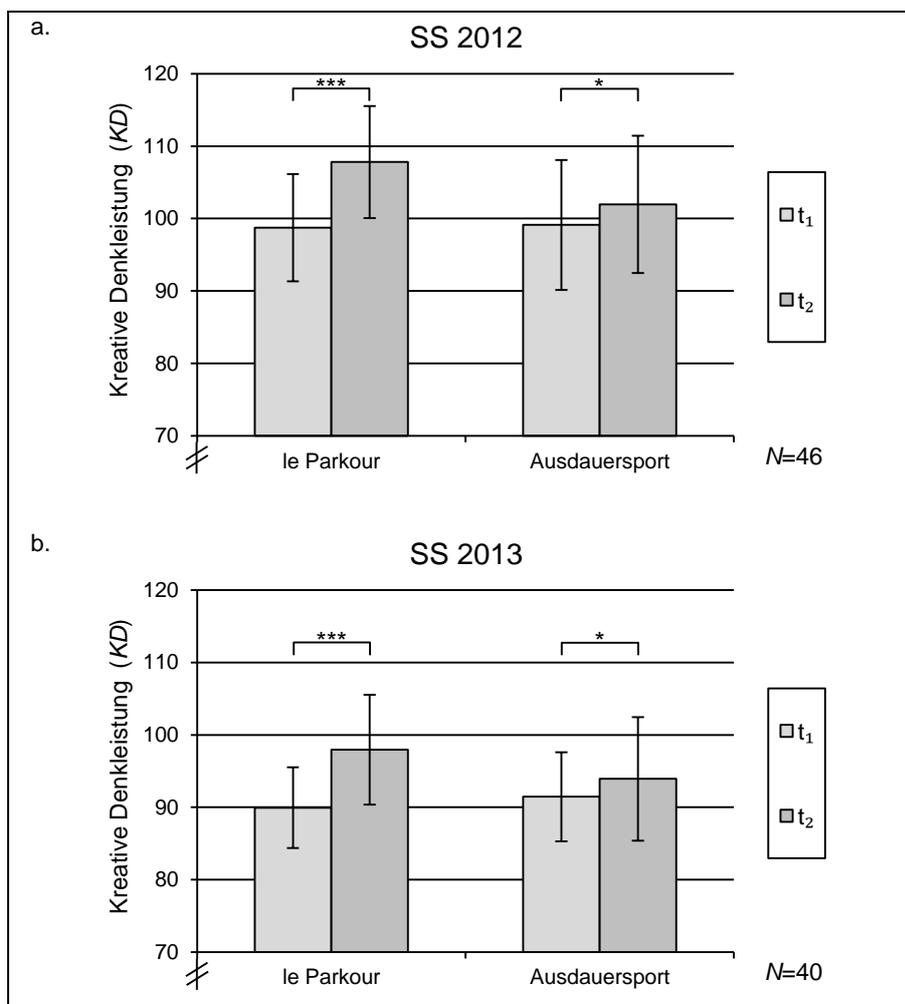


Abb. 17 Standardisierte Messwerte (Mittelwerte und Standardabweichungen) der Kreativen Denkleistung (*KD*) im SS 2012 (a) und SS 2013 (b) des ASK nach Schuler und Hell (2005) zu den Messzeitpunkten t_1 und t_2 aufgeteilt nach den Probandengruppen (Z-Werte). * p <.05, ** p <.01, *** p <.001.

4.2.3 Diskussion

Gegenstand der vorliegenden Studie war es, die Effekte von unterschiedlicher körperlicher Aktivität (le Parkour und Ausdauersport) auf die kreative Denkleistung von Studierenden zu untersuchen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen die Hypothese H1 (siehe Tab. 11 und Abb. 17). Demnach steigert das Erlernen und Durchführen von le Parkour die verbale Kreativität von Studierenden signifikant mehr als Ausdauersport in vergleichbarem Umfang. Sowohl die erste Studiendurchführung (SS 2012), als auch ihre Replikation im SS 2013 können eine signifikante Interaktion (Zeit×Gruppe) nachweisen (siehe Tab. 11).

Zu Beginn der Untersuchungen verfügen die Probandengruppen über eine vergleichbare kreative Denkleistung (siehe Prätest in Tab. 11). Die Probandengruppen unterscheiden sich bezüglich Geschlecht, Alter, Fachsemester und Dauer des Interventionszeitraums zwar signifikant, jedoch haben diese Gruppenunterschiede keinen Einfluss auf das Ergebnis des ASK (Überprüfung jeweils mittels Analyse als Kovariate). Auch nach Ma (2009) sind die Einflüsse von Alter, Geschlecht und kognitiven Fähigkeiten der Probanden als gering einzuschätzen.

In der ersten Studiendurchführung (SS 2012) verbessern beide Probandengruppen ihr kreatives Denken signifikant (Cardio-Fit: +2,9%; Parkour: +9,2%). Allerdings zeigt die signifikante Interaktion (Zeit×Gruppe; $p=.001$, $\eta^2=.215$), dass der Unterschied zwischen den Gruppen signifikant größer ist als der Unterschied innerhalb der Gruppen. Demnach verbessern die Probanden der Parkour-Gruppe ihre kreative Denkleistung signifikant stärker als die Probanden der Cardio-Fit-Gruppe. Die Sportstudierenden der Cardio-Fit-Gruppe sind zwar etwas jünger (\bar{M} 1,34 Jahre; 5,8%) und ihr Interventionszeitraum ist etwas kürzer (\bar{M} 6,15 Tage; 6,8%), dennoch zeigen die Analysen mit Kovariate keinen signifikanten Einfluss der Gruppenvariablen auf die Steigerung des *KD*. In Anlehnung an den Wirkungszusammenhang nach Sibley und Etnier (2003) kann gefolgert werden, dass die jungen Sportstudierenden aufgrund ihrer breiten sportlichen Ausbildung im Studium eher mehr unterstützenden Lernsituationen durch körperliche Aktivität ausgesetzt sind als Studierende anderer Fachrichtungen (siehe Parkour-Gruppe). Daher ist zu vermuten, dass Sportstudierende von ihrer körperlichen Aktivität außerhalb dieser Untersuchung kognitiv und motorisch mehr profitieren als die Probanden der Interventionsgruppe. Dieses unterstreicht den Interventionseffekt noch weiter. Die Studienergebnisse zeigen einen signifikanten Einfluss ($p=.001$) der unabhängigen Variable (Art der körperlichen Aktivität) auf die Steigerung der kreativen Denkleistung (abhängige Variable). Der nach Cohen (1988) starke Effekt ($\eta^2=.214$) macht die positiven Auswirkungen von le Parkour auf die kreative Denkleistung der Studierenden deutlich. Bereits in der ersten Studiendurchführung (SS 2012) konnte somit gezeigt werden, dass le Parkour das kreative Denken der Studierenden mehr als zyklischer und aerober Ausdauersport beeinflusst. Um dieses überraschend eindeutige Ergebnis zu überprüfen, wurde ein Jahr später die Studie im gleichen Studiendesign (vergleichbare Probandengruppen, gleiche Interventionen, derselbe Trainer, gleicher Interventionszeitraum und gleiche Rahmenbedingungen) wiederholt (Replikation im SS 2013).

Wie in Tab. 10 und Abb. 17 zu erkennen, unterscheiden sich die Ergebnisse der

beiden Studiendurchführungen lediglich in ihren absoluten Messwerten, jedoch kaum in der, für diese Studie essenziellen, relativen Veränderung der kreativen Denkleistung. Wie bereits zuvor, verfügen auch im SS 2013 beide Probandengruppen über vergleichbare kreative Denkleistungen (siehe Prätest in Tab. 11). Motivation und Stimmung beeinflussen zwar die kreative Denkleistung (Runco, 2014; siehe S. 27), können in der vorliegenden Untersuchung jedoch für beide Probandengruppen und Messzeitpunkte als gleichwertig betrachtet werden. Die Replikation der Untersuchung minimiert diesen Einfluss weitestgehend. Die Parkour-Gruppe verbesserte ihre Kreativität im Verlauf der Studie um +8,9%. Die Sportstudierenden konnten ihr kreatives Denken beim zweiten Messzeitpunkt (t_2) um +2,7% steigern. Die signifikanten Gruppenunterschiede bezüglich Alter (\bar{M} 1,77 Jahre; 7,8%), Geschlecht (\bar{M} 27 %w; 81%) und Abstand zwischen den beiden Messzeitpunkten (\bar{M} 6,13 Tage; 6,8%) spielen, wie im SS 2012, keine Rolle für den Zusammenhang. Dies ergaben die Analysen mit Kovariate. Die Interferenzstatistik macht, wie im SS 2012, den positiven Effekt von Le Parkour auf das kreative Denken deutlich (Zeit \times Gruppe; $p=.001$, $\eta^2=.266$). Die Replikation lässt somit ebenfalls zu, dass die Hypothese H_0 abgelehnt wird.

Die Ergebnisse beider Studiendurchführungen sind hinsichtlich der signifikanten Veränderungen des *KD* ähnlich (vgl. Tab. 10 und Tab. 11). Die Replikation bestätigt und verstärkt das Ergebnis der Studie im SS 2012: Le Parkour steigert die kreative Denkleistung von Studierenden signifikant mehr als Ausdauersport. Betrug die Fehlerwahrscheinlichkeit nach der ersten Studiendurchführung im SS 2012 noch 0,1% ($p_{SS2012}=.001$), so ist nach der Replikation von einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 0,001% auszugehen ($p_{SS2013}=.001$; $.001 \times .001=.00001$). Die Hypothese H_0 kann somit zu 99,999% abgelehnt werden. Die vorliegende Untersuchung zeigt deutlich, dass Le Parkour die kreative Denkleistung von Studierenden signifikant mehr steigert als Ausdauersport in vergleichbarem Umfang.

Die signifikante Steigerung des *KD* der Kontrollgruppen (siehe Tab. 11) ist für beide Studiendurchführungen vergleichbar und hauptsächlich auf den Lerneffekt des ASK zurückzuführen. Obwohl bereits nachgewiesen werden konnte, dass längerfristige aerobe körperliche Aktivität die exekutiven Funktionen verbessert (siehe z. B. die Meta-Analyse von Smith et al., 2010), ist eine tatsächliche Leistungssteigerung der Cardio-Fit-Gruppen im ASK wenig wahrscheinlich bzw. gering. Nach Schuler und Hell (2005) beträgt die Test-Retest-Reliabilität des ASK $r_{tt}=.77$. Somit führt das reine Wiederholen des ASK beim zweiten Messzeitpunkt zu einer (wenn auch geringen) Verbesserung der Testergebnisse. Dabei wird keine tatsächliche Steigerung des kreativen Denkens gemessen, sondern lediglich die Anzahl der Antworten aufgrund der Gewöhnung an den ASK gesteigert. Von diesem Lerneffekt profitieren alle Probanden im Posttest. Die signifikante, jedoch vergleichsweise geringe, Leistungssteigerung der Cardio-Fit-Gruppe beinhaltet daher neben einem möglichen tatsächlichen Effekt vor allem diesen Lerneffekt. Die vorliegende Untersuchung lässt keine präzise Aussage zu den Anteilen dieser Effekte zu. Die vergleichsweise geringe Steigerung des *KD* der Kontrollgruppe (+2,9% bzw. +2,7%; siehe Tab. 10) zeigt jedoch, dass ein möglicher tatsächlicher Effekt von Ausdauersport auf die kreative Denkleistung bei Studierenden gering ausfällt bzw. nicht existiert. Ein vergleichbarer Lerneffekt ist bei den Probanden der Parkour-Gruppen anzunehmen. Da die gemessene Steigerung des *KD* (+9,2%

bzw. +8,9%) jedoch signifikant größer ist als bei den Cardio-Fit-Gruppen, kann neben einem kleinen Lerneffekt von einem tatsächlichen Interventionseffekt von le Parkour ausgegangen werden. Die Interferenzstatistik bestätigt den signifikanten Interventionseffekt in beiden Studiendurchführungen (siehe Tab. 11).

Bezüglich der zugrundeliegenden Wirkungsmechanismen kann aus dieser Untersuchung gefolgert werden, dass lernunterstützende bzw. motorische Wirkungsmechanismen, die durch le Parkour jedoch nicht durch zyklischen aeroben Ausdauersport hervorgerufen werden, die kreative Denkleistung positiv beeinflussen. Dies bestätigt die zu untersuchende Hypothese dieser Dissertation, wonach körperliche Aktivität spezifische Lernsituationen schafft, die sich – zusätzlich zu biologischen Wirkungsmechanismen – über lernunterstützende bzw. motorische Mechanismen (siehe S. 94ff) positiv auf spezifische exekutive Funktionen auswirkt. Eine theoretische Einordnung der Untersuchungsergebnisse und mögliche Gründe für den positiven Zusammenhang zwischen le Parkour und kreativem Denken werden nachfolgend ausführlich diskutiert.

Die positiven Auswirkungen von akuter Aktivität auf die Kreativität sind bereits bekannt (Blanchette et al., 2005; Herman-Tofler & Tuckman, 1998; Steinberg et al., 1997) und werden häufig mit einem höheren Erregungszustand der Probanden oder generellen positiven Effekten von körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit begründet (Blanchette et al., 2005). Um dies auszuschließen, wurden in der vorliegenden Studie keine akuten, sondern chronische Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kreative Denkleistung gemessen. In Anlehnung an die zu untersuchende motorische Wirkungsannahme wurde le Parkour als Intervention gewählt, da diese Bewegungsform, wie in der Methodik (siehe S. 127f) bereits beschrieben wurde, einerseits in einer anregenden, kreativen Umgebung stattfindet und andererseits individuelle Reaktionen auf die sich ändernde Umgebung nötig sind. Diese ständige Auseinandersetzung fordert und trainiert, so die Annahme, fortlaufend die kreativen Fähigkeiten der Traceurs. Außerdem wurde in der vorliegenden Untersuchung eine körperlich aktive Kontrollgruppe gewählt, um nicht die Auswirkungen von körperlicher Aktivität bzw. Anstrengung im Allgemeinen sondern der Bewegungsform le Parkour im Speziellen zu untersuchen. Eine körperlich inaktive Kontrollgruppe hätte keine Rückschlüsse über die Anteile des generellen oder sportartspezifischen Effekts von körperlicher Aktivität auf die verbale Kreativität zugelassen.

Aufgrund der Komplexität des kreativen Prozesses werden nachfolgend anhand von Modellen mögliche Einflussgrößen eruiert. Da sowohl Interventions- als auch Kontrollgruppe jeweils die gleichen Testaufgaben unter gleichen Testbedingungen bearbeitet haben, ist bezüglich des Grundmodells der fünf P nach Preiser und Buchholz (2004) davon auszugehen, dass zwei der existierenden drei Einflussfaktoren auf den kreativen Prozess (Problem und Problemumfeld) für beide Probandengruppen in Prä- und Posttest vergleichbar waren. Die Veränderung des Faktors ‚Person‘ (siehe Abb. 9, S. 24) scheint daher die Ursache für die verbesserten kreativen Prozesse der Parkour-Gruppen und somit die unterschiedlichen kreativen Denkleistungen im Posttest zu sein. Die Probanden der Parkour-Gruppen konnten folglich ihre kreativen Fähigkeiten durch le Parkour verbessern. Dabei muss die Steigerung einer allgemeinen kreativen Fähigkeit

stattgefunden haben, die zwar durch das Erlernen und Ausüben von le Parkour verbessert wurde, dann jedoch im verbalen Kreativitätstest (ASK) angewendet werden konnte. Diese Erkenntnis passt zu den Ergebnissen des Literaturreviews von Plucker und Zabelina (2009), wonach vor allem divergentes Denken domänenübergreifend agiert. Die vorliegende Untersuchung konnte zudem die Trainierbarkeit dieser domänenübergreifenden kreativen Fähigkeit nachweisen, da ein Übertrag von motorischer auf verbale Kreativität stattfinden muss. Ma (2006, 2009) postulierte die Möglichkeit, Kreativität zu steigern, ebenfalls.

Ähnlich wie Preiser und Buchholz (2004) stellt auch Burow (2007; siehe Abb. 8) mehrere Einflussfaktoren auf die kreative Lösung dar. Da sich, wie oben erwähnt, die Testbedingungen nicht verändert haben, müssen sich die Personen bzw. deren kreative Fähigkeiten vom Prä- zum Posttest verändert haben. Während des le Parkour wirken mehrere Faktoren auf die Probanden ein. Der Einfluss des kreativen Umfelds (diverse Möglichkeiten zur Bewegungsentfaltung) scheint als Auslöser für die Steigerung der kreativen Fähigkeit (Person) am wahrscheinlichsten.

In Anlehnung an den Wirkungsmechanismus von Sibley und Etnier (2003) kann der sportartspezifische Effekt auf die Kreativität mithilfe von sportartspezifischen lernunterstützenden Situationen, die für Traceurs und Läufer unterschiedlich sind, erklärt werden. Demnach schafft körperliche Aktivität eine lernunterstützende Situation, die sich ungeachtet der körperlichen Anstrengung auf die Kognition auswirkt. Die effektive Trainingsdauer der beiden Sportkurse ist vergleichbar (einmal wöchentlich 60-90 Minuten). Sicherlich existieren Unterschiede bezüglich der Intensitäten von le Parkour und überwiegend aerobem Ausdauersport. Ein Traceur variiert innerhalb einer Trainingseinheit zwischen intensiven und erholsamen Trainingsphasen. Im Mittelwert ist diese Intensität jedoch dem Ausdauersport vergleichbar, da die Sportstudierenden im Cardio-Fit-Kurs ebenfalls intensivere Trainingseinheiten (Intervalltraining) durchführten. Eine empirische Überprüfung der Intensität der körperlichen Aktivitäten wurde nicht durchgeführt. Da die Kontrollgruppe der Studien (Cardio-Fit) ähnlich körperlich aktiv wie die Interventionsgruppe (Parkour) war, ist davon auszugehen, dass für beide Gruppen ähnliche biologische Mechanismen die Kognition beeinflussten. Zyklischer Ausdauersport und le Parkour unterscheiden sich jedoch stark bezüglich motorischen und kognitiven Lernsituationen und Umgebungen. Lernunterstützende bzw. motorische Wirkungsmechanismen scheinen die Erklärung für größere Kreativitätssteigerung der Traceurs zu sein. Die überwiegend zyklischen Bewegungsabläufe der Cardio-Fit-Gruppe (Ausdauerlauf und Fahrradfahren) stellen andere Anforderungen an die Kognition als die ständig neuen Bewegungen beim le Parkour. Kreatives Denken wird beim Ausdauerlauf, ideal ohne Umweltstörgrößen, nicht benötigt und daher auch nicht angewandt oder gar trainiert. Die Interaktion mit der Umgebung und damit die Fähigkeit des kreativen Denkens und Problemlösens ist beim le Parkour jedoch essenziell (Neumann & Katzer, 2011). Le Parkour und Ausdauersport erzeugen daher unterschiedliche lernunterstützende Situationen (vgl. Sibley & Etnier, 2003) und wirken sich somit unterschiedlich auf die Steigerungen des kreativen Denkens aus. Dass die Kombination aus physischem und kognitivem Training effektiver wirkt als die beiden Trainingsformen isoliert, konnten Fabel et al. (2009) nachweisen. Le

Parkour ist eine kognitiv anspruchsvolle Bewegungsform und stellt daher eine größere Kombination aus physischem und kognitivem Training dar als Ausdauerlauf (rein physisches zyklisches Training). Die Wichtigkeit, stets neue Fertigkeiten zu erwerben, heben auch Curlik und Shors (2013) hervor (siehe Abschnitt 3.3.3, S. 74ff). Hötting und Röder (2013) schlussfolgern in ihrem Review, dass sich diese Kombination positiv auf die Kognition auswirkt. Le Parkour fördert und fordert im Gegensatz zu Ausdauerlauf oder Fahrradfahren motorisches Lernen in komplexer Art und Weise, da ständig neue Bewegungen durchgeführt werden. Nach der Hypothese von Curlik und Shors (2013), werden so im Hippocampus neue Neuronen gebildet und das Arbeitsgedächtnis stark beansprucht bzw. eingebunden und gefördert. Diesen Vorteil können die Probanden aus der Parkour-Gruppe anschließend beim zweiten Kreativitätstest nutzen. Auch Voelcker-Rehage und Kollegen (2013) merken an, dass sich motorisches Lernen anders auf hochrangige kognitive Prozesse auswirkt als automatisierte Bewegungsabläufe. Erkenntnisse aus der Lerntheorie legen ebenfalls nahe, dass komplexe motorische Bewegungen sowie "environmental enrichment" den Erwerb kognitiver Fähigkeiten mehr unterstützen als automatisierte Bewegungen (siehe hierzu S. 94ff). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen diese These.

