

Der Einfluss von Sport auf kognitive Funktionen bei Kindern mit ADHS

Katrin Lehnert

Institut für Bewegungswissenschaft, Universität Hamburg

Zusammenfassung. Der positive Einfluss sportlicher Aktivitäten auf kognitive und exekutive Funktionen (EF) wurde mittlerweile vielfach aufgezeigt. EF stellen zugleich ein zentrales Defizit bei ADHS dar, weshalb betroffene Kinder und Jugendliche im Besonderen von sportlichen Aktivitäten profitieren könnten. Dieser Überblicksbeitrag verfolgt das Ziel, den aktuellen Forschungsstand zum Einfluss von sportlichen Aktivitäten auf Kognitionen allgemein und im Besonderen auf EF für Kinder und Jugendliche mit ADHS aufzuzeigen sowie auf einer theoretisch-konzeptionellen Ebene Erklärungsansätze zu liefern. Es wird deutlich, dass eine heterogene Befundlage vorliegt, die unter anderem mit einer zu geringen Differenzierung der sportlichen Aktivitäten begründet wird. Interessante sportspezifische Erklärungen stammen aus der aktuellen Kognitionsforschung an gesunden Kindern und Jugendlichen, wo eine physiologische und/oder kognitive Aktivierung durch sportliche Aktivitäten diskutiert wird. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in ein Rahmenmodell von Tomporowski, Lambourne und Okumura (2011) ein, welches für den Anwendungsbereich von ADHS adaptiert wurde, und wo bereits identifizierte Mediatoren und Moderatoren im Sport-Kognitions-Zusammenhang beinhaltet sind.

Schlüsselwörter: ADHS, sportliche Aktivität, Kognition, Exekutive Funktionen

The influence of exercise on cognitive functions in children with ADHD

Abstract. Numerous studies have shown the positive effects of exercise on cognitive functions and particularly on executive functions (EF). With EF being considered as one of the central deficits in ADHD, these children and adolescents can benefit from exercise in particular. In this survey article the current state of research on the influence of exercise on cognition in general and on EF in particular is being presented. Heterogeneous findings can be revealed and amongst other reasons be explained by too little differentiation of exercise. In order to answer the question *which* sports-specific features actually evoke certain cognitive effects, current developments in sports-specific cognition research on healthy children and adolescents are being discussed. In the final section a frame model adapted by Tomporowski, Lambourne, and Okumura (2011) is introduced. This working model comprises the identified mediators and moderators in the sport-cognition interrelation and is extended to apply to ADHD.

Key words: ADHD, exercise, cognition, executive functions

Der positive Einfluss von sportlichen Aktivitäten auf kognitive Funktionen konnte bereits in einer Vielzahl von Studien an Erwachsenen und inzwischen auch an Kindern und Jugendlichen¹ aufgezeigt werden (für einen Überblick vgl. Best, 2010). Dabei scheinen unter den verschiedenen kognitiven Prozessen (z. B. basale Prozesse der kognitiven Informationsverarbeitung) die EF am besten durch sportliche Aktivitäten beeinflussbar zu sein (Barenberg, Berse & Dutke, 2011). Diese beinhalten diejenigen (meta-)kognitiven Prozesse, die für ein organisiertes, kontrolliertes, zielorientiertes Verhalten notwendig sind. In ihrer Metaanalyse

konnten Willcutt, Doyle, Nigg, Faraone und Pennington (2005) bestätigen, dass bei ADHS genau hier ein zentrales Funktionsdefizit liegt, weshalb auch von der „Executive Function Theory“ gesprochen wird. Aus der Tatsache, dass einerseits die EF besonders gut durch sportliche Aktivitäten beeinflussbar sind und andererseits Kinder mit ADHS in diesem Bereich Defizite aufweisen, schließen Halperin und Healey (2011), dass sportliche Aktivitäten *vor allem* für Kinder mit einer ADHS-Diagnose oder mit ADHS-Symptomen eine gute Option darstellen. Trotzdem stellen Gapin, Labban und Etnier (2011) fest, dass erstaunlich wenig Forschung in diesem Bereich durchgeführt wurde.

Ein weiterer Grund für das große Potenzial von sportlichen Aktivitäten als alternativen bzw. zusätzlichen Interventionsansatz wird darin gesehen, dass ADHS häufig als kortikale Entwicklungsverzögerungsstörung beschrieben wird (Halperin, Bédard &

¹ Im Folgenden wird nur noch von Kindern gesprochen, obgleich Jugendliche mit eingeschlossen sind. In Bezug auf das Alter ist die Verwendung der Begriffe in der Literatur uneinheitlich. In den Studien wird meist eine Altersspanne von 6–17 Jahren zugrunde gelegt, wobei deutlich mehr Studien an Kindern im vorpubertären Stadium zu finden sind.

Curchack-Lichtin, 2012). Dies zeigen Untersuchungen, die auf ein reduziertes Volumen im zerebralen (vor allem präfrontalen) Kortex, in den Basalganglien sowie im Cerebellum bei Kindern mit ADHS im Vergleich zu gesunden Kindern hinweisen (Shaw, Gogtay & Rapoport, 2010). Auf der Basis dieser Studienergebnisse wird geschätzt, dass die kortikale Reife von Kindern mit ADHS um zwei bis drei Jahre verzögert ist. Berwid und Halperin (2012) nehmen an, dass durch die Entwicklung von höheren kortikalen Funktionen die zugrundeliegenden Defizite kompensiert werden könnten, was mit einer Verbesserung der ADHS-Symptomatik einhergehen sollte. Entsprechend seien Interventionen, die neuronales Wachstum anregen, effektiver als reine Verhaltensmodifikationen und könnten andauernde Veränderungen der ADHS-Symptomatik hervorrufen. Mit neuronalem Wachstum sind Prozesse wie die Ausbildung neuer Neuronen (Neurogenese), die Zunahme an synaptischen Verbindungen zwischen Neuronen (Synaptogenese), die Zunahme an kapillaren Gefäßen im Gehirn (Angiogenese) und eine vermehrte Ausschüttung von Neurotrophinen (z. B. BDNF) gemeint. Neben kognitiven Trainingsprogrammen, die auf neuropsychologischer Ebene den Abbau von Funktionsdefiziten zum Ziel haben (z. B. ATTENTIONER; Jacobs & Petermann, 2008), werden von Berwid und Halperin (2012) vor allem sportliche Interventionen angeführt. Dabei sollen *vor allem* Kinder profitieren, da in diesem Altersabschnitt die größte neuronale Plastizität vorliegt (z. B. Halperin & Healey, 2011). Allerdings besteht Uneinigkeit darüber, in welchem Zeitabschnitt die größte Plastizität vorhanden ist. Während Sibley und Etnier (2003) für 8–11-Jährige die größten Effektstärken fanden ($ES_{8-11.J.} = 0.48$ vs. $ES_{12-16.J.} = 0.24$), konnten Chang und Kollegen (2012a) für 14–17-Jährige größere Effektstärken aufdecken als für 6–13-Jährige ($ES_{14-17.J.} = 0.17$ vs. $ES_{6-13.J.} = 0.07$). Diese unterschiedlichen Ergebnisse könnten evtl. durch die Interaktion der Variablen Alter und kognitive Aufgabe erklärt werden (Best, 2010): So ist wahrscheinlich im späten Kindesalter die Inhibitionskontrolle sensibler als die kognitive Flexibilität.

Wenn also ADHS-Kinder in ihrer kognitiven Entwicklung verzögert sind (Entwicklungsverzögerungsannahme) und diesen Defiziten durch sportliche Aktivitäten entgegengewirkt werden kann (neuronale Plastizität), erscheint es sinnvoll, dass sportspezifische Interventionen so früh wie möglich ansetzen. Vor diesem Hintergrund werden vor allem sekundär präventive Interventionen bei ADHS empfohlen, die Kinder mit einem ADHS-Risiko (d. h. mit Symptomen, aber noch keiner klinischen Diagnose) im Blick haben (z. B. Halperin et al., 2012).

Neben den angeführten Argumenten, die auf neuropsychologischer Ebene das große Potenzial von sportlichen Aktivitäten verdeutlichen, ist eine höhere

Akzeptanz von sportspezifischen Interventionsformen gegenüber den herkömmlich zum Einsatz kommenden Therapieformen zu erwarten. Obgleich die Wirksamkeit für pharmakologische und/oder verhaltenstherapeutische Methoden in einer Vielzahl von Studien belegt werden konnte (für einen Überblick vgl. Conners, 2002; Pelham & Fabiano, 2008), gibt es eine Reihe von Einschränkungen. Bei der Stimulanzientherapie sind die Effekte eher kurzfristig, weisen oftmals nicht erwünschte Nebenwirkungen und eine hohe Non-Responderrate von ca. 15–30 % auf. Diese Umstände führen häufig dazu, dass Eltern eine Medikation ihrer betroffenen Kinder ablehnen. Sowohl bei pharmakologischen als auch verhaltenstherapeutischen Behandlungsansätzen besteht darüber hinaus das Problem, dass die Wirkungen der Treatments in der Regel nicht über die Dauer der Anwendung hinausgehen und „resurface when treatment is no longer active“ (Halperin und Healey, 2011). Konsequenterweise müssten bei einer chronischen Störung wie ADHS langfristige Treatments zur Anwendung kommen, doch ist die Bereitschaft sowohl für die kontinuierliche Einnahme von Stimulanzien als auch für eine dauerhafte Psychotherapie eher gering. Hingegen spricht für eine dauerhafte Ausübung sportlicher Aktivitäten deren vergleichsweise hoher Anreiz (Gabler, 2002). Die hiermit im Zusammenhang stehende höhere Therapiemotivation erscheint vor dem Hintergrund eines Störungsbildes mit verschiedenen motivationalen Defiziten (z. B. Luman, Oosterlaan, & Sergeant, 2005) besonders interessant. Zudem sind aus der Gesundheitsverhaltensforschung bereits viele Faktoren bekannt, die die Aufnahme und Aufrechterhaltung von sportlichen Aktivitäten (im Sinne einer Lebensstilveränderung) positiv beeinflussen (z. B. Passung von Motiven und Sportangebot).

