

Körperliches und kognitives Training exekutiver Funktionen in Kindergarten und Schule

Im Oktober 2008 trafen sich an der Harvard Graduate School of Education (HGSE) in Cambridge (USA), unter Teilnahme von Bruno della Chiesa, Leiter des OECD¹-CERI²-Projektes „Learning Sciences and Brain Research“, Bildungsforscher und Neurowissenschaftler sowie Experten aus der pädagogischen Praxis, um über Modelle von Forschungsschulen zu diskutieren und ein internationales Netzwerk von Forschungsschulen aufzubauen. Auf Einladung von Kurt W. Fischer, Direktor des „Mind, Brain, and Education Program“ der HGSE, nahmen amerikanische³, indische⁴, und französische⁵ Forschungsschulen sowie Wissenschaftler/innen aus den USA, Israel, den Niederlanden, China und Deutschland an dem internationalen Treffen teil. Forschungsschulen entsprechen Lehrkrankenhäusern, in denen die medizinische Praxis biologische Forschung beeinflusst und umgekehrt biologische Erkenntnisse in die medizinische Praxis einfließen. Entsprechend treffen in Forschungsschulen die neuro- und kognitionswissenschaftliche Forschung und die pädagogische Praxis aufeinander. Das Ziel ist eine evidenzbasierte Pädagogik, der eine anwendungsorientierte neurowissenschaftliche Forschung zu Grunde liegt (Spitzer, 2003).

Das Transferzentrum für Neurowissenschaften und Lernen (ZNL) der Universität Ulm, das neurowissenschaftliche Erkenntnisse zum Lernen von der Theorie in die Praxis umsetzt, arbeitet seit seiner Gründung im Jahr 2004 mit inzwischen mehr als 400 Kindergärten, Grundschulen und weiterführenden Schulen aus Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz und der Schweiz zusammen. Die Erfahrungen des ZNL sowie der weiteren Teilnehmer des HGSE Research School Meetings weisen darauf hin, dass die Forschung zu Lernprozessen von Kindern und Jugendlichen dann am besten gelingt, wenn sie reale Lernbedingungen und die Erfahrungen der Pädagogen einbezieht. Da aufgrund der Schulpflicht nahezu alle Schüler/innen in den Sportunterricht und häufig auch in das außerunterrichtliche Sportangebot eingebunden sind, sollten Studien zum Einfluss von Sport und der körperlichen Leistungsfähigkeit auf die Lernleistung und die sozial-emotionale Entwicklung von Heranwachsenden ebenfalls verstärkt in Forschungskindergärten und Forschungsschulen stattfinden. Dies kann in optimaler Weise dann gelingen, wenn Wissenschaftlern und Pädagogen die erforderlichen Labore in den Forschungseinrichtungen zur Verfügung stehen.

Im ersten Teil dieses Beitrags wird der Stand der Forschung zu exekutiven Funktionen im Kindes- und Jugendalter dargestellt. Dabei wird zunächst auf die Bedeutung und die Entwicklung exekutiver Funktionen von Kindern und Jugendlichen unter besonderer Berücksichtigung der Schuleignung, der schulischen Lernleistung und der sozial-emotionalen Ent-

wicklung eingegangen. Daran schließt ein Abschnitt zu molekulargenetischen Analysen zum Catechol-O-Methyltransferase (COMT-)Enzym im Zusammenhang mit exekutiven Funktionen an. Im zweiten Teil des Beitrags wird behandelt, wie exekutive Funktionen durch ein kognitives und körperliches Training in Kindergärten und Schulen gefördert werden können.

Exekutive Funktionen im Kindes- und Jugendalter – Stand der Forschung

Die Bedeutung exekutiver Funktionen für Kindergarten und Schule

Der schulische Lernerfolg hängt in hohem Maße von den Fähigkeiten der Schüler ab, ihre Zeit zu planen, Informationen und Materialien zu gewichten und damit Wesentliches vom Detail zu unterscheiden sowie Lösungsstrategien flexibel anzupassen und die eigenen Lernfortschritte zu überwachen. Diese Fähigkeiten basieren auf Kompetenzen, denen exekutive Funktionen (EF) des Stirnhirns zugrunde liegen. Dazu zählen die Problemlösekompetenz, die Handlungskompetenz, strategische Kompetenzen sowie Einsichtsfähigkeit, Impulskontrolle und Frustrationstoleranz (Meltzer, 2007), die auf den zentralen exekutiven Funktionen Arbeitsgedächtnis, Inhibition und kognitive Flexibilität aufbauen.

Trotz seiner begrenzten Speicherkapazität von etwa 7 Elementen wie Worte, Objekte und Ziffern über einen Zeitraum von nur wenigen Sekunden ist das Arbeitsgedächtnis von großer Bedeutung.

¹ Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung

² Center for Educational Research and Innovation

³ Ross School, East Hampton, NY; Carroll School, Lincoln, MA; Landmark School, Beverly, MA

⁴ Trio World School, Sahakar Nagar, Bangalore

⁵ Living School, Paris

Das Arbeitsgedächtnis ermöglicht eine aktive Aufrechterhaltung aufgabenrelevanter Informationen, die für weitere Operationen benötigt werden⁶, wodurch man sich an eigene Handlungspläne oder an Instruktionen anderer Personen besser erinnern und dadurch Handlungsalternativen verstärkt berücksichtigen kann (Kubesch, 2008; Diamond, Barnett, Thomas & Munro, 2007). Das Arbeitsgedächtnis ist zudem in der Lage, die gespeicherten Informationen derart zu verwenden, dass komplexe kognitive Funktionen wie beispielsweise die Sprache entstehen können⁷ (Spitzer, 2002).

Die Inhibition bzw. die Selbstregulation ist eine weitere wichtige exekutive Funktion, die flexibles Verhalten ermöglicht. Die Aufmerksamkeit und das Verhalten können durch eine gut funktionierende inhibitorische Kontrolle besser gesteuert werden und sind dadurch weniger von äußeren Bedingungen, den eigenen Emotionen oder fest verankerten Verhaltensweisen beeinflussbar (Diamond et al., 2007). Durch die Fähigkeit Verhalten zu hemmen, gelingt es, diejenigen Aktivitäten oder Handlungen zu vermeiden, die einem angestrebten Ziel oder dem aktuellen Kontext entgegenstehen. Die Inhibition bzw. Selbstregulation unterstützt damit selbstdiszipliniertes Verhalten. Mit einer guten Inhibition fällt es also leichter, den Fernseher nicht einzuschalten, sondern mit den Hausaufgaben zu beginnen, den Ausdauerlauf auch bei Regen zu starten, auf das zweite Kuchenstück zu verzichten oder die Spielentscheidung nicht durch ein Foul herbeizuführen.

Eine gut ausgebildete kognitive Flexibilität, die auf dem Arbeitsgedächtnis und der exekutiven Kontrolle aufbaut, ermöglicht es zudem, sich auf neue Anforder-

ungen schnell einstellen zu können und Situationen und Zustände aus anderen, neuen Perspektiven zu betrachten und zwischen diesen Perspektiven zu wechseln (Diamond et al., 2007).