Eine weitere Erklärung für die hier nachgewiesene Verbesserung von verbaler Kreativität bzw. divergentem Denken durch das Erlernen und Durchführen von le Parkour bezieht zusätzliche kognitive Prozesse und Gehirnbereiche mit ein. Neben der Koordination von Bewegungen (Koziol et al., 2014) ist das Kleinhirn auch an kreativen Prozessen und hochrangigen kognitiven Funktionen beteiligt (Bellebaum & Daum, 2007; Delis et al., 2007; Diamond, 2000; E et al., 2014; Ito, 2008; Runco, 2014; Vandervert et al., 2007). Vor allem an "fluency", als Teilprozess des kreativen Denkens, ist das Kleinhirn beteiligt (Hubrich-Ungureanu, Kaemmerer, Henn & Braus, 2002). Demnach könnten Veränderungen im Kleinhirn bessere Voraussetzungen für kreative Denkprozesse schaffen. Pezzulo's "theory of embodied problem solving" (siehe Koziol et al., 2014) unterstützt die Verbindung von Bewegung und internen Modellen durch das Kleinhirn. Demnach hilft körperliche Aktivität bei der Planung von zukünftigen Kletterbewegungen und -routen. Zur Überprüfung dieser Hypothese sind Untersuchungen mit bildgebenden Verfahren notwendig, jedoch scheint le Parkour das Kleinhirn mehr zu beanspruchen als zyklischer Ausdauersport, da motorisches Lernen stattfindet. Stoodley und Schmahmann (2009) beschreiben in ihrer Meta-Analyse die Existenz von "cerebro-cerebellar channels (cortico-ponto-cerebellar and cerebello-thalamo-cortical loops)" (Stoodley & Schmahmann, 2009, S. 489) als anatomische Grundlage für die Einbindung des Kleinhirns in nicht-motorische Funktionen. Während des Parkour-Trainings könnten diese Verbindungen genutzt und somit verstärkt werden. Diese Veränderungen bleiben nach dem Parkour-Training bestehen, wirken sich auf kreativen Denkaufgaben außerhalb des Sports positiv aus und steigern somit die Kreativitätsleistung. Die Autoren heben in ihrer Meta-Analyse ebenfalls die Verortung von räumlichem Denken, Arbeitsgedächtnis und Motorik im Kleinhirn hervor (Stoodley & Schmahmann, 2009). Alle diese Fähigkeiten werden beim le Parkour stark beansprucht: (1) Die schnelle Verarbeitung und Übersicht in neuem, ungewohnten (urbanen) Gelände fordert viel räumliches Vorstellungs- und Denkvermögen. (2) Durch die schnelle

Verarbeitung von Reizen und das Treffen von Entscheidungen unter Zeitdruck wird das Arbeitsgedächtnis stark gefordert. (3) Die Koordination der Bewegungen stellt hohe Anforderungen an die Traceurs – vor allem im Anfängerbereich. Es scheint wahrscheinlich, dass beim le Parkour das Kleinhirn stärker beansprucht wird als bei zyklischen Sportarten (wie beispielsweise Ausdauerlauf). Das neuronale Netzwerk unterliegt einem stetigen Veränderungsprozess (Ende-Henningsen & Henningsen, 2010). Häufig benutzte Verbindungen werden dabei stärker ausgebildet als andere, da der vermehrte Gebrauch neuronaler Netzwerke zu deren Stärkung führt. Es kann daher gefolgert werden, dass die Leistungsfähigkeit des Kleinhirns (bzw. Teile davon) durch dessen vermehrte Nutzung zunimmt und somit verortete kognitive Prozesse schneller ablaufen können. Die vorliegende Studie zeigt, dass Studierende, die le Parkour erlernt haben, diesen vermuteten Effekt für ihre Kreativitätsleistung nutzen können. Die "neurotrophic stimulation hypothesis" von Dishman et al. (2006) zeigt ebenfalls mögliche Zusammenhänge auf. Als Folge körperlicher Aktivität entsteht demnach neurales Feedback, welches unter anderem in den Strukturen "Motor Controls" (z. B. Kleinhirn) und "Cognitive Controls" (z. B. Hippocampus) verarbeitet wird (siehe Abb. 14). Beide Bereiche sind an Lernen im Allgemeinen und an Kreativität im Speziellen (Runco, 2014) beteiligt. Diese Funktionen profitieren somit von den positiven Effekten der körperlichen Aktivität auf die Gehirnbereiche.

Die für le Parkour typischen Anforderungen (schnelles Reagieren auf neue Umweltbedingungen, neuartige Überwindungsformen von diversen Hindernissen usw.) stellen hohe Anforderungen an Informationsverarbeitungsprozesse, Aufmerksamkeitssteuerung und Entscheidungsfindung. Das Arbeitsgedächtnis ist für hochrangige kognitive Prozesse (Kubesch, 2014b) und kreative Denkprozesse (Vandervert et al., 2007) essenziell. Da bei le Parkour sowohl das Kleinhirn als auch das Arbeitsgedächtnis stark beansprucht werden, können diese durch Ausübung der speziellen Bewegungsform (im Gegensatz zum zyklischen Ausdauerlauf) profitieren, und somit indirekt die Voraussetzungen für kreatives Denken verbessern. Die Elaborationshypothese (Shea & Morgan, 1979) besagt, dass im Arbeitsgedächtnis gleichzeitig mehrere Bewegungsabläufe behalten und verarbeitet werden können. Die schnelle und komplexe Bewegungsabfolge bei le Parkour stellt große Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis, welches essenziell für kreatives Denken ist, und könnte dieses trainieren. Zukünftige Untersuchungen sollten sich mithilfe von bildgebenden Verfahren mit neuronalen Veränderungen durch le Parkour im Kleinhirn und anderen, für das Arbeitsgedächtnis wichtige Gehirnbereiche (E et al., 2014; Stoodley & Schmahmann, 2009) befassen. Zudem ist das Arbeitsgedächtnis bei motorischen Lernprozessen vermehrt aktiv (Curlik & Shors, 2013). Da davon auszugehen ist, dass die Probanden der Cardio-Fit-Gruppe keine motorischen Fertigkeiten erworben haben, die Probanden der Parkour-Gruppe jedoch viele neue Bewegungen und Fertigkeiten im Studienverlauf erlernten, kann gefolgert werden, dass das Arbeitsgedächtnis der Traceurs aktiver war, als das der Läuferinnen und Läufer.

In Anbetracht der lernunterstützenden Wirkung von Erfahrung auf das Gehirn merkt Nelson (1999) an, dass komplexe Umgebungsbedingungen eine positive Entwicklung auf das Gehirn und dessen Plastizität haben (siehe hierzu S. 74 und S. 90). Übertragen auf die vorliegende Studie kann gefolgert werden, dass sich das reichhaltige Angebot an Bewegungsmöglichkeiten und die vielen neuartigen

Umweltbedingungen vorteilhaft auf die Plastizität der Probanden ausgewirkt haben. Natürlich bestehen Einschränkungen bezüglich der Übertragbarkeit der Studienergebnisse mit Nagetieren im Käfig auf das reichhaltige Bewegungsumfeld der Traceurs für 90 Minuten pro Woche in der vorliegenden Untersuchung.

Ort und Art der körperlichen Aktivität scheinen den Effekt von körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit zu beeinflussen. In Tierstudien konnte gezeigt werden, dass sich der Umfang einer Aufgabe auf die Gehirnfunktion auswirkt (Black, Isaacs, Anderson, Alcantara & Greenough, 1990; Davis & Lambourne, 2009). Die Anzahl der neuronalen Verbindungen im Kleinhirn stiegen bei Ratten, die sich akrobatisch bewegten, an. Wohingegen bei Ratten mit ausschließlichem Lauftraining lediglich der Blutfluss im Gehirn zunahm. Pellis und Pellis (2007) übertragen diese Erkenntnisse auf Menschen und folgern, dass Spiele, die Lernprozesse und Gruppenaktivität beinhalten, andere Auswirkungen als isolierte körperliche Aktivität haben. Das Auseinandersetzen mit der Umgebung, vor allem durch Bewegung, ist laut "theory of embodied cognition" (Davis & Lambourne, 2009, S. 263) grundlegend für die Entwicklung der Kognition (Wilson, 2002). Dies wird bei der menschlichen Entwicklung im Kindesalter deutlich.

Ein weiterer Mechanismus des Zusammenhangs geht auf Hoffmann (2011) zurück:

"Creativity might be defined as the ability to recognize that a transfer of rules that are valid in one context might be useful in a different context, and that under certain circumstances bending or even breaking of some rules might be promising" (Hoffmann, 2011, S. 276).

Demnach ist das Brechen mit vorherrschenden Regeln und das Überwinden von (fachlichen) Grenzen eine für Kreativität wichtige Fähigkeit. Vor anspruchsvollen Problemen zu stehen, fördert die Kreativität (Hoffmann, 2011). Gerade beim Erlernen von le Parkour werden individuelle Grenzen überschritten und verschoben.

Steinberg und Kollegen (1997) merken an, dass die Freiheit der Bewegung einen Anstieg des kreativen Denkens bewirkt. Die Traceurs bei le Parkour sind ebenfalls frei in ihrer Bewegung und der Gestaltung ihrer "runs". Jedes Hindernis bietet neue Möglichkeiten der kreativen Entfaltung.

Psycho-soziale Wirkungsmechanismen können ebenfalls Gründe für vermehrte Kreativitätssteigerung durch le Parkour sein. Gondola (1987) konnte den positiven Effekt von Tanz (aerobic dance unter Anleitung) auf die Kreativität nachweisen und nennt psycho-soziale Faktoren als mögliche Wirkungsmechanismen. Vor allem die Reduktion von Stress verbessert dabei die kreative Denkleistung. Auch le Parkour kann Stress reduzieren und so indirekt das kreative Denken fördern. Hierzu besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf.

Insgesamt bietet le Parkour einzigartige Möglichkeiten zur Kompetenzförderung. Die didaktische Idee liegt „in der spektakulären Überwindung von unterschiedlichen Hindernissen, wobei der eigene Weg und die individuelle kreative Problemlösung im Mittelpunkt stehen“ (Neumann & Katzer, 2011, S. 77). Dadurch werden Fähigkeiten aus den Bereichen Methoden- und Sachkompetenz gefördert. Selbständige Handlungs- und Entscheidungsweisen, sowie Risikobereitschaft werden durch die individuelle Wahl der Route und Schwierigkeit geschult. Durch die freie Einteilung von Übungszeiten und -wege im Praxiskurs wird die Organisationsfähigkeit der Studierenden stark gefordert. Jeder Teilnehmer

bzw. jede Teilnehmerin kann selbständig entscheiden, welche Techniken wann geübt werden. Eigene Ziele zu setzen und anschließend zu verfolgen spielt auch im Studium eine zentrale Rolle. Grenzsituationen und Wagnis stellen Möglichkeiten der Persönlichkeitsbildung dar. Auch die Verantwortung für die Sicherheit anderer Gruppenmitglieder kann dies fördern.

Die Wichtigkeit des Erlernens neuer Bewegungsabläufe heben Colzato und Kollegen (2013) hervor: "Athletes may not exhibit the same effects as non-athletes" (Colzato et al., 2013, S. 2). Demnach verbessern Expertise und Fitnesszustand das divergente Denken. Allerdings besteht nach Colzato et al. (2013) Forschungsbedarf beim Zusammenhang von körperlicher Fitness und Kreativität. Durch ständiges Üben und Ausprobieren im le Parkour-Training werden einzelne Bewegungen und Techniken vielzähligen wiederholt. Dies hat Expertise und vielfältige Erfahrungen zur Folge und dient in Anlehnung an Memmert et al. (2010) und Dietrich (2004) der Entwicklung von Kreativität (siehe hierzu Kreativität im Sport, S. 28ff). Demnach werden durch le Parkour domänenspezifische und -übergreifende kreative Fähigkeiten verbessert. Der von Kaufman et al. (2009) nachgewiesene starke Zusammenhang zwischen Kreativität als übergreifender Faktor und der "performance domain" ($r=.75$) unterstreicht die vorliegenden Studienergebnisse. Wie in der vorliegenden Studie gezeigt werden konnte, besteht zwischen den einzelnen Kreativitätsdomänen (verbal und motorisch) ein Zusammenhang. Scott, Leritz und Mumford (2004) heben in ihrer Meta-Analyse den Domänenbezug von Kreativitätstraining hervor. Unter Berücksichtigung der Domänen-Klassifikation von Carson, Peterson und Higgins (2005) wirkt sich eine Veränderung der "performance domain" (le Parkour) auf eine andere Domäne (verbale Kreativität) aus. Es liegt nahe, dass durch le Parkour Kreativität als generelle Fähigkeit verbessert wurde. Die besseren Voraussetzungen können von den Parkour-Probanden im ASK angewandt und somit signifikant kreativere Denkleistungen generiert werden. Die Erkenntnisse der vorliegenden Studie widersprechen der "developmental perspective" nach Plucker und Beghetto (2004), wonach eine kreative Fertigkeit nicht von einer auf eine andere Domäne übertragen werden kann. In der vorliegenden Studie können die Probanden die durch le Parkour verbesserten kreativen Fertigkeiten auf den ASK und somit die verbale Kreativität übertragen.

Die hier nachgewiesene Beeinflussbarkeit kreativen Denkens stimmt mit vorherigen Untersuchungsergebnisse überein (Blanchette et al., 2005; Chang et al., 2012; Colzato et al., 2013; Gondola, 1986, 1987; Gondola & Tuckman, 1985). Auch im Sportspiel konnte die Steigerung von Kreativität nachgewiesen werden (Memmert, 2011b, 2012; Memmert et al., 2010; Memmert & Roth, 2007). Im Gegensatz hierzu befasst sich die vorliegende Arbeit jedoch mit dem Übertrag der kreativen Denkleistung auf generelle Fähigkeiten. Die Forschergruppe um Prof. Memmert betrachtet hingegen Kreativität und deren Steigerung innerhalb des Sportspiels aus taktischer Sicht.

Obwohl die vorliegende Studie signifikante Ergebnisse aufweist, existieren Einschränkungen, die im Folgenden diskutiert werden.

Aufgrund der vorherrschenden Rahmenbedingungen konnte keine Randomisierung der Probandengruppen durchgeführt werden. Die zufällige Einteilung der Probanden in die Interventions- und Kontrollgruppe wäre nicht nur

für die Aussagekraft der Studie von Vorteil, sondern hätte den Unterschieden zwischen den Probandengruppen bezüglich Alter und Fachrichtung vorbeugen können. Die Cardio-Fit-Gruppe war zu Untersuchungsbeginn aufgrund des Studienplans im ersten Fachsemester bereits fest eingeteilt. Eine Aufteilung der Probanden war somit nicht mehr möglich. Zukünftige Untersuchungen sollten ein experimentelles Forschungsdesign beachten.

Mit 46 bzw. 40 Probanden ist die Gruppengröße der beiden Studierendurchführungen zwar groß genug, um statistisch signifikante Effekte nachweisen zu können, jedoch wäre eine größere Stichprobe wünschenswert.

Da beide Probandengruppen einer Studiendurchführung körperlich aktiv waren, kann zwar der sportartspezifische Effekt körperlicher Aktivität bestimmt werden, Aussagen über die allgemeinen Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die verbale Kreativität sind jedoch nicht möglich. Eine körperlich inaktive Kontrollgruppe wäre hier sinnvoll, um eine valide Aussage über den Lerneffekt des ASK treffen zu können. (1) Wäre bei den körperlich inaktiven Probanden ein vergleichbarer Leistungszuwachs von Prä- zu Posttest wie bei der Cardio-Fit-Gruppe nachweisbar, ließe dies auf einen reinen Lerneffekt des ASK schließen. (2) Ohne signifikante Verbesserung der verbalen Kreativität der inaktiven Gruppe könnte hingegen ein allgemeiner positiver Effekt von körperlicher Aktivität auf die verbale Kreativität geschlussfolgert werden.

Eine weitere Einschränkung dieser Studie ist die Eindimensionalität des ASK-Testverfahrens. Kreativität ist ein multidimensionales Konstrukt (Cropley, 2000) und sollte daher mit Hilfe von mehreren Faktoren erfasst werden. Sicherlich ist die Dimension Flüssigkeit als zentral für die Kreativität, zusätzliche Messgrößen (z. B. Originalität) könnten jedoch weitere Rückschlüsse auf die kreative Denkleistung der Probanden zulassen. Die Verwendung des zusätzlichen ASK-Moduls Schlussfolgerndes Denken hätte keine Auswirkungen auf die Messung der Kreativität.

Um die Hypothese der verstärkten Einbindung des Arbeitsgedächtnisses der Parkour-Probanden in Anlehnung an Curlik und Shors (2013) zu untersuchen, ist die Datenerhebung mit bildgebenden Verfahren (z. B. fMRT) notwendig. Zukünftige Untersuchungen könnten die Auswirkungen von le Parkour bzw. dem Erlernen der Bewegungsform auf das Gehirn untersuchen.

Eine quantitative Kontrolle der tatsächlichen individuellen körperlichen Aktivität wäre für die Diskussion der Studienergebnisse von Vorteil. Zwar fanden die Interventionen nicht unter Laborbedingungen statt, deren Charakteristika könnten jedoch durch den Einsatz von Accelerometern und Herzfrequenzmessern bestimmt werden.

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass die Ergebnisse der Studie „Kreativitätssteigerung durch le Parkour!“ eine lernunterstützende bzw. motorische Wirkungsannahme zwischen körperlicher Aktivität und spezifischen kognitiven Fähigkeiten stützt. Die ausführliche Diskussion zeigt einige Wirkungsweisen auf, welche die signifikant größere kreative Leistungssteigerung der Parkour-Gruppe erklären. Die Anwendbarkeit von während körperlicher Aktivität erworbenen kognitiven Fähigkeiten in Situationen ohne körperliche Aktivität scheint gesichert. Überträge aus der Lerntheorie machen die Wichtigkeit von motorischem Lernen zusätzlich deutlich und zeigen, dass Komplexität und Neuartigkeit von körperlicher Aktivität spezifische kognitive Fähigkeiten positiv beeinflussen. In Anlehnung an die "neurotrophic stimulation hypothesis" von Dishman et al. (2006) scheint vor allem das Kleinhirn, als ein für Bewegung und Kreativität zentraler Bereich, eine Schlüsselfunktion des Zusammenhangs auf biologischer Ebene einzunehmen. Die vorliegende Studie lässt keinen gesicherten Schluss über die zugrundeliegenden Wirkungsmechanismen zu, stellt jedoch eine Grundlage für zukünftige Untersuchungen dar. Le Parkour verursacht, im Gegensatz zu Ausdauerlauf, lernunterstützende bzw. motorische Wirkungsmechanismen und steigert die kreative Leistungsfähigkeit von Studierenden somit domänenübergreifend.

V Schlussbetrachtung

Zusammenfassung

Körperliche Aktivität hat einen positiv Einfluss auf die physische und psychische Gesundheit sowie auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Menschen (Burkhalter & Hillman, 2011; Colcombe & Kramer, 2003; Etnier et al., 1997; Etnier et al., 2006; Hillman et al., 2008; Verburgh et al., 2014). Das wissenschaftliche und gesellschaftliche Interesse an den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit wächst stetig. Ein Großteil der Untersuchungen befasst sich hierbei mit Kindern und älteren Erwachsenen. Junge Erwachsene oder gar Studierende sind selten Zielgruppe dieses Forschungsfeldes (Hötting & Röder, 2013; Voelcker-Rehage & Niemann, 2013). Als Grund ist anzunehmen, dass die Beeinflussbarkeit ausgewählter kognitiver Fähigkeiten aufgrund von zielgruppentypischen Deckeneffekten eher gering ist.