Aufgrund des aufgezeigten großen Potenzials von sportlichen Aktivitäten bei ADHS hat dieser Überblickebeitrag zum Ziel, den aktuellen Forschungsstand zum Einfluss von sportlichen Aktivitäten auf kognitive und speziell auf EF bei Kindern mit ADHS aufzuarbeiten. Darüber hinaus sollen aktuelle Entwicklungen aus der sportspezifischen Kognitionsforschung diskutiert werden, um sportspezifische Erklärungen für den Effekt einzubeziehen. Abschließend wird auf einer konzeptionellen Ebene ein Rahmenmodell zur Integration der empirischen Befunde vorgeschlagen. Für ein besseres Verständnis von ADHS wird zunächst näher auf das Störungsbild eingegangen.

Störungsbild, Genese und Verlauf der ADHS

Bei der ADHS handelt es sich um eine der häufigsten psychischen Störungen im Kindes- und Jugendalter

(mit Prävalenzraten von ca. 5 %; Huss, Hölling, Kurth & Schlack 2008), wobei mehr Jungen als Mädchen betroffen sind (ca. 5:1). Die drei Kernsymptome Unaufmerksamkeit, Impulsivität und Hyperaktivität sind oftmals bereits im Vorschulalter zu beobachten, wobei sich die Problematik meist mit Schuleintritt deutlich verschlimmert. Es werden nach DSM-Klassifikation drei Subtypen unterschieden: ADHS des kombinierten Subtyps (alle drei Symptome liegen vor), ADHS des vorwiegend unaufmerksamen Subtyps und ADHS des vorwiegend hyperaktiv-impulsiven Subtyps. In 2/3 der Fälle werden komorbide Störungen diagnostiziert (z. B. oppositionelle Störung, affektive Störung, Lernstörung). Bei ungefähr 30 % der Betroffenen persistiert ADHS bis ins Erwachsenenalter, womit der chronische Charakter des Störungsbildes deutlich wird oder wie Halperin und Healey (2011) schreiben: „the disorder is never really ‚cured‘ or ‚out-grown““. Üblicherweise geht man bei ADHS von einer multifaktoriellen Genese aus, wobei die primär verursachende Ebene verschiedene Kandidatengene sind. Laut einer Metaanalyse von Faraone und Kollegen (2005) beläuft sich der durch genetische Variation bedingte Varianzanteil der ADHS-Symptome auf 76 %.

Neurobiologische Korrelate

Auf neurobiologischer Ebene zeigen sich entsprechende Korrelate wie Auffälligkeiten in aufgabenabhängigen Hirnaktivitäten sowie in Volumenänderungen vor allem im Frontalkortex. Zudem scheinen vor allem katecholaminerge Neurotransmittersysteme betroffen zu sein, die für die Regulierung von Motorik, Aufmerksamkeit und EF verantwortlich sind (für einen Überblick vgl. Banaschewski, Rössner, Übel & Rothenberger, 2004). So konnte gezeigt werden, dass der Botenstoff Dopamin aufgrund einer zu hohen Dopamintransporterdichte in der präsynaptischen Zelle aus dem synaptischen Spalt zurücktransportiert wird und deshalb in einer zu geringen Konzentration bei der Empfängerzelle ankommt.

Kognitive Defizite

Auf einer neuropsychologischen Ebene stehen kognitive Probleme im Vordergrund, wobei im Besonderen die EF betroffen sind (Willcutt et al., 2005). Bei den EF handelt es sich um ein heterogenes Konstrukt mit einer Vielzahl an subsumierten kognitiven Funktionen, weshalb auch von einem ‚umbrella term‘ gesprochen wird (Etnier & Chang, 2009). Nach dem wohl bekanntesten neuropsychologischen Erklärungsmodell von Barkley (1997) ist bei ADHS eine defizitäre Verhaltenshemmung (Inhibitionskontrolle: Unterdrückung

einer dominanten Antworttendenz, Unterbrechung einer bereits begonnenen Antwort und Kontrolle von Interferenz) kennzeichnend. Diese mangelhafte Verhaltenshemmung führt dann zu weiteren Störungen in vier EF: Nonverbales und verbales Arbeitsgedächtnis, Regulation von Affekt, Arousal und Motivation und Fähigkeit zur Rekonstitution (z. B. Wissen neu kombinieren, Planungsfähigkeit). Ein anderes in Untersuchungen häufig verwendetes Rahmenmodell teilt EF in die drei Komponenten (1) Inhibitionskontrolle, (2) Arbeitsgedächtnis und Monitoring sowie (3) kognitive Flexibilität (flexibler Wechsel zwischen verschiedenen Aufgabenmerkmalen) ein (Miyake et al., 2000). Des Weiteren sind bei ADHS verschiedene Aufmerksamkeitssysteme (z. B. selektive und geteilte Aufmerksamkeit, Daueraufmerksamkeit) betroffen, die konzeptionell nicht den EF zugeordnet werden.

Verhaltensauffälligkeiten

Auf Verhaltensebene zeigen sich die bekannten Kernsymptome der ADHS Unaufmerksamkeit, Hyperaktivität und Impulsivität, wobei in jüngerer Zeit davon ausgegangen wird, dass Hyperaktivität und Impulsivität nur eine Dimension darstellen. So fanden Willcutt und Kollegen (2012) in ihrer Metaanalyse die stärksten Belege für die beiden Dimensionen Unaufmerksamkeit und Hyperaktivität/Impulsivität. In Folge einer ADHS können sekundäre Probleme auf sozialer und emotionaler Ebene entstehen, die von Verhaltens- und Erlebensauffälligkeiten (aggressives Verhalten, depressive Stimmung) bis hin zu manifesten klinischen Störungen (z. B. Störung des Sozialverhaltens, Angststörung) reichen. Außerdem zeigen Studien, dass Kinder mit ADHS über schlechtere vor allem (fein-)motorische Fähigkeiten und Fertigkeiten verfügen (z. B. Fliers et al., 2010), weniger sportlich aktiv (insbesondere in Mannschaftssportarten) und häufiger adipös sind (für einen Überblick vgl. Seelig, 2012). Während die Entstehung von ADHS vorwiegend genetisch determiniert ist, können verschiedene moderierende Risiko- (z. B. negative Eltern-Kind-Interaktionen) und Schutzfaktoren (z. B. Erleben von sozialer Unterstützung, hohe Selbstwirksamkeit) den Verlauf und Schweregrad der Störung maßgeblich beeinflussen (Heinrichs & Lohaus, 2011).

State of the Art zum Einfluss sportlicher Aktivitäten auf EF bei Kindern mit ADHS

Nachfolgend werden im ersten Teil empirische Studien vorgestellt, die folgende Kriterien erfüllen: (1) Die Studien wurden an Kindern mit einer klinisch relevan-

Tabelle 1. Übersicht aktueller Evaluationsstudien, die den Einfluss bewegungsorientierter Interventionen auf kognitive Funktionen bei (A) Kindern und Jugendlichen mit ADHS und (B) gesunden Kindern und Jugendlichen untersuchen

Studie	Stichprobe	Störungsbild/ Setting/ Rekrutierung	Intervention/ sportliche Aktivität	Treatment: Belastungs- parameter	Design	abhängige Variablen	Messinstru- mente	Ergebnisse
(A) ADHS: akute Aktivität								
Chang et al. (2012b)	$n = 20$ (EG), $n = 20$ (KG), 93 % männl. $M = 10,4$ J.	ADHS- Diagnose (alle Subtypen)	EG: Laufband KG: Video anschauen	30min moderate Intensität (50–70 %) $12 < RPE < 15$	Prä-Peri-Post Messungen ZTP = 1 min	Interferenz/sel. Aufmerksamkeit Set-Shifting/ Problemlöse- fähigkeit	Stroop-Test WCST	Verbesserungen der EG
Medina et al. (2010)	$n = 16$ Jungen mit Medi- kation, $n = 2 =$ 9 Jungen ohne Medikation, $M = 9,3$ J.	ADHS- Diagnose	EG: intensive (supra- threshold) Ergometer- belastung keine KG (Normwerte als Vergleich)	30min Hf-Vorgabe: zwischen 165–170	Prä-Post- Follow-Up Design ZTP = direkt nach Aktivität	Dauerauf- merksamkeit	CPT-II	kein Unterschied in EF zwischen Subgruppen mit und ohne Medikation; Verbesserung der Auf- merksamkeit
(A) ADHS: regelmäßige Aktivität								
Gapin & Etnier (2010)	$N = 18$ Jungen, $M = 10,6$ J., alle mit Medikation	ADHS- Diagnose (alle Subtypen) 45 % mind. eine kS	jegliche Art von körperlicher Aktivi- tät (Messung über Akzelerometer)	1 Woche	Prä-Post- Design keine KG keine Inter- vention	EF (Verhaltens- hemmung, Planung, AG, Verarbeitungs- geschwindigkeit)	CPT-II TOL DS CCTT 1 & 2	Verbesserungen bei Pla- nungsaufgaben; bis auf einen Subtest sign. Korre- lation zwischen körperl. Akt. und EF in erwarteter Richtung
Kang et al. (2011)	$n_{EG} = 15$ $M_{EG} = 8,4$ J. $n_{KG} = 13$ $M_{KG} = 8,6$ J.	ADHS Diagnose	EG: aerobe Laufspiele, Seil- springen + Medikation KG: VT-Training + Medikation	6 Wochen je 2×90 min submaximale Intensität	Prä-Post- Design	EF: visuelle Aufmerksamkeit Informationsverar- beitungsgeschwin- digkeit/AG	DST TMT-B K-ARS-PT SSRS	Verbesserungen der EG in den EF, teilweise auch in Kernsymptomen (Un- aufmerksamkeit); Ver- besserungen in sozialen Fertigkeiten (Kooperati- onsfähigkeit)

