

Expertise

„Bedeutung Exekutiver Funktionen in der frühen MINT-Bildung und Kulturellen Bildung“

Erstellt im Auftrag der Stiftung “Haus der kleinen Forscher” und der Stiftung Mercator

Zitieren als:

Evers, W.F., Pauen, S., Rittelmeyer, C. & Walk, L.M. (2018). *Bedeutung Exekutiver Funktionen in der frühen MINT-Bildung und Kulturellen Bildung*. Unveröffentlichte Expertise im Auftrag der Stiftung "Haus der kleinen Forscher" und der Stiftung Mercator.

Autoren:

Wiebke F. Evers

Psychologisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg

Prof. Dr. Sabina M. Pauen

Psychologisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg

Prof. i. R. Dr. Christian Rittelmeyer

Institut für Erziehungswissenschaft, Universität Göttingen

Laura M. Walk

ZNL TransferZentrum für Neurowissenschaften und Lernen, Universität Ulm

Oktober 2018

Inhalt

Einleitung	4
1 Selbststeuerung und Exekutive Funktionen	6
1.1 Was es für das eigene Leben bedeutet, "sich im Griff zu haben"	6
1.2 Selbststeuerung - ein komplexes Phänomen	7
1.2.1 Woher kommt der Begriff Exekutive Funktionen?.....	8
1.2.2 Definition und Struktur Exekutiver Funktionen.....	8
1.2.3 Wie grenzt man Exekutiven Funktionen von verwandten Konstrukten ab?.....	11
1.3 Wie entwickeln sich Exekutiven Funktionen in der frühen Kindheit?	15
1.3.1 Arbeitsgedächtnis (Updating)	15
1.3.2 Inhibition (Response Inhibition)	18
1.3.3 Kognitive Flexibilität (Shifting)	20
1.3.4 Aufgaben, die keiner bestimmten EF-Komponente zuzuordnen sind	21
1.3.5 Einschätzungen der Exekutiven Kontrolle durch Bezugspersonen	22
1.3.6 Wie entsteht das hierarchische Modell der Exekutiven Funktionen?	23
1.3.7 Gibt es Phasen der beschleunigten Entwicklung von Exekutiven Funktionen?	24
1.4 Was beeinflusst die Entwicklung der Exekutiven Funktionen?	25
1.4.1 Gehirnentwicklung	26
1.4.2 Individualfaktoren und ihre Auswirkungen auf die Exekutiven Funktionen.....	26
1.4.3 Umweltfaktoren und soziale Einflüsse und ihre Auswirkungen auf die Exekutiven Funktionen	29
1.5 Zusammenfassung	33
2 Bezüge zwischen Exekutiven Funktionen und MINT-Bildung	34
2.1 Naturwissenschaftliches Denken, Problemlösen und Exekutive Funktionen	34
2.2 Zusammenhänge zwischen Exekutiven Funktionen und naturwissenschaftlichem Denken	42
2.2.1 Arbeitsgedächtnis und naturwissenschaftliches Denken	42
2.2.2 Inhibition und naturwissenschaftliches Denken	43

2.2.3	Kognitive Flexibilität und naturwissenschaftliches Denken	44
2.3	Zusammenhänge zwischen Exekutiven Funktionen und Problemlösen	44
2.3.1	Arbeitsgedächtnis und Problemlösen	44
2.3.2	Inhibition und Problemlösen	45
2.3.3	Kognitive Flexibilität und Problemlösen	46
2.4	Zusammenhänge zwischen Exekutiven Funktionen und den MINT-Fächern	46
2.4.1	Exekutive Funktionen und Mathematik	47
2.4.2	Exekutive Funktionen und Naturwissenschaften	54
2.4.3	Zusammenfassung: Exekutive Funktionen und MINT-Fächer	57
3	Bezüge zwischen Exekutiven Funktionen und Kultureller Bildung	58
3.1	Begriffsklärungen und zentrale Fragestellungen	58
3.2	Forschungsbeispiele und ihre Diskussion	62
3.3	Der Konflikt zwischen MINT-Orientierungen und künstlerischen Lernfeldern vor dem Hintergrund neuerer Studien zur Bildungsaspiration	72
3.4	Zusammenfassung und Identifizierung von Forschungsbedarf	78
4	Fazit und Empfehlungen zur Förderung der Exekutiven Funktionen in der frühen MINT- und Kulturellen Bildung	80
4.1	Förderung von Exekutiven Funktionen in der MINT-Bildung	80
4.2	Förderung von Exekutiven Funktionen in der Kulturellen Bildung	84
5	Literatur	86