Diese EF sagen zum Zeitpunkt des Schuleintritts mehr über die Schuleignung aus als der Intelligenzquotient der Kinder, deren Leseleistung und mathematischen Fähigkeiten (Diamond et al., 2007). Zudem sind sie für die schulische Lernleistung in den Bereichen Sprache, Mathematik und Naturwissenschaft während der gesamten Schulzeit von zentraler Bedeutung. Insbesondere die Inhibition bzw. die Selbstregulation (die Kontrolle des Verhaltens unter Berücksichtigung emotionaler Prozesse bzw. in sozialen Situationen) haben einen großen Einfluss auf die schulische Leistungsfähigkeit, unabhängig vom und stärker als der Intelligenzquotient der Schüler (Diamond et al., 2007). Gleichzeitig kann die fluide Intelligenz durch ein Arbeitsgedächtnistraining dosisabhängig gefördert werden (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides & Perrig, 2008). Darüber hinaus stehen schlecht ausgebildete EF der Schüler in Zusammenhang mit der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADS/ADHS), mit Schulabbruch, Drogenmissbrauch und Kriminalität; dadurch fördern sie in hohem Maße das Burnout-Syndrom von Lehrern⁸. Dabei weisen Kinder aus niedrigeren Einkommenschichten bereits zum Zeitpunkt des Schuleintritts schlechtere EF auf als Kinder aus höheren Einkommenschichten. Dieser Leistungsunterschied nimmt im Laufe der Entwicklung der Kinder weiter zu (Diamond et al., 2007). Der Stellenwert exekutiver Funktionen für die Schuleignung, die Lernleistung und die sozial-emotionale Entwicklung von Kindern und Jugendlichen ist kaum zu überschätzen. Zudem erhalten Schüler durch die gezielte Förderung exekutiver Funktionen Kompetenzen, die sie im hohen Ma-

ße für das Studium und den Arbeitsmarkt qualifizieren.

Im deutschen Bildungssystem ist das Wissen um die Bedeutung exekutiver Funktionen für eine optimale Förderung der Kinder und Jugendlichen weitgehend unbekannt. Bislang wissen nur wenige Schullehrer von diesen zentralen Gehirnfunktionen und davon, wie man diese kognitiv aber auch körperlich trainieren und damit Einfluss auf die schulische Lernleistung sowie die sozial-emotionale Entwicklung von Kindern und Jugendlichen nehmen kann. Dies liegt v. a. an der bislang geringen Anzahl an Veröffentlichungen, die kognitions- und neurowissenschaftliche Erkenntnisse für die pädagogische Praxis aufbereiten. Darüber hinaus fehlt es an pädagogischen Konzepten, durch deren Umsetzung EF der Heranwachsenden gezielt gefördert werden.

Entwicklung exekutiver Funktionen

Dass EF bei Kindern nicht beziehungsweise noch nicht vollständig entwickelt sind, wird als ein Hauptunterschied im Verhalten zwischen Kindern und Erwachsenen angesehen (Rothbart & Posner, 2001). Der Entwicklungsprozess dauert bis ins Erwachsenenalter an. Das exekutive System beginnt sich ab dem Alter von 2,5 bis 3 Jahren (sehr schnell) zu entwickeln. Zwischen 3 und 5 bzw. 7 Jahren kommt es zu einer deutlichen Verbesserung der Inhibition und der kognitiven Flexibilität. Kinder sind in dieser Altersphase verstärkt in der Lage, Situationen und Personen aus unterschiedlichen Perspektiven wahrzunehmen und zu beurteilen. Die neuropsychologisch gemessene inhibitorische Verhaltenskontrolle in Konfliktsituationen steht dabei in einem engen Zusammenhang mit dem Temperament von Kindern und deren Fähigkeit, Emotionen zu kontrollieren (Rothbart & Posner, 2001). So verbessert sich bei Kindern ab 3 Jahren nicht nur die Inhibition, sondern auch die emotionale Kontrolle wesentlich. Die erfolgreiche Verhaltenskontrolle vermindert aggressives und unterstützt empathisches Verhalten (Carlson, 2003; Rothbart & Posner, 2001). Wenn es von ihnen gefordert wird, können 4- bis 5-jährige Kinder, die eine gut entwickelte kontrollier-

⁶ Bei der Kopfrechenaufgabe $97+13-5+9$ beispielsweise ist das Arbeitsgedächtnis stark gefordert, da man sich, während die Zahl 13 zu 97 addiert wird, mit Hilfe des Arbeitsgedächtnisses merken muss, dass anschließend von der errechneten Summe zunächst die Zahl 5 subtrahiert und in einem weiteren Rechenschritt die Zahl 9 addiert werden muss.

⁷ Wie beispielsweise beim Verstehen von Sätzen, in die längere Nebensätze integriert werden oder beim Sprechen einer Fremdsprache, bei der man während des Sprechens im Geiste nach Vokabeln sucht, ohne dabei zu vergessen, was man inhaltlich sagen möchte.

⁸ „Teacher burnout from dealing with out-of-control children is skyrocketing“, auf diese Weise beschreiben Adele Diamond et al. den Zusammenhang des Burnout-Syndroms von Lehrern bei unzureichend ausgebildetem selbstregulatorischem Verhalten von Kindern (s. „Supplemental Online Material“ in Diamond et al., 2007).

te Hemmung aufweisen, sowohl positive wie negative Emotionen besser unterdrücken als Kinder mit schlechter ausgebildeten Hemmungsfunktionen (Carlson, 2003). Bei Unterschieden des Temperaments spricht man im Zusammenhang mit der Aufmerksamkeitssteuerung häufig von bewusster, intentionaler Kontrolle (Kubesch, 2008). Kinder mit einer gut ausgebildeten intentionalen Kontrolle scheinen ihre Aufmerksamkeit besser von belohnenden Aspekten der Aggression wegzulenken zu können als Kinder mit schlechterer Leistung in dieser Kontrollfunktion. Gleichzeitig zeigen die weniger aggressiven Kinder auch häufiger ein stärker ausgebildetes empathisches Verhalten. Man geht davon aus, dass es ihnen aufgrund der besser ausgebildeten Verhaltenskontrolle vermehrt gelingt, ihre eigenen Sorgen den Gedanken und Gefühlen anderer unterzuordnen (Rothbart & Posner, 2001).

Die zunehmende Entwicklung inhibitorischer Funktionen vollzieht sich dabei parallel zur Entwicklung des Stirnhirns (präfrontaler Kortex). Je weiter v. a. der dorsolaterale Anteil des präfrontalen Kortex entwickelt ist, desto besser ist auch die Arbeitsgedächtnisleistung (Diamond, 2002). So zeigen 19-Jährige bessere Ergebnisse bei Arbeitsgedächtnisaufgaben als 10-Jährige, die wiederum besser abschneiden als 9-jährige Kinder (Brocki & Bohlin, 2004). In Bezug auf die Inhibitionsleistung zeigen Studienergebnisse, dass sich zwischen dem 7. und dem 16. Lebensjahr die Verhaltenshemmung ebenfalls zunehmend verbessert (Lamm, Zelazo & Lewis, 2006).

Die Verbesserungen dieser und weiterer kognitiver Funktionen hängen dabei u. a. mit dem Rückgang der synaptischen Dichte, der Elimination von Axonen und der zunehmenden Myelinisierung (Nelson, Haan & Thomas, 2006) sowie von der dopaminergen Neurotransmission in dieser Gehirnregion zusammen. Dabei ist u. a. entscheidend, ob die dopaminerge Transmission phasisch oder tonisch erfolgt (Beitenstein, Korsukewitz, Flöel, Kretzschmar, Diederich & Knecht, 2006). Die Befundlage zu Dopamin und EF wird zudem dadurch komplexer, da unterschiedliche EF von verschiedenen Dopaminrezeptorklassen in unterschied-

lichem Maße (Floresco & Magyar, 2006) beeinflusst werden.