Table 1. Übersicht aktueller Evaluationsstudien, die den Einfluss bewegungsorientierter Interventionen auf kognitive Funktionen bei (A) Kindern und Jugendlichen mit ADHS und (B) gesunden Kindern und Jugendlichen untersuchen (Fortsetzung)

Studie	Stichprobe	Störungsbild/ Setting/ Rekrutierung	Intervention/ sportliche Aktivität	Treatment: Belastungs- parameter	Design	abhängige Variablen	Messinstru- mente	Ergebnisse
Smith et al., 2011	$n = 14$ (43 % männlich) $M = 6.7$ J.	mind. 4 ADHS-Symptome auf der DBD-Rating- skala	EG = Spiele und Laufformen im Stationsbetrieb	8 Wochen (5×30 min) MVPA jeweils vor dem Schul- unterricht	Prä-Peri- Post-Design keine KG	EF: Verhaltens- hemmung, Set Shifting, Planungs-Subtests aus fähigkeits, visuelles WPPSI-R und verbales AG Verhaltens- symptome (in Schule und zu Hause) fein- und grobmot. Fertigkeiten	Prä-Post: BOT-2 Verhaltens- Subtests aus WPPSI-R bzw. WISC-III, WRAML-2; WJ-III; Wöchentlich: „Simon Says“- Spiel, „Red Light“-Spiel (beide Inhibi- tion) PMCTTRS	vor allem Verbesserungen der Verhaltenshemmung, Verbesserungen „proble- sen“ (Unterbrechungen, nicht beabsichtigtes aggressives Verhalten), Verbesserungen im „ove- rall functioning“ sowie motorischer Fähigkeiten
Verret et al. (2012)	$n = 10$ (EG) $n = 11$ (KG) $M = 9.1$ J.	ADHS- Diagnose (Ausschluss ADHS-I sowie Kinder mit LS)	EG = Mischung aus Ballsportarten, Fangspielen, funk- tionellen Übungen KG = keine Interven- tion	10 Wochen je 3×45 min MVPA ($M_{\text{hr}} = 154$)	Prä-Post- Test	EF (Aufmerksam- keit, Verhaltens- hemmung) ADHS-Kern- symptomatik Mot. Fähigkeiten	CBCL (Eltern und Lehrer) TGMD-2 Tea-Ch	nur zum Teil Verbesserun- gen in EF Informationsve- rarbeitungsgeschwindigkeit, Daueraufmerksamkeit), Verhaltensmaßen (soz. Aufälligkeiten, Unauf- merksamkeit, Impulsivität) und grobmotorischen Fähigkeiten

Table 1. Übersicht aktueller Evaluationsstudien, die den Einfluss bewegungsorientierter Interventionen auf kognitive Funktionen bei (A) Kindern und Jugendlichen mit ADHS und (B) gesunden Kindern und Jugendlichen untersuchen (Fortsetzung)

Studie	Stichprobe	Störungsbild/ Setting/ Rekrutierung	Intervention/ sportliche Aktivität	Treatment: Belastungs- parameter	Design	abhängige Variablen	Messinstru- mente	Ergebnisse
(B) aktuelle Entwicklungen aus der sport-spezifischen Kognitionsforschung: akute Aktivität								
Best (2012)	N = 33, 61 % männl., M = 8.1 J.	gesund	EG1 = I↓+kA↓: Video anschauen; EG2 = I↓+kA↑: Videospiel mit Joystick (Parcours mit Hindernissen); EG3 = I↑+kA↓: Exergame-Videospiel (Marathon); EG4 = I↑+kA↑: Exergame-Videospiel (Outdoor-Challenge: Parcours mit Hindernissen).	20 min	2 × 2 within-subject experimental design ZTP = 2min	Visuell-räumliche Interferenz	ANT-C (modifizierte Flanker-Aufgabe)	Schnellere RZ bei der Kontrolle von visuell-räumlicher Interferenz bei EG3 und EG4. Nur Intensität hatte Einfluss; kein zusätzlicher Effekt durch hohe kognitive Anstrengung (EG3 = EG4)
Budde et al. (2008)	n _{EG} = 47 (77 % männl.) n _{KG} = 52 (85 % männl.) M = 15.0 J.	gesund	EG = beidseitige Koordinationenübungen mit dem Ball KG = normale Sportstunde ohne koordinative Beanspruchung	10 min moderate Intensität M _{fir} = 122	Prä-Post-Design ZTP: sofort nach Treatment	Selektive Aufmerksamkeit	d2-Test	Verbesserungen in beiden Gruppen; größere Leistungssteigerung der EG
Pesce et al. (2009)	N = 52, Mädchen und Jungen 11 – 12 Jahre	gesund	EG1 = aerobes Zirkeltraining (wenig kogn. Anstrengung) EG2 = Mannschaftssportarten (viel kogn. Anstrengung)	40 min MVPA; Hf-Vorgabe > 139 Test EG1: M _{fir} = 146 EG2: M _{fir} = 137	Prä-Post-Follow-Up Test KG ZTP = 5 – 8min	Gedächtnisleistung	free-recall immediate (nach 100 sec) und delayed (nach 12 min) Gedächtnisaufgaben	tendenziell bessere Gedächtnisleistungen der EG2; EG1 stellt intermittierende Gruppe zwischen KG und EG2 dar.

Anmerkungen: ADHS-I = ADHS vom unaufmerksamen Typus; AG = Arbeitsgedächtnis; EG = Experimentalgruppe; EF = Exekutive Funktionen; eVs = externalisierte Verhaltensstörung; KG = Kontrollgruppe (teilweise mit anderen Treatments); KS = komorbide Störung; LS = Lernstörungen; MVPA = moderate-to-vigorous physical activity; VT = Verhaltenstherapeutisch; ZTP = Zeitraum Treatmentende-Posttest; Messinstrumente: ANI-C = Child Attention Network Test; BOT-2 = Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency-2; CBCL = Child-Behavior-Checklist; CCTT 1 & 2 = Children's Color Trails Tests 1 und 2; CPT-II = Conners' Continuous Performance Test II; DBD = Disruptive Behavior Disorders Ratingskala; DS = Digital Span; DST = Digit Symbol Test; KARS-PT = Koreanische Version der DuPaul's ADHS Ratingskala für Eltern und Lehrer; PMCTTRS = Pittsburgh Modified Conners Teacher Rating Scale; RPE = Rate of Perceived Exertion nach Borg; SSRS = Social Skills Rating System; Tea-Ch = Test of Everyday Attention for Children; TGM2-2 = Test of Gross Motor Development-2; TOL = Tower of London; TMT-B = Trail Making Test part B; WCST = Wisconsin Card Sort Test; WISC-III = Wechsler Intelligence Scale for Children-III; WJ-III = Woodcock-Johnson III Tests of Cognitive Abilities; WPPSI-R = Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence-Revised; WRAML-2 = Wide Range Assessment of Memory and Learning-2.

ten ADHS (Diagnosestellung durch Mediziner) bzw. mit ADHS-Symptomen² durchgeführt. (2) Unter einer sportlichen Aktivität wird in Anlehnung an Fuchs und Schlicht (2012) eine körperliche Aktivität verstanden, „welche die typischen Bewegungsinszenierungen des Sports übernimmt, ohne zwangsläufig den Charakteristiken des Sports (Wettkampf, Rekord und formale Chancengleichheit) zu folgen“. Semantisch entsprechen sportliche Aktivitäten dem im englischen verwendeten Begriff „*exercises*“, also Aktivitäten, die als geplant, strukturiert, sich wiederholend und zielgerichtet beschrieben werden (Caspersen, Powell & Christenson, 1985) und mit dem Ziel der Erhaltung oder Verbesserung der Fitness verbunden sind. Damit beinhaltet der Begriff sportliche Aktivität den enger gefassten Begriff Sport, wird aber von dem weiter gefassten Begriff der körperlichen Aktivitäten (*physical activity*, PA) abgegrenzt, die zusätzlich zu sportlichen Aktivitäten routinemäßige Alltagsaktivitäten im Beruf oder in der Freizeit beinhalten. Obgleich in den hier vorgestellten Studien oftmals von PA gesprochen wird, war entscheidend, dass es sich bei der PA um eine sportliche Aktivität im hier definierten Sinne handelt.