Einleitung

Auf den ersten Blick stellt die Beschäftigung mit Naturphänomenen, Mathematik, Informatik und Technik (MINT) ganz andere Anforderungen an den menschlichen Geist als die Beschäftigung mit Kunst, Kultur und Gesellschaft: Geht es in einem Fall um die Rationalisierung, Systematisierung und Funktionalisierung des Denkens über die unbelebte Natur, so stehen im anderen Fall die Freisetzung des kreativen Geistes und der Austausch mit anderen Menschen im Fokus. Erst bei genauerer Betrachtung wird deutlich, dass Lern- und Erkenntnisprozesse in beiden Fällen auf grundlegende Denkfähigkeiten ähnlicher Art zurückgreifen, zu denen u.a. die Selbststeuerung von Gedanken, Gefühlen und Motivationszuständen gehört. Diese Selbststeuerung bezeichnet man in der psychologischen Fachliteratur häufig auch als "Exekutive Funktionen (EF)".

Gemeinsamkeiten zwischen MINT- und Kultureller Bildung werden nicht nur von Psychologen, Kognitions- und Bildungswissenschaftlern gesehen, sondern auch von Eltern und Schülern: Im Jahr 2015 wurde im Auftrag des Rates für Kulturelle Bildung vom Institut für Demoskopie Allensbach (IfD) eine repräsentative Befragung von Schülerinnen und Schülern 9. und 10. Klassen in allgemeinbildenden Schulen Deutschlands durchgeführt. Gefragt wurde nach den Kulturinteressen und nach dem Kulturverständnis der Jugendlichen (vgl. Rat für Kulturelle Bildung, 2015). Demnach gaben Jugendliche, die ein generelles Interesse an Kultur bekundeten, nicht nur wesentlich häufiger Deutsch, Kunst und Musik als Lieblingsfächer an; sie nannten auch deutlich häufiger nichtkünstlerische Fächer wie Geschichte, Biologie, Erd- oder Sozialkunde. Dabei ist zu beachten, dass der Kulturbegriff von den meisten Jugendlichen mit den klassischen Künsten Malerei, Theater, klassischer Musik und Bildhauerei assoziiert wird. Die Korrespondenz der künstlerischen mit außerkünstlerischen Fachvorlieben macht deutlich, dass kulturelle Interessen mindestens bei einer wesentlichen Teilgruppe der Befragten Ausdruck einer umfassenderen Bildungsaspiration sind. So gaben Schülerinnen und Schüler, die sich als kulturell interessiert beschrieben, zu einem erheblich größeren Prozentsatz (72%) an, gern zur Schule zu gehen als Kinder ohne kulturelle Interessen (23%). Ähnliche Zusammenhänge fanden sich auch in anderen Untersuchungen (Keuchel, 2012, S. 181). Ein vergleichbares Bild ergab sich zudem bei Befragung der Eltern: Die besonders kulturinteressierten Eltern identifizierten Technik und Naturwissenschaft im Vergleich zu den weniger kulturinteressierten häufiger als Aspekte der Kulturellen Bildung und gaben außerdem an, kulturelle und naturwissenschaftlich-technische Aktivitäten seien für die Entwicklung der Kinder sowie deren spätere Berufstätigkeit wichtig. Ein Teil der Eltern und Schüler nehmen folglich einen wesentlich engeren Bezug zwischen MINT- und künstlerischen Fähigkeiten wahr als es gemeinhin in der strikten Trennung beider Fächergruppen proklamiert wird. Diese umfassende Bildungsaspiration könnte u.a. mit der bereits erwähnten Einsicht zusammenhängen, dass kognitive Basiskompetenzen wie etwa EF bei der Beschäftigung mit MINT- und kulturellen Inhalten gleichermaßen angesprochen sind.