Betrachtet man den Verlauf exekutiver Funktionen über die gesamte Lebensspanne, so weisen Kinder und ältere Menschen im Vergleich zu jungen Erwachsenen schlechtere Leistungen auf. Neben dem Einfluss des Alters können EF durch Übung gefördert werden und sie scheinen zudem von individuellen Unterschieden hinsichtlich Motivation und Intelligenz abzuhängen (Nelson, Haan & Thomas, 2006).

Exekutive Funktionen und schulische Lernleistung

Die EF Arbeitsgedächtnis und Inhibition stehen in einer engen Beziehung zur sprachlichen, mathematischen und naturwissenschaftlichen Lernleistung der Schülerinnen und Schüler (Blair, Knipe & Gamson, 2008; Valdez, Reilly & Waterhouse, 2008; Diamond et al., 2007; Mazocco & Kover, 2007; Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Vom Vorschulalter bis zum Schulende sagen die Arbeitsgedächtnisleistung und die inhibitorische Verhaltenskontrolle die mathematische Leistung sowie die Leseleistung der Schüler voraus (Diamond et al., 2007). Eine Untersuchung von Kindern im Alter von 6 bis 8 Jahren hat ergeben, dass jene mit geringerer mathematischer Leistungsfähigkeit insbesondere Schwierigkeiten haben, bereits angewandte Lernstrategien zu unterdrücken, um zu einer neuen, ggf. besseren Strategie zu wechseln. Kinder mit höherer mathematischer Leistungsfähigkeit sind dagegen vermehrt in der Lage, sich mehr Zahlen zu merken und dadurch zu addieren bzw. zu subtrahieren. Diese Kinder zeigen eine bessere Arbeitsgedächtnisleistung als Kinder mit geringerer Rechenspanne. Man kann annehmen, dass die bessere Leistungsfähigkeit bei diesen Aufgaben auch auf eine bessere Inhibition von zuvor gespeicherten Informationen im Arbeitsgedächtnis zurückzuführen ist (Bull & Scerif, 2001). Zudem reduziert eine erhöhte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses das gedankliche Abschweifen, unterstützt die Aufrechterhaltung von Gedanken bei veränderten Aktivitäten, die Konzentration erfordern (Kane, Brown, McVay, Silvia, Myin-Germeys & Kwapil,

Sportwiss 2009 · 39:309–317
DOI 10.1007/s12662-009-0079-2
© Springer Medizin Verlag 2009

Sabine Kubesch · Laura Walk Körperliches und kognitives Training exekutiver Funktionen in Kindergarten und Schule

Zusammenfassung

Exekutive Funktionen, die durch körperliches und kognitives Training gefördert werden können, sind für die Lernleistung und die sozial-emotionale Entwicklung von Kindern und Jugendlichen von zentraler Bedeutung. Aus diesem Grund sollte zukünftig das Training exekutiver Funktionen im Kindergarten und im Schulkontext und dabei insbesondere sowohl in der Lehreraus- und Weiterbildung als auch im Unterricht fest verankert werden. Gleichzeitig sollten kognitions- und neurowissenschaftliche Studien zum Einfluss des Sports auf die Lernleistung von Heranwachsenden verstärkt unter realen Lernbedingungen und somit in Forschungsschulen stattfinden.

Schlüsselwörter

Exekutive Funktionen (EF) · Körperliches Training · Kognitives Training · Arbeitsgedächtnis · Inhibition

Physical and cognitive training of executive functions in kindergarten and schools settings

Abstract

Executive functions, which can be encouraged by physical and cognitive training, are pivotally important for the social and emotional development of children and adolescents. For this reason future training of executive functions in kindergarten and school settings should be firmly anchored in both teacher education and continuing education courses as well as in school lessons. At the same time cognitive and neuroscientific studies analyzing the influence of sports on the learning performance of children and adolescents should be conducted under realistic learning conditions and hence in research schools.

Keywords

Executive functions (EF) · Physical training · Cognitive training · Working memory · Inhibition

2007), und fördert die Problemlösekompetenz (Klingberg, 2009). Kinder mit Rechenstörungen (Dyskalkulie) sowie mit Leserechtschreibschwäche (Dyslexie) weisen ebenfalls beeinträchtigte EF auf (Beringer, Raskind, Richards, Abbott & Stock, 2008; Landerl, Bevan & Butterworth, 2004). In Bezug auf den schulischen, universitären und beruflichen Erfolg werden EF im Allgemeinen und eine gut ausgebildete inhibitorische Verhaltenskontrolle im Besonderen mindestens gleichsetzt und teilweise höher bewertet als der reine Wissenserwerb (Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Sie liefern damit eine wichtige Basis für schulisches Lernen und dafür, dass Kinder und Jugendliche ihre geistigen Potentiale und ihre Lernleistung voll entfalten können. Aus diesem Grund sollte zukünftig das Training exekutiver Funktionen im Kindergarten und im Schulkontext und dabei insbesondere sowohl in der Lehreraus- und Weiterbildung als auch im Unterricht fest verankert werden.

Molekularbiologische Analysen

Exekutive Funktionen hängen in starkem Maße von der genetisch gesteuerten Dopaminverfügbarkeit im präfrontalen Kortex ab. Dabei bestimmt zu 60% das Catechol-O-Methyltransferase-(COMT-)Enzym, wie lange Dopamin in und um den synaptischen Spalt verfügbar und damit im präfrontalen Kortex aktiv ist. Im Striatum und Nucleus accumbens, in denen v. a. Dopamintransporter das extrazelluläre Dopamin abbauen, steuert das COMT-Gen den Dopaminabbau dagegen nur bis zu 15% (Diamond et al., 2007). Dieses Gen liegt in 3 verschiedenen Polymorphismen vor, wobei der Methionin-(Met-)Polymorphismus in einem langsameren Dopaminkatabolismus und damit einer größeren Dopaminverfügbarkeit resultiert als der Valin-(Val-) und der Val-Met-Polymorphismus. Der Met-Met-Polymorphismus wird generell im Vergleich zum Val-Val-Polymorphismus mit besseren EF in Verbindung gebracht. Diamond et al. (2004) stellten beispielsweise fest, dass 9-jährige Kinder, die homozygot für Methionin sind, signifikant weniger Fehler in einem Test machen, der Arbeitsgedächtnis, Inhibition und kognitive Flexibilität erfordert, als Kinder, die

homozygot für Valin sind und damit einen schnelleren Abbau von Dopamin im präfrontalen Kortex aufweisen. Eine größere Dopaminverfügbarkeit im präfrontalen Kortex fördert aber nicht in jedem Fall EF, sondern macht gleichzeitig sensibler für Stress.