(3) Die Wirkung einer längerfristigen sportspezifischen Intervention oder eines einmaligen sportlichen Treatments auf kognitive Funktionen respektive EF wurde in einem mindestens quasi-experimentellen Prä-Post-Design untersucht.³ Es werden hier alle Studien aufgeführt, die den oben genannten Kriterien entsprechen und über sportwissenschaftliche, psychologische und medizinische Datenbanken gefunden werden konnten (vgl. Tab. 1). Im zweiten Teil wird eine Auswahl an Studien vorgestellt, die aktuelle Entwicklungen in der sportspezifischen Kognitionsforschung (an gesunden Kindern) widerspiegeln und im Hinblick auf sportspezifische Erklärungen für die ADHS-Thematik von Interesse sind.

Untersuchungen an Stichproben mit ADHS

Akute Effekte durch sportliche Aktivitäten (single bouts)

Medina und Kollegen (2010) erfassten die akuten Effekte einer intensiven 30-minütigen Ergometerbelas-

² In der Studie von Smith und Kollegen (2011) wurden Kinder mit einem ADHS-Risiko untersucht, die eine bestimmte Anzahl von ADHS-typischen Symptomen zeigten. Zur Diagnostik wurde ein standardisiertes Instrument zur Erfassung der ADHS Symptomstärke auf der Basis der DSM-IV Kriterien im Lehrer- und Elternurteil verwendet.

³ Eine Ausnahme stellt die Studie von Gapin und Etnier (2010) dar, die keine Intervention durchführten.

tung auf die Daueraufmerksamkeit bei Kindern mit ADHS, die Methylphenidat einnahmen, im Vergleich zu Kindern mit ADHS ohne Medikation. Bei beiden Gruppen kam es zu einer Verbesserung der Reaktionszeiten, der Vigilanz und der Impulsivität, wobei kein Unterschied in der Größe der Effekte zwischen den Gruppen gefunden wurde. Dieses Ergebnis interpretieren die Autoren so, dass Kinder mit ADHS ihre Aufmerksamkeitsleistung durch sportliche Aktivitäten unabhängig von einer Medikation verbessern können. Chang, Liu, Yu und Lee (2012b) untersuchten den Einfluss einer 30-minütigen moderat intensiven Laufbandbelastung auf die selektive Aufmerksamkeit/Interferenz sowie die kognitive Flexibilität bei Kindern mit ADHS. Dabei zeigte die Aktivitätsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant bessere Leistungen in ihrer Aufmerksamkeit, als auch in bestimmten Leistungsmaßen der kognitiven Flexibilität.

Dauerhafte Effekte durch sportliche Aktivitäten (chronic)

Gapin und Etnier (2010) erfassten das wöchentliche Ausmaß der körperlichen Aktivität bei Kindern mit ADHS mit Hilfe von Akzelerometern und konnten einen Zusammenhang zwischen dem Ausmaß an körperlicher Aktivität und den Verbesserungen in den EF (Verhaltenshemmung, Planungsfähigkeit, Arbeitsgedächtnis und Informationsverarbeitung) zeigen. Dieser war besonders stark für den Bereich der Planungsfähigkeit, der als ein zentrales Defizit bei Kindern mit ADHS identifiziert wurde (Willcutt et al., 2012). Verret, Guay, Berthiaume, Gardiner und Béliveau (2012) überprüften die Effekte einer zehnwöchigen Intervention sowohl auf die EF als auch auf die Kernsymptomatik und die motorischen Fähigkeiten. Die Intervention beinhaltete bei mittlerer bis intensiver Intensität eine Mischung aus Ballsportarten, Fangspielen und funktionellen Übungen. Nur bei der EG zeigten sich Effekte auf die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, die Daueraufmerksamkeit sowie auf einzelne Motorikmerkmale (andere ADHS-Defizite wie die Verhaltenshemmung blieben aber unverändert). Zudem konnten gemäß Lehrer- und Elternurteil einige Verhaltensprobleme (soziale Auffälligkeiten, Aufmerksamkeitsdefizite, impulsives Verhalten) reduziert werden. Eine therapievergleichende Studie wurde von Kang, Choi, Kang und Han (2011) durchgeführt, die als bewegungsorientierte Intervention eine Mischung aus aeroben Laufspielen (Shuttle Run, Zig Zag Run), Zielschusspielen und Seilspringen beinhaltete. Als alternative Intervention wurde ein verhaltenstherapeutisches Training (ohne standardisiertes Manual) durchgeführt. Nach der sechswöchigen Interventionsphase zeigte sich die Sportgruppe der Vergleichsgruppe in

der visuellen Aufmerksamkeit sowie der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit überlegen. Zudem wurden Verbesserungen in der ADHS-Symptomatik im Bereich der Aufmerksamkeit (nicht aber der Hyperaktivität/Impulsivität) bei der Sportgruppe festgestellt. Darüber hinaus konnten die sozialen Fähigkeiten – im Speziellen die Kooperationsfähigkeit – in der Sportgruppe gesteigert werden. Smith und Kollegen (2011) führten eine Studie zum Einfluss eines täglichen, 30-minütigen Sportprogramms (aufgeteilt in 4 Stationen) auf verschiedene kognitive Funktionen im Schulkontext durch. Die Intervention beinhaltete bei einer moderaten bis intensiven Intensität verschiedene Sportspielformen sowie komplexe Bewegungen (z. B. Skippings, Hüpfen, Objekte in der Halle verschieben). Durch die achtwöchige Intervention verbesserten sich die Kinder vor allem in ihrer Verhaltenshemmung, während die Effekte auf das Arbeitsgedächtnis und die Planungsfähigkeit deutlich geringer ausfielen. Die Verbesserungen in den EF gingen auf der Verhaltensebene mit Verbesserungen verschiedener problematischer Verhaltensweisen im Schulalltag, sowie mit Verbesserungen motorischer Fähigkeiten einher. Kritisch angemerkt werden muss in den beiden zuletzt beschriebenen Studien von Kang und Kollegen (2011) und Smith und Kollegen (2011), dass keine Belastungssteuerung der Intensität, z. B. über die Kontrolle der Herzfrequenz, stattfand. Bei Kang und Kollegen (2011) fand zwar alle 30 Minuten eine Kontrolle der Herzfrequenz statt, diese diente jedoch nur der Prävention von Überbelastungen.

Die hier vorgestellten Studien zeigen, dass sowohl von akuten als auch von dauerhaften sportspezifischen Interventionen positive Effekte auf eine Reihe von kognitiven Funktionen ausgehen. So sind bereits kurze Einheiten von sportlichen Aktivitäten bei einer moderaten bis intensiven Intensität effektiv (Medina et al., 2010; Chang et al., 2012b); und dies gilt unabhängig von einer Medikation (Medina et al., 2010). Für einen Effekt scheint primär die Intensität entscheidend, da es sich in beiden Studien um automatisierte, geschlossene und wenig komplexe Bewegungen (Ergometer, Laufband) handelt, die lediglich zu einer physiologischen Aktivierung führen. Durch die beiden inhaltlich sehr ähnlichen sportlichen Aktivitäten konnte eine breite Palette an kognitiven Outcome Variablen positiv beeinflusst werden (kognitive Flexibilität, selektive Aufmerksamkeit/Interferenz, Daueraufmerksamkeit). Ebenso weisen mehrwöchige, sportspezifische Interventionen auf dauerhafte kognitive Effekte bei ADHS Kindern hin, welche sich auch auf der Verhaltensebene und bei den motorischen Fähigkeiten widerspiegeln (Verret et al., 2012; Smith et al., 2011). Auch hier konnte eine Vielzahl an kognitiven Leistungsmaßen positiv beeinflusst werden, wobei die Effekte aber teilweise widersprüchlich sind (z. B. Smith et al., 2011:

Verhaltenshemmung↑, Planungsfähigkeit↓; Verret et al., 2012: Verhaltenshemmung↓; Gapin & Etnier, 2010: Planungsfähigkeit↑). Wirft man einen kritischen Blick auf die sportspezifischen Interventionen, ist diese heterogene Befundlage nachvollziehbar. Der *Inhalt* der mehrwöchigen sportspezifischen Intervention ist sehr heterogen und dient oftmals lediglich dem Ziel, die vorab definierte Belastungsintensität zu erzielen. Beispielsweise schreiben Smith und Kollegen (2011), dass die für ihre Intervention gewählten sportlichen Aktivitäten konzipiert wurden, um eine „moderate to vigorous physical activity“ (MVPA) aufrecht zu erhalten. Es ist jedoch naheliegend, dass unterschiedliche sportliche Inhalte, wie z. B. Zielschusspiele und Radfahren, bei zwar vergleichbarer Intensität unterschiedliche Anforderungen an die kognitiven Fähigkeiten stellen und damit auch unterschiedliche Effekte im kognitiven Bereich zu erwarten sind. Es muss also spezifiziert werden, *welche* kognitiven Funktionen am meisten von *welchen* sportlichen Aktivitäten profitieren. Hierzu liegen einige interessante Studien an gesunden Kindern vor, die durch eine differenziertere Gestaltung der sportlichen Aktivität im Hinblick auf deren kognitives Anforderungsprofil wichtige Schlussfolgerungen bezüglich sportspezifischer Erklärungen zulassen.