Ein Blick in die bestehende Fachliteratur macht deutlich, dass bei empirischen Untersuchungen zum Bezug von EF zu den Bildungsbereichen MINT bislang vor allem solche Arbeiten dominieren, die den Einfluss von EF auf naturwissenschaftliches oder mathematisches Denken untersuchen (vgl. Kapitel 2.2-2.4), während im Hinblick auf Zusammenhänge zwischen EF und Kultureller Bildung in der Regel umgekehrt nach der Wirkung von künstlerischer Beschäftigung auf die Entwicklung der EF gefragt wird (vgl. Kapitel 3.2). Ein Großteil existierender Arbeiten ist allerdings korrelativer Natur und lässt daher gar keine Kausalfolgerungen zu.

Aus theoretischer Sicht scheint die Annahme einer Wechselwirkung durchaus plausibel: Demnach werden Kinder mit bestimmten kognitiven Basis-Fähigkeiten des Denkens geboren, welche

ihnen helfen, inhaltlich qualitativ unterschiedliche Bildungsangebote effektiv zu nutzen. Die Bildungsangebote ihrerseits wirken sich positiv auf die Entwicklung der Basiskompetenzen aus. Die empirische Überprüfung dieser Wechselwirkung setzt zunächst eine sorgfältige Analyse der einzelnen Phänomen-Bereiche voraus. Konkret gilt es zu klären, in welcher Weise EF an bestimmten Prozessen des Lernens spezifischer Inhalte beteiligt sind und wie umgekehrt die Beschäftigung mit bestimmten Inhalten die EF-Entwicklung stärken kann.

Die vorliegende Expertise möchte hier einen Beitrag leisten, indem sie den aktuellen Forschungsstand zu EF und ihrer Entwicklung im Überblick darstellt (Kapitel 1), anschließend die Beziehung zwischen EF und MINT-Bildung sowie (Kapitel 2) und zwischen EF und Kultureller Bildung (Kapitel 3) näher beleuchtet, und vor diesem Hintergrund einige Anregungen und Empfehlungen für das weitere Vorgehen in Forschung und Praxis der elementaren Bildung gibt.

Unser EF-Autorenteam besteht aus Experten verschiedener Wissensdomänen (Entwicklungspsychologie, naturwissenschaftliche Bildung, Sport, Kunst), die mit unterschiedlichen Formen der wissenschaftlichen Arbeit vertraut sind. Wir sind überzeugt, dass eine gewisse Varianz in der Art der Darstellung von relevanter Forschung grundsätzlich kein Manko, sondern vielmehr einen Mehrwert für den Leser darstellt. Daher unterscheiden sich die von den jeweiligen Autoren zu verantwortenden Unterkapitel teilweise in der Art der Argumentation und der Natur der Quellen, auf die sie sich beziehen, nicht jedoch in dem Bemühen um einen Brückenschlag zwischen MINT-Bildung und Kultureller Bildung durch den gemeinsamen Fokus auf die Frage, wie EF und Bildungsprozesse in der Kindheit zusammenhängen.

1 Selbststeuerung und Exekutive Funktionen

„Bitte warte einen Moment, bis wir alle sitzen!“

„An der nächsten Ampel links fahren!“

„Jetzt sei doch nicht sauer!“

Ständig sind wir im Alltag gefordert, Motive, Gefühle und Gedanken, die unser Handeln bestimmen, aktiv zu steuern. So müssen wir in der Lage sein, eigene Ängste oder Aggressionen zu beherrschen, Probleme gründlich zu durchdenken, unsere Bedürfnisse zu regulieren oder uns zu motivieren, wenn wir vor neuen Herausforderungen stehen.