Man geht davon aus, dass Frauen aufgrund ihres höheren Östrogenspiegels mehr Dopamin im präfrontalen Kortex aufweisen als Männer (Diamond, 2007). Die COMT-Enzymaktivität ist bei Frauen dadurch um etwa 30% reduziert, was in einem langsameren Dopaminabbau resultiert – und für sich genommen günstig für die Leistungsfähigkeit des exekutiven Systems ist (Diamond, 2007). Da sich aber sowohl zu hohe als auch zu niedrige Dopaminkonzentrationen negativ auf EF auswirken, zeigen Frauen mit einem Met-Met-Genotyp durch eine weitere Erhöhung der Dopaminkonzentration im präfrontalen Kortex, z. B. durch bereits milde Formen von Stress, schlechtere EF als Männer, die homozygot für Methionin sind (Diamond, 2007). Im Wisconsin Card Sorting Test zur Untersuchung kognitiver Flexibilität und perseverativem Verhalten schneiden Männer mit Met-Met-Genotyp besser ab als Männer mit Val-Val-Genotyp. Dagegen zeigen Frauen, die homozygot für Valin sind, bessere Testergebnisse als Frauen, mit Methioninpolymorphismus (Diamond, 2007). Da durch muskuläre Beanspruchung die Dopaminkonzentration im präfrontalen Kortex gesteigert werden kann (Kubesch, 2008) und Sport gleichzeitig stressreduzierend wirkt (Ratey, 2008), werden zukünftig ebenfalls vermehrt Studien zum COMT-Gen in Zusammenhang mit sportlicher Aktivität und EF unter Einbeziehung von geschlechtsspezifischen Unterschieden und Stress durchgeführt. Hier besteht großer Forschungsbedarf, da diese Studienergebnisse von hoher schulpraktischer Relevanz sind. Zukünftig werden molekulargenetische Analysen im Zusammenhang mit der Lernleistung einen immer höheren Stellenwert in der neurowissenschaftlichen Forschung einnehmen. Dies hat zur Folge, dass genetische Erkenntnisse zur Lernleistung bzw. zu Lernleistungsschwächen Pädagogen und Eltern vermittelt werden müssen (Grigorenko, 2007).

Kognitives und körperliches Training exekutiver Funktionen von Kindern und Jugendlichen

Kognitives Training

Im Jahr 2007 wurde in der Fachzeitschrift *Science* ein Artikel zum Training exekutiver Funktionen bei Vorschulkindern publiziert. Adele Diamond, Mitbegründerin der „Development Cognitive Neuroscience“ und eine der führenden Wissenschaftlerinnen zur Entwicklung und Förderung der EF von Kindern, konnte nachweisen, dass sich durch den Einsatz von einfachen und kostengünstigen Methoden die Arbeitsgedächtnisleistung, die inhibitorische Verhaltenskontrolle und die kognitive Flexibilität bei Kindern im mittleren Alter von 5 Jahren signifikant verbessern (Diamond et al., 2007). Das sog. „Tools of the Mind Program“ wurde bei Kindern aus niedrigen Einkommenschichten durchgeführt. Diese Kinder weisen in der Regel schlechtere EF auf als Kinder aus Haushalten mit höherem Einkommen, wobei sich die Unterschiede mit jeder Klassenstufe vergrößern (Diamond et al., 2007). Das Tools-Programm wurde entwickelt, um über ein spielerisches Training exekutiver Funktionen insbesondere die Entwicklung der Selbstregulation und darüber sozial-emotionale Kompetenzen der Kinder zu fördern. Es wurde ebenfalls nachgewiesen, dass dieses Frühförderungsprogramm, das körperliche Aktivitäten einschließt, die Schuleignung und die Lernleistung von Kindern unterstützt (Barnett, Heron, Ring, Golding, Goldmann, Xu & Jones, 2007; Saifer, 2007).

Kognitive Trainingseffekte von EF können bereits nach einigen Tagen erzielt werden. Michael Posner und Mary Rothbarth (2007) von der University of Oregon (USA) konnten bei 4 bis 6 Jahre alten Kindern nach 5 Tagen computerbasierten Trainings (30 bis 40 min pro Tag) Verbesserungen in einem Aufmerksamkeits- und einem Intelligenztest nachweisen. Die Effekte eines solchen kurzzeitigen Trainings bilden sich nach deren Beendigung allerdings wieder zurück (Klingberg et al., 2005), weshalb ein überdauerndes Training in Kindergärten und Schulen zu empfehlen ist. Diamond et al. (2007) haben darüber hinaus gezeigt, dass

ein Transfer der Effekte (von der Übung in der Klasse auf die Leistungsfähigkeit des exekutiven Systems) nur dann zu erwarten ist, wenn das kognitive Training nicht nur punktuell erfolgt, sondern mehrmals täglich in den Kindergarten- und Schultag eingeflochten wird.

Von einem solchen Training profitieren insbesondere Kinder mit beeinträchtigten EF wie Kinder und Jugendliche mit ADHS/ADS. Ein tägliches, mehrwöchiges Training des Arbeitsgedächtnisses beispielsweise fördert über mehrere Monate die Arbeitsgedächtnisleistung Heranwachsender mit ADHS um etwa 18% (Klingberg, 2009), wodurch sich in weiterer Folge deren Fähigkeit verbessert, die Aufmerksamkeit zu kontrollieren. Demgegenüber führt die Einnahme von Ritalin zu einer Verbesserung der Arbeitsgedächtnisleistung um rund 10% (Klingberg, 2009). Die Zahl der Kinder und Jugendlichen, die mit ADHS diagnostiziert und denen psychotrope Medikamente verschrieben werden, ist in den vergangenen Jahren stark gestiegen⁹. Die Einnahme solcher Medikamente in dieser frühen Lebensphase kann sich jedoch nachteilig auf die kognitive Entwicklung der Heranwachsenden auswirken (Blair & Diamond, 2008). Gleichzeitig zeigt die steigende Nachfrage nach psychotropen Medikamenten den steigenden Bedarf nach Unterstützung und v. a. nach alternativen Strategien von Eltern und Pädagogen im Umgang mit verhaltensauffälligen Kindern und Jugendlichen (Blair & Diamond, 2008). Dabei geht es insbesondere um die Förderung der Selbstregulation und des Arbeitsgedächtnisses, um der Entwicklung von Krankheiten wie ADHS und ADS vorbeugen zu können. Clancy Blair und Adele Diamond (2008) gehen davon aus, dass viele Kinder mit ADHS fehldiagnostiziert sind, da sie nicht gelernt haben bzw. ihnen nicht vermittelt wurde, wie sie ihr Verhalten regulieren können. Die Wissenschaftler prognostizieren durch ein frühes Training der EF deshalb einen

Rückgang der Diagnosen von ADHS und weiteren Verhaltenstörungen.

Körperliches Training – Auf die Fitness kommt es an!

Exekutive Funktionen lassen sich aber nicht nur auf kognitiver Ebene trainieren, sie profitieren ebenfalls von körperlicher Aktivität. Seit Ende der 1990er Jahre werden EF im Zusammenhang mit muskulärer Beanspruchung erforscht. Die Untersuchungen unter Verwendung neuropsychologischer Testmethoden und moderner bildgebender Verfahren bezogen sich dabei zunächst auf ältere Menschen (Kramer, Hahn, Cohen, Banich, McCauley & Harrison et al., 1999) und depressive Patienten (Kubesch, Bretschneider, Feudenmann, Weidenhammer, Lehmann, Spitzer & Grön, 2003), bei denen das exekutive System oftmals nicht mehr voll funktionsfähig ist. Mittlere Ausdauer- und Kraftausdauerbelastungen üben bei diesen Personengruppen einen positiven Effekt auf die EF aus (Kubesch, 2008). Zudem konnte bei Baseballspielern mit Hilfe einer Go-Nogo-Aufgabe (einem objektivierbaren und den Spielern zuvor nicht bekannten neuropsychologischen Testverfahren) nachgewiesen werden, dass sich die inhibitorische Verhaltenskontrolle und damit die Entscheidungsfindung sportartspezifisch fördern lässt (Kida, Oda & Matsumura, 2005).