Untersuchungen an gesunden Probanden

Pesce, Crova, Cereatti, Casella und Bellucci (2009) untersuchten Effekte von kognitiv aktivierenden sportlichen Aktivitäten auf kognitive Funktionen. Dafür überprüften sie, welchen Einfluss zwei inhaltlich verschiedene (aber vergleichbar submaximal intensive) 40-minütige Aktivitätsformen auf die Gedächtnisleistung bei Kindern im Schulkontext haben. Bei den beiden Treatments handelte es sich einerseits um ein aerobes Zirkeltraining mit geringen kognitiven Anforderungen (sich wiederholende Übungen, geschlossene Bewegungen), und andererseits um Mannschaftssportarten mit hohen kognitiven Anforderungen (schnelle Informationsaufnahme, hoher Grad an sozialer Interaktion, offene Bewegungen). Es zeigten sich nur für die Aktivitätsform mit hohen kognitiven Anforderungen bessere Leistungen im direkten Gedächtnis (immediate recall). Hingegen konnten beide Aktivitätsformen gleichermaßen Verbesserungen in der zeitverzögerten Gedächtnisleistung (delayed recall) nachgewiesen werden. Die Autoren schlussfolgerten, dass es durch beide Aktivitätsformen zu einer generellen Erhöhung des Arousal und in der Folge zu einer Konsolidierung des Gelernten im Gedächtnis kam (delayed recall). Jedoch führte nur die Aktivitätsform mit hohen kognitiven Anforder-

rungen zu einer zusätzlichen kognitiven Aktivierung, was sich an besseren Leistungen im direkten Abruf des Gelernten zeigt. Allerdings waren in dieser Studie die Variablen „kognitive Anforderung“ und „sozialer Interaktionsgrad“ konfundiert: Bei den durchgeführten Mannschaftssportarten fand sich sowohl ein höherer Grad an kognitiven Anforderungen als auch an sozialen Interaktionen. Letzteres wird ebenfalls mit der Entwicklung von EF in Zusammenhang gebracht (Carlson, 2009). Best (2012) versuchte, durch seinen Versuchsaufbau die Konfundierung dieser beiden Variablen zu vermeiden, indem er in allen Treatmentgruppen auf ein ausgewogenes Verhältnis an sozialer Interaktion achtete. In vier Bedingungen wurden die Variablen „Intensität“ (Exergames, welche intensive Ganzkörperbewegungen beinhalten, vs. sitzende Spiele) und „kognitive Anforderung“ (Spiele mit Wettkampfcharakter, die ein ständiges adaptives Neueinstellen auf Situationen erfordern, vs. Spiele mit sich wiederholenden Bewegungen) variiert⁴: Es zeigte sich, dass lediglich die höhere Intensität zu einer besseren Kontrolle von visuell-räumlicher Interferenz bei den untersuchten Kindern führte, während durch zusätzliche kognitive Anforderungen (z.B. Hindernissen ausweichen und überspringen) keine besseren Effekte verzeichnet werden konnten. Eine alternative Erklärung für den fehlenden Einfluss von kognitiver Anstrengung auf EF liefert Best (2012). In beiden Exergame-Spielvarianten mussten komplexe motorische Bewegungen ausgeführt werden: Auch in der Jogging-Variante (ohne kognitive Anstrengung) war es notwendig, dass der Proband kontinuierlich seine Joggingposition auf der Spielmatte überwachte und korrigierte (da die besten Leistungen durch direkten Druck der Fußballen auf die drucksensiblen Punkte der Matte erzielt werden konnten). Budde, Voelcker-Rehage, Pietrażyk-Kendziorra, Ribeiro und Tidow (2008) untersuchten den Einfluss eines 10-minütigen, koordinativ beanspruchenden Sportprogramms im Vergleich zu 10 Minuten einer normalen Sportstunde auf die Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistung bei 15-Jährigen im Schulsetting. Bei gleicher (moderater) Intensität der Treatments konnten für beide Gruppen bessere Leistungswerte gemessen werden, wobei die Verbesserungen für die koordinativ beanspruchende

Aktivitätsbedingung (bilaterale Koordinationsübungen) signifikant größer waren.

Sportspezifische Erklärungen

Die drei vorgestellten Studien an gesunden Kindern legen den Fokus auf den Inhalt der sportlichen Intervention und geben wichtige Hinweise darauf, *was* genau an der sportlichen Aktivität Einfluss auf kognitive Funktionen nimmt. Nach Best (2010, 2012) können zur Erklärung für akute, aktivitätsinduzierte Effekte auf kognitive Funktionen zwei Mechanismen herangezogen werden: (1) eine physiologische Aktivierung und (2) eine kognitive Aktivierung durch sportliche Aktivitäten.

(1) Physiologische Aktivierung

Durch die Aktivität wird das physiologische Erregungsniveau gesteigert, wodurch in der Folge mehr Aufmerksamkeit bereitgestellt und kognitive Kontrolle bei Interferenz ausgeübt werden können. Dies soll die Leistung in Aufgaben, die EF erfordern, erleichtern (Audiffren, 2009). Dieser relativ unspezifische Mechanismus wurde verschiedentlich präzisiert, indem mediiierende neurophysiologische Prozesse für einen solchen Effekt gesucht wurden. Hier sind einerseits generelle physiologische Prozesse wie ein Anstieg des zerebralen Blutflusses zu nennen, andererseits verschiedene biochemische Veränderungen. Ein besonderer Fokus wurde auf den aktivitätsinduzierten Einfluss des Wachstumsfaktors BDNF (Brain-derived neurotrophic factor) gelegt, der das Wachstum neuer Neuronen und Synapsen fördert und auch an der ADHS-Ätiologie beteiligt zu sein scheint. Verschiedene Studien an nicht klinischen und klinischen Stichproben konnten aufzeigen, dass BDNF durch sportliche Aktivitäten positiv beeinflusst werden kann. So zeigten Ferris, Williams und Shen (2007) an 17 gesunden jungen Erwachsenen, dass durch zwei 30-minütige Ergometereinheiten die Konzentration des BDNF im Blutserum ansteigt sowie Verbesserungen in der selektiven Aufmerksamkeit/Interferenz nachweisbar sind. Darüber hinaus scheinen durch sportliche Aktivitäten dieselben katecholaminergen Neurotransmittersysteme angesprochen zu werden, die auch an der ADHS-Ätiologie beteiligt sind (für einen Überblick Wigal, Emmerson, Gehricke & Galassetti, 2013). Zwar ist der Mechanismus ein anderer, doch führen sowohl sportliche Aktivitäten als auch Stimulanzien zu einer Erhöhung der Katecholamine. Wigal und Kollegen (2003) konnten zeigen, dass eine intensive, akute Ergometerbelastung sowohl bei Kindern mit ADHS als auch bei einer Kontrollgruppe zu einer Steigerung

⁴ (EG1) Intensität und kogn. Anstrengung niedrig: Video über gesundheitsbezogene Lebensweisen sitzend anschauen; (EG2) Intensität niedrig und kogn. Anstrengung hoch: Videospiele sitzend spielen, bei welchem mit Hilfe eines Joysticks ein Parcours mit Hindernissen bewältigt werden muss; (EG3) Intensität hoch und kogn. Anstrengung niedrig: Exergame-Videospiel, bei welchem durch Dribbeln auf einer bewegungssensitiven Matte ein Marathon gelaufen werden muss; (EG4) Intensität und kogn. Anstrengung hoch: Exergame-Videospiel, bei welchem durch Dribbeln auf einer Matte und zusätzlich durch Überspringen, Ausweichen und Ducken ein Parcours mit Hindernissen bewältigt werden muss.

der (Nor-)Adrenalinausschüttung führt, wobei diese aber bei den Kindern mit ADHS geringer ausfiel.

(2) Kognitive Aktivierung

Best (2010) unterscheidet zwei Quellen von kognitiver Aktivierung: (a) Kognitive Anforderungen in sportlichen interagierenden Spielen und (b) Kognitive Anforderungen beim Ausführen von komplexen motorischen Bewegungen. Diese werden hier prototypisch gegenübergestellt, obgleich es auch Überschneidungen gibt. So werden auch in Spielen komplexe motorische Bewegungen ausgeführt, und auch beim Ausführen von komplexen motorischen Bewegungen muss die Bewegungsausführung an sich wechselnde Anforderungen angepasst werden.

(a) Hierunter sind vor allem die in Mannschaftssportarten enthaltenen kognitiven Anforderung zu fassen, die sich in einer schnellen (perzeptiven) Informationsaufnahme und -verarbeitung, wie z.B. dem plötzlichen Ausweichen vor einem Gegner (oder Hindernissen wie bei Best, 2012), taktischen Entscheidungen aufgrund neuer Spielsituationen oder der Kontrolle von Interferenz, z.B. beim Ausblenden von störenden Zuschauereinflüssen, zeigen können (vgl. auch Pesce et al., 2009). Aber auch beim Kooperieren mit Mitspielern oder dem Antizipieren des gegnerischen Handelns muss ein Spieler immer wieder an ändernde Anforderungen adaptieren (Best, 2010). Das Gemeinsame bei Pesce und Kollegen (2009) und Best (2012) ist, dass die kognitive Aktivierung durch die Auseinandersetzung mit externen Stimuli (z.B. Gegnern, Mitspielern, Anpassung an neues Gelände) und der sich ständig verändernden Situationen entsteht. Best nimmt an, dass bei sportlichen Spielformen und EF-Aufgaben ähnliche kognitive Fähigkeiten benötigt werden, weshalb ein Transfer der erworbenen kognitiven Fähigkeiten bei sportlichen Spielen auf kognitive Aufgaben in anderen Alltagssituationen naheliegend sei (Best, 2010). Als zugrundeliegenden Mechanismus nennt er die „kontextuelle Interferenz“, die entsteht, weil „a motor action plan must be created, monitored, and modified in the presence of continually changing task demands“ (Best, 2010). Hierdurch sollen vor allem die Speicherung und der Transfer der neu erlernten kognitiven Fähigkeiten verbessert werden.