Das vorliegende Kapitel legt zunächst dar, warum die Fähigkeit zur Selbststeuerung wichtig ist. Anschließend werden die kognitiven Basisfähigkeiten, die Selbststeuerung ermöglichen, näher beschrieben. Wie zu zeigen sein wird, spielen Exekutive Funktionen (EF) hierbei eine zentrale Rolle. Im Rahmen einer Begriffsbestimmung erläutern wir, welche Kompetenzen zu den EF gezählt werden und wie diese von verwandten Konstrukten abzugrenzen sind. Nachfolgend referieren wir Befunde zur Organisation und Entwicklung der EF und diskutieren, was diese Entwicklung determiniert. Auf dieser Grundlage erfolgt schließlich eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Frage, welche Beziehungen zwischen EF und MINT- bzw. kultureller Bildung bestehen, mit denen sich die nachfolgenden Kapitel beschäftigen.

1.1 Was es für das eigene Leben bedeutet, "sich im Griff zu haben"

Von welcher hohen Bedeutung die Fähigkeit "sich im Griff zu haben" ist, zeugen vielzählige Studien, die in den letzten beiden Jahrzehnten durchgeführt wurden. Die „Dunedin Multidisciplinary Health and Development Study“ (Moffitt et al., 2011; Poulton, Moffitt & Silva, 2015) ist dabei besonders erwähnenswert: Über einen Zeitraum von inzwischen mehr als 40 Jahren hinweg wurden etwa 1000 Kinder, die 1972 und 1973 in der Stadt Dunedin in Neuseeland geboren wurden, in ihrer Entwicklung begleitet. Die Wissenschaftler um Terrie E. Moffitt fanden heraus, dass Kinder, die im Alter zwischen 3 und 11 Jahren mehr Kompetenzen zur Selbststeuerung aufwiesen (besser auf eine Belohnung warten konnten, sich nicht so leicht von einer Aufgabe ablenken ließen, bei der Aufgabenbearbeitung ausdauernder waren und seltener impulsiv handelten), die Herausforderungen des Erwachsenwerdens im Mittel besser zu meistern schienen als Kinder, die weniger Fähigkeit zur Selbststeuerung erkennen ließen. Diejenigen, die sich bereits als Kinder besser im Griff hatten, gingen als Teenager mit höherer Wahrscheinlichkeit noch in die Schule, trafen weniger risikoreiche Entscheidungen, nahmen seltener Drogen und rauchten seltener. Als Erwachsene verfügten sie über eine bessere körperliche wie auch geistige Gesundheit (z.B. waren sie seltener übergewichtig und zeigten seltener Drogenmissbrauch); außerdem erreichten sie höhere Positionen im Beruf, lebten eher in stabilen sozialen Netzen und wurden seltener straffällig. Auch finanziell ging es ihnen im Mittel besser als denjenigen, die sich schon als Kinder schlechter steuern konnten. Bemerkenswerterweise zeigten frühe Kompetenzen in diesem Bereich im Kindesalter einen statistisch größeren Einfluss auf den weiteren Lebensverlauf als der IQ, das Geschlecht und der sozioökonomische Hintergrund der eigenen Familie (Moffitt et al., 2011).