Da die vollständige Entwicklung und damit auch die Ausbildung der Funktionen des exekutiven Systems bis in das Erwachsenenalter andauern, muss zukünftig verstärkt untersucht werden, in welchen Entwicklungsphasen es von bestimmten Formen sportlicher Aktivität profitiert. Da das exekutive System von Kindern und Jugendlichen gleichzeitig mit der Lernleistung sowie mit emotionalen Abläufen wie aggressivem und emphatischem Verhalten und so auch mit dem Temperament Heranwachsender in Zusammenhang steht, sind kognitions- und neurowissenschaftliche Erkenntnisse zu diesem Themenbereich besonders in dieser Altersgruppe für die Bildungsforschung von Bedeutung. Dabei wird die selektive Aufmerksamkeit Jugendlicher, die von der exekutiven (inhibitorisch kontrollierten) Aufmerksamkeit abhängt, bereits durch eine 10-minü-

⁹ Im Zeitraum von 1995 bis 1999 stieg in den USA die Verschreibung von Medikamenten für die Behandlung von ADHS bei Kindern mit schlechter Inhibition des Verhaltens und der Aufmerksamkeit um 400% (s. "Supplemental Online Material" in Diamond et al., 2007).

Hier steht eine Anzeige.

 Springer

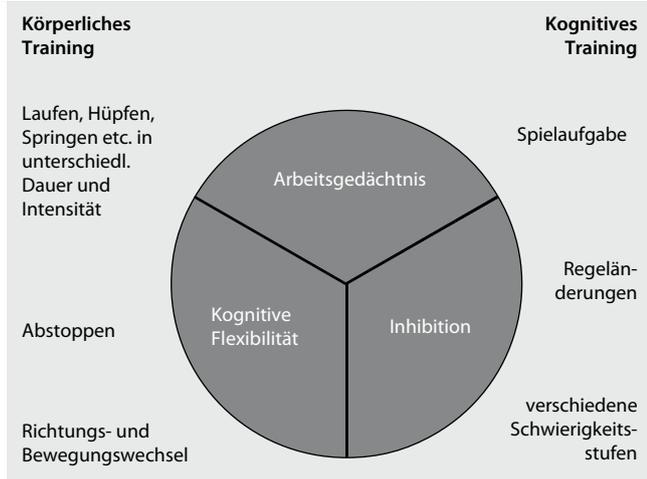


Abb. 1 ◀ Kombiniert körperlich-kognitives Training exekutiver Funktionen

tige bilaterale koordinative Übung gefördert (Budde et al., 2008). In Bezug auf den Einfluss der körperlichen Leistungsfähigkeit konnten wir in einer eigenen Studie an Realschülern der 7. Klasse, die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert wurde, durch den Einsatz des Elektroenzephalogramms (EEG) bzw. durch die Analyse ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs) nachweisen, dass die körperliche Fitness entscheidend für die Förderung EF ist. So weisen körperlich leistungsstärkere Schüler bei der Ausführung einer Go-Nogo-Flanker-Aufgabe zum einen eine signifikant größere CNV¹⁰-Amplitude auf als weniger fitte Schüler, was für erhöhte vorbereitende Aufmerksamkeitsprozesse spricht. Zum anderen zeigen die leistungsstärkeren Schüler im Vergleich zu den weniger körperlich leistungsstarken Schülern eine reduzierte N₂-Amplitude (Stroth, Kubesch, Dieterle, Ruchsow, Heim & Kiefer, 2009). Die N₂¹¹ stellt die EKP-Komponente dar, die mit der Antwortüberwachung und der Inhibition von Reaktionen assoziiert wird. Anhand der N₂-Kurve lässt sich folglich die exekutive Kontrolle bzw. die Inhibition von Antworttendenzen messen. Unsere Studienergebnisse deuten darauf hin, dass die körperliche Fitness die Leistung des exekutiven Systems verbessert, indem die geistige Anstrengung bei Prozessen der Handlungsüberwachung reduziert wird. Eine reduzierte N₂-Amplitude von

körperlich leistungsstärkeren Schülern spiegelt damit eine effizientere kognitive Kontrolle wider.

EEG- und EKP-Forschungen haben einen großen Einblick in das Verständnis von kognitiven Prozessen gegeben. Der Vorteil einer EEG-Messung mit EKPs gegenüber der Verhaltensmessung ist die präzisere Aufzeichnung der Vorgänge, die diesen Auswirkungen zugrunde liegen. Der zeitliche Verlauf der kognitiven Prozesse wird dabei im Bereich von Millisekunden aufgelöst. EKPs geben somit sehr genaue Informationen darüber, wie das Gehirn einer Person während einer gegebenen Aufgabe arbeitet. So können sie Auswirkungen der allgemeinen Fitness sowie einer akuten Belastung auf die Bearbeitung von kognitiven Aufgaben aufzeigen, auch wenn Verhaltensmessungen keine Effekte ergeben.

John Ratey, Professor für Psychiatrie an der Harvard Medical School, führt die Leser in seinem Buch *Spark* (2008) in das Labor von Charles Hillman, University of Illinois. In mehreren neuen EEG-Studien konnte die Arbeitsgruppe um Hillman nachweisen, dass akute körperliche Aktivität die EF von jungen Erwachsenen, Kindern (Hillman, Castelli & Buck, 2005) und Jugendlichen (Hillman, Kramer, Belopolsky & Smith, 2006) positiv beeinflusst. Mehr als eine akute körperliche Beanspruchung fördert jedoch eine gesteigerte körperliche Fitness EF vom Kindes- (Buck, Hillman & Castelli, 2008; Hillman et al., 2005) bis zum Erwachsenenalter (Themanson & Hillman, 2006). Dabei reagieren körperlich leistungsstärkere Kinder, nachdem sie einen Fehler in einer Flanker-Aufgabe (zur

Messung der exekutiven Aufmerksamkeit) gemacht haben, bei der folgenden Aufgabe langsamer, um aufgrund der gemachten Erfahrung, einen weiteren Fehler zu verhindern. „The ability to stop and consider a response, to use the experience of a wrong choice as a guide in making the next decision, relates to executive functions. (...) Learning from our mistakes is profoundly important in everyday life, and Hillman’s study shows that exercise – or at least the resulting fitness levels – can have a powerful impact on that fundamental skill“ (Ratey, 2008, S. 26).