(b) Eine kognitive Aktivierung kann auch durch das Ausführen von komplexen motorischen Bewegungen erreicht werden (z.B. bei Budde und Kollegen, 2008, durch bilaterale Koordination mit dem Ball). Dabei wird das Kleinhirn aktiviert, welches neben der motorischen Kontrolle ebenso neuropsychologische Prozesse wie Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis und Gedächtnis beeinflusst. Zudem werden durch sport-

liche Aktivitäten mit hohen kognitiven Anforderungen präfrontale Areale aktiviert, die unter anderem für die Ausführung von exekutiven Kontrollfunktionen zuständig sind. Auch Diamond (2000) weist auf die Koaktivierung zwischen dem Kleinhirn und dem dorsolateralen präfrontalen Kortex hin. Aufgrund der Aktivierung derselben Hirnareale bei der Ausführung von komplexen motorischen Bewegungen und kognitiven Aufgaben wird angenommen, dass das Ausführen von komplexen motorischen Bewegungen zu einer Bahnung von neuronalen Netzwerken führt. Hierdurch soll es zu einer Präaktivierung der entsprechenden Hirnareale kommen, was die nachfolgende Leistung bei kognitiven Aufgaben erleichtert (vgl. auch Budde et al., 2008). Dies könnte eine Erklärung für die angenommenen Transfereffekte zwischen dem Ausführen von sportlichen und kognitiven Aufgaben darstellen.

Dauerhafte Effekte

Ein Modell, das neben den akuten Effekten auch die dauerhaften Effekte von sportlichen Aktivitäten erklärt, ist das „Model of exercise effects on executive functions“ (Davis & Lambourne, 2009; vgl. Abb. 1). Hiernach kommt es durch sportliche Aktivität zu einer Anregung von neuronalen Strukturen und zu einer vermehrten Ausschüttung von Wachstumsfaktoren, die bei wiederholten Aktivitätszyklen zu (strukturellen) hirnspezifischen Veränderungen führen (Neurogenese, Synaptogenese, Angiogenese etc.).

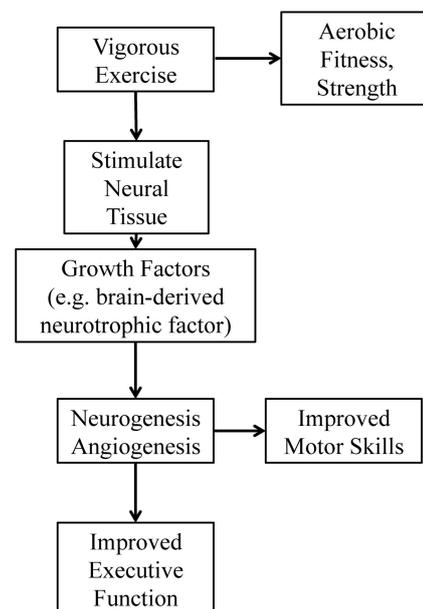


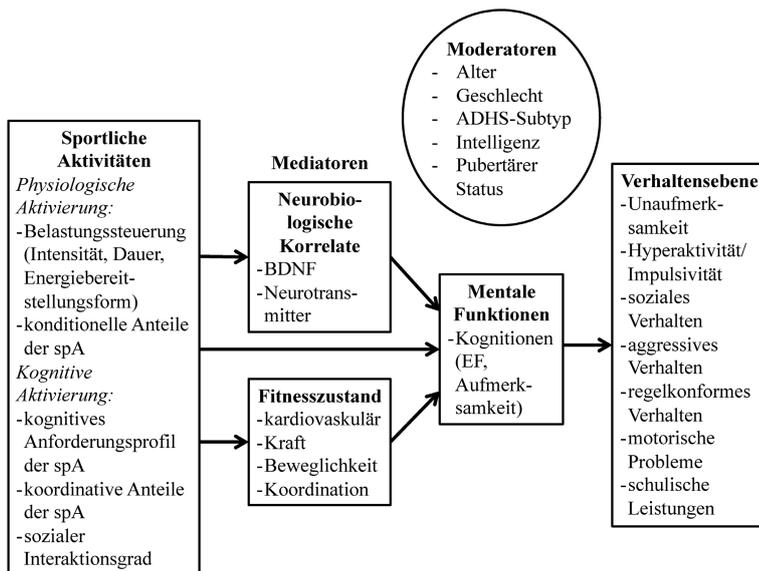
Abbildung 1. Model of exercise effects on executive function (modifiziert nach Davis & Lambourne, 2009, S. 265).

Belege kommen u. a. von Studien mit Tiermodellen. So konnten Van der Borght, Havekes, Bos, Eggen und Van der Zee (2007) einen aktivitätsinduzierten Einfluss eines zweiwöchigen Lauftraining auf eine erhöhte hippocampale Neurogenese nachweisen. In einer Studie an älteren Probanden konnte gezeigt werden, dass ein sechsmonatiges aerobes Training zu mehr weißer und grauer Substanz vor allem in frontalen Hirnregionen führt (Colcombe et al., 2006). Des Weiteren konnten zwei Studien an Kindern Zusammenhänge zwischen aerober Fitness, der Größe des Hippocampus und der Gedächtnisleistung (Chaddock et al., 2010a) bzw. zwischen aerober Fitness, der Größe in verschiedenen Regionen der Basalganglien und der kognitiven Kontrolle (Chaddock et al., 2010b) finden.

Rahmenmodell zur Einordnung von Mediatoren und Moderatoren im Sport-Kognitions-Zusammenhang

Ogleich in der Literatur weitestgehend Einigkeit darüber besteht, dass einmalige sportliche Aktivitäten die EF fördern und dauerhafte sportliche Aktivitäten auch andauerndere Effekte ermöglichen können (Best, 2010), scheint es sich dabei keinesfalls um einen pauschalen Effekt zu handeln (Tomprowski et al., 2011). So fanden Chang und Kollegen (2012a) in ihrer aktuellen Metaanalyse lediglich einen kleinen

positiven (Overall-)Effekt für den Einfluss von akuter Aktivität auf kognitive Parameter ($ES = 0.097$). Erst durch zusätzliche Moderatoranalysen konnten teilweise größere Effekte aufgezeigt werden. Deshalb stellen Tomporowski und Kollegen ein Arbeitsmodell zum Einfluss von sportlichen Aktivitäten auf Kognitionen vor, in dem neben der Differenzierung der unabhängigen und abhängigen Variablen eine Reihe von Mediatoren und Moderatoren benannt werden, deren Bedeutung in empirischen Studien aufgezeigt werden konnte. Das Modell wird adaptiert und in drei Punkten erweitert: (1) Im „Model of exercise effects on executive function“ (vgl. Abb. 1) wird auf neurobiologische Korrelate im Sport-Kognitions-Zusammenhang hingewiesen, die deshalb als ein weiterer Mediator in das Modell aufgenommen werden. (2) Ogleich das ursprüngliche Modell von Tomporowski und Kollegen (2011) vor allem Gültigkeit für den Sport-Kognitionszusammenhang bei gesunden Menschen besitzt, wurde es auf der Basis von integrativen ätiologischen Modellvorstellungen zur Genese von ADHS (z. B. Döpfner, 2008) um die beobachtbare Symptomebene erweitert. Diese wird üblicherweise als eine Ebene angesehen, die indirekt durch die typischen kognitiven ADHS-Defizite beeinflusst wird. (3) Die Kriterien, nach denen die unabhängige Variable „sportliche Aktivität“ üblicherweise differenziert werden kann (z. B. Belastungsparameter, Sportart), werden im Zusammenhang mit den erläuterten sportspezifischen Erklärungen diskutiert bzw. aufgeführt (vgl. Abb. 2).



Anmerkung: spA = sportliche Aktivität.

Abbildung 2. Rahmenmodell zum mediierten und moderierten Einfluss von sportlichen Aktivitäten auf ADHS-spezifische Defizite in mentalen Funktionen sowie auf die beobachtbare ADHS-Symptomatik (modifiziert nach Tomporowski et al., 2011).

Anhand des vorgestellten Rahmenmodells wird verdeutlicht, unter welchen Bedingungen sportliche Aktivitäten kognitive Funktionen begünstigen können (Tomprowski et al., 2011). Abhängig von spezifischen sportlichen Aktivitäten (z. B. submaximales Joggen im Wald mit geringer kognitiver Aktivierung) sind durch die Beeinflussung verschiedener vermittelnder Variablen (z. B. Katecholaminausschüttung) und unter bestimmten Randbedingungen (z. B. unaufmerksamer Subtyp) bestimmte kognitive Effekte denkbar (z. B. Verbesserung der Daueraufmerksamkeit). Bei dem Rahmenmodell handelt es sich um ein Arbeitsmodell, welches vor allem die Komplexität des Gegenstandsbereichs verdeutlichen soll. Es kann als Orientierung bei der Planung von Untersuchungen herangezogen werden. Je nach Fragestellung können im Fokus stehende Variablen präzisiert und variiert werden (z. B. Klärung der Dose-Response Beziehung, vgl. Davis et al., 2011; Klärung der Relevanz physiologischer vs. kognitiver Aktivierung, vgl. Best, 2012).