Zahlreiche weitere Studien konnten die hohe Bedeutung der Fähigkeit, sich selbst zu steuern, für verschiedene Altersgruppen und Lebensbereiche bestätigen (Casey et al., 2011; Mischel, Shoda & Peake, 1988; Mischel, Shoda & Rodriguez, 1989; Shoda, Mischel & Peake, 1990; Watts,

Duncan & Quan, 2018). So konnte für den *sozialen Bereich* etwa gezeigt werden, dass Selbststeuerung eng mit dem Verständnis von Kindern für die mentalen Zustände anderer Personen (z. B. Carlson, Mandell & Williams, 2004; Carlson & Moses, 2001; Hughes & Ensor, 2007), ihren sozial-emotionalen Kompetenzen (z.B. Rhoades, Greenberg & Domitrovich, 2009) und der Beziehungsqualität zu Gleichaltrigen (z.B. Holmes, Kim-Spoon & Deater-Deckard, 2016; Trentacosta & Shaw, 2009) zusammenhängen.

Im *akademischen Bereich* fanden Studien Zusammenhänge mit Lernleistungen in Mathematik (z.B. Blair & Razza, 2007; Bull, Espy & Wiebe, 2008; Bull, Espy, Wiebe, Sheffield & Nelson, 2011; Bull & Scerif, 2001), im Lesen und Schreiben (z.B. Blair & Razza, 2007; Clark, Sheffield, Wiebe & Espy, 2013; Swanson & Ashbaker, 2000; Swanson, Jerman & Zheng, 2008; Swanson & Sachse-Lee, 2001) sowie mit akademischen Erfolgen in den Naturwissenschaften und in Sozialkunde (z.B. Latzman, Elkovitch, Young & Clark, 2010).

Auch für die *mentale Gesundheit* scheint die Fähigkeit zur Selbststeuerung von zentraler Bedeutung zu sein (Nigg, 2017). Ein Mangel an Kompetenzen in diesem Bereich hängt stark mit dem Auftreten einer Aufmerksamkeitsdefizit- bzw. Hyperaktivitätsstörung zusammen (z.B. Willcutt, Doyle, Nigg, Faraone & Pennington, 2005) sowie mit pathologischem externalisierendem und internalisierendem Verhalten (z.B. Espy, Sheffield, Wiebe, Clark & Moehr, 2011; Martel & Nigg, 2006). Darüber hinaus fanden sich Zusammenhänge mit Suchtverhalten (z.B. Buil, van Lier, Brendgen, Koot & Vitaro, 2017; Zucker, Heitzeg & Nigg, 2011), Depression (z.B. Wang, F. L., Chassin, Eisenberg & Spinrad, 2015) und Persönlichkeitsstörungen (z.B. Chapman, Leung & Lynch, 2008; Nigg, Silk, Stavro & Miller, 2005).

Zusammenfassend wird deutlich, dass Erfolg, Gesundheit und Zufriedenheit im Leben wesentlich mit durch die menschliche Fähigkeit bestimmt zu sein scheinen, eigene geistige Prozesse und Zustände sowie das eigene Verhalten aktiv steuern zu können.

1.2 Selbststeuerung - ein komplexes Phänomen

Auch wenn in den letzten drei Jahrzehnten eine Fülle von Studien zur Entwicklung, Bedeutung und Förderung der Selbststeuerung veröffentlicht wurden (z.B. Best & Miller, 2010; Best, Miller & Jones, 2009; Carlson, 2005; Diamond & Lee, 2011; Garon, Bryson & Smith, 2008) fehlt bislang eine klare Definition von Begriffen, die häufig genannt werden, um einzelne Facetten des Phänomens zu beschreiben (Drechsler, 2007; Espy et al., 2004; Nigg, 2017; Zelazo et al., 2003). Dies ist vor allem dem Umstand geschuldet, dass damals wie heute viele Disziplinen parallel zu diesem Thema forschen (Miyake & Friedman, 2012). Während es den einen vor allem um die Beschreibung von Fähigkeiten oder Kompetenzen geht, interessieren sich andere eher für Prozesse oder Zustände. Nicht nur innerhalb der Persönlichkeits- und Entwicklungspsychologie, der klinischen, der sozialen und der kognitiven Psychologie wird zum Thema Selbststeuerung gearbeitet; auch für die Soziologie, die Neurowissenschaften und die Medizin war und ist dieses Feld von großem Interesse (Nigg, 2017).