Kombiniert körperlich-kognitives Training

Exekutive Funktionen profitieren von einem kognitiven Training ebenso wie von einem körperlichen Training. Wir überprüfen derzeit, ob EF in einem stärkeren Maße gefördert werden, wenn beide Trainingsformen kombiniert erfolgen (▣ **Abb. 1**). Um EF bereits bei kleineren Kindern durch ein körperlich-kognitives Training zu fördern, hat die Arbeitsgruppe Sport des ZNL in Zusammenarbeit mit der HABA-Firmenfamilie (Habermaß GmbH und Wehrfritz GmbH) eine Spielesammlung für Kindergartenkinder und Grundschüler entwickelt (▣ **Abb. 2**). Die darin enthaltenen Bewegungsspiele, die den kleinen Spielen zugeordnet werden können, beinhalten aufgrund der Spielregeln bzw. Spielaufgaben ein intensives Training der EF. Die Spielesammlung enthält kleine Tierkarten (mit Tierabbildungen und zusätzlichen Informationen zu den Tieren wie z. B. *Wassertier* oder *Fleischfresser* sowie unterschiedlichen Farbrändern), die auf die Schärpen der Kinder geklettet werden können, sowie mehrere große Tier- und Farbkarten, eine Hupe und eine CD mit Tierliedern. Das kognitive Training ergibt sich dabei aus der Bewegungsaufgabe, die den Kindern gestellt wird. Das bedeutet beispielsweise, dass sich Kinder im Arbeitsgedächtnis die Aufgabenstellung merken müssen, während sie dabei eine andere Bewegungsaufgabe durchführen. Die Kinder werden in bestimmten Spielsituationen durch ein akustisches (Hupton, Tierlieder-CD) oder optisches (große

¹⁰CNV, „contingent negative variation“

¹¹ Die N₂ bzw. N₂₀₀ erreicht ihren [im negativen (N) Bereich gelegenen] Höhepunkt zwischen 150 und 300 msec nach Präsentation eines Stimulus.

Tier- oder Farbkarten) Signal kurzfristig dazu aufgefordert, einen Bewegungsablauf abzustoppen, einen Richtungswechsel vorzunehmen etc., wodurch die inhibitorische Verhaltenskontrolle trainiert wird. Dabei können sich Spielabläufe sehr schnell ändern, wodurch die kognitive Flexibilität geschult wird.

Diese Spiele stellen damit gleichzeitig eine gute Grundlage für viele Sportarten dar, in denen die EF stark gefordert sind. Voraussichtlich ab Frühjahr 2010 steht diese Spielesammlung allen Kindergärten und Grundschulen über die HABA-Firmenfamilie zur Verfügung.

Wir gehen insbesondere davon aus, dass ein kombiniertes körperlich-kognitives einem rein kognitiven Training überlegen ist, das in der therapeutischen Praxis zunehmend mit Hilfe von Computerspielen erfolgt. Der Neurowissenschaftler Michael Posner, der den Nachweis erbracht hat, dass die exekutive Aufmerksamkeit von Kindern im Alter zwischen 4 und 6 Jahren durch ein Training mit Computerspielen gefördert werden kann, ist der Ansicht, dass dies nicht die beste Form sei, kindliche Aufmerksamkeitsprozesse zu fördern (Posner & Rothbarth, 2007). Angesichts der Tatsache, dass Kinder und Jugendliche in Deutschland in ihrer Freizeit bereits täglich mehrere Stunden damit verbringen, Bildschirmmedien zu konsumieren und der Medienkonsum mit Aufmerksamkeitsstörungen, aggressivem Verhalten, Übergewicht, niedrigeren Bildungsabschlüssen und der Zeit korreliert, die Kinder alleine und nicht mit Freunden verbringen (Spitzer, 2005), sollten Computerspiele nicht als Trainingsmethode zur Förderung kognitiver Funktionen eingesetzt werden. Die Förderung von EF gelingt nach Ansicht von Michael Posner insbesondere in sozialer Interaktion: „Even if computer-based remediation methods prove to be a successful way to train attention in early childhood, they are unlikely to be the only or even the best way. Children need to gain experience in social settings and social settings can also be used to help in the training of executive attention“ (Posner & Rothbarth, 2007, S. 117).

Bei der Spielesammlung der HABA-Firmenfamilie und des ZNL werden die Kinder aufgefordert, Informationen zu

Abb. 2 ► Spielbeschreibung der Spielidee „Frosch schnappt Fliege“

speichern, während sie beim Laufen anderen Kindern ausweichen müssen, oder während des Laufens in Abhängigkeit des Verhaltens ihrer Mitspieler weitere Aufgaben zu erfüllen haben. Dabei ist das Arbeitsgedächtnis der Kinder unter Bewegung und in Interaktion mit anderen Kindern maximal gefordert, was eine Voraussetzung ist, um die Arbeitsgedächtnisleistung und in weiterer Folge die Problem-

lösekompetenz und damit auch den IQ zu steigern (Klingberg, 2009).

Zudem stellt ein sportliches Training der Inhibition und der kognitiven Flexibilität, bei dem kurzfristig aus dem Lauf abgestoppt oder ein Richtungswechsel vorgenommen werden muss, bei dem der Wurf in der Wurfbewegung in eine andere Richtung gelenkt oder abgebrochen wird, eine höhere Beanspruchung der inhibitorischen Verhaltenskontrolle und der ko-

Frosch schnappt Fliege

Einstiegs Geschichte für die Kinder: Was macht die Schlange denn da am Froschteich? Aha, sie lauert auf ihr Abendessen! Der arme Frosch! Er ahnt nichts, weil er selbst auf der Lauer liegt. „Hm, so eine kleine Fliege wäre jetzt genau das richtige zum Abendessen“, denkt sich der Frosch. Und die Fliege, was macht sie? Sie hat die Schlange längst entdeckt. Sie freut sich über ein bisschen Spaß zur Abendstunde und neckt die Schlange. Na, wie das wohl ausgehen wird?

Material

- Jedes Kind erhält eine der kleinen Tierkarten ‚Frosch‘, ‚Fliege‘, ‚Schlange‘ und eine Schärpe, auf die sichtbar die Tierkarte geklettet wird.

Spielanleitung

- Zu Beginn des Spiels werden ein Jäger und ein Gejagter ausgewählt.
- Es gilt folgende Regel: Schlange fängt (schnappt) Frosch - Frosch fängt (schnappt) Fliege - Fliege fängt (ärgert) Schlange. Diese Regel muss im **Arbeitsgedächtnis** gespeichert werden.
- Die anderen Spieler stehen jeweils zu zweit eingehakt in der Halle/auf dem Schulhof verteilt.
- Der Fänger versucht den freien Mitspieler zu fangen, bevor sich dieser bei einem Paar einhakt. Hakt er sich ein, muss der äußere Mitspieler sich lösen.
- Dieser Spieler und der Fänger vergleichen nun schnell ihre Karten und werden entsprechend zu Jäger bzw. Gejagtem. Dabei benötigen und trainieren die Kinder **ihre kognitive Flexibilität**.
- Der Gejagte darf sich nicht bei einem Paar einhaken, bei dem der frei werdende Mitspieler die gleiche Tierkarte hat wie der Jäger. Diese Regel muss ebenfalls im **Arbeitsgedächtnis** gespeichert werden. Gleichzeitig wird bei der Aufgabenausführung die **Inhibition** des Verhaltens geschult.
- Wird der Gejagte vom Jäger gefangen, bilden sie ein neues eingehaktes Paar. Es werden ein neuer Jäger und Gejagter ausgewählt.
- Wenn der Spielleiter hupt, wird direkt die Regel der Jäger und Gejagten umgedreht: Schlange fängt Fliege - Fliege fängt Frosch - Frosch fängt Schlange. Dabei wird das Training der **Inhibition**, der **kognitiven Flexibilität** und des **Arbeitsgedächtnisses** intensiviert.
- Beim nächsten Hupton zählt wieder die alte Regel, wobei die **Inhibition**, die **kognitive Flexibilität** und das **Arbeitsgedächtnis** erneut gefordert sind.
- Dieses Spiel enthält eine Spielvariation, bei der die Tierabbildung anfänglich nicht zu sehen ist. Dabei ist es wichtig, dass alle Spieler den Spielablauf aufmerksam verfolgen, um so ihren Mitspielern allmählich die richtigen Tiere zuzuordnen zu können, wobei das **Arbeitsgedächtnis** im hohen Maße beansprucht wird.

gnitiven Flexibilität dar, als bei einer Entscheidung über einen Tastendruck am Computer.