Bislang werden vor allem biologische Wirkungsmechanismen (z. B. zerebraler Blutfluss, Neurotrophine) für den positiven Effekt körperlicher Aktivität auf die Kognition verantwortlich gemacht. Neben akuten Anpassungsreaktionen des Körpers auf körperliche Aktivität (z. B. gesteigerte Herzfrequenz) löst auch ein veränderter körperlicher Fitnesszustand diese Mechanismen aus. Interventionsstudien befassen sich daher hauptsächlich mit aerober Fitness oder akuter körperlicher Aktivität unter Laborbedingungen (z. B. Fahrradfahren auf dem Ergometer) (Chang et al., 2012). Sportartenspezifische kognitive Anforderungen wurden bislang häufig vernachlässigt; sie finden nunmehr jedoch aufgrund von Erkenntnissen aus der Lerntheorie in lernunterstützenden bzw. motorischen Wirkungsannahmen nunmehr jedoch mehr Beachtung (Anderson, 1982; Best, 2010, Diamond, 2000, 2000; Rosenbaum et al., 2001; Sibley & Etnier, 2003). Die gemeinsame Ausnutzung von Gehirnarealen (z. B. Kleinhirn) zur Steuerung motorischer und kognitiver Fähigkeiten lässt einen Zusammenhang vermuten. Vor allem exekutive Funktionen sollen von komplexen Handlungssituationen profitieren (Best, 2010). Interventionsstudien mit Studierenden, die sich mit lernunterstützenden bzw. motorischen Wirkungsmechanismen befassen, stellen ein Forschungsdesiderat dar, dem sich die vorliegende Untersuchung annimmt.

Explizites Ziel der vorliegenden Dissertation war es, sportartspezifische kognitive Leistungsänderung bei Studierenden durch körperliche Aktivität zu untersuchen. Die Forschungshypothese war, dass kognitive Fähigkeiten während spezifischer körperlicher Aktivität verbessert werden und diese Steigerung domänenübergreifend nachweisbar ist. Als Grundlage diente die motorische bzw. lernunterstützende Wirkungsannahme, wonach Sportarten – neben biologischen Wirkungsmechanismen – Lernsituationen schaffen, die spezifische kognitive Fähigkeiten fordern und fördern (siehe Sibley & Etnier, 2003). Vor allem die Ausnutzung gemeinsamer Gehirnareale ist als neurobiologische Begründung dieses Zusammenhangs zu nennen.

Um diese Forschungshypothese empirisch zu untersuchen, wurden im Rahmen dieser Dissertation beispielhaft zwei für Studierende essenzielle kognitive Fähigkeiten (Konzentrationsfähigkeit und kreatives Denken) ausgewählt. In voneinander getrennten Interventionsstudien mit quasi-experimentellem

Forschungsdesign wurde anschließend die Beeinflussbarkeit der kognitiven Fähigkeiten durch je eine Sportart bzw. Bewegungsform (Sportfechten bzw. le Parkour) untersucht.

Die Auswirkungen von Sportfechten auf die Konzentrationsleistung wurden in einer ersten Interventionsstudie an 108 Studierenden des KIT erforscht. Alle drei Probandengruppen konnten ihre Konzentrationsleistung (*KL*) über den Studienverlauf (\bar{X} 87,8 \pm 3,5 Tage) hinweg signifikant steigern. Dabei konnte jedoch kein sportartenspezifischer Unterschied bezüglich der Konzentrationsleistungssteigerung der Studierendengruppen nachgewiesen werden. Die ausführliche Diskussion der Untersuchung (Abschnitt 4.1.3, S. 118ff) stellte klar, dass vor allem der vergleichsweise große Lerneffekt des verwendeten Aufmerksamkeitstest d2-R ein Grund für die fehlenden Gruppenunterschiede sein könnte (vgl. Budde et al., 2008). Dieser Aspekt schränkt die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse ein. Ein positiver Einfluss der körperlichen Aktivität auf die Konzentrationsleistung aller Probandengruppen ist zudem denkbar. Die Betrachtung der gruppenspezifischen Messwerte zeigt, dass die Gruppe der Sportstudierenden (Cardio-Fit; $N=26$) ihre Konzentrationsleistung am meisten steigern konnten (+12%). Dieses Ergebnis erscheint überraschend, da diese Gruppe primär als Kontrollgruppe der Untersuchung diente. In Anlehnung an die zu untersuchende motorische Wirkungsannahme zeigte sich, dass Sportstudierende im ersten Fachsemester – neben der vermehrten körperlichen Aktivität der Sportstudierenden im Vergleich zu Durchschnittsstudierenden – eine breite praktische Ausbildung erfahren, somit mehrere neue Sportarten erlernen und vielfältigere körperliche und kognitive Erfahrungen machen. Diese Tatsache könnte neben motivationalen Gründen eine Ursache für die vergleichbar große Konzentrationsleistungssteigerung der Cardio-Fit-Gruppe darstellen. Außerdem wird deutlich, dass die Wahl des Sportfechtens nicht zielführend war. Im Sinne der motorischen Wirkungsannahme scheinen die Anforderungen an die Konzentrationsfähigkeit beim Sportfechten nicht ausreichend, um eine Konzentrationsleistungssteigerung zu bewirken. Insgesamt kann die Fechtstudie aufgrund fehlender Interventionseffekte die zu untersuchende Forschungshypothese nicht stützen.

In einer zweiten Interventionsstudie mit 46 Studierenden konnte zunächst nachgewiesen werden, dass das Erlernen und Ausüben von le Parkour die kreative Denkleistung der Studierenden signifikant mehr steigert als zyklischer Ausdauersport mit vergleichbarem Umfang (Interaktion, Zeit \times Gruppe: $p=.001$, $\eta^2=.215$). Hierzu wurde für Studierende des KIT ($N=20$) über ein Semester hinweg ein Anfängerkurs in le Parkour (einmal wöchentlich für 90 Minuten) angeboten. Als Kontrollgruppe ($N=26$) diente ein aerober Ausdauerkurs. Mittels ASK-Test wurde die verbale kreative Denkleistung (divergentes Denken) jedes Probanden vor und nach dem Interventionszeitraum (\bar{X} 87,5 \pm 3,6 Tage) erfasst. Somit wurden sportartenspezifische Aussagen über den Verlauf der kreativen Denkleistung ermöglicht. Aufgrund des überraschend deutlichen Ergebnisses und um mögliche Fehler im Untersuchungsdesign der Studie auszuschließen, wurde die Untersuchung ein Jahr später mit anderen Probanden, jedoch im gleichen Untersuchungsdesign wiederholt. Diese Studienreplikation mit 40 Studierenden

bestätigte die Ergebnisse der ersten Studiendurchführung: Erneut konnten die Studierenden, die le Parkour über ein Semester erlernten und betrieben ($N=16$), ihre kreative Denkleistung signifikant mehr steigern als die Studierenden der körperlich aerob aktiven Kontrollgruppe ($N=24$) (Interaktion, Zeit \times Gruppe: $p=.001$, $\eta^2=.266$). Die kreative Denkleistung kann demnach domänenübergreifend durch le Parkour gesteigert werden, da die Intervention mit le Parkour (Bewegungsdomäne) eine Steigerung der verbalen Kreativität im rein kognitiven Messverfahren (Domänenwechsel) hervorruft. In der Diskussion der Untersuchung (Abschnitt 4.2.3, S. 133ff) werden mögliche Wirkungszusammenhänge für den positiven Effekt von le Parkour auf die Kreativität ausführlich behandelt und unterschiedliche Modelle betrachtet. Erkenntnisse aus der Lerntheorie liefern einen möglichen Grund für diesen Zusammenhang (Ackerman, 1988; Anderson, 1982; Rosenbaum et al., 2001). Demnach verlaufen kognitives und motorisches Lernen ähnlich und können sich daher gegenseitig beeinflussen. Zudem nutzen beide Lernvorgänge gemeinsame Gehirnareale (z. B. Kleinhirn und Präfrontaler Kortex) (Diamond, 2000). Die "neurotrophic stimulation hypothesis" nach Dishman et al. (2006) stützt diese Vermutung und zeigt neurobiologische Verbindungen auf. Demzufolge verbessert körperliche Aktivität beispielsweise auf biochemischer Ebene Nervenbahnen, die gleichzeitig für kognitive Fähigkeiten genutzt werden. Das Erlernen neuer, komplexer Bewegungsabläufe führt zudem in Kleinhirn und Hippocampus zu Neurogenese und erhöht somit die Leistungsfähigkeit dieser Areale (Best, 2010). Die sportartspezifische Einbindung von Kleinhirn und Arbeitsgedächtnis während le Parkour kann die Konnektivität dieser am kreativen Denken beteiligten Gehirnareale verbessern und somit eine neurobiologische Begründung des hier nachgewiesenen Effekts liefern. Weitere Untersuchungen stützen diesen Wirkungszusammenhang (Hubrich-Ungureanu et al., 2002; Koziol et al., 2014; Kubesch, 2014b; Stoodley & Schmahmann, 2009). Auch die im hohen Maße anregende Umgebung bei le Parkour kann einen weiteren Grund für den positiven Effekt auf die Kreativität darstellen. Im Hippocampus kann "environmental enrichment" (Ehninger et al., 2011, S. 71) Neurogenese hervorrufen. Zusammenfassend bestätigt diese Interventionsstudie die in der vorliegenden Dissertation zu untersuchende Forschungshypothese und zeigt, dass körperliche Aktivität spezifische Lernsituationen schafft, die sich – zusätzlich zu biologischen Wirkungsmechanismen – über lernunterstützende bzw. motorische Mechanismen positiv auf spezifische exekutive Funktionen (hier: Kreativität) auswirken. Kognitive Anforderungen von le Parkour und weniger die körperliche Belastung sind Auslöser für die Zunahme der verbalen Kreativität der Studierenden.

Die vorliegende Untersuchung und deren Ergebnisse stützen die Hypothese, dass es nicht zielführend ist, ausschließlich motorische Fähigkeiten, wie z. B. Kraft und Ausdauer, in Beziehung zur kognitiven Leistungsänderung zu setzen. Vielmehr haben, ausgehend von einer lernunterstützenden bzw. motorischen Wirkungsannahme, die sportartspezifischen kognitiven Anforderungen und Herausforderungen zusätzlich Einfluss auf die kognitive Leistungsveränderung.

Kritische Betrachtung und Empfehlungen

Die größte Limitation der Interventionsstudien liegt in ihrem quasi-experimentellen Forschungsdesign. Ohne randomisierte Einteilung der Probanden in die einzelnen Gruppen ist eine Generalisierung der Studienergebnisse nicht opportun. Aufgrund der vorgegebenen Rahmenbedingungen war eine Randomisierung jedoch nicht realisierbar. Die aus Sportstudierenden bestehenden Cardio-Fit-Gruppen, die als Kontrollgruppen für beide Untersuchungen dienten, waren für die jeweiligen Semester bereits fest eingeteilt und wurden lediglich hinsichtlich ihrer Kreativität bzw. Konzentrationsleistungsfähigkeit getestet. Trotz fehlender Randomisierung können die Studienergebnisse als Basis für weitere Untersuchungen mit experimentellem Forschungsdesign herangezogen werden.

Als zweite Limitation ist die Auswahl der Probanden zu nennen. Bestanden die Gruppen Fechten und le Parkour aus Studierenden diverser Fachrichtungen des KIT (z. B. Maschinenbau, Informatik, Wirtschaftswissenschaften), waren in den Cardio-Fit-Gruppen hingegen ausschließlich Sportstudierende (siehe Tab. 3 und Tab. 8). Diese Tatsache hat unterschiedliche Voraussetzungen der Probanden bezüglich körperlicher Fitness, studienfachspezifischer Fähigkeiten usw. zur Folge, die jedoch nur teilweise erfasst wurden. Ob und welche dieser Faktoren tatsächlich einen Einfluss auf den untersuchten Zusammenhang hat, sollte in zukünftigen Untersuchungen geklärt werden. Die Teilnahme an den Studien war für alle Probandengruppen freiwillig. Die Probanden der Gruppen Fechten und le Parkour wählten die Praxiskurse nach eigener Motivation aus. Die Sportstudierenden mussten aufgrund des Studienplans zwar den Kurs besuchen, konnten allerdings selbst entscheiden, ob sie an der Studie teilnehmen wollten. Die besseren Ergebnisse der Cardio-Fit-Gruppe könnten auf eine höhere Motivation der Sportstudierenden zurückzuführen sein. Die Parkourstudie hingegen kann diese Vermutung nicht unterstützen.

Studierende gelten aufgrund ihres über die gesamte Lebensspanne und im Vergleich zu anderen Berufsgruppen gesehenen hohen kognitiven Leistungsstands als anspruchsvolle Zielgruppe (Etnier et al., 2006; Hillman et al., 2008; Hötting & Röder, 2013; Pérez et al., 2014; Stroth et al., 2009). Deckeneffekte erschweren daher die Beeinflussbarkeit der kognitiven Leistungsfähigkeit durch körperliche Aktivität bei Studierenden. Fähigkeiten, die sich bereits auf einem hohen Ausgangsniveau befinden, zu steigern, ist im Allgemeinen wesentlich schwerer, als Fähigkeiten zu verbessern, die sich in der Entwicklung oder auf einem geringen Ausgangsniveau befinden. Zudem müssen gruppenspezifische Anforderungen an die kognitiven Fähigkeiten von Studierenden zur Bewältigung des Studiums bzw. für zukünftige Berufe beachtet werden (siehe Köck und Stein, 2010). Dieser Aspekt schränkt die Wahlmöglichkeiten der beiden kognitiven Fähigkeiten für die Interventionsstudien zusätzlich ein. Ausschließlich Studierende des KIT als Probanden für die Interventionsstudien zuzulassen erscheint trotzdem sinnvoll, da sich die hier untersuchte Forschungshypothese speziell auf die Zielgruppe der Studierenden bezieht. Trotz Deckeneffekte konnte in den vorliegenden Untersuchungen die Kreativität der Studierenden positiv beeinflusst werden. Dies verleiht der Signifikanz des Zusammenhangs zusätzlichen Nachdruck.

Neben den Probanden- bzw. der Gruppeneinteilung ist das Fehlen einer körperlich

inaktiven Kontrollgruppe ebenfalls als Einschränkung des gemeinsamen Studiendesigns zu nennen. Durch diese zusätzliche Kontrollgruppe (z. B. Zeitunglesen in gleichem Umfang wie die Interventionen) wären Aussagen über Lerneffekte der Messmethoden bzw. allgemeine Unterschiede zwischen körperlicher Aktivität und Inaktivität möglich. Dies wäre vor allem für die Fechtstudie sinnvoll gewesen. Aufgrund der fehlenden inaktiven Kontrollgruppe ist es so nicht möglich herauszufinden, ob der Lerneffekt des d2-R oder der allgemeine positive Effekt körperlicher Aktivität auf die Kognition für die kognitive Leistungssteigerung aller Probandengruppen verantwortlich ist.

Die Gruppenstärke von über 100 Probanden der Fechtstudie ist vergleichsweise groß. Mit 46 bzw. 40 Probanden ist die Anzahl der Probanden der Parkourstudie ebenfalls im oberen Bereich der Interventionsstudien dieses Fachbereichs einzuordnen. Zum Vergleich: Die in der Meta-Analyse von Verburgh et al. (2014) aufgeführten zwölf Studien mit jungen Erwachsenen wurden mit durchschnittlich 24,3 Probanden durchgeführt.

Die Wahl der Messmethoden ist eine weitere Limitation dieser Forschungsarbeit. Trotz vielfacher Verwendung des d2 zur Erfassung der Konzentrationsleistung scheint der Lerneffekt des Tests zu groß zu sein, um eine tatsächliche Aussage über die Konzentrationsleistungssteigerung zuzulassen (siehe z. B. Budde et al., 2012; Budde et al., 2008; Westhoff & Hagemeyer, 2005). Stroth et al. (2009) kritisieren die schnelle Automatisierung der Testaufgabe des d2 und können somit keine Effekte gesteigerter Fitness nachweisen. Trotz Revision des Messverfahrens scheint dies der Grund für die signifikante Leistungszunahme aller Probandengruppen der Fechtstudie zu sein. Neben der häufigen Anwendung des Tests in früheren Untersuchungen (s.o.) waren die ökonomische Durchführbarkeit des Papier-und-Bleistift-Tests d2-R im Gruppenverband sowie die Ungebundenheit bezüglich der Raumwahl im Vorfeld ausschlaggebende Kriterien für die Wahl des d2-R. Der computerbasierte Test TAP (Zimmermann & Fimm, 2012) sowie der Papier-und-Bleistift-Test KLT-R (Düker & Lienert, 2001) stellen Alternativen zum d2-R dar. Der für die Parkourstudie verwendete Test zur Erfassung des kreativen Denkens (ASK) hat sich hier bewährt. Die wenigen Bearbeitungsfehler der Probanden unterstreichen die gute Verständlichkeit des ASK. Der ASK wurde ausgewählt, da er als deutschsprachiges Messverfahren zur Erfassung der verbalen Kreativität die Anforderungen des Studierendenalltags gut abbildet und zudem vergleichsweise gute Gütekriterien aufweist. Die Test-Retest-Reliabilität ($r_{tt}=.77$) ist nach Bös (1987) annehmbar. Außerdem passt die Erfassung der Kreativitätskomponente ‚divergentes Denken‘ des ASK gut zur Fragestellung und der Test wurde speziell für junge Erwachsene mit Abitur entwickelt. Die Eindimensionalität des ASK bei der Erfassung des komplexen Konstrukts der Kreativität bleibt kritisch anzumerken (Cropley, 2000). In der Literatur findet der ASK derzeit vergleichsweise wenig Beachtung (z. B. Wegner & Bentrup, 2014). Genau wie der d2-R ist der ASK ein Papier-und-Bleistift-Test und somit flexibel einsetzbar. Die vorgegebenen Kriterien zur Durchführung und Auswertung der Tests wurden zu jeder Zeit eingehalten (Brickenkamp et al., 2010; Schuler & Hell, 2005). Der Einsatz moderner neurophysiologischer Messverfahren, wie beispielsweise EEG- oder fMRT-Messungen, war in der vorliegenden Arbeit aus technischen Gründen nicht möglich. Die Auswertung elektrischer Potenziale bzw. Stoffwechselvorgänge im Gehirn (vor allem in Kleinhirn und Hippocampus) könnte

Rückschlüsse auf die hier beschriebenen und vermuteten Wirkungsmechanismen zulassen. Zukünftige Untersuchungen sollten derartige Daten erheben, um die motorischen und lernunterstützenden Wirkungsmechanismen weiter untersuchen zu können.

Die fehlende quantitative Aktivitätserfassung der körperlichen Interventionen (z. B. Accelerometrie) sowie fehlende physiologische Messdaten der Probanden stellt eine weitere Einschränkung der Studien dar. Es wurden weder Herzfrequenz noch Laktat oder Atemvolumen der Probanden erfasst. Die Einordnung der körperlichen Aktivität bzw. des Energieverbrauchs ist somit nicht möglich. Zukünftige Untersuchungen sollten dies beachten. Da die vorliegenden Interventionen aus Gründen der Fragestellung nicht im Labor, sondern in der Sporthalle bzw. im Freien stattfanden, waren die Möglichkeiten zur Datenerhebung eingeschränkt. Obwohl ein Labor große Vorteile bei der Erfassung von standardisierten Daten bietet, stellt dies für die hier untersuchte Hypothese keine Alternative dar. Gerade die freie, selbstbestimmte und offene Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Sport und der spezifischen Umgebung war für dieses Forschungsvorhaben essenziell. Das wichtige "environmental enrichment" wäre im Labor nur schwer umsetzbar gewesen. Eine Erweiterung des hier angewendeten Untersuchungsdesigns, bestehend aus (1) Intervention in freier, alltäglicher Umgebung und (2) kognitiven Messverfahren unter standardisierten Bedingungen, um (3) physiologische Messverfahren unter anderem im Labor (z. B. Aktivitätsmessung, körperliche Leistungstests) erscheint jedoch eine sinnvolle Möglichkeit, um mehr Aussagen über die Wirkungszusammenhänge treffen zu können.