Im Rahmen der vorliegenden Expertise unterscheiden wir allgemein zwischen der Selbststeuerung kognitiver, emotionaler und motivationaler Zustände auf mentaler Ebene sowie der Steuerung des eigenen Verhaltens auf behavioraler Ebene (Pauen & the EDOS Group, 2016). Weil ein vollständiger Überblick über die Literatur zu allen diesen Aspekten den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen würde, konzentrieren wir uns primär auf die Selbststeuerung im Sinne des Konstruktes der EF.

1.2.1 Woher kommt der Begriff Exekutive Funktionen?

Als eine der ersten konzeptualisierten Baddeley und Hitch (1974) und später Lezak (1983) die EF als Zielformulierung, Planung und Ausführung von zielgerichtetem Verhalten und effektive Performanz bei der Umsetzung eines Plans. Zu diesen ursprünglichen Funktionen kamen mit der Zeit eine ganze Reihe von Fähigkeiten hinzu, wie etwa die Hemmung, die Antizipation, die Umstellung, die Reflektion, das Problemlösen, die Emotionsregulation, das Erkennen und Beheben von Fehlern sowie die Aufmerksamkeitslenkung (Anderson, P., 2002; Banich, 2009; Burgess & Simons, 2005; Carlson, 2003; Espy et al., 2004; Friedman & Miyake, 2017; Miller, E. K. & Cohen, 2001). In allen diesen Fällen handelt es sich um Basisfähigkeiten des menschlichen Denkens (kognitive Ebene), die der effektiven Steuerung des eigenen Verhaltens zugrunde liegen.

Als Basisfähigkeiten waren die EF auch für die neuropsychologische Forschung interessant. Es fiel schon früh auf, dass Patienten, die Schädigungen im Bereich des Frontalhirns zeigten, oft schwere Störungen in der Verhaltens- und Emotionsregulation zeigten (Damasio, Grabowski, Frank, Galaburda & Damasio, 1994). So entstand die Vorstellung, dass in diesem Bereich des Gehirns Prozesse ablaufen müssen, die besonders wichtig für reguliertes und zielorientiertes Handeln sind (Barkley, 2012). In der neuropsychologischen Literatur werden EF allerdings mehrheitlich als ein psychologisches und nicht als ein neurologisches Konstrukt aufgefasst (Drechsler, 2007).

Inzwischen gibt es vielfältige Bestrebungen, EF in Teil-Komponenten zu untergliedern, für die jeweils andere Hirnareale besonders relevant zu sein scheinen. Ein prominentes Beispiel ist die Unterscheidung zwischen "heißen" und "kalten" EF (z.B. Zelazo & Carlson, 2012). Dabei beziehen sich die "heißen" EF primär auf die Steuerung von emotionalen und motivationalen Prozessen oder Zuständen und unter maßgeblicher Beteiligung des limbischen Systems sowie des präfrontalen Kortexes ablaufen. Die "kalten" EF spielen primär bei der Steuerung von Problemlöseprozessen eine Rolle, die unter Beteiligung des Frontalhirns, aber ohne wesentliche Aktivierung des limbischen Systems und somit weitestgehend frei von emotionalen oder motivationalen Prozessen stattfinden. Abhängig von der Frage, ob eine gegebene Aufgabe mehr oder weniger emotional bzw. motivational aufgeladen ist, kommen eher kalte oder heiße EF zur Anwendung. Es handelt sich daher vermutlich eher um ein Kontinuum als um klar separate Funktionen. Allerdings hat sich gezeigt, dass spätestens ab dem Vorschulalter eine zuverlässige Differenzierung zwischen heißen und kalten Funktionen möglich ist (vgl. Garon, 2016).