Gleichzeitig können nicht im Fokus stehende Variablen kontrolliert werden (Kontrolle der Belastung, vgl. z. B. Budde et al., 2008; Aussetzung der Medikation für 48 h vor Treatment, vgl. Medina et al., 2010; Ausschluss des unaufmerksamen Typus sowie weiterer komorbider Störungen, Verret et al., 2012; Kontrolle des pubertären Status, Kamijo et al., 2011). Auf diese Weise könnte das Modell durch neue empirische Befunde konkretisiert und adaptiert werden. So ist beispielsweise die Frage, inwiefern kognitive Effekte durch Verbesserungen der aeroben Fitness mediiert werden, noch nicht geklärt. Während die bereits erwähnten Studien von Chaddock und Kollegen (2010a, 2010b) für einen solchen indirekten Effekt sprechen, finden Etnier, Nowell, Landers und Sibley (2006) in ihrer Metaanalyse keine Belege für einen solchen vermittelnden Effekt.

Des Weiteren muss geprüft werden, ob für akute und chronische Wirkungen durch sportliche Aktivitäten dieselben Mechanismen wirksam sind. Beispielsweise könnte beim Ausüben einer einmaligen sportlichen Aktivität der Einfluss auf kognitive Funktionen in Abhängigkeit verschiedener Ausprägungen der Variablen „Fitnesszustand“ unterschiedlich stark sein (im Sinne einer Moderatorvariablen). Hingegen stellt sich bei längerfristigen Sportinterventionen vielmehr die Frage, ob der potenziell erzielte Fitnesszuwachs den Effekt auf kognitive Funktionen mediiert.

Ausblick

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das Potenzial von sportlichen Interventionen zur Verbesserung kognitiver Funktionen bei ADHS erkannt wurde. Hiervon zeugen Artikel mit Titeln wie „Emerging Support for a Role of Exercise in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Intervention Planning“ (Berwid & Halperin, 2012). Die vereinzelt aktuellen Überblicksarbeiten, die den bisherigen Forschungsstand zum Einfluss von sportlichen Aktivitäten speziell bei Kindern mit ADHS aufarbeiten (z. B. Gapin et al., 2011; für den deutschsprachigen Raum Seelig, 2012; Leithäuser & Beneke, 2013), zeigen insgesamt eine durchaus ermutigende Befundlage auf. So bilanzieren Gapin und Kollegen (2011), dass sportliche Aktivitäten als effektive Ergänzung zu einer Medikation Verhaltensprobleme reduzieren und die kognitive Leistung von ADHS Kindern positiv beeinflussen könnten. Die von verschiedenen Autoren geforderten empirisch-methodischen Konsequenzen (mehr Studien an ADHS Stichproben, sportsspezifische Interventionen über einen längeren Zeitraum, mehr Follow-Up Studien, größere Stichproben für eine hinreichende Power der Studien) können an anderer Stelle nachgelesen werden (Gapin et al., 2011; Halperin et al., 2012;

Berwid und Halperin, 2012). Hier soll abschließend vor allem auf praktische Hinweise zur Gestaltung einer effektiven sportsspezifischen Intervention eingegangen werden.

Der Analyse der sportlichen Aktivitäten im Hinblick auf deren kognitives Anforderungsprofil kommt in diesem Zusammenhang ein hoher Stellenwert zu, wie die Studien zum Einfluss einer kognitiven Aktivierung durch sportliche Aktivitäten zeigen (vgl. Budde et al., 2008; Pesce et al. 2009). In den meisten Studien wird eine Vielfalt von unterschiedlichen sportlichen Aktivitäten mit dem vorrangigen Ziel durchgeführt, eine bestimmte Intensität zu erzielen. In den Studienprotokollen wird aber kaum diskutiert, ob die ausgewählten sportlichen Aktivitäten zusätzlich zur physiologischen Aktivierung auch ein unterschiedliches kognitives Engagement erfordern. So unterscheiden sich Aktivitäten wie Laufen (z. B. Chang et al., 2012b), Zielschusspiele (z. B. Kang et al., 2011) oder Fangspiele (Verret et al., 2012) deutlich im Hinblick auf das kognitive Anforderungsprofil. Eine Analyse der sportlichen Aktivitäten im Hinblick auf deren kognitives Anforderungsprofil sollte deshalb im Vorfeld stattfinden. Konkret bedeutet dies, dass die Frage geklärt werden muss, *welche* kognitiven respektive exekutiven Funktionen mit *welcher* sportlichen Aktivität angesprochen werden können. Einige Hinweise finden sich bereits in der Literatur. So scheinen bilaterale koordinative Übungen die selektive Aufmerksamkeit (sowie die visuelle Wahrnehmungsgeschwindigkeit) zu verbessern (Budde et al., 2008). Durch die Konzentration auf Aufgaben, wie das gleichzeitige Prellen zweier unterschiedlich schwerer Bälle mit den Händen, wird also gleichzeitig das Ausblenden von irrelevanten Reizen trainiert. Wenig spezifisch erscheint hingegen der in der Studie von Pesce und Kollegen (2009) untersuchte Zusammenhang zwischen Mannschaftsspielen und Gedächtnisleistung. Mannschaftsspiele beinhalten eine Reihe von kognitiven Prozessen, die zum Teil auch von den Autoren aufgelistet werden (schnelle Informationsaufnahme, Entscheidungsfindung). Es bleibt jedoch offen, was genau an der großen (nicht näher beschriebenen) Gruppe der Mannschaftsspiele das Gedächtnis positiv beeinflusst hat.

Für die Planung zukünftiger Studien wäre ein denkbare Vorgehen, ein Modell wie z. B. das weiter oben beschriebene von Miyake und Kollegen (2000) zugrunde zu legen. Dann müssten sportsspezifische Aufgaben gefunden werden, die beispielsweise Inhibitionsprozesse beinhalten. Inhibition wird von den Autoren als Fähigkeit einer Person verstanden, dominante, automatische und vorherrschende Reaktionen bewusst zu hemmen (Miyake et al., 2000), und wird häufig mit der Go/Nogo Aufgabe getestet. Bei diesem computerbasierten Test muss auf einen Zielreiz (z. B. „X“) eine bestimmte Taste gedrückt werden, während

die Reaktion bei einem anderen nicht relevanten Zielreiz (z. B. „0“) unterdrückt werden soll. Bei einer Reihe von sportlichen Aufgaben sind Inhibitionsprozesse zentral. So muss bei dem Sportspiel „Schwarz-Weiß“ ein Kind bei dem dominanten verbalen Reiz „schwarz“ ein anderes Kind fangen, während diese Reaktion bei dem nicht dominanten Reiz („weiß“) unterdrückt werden soll. Bei einer genaueren Analyse dieses Sportspiels kommen noch weitere Anforderungen an EF hinzu. So muss bei dem Signal „weiß“ schnell auf eine andere Aufgabe umgeschaltet werden, nämlich wegrennen, um nicht gefangen zu werden (task switching bzw. set shifting).

Bei der inhaltlichen Ausgestaltung der Intervention empfiehlt es sich, eine sportliche Aufgabe hinsichtlich der kognitiven Anforderungen sukzessive zu steigern. So könnte beim „Schwarz-Weiß“-Spiel die Anzahl der kritischen Reize gesteigert werden (z. B. durch Hinzunahme von weiteren, nicht relevanten Farben, auf die ebenfalls keine Reaktion erfolgen darf). Hierfür könnten Leitlinien aus neuropsychologischen Therapiemanualen hilfreich sein, in denen Hinweise zu finden sind, wie einzelne kognitive Funktionen in ihrem Schwierigkeitsgrad zu variieren sind (vgl. z. B. Finauer, 2009).

Neben der inhaltlichen Ausgestaltung einer effektiven sportspezifischen Intervention ergeben sich zum jetzigen Zeitpunkt weitere praktische Handlungsempfehlungen: (1) Das Belastungsgefüge sollte so gestaltet werden, dass eine mittlere bis intensive Intensität erreicht wird (MVPA). So zeigen die meisten Studien hier die größten Effekte (vgl. Tab. 1). (2) Um dauerhafte kognitive Effekte zu erzielen, empfiehlt es sich zudem, wenigstens zweimal pro Woche über einen Zeitraum von mindestens sechs Wochen zu trainieren. Kang und Kollegen (2011) konnten durch ein sechswöchiges Training mit jeweils zwei Einheiten à 90min/Woche Effekte auf die Verhaltenshemmung nachweisen. In der Studie von Smith und Kollegen (2011) sowie Verret und Kollegen (2012) war die Häufigkeit (3×/Woche respektive 5×/Woche) größer und die Interventionen etwas länger (8 respektive 10 Wochen; vgl. Tab. 1). Optimal sind hingegen Interventionen, die länger angelegt sind und auf eine Lebensstilveränderung abzielen (Stichwort Lifelong Treatment). (3) Des Weiteren erscheinen vor allem solche Studien interessant, die Outcomes aus verschiedenen Bereichen beinhalten: Durch die Kombination von neurobiologischen Korrelaten und kognitiven Funktionen könnten beispielsweise weitere Hinweise über konkrete neurobiologische Wirkmechanismen gewonnen werden (vgl. Barenberg et al., 2011). Aber auch durch die zusätzliche Diagnostik von motorischen Fähigkeiten könnte geprüft werden, inwiefern ein kognitiv anstrengendes Sportangebot (z. B. durch koordinativ beanspruchende Übungen; vgl. Budde et al., 2008) neben den primär

intendierten Effekten in kognitiven Bereichen auch zu Verbesserungen der feinkoordinativen Fähigkeiten führt (vgl. Smith et al., 2011).