Die Auswahl der in den beiden Studien untersuchten kognitiven Fähigkeiten (Konzentrationsfähigkeit und kreatives Denken) erfolgte entsprechend den tatsächlichen kognitiven Anforderungen an Studierende: Exekutive Funktionen sind eng mit akademischem Erfolg verbunden (St. Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Aufmerksamkeitssteuerung wie auch Kreativität stellen zentrale kognitive Fähigkeiten – vor allem für Studierende – dar (Ma, 2006; Pérez et al., 2014; Runco, 2014; Yeh et al., 2012). Zudem konnte die Beeinflussbarkeit von Aufmerksamkeit (z. B. Chang et al., 2012; Smith et al., 2010) und Kreativität (z. B. Colzato et al., 2013; Gondola, 1986, 1987) durch körperliche Aktivität bereits gezeigt werden. Anders formuliert: In den vorliegenden Studien konnten lernunterstützende Wirkungsmechanismen, ausgelöst durch körperliche Aktivität, nachgewiesen werden. Innovativ ist jedoch die Erkenntnis, dass hierbei die Art der körperlichen Aktivität entscheidend ist. So zeigt vor allem die Fechtstudie, dass zur Beeinflussung der Konzentrationsfähigkeit hier offenbar die falsche Sportartenauswahl gewählt wurde, während bei le Parkour eine zur kognitiven Fähigkeit Kreativität passende Bewegungsform gefunden wurde. Hier braucht es weitere Forschungen zur Auswahl von Sportartentypen, die sich nicht ausschließlich auf biologische Parameter stützen, sondern auch die mentalen Anforderungen der Bewegungsformen betrachten. Isoliertes Training der motorischen Grundeigenschaften scheint hier weniger zielführend für einen positiven Effekt auf die kognitiver Leistungsfähigkeit zu sein als sportartenspezifische Anforderungen. Zukünftige Untersuchungen sollten sich diesem Forschungsdesiderat annehmen und weitere Studien zur Steigerung der Konzentrationsleistung durch "open-skill sports" (vgl. S. 94ff) durchführen.

Die Identifikation plausibler Wirkungsmechanismen und Modelle war ein zentraler Arbeitsschritt dieses Forschungsvorhabens, da die Interventionsstudien vor allem bzgl. der Zielgruppe ein neuartiges Forschungsfeld eröffnen und bereits existierende Lerntheorien anwendet. Eine detaillierte und aufwendige Auseinandersetzung mit dem Forschungsstand stellt die Grundlage für die ausführlichen Diskussionen der Studien dar.

Schlussfolgerung

Die vorliegende Untersuchung stellt einen weiteren Beleg für den positiven Einfluss körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit dar. Für die bislang wenig beachtete Zielgruppe der Studierenden können hier neue Erkenntnisse gewonnen werden. Auch wenn Studierende auf einem – über die gesamte Lebensspanne gesehenen – hohen exekutiven Leistungsniveau sind, können diese kognitiven Fähigkeiten durch körperliche Aktivität signifikant gesteigert werden. In der vorliegenden Arbeit konnten domänenübergreifende kognitive Leistungssteigerungen (von körperlich zu verbal) durch spezifische körperliche Interventionen nachgewiesen werden. Auch wenn das Studiendesign keine Rückschlüsse auf die biologischen Veränderungen im Gehirn zulässt, stützen die Studien die motorische Wirkungsannahme und stellen die Art der körperlichen Aktivität in den Fokus des Zusammenhangs.

Vor diesem Hintergrund kann geschlussfolgert werden, dass das Erlernen und Ausüben von zur gewählten kognitiven Fähigkeit passenden Sportarten die generelle Komponente dieser kognitiven Fähigkeit steigert und somit den Lernerfolg von Studierenden indirekt fördert.

Die Idee, Studierenden durch spezifisch körperliche Aktivitäten bzw. Sportarten bei der Verbesserung ihrer kognitiven Fähigkeiten zu helfen, ist bislang einzigartig und durch die Schnittmenge aus Forschung und Praxis zu begründen, aus der diese Forschungsarbeit entstanden ist. Mit dieser Arbeit als Basis kann es gelingen, weitere kognitive Fähigkeiten zu identifizieren, die sich durch eine passende körperliche Aktivität domänenübergreifend steigern lassen, sowie Sportprogramme speziell für Studierende zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

- Abraham, A., Pieritz, K., Thybusch, K., Rutter, B., Kröger, S., Schweckendiek, J. et al. (2012). Creativity and the brain: Uncovering the neural signature of conceptual expansion. *Neuropsychologia*, 50 (8), 1906-1917.
- Ackerman, P. L. (1988). Determinants of individual differences during skill acquisition: Cognitive abilities and information processing. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117 (3), 288-318.
- Aiken, L. R. (1973). Ability and Creativity in Mathematics. *Review of Educational Research*, 43 (4), 405-432.
- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J. et al. (2000). Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (9), 498-504.
- Akshoomoff, N. A., Courchesne, E. & Townsend, J. (1997). Attention Coordination and Anticipatory Control. In J. D. Schmahmann (Hrsg.), *The cerebellum and cognition* (International review of neurobiology, Bd. 41, S. 575-598). San Diego: Academic Press.
- Alfermann, D. & Stoll, O. (2010). *Sportpsychologie. Ein Lehrbuch in 12 Lektionen* (Sportwissenschaft studieren, Bd. 4, 3. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Allen, G., Buxton, R. B., Wong, E. C. & Courchesne, E. (1997). Attentional Activation of the Cerebellum Independent of Motor Involvement. *Science*, 275 (5308), 1940-1943.
- Ameri, A. (2001). Neue Nervenzellen in alten Gehirnen. Eine mögliche Rolle bei Reparatur- und Lernprozessen. *Extracta Psychiatrica/Neurologica*, 15 (1/2), 12-16.
- American College of Sports Medicine. (2010). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (8. Aufl.). New York: Lippincott Williams & Wilkins.
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review*, 89 (4), 369-406.
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child neuropsychology*, 8 (2), 71-82.
- Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H. J., Aleman, A. & Vanhees, L. (2008). Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database of Systematic Reviews* (3).
- Anshel, M. H. (1996). Effect of Chronic Aerobic Exercise and Progressive Relaxation on Motor Performance and affect following Acute Stress. *Behavioral Medicine*, 21 (4), 186-196.
- Antunes, H. K., Santos, R. F., Cassilhas, R., Santos, R. V., Bueno, O. F. & Mello, M. T. d. (2006). Reviewing on physical exercise and the cognitive function. Exercício físico e função cognitiva: uma revisão. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 12 (2), 97-103.
- Arcelin, R., Brisswalter, J. & Delignieres, D. (1997). Effect of physical exercise duration on decisional performance. *Journal of Human Movement Studies* (32), 123-140.
- Arent, S. M., Landers, D. M. & Etner, J. L. (2000). The Effects of Exercise on Mood in Older Adults: A Meta-Analytic. *Journal of Ageing and Physical Activity*, 8, 407-430.
- Arnold, R., Nolda, S. & Nuissl, E. (Hrsg.). (2001). *Wörterbuch Erwachsenenpädagogik*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D. & Zagrodnik, J. (2008). Acute aerobic exercise and information processing: Energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta Psychologica*, 129 (3), 410-419.

- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4 (10), 829-839.
- Baddeley, A. & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (8. Aufl., S. 47-89). New York: Academic Press.
- Baillie, C. (2002). Enhancing creativity in engineering students. *Engineering Science & Education Journal*, 11 (5), 185-192.
- Balota, David A., Dolan, P. O. & Duchek, J. M. (2000). Memory Changes in Healthy Older Adults. In E. Tulving & F. I. M. Craik (Hrsg.), *The Oxford handbook of memory* (S. 411-425). Oxford, New York: Oxford University Press.
- Bargel, T., Ramm, M. & Multrus, F. (2012). Schwierigkeiten und Belastungen im Bachelorstudium: wie berechtigt sind die studentischen Klagen? *Beiträge zur Hochschulforschung*, 34 (1), 26-41.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121 (1), 65-94.
- Baumann, S. (2011). *Psyche in Form. Sportpsychologie auf einen Blick* (1. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Beck, F. & Beckmann, J. (2009). Werden sportmotorisch relevante Handlungs-Effekt-Verknüpfungen über dopaminerge Neuromodulation vermittelt? *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 60 (2), 36-40.
- Bellebaum, C. & Daum, I. (2007). Cerebellar involvement in executive control. *Cerebellum*, 6 (3), 184-192.
- Berg, A. & Westhoff, K. (2006). Facetten konzentrierten Arbeitens. *Report Psychologie*, 31 (1), 20-26.
- Berridge, C. W., Devilbiss, D. M., Andrzejewski, M. E., Arnsten, A. F., Kelley, A. E., Schmeichel, B. et al. (2006). Methylphenidate Preferentially Increases Catecholamine Neurotransmission within the Prefrontal Cortex at Low Doses that Enhance Cognitive Function. *Biological Psychiatry*, 60 (10), 1111-1120.
- Best, J. R. (2010). Effects of Physical Activity on Children's Executive Function: Contributions of Experimental Research on Aerobic Exercise. *Dev Rev (Developmental review)*, 30 (4), 331-551.
- Best, J. R., Miller, P. H. & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review*, 29 (3), 180-200.
- Beunen, G. (1994). Physical activity, fitness, and health: International proceedings and consensus statement. *American Journal of Human Biology*, 6 (5), 675-676.
- Bialystok, E., Craik, F. I. M. & Luk, G. (2012). Bilingualism: consequences for mind and brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 16 (4), 240-250.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2006a). Kognitive Funktionen und Denken. In R. F. Schmidt, H.-G. Schaible & N. Birbaumer (Hrsg.), *Neuro- und Sinnesphysiologie* (5., neu bearbeitete Auflage, S. 449-465). Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2006b). Wachen, Aufmerksamkeit und Schlafen. In R. F. Schmidt, H.-G. Schaible & N. Birbaumer (Hrsg.), *Neuro- und Sinnesphysiologie* (5., neu bearbeitete Auflage, S. 374-401). Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.

- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2010a). Allgemeine Physiologie der Großhirnrinde. In R. F. Schmidt, F. Lang & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen* (31. Aufl., S. 163-180). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2010b). Lernen und Gedächtnis. In R. F. Schmidt, F. Lang & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen* (31. Aufl., S. 201-217). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2010c). Wach-Schlaf-Rhythmus und Aufmerksamkeit. In R. F. Schmidt, F. Lang & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen* (31. Aufl., S. 181-200). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Birdi, K. S. (2005). No idea? Evaluating the effectiveness of creativity training. *Journal of European Industrial Training*, 29 (2), 102-111.
- Bjerner, B., Holm, A. & Swensson, A. (1948). *Stetens offentliga Uredningar. Nr. 51, Stockholm (zitiert nach Haider, 1962)*.
- Black, J. E., Isaacs, K. R., Anderson, B. J., Alcantara, A. A. & Greenough, W. T. (1990). Learning causes synaptogenesis, whereas motor activity causes angiogenesis, in cerebellar cortex of adult rats. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 87 (14), 5568-5572.
- Blanchette, D. M., Ramocki, S. P., O'del, J. N. & Casey, M. S. (2005). Aerobic Exercise and Creative Potential: Immediate and Residual Effects. *Creativity Research Journal*, 17 (2-3), 257-264.
- Bloom, B. S. (1976). *Human characteristics and school learning*. New York: McGraw-Hill.
- Bös, K. (1987). *Handbuch motorische Tests*. Göttingen: Hogrefe.
- Bös, K. (1994). Differentielle Aspekte der Entwicklung motorischer Fähigkeiten. In J. Baur, K. Bös & R. Singer (Hrsg.), *Motorische Entwicklung. Ein Handbuch* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 106, S. 238-253). Schorndorf: Hofmann.
- Bös, K. & Mechling, H. (1983). *Dimensionen sportmotorischer Leistungen* (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Deutschen Sportbundes, Bd. 17). Schorndorf: Hofmann.
- Bouchard, C., Blair, S. N. & Haskell, W. L. (Hrsg.). (2012). *Physical activity and health* (2. Aufl.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Bouchard, C. & Shephard, R. J. (1994). Physical activity, fitness and health: The model and key concepts. In C. Bouchard, R. J. Shephard & T. Stephens (Hrsg.), *Physical activity, fitness, and health. International proceedings and consensus statement* (S. 77-88). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Bouchard, C., Shephard, R. J., Stephens, T., Sutton, J. R. & McPherson, B. D. (1990). Exercise, Fitness, and Health: The Consensus Statement. In C. Bouchard, R. J. Shephard, T. Stephens, J. R. Sutton & B. D. McPherson (Hrsg.), *Exercise, fitness, and health. A consensus of current knowledge* (S. 3-28). Champaign, IL: Human Kinetics Books.
- Boutellier, U. (2010). Sport- und Arbeitsphysiologie. In R. F. Schmidt, F. Lang & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen* (31. Aufl., S. 854-876). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Brickenkamp, R. (2002). *Test d2 Aufmerksamkeits-Belastungs-Test. Manual*. Göttingen: Hogrefe.
- Brickenkamp, R., Schmidt-Atzert, L. & Liepmann, D. (2010). *Test d2 - Revision. Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest*. Göttingen: Hogrefe.

- Brisswalter, J., Collardeau, M. & René, A. (2002). Effects of Acute Physical Exercise Characteristics on Cognitive Performance. *Sports Medicine*, 32 (9), 555-566.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. London: Pergamon Press.
- Brodersen, N. H., Steptoe, A., Boniface, D. R. & Wardle, J. (2007). Trends in physical activity and sedentary behaviour in adolescence: ethnic and socioeconomic differences. *British Journal of Sports Medicine*, 41 (3), 140-144.
- Brown, B. J. (1977). The effect of an isometric strength program on the intellectual and social development of trainable retarded males. *American corrective therapy journal*, 31 (2), 44-48.
- Brown, H. E., Pearson, N., Braithwaite, R. E., Brown, W. J. & Biddle, S. J. H. (2013). Physical Activity Interventions and Depression in Children and Adolescents. *Sports Medicine*, 43 (3), 195-206.
- Buckworth, J. & Nigg, C. (2004). Physical Activity, Exercise, and Sedentary Behavior in College Students. *Journal of American College Health*, 53 (1), 28-34.
- Budde, H., Brunelli, A., Machado, S., Velasques, B., Ribeiro, P., Arias-Carrión, O. et al. (2012). Intermittent Maximal Exercise Improves Attentional Performance Only in Physically Active Students. *Archives of Medical Research*, 43 (2), 125-131.
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietrażyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P. & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters*, 441 (2), 219-223.
- Bühner, M., Ziegler, M., Bohnes, B. & Lauterbach, K. (2006). Übungseffekte in den TAP Untertests Test Go/Nogo und Geteilte Aufmerksamkeit sowie dem Aufmerksamkeits-Belastungstest (d2). *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 17 (3), 191-199.
- Buitrago, M. M., Schulz, J. B., Dichgans, J. & Luft, A. R. (2004). Short and long-term motor skill learning in an accelerated rotarod training paradigm. *Neurobiology of Learning and Memory*, 81 (3), 211-216.
- Burgess, P. W. (1997). Theory and methodology in Executive Function Research. In P. Rabbitt (Hrsg.), *Methodology of frontal and executive function* (S. 81-116). Hove, Sussex: Psychology Press.
- Burkhalter, T. M. & Hillman, C. H. (2011). A Narrative Review of Physical Activity, Nutrition, and Obesity to Cognition and Scholastic Performance across the Human Lifespan. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 2 (2), 201-206.
- Burow, O.-A. (2007). *Zur Entdeckung des "Kreativen Feldes" [informelle Publikation]*. : Universität Kassel. Zugriff am 02.11.2015. Verfügbar unter <http://www.uni-kassel.de/fb1/burow/downloads/entdeckungkf%20.pdf>
- Byrne, C. L., Mumford, M. D., Barrett, J. D. & Vessey, W. B. (2009). Examining the Leaders of Creative Efforts: What Do They Do, and What Do They Think About? *Creativity and Innovation Management*, 18 (4), 256-268.
- Carey, J. R., Bhatt, E. & Nagpal, A. (2005). Neuroplasticity promoted by task complexity. *Exercise and sport sciences reviews*, 33 (1), 24-31.
- Carlson, S. A., Fulton, J. E., Lee, S. M., Maynard, L. M., Brown, D. R., Kohl, H. W. et al. (2008). Physical Education and Academic Achievement in Elementary School: Data From the Early Childhood Longitudinal Study. *American Journal of Public Health*, 98 (4), 721-727.
- Carson, S. H., Peterson, J. B. & Higgins, D. M. (2005). Reliability, Validity, and Factor Structure of the Creative Achievement Questionnaire. *Creativity Research Journal*, 17 (1), 37-50.

- Caspersen, C. J. (1989). Physical activity epidemiology: concepts, methods, and applications to exercise science. *Exercise and sport sciences reviews*, 17, 423-473.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E. & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100 (2), 126-131.
- Casstell, R. B. & Horn, J. L. (1978). A check on the theory of fluid and crystallized intelligence with description of new subtest designs. *Journal of Educational Measurement*, 15 (3), 139-164.
- Castellano, V. & White, L. J. (2008). Serum brain-derived neurotrophic factor response to aerobic exercise in multiple sclerosis. *Journal of the Neurological Sciences*, 269 (1-2), 85-91.
- Castelli, D. M., Hillman, C. H., Buck, S. M. & Erwin, H. E. (2007). Physical fitness and academic achievement in third- and fifth-grade students. *Journal of sport & exercise psychology*, 29 (2), 239-252.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., VanPatter, M., Voss, M. W., Pontifex, M. B. et al. (2010). Basal Ganglia Volume is Associated with Aerobic Fitness in Preadolescent Children. *Developmental Neuroscience*, 32 (3), 249-256.
- Chaddock, L., Pontifex, M. B., Hillman, C. H. & Kramer, A. F. (2011). A Review of the Relation of Aerobic Fitness and Physical Activity to Brain Structure and Function in Children. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17 (06), 975-985.
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Voss, M. W., Knecht, A. M., Pontifex, M. B., Castelli, D. M. et al. (2013). The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children: a randomized controlled intervention. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 1-13.
- Chang, Y., Labban, J., Gapin, J. & Etnier, J. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87-101.
- Chang, Y.-K., Chu, I.-H., Chen, F.-T. & Wang, C.-C. (2011). Dose-response effect of acute resistance exercise on Tower of London in middle-aged adults. *Journal of sport & exercise psychology*, 33 (6), 866-883.
- Chang, Y.-K. & Etnier, J. L. (2009). Effects of an acute bout of localized resistance exercise on cognitive performance in middle-aged adults: A randomized controlled trial study. *Psychology of Sport and Exercise*, 10 (1), 19-24.
- Chen, A.-G., Yan, J., Yin, H.-C., Pan, C.-Y. & Chang, Y.-K. (2014). Effects of acute aerobic exercise on multiple aspects of executive function in preadolescent children. *Psychology of Sport and Exercise*, 15 (6), 627-636.
- Chen, C., Himsel, A. M., Kasof, J., Greenberger, E. & Smitrieva, J. (2006). Boundless Creativity: Evidence for the Domain Generality of Individual Differences in Creativity. *The Journal of Creative Behavior*, 40 (3), 179-199.
- Chodzko-Zajko, W. J. (1991). Physical fitness, cognitive performance, and aging. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 23 (7), 868-872.
- Clapham, M. M. (1997). Ideational Skills Training: A Key Element in Creativity Training Programs. *Creativity Research Journal*, 10 (1), 33-44.
- Clarke, H. H. (1976). *Application of measurement to health and physical education* (5. Aufl.). Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Aufl.). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.