Darüber hinaus beinhalten die Spiele viele überraschende Momente und ermöglichen dadurch zahlreiche sportliche Erfolgserlebnisse. Da überraschend einsetzende Bewegungserfolge über Dopaminaktivierungen Einfluss auf präfrontale Vorgänge nehmen (Beck, 2008), ist auch über diesen Mechanismus eine Förderung der EF durch die Spielesammlung möglich.

Wir gehen außerdem davon aus, dass die Inhibition und damit die Selbstregulation durch diese Spiele insbesondere dadurch gefördert werden, dass die Übungen zur kognitiven Kontrolle an die emotionale Kontrolle gekoppelt sind. Blair und Diamond (2008) vermuten, dass die Entwicklung und die Förderung der Selbstregulation v. a. dann gelingen, wenn in Lernsituationen beide Teile des anterioren cingulären Kortex, der in einen ventralen Anteil für die emotionale Kontrolle und einen dorsalen Anteil für die kognitive Kontrolle unterteilt ist, integriert werden (Kubesch, 2008). Entsprechend gilt es dabei, ein Gleichgewicht zwischen der Beteiligung des Netzwerkes für kognitive Kontrolle (lateraler präfrontaler Kortex) und dem emotional-reaktiven Netzwerk (ventromedialer präfrontaler Kortex) herzustellen, um die Selbstregulation und damit in weiterer Folge die Schuleignung und die Lernleistung von Kindern zu fördern. Da sich insbesondere kleinere Kinder mit großer Freude häufig und intensiv bewegen und zudem sehr gerne spielen, ist davon auszugehen, dass bei der Ausführung der Bewegungsspiele v. a. die Entwicklung der kindlichen Selbstregulation gefördert wird.

Torkel Klingberg, Professor für kognitive Neurowissenschaft, schreibt in seinem Buch *The Overflowing Brain. Information Overload and the Limits of Working Memory* (2009; S. 162): „Maybe we can make games companies furnish their products with a cognitive ingredients list specifying the working memory load of the games (...)“. Darauf zielt die Zusammenarbeit des ZNL und der HABA-Firmenfamilie ab: Durch den Einsatz von Bewegungsspielen und weiteren Lernspielen u. a. für die Bereiche Sprache und Mathe-

matik, mit denen EF von Kindern in Interaktion mit anderen Kindern gezielt und intensiv trainiert werden, sollen innovative Erkenntnisse der kognitiven Neurowissenschaft zum Training exekutiver Funktionen für Familien, Kindergarten-einrichtungen und die schulische Praxis nutzbar gemacht werden. Trainingseffekte der Spiele auf exekutive Funktionen und die Lernleistung der Kinder werden gleichzeitig in Forschungskindergärten und Forschungsschulen des ZNL wissenschaftlich untersucht.

Fazit

„Lernen zu verstehen heißt, dass Gehirn zu verstehen (...), daher wird ein Lehrer, der weiß wie das Gehirn funktioniert, besser lehren können“ (Spitzer, 2003, S. 427). Um die Bedeutung neurowissenschaftlicher Erkenntnisse für die Pädagogik richtig einschätzen und in der Praxis umsetzen zu können, benötigen Lehrer ein kognitions- und neurowissenschaftliches Hintergrundwissen. Gleichzeitig müssen Neurowissenschaftler die realen Lernbedingungen und Lernziele kennen, damit sie die zentralen schulrelevanten Forschungsfragen untersuchen (Fischer & Hinton, 2008). Vergleichbares gilt für die Sportwissenschaft bzw. die Sportpädagogik und damit für Sportwissenschaftler, die den Einfluss von muskulärer Beanspruchung und körperlicher Leistung auf die Lernleistung von Kindern und Jugendlichen untersuchen. Neurowissenschaftliche Kenntnisse zum Lernen sind fundamental, um Lernprozesse auch im Zusammenhang mit sportlicher Aktivität tiefer gehend verstehen zu können. Über neuronale Anpassungen, die durch körperliche Beanspruchung hervorgerufen werden, können EF beeinflusst werden, die untrennbarer Bestandteil schulischer Lernleistung in allen Unterrichtsfächern sind. Zukünftig sollten deshalb vermehrt Studien zum Einfluss von sportlicher Aktivität und körperlicher Leistungsfähigkeit auf Lernprozesse von Schülern bereits auf molekularbiologischer bzw. neurobiochemischer und neuronaler Ebene ansetzen, auf funktionaler Ebene fortgeführt werden und in Untersuchungen des Verhaltens und der Lernleistung münden. Da-

bei ist es hilfreich, diese Studien in Forschungsschulen durchzuführen. Mit Hilfe von Forschungslaboren, die in Bildungseinrichtungen integriert sind, ist es möglich, Kinder und Jugendliche über Jahre kontinuierlich im Rahmen des normalen Kindergarten- bzw. Schultags und somit in einer vertrauten Umgebung zu untersuchen. Dies wiederum ermöglicht größere Stichproben, erleichtert die Durchführung von Längsschnittstudien und hat zudem den Vorteil, dass im Rahmen von Studien für Eltern und Kinder keine zusätzlichen Anfahrtszeiten entstehen und die Teilnahme an Forschungsprojekten keine außergewöhnliche Situation für die Kinder darstellt. Forschungsschulen bzw. Forschungskindergärten, in denen Pädagogen und Wissenschaftler unter realen Lernbedingungen in ständigem Austausch stehen und überdauernd gemeinsam wissenschaftlich arbeiten, bieten die ideale Infrastruktur, damit in einer Zweibege-Interaktion die pädagogische Praxis und die kognitions- und neurowissenschaftliche Forschung sich wechselseitig und gewinnbringend beeinflussen können.

Korrespondenzadresse

Dr. Sabine Kubesch

Transferzentrum für Neurowissenschaften und Lernen, Universität Ulm
Beim Alten Fritz 2, 89075 Ulm
sabine.kubesch@uni-ulm.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

1. Barnett, J.H., Heron, J., Ring, S.M., Golding, J., Goldmann, D., Xu, K. & Jones, P.B. (2007). Gender-specific effects of the catechol-O-methyltransferase Val108/158Met polymorphism on cognitive function in children. *American Journal of Psychiatry*, 164 (1), 142–914.
2. Beck, F. (2008). Sportmotorik und Gehirn. *Sportwissenschaft*, 38 (4), 423–450.
3. Berninger, V.W., Raskind, W., Richards, T., Abbott, R. & Stock, P. (2008). A multidisciplinary approach to understanding developmental dyslexia within working-memory architecture: Genotypes, phenotypes, brain, and instruction. *Developmental Neuropsychology*, 33 (6), 707–744.
4. Blair, C. & Diamond, A. (2008). Biological processes in prevention and intervention: The promotion of self-regulation as a means of preventing school failure. *Development and Psychopathology*, 20, 899–911.