Literatur

- Audiffren, M. (2009). Acute Exercise and Psychological Functions: A Cognitive-Energetic Approach. In T. McMorris, P. D. Tomporowski & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and Cognitive Function* (pp. 1–39). Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Banaschewski, T., Rössner, V., Übel, H. & Rothenberger, A. (2004). Neurobiologie der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS). *Kindheit und Entwicklung*, *13*, 137–147.
- Barenberg, J., Berse, T. & Dutke, S. (2011). Executive functions in learning processes: Do they benefit from physical activity? *Educational Research Review*, *6*, 208–222.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, *121*, 65–94.
- Best, J. R. (2010). Effects of Physical Activity on Children's Executive Function: Contributions of Experimental Research on Aerobic Exercise. *Developmental Review*, *30*, 331–551.
- Best, J. R. (2012). Exergaming immediately enhances children's executive function. *Developmental Psychology*, *48*, 1501–1510.
- Berwid, O. G. & Halperin, J. M. (2012). Emerging support for a role of exercise in attention-deficit/hyperactivity disorder intervention planning. *Current Psychiatry Reports*, *14*, 543–551.
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietraßyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P. & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters*, *441*, 219–223.
- Carlson, S. M. (2009). Social origins of executive function development. In C. Lewis & J. I. M. Carpendale (Eds.), *Social interaction and the development of executive function*. *New Directions in Child and Adolescent Development*, *123* (pp. 87–97). New York: Jossey Bass.
- 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*, 126–131.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Kim, J. S., Voss, M. W., VanPatter, M. et al. (2010a). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain Research*, *1358*, 172–183.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., VanPatter, M., Voss, M. W., Pontifex, M. B. et al. (2010b). Basal ganglia volume is associated with aerobic fitness in preadolescent children. *Developmental Neuroscience*, *32*, 249–256.
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I. & Etnier, J. L. (2012a). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, *9*, 87–101.
- Chang, Y.-K., Liu, S., Yu, H.-H. & Lee, Y.-H. (2012b). Effect of acute exercise on executive function in children with attention deficit hyperactivity disorder. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *27*, 225–237.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Scaif, P. E., Kim, J. S., Prakash, R., McAuley, E. et al. (2006). Aerobic exer-

- cise training increases brain volume in aging humans. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 61, 1166–1170.
- Conners, C. (2002). Forty years of methylphenidate treatment in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Attention Disorders*, 6, 17–30.
- Davis, C. L. & Lambourne, K. (2009). Exercise and cognition in children. In T. McMorris, P. Tomporowski & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and cognitive function* (pp. 249–267). Wiltshire: Wiley-Blackwell.
- Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E. et al. (2011). Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children: A randomized, controlled trial. *Health Psychology*, 30 (1), 91–98.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development*, 71 (1), 44–56.
- Döpfner, M. (2008). Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörungen (ADHS). In W. Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der Pädagogischen Psychologie* (S. 672–682). Göttingen: Hogrefe.
- 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, 119–130.
- Etnier, J. L. & Chang, Y. K. (2009). The effect of physical activity on executive function: A brief commentary on definitions, measurement issues, and the current state of the literature. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 31, 469–483.
- Faraone, S. V., Perlis, R. H., Doyle, A. E., Smoller, J. W., Goralnick, J. J., Holmgren, M. A. et al. (2005). Molecular genetics of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Biological Psychiatry*, 57, 1313–1323.
- 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 & Science in Sports & Exercise*, 39, 728–734.
- Finauer, G. (2009). *Therapiemanuale für die neuropsychologische Rehabilitation*. Heidelberg: Springer.
- Fliers, E. A., de Hoog, M. L., Franke, B., Faraone, S. V., Rommelse, N. N., Buitelaar, J. K. et al. (2010). Actual motor performance and self-perceived motor competence in children with attention-deficit hyperactivity disorder compared with healthy siblings and peers. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics*, 31 (1), 35–40.
- Fuchs, R. & Schlicht, W. (2012). Seelische Gesundheit und sportliche Aktivität. Zum Stand der Forschung. In R. Fuchs & W. Schlicht (Hrsg.), *Seelische Gesundheit und sportliche Aktivität* (S. 251–271). Göttingen: Hogrefe.
- Gabler, H. (2002). *Motive im Sport*. Schorndorf: Hofmann.
- Gapin, J. & Etnier, J. L. (2010). The relationship between physical activity and executive function performance in children with attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 32, 753–763.
- Gapin, J. I., Labban, J. D. & Etnier, J. L. (2011). The effects of physical activity on attention deficit hyperactivity disorder symptoms: The evidence. *Preventive Medicine: An International Journal Devoted to Practice and Theory*, 52, 70–74.
- Halperin, J. M. & Healey, D. M. (2011). The influences of environmental enrichment, cognitive enhancement, and physical exercise on brain development: Can we alter the developmental trajectory of ADHD? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35, 621–634.
- Halperin, J. M., Bédard, A. C. & Curchack-Lichtin, J. T. (2012). Preventive interventions for ADHD: A neurodevelopmental perspective. *Neurotherapeutics*, 9, 531–541.
- Heinrichs, N. & Lohaus, A. (2011). *Klinische Entwicklungspsychologie kompakt. Psychische Störungen im Kindes- und Jugendalter*. Weinheim: Beltz.
- Huss, M., Hölling, H., Kurth, B. M. & Schlack, R. (2008). How often are German children and adolescents diagnosed with ADHD? Prevalence based on the judgment of health care professionals: Results of the German health and examination survey (KiGGS). *European Child & Adolescent Psychiatry*, 17, 52–58.
- Jacobs, C. & Petermann, F. (2008). *Training für Kinder mit Aufmerksamkeitsstörungen. Das neuropsychologische Gruppenprogramm ATTENTIONER*. Göttingen: Hogrefe.
- 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, 1046–1058.
- Kang, K. D., Choi, J. W., Kang, S. G. & Han, D. H. (2011). Sports therapy for attention, cognitions and sociality. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 953–959.
- Leithäuser, R. & Beneke, R. (2013). Sport bei ADHS – Plan für Desaster oder verschenkte Ressource? *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 64, 287–292.
- Luman, M., Oosterlaan, J. & Sergeant, J. A. (2005). The impact of reinforcement contingencies on AD/HD: A review and theoretical appraisal. *Clinical Psychology Review*, 25, 183–213.
- Medina, J. A., Netto, T. L., Muszkat, M., Medina, A. C., Botter, D., Orbetelli, R. et al. (2010). Exercise impact on sustained attention of ADHD children, methylphenidate effects. *ADHD Attention Deficit and Hyperactivity Disorders*, 2 (1), 49–58.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “Frontal Lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49–100.
- Pelham, W. E. Jr. & Fabiano, G. A. (2008). Evidence-based psychosocial treatments for attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology*, 37, 184–214.
- Pesce, C., Crova, C., Cereatti, L., Casella, R. & Bellucci, M. (2009). Physical activity and mental performance in preadolescents: Effects of acute exercise on free-recall memory. *Mental Health and Physical Activity*, 2 (1), 16–22.
- Seelig, H. (2012). Sportliche Aktivität und ADHS. In R. Fuchs & W. Schlicht (Hrsg.), *Seelische Gesundheit und sportliche Aktivität* (S. 251–271). Göttingen: Hogrefe.
- Shaw, P., Gogtay, N. & Rapoport, J. (2010). Childhood psychiatric disorders as anomalies in neurodevelopmental trajectories. *Human Brain Mapping*, 31, 917–925.
- 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.
- Smith, A. L., Hoza, B., Linnea, K., McQuade, J. D., Tomb, M., Vaughn, A. J. et al. (2011). Pilot physical activity intervention reduces severity of ADHD symptoms in young children. *Journal of Attention Disorders*, 17, 70–82.

- Tompson, P. D., Lambourne, K. & Okumura, M. S. (2011). Physical activity interventions and children's mental function: An introduction and overview. *Preventive Medicine, 52*, 3–9.
- Van der Borght, K., Havekes, R., Bos, T., Eggen, B. J. & Van der Zee, E. A. (2007). Exercise improves memory acquisition and retrieval in the Y-maze task: Relationship with hippocampal neurogenesis. *Behavioral Neuroscience, 121*, 324–334.
- Verret, C., Guay, M.-C., Berthiaume, C., Gardiner, P. & Béliveau, L. (2012). A physical activity program improves behavior and cognitive functions in children with ADHD. *Journal of Attention Disorders, 16*, 71–80.
- Wigal, S. B., Emmerson, N., Gehricke, J.-G. & Galassetti, P. (2013). Exercise: Applications to childhood ADHD. *Journal of Attention Disorders, 17*, 279–290.
- Wigal, S. B., Nemet, D., Swanson, J. M., Regino, R., Trampush, J., Ziegler, M. G. et al. (2003). Catecholamine response to exercise in children with attention deficit hyperactivity disorder. *Pediatric Research, 53*, 756–761.
- Willcutt, E. G., Doyle, A. E., Nigg, J. T., Faraone, S. V. & Pennington, B. F. (2005). Validity of the executive function theory of attention-deficit/hyperactivity disorder: A meta-analytic review. *Biological Psychiatry, 57*, 1336–1346.
- Willcutt, E. G., Nigg, J. T., Pennington, B. F., Solanto, M. V., Rohde, L. A., Tannock, R. et al. (2012). Validity of DSM-IV attention deficit/hyperactivity disorder symptom dimensions and subtypes. *Journal of Abnormal Psychology, 121*, 991–1010.

Katrin Lehnert

Institut für Bewegungswissenschaft
Fakultät für Psychologie und Bewegungswissenschaft
Universität Hamburg
Feldbrunnenstraße 70
20148 Hamburg
E-Mail: katrin.lehnert@uni-hamburg.de