- Colcombe, S. & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychological Science, 14* (2), 125-130.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Scalf, P. E., Kim, J. S., Prakash, R., McAuley, E. et al. (2006). Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences, 61* (11), 1166-1170.
- Collardeau, M., Brisswalter, J., Vercruyssen, F., Audiffren, M. & Goubault, C. (2001). Single and choice reaction time during prolonged exercise in trained subjects: influence of carbohydrate availability. *European Journal of Applied Physiology, 86* (2), 150-156.
- Colzato, L. S., Szapora, A., Pannekoek, J. N. & Hommel, B. (2013). The impact of physical exercise on convergent and divergent thinking. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 1-6.
- Cooke, S. F. & Bliss, T. V. P. (2006). Plasticity in the human central nervous system. *Brain, 129* (7), 1659-1673.
- Craik, F. I. & Bialystok, E. (2006). Cognition through the lifespan: mechanisms of change. *Trends in Cognitive Sciences, 10* (3), 131-138.
- Cropley, A. J. (2000). Defining and measuring creativity: Are creativity tests worth using? *Roeper Review, 23* (2), 72-79.
- Curlik, D. & Shors, T. (2013). Training your brain: Do mental and physical (MAP) training enhance cognition through the process of neurogenesis in the hippocampus? *Neuropharmacology, 64*, 506-514.
- Curnow, K. E. & Turner, E. T. (1992). The Effect of Exercise and Music on the Creativity of College Students. *The Journal of Creative Behavior, 26* (1), 50-52.
- D'Ardenne, K., Eshel, N., Luka, J., Lenartowicz, A., Nystrom, L. E. & Cohen, J. D. (2012). Role of prefrontal cortex and the midbrain dopamine system in working memory updating. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 109* (49), 19900-19909.
- Davis, C. L. & Lambourne, K. (2009). Exercise and cognition in children. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Hrsg.), *Exercise and cognitive function* (S. 249-267). Chichester: Wiley-Heinrich.
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., Boyle, C. A., Waller, J. L., Miller, P. H., Naglieri, J. A. et al. (2007). Effects of aerobic exercise on overweight children's cognitive functioning: a randomized controlled trial. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 78* (5), 510-519.
- Delignières, D., Brisswalter, J. & Legros, P. (1994). Influence of physical exercise on choice reaction time in sport experts: the mediating role of resource allocation. *Journal of Human Movement Studies, 27*, 173-188.
- Delis, D. C., Lansing, A., Houston, W. S., Wetter, S., Han, S. D., Jacobson, M. et al. (2007). Creativity Lost: The Importance of Testing Higher-Level Executive Functions in School-Age Children and Adolescents. *Journal of Psychoeducational Assessment, 25* (1), 29-40.
- Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review, 12* (1), 45-75.
- Dempster, F. N. & Cooney, J. B. (1982). Individual differences in digit span, susceptibility to proactive interference, and aptitude/achievement test scores. *Intelligence, 6* (4), 399-416.
- Di Russo, F., Taddei, F., Apnile, T. & Spinelli, D. (2006). Neural correlates of fast stimulus discrimination and response selection in top-level fencers. *Neuroscience Letters, 408* (2), 113-118.
- Diamond, A. (2000). Close Interrelation of Motor Development and Cognitive Development and of the Cerebellum and Prefrontal Cortex. *Child Development, 71* (1), 44-56.

- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135-168.
- Diamond, A. (2014). Biologische und soziale Einflüsse auf kognitive Kontrollprozesse, die vom präfrontalen Kortex abhängen. In S. Kubesch (Hrsg.), *Exekutive Funktionen und Selbstregulation. Neurowissenschaftliche Grundlagen und Transfer in die pädagogische Praxis* (S. 19-47). Göttingen: Huber.
- Diamond, A. & Lee, K. (2014). Interventionen, die sich bei der Entwicklung exekutiver Funktionen bei 4- bis 12-jährigen Kindern als hilfreich erwiesen haben. In S. Kubesch (Hrsg.), *Exekutive Funktionen und Selbstregulation. Neurowissenschaftliche Grundlagen und Transfer in die pädagogische Praxis* (S. 145-161). Göttingen: Huber.
- Dietrich, A. (2004). The cognitive neuroscience of creativity. *Psychonomic bulletin & review*, 11 (6), 1011-1026.
- Dietrich, A. (2006). Transient hypofrontality as a mechanism for the psychological effects of exercise. *Psychiatry research*, 145 (1), 79-83.
- Dietrich, A. & Sparling, P. B. (2004). Endurance exercise selectively impairs prefrontal-dependent cognition. *Brain and cognition*, 55 (3), 516-524.
- Ding, Y.-H., Li, J., Zhou, Y., Rafols, J. A., Clark, J. C. & Ding, Y. (2006). Cerebral angiogenesis and expression of angiogenic factors in aging rats after exercise. *Current neurovascular research*, 3 (1), 15-23.
- Dishman, R. K., Berthoud, H.-R., Booth, F. W., Cotman, C. W., Edgerton, V. R., Fleshner, M. R. et al. (2006). Neurobiology of exercise. *Obesity (Silver Spring)*, 14 (3), 345-356.
- Donnelly, J. E. & Lambourne, K. (2011). Classroom-based physical activity, cognition, and academic achievement. *Preventive Medicine*, 52, 36-42.
- Dudek, S. Z., Strobel, M. G. & Runco, M. A. (1993). Cumulative and Proximal Influences on the Social Environment and Children's Creative Potential. *The Journal of Genetic Psychology*, 154 (4), 487-499.
- Düker, H. & Lienert, G. A. (2001). *KLT-R. Konzentrations-Leistungs-Test*. Göttingen: Hogrefe.
- Dustman, R., Emmerson, R., Ruhling, R., Shearer, D., Steinhaus, L., Johnson, S. et al. (1990). Age and fitness effects on EEG, ERPs, visual sensitivity, and cognition. *Neurobiology of Aging*, 11 (3), 193-200.
- Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Russell, E. M., Shearer, D. E., Bonekat, H. W., Shigeoka, J. W. et al. (1984). Aerobic exercise training and improved neuropsychological function of older individuals. *Neurobiology of Aging*, 5 (1), 35-42.
- E, K.-H., Chen, S.-H. A., Ho, M.-H. R. & Desmond, J. E. (2014). A meta-analysis of cerebellar contributions to higher cognition from PET and fMRI studies. *Human Brain Mapping*, 35 (2), 593-615.
- Earsandeyes GmbH & Unicum Verlag GmbH & Co. KG. (2012). *Studentenmatrix 2012. Eine Studie zur Lebenssituation von Studierenden an deutschen Hochschulen*. Bochum: UNICUM.
- Ehninger, D. & Kempermann, G. (2003). Regional effects of wheel running and environmental enrichment on cell genesis and microglia proliferation in the adult murine neocortex. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 13 (8), 845-851.
- Ehninger, D., Wang, L.-P., Klempin, F., Römer, B., Kettenmann, H. & Kempermann, G. (2011). Enriched environment and physical activity reduce microglia and influence the fate of NG2 cells in the amygdala of adult mice. *Cell and tissue research*, 345 (1), 69-86.

- Ekstrand, J., Hellsten, J. & Tingström, A. (2008). Environmental enrichment, exercise and corticosterone affect endothelial cell proliferation in adult rat hippocampus and prefrontal cortex. *Neuroscience Letters*, 442 (3), 203-207.
- Ende-Henningsen, B. & Henningsen, H. (2010). Neurobiologische Grundlagen der Plastizität des Nervensystems. In P. Frommelt & H. Lösslein (Hrsg.), *NeuroRehabilitation* (3. Aufl., S. 67-79). Berlin: Springer.
- Erickson, K. I. (2012). Physical Activity and Brain Functions. In C. Bouchard, S. N. Blair & W. L. Haskell (Hrsg.), *Physical activity and health* (2. Aufl., S. 317-330). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., Chaddock, L., Hu, L., Morris, K. S. et al. (2009). Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. *Hippocampus*, 19 (10), 1030-1039.
- Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L. et al. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108 (7), 3017-3022.
- Eriksson, P. S., Perfilieva, E., Björk-Eriksson, T., Alborn, A.-M., Nordborg, C., Peterson, D. A. et al. (1998). Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nature Medicine*, 4 (11), 1313-1317.
- Erpenbeck, J. & von Rosenstiel, L. (Hrsg.). (2007). *Handbuch Kompetenzmessung. Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis* (2. überarbeitete und erweiterte Aufl.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Espy, K. A., McDiarmid, M. M., Cwik, M. F., Stalets, M. M., Hamby, A. & Senn, T. E. (2004). The contribution of executive functions to emergent mathematic skills in preschool children. *Developmental neuropsychology*, 26 (1), 465-486.
- Etnier, J. L. (2009). Chronic exercise and cognition in older adults. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Hrsg.), *Exercise and cognitive function* (S. 227-247). Chichester: Wiley-Heinrich.
- Etnier, J. L. & Chang, Y.-K. (2013). The dose-response relationship between resistance exercise intensity and cognitive performance: Does heart rate mediate this effect? *International Journal of Sport Psychology*, 44 (1), 37-54.
- Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M. & Sibley, B. A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Reviews*, 52 (1), 119-130.
- 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), 249-277.
- European Ministers of Education. (1999). *The Bologna Declaration of 19 June 1999 [Elektronische version]*. Bologna. Zugriff am 02.11.2015. Verfügbar unter http://www.magna-charta.org/resources/files/BOLOGNA_DECLARATION.pdf
- Everson-Rose, S. A. & Lewis, T. T. (2005). Psychosocial factors and cardiovascular diseases. *Annual Review of Public Health*, 26 (1), 469-500.
- Fabel, K., Wolf, S. A., Ehninger, D., Babu, H., Leal-Galicia, P. & Kempermann, G. (2009). Additive effects of physical exercise and environmental enrichment on adult hippocampal neurogenesis in mice. *Frontiers in Neuroscience*, 3, 1-7.

- Fabre, C., Chamari, K., Mucci, P., Massé-Biron, J. & Préfaut, C. (2002). Improvement of cognitive function by mental and/or individualized aerobic training in healthy elderly subjects. *International journal of sports medicine*, 23 (6), 415-421.
- Feierabend, S., Karg, U. & Rathgeb, T. (2013). *15 Jahre JIM-Studie. Jugend, Information, (Multi-) Media*. Stuttgart: Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest.
- 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), 728-734.
- Finke, A. & Zubrägel, S. (2012). *Individuelle Handlungskompetenz in und durch Bewegung, Spiel und Sport [elektronische Version]*. Zugriff am 05.11.2014. Verfügbar unter http://www.lernportal-sachsen-bewegung.de/downloads/Handlungskompetenz_in_und_durch_BSS_LSJ2012.pdf
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47 (6), 381-391.
- Fitts, P. M. (1964). Perceptual-motor skills learning. In A. W. Melton (Hrsg.), *Categories of Human Learning* (S. 243-285). Oxford: Academic Press.
- Froböse, I. & Wallmann, B. (2012). *DKV-Report „Wie gesund lebt Deutschland?“*. Köln: Zentrum für Gesundheit der Deutschen Sporthochschule Köln.
- Gagné, R. M. & Driscoll, M. P. (1988). *Essentials of learning for instruction* (2. Aufl.). Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Garavan, H., Ross, T. J., Li, S. J. & Stein, E. A. (2000). A parametric manipulation of central executive functioning. *Cerebral cortex*, 10 (6), 585-592.
- Gardner, H. (1993). *Multiple Intelligences: The theory in practice*. New York: Basic Books.
- Gaschler, P., Klimek, S. & Lauenstein, C. (2009). Förderung personaler und sozialer Kompetenzen von Kindern durch Erhöhung der Wagniskompetenz. *Haltung und Bewegung*, 29 (3), 23-33.
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B. & Mangun, G. R. (2014). *Cognitive neuroscience. The biology of the mind* (4. Aufl.). New York: W. W. Norton & Company.
- Gerbig-Calcagni, I. (2010). *Wie aufmerksam sind Studierende in Vorlesungen und wie viel können sie behalten? (Dissertation) [elektronische Version]*: Pädagogische Hochschule Weingarten. Zugriff am 02.11.2015. Verfügbar unter <http://hsbwgt.bsz-bw.de/frontdoor/index/index/docId/47>
- Gerin, C., Becquet, D. & Privat, A. (1995). Direct evidence for the link between monoaminergic descending pathways and motor activity. I. A study with microdialysis probes implanted in the ventral funiculus of the spinal cord. *Brain Research*, 704 (2), 191-201.
- Gernsbacher, M. A. (1993). Less skilled readers have less efficient suppression mechanisms. *Psychological Science*, 4 (5), 294-298.
- Gogoll, A. (2011). Auf dem Weg zu einem Kompetenzmodell für den Lernbereich ‚Bewegung, Spiel und Sport‘. In G. Stibbe (Hrsg.), *Standards, Kompetenzen und Lehrpläne* (Reihe Sport, Bd. 16, 1. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Gomez-Pinilla, F. & Hillman, C. (2013). The Influence of Exercise on Cognitive Abilities. In R. Terjung (Hrsg.), *Comprehensive Physiology* (S. 403-428). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Gondola, J. C. (1986). The enhancement of creativity through long and short term exercise programs. *Journal of Social Behavior & Personality*, 1 (1), 77-82.

- Gondola, J. C. (1987). The effects of a single bout of aerobic dancing on selected tests of creativity. *Journal of Social Behavior & Personality*, 2 (2), 275-278.
- Gondola, J. C. & Tuckman, B. W. (1985). Effects of a systematic program of exercise on selected measures of creativity. *Perceptual and Motor Skills*, 60 (1), 53-54.
- Graf, C., Koch, B., Kippel, S., Büttner, S., Coburger, S., Christ, h. et al. (2003). Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und Konzentration im Kindesalter - Eingangsergebnisse des CHILT-Projektes. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54 (9), 242-246.
- Guilford, J. P. (1964). Creative thinking and problem solving. *Education Digest* (29), 29-31.
- Guilford, J. P. (1965). Frames of reference for creative behavior in the arts. In *Presented at the conference creative behavior in the arts*. Los Angeles, CA: University of California.
- Guiney, H. & Machado, L. (2013). Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. *Psychonomic bulletin & review*, 20 (1), 73-86.
- Gutiérrez-Dávila, M., Rojas, F. J., Antonio, R. & Navarro, E. (2013). Effect of Uncertainty on the Reaction Response in Fencing. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 84 (1), 16-23.
- Hagemester, C. & Westhoff, K. (2011). Konzentrationsdiagnostik. In L. F. Hornke, M. Amelang & M. Kersting (Hrsg.), *Leistungs-, Intelligenz- und Verhaltensdiagnostik* (Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich B, Methodologie und Methoden: Serie 2, Psychologische Diagnostik, Bd. 3, vollst. Neuausgabe, S. 51-96). Göttingen: Hogrefe.
- Haider, M. (1962). *Ermüdung, Beanspruchung und Leistung. Eine Einführung in die Ermüdungs- und Monotonieforschung*. Wien: Franz Deuticke.
- Hall, C. D., Smith, A. L. & Keele, S. W. (2001). The impact of aerobic activity on cognitive function in older adults: A new synthesis based on the concept of executive control. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13 (1-2), 279-300.
- Hallett, M. & Grafman, J. (1997). Executive Function and Motor Skill Learning. In J. D. Schmahmann (Hrsg.), *The cerebellum and cognition* (International review of neurobiology, Bd. 41, S. 297-323). San Diego: Academic Press.
- Hansen, A. L., Johnsen, B. H., Sollers, J. J., Stenvik, K. & Thayer, J. F. (2004). Heart rate variability and its relation to prefrontal cognitive function: the effects of training and detraining. *European Journal of Applied Physiology*, 93 (3), 263-272.
- Harvey, M. & Novicevic, M. M. (2002). The hypercompetitive global marketplace: the importance of intuition and creativity in expatriate managers. *Journal of World Business*, 37 (2), 127-138.
- Haskell, W. L., Lee, I.-M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A. et al. (2007). Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and science in sports and exercise*, 39 (8), 1423-1434.
- Hébert, T. P., Cramond, B., Millar, G. & Silvian, A. F. (2002). *E. Paul Torrance: His life, accomplishments, and legacy*. Storrs, Connecticut: University of Connecticut, The National Research Center on the Gifted and Talented (NRC/GT).
- Heine, C., Didi, H.-J., Haase, K. & Schneider, H. (Hrsg.). (2008). *Profil und Passung. Studierendenauswahl in einem differenzierten Hochschulsystem [Elektronische Version]*. Hannover: HIS: Forum Hochschule. Zugriff am 02.11.2015. Verfügbar unter http://www.dzhw.eu/pdf/pub_fh/fh-200814.pdf
- Herman-Tofler, L. R. & Tuckman, B. W. (1998). The effects of aerobic training on children's creativity, self-perception, and aerobic power. *Child and adolescent psychiatric clinics of North America*, 7 (4), 773-790.

- Highlen, P. S. & Bennett, B. B. (1983). Elite divers and wrestlers: A comparison between open- and closed-skill athletes. *Journal of Sport Psychology*, 5 (4), 390-409.
- Hillman, C. H., Belopolsky, A. V., Snook, E. M., Kramer, A. F. & McAuley, E. (2004). Physical activity and executive control: implications for increased cognitive health during older adulthood. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75 (2), 176-185.
- Hillman, C. H., Castelli, D. M. & Buck, S. M. (2005). Aerobic Fitness and Neurocognitive Function in Healthy Preadolescent Children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37 (11), 1967-1974.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I. & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9 (1), 58-65.
- Hillman, C. H., Kamijo, K. & Scudder, M. (2011). A review of chronic and acute physical activity participation on neuroelectric measures of brain health and cognition during childhood. *Preventive Medicine*, 52, 21-28.
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B. & Themanson, J. R. (2009). Acute aerobic exercise effects on event-related brain potentials. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Hrsg.), *Exercise and cognitive function* (S. 161-178). Chichester: Wiley-Heinrich.
- Hillman, C. H. & Schott, N. (2013). Der Zusammenhang von Fitness, kognitiver Leistungsfähigkeit und Gehirnzustand im Schulkindalter. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 20 (1), 33-41.
- Hillman, C. H., Snook, E. M. & Jerome, G. J. (2003). Acute cardiovascular exercise and executive control function. *International Journal of Psychophysiology*, 48 (3), 307-314.
- Hinkle, J. S., Tuckman, B. W. & Sampson, J. P. (1993). The psychology, physiology, and the creativity of middle school aerobic exercises. *Elementary School Guidance & Counseling*, 28 (2), 133-145.
- Hoffmann, M. H. (2011). Fairly certifying competences, objectively assessing creativity. In 2011 *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)* (S. 270-277). IEEE.
- Hollmann, W. (2000). *Öffentliche Anhörung zur Aktuellen Situation im Schulsport. Wortprotokoll der 20. Sitzung des Sportausschusses im Deutschen Bundestag (zitiert nach Kubesch, 2014a)*.
- Hötting, K., Reich, B., Holzschneider, K., Kauschke, K., Schmidt, T., Reer, R. et al. (2012). Differential cognitive effects of cycling versus stretching/coordination training in middle-aged adults. *Health Psychology*, 31 (2), 145-155.
- Hötting, K. & Röder, B. (2013). Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37 (9), 2243-2257.
- Hubrich-Ungureanu, P., Kaemmerer, N., Henn, F. A. & Braus, D. F. (2002). Lateralized organization of the cerebellum in a silent verbal fluency task: a functional magnetic resonance imaging study in healthy volunteers. *Neuroscience Letters*, 319 (2), 91-94.
- Hugdahl, K. (1995). *Psychophysiology: The mind-body perspective* (Perspectives in cognitive neuroscience). Cambridge: Harvard University Press.
- Hurrelmann, K. (2004). *Lebensphase Jugend. Eine Einführung in die sozialwissenschaftliche Jugendforschung* (7., vollst. überarbeitete Aufl.). Weinheim: Beltz Juventa.
- Hurrelmann, K. & Quenzel, G. (2012). *Lebensphase Jugend. Eine Einführung in die sozialwissenschaftliche Jugendforschung* (11., vollst. überarbeitete Aufl.). Weinheim: Beltz Juventa.

- Illert, M. & Kutzt-Buschbeck, J. P. (2006). Motorisches System. In R. F. Schmidt, H.-G. Schaible & N. Birbaumer (Hrsg.), *Neuro- und Sinnesphysiologie* (5., neu bearbeitete Auflage, S. 94-131). Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Isaacs, K. R., Anderson, B. J., Alcantara, A. A., Black, J. E. & Greenough, W. T. (1992). Exercise and the brain: angiogenesis in the adult rat cerebellum after vigorous physical activity and motor skill learning. *Journal of cerebral blood flow and metabolism: official journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 12 (1), 110-119.
- Ito, M. (1993). Movement and thought: identical control mechanisms by the cerebellum. *Trends in Neurosciences*, 16 (11), 448-450.
- Ito, M. (1997). Cerebellar Microcomplexes. In J. D. Schmahmann (Hrsg.), *The cerebellum and cognition* (International review of neurobiology, Bd. 41, S. 475-487). San Diego: Academic Press.
- Ito, M. (2008). Control of mental activities by internal models in the cerebellum. *Nature Reviews Neuroscience*, 9 (4), 304-313.
- Ivry, R. B. (1997). Cerebellar Timing Systems. In J. D. Schmahmann (Hrsg.), *The cerebellum and cognition* (International review of neurobiology, Bd. 41, S. 555-573). San Diego: Academic Press.
- Ivry, R. B. & Keele, S. W. (1989). Timing functions of the cerebellum. *Journal of cognitive neuroscience*, 1 (2), 136-152.
- Jahanshahi, M., Dirnberger, G., Fuller, R. & Frith, C. (2000). The Role of the Dorsolateral Prefrontal Cortex in Random Number Generation: A Study with Positron Emission Tomography. *NeuroImage*, 12 (6), 713-725.
- Jahnke, I. & Haertel, T. (2010). Kreativitätsförderung in der Hochschule – ein Rahmenkonzept. *Hochschulwesen*, 58 (3), 88-96.
- Jalil, P. A. (2007). Working Memory, Cerebellum, and Creativity. *Creativity Research Journal*, 19 (1), 39-45.
- Jansen, P., Lange, L. & Heil, M. (2011). The influence of juggling on mental rotation performance in children. *Biomedical Human Kinetics*, 3, 18-22.
- Jørgensen, L. G., Perko, G. & Secher, N. H. (1992). Regional cerebral artery mean flow velocity and blood flow during dynamic exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 73 (5), 1825-1830.
- Judge, T. A., Erez, A., Bono, J. E. & Thoresen, C. J. (2002). Are measures of self-esteem, neuroticism, locus of control, and generalized self-efficacy indicators of a common core construct? *Journal of Personality and Social Psychology*, 83 (3), 693-710.
- Jurado, M. B. & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding. *Neuropsychology review*, 17 (3), 213-233.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort* (Prentice Hall series in experimental psychology). Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Kamijo, K., Hayashi, Y., Sakai, T., Yahiro, T., Tanaka, K. & Nishihira, Y. (2009). Acute Effects of Aerobic Exercise on Cognitive Function in Older Adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 64 (3), 356-363.
- Kamijo, K., Nishihira, Y., Higashiura, T. & Kuroiwa, K. (2007). The interactive effect of exercise intensity and task difficulty on human cognitive processing. *International Journal of Psychophysiology*, 65 (2), 114-121.