5. Blair, C., Knipe, H. & Gamson, D. (2008). Is there a role for executive functions in the development of mathematics ability? *Mind, Brain, and Education*, 2 (2), 80–89.
6. Breitenstein, C., Korszukewitz, C., Flöel, A., Kretzschmar, T., Diederich, K. & Knecht, S. (2006). Tonic dopaminergic stimulation impairs associative learning in healthy subjects. *Neuropsychopharmacology*, 31 (11), 2552–2564.
7. Brocki, K.C. & Bohlin, G. (2004). Executive functions in children aged 6 to 13: A dimensional and developmental study. *Developmental Neuropsychology*, 26, 571–593.
8. Buck, S.M., Hillman, C.H. & Castelli, D. (2008). Aerobic fitness influences on Stroop task performance in preadolescent children. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 40, 166–172.
9. 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.
10. Bull, R. & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 19, 273–293.
11. Carlson, S.M. (2003). Executive Function in Context: Developmental, Measurement, Theory, and Experience. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 68, 138–151.
12. Clair-Thompson, S.C. & Gathercole, S.E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59 (4), 745–759.
13. Diamond, A. (2007). Consequences of Variations in Genes that affect Dopamine in Prefrontal Cortex. *Cerebral Cortex*, 17, i161–i170.
14. Diamond, A., Barnett, W.S., Thomas, J. & Munro, S. (2007). Preschool Program Improves Cognitive Control. *Science*, 318, 1387–1388.
15. Diamond, A., Briand, L., Fossella, J. & Gehlbach, L. (2004). Genetic and neurochemical modulation of prefrontal cognitive functions in children. *American Journal of Psychiatry*, 161, 125–132.
16. Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In D.T. Stuss & R.T. Knight (Eds.). *Principles of frontal lobe function* (S. 466–503). London: Oxford University Press.
17. Fischer, K.W. & Hinton, C. (2008). Research Schools: Grounding Research in Educational Practice. *Mind, Brain, and Education*, 2, 157–160.
18. Floresco, S.B. & Magyar, O. (2006). Mesocortical dopamine modulation of executive functions: beyond working memory. *Psychopharmacology*, 188 (4), 567–568.
19. Grigorenko, E.L. (2007). How Can Genomics Inform Education? *Mind, Brain, and Education*, 1 (1), 20–27.
20. Hillman, C.H., Kramer, A.F., Belopolsky, A.V. & Smith, D.P. (2006). A cross-sectional examination of age and physical activity on performance and event-related brain potentials in a task switching paradigm. *International Journal of Psychophysiology*, 59 (1), 30–39.
21. 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, 1967–1974.
22. Hinton, C. & Fischer, K.W. (2008). Research Schools: Grounding Research in Educational Practice. *Mind, Brain, and Education*, 4 (2), 157–160.
23. Jaeggi, S.M., Buschkuhl, M., Jonides, J. & Perrig, W.J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (19), 6791–6792.
24. Kane, M.J., Brown, L.H., McVay, J.C., Silvia, P.J., Myin-Germeys, I. & Kwapil, T.R. (2007). For whom the mind wanders, and when: an experience-sampling study of working memory and executive control in daily life. *Psychological Science*, 8 (7), 614–621.
25. Kida, N., Oda, S. & Matsumura, M. (2005). Intensive baseball practice improves the Go/Nogo reaction time, but not the simple reaction time. *Cognitive Brain Research*, 22, 257–264.
26. Klingberg, T. (2009). *The Overflowing Brain. Information overload and the limits of working memory*. New York: Oxford University Press.
27. Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P.J., Johnson, M., Gustavsson, P., Dahlström, K., Gillberg, C.G., Fossberg, H. & Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with AD/HD – a randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44, 177–186.
28. Kramer, A.F., Hahn, S., Cohen, N.J., Banich, M.T., McAuley, E., Harrison, C.R., Chason, J., Vakil, E., Bardell, L., Boileau, R.A. & Colombe, A. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400, 418–419.
29. Kubesch, S. (2008). *Körperliche Aktivität und exekutive Funktionen*. Reihe Junge Sportwissenschaft. Schorndorf: Hoffmann Verlag.
30. Kubesch, S., Bretschneider, V., Freudenmann, R., Weidenhammer, N., Lehmann, M. Spitzer, M. & Grön, G. (2003). Aerobic endurance exercise improves executive functions in depressed patients. *Journal of Clinical Psychiatry*, 9, 1005–1012.
31. Lamm, C., Zelazo, P.D. & Lewis, M.D. (2006). Neural correlates of cognitive control in childhood and adolescence: Disentangling the contributions of age and executive function. *Neuropsychologia*, 44 (11), 2139–48.
32. Landerl, K., Bevan, A. & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8–9-year-old students. *Cognition*, 93 (2), 99–125.
33. Mazzocco, M.M.M. & Kover, S.T. (2007). A longitudinal assessment of executive function in skills and their association with math performance. *Child Neuropsychology*, 13, 18–45.
34. Meltzer, L. (2007). *Executive Function in Education: From Theory to Practice*. New York: Guilford Publications.
35. Nelson, C.H., de Haan, M. & Thomas, K.M. (2006). *Neuroscience of Cognitive Development. The Role of Experience and the Developing Brain*. New Jersey: John Wiley & Sons.
36. Petrill, S. & Justice, L.M. (2007). Bridging the Gap Between Genomics and Education. *Mind, Brain, and Education*, 4 (1), 153–161.
37. Posner, M.I. & Rothbarth, M.K. (2007). *Educating the Human Brain*. Washington: American Psychological Association.
38. Ratey, J. (2008). *Spark: The Revolutionary New Science of Exercise and the Brain*. New York: Little, Brown and Company.
39. Rothbarth, M.K. & Posner, M.I. (2001). Mechanism and variation in the development of attentional networks. In C.A. Nelson & M. Luciana (Eds.). *Handbook of developmental cognitive neuroscience* (S. 353–363). Cambridge: The MIT Press.
40. Saifer, S. (2007) *Tools of the Mind – A Vygotskian-inspired early childhood curriculum*. Paper presented at the 17th Annual Conference of the European Early Childhood Education Research Association, Prague: Czech Republic.
41. Spitzer, M. (2005). *Vorsicht Bildschirm. Elektronische Medien, Gehirnentwicklung, Gesundheit und Gesellschaft*. Stuttgart: Klett.
42. Spitzer, M. (2003). Medizin für die Schule. Plädoyer für eine evidenzbasierte Pädagogik. *Nervenheilkunde*, 22, 427–431.
43. Spitzer, M. (2002). *Lernen. Gehirnforschung und die Schule des Lebens*. Heidelberg: Spektrum.
44. Stroth, S., Kubesch, S., Dieterle, K., Ruchow, M., Heim, R. & Kiefer, M. (2009). Physical fitness, but not acute exercise modulates event-related potentials indices for executive control in healthy adolescents. *Brain Research*, 1269, 114–124.
45. Themanson, J.R. & Hillman, C.H. (2006). Cardiorespiratory fitness and acute aerobic exercise effects on neuroelectric and behavioral measures of action monitoring. *Neuroscience*, 141 (2), 757–767.
46. Valdez, P., Reilly, T. & Waterhouse, J. (2008). Rhythms of Mental Performance. *Mind, Brain, Education*, 2 (1), 7–16.
47. Zelazo, P.D., Müller, U., Frye, D. & Marcovitch, S. (2003). The development of executive function. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 68, 1–27.