- Kamijo, K., Pontifex, M. B., O'Leary, K. C., Scudder, M. R., Wu, C.-T., Castelli, D. M. et al. (2011). The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children. *Developmental science*, 14 (5), 1046-1058.
- Kanning, M. K., Ebner-Priemer, U. W. & Schlicht, W. M. (2013). How to Investigate Within-Subject Associations between Physical Activity and Momentary Affective States in Everyday Life: A Position Statement Based on a Literature Overview. *Frontiers in Psychology*, 4, 1-16.
- Kantak, S. S. & Winstein, C. J. (2012). Learning–performance distinction and memory processes for motor skills: A focused review and perspective. *Behavioural Brain Research*, 228 (1), 219-231.
- Karademas, E. C. & Kalantzi-Azizi, A. (2004). The stress process, self-efficacy expectations, and psychological health. *Personality and Individual Differences*, 37 (5), 1033-1043.
- Kauffeld, S. (2003). Weiterbildung: Eine lohnende Investition in die berufliche Zukunft? In A. Frey, R. S. Jäger & U. Renold (Hrsg.), *Kompetenzmessung - Theoretische Grundlagen und empirische Befunde* (S. 176-195). Landau: Empirische Pädagogik.
- Kaufman, J. C. & Baer, J. (2004). Hawking's Haiku, Madonna's Math: Why It Is Hard to Be Creative in Every Room of the House. In R. J. Sternberg, E. L. Grigorenko & J. L. Singer (Hrsg.), *Creativity: From potential to realization* (S. 3-19). Washington, DC: American Psychological Association.
- Kaufman, J. C. & Baer, J. (2005). The amusement park theory of creativity. In J. C. Kaufman & J. Baer (Hrsg.), *Creativity across domains. Faces of the muse* (S. 321-328). Mahwah: L. Erlbaum Associates.
- Kaufman, J. C. & Beghetto, R. A. (2009). Beyond big and little: The four c model of creativity. *Review of General Psychology*, 13 (1), 1-12.
- Kaufman, J. C., Cole, J. C. & Baer, J. (2009). The Construct of Creativity: Structural Model for Self-Reported Creativity Ratings. *The Journal of Creative Behavior*, 43 (2), 119-134.
- Kaufmann, L., Koppelstaetter, F., Delazer, M., Siedentopf, C., Rhomberg, P., Golaszewski, S. et al. (2005). Neural correlates of distance and congruity effects in a numerical Stroop task: an event-related fMRI study. *NeuroImage*, 25 (3), 888-898.
- Kim, K. H. (2006). Can We Trust Creativity Tests? A Review of the Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT). *Creativity Research Journal*, 18 (1), 3-14.
- Kleppel, H.-C., Wunsch, B. & Ebner-Priemer, U. W. (2014). *Kreativität bei Studierenden am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) - Ein fachspezifischer Vergleich. Unveröffentlichtes Manuskript. Institut für Sport und Sportwissenschaft, KIT.*
- Klomfaß, S. (2011). *Hochschulzugang und Bologna-Prozess. Bildungsreform am Übergang von der Universität zum Gymnasium*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kluwe, R. H. (2001). Kognition. In G. Wenninger (Hrsg.), *Lexikon der Psychologie in fünf Bänden / [Red.: Gerd Wenninger] [Mehrteiliges Werk]. Band 2 (F-L)* (S. 352-356). Heidelberg/Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Knaepen, K., Goekint, M., Heyman, E. M. & Meeusen, R. (2010). Neuroplasticity – Exercise-Induced Response of Peripheral Brain-Derived Neurotrophic Factor. *Sports Medicine*, 40 (9), 765-801.
- Köck, M. & Stein, M. (Hrsg.). (2010). *Übergänge von der Schule in Ausbildung, Studium und Beruf. Voraussetzungen und Hilfestellungen*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

- Koziol, L. F., Budding, D., Andreasen, N., D'Arrigo, S., Bulgheroni, S., Imamizu, H. et al. (2014). Consensus Paper: The Cerebellum's Role in Movement and Cognition. *The Cerebellum*, 13 (1), 151-177.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R. et al. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400 (6743), 418-419.
- Kramer, A. F., Humphrey, D. G., Larish, J. F., Logan, G. D. & Strayer, D. L. (1994). Aging and inhibition: beyond a unitary view of inhibitory processing in attention. *Psychology and aging*, 9 (4), 491-512.
- Kubesch, S. (2008). *Körperliche Aktivität und exekutive Funktionen* (2. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Kubesch, S. (2013). *Förderung exekutiver Funktionen und der Selbstregulation im Sport* (2. Aufl.). Heidelberg: Verlag Bildung Plus.
- Kubesch, S. (2014a). Der Sport macht's! 2014. In S. Kubesch (Hrsg.), *Exekutive Funktionen und Selbstregulation. Neurowissenschaftliche Grundlagen und Transfer in die pädagogische Praxis* (S. 121-144). Göttingen: Huber.
- Kubesch, S. (Hrsg.). (2014b). *Exekutive Funktionen und Selbstregulation. Neurowissenschaftliche Grundlagen und Transfer in die pädagogische Praxis*. Göttingen: Huber.
- Kubesch, S., Walk, L., Spitzer, M., Kammer, T., Lainburg, A., Heim, R. et al. (2009). A 30-Minute Physical Education Program Improves Students' Executive Attention. *Mind, Brain, and Education*, 3 (4), 235-242.
- Kullmann, H.-M. & Seidel, E. (2005). *Lernen und Gedächtnis im Erwachsenenalter* (Perspektive Praxis, 2. Aufl.). Bielefeld: Bertelsmann.
- Lambourne, K., Audiffren, M. & Tomporowski, P. D. (2010). Effects of Acute Exercise on Sensory and Executive Processing Tasks. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1396-1402.
- Lambourne, K. & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12-24.
- Larson, E. B., Wang, L., Bowen, J. D., McCormick, W. C., Teri, L., Crane, P. et al. (2006). Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older. *Annals of internal medicine*, 144 (2), 73-81.
- Larsson, A., Skoog, I., Aevarsson, Arlig, A., Jacobsson, L., Larsson, L. et al. (2001). Regional cerebral blood flow in normal individuals aged 40, 75 and 88 years studied by 99Tc(m)-d,l-HMPAO SPET. *Nuclear medicine communications*, 22 (7), 741-746.
- Lawlor, D. A. & Hopker, S. W. (2001). The effectiveness of exercise as an intervention in the management of depression: systematic review and meta-regression analysis of randomised controlled trials, 322 (7289), 1-8.
- Lebel, C., Walker, L., Leemans, A., Phillips, L. & Beaulieu, C. (2008). Microstructural maturation of the human brain from childhood to adulthood. *NeuroImage*, 40 (3), 1044-1055.
- Lehmann-Horn, F. (2010). Motorische Systeme. In R. F. Schmidt, F. Lang & M. Heckmann (Hrsg.), *Physiologie des Menschen* (31. Aufl., S. 127-162). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Leiner, H. C., Leiner, A. L. & Dow, R. S. (1993). Cognitive and language functions of the human cerebellum. *Trends in Neurosciences*, 16 (11), 444-447.

- Leiner, H. C., Leiner, A. L. & Dow, R. S. (1994). The underestimated cerebellum. *Human Brain Mapping*, 2 (4), 244-254.
- Leitner, W. G. (2005). *Konzentrationsleistung und Aufmerksamkeitsverhalten. Begriff, Einflussfaktoren, Entwicklung, Diagnostik, Prävention und Intervention* (Theorie und Forschung Psychologie, Bd. 248). Regensburg: S. Roderer.
- Lemons, G. (2005). When the Horse Drinks: Enhancing Everyday Creativity Using Elements of Improvisation. *Creativity Research Journal*, 17 (1), 25-36.
- Levitán, I. B. & Kaczmarek, L. K. (2002). *The neuron. Cell and molecular biology* (3. Aufl.). Oxford, New York: Oxford University Press.
- Lezak, M. D., Howieson, D. B. & Loring, D. W. (2004). *Neuropsychological assessment* (4. Aufl.). Oxford, New York: Oxford University Press.
- Li, Y., Dai, Q., Jackson, J. C. & Zhang, J. (2008). Overweight is associated with decreased cognitive functioning among school-age children and adolescents. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, 16 (8), 1809-1815.
- Löffler, S.-N., Dominok, E., von Haaren, B., Schellhorn, R. & Gidion, G. (2011). *Aktivierung, Konzentration, Entspannung. Interventionsmöglichkeiten zur Förderung fitnessrelevanter Kompetenzen im Studium*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing. Zugriff am 02.11.2015. Verfügbar unter <http://www.ksp.kit.edu/9783866446502>
- Ma, H.-H. (2006). A Synthetic Analysis of the Effectiveness of Single Components and Packages in Creativity Training Programs. *Creativity Research Journal*, 18 (4), 435-446.
- Ma, H.-H. (2009). The Effect Size of Variables Associated With Creativity: A Meta-Analysis. *Creativity Research Journal*, 21 (1), 30-42.
- Madsen, P. L. & Secher, N. H. (1999). Near-infrared oximetry of the brain. *Progress in Neurobiology*, 58 (6), 541-560.
- Mansfield, R. S., Busse, T. V. & Krepelka, E. J. (1978). The Effectiveness of Creativity Training. *Review of Educational Research*, 48 (4), 517-536.
- Martins, E. & Terblanche, F. (2003). Building organisational culture that stimulates creativity and innovation. *European Journal of Innovation Management*, 6 (1), 64-74.
- McFadzean, E. (2000). Techniques to enhance creative thinking. *Team Performance Management*, 6 (3/4), 62-72.
- McMorris, T. (2009). Exercise and cognitive function: a neuroendocrinological explanation. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Hrsg.), *Exercise and cognitive function* (S. 41-68). Chichester: Wiley-Heinrich.
- McMorris, T., Collard, K., Corbett, J., Dicks, M. & Swain, J. (2008). A test of the catecholamines hypothesis for an acute exercise–cognition interaction. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 89 (1), 106-115.
- McMorris, T., Sproule, J., Turner, A. & Hale, B. J. (2011). Acute, intermediate intensity exercise, and speed and accuracy in working memory tasks: A meta-analytical comparison of effects. *Physiology & Behavior*, 102 (3-4), 421-428.
- McMorris, T., Tomporowski, P. D. & Audiffren, M. (Hrsg.). (2009a). *Exercise and cognitive function*. Chichester: Wiley-Heinrich.
- McMorris, T., Tomporowski, P. D. & Audiffren, M. (2009b). Summary and direction for future research. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Hrsg.), *Exercise and cognitive function* (S. 309-317). Chichester: Wiley-Heinrich.

- Meeusen, R. & Piacentini, M. F. (2003). Exercise, fatigue, neurotransmission and the influence of the neuroendocrine axis. *Advances in experimental medicine and biology*, 527, 521-525.
- Mehr, A. & Ulrich, W. (2010). *Selbst- und Sozialkompetenzen im Sport- und Bewegungsunterricht*. Magglingen: Bundesamt für Sport BASPO.
- Memmert, D. (2007). Can Creativity Be Improved by an Attention-Broadening Training Program? An Exploratory Study Focusing on Team Sports. *Creativity Research Journal*, 19 (2-3), 281-291.
- Memmert, D. (2011a). Creativity, expertise, and attention: Exploring their development and their relationships. *Journal of Sports Sciences*, 29 (1), 93-102.
- Memmert, D. (2011b). Sports and Creativity. In M. A. Runco & S. R. Pritzker (Hrsg.), *Encyclopedia of creativity. Second Edition* (2. Aufl., Bd. 2, S. 373-378). Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- Memmert, D. (2012). Kreativität im Sportspiel. *Sportwissenschaft*, 42 (1), 38-49.
- Memmert, D., Baker, J. & Bertsch, C. (2010). Play and practice in the development of sport-specific creativity in team ball sports. *High Ability Studies*, 21 (1), 3-18.
- Memmert, D. & Roth, K. (2007). The effects of non-specific and specific concepts on tactical creativity in team ball sports. *Journal of Sports Sciences*, 25 (12), 1423-1432.
- Mertens, D. (1974). *Schlüsselqualifikationen [Elektronische Version]* (Bd. 7). Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH. Zugriff am 02.11.2015. Verfügbar unter http://doku.iab.de/mittab/1974/1974_1_MittAB_Mertens.pdf
- Middendorff, E., Isserstedt, W. & Poskowsky, J. (2012). *Formen der Stresskompensation und Leistungssteigerung bei Studierenden. HISBUS-Befragung zur Verbreitung und zu Mustern von Hirndoping und Medikamentenmissbrauch* (Forum Hochschule, Bd. 2012,1). Hannover: HIS.
- Middleton, F. A. & Strick, P. L. (1997). Cerebellar Output Channels. In J. D. Schmahmann (Hrsg.), *The cerebellum and cognition* (International review of neurobiology, Bd. 41, S. 61-82). San Diego: Academic Press.
- Middleton, F. A. & Strick, P. L. (2000). Basal ganglia and cerebellar loops: motor and cognitive circuits. *Brain research. Brain research reviews*, 31 (2-3), 236-250.
- Miller, E. K. & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24 (1), 167-202.
- Miller, J. R. & Demoiny, S. G. (2008). Parkour: A New Extreme Sport and a Case Study. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 47 (1), 63-65.
- Molinari, M., Leggio, M. G. & Silveri, M. C. (1997). Verbal Fluency and Agrammatism. In J. D. Schmahmann (Hrsg.), *The cerebellum and cognition* (International review of neurobiology, Bd. 41, S. 325-339). San Diego: Academic Press.
- Müller, H. J., Krummenacher, J. & Schubert, T. (2015). *Aufmerksamkeit und Handlungssteuerung: Grundlagen für die Anwendung*. Berlin: Springer.
- Munzert, J. (2003). Aufmerksamkeit. In P. Röthig, R. Prohl, K. Carl, D. Kayser, M. Krüger & V. Scheid (Hrsg.), *Sportwissenschaftliches Lexikon* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, 49/50, 7. völlig neu bearb. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Naglieri, J. A. & Kaufman, J. C. (2001). Understanding intelligence, giftedness and creativity using the pass theory. *Roepers Review*, 23 (3), 151-156.

- Nelson, C. A. (1999). Neural Plasticity and Human Development. *Current Directions in Psychological Science*, 8 (2), 42-45.
- Neumann, P. & Katzer, D. (2011). *Etwas wagen und verantworten im Schulsport. Didaktische Impulse und Praxishilfen* (Edition Schulsport, Bd. 15). Aachen: Meyer & Meyer.
- Newson, R. S. & Kemps, E. B. (2008). Relationship between fitness and cognitive performance in younger and older adults. *Psychology & Health*, 23 (3), 369-386.
- Nielsen, H. B., Boushel, R., Madsen, P. & Secher, N. H. (1999). Cerebral desaturation during exercise reversed by O₂ supplementation. *The American journal of physiology*, 277 (3), 1045-1052.
- Nimz, G. (2012). Aufmerksamkeit und Konzentration im Sport. *Zeitschrift für Gesundheit und Sport* (1), 27-37.
- North, T. C., McCullagh, P. & Tran, Z. V. (1990). Effect of exercise on depression. *Exercise and sport sciences reviews*, 18, 379-415.
- Nünning, V. (Hrsg.). (2008). *Schlüsselkompetenzen: Qualifikationen für Studium und Beruf*. Stuttgart: Metzler, J B.
- Nusbaum, E. C. & Silvia, P. J. (2011). Are intelligence and creativity really so different? Fluid intelligence, executive processes, and strategy use in divergent thinking. *Intelligence*, 39 (1), 36-45.
- Ortenburger, A. (2013). Studierende im Stress. In HIS Hochschul-Informationen-System GmbH [verantw. Red. Hafner, T.] (Hrsg.), *HIS Magazin (Ausgabe 3/2013)* (S. 11-12). Hannover: unidruck GmbH & Co KG.
- Orth, H. (1999). *Schlüsselqualifikationen an deutschen Hochschulen. Konzepte, Standpunkte und Perspektiven* (Hochschulwesen). Neuwied: Luchterhand.
- Padilla, C., Pérez, L., Andres, P. & Parmentier, F. B. R. (2013). Exercise Improves Cognitive Control: Evidence from the Stop Signal Task. *Applied Cognitive Psychology*, 27 (4), 505-511.
- Padilla, C., Pérez, L. & Andrés, P. (2014). Chronic exercise keeps working memory and inhibitory capacities fit. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 1-10.
- Parkin, A. J. & Lawrence, A. (1994). A dissociation in the relation between memory tasks and frontal lobe tests in the normal elderly. *Neuropsychologia*, 32 (12), 1523-1532.
- Paus, T. (2005). Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (2), 60-68.
- Pellegrini, A. D. & Smith, P. K. (1993). School Recess: Implications for Education and Development. *Review of Educational Research*, 63 (1), 51-67.
- Pellis, S. M. & Pellis, V. C. (2007). Rough-and-Tumble Play and the Development of the Social Brain. *Current Directions in Psychological Science*, 16 (2), 95-98.
- Pereira, A. C., Huddlestone, D. E., Brickman, A. M., Sosunov, A. A., Hen, R., McKhann, G. M. et al. (2007). An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104 (13), 5638-5643.
- Pérez, L., Padilla, C., Parmentier, F. B. R., Andrés, P. & Di Pellegrino, G. (2014). The Effects of Chronic Exercise on Attentional Networks. *PLoS ONE*, 9 (7), 1-8. e101478.
- 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. D.

- Tomprowski & M. Audiffren (Hrsg.), *Exercise and cognitive function* (S. 213-226). Chichester: Wiley-Heinrich.
- Pesce, C. (2012). Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cognition research. *Journal of sport & exercise psychology*, 34 (6), 766-786.
- Petersen, S. E. & Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 73-89.
- Peters-Kühlinger, G. & John, F. (2012). *Soft skills* (TaschenGuide, Bd. 128, 3. Aufl.). Planegg/München: Haufe.
- Petruzzello, S. J., Landers, D. M., Hatfield, B. D., Kubitz, K. A. & Salazar, W. (1991). A meta-analysis on the anxiety-reducing effects of acute and chronic exercise. Outcomes and mechanisms. *Sports Medicine*, 11 (3), 143-182.
- Piaget, J. (1936). *The Origins of Intelligence in Children*. New York: New York University Press.
- Piaget, J. & Piercy, M. (1968). *The psychology of intelligence*. Totowa, N.J.: Littlefield Adams.
- Plucker, J. & Zabelina, D. (2009). Creativity and interdisciplinarity: one creativity or many creativities? *ZDM*, 41 (1-2), 5-11.
- Plucker, J. A. & Beghetto, R. A. (2004). Why Creativity Is Domain General, Why It Looks Domain Specific, and Why the Distinction Does Not Matter. In R. J. Sternberg, E. L. Grigorenko & J. L. Singer (Hrsg.), *Creativity: From potential to realization* (S. 153-167). Washington, DC: American Psychological Association.
- Poehlman, E., Gardner, A. & Goran, M. (1992). Influence of endurance training on energy intake, norepinephrine kinetics, and metabolic rate in older individuals. *Metabolism*, 41 (9), 941-948.
- Polich, J. & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biological Psychology*, 41 (2), 103-146.
- Pollock, M. L., Gaesser, G. A., Butcher, J. D., Després, J.-P., Dishman, R. K., Franklin, B. A. et al. (1998). ACSM Position Stand. The Recommended Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness, and Flexibility in Healthy Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30 (6), 975-991.
- Pontifex, M. B. & Hillman, C. H. (2007). Neuroelectric and behavioral indices of interference control during acute cycling. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 118 (3), 570-580.
- Preiser, S. & Buchholz, N. (2004). *Kreativität. Ein Trainingsprogramm für Alltag und Beruf* (2. Aufl.). Heidelberg: Asanger.
- Puddle, D. L. & Maulder, P. S. (2013). Ground reaction forces and loading rates associated with parkour and traditional drop landing techniques. *Journal of sports science & medicine*, 12 (1), 122-129.
- Puhr, U. & Wagner, M. (2003). *Interferenztest nach Stroop*. Mödling: Schuhfried GmbH.
- Querido, J. S. & Sheel, A. W. (2007). Regulation of cerebral blood flow during exercise. *Sports Medicine*, 37 (9), 765-782.
- Rapp, G. (1982). *Aufmerksamkeit und Konzentration. Erklärungsmodelle - Störungen - Handlungsmöglichkeiten*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Rasberry, C. N., Lee, S. M., Robin, L., Laris, B. A., Russell, L. A., Coyle, K. K. et al. (2011). The association between school-based physical activity, including physical education, and

- academic performance: a systematic review of the literature. *Preventive Medicine* (52), 10-20.
- Rasmussen, P., Plomgaard, P., Krogh-Madsen, R., Kim, Y.-S., van Lieshout, J. J., Secher, N. H. et al. (2006). MCA Vmean and the arterial lactate-to-pyruvate ratio correlate during rhythmic handgrip. *Journal of Applied Physiology*, 101 (5), 1406-1411.
- Redmond, M. R., Mumford, M. D. & Teach, R. (1993). Putting Creativity to Work: Effects of Leader Behavior on Subordinate Creativity. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 55 (1), 120-151.
- Rogers, R. L., Meyer, J. S. & Mortel, K. F. (1990). After reaching retirement age physical activity sustains cerebral perfusion and cognition. *Journal of the American Geriatrics Society*, 38 (2), 123-128.
- Roig, M., Nordbrandt, S., Geertsen, S. S. & Nielsen, J. B. (2013). The effects of cardiovascular exercise on human memory: A review with meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37 (8), 1645-1666.
- Rolff, K. (2008). Sport und Kompetenzentwicklung. Mannschaftssport als Instrument zur Steigerung von Kompetenzen junger bildungsferner Menschen. *Institut Arbeit und Technik: Jahrbuch 2007*, 105-112.
- Rose, L. H. & Lin, H.-T. (1984). A Meta-Analysis of Long-Term Creativity Training Programs. *The Journal of Creative Behavior*, 18 (1), 11-22.
- Rosenbaum, D. A., Carlson, R. A. & Gilmore, R. O. (2001). Acquisition of intellectual and perceptual-motor skills. *Annual review of psychology*, 52, 453-470.
- Rost, R. (1997). *Ernährung, Fitness und Sport*. Berlin: Ullstein Mosby.
- Roth, H. (1971). *Pädagogische Anthropologie. Band II: Entwicklung und Erziehung. Grundlagen einer Entwicklungspädagogik*. Hannover: Hermann Schrödel.
- Roth, K. & Willimczik, K. (1999). *Bewegungswissenschaft*. Reinbek/Hamburg: Rowohlt.
- Röthig, P. & Prohl, R. (2003). Sport. In P. Röthig, R. Prohl, K. Carl, D. Kayser, M. Krüger & V. Scheid (Hrsg.), *Sportwissenschaftliches Lexikon* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, 49/50, 7. völlig neu bearb. Aufl., S. 493-495). Schorndorf: Hofmann.
- Runco, M. A. (2014). *Creativity. Theories and Themes: Research, Development, and Practice* (2. Aufl.). Burlington: Elsevier Science.
- Runco, M. A. & Jaeger, G. J. (2012). The Standard Definition of Creativity. *Creativity Research Journal*, 24 (1), 92-96.
- Sadeghi Boroujerdi, S. & Hasani, K. (2014). The survey thinking style and its relation with creativity in physical education teachers. *International Journal of Educational Management*, 28 (4), 400-412.
- Sallis, J. F. & Owen, N. (1999). *Physical activity & behavioral medicine* (Behavioral medicine and health psychology series, Bd. 3). Thousand Oaks: Sage Publications.
- Salthouse, T. A. (1992). *Mechanisms of age-cognition relations in adulthood* (John M. MacEachran memorial lecture series). Hillsdale: L. Erlbaum Associates.
- Salthouse, T. A. & Davis, H. P. (2006). Organization of cognitive abilities and neuropsychological variables across the lifespan. *Developmental Review*, 26 (1), 31-54.
- Salvisberg, A. (2010). *Soft Skills auf dem Arbeitsmarkt. Bedeutung und Wandel*. Zürich: Seismo.

- Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, 53 (1), 61-97.
- Sawyer, R. K. (2012). *Explaining creativity. The science of human innovation* (2. Aufl.). New York: Oxford University Press.
- Schaeper, H. & Briedis, K. (2004). *Kompetenzen von Hochschulabsolventen, berufliche Anforderungen und Folgerungen für die Hochschulreform [Elektronische Version]. HIS Kurzinformation A6/2004*. Hannover: HIS. Zugriff am 02.11.2015. Verfügbar unter https://www.bmbf.de/pub/his_projektbericht_08_04.pdf
- Schelten, A. (1994). *Einführung in die Berufspädagogik* (2. Aufl.). Stuttgart: Steiner.
- Scheuer, C. (2012). „Le Parkour“ als Beispiel kompetenzorientierten Sportunterrichts – unterschiedliche didaktische Thematisierungsansätze. In D. David (Hrsg.), *Kompetenzen im Sportunterricht entwickeln. Dokumentation und Materialien der 2. Fachtagung Berliner Schulsport am 4. Mai 2011* (Bildungsregion Berlin-Brandenburg, S. 29-46). Ludwigsfelde-Struveshof: LISUM.
- Schmahmann, J. D. & Pandya, D. N. (1997). The Cerebrocerebellar System. In J. D. Schmahmann (Hrsg.), *The cerebellum and cognition* (International review of neurobiology, Bd. 41, S. 31-60). San Diego: Academic Press.
- Schmid, O. (2015). *Der Reformprozess des Deutschen Sportabzeichens aus sportwissenschaftlicher Sicht. Unter Einbeziehung quantitativer und qualitativer Forschungsmethoden* (Sportwissenschaftliche Arbeiten, Bd. 12, 1. Auflage). Techn. Univ., Diss. München, 2015. Köln: Sportverlag Strauß.
- Schmidt, F. L. & Hunter, J. E. (1998). The validity and utility of selection methods in personnel psychology: Practical and theoretical implications of 85 years of research findings. *Psychological Bulletin*, 124 (2), 262-274.
- Schneekloth, U., Leven, I. & Gensicke, T. (2011). Methodik. In M. Albert, K. Hurrelmann & G. Quenzel (Hrsg.), *Jugend 2010. Eine pragmatische Generation behauptet sich* (Bd. 18857, 2. Aufl., S. 361-268). Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verlag.
- Schreiber, J. & Sommer, D. (2005). *HISBUS Online Panel. Kurzbericht Nr. 11. Schulische Vorbereitung auf das Studium [Elektronische Version]*. Hannover. Zugriff am 02.11.2015. Verfügbar unter https://hisbus.his.de/hisbus/docs/HISBUS-Bericht-Nr.11_Schulische_Vorbereitung.pdf
- Schuler, H. & Görlich, Y. (2007). *Kreativität. Ursachen, Messung, Förderung und Umsetzung in Innovation* (Praxis der Personalpsychologie, Bd. 13). Göttingen: Hogrefe.
- Schuler, H. & Hell, B. (2005). *ASK - Analyse des Schlussfolgernden und Kreativen Denkens*. Bern: Hans Huber.
- Schulz-Hardt, S. (2012). Die große Illusion. *Forschung & Lehre*, 19 (9), 744-745.
- Scibinetti, P., Tocci, N. & Pesce, C. (2011). Motor Creativity and Creative Thinking in Children: The Diverging Role of Inhibition. *Creativity Research Journal*, 23 (3), 262-272.
- Scott, G., Leritz, L. E. & Mumford, M. D. (2004). The effectiveness of creativity training: A quantitative review. *Creativity Research Journal*, 16 (4), 361-388.
- Scudder, M. R., Drollette, E. S., Pontifex, M. B. & Hillman, C. H. (2012). Neuroelectric indices of goal maintenance following a single bout of physical activity. *Biological Psychology*, 89 (2), 528-531.

- Scully, D., Kremer, J., Meade, M. M., Graham, R. & Dudgeon, K. (1998). Physical exercise and psychological well being: a critical review. *British Journal of Sports Medicine*, 32 (2), 111-120.
- Secher, N. H., Seifert, T., Nielsen, H. B. & Quistorff, B. (2009). Blood glucose and brain metabolism in exercise. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Hrsg.), *Exercise and cognitive function* (S. 193-210). Chichester: Wiley-Heinrich.
- Seidler, R. D., Noll, D. C. & Chintalapati, P. (2006). Bilateral basal ganglia activation associated with sensorimotor adaptation. *Experimental Brain Research*, 175 (3), 544-555.
- Seiferth, N. Y., Thienel, R. & Kircher, T. (2007). Exekutive Funktionen. In F. Schneider & G. R. Fink (Hrsg.), *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie* (S. 265-278). Heidelberg: Springer Medizin.
- Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland. (2004). *Empfehlung zum Sport an beruflichen Schulen. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.11.2004*. Zugriff am 02.11.2015. Verfügbar unter http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_11_18-Empfehlung-Sport-beruflichen-Schulen.pdf
- Serrien, D. J., Ivry, R. B. & Swinnen, S. P. (2006). Dynamics of hemispheric specialization and integration in the context of motor control. *Nature Reviews Neuroscience*, 7 (2), 160-166.
- Serrien, D. J., Ivry, R. B. & Swinnen, S. P. (2007). The missing link between action and cognition. *Progress in neurobiology*, 82 (2), 95-107.
- Shea, J. B. & Morgan, R. L. (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 5 (2), 179-187.
- Shepherd, G. M. & Koch, C. (1998). Introduction to synaptic circuits. In G. M. Shepherd (Hrsg.), *The synaptic organization of the brain* (4. Aufl., S. 1-36). New York: Oxford University Press.
- Sibley, B. A. & Etnier, J. L. (2003). The Relationship Between Physical Activity and Cognition in Children: A Meta-Analysis. *Pediatric Exercise Science*, 15, 243-256.
- Silbernagl, S. & Despopoulos, A. (2012). *Taschenatlas Physiologie* (8. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Silvia, P. J., Kaufman, J. C. & Pretz, J. E. (2009). Is creativity domain-specific? Latent class models of creative accomplishments and creative self-descriptions. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 3 (3), 139-148.
- Sivan, A. B. & Benton, A. L. (1999). Cognitive disabilities, diagnosis. In G. Adelman & B. H. Smith (Hrsg.), *Encyclopedia of neuroscience* (2. Aufl.). Amsterdam: Elsevier.
- Smith, P. J., Blumenthal, J. A., Hoffman, B. M., Cooper, H., Strauman, T. A., Welsh-Bohmer, K. et al. (2010). Aerobic Exercise and Neurocognitive Performance: A Meta-Analytic Review of Randomized Controlled Trials. *Psychosomatic Medicine*, 72 (3), 239-252.
- Spearman, C. (1927). *The abilities of man: Their measurement in nature*. New York: Macmillan.
- Spiegler, S. (2012). Schnell, Sicher, effizient. *Sportpädagogik*, 36 (3/4), 56-67.
- Spiriduso, W. W. (1980). Physical Fitness, Aging, and Psychomotor Speed. A Review. *Journal of Gerontology*, 35 (6), 850-865.
- Spitzer, M. (2002). *Lernen. Gehirnforschung und die Schule des Lebens* (Korrigierter Nachdr.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

- St. Clair-Thompson, H. L. & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59 (4), 745-759.
- Stein, T. & Bös, K. (2014). Überblick – Grundlagenwissen zum motorischen Lernen. *neuroreha*, 06 (02), 57-61.
- Steinberg, H., Sykes, E. A., Moss, T., Lowery, S., LeBoutillier, N. & Dewey, A. (1997). Exercise enhances creativity independently of mood. *British Journal of Sports Medicine*, 31 (3), 240-245.
- Sternberg, R. J. & Lubart, T. I. (1999). The Concept of Creativity: Prospects and Paradigms. In R. J. Sternberg (Hrsg.), *Handbook of creativity* (S. 3-15). Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Stoodley, C. J. & Schmahmann, J. D. (2009). Functional topography in the human cerebellum: A meta-analysis of neuroimaging studies. *NeuroImage*, 44 (2), 489-501.
- Strange, P. G. (1992). *Brain biochemistry and brain disorders*. Oxford, New York: Oxford University Press.
- Strong, W. B., Malina, R. M., Blimkie, C. J., Daniels, S. R., Dishman, R. K., Gutin, B. et al. (2005). Evidence Based Physical Activity for School-age Youth. *The Journal of Pediatrics*, 146 (6), 732-737.
- Stroth, S., Hille, K., Spitzer, M. & Reinhardt, R. (2009). Aerobic endurance exercise benefits memory and affect in young adults. *Neuropsychological Rehabilitation*, 19 (2), 223-243.
- Stroth, S., Kubesch, S., Dieterle, K., Ruchow, M., Heim, R. & Kiefer, M. (2009). Physical fitness, but not acute exercise modulates event-related potential indices for executive control in healthy adolescents. *Brain Research*, 1269, 114-124.
- Stroth, S., Reinhardt, R. K., Thöne, J., Hille, K., Schneider, M., Härtel, S. et al. (2010). Impact of aerobic exercise training on cognitive functions and affect associated to the COMT polymorphism in young adults. *Neurobiology of Learning and Memory*, 94 (3), 364-372.
- Sturm, W. & Willmes, K. (2007). *VLT - Verbaler Lerntest. Manual*. Mödling: Schuhfried GmbH.
- Taddei, F., Bultrini, A., Spinelli, D. & Di Russo, F. (2012). Neural Correlates of Attentional and Executive Processing in Middle-Age Fencers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44 (6), 1057-1066.
- Themanson, J. & Hillman, C. H. (2006). Cardiorespiratory fitness and acute aerobic exercise effects on neuroelectric and behavioral measures of action monitoring. *Neuroscience*, 141 (2), 757-767.
- Thurstone, L. L. (1938). *Primary mental abilities*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Timmann, D., Drepper, J., Frings, M., Maschke, M., Richter, S., Gerwig, M. et al. (2010). The human cerebellum contributes to motor, emotional and cognitive associative learning. A review. *Cortex*, 46 (7), 845-857.
- Tomporowski, P. D. (2003a). Cognitive and behavioral responses to acute exercise in youths: A review. *Pediatric Exercise Science*, 15, 248-359.
- Tomporowski, P. D. (2003b). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica* (112), 297-324.
- Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H. & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and Children's Intelligence, Cognition, and Academic Achievement. *Educational Psychology Review*, 20 (2), 111-131.

- Torrance, E. P. (1990). *The Torrance tests of creative thinking norms - technical manual figural (streamlined) forms A & B*. Bensenville, IL: Scholastic Testing Service, Inc.
- Trudeau, F. & Shephard, R. J. (2008). Physical education, school physical activity, school sports and academic performance. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity*, 5 (10), 1-12.
- Tuckman, B. W. & Hinkle, J. S. (1986). An experimental study of the physical and psychological effects of aerobic exercise on schoolchildren. *Health Psychology*, 5 (3), 197-207.
- Tyč, F., Boyadjian, A. & Devanne, H. (2005). Motor cortex plasticity induced by extensive training revealed by transcranial magnetic stimulation in human. *European Journal of Neuroscience*, 21 (1), 259-266.
- Van Praag, H. (2008). Neurogenesis and Exercise: Past and Future Directions. *NeuroMolecular Medicine*, 10 (2), 128-140.
- Van Praag, H. (2009). Exercise and the brain: something to chew on. *Trends in Neurosciences*, 32 (5), 283-290.
- Van Praag, H., Christie, B. R., Sejnowski, T. J. & Gage, F. H. (1999). Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96 (23), 13427-13431.
- Van Praag, H., Kempermann, G. & Gage, F. H. (1999). Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus. *Nature Neuroscience*, 2 (3), 266-270.
- Vandervert, L. R., Schimpf, P. H. & Liu, H. (2007). How Working Memory and the Cerebellum Collaborate to Produce Creativity and Innovation. *Creativity Research Journal*, 19 (1), 1-18.
- Vaynman, S. & Gomez-Pinilla, F. (2005). License to run: exercise impacts functional plasticity in the intact and injured central nervous system by using neurotrophins. *Neurorehabilitation and neural repair*, 19 (4), 283-295.
- Vaynman, S., Ying, Z. & Gomez-Pinilla, F. (2004). Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *The European journal of neuroscience*, 20 (10), 2580-2590.
- Verburgh, L., Konigs, M., Scherder, E. J. A. & Oosterlaan, J. (2014). Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48 (12), 973-979.
- Voelcker-Rehage, C. (2005). Der Zusammenhang zwischen motorischer und kognitiver Entwicklung im frühen Kindesalter – Ein Teilergebnis der MODALIS-Studie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56 (10), 358-363.
- Voelcker-Rehage, C., Godde, B. & Staudinger, U. M. (2010). Physical and motor fitness are both related to cognition in old age. *European Journal of Neuroscience*, 31 (1), 167-176.
- Voelcker-Rehage, C., Godde, B. & Staudinger, U. M. (2011). Cardiovascular and Coordination Training Differentially Improve Cognitive Performance and Neural Processing in Older Adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 1-12.
- Voelcker-Rehage, C. & Niemann, C. (2013). Structural and functional brain changes related to different types of physical activity across the life span. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37 (9), 2268-2295.
- Voelcker-Rehage, C., Tittlbach, S., Jasper, B. M. & Regelin, P. (2013). *Gehirntraining durch Bewegung. Wie körperliche Aktivität das Denken fördert (Wo Sport Spaß macht)*. Aachen: Meyer & Meyer.

- Von Haaren, B., Haertel, S., Stumpp, J., Hey, S. & Ebner-Priemer, U. (2015). Reduced emotional stress reactivity to a real-life academic examination stressor in students participating in a 20-week aerobic exercise training. A randomised controlled trial using Ambulatory Assessment. *Psychology of Sport and Exercise*, 20, 67-75.
- Voss, M. W., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Chaddock, L., Kim, J. S., Alves, H. et al. (2013). Neurobiological markers of exercise-related brain plasticity in older adults. *Brain, behavior, and immunity*, 28, 90-99.
- Voss, M. W., Heo, S., Prakash, R. S., Erickson, K. I., Alves, H., Chaddock, L. et al. (2013). The influence of aerobic fitness on cerebral white matter integrity and cognitive function in older adults: results of a one-year exercise intervention. *Human Brain Mapping*, 34 (11), 2972-2985.
- Wallach, M. A. & Kogan, N. (1965). *Modes of thinking in young children*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Wamser, P. & Leyk, D. (2003). Einfluss von Sport und Bewegung auf Konzentration und Aufmerksamkeit: Effekte eines "Bewegten Unterrichts" im Schulalltag. *Sportunterricht*, 52 (4), 108-113.
- Wegner, C. & Bentrup, M. (2014). Das kreative Denkvermögen naturwissenschaftlich begabter Kinder: Eine empirische Studie im Projekt Kolumbus-Kids. *ABB Information. Jahreshaft*, 61-73. Zugriff am 28.08.2015. Verfügbar unter <http://www.uni-bielefeld.de/biologie/Didaktik/BotZell/ABB/ABB-JB2014.pdf>
- Weiss, U. (1978). Biologische Grundlagen und körperliche Leistungsfähigkeit. In K. Egger (Hrsg.), *Turnen und Sport in der Schule* (7. Aufl., S. 33-61). Bern: Eidgenössische Turn- und Sportkommission.
- Werle, J., Woll, A. & Tittlbach, S. (2006). *Gesundheitsförderung. Körperliche Aktivität und Leistungsfähigkeit im Alter* (Grundriss Gerontologie, Bd. 12, 1. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Westhoff, K. & Hagemeister, C. (2005). *Konzentrationsdiagnostik*. Lengerich: Pabst.
- WHO. (2011). *Global Recommendations on Physical Activity for Health. 5–17 years old*, WHO - World Health Organization. Zugriff am 07.10.2015. Verfügbar unter <http://www.who.int/dietphysicalactivity/publications/physical-activity-recommendations-5-17years.pdf?ua=1>
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic bulletin & review*, 9 (4), 625-636.
- Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A. et al. (2007). High impact running improves learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, 87 (4), 597-609.
- Woll, A. (1996). *Gesundheitsförderung in der Gemeinde. Eine empirische Untersuchung zum Zusammenhang von sportlicher Aktivität, Fitness und Gesundheit bei Personen im mittleren und späteren Erwachsenenalter* (Akademische Reihe Sportmedizin). Neu-Isenburg: LinguaMed.
- Woll, A. (2004). Diagnose körperlich-sportlicher Aktivität im Erwachsenenalter. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 11 (2), 54-70.
- Woll, A. (2006). *Sportliche Aktivität, Fitness und Gesundheit im Lebenslauf. Eine internationale Längsschnittstudie* (Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, Bd. 154). Schorndorf: Hofmann.
- Wulf, G. (2009). *Aufmerksamkeit und motorisches Lernen* (1. Aufl.). München: Elsevier, Urban & Fischer.

- Yagi, Y., Coburn, K. L., Estes, K. M. & Arruda, J. E. (1999). Effects of aerobic exercise and gender on visual auditory P300, reaction time, and accuracy. *European Journal of Applied Physiology* (80), 402-408.
- Yeh, Y.-c., Yeh, Y.-l. & Chen, Y.-H. (2012). From knowledge sharing to knowledge creation: A blended knowledge-management model for improving university students' creativity. *Thinking Skills and Creativity*, 7 (3), 245-257.
- Yerkes, R. M. & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18 (5), 459-482.
- Zelazo, P. D., Craik, F. I. & Booth, L. (2004). Executive function across the life span. *Acta Psychologica*, 115 (2-3), 167-183.
- Zhao, C., Teng, E. M., Summers, R. G., Ming, G.-L. & Gage, F. H. (2006). Distinct morphological stages of dentate granule neuron maturation in the adult mouse hippocampus. *Journal of Neuroscience*, 26 (1), 3-11.
- Zimmermann, P. & Fimm, B. (2012). *TAP, Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung, Version 2.3*. Herzogenrath: Psychologische Testsysteme.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Epidemiologische Einteilung der körperlichen Aktivität, nach Woll (2004, S. 56).	5
Abb. 2	Komponenten körperlicher Aktivität nach Bouchard und Shephard (1994, S. 77).	6
Abb. 3	Komponenten der körperlichen Fitness; mod. nach Caspersen et al. (1985, S. 128).	8
Abb. 4	Modellkurve zum Entwicklungsverlauf der körperlichen Leistungsfähigkeit (Weiss, 1978, S. 58) in Bös (1994, S. 248).	9
Abb. 5	Beispielhafte und schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen kognitiven Funktionen, exekutiven Funktionen und einigen Beispielen exekutiver Funktionen (eigene Darstellung).	14
Abb. 6	Das Yerkes-Dodson-Gesetz (nach Kahneman, 1973, S. 34; zitiert nach Rapp, 1982).	17
Abb. 7	“Plucker and Beghetto’s (2004) conceptualization of domain specificity and generality of creativity” (Plucker und Zabelina, 2009, S. 8; mod.).	22
Abb. 8	Modell zum Einfluss der Kreativität nach Burow (2007, S. 3).	23
Abb. 9	Der kreative Prozess und seine Einflussfaktoren mod. nach (Preiser & Buchholz, 2004, S. 30).	24
Abb. 10	Ausschnitt des Aufmerksamkeits- und Konzentrationstest d2-R von Brickenkamp et al. (2010). Zu sehen sind die ersten 28 Zeichen der Zeilen 1, 2 und 3 des Testbogens. Der Pfeil markiert den Start.	32
Abb. 11	Aufgaben des ASK-Test nach Schuler und Hell (2005). Beispielhaft wird jeweils die erste Aufgabe pro Aufgabentyp dargestellt (a. - d.).	34
Abb. 12	Modell zu den Auswirkungen körperliche Aktivität auf exekutive Funktionen, mod. nach Davis und Lambourne (2009, S. 265).	76
Abb. 13	Unterschiede zwischen direkten und indirekten Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit (eigene Darstellung).	83
Abb. 14	A heuristic diagram for understanding the neurobiology of exercise and physical activity (Dishman et al., 2006, S. 348). ANS=autonomic nervous system; BDNF=brain-derived neurotrophic factor; CNS=central nervous system; CREB=cyclic adenosine monophosphate response element-binding protein; CVD=cardiovascular disease; DS=dopamine; ERK=extracellular signal-regulated kinase; 5-HT=5-hydroxytryptamine; GABA=gamma amino butyric acid; IBD=inflammatory bowel disease; NA=noradrenaline; NFkB=nuclear factor of kappaB; ROS=reactive oxygen species; TrkB=tyrosine residue kinase receptor-type 2; VTA=ventral tegmental area; WAT=white adipose tissue.	86
Abb. 15	Modell des möglicher Zusammenhangs zwischen körperlicher Aktivität und Kognition inkl. Einflussfaktoren mod. nach Hötting und Röder (2013, S. 2253).	87

- Abb. 16 Standardisierte Messwerte (Mittelwerte und Standardabweichungen) der Kennwerte Sorgfalt (a), Bearbeitungsgeschwindigkeit (b) und Konzentrationsleistung (c) des d2-R nach Brickenkamp et al. (2010) zu den Messzeitpunkten t_1 , t_2 und t_3 aufgeteilt nach den Probandengruppen (Z-Werte). * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ 117
- Abb. 17 Standardisierte Messwerte (Mittelwerte und Standardabweichungen) der Kreativen Denkleistung (KD) im SS 2012 (a) und SS 2013 (b) des ASK nach Schuler und Hell (2005) zu den Messzeitpunkten t_1 und t_2 aufgeteilt nach den Probandengruppen (Z-Werte). * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$ 132

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Intensität der körperlichen Aktivität in Abhängigkeit des Lebensalters mod. nach Bouchard et al. (1990, S. 6).	6
Tab. 2	Lernstadien nach Fitts (1964); siehe Wulf (2009).	11
Tab. 3	Stichprobenbeschreibung (Anzahl, Geschlecht, Alter, Fachsemester und Interventionszeitraum).....	113
Tab. 4	Mittelwertunterschiede (einfaktorielle ANOVA/Univariate) zwischen den Probandengruppen Fechten, Parkour und Cardio-Fit.	113
Tab. 5	Deskriptive Statistik des d2-R (standardisierten Kennwerte) zu den Messzeitpunkten t_1 , t_2 und t_3	115
Tab. 6	Mittelwertunterschiede innerhalb der Messzeitpunkte, t_1 , t_2 und t_3 (einfaktorielle ANOVA/ Univariate) zwischen den drei Probandengruppen Fechten, Parkour und Cardio-Fit.	115
Tab. 7	Gruppenvergleiche mit Messwiederholung (rm-ANOVA) innerhalb der Probandengruppen sowie Gesamt (Zeiteffekt) und Interaktion (Zeit×Gruppe; Greenhouse-Geisser).....	116
Tab. 8	Stichprobenbeschreibung (Anzahl, Geschlecht, Alter, Fachsemester und Interventionszeitraum).....	130
Tab. 9	Mittelwertunterschiede (einfaktorielle ANOVA bzw. Univariate) zwischen den Probandengruppen Parkour und Cardio-Fit. Getrennt nach den beiden Studiendurchführungen und gesamt.	130
Tab. 10	Kreative Denkleistung (<i>KD</i> , standartisierter Kennwert) zum Prätest (t_1) und Posttest (t_2); Unterschied der Kreative Denkleistung (Differenz <i>KD</i>) von t_1 zu t_2 ; aufgeteilt nach den beiden Studiendurchführungen.....	131
Tab. 11	Interferenzstatistik zur Kreatives Denkleistung (<i>KD</i> , standartisierter Kennwert); getrennt nach Studiendurchführung und gesamt. Messwiederholung (rm-ANOVA) innerhalb (Gruppeneffekt) und zwischen (Zeiteffekt) den Probandengruppen. Interaktion (Zeit×Gruppe; Greenhouse-Geisser).	132

Anhang

- A Fragebogen zu vertraulichen Probandendaten**
- B Einverständniserklärung Probanden**
- C Fragebogen zum Sportverhalten und Kompetenzerwerb der Probanden (6 Seiten)**

A Fragebogen zu vertraulichen Probandendaten

Studie „Konzentrationsförderung durch Sportfechten“ Christian Kleppel (FoSS, HoC)

Vertrauliche Probandendaten

Bitte füllen Sie die folgenden Seiten gewissenhaft aus. Die von Ihnen angegebenen Daten werden streng vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben. Sie erhalten für den Verlauf der Studie eine ID, die in weiteren Tests benutzt wird um ihre Anonymität zu wahren.

Name:	Vorname:	Geburtsdatum:	Geschlecht:
			<input type="checkbox"/> weiblich <input type="checkbox"/> männlich
Straße, Hausnummer:		PLZ, Wohnort:	
Telefon privat:		Telefon dienstlich:	
E-Mail:			

Demographische Daten

1. Status: : Student sonstiges: _____

2. Studienrichtung: Lehramt Bachelor Master Diplom Promotion
 sonstiges: _____

3. Fakultät:

Mathematik Maschinenbau
 Physik Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik
 Chemie- und Biowissenschaften Elektrotechnik und Informationstechnik
 Informatik Geistes- und Sozialwissenschaften
 Architektur Wirtschaftswissenschaften
 Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaft

4. Studiengang: _____

5. Fachsemester: _____

6. Sind Sie Rechts- oder Linkshänder? links rechts

7. Alter (Jahre): _____

8. Haben sie chronische Erkrankungen? ja nein
Wenn ja, welche?

9. Nehmen Sie Medikamente ein? ja nein
Wenn ja, welche?

Dieser Fragebogen wurde adäquat an alle Probandengruppen zu Beginn der Untersuchung ausgeteilt.

B Einverständniserklärung Probanden



House of Competence

Christian Kleppel
Engler-Bunte-Ring 15
76131 Karlsruhe
Tel.: +49 721 608 4815
Fax: +49 721 608 44841

E-Mail: christian.kleppel@kit.edu

Web: www.hoc.kit.edu
www.sport.kit.edu/foss

Karlsruhe, 16.04.2012

Einverständniserklärung

Wir bedanken uns für Ihre Bereitschaft an der wissenschaftlichen Studie "Konzentrationsförderung durch Sportfechten" teilzunehmen.

Aus rechtlichen Gründen benötigen wir hierfür Ihr schriftliches Einverständnis und bitten Sie daher um Unterzeichnung der nachstehenden Erklärung.

Hiermit erkläre ich mich einverstanden, an der wissenschaftlichen Studie "**Konzentrationsförderung durch Sportfechten**" des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) teilzunehmen. Ich versichere, dass ich über den Inhalt und Ablauf der Studie aufgeklärt worden bin und diesen verstanden habe. Meine Teilnahme ist freiwillig und aus eigenem Entschluss und ich wurde darüber informiert, dass ich die Untersuchung jederzeit, ohne Angaben von Gründen und ohne persönlichen Nachteil beenden kann.

Mit der Speicherung der erhobenen Daten und der anschließenden anonymen, wissenschaftlichen Auswertung bin ich einverstanden. Ich weiß, dass ich bei Rückfragen den Studienleiter unter oben angegebenen Kontaktdaten erreichen kann. Das Absolvieren aller Testzeitpunkte ist an die erfolgreiche Teilnahme des HoC-Seminars „Konzentrationsförderung durch Sportfechten“ gebunden.

Unterschrift Teilnehmer/ Teilnehmerin: _____

Unterschrift Untersuchungsleiter/in: _____

Ort, Datum: _____

Ich möchte über die Ergebnisse dieser Studie informiert werden.

Ich bin bereit mich über weitere Untersuchungen/Folgestudien informieren zu lassen.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Universitätsbereich
Kaiserstr. 12
76131 Karlsruhe

Präsidenten: Prof. Dr. Horst Hippler, Prof. Dr. Eberhard Umbach
Vizepräsidenten: Dr.-Ing. Peter Fritz, Dr. Alexander Kutz,
Prof. Dr.-Ing. Dierfel Löhe

Bundesbank Karlsruhe
BLZ 660 000 00 | Kto. 66 001 508
BIC/SWIFT: MARK DE F1660
IBAN: DE57 6600 0000 0066 0015 08

Diese Einverständniserklärung wurde adäquat an alle Probandengruppen zu Beginn der Untersuchung ausgeteilt.

C Fragebogen zum Sportverhalten und Kompetenzerwerb der Probanden (6 Seiten)

Fragebogen

zur Studie „Kompetenzförderung durch Bewegung“
(Christian Kleppel; FoSS, HoC)

Im Rahmen der Dissertation von Herrn Christian Kleppel im Bereich „Bewegung und Lernen“ am Institut für Sport und Sportwissenschaft des KIT wird im Sommersemester 2012 eine Studie zu den kompetenzfördernden Möglichkeiten von Bewegung durchgeführt. Alle in dieser Befragung gegebenen Antworten werden selbstverständlich streng vertraulich behandelt und dienen lediglich dem wissenschaftlichen Zweck.

Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie sich fünf Minuten Zeit nehmen, um die nachfolgenden Fragen zu beantworten.

Vielen Dank für Ihre Mithilfe, Christian Kleppel (Christian.Kleppel@kit.edu)

Fragen zur Person

1. Name: _____ Vorname: _____

2. Alter: _____ Jahre

3. Geschlecht: weiblich männlich

4. Nationalität: deutsch andere: _____

5. Status: Student sonstiges: _____

6. Fakultät:

- | | |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Mathematik | <input type="checkbox"/> Maschinenbau |
| <input type="checkbox"/> Physik | <input type="checkbox"/> Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik |
| <input type="checkbox"/> Chemie- und Biowissenschaften | <input type="checkbox"/> Elektrotechnik und Informationstechnik |
| <input type="checkbox"/> Informatik | <input type="checkbox"/> Geistes- und Sozialwissenschaften |
| <input type="checkbox"/> Architektur | <input type="checkbox"/> Wirtschaftswissenschaften |
| <input type="checkbox"/> Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaft | |

7. Fachsemester: _____

8. Werden Sie ihr Studium voraussichtlich in Regelstudienzeit abschließen?

Ja Nein noch unklar

Fragebogen zur Studie „Kompetenzförderung durch Bewegung“ von Christian Kleppel (FoSS, HoC)

Fragen zur sportlichen Aktivität

9. Mussten Sie auf Grund ihres Studiums Veränderungen in ihrem Sportverhalten in Kauf nehmen?

Ich treibe seit Studienbeginn

sehr viel weniger genauso viel sehr viel mehr

Sport

10. Sind Sie außerhalb dieses Sportkurses sportlich aktiv? Ja Nein

➤ Bitte tragen Sie hier alle Ihre sportlichen Aktivitäten ein.

11. Welche sportlichen Aktivitäten führen Sie aus & seit wann?	12. Wo wird die sportliche Aktivität betrieben?	13. Wie häufig & wie lange betreiben Sie die jeweilige sportliche Aktivität?	14. Wie sehr strengen Sie sich in der Regel dabei an?
a) _____ seit _____ Jahren	<input type="checkbox"/> Verein <input type="checkbox"/> Kommerziell (Fitnessstudio) <input type="checkbox"/> Privat <input type="checkbox"/> Uni/Hochschule <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____	_____min/Woche	<input type="checkbox"/> locker und leicht(ohne Schwitzen und Kurzatmigkeit/schnaufen) <input type="checkbox"/> flott und zügig (etwas Schwitzen und Kurzatmigkeit/schnaufen) <input type="checkbox"/> hart und anstrengend (deutliches Schwitzen und Kurzatmigkeit/schnaufen)
b) _____ seit _____ Jahren	<input type="checkbox"/> Verein <input type="checkbox"/> Kommerziell (Fitnessstudio) <input type="checkbox"/> Privat <input type="checkbox"/> Uni/Hochschule <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____	_____min/Woche	<input type="checkbox"/> locker und leicht(ohne Schwitzen und Kurzatmigkeit/schnaufen) <input type="checkbox"/> flott und zügig (etwas Schwitzen und Kurzatmigkeit/schnaufen) <input type="checkbox"/> hart und anstrengend (deutliches Schwitzen und Kurzatmigkeit/schnaufen)
c) _____ seit _____ Jahren	<input type="checkbox"/> Verein <input type="checkbox"/> Kommerziell (Fitnessstudio) <input type="checkbox"/> Privat <input type="checkbox"/> Uni/Hochschule <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____	_____min/Woche	<input type="checkbox"/> locker und leicht(ohne Schwitzen und Kurzatmigkeit/schnaufen) <input type="checkbox"/> flott und zügig (etwas Schwitzen und Kurzatmigkeit/schnaufen) <input type="checkbox"/> hart und anstrengend (deutliches Schwitzen und Kurzatmigkeit/schnaufen)

Fragebogen zur Studie „Kompetenzförderung durch Bewegung“ von Christian Kleppel (FoSS, HoC)

15. Ich nehme an diesem Sport-Kurs teil...

	trifft überhaupt nicht zu					trifft voll und ganz zu				
um Spaß zu haben	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
um ECTS-Punkte für mein Studium zu sammeln	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
um etwas für meine Gesundheit zu tun	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
um etwas für meine Figur zu tun	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
um mich ab zu reagieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
um meine Kreativität zu verbessern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
um meine Kräfte mit anderen zu messen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
um mich fit zu halten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
um meine Konzentration zu verbessern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
um meine Leistungsfähigkeit zu verbessern	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fragebogen zur Studie „Kompetenzförderung durch Bewegung“ von Christian Kleppel (FoSS, HoC)

Fragen zur Kreativität

16. Wie kreativ würden Sie sich selbst einschätzen?

sehr un kreativ durchschnittlich sehr kreativ

17. Haben Sie im Untersuchungszeitraum (Sommersemester 2012) spezielle Veranstaltungen (z.B. Schulungen, Trainings oder Übungen) besucht, um Ihre kreativen Fähigkeiten/Kreativität zu verbessern?

Ja Nein

Wenn ja, wie? _____

18. Welche Rolle spielt Kreativität in ihrem Studienfach um dieses erfolgreich anzuschließen?

keine Rolle mittelmäßig sehr große Rolle

19. In welchen Bereichen ihres Alltags (Studium, Arbeit & Freizeit) spielt Kreativität eine große Rolle?

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

Fragebogen zur Studie „Kompetenzförderung durch Bewegung“ von Christian Kleppel (FoSS, HoC)

Fragen zur Konzentration

20. Wie leicht/schwer fällt es Ihnen, sich zu konzentrieren?

sehr schwer durchschnittlich sehr leicht

21. Haben Sie im Untersuchungszeitraum (Sommersemester 2012) spezielle Veranstaltungen (z.B. Schulungen, Trainings oder Übungen) besucht, um Ihre mentalen Fähigkeiten/Konzentration zu verbessern?

Ja Nein

Wenn ja, wie? _____

22. Welche Rolle spielt Konzentration in ihrem Studienfach um dieses erfolgreich anzuschließen?

keine Rolle mittelmäßig sehr große Rolle

23. In welchen Bereichen ihres Alltags (Studium, Arbeit & Freizeit) spielt Konzentration eine große Rolle?

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

Fragebogen zur Studie „Kompetenzförderung durch Bewegung“ von Christian Kleppel (FoSS, HoC)

Frage zur Situation

24. Gibt es nach Ihrer Einschätzung Gründe/Lebensumstände (z. B. akuter Schlafmangel, Erkrankungen, Medikamente, Drogen), die eine Verzerrung ihrer Testergebnisse hervorrufen könnten?

Ja

Nein

Wenn ja, welche?

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

Vielen Dank, dass Sie sich Zeit genommen haben, um diesen Fragebogen auszufüllen und für Ihre Teilnahme an der Studie von Herrn Christian Kleppel!

Seite 6

Dieser Fragebogen wurde adäquat an alle Probandengruppen zu Beginn der Untersuchung ausgeteilt.