Wie nachfolgend noch deutlich wird, ist die Debatte um die Frage, was genau zu EF gehört, welche Komponenten unterschieden werden sollen und welche Hirnareale an den jeweiligen Prozessen beteiligt sind, bis heute offen. Wir können daher lediglich über den Zwischenstand entsprechender Diskussionen berichten.

1.2.2 Definition und Struktur Exekutiver Funktionen

Die Anwendung von EF beschreibt nach heutiger Auffassung eine Gruppe von mentalen Top-Down-Prozessen, die primär im Frontalhirn stattfinden und intentionales, selbstgesteuertes Handeln ermöglichen (Best et al., 2009; Blair, 2016a; Diamond, 2013; Friedman et al., 2006; Pauen & the EDOS Group, 2016). Sie werden vor allem in Situationen benötigt, in denen automatisiertes Verhalten nicht zielführend ist (Espy et al., 2004; Miller, E. K. & Cohen, 2001) und spielen damit eine entscheidende Rolle für die menschliche Fähigkeit, sich an neue Situationen anzupassen. Wie bereits dargelegt, werden zwischen unterschiedlichen Komponenten der EF differenziert, wobei die Frage, welchen Komponenten zentrale Bedeutung zukommt und wie die EF strukturell organisiert sind, noch offen ist (Barkley, 2012; Jurado & Rosselli, 2007).

Einige Wissenschaftler postulierten, dass alle exekutiven Kontrollprozesse im Endeffekt auf einem einzigen grundlegenden Mechanismus aufbauen. So ging beispielsweise Baddeley lange von der Existenz einer **zentralen Exekutive** aus. Diese definierte er als das zentrale Element der Aufmerksamkeitssteuerung, welches der Kontrolle und Regulation von kognitiven Prozessen diene (Baddeley, 1992). Heute postulieren die meisten Forscher jedoch eine mehrfaktorielle Struktur (Drechsler, 2007), und auch Baddeley nimmt mittlerweile an, dass die zentrale Exekutive wohl mehrere Funktionen umfasse (Baddeley, 2012). Das bisher am weitesten verbreitete **Strukturmodell** der EF ist das von Miyake et al. (2000), welches die empirische Grundlage für das bereits von Teuber (1972) postulierte „Unity and Diversity“-Modell bildet. Dieses Modell beruht auf explorativen Faktorenanalysen und stützt sich auf Daten von Studenten, die an verschiedenen Testverfahren zur Erfassung von EF teilnahmen. Das Modell geht von drei Faktoren aus, denen sämtliche kognitiven Funktionen, die an unterschiedlichsten Aufgaben beteiligten sind, zugeordnet werden können:

Die drei Kernfunktionen der Exekutiven Funktionen

Arbeitsgedächtnis (Updating): Mit Hilfe des Arbeitsgedächtnisses werden Informationen im Geiste bewusst verarbeitet und manipuliert (Diamond, 2013). Informationen, die von außen neu aufgenommen werden, können im Arbeitsgedächtnis mit bereits vorhandenem Wissen in Zusammenhang gebracht und verknüpft werden (Baddeley, 2010). So können beispielsweise Aufgaben priorisiert, Arbeitsschritte in eine sinnvolle Abfolge gebracht und mentale Pläne erstellt werden. Dies ist für Selbststeuerungsprozesse von entscheidender Bedeutung. Das Arbeitsgedächtnis ist in seiner Kapazität begrenzt. Es werden dort nur aktuell relevante Informationen aufrechterhalten (z.B. das Zwischenergebnis bei einer Kopfrechenaufgabe); unwichtige Informationen (z.B. das Ergebnis der zuvor gelösten Aufgabe) müssen dagegen überschrieben werden (Miyake et al., 2000). Es geht also nicht alleine darum, Informationen verfügbar zu halten, wie dies für das Kurzzeitgedächtnis der Fall ist, sondern vielmehr um die aktive Manipulation und Verarbeitung von geistigen Inhalten sowie die Planung von Verhalten (Diamond, 2013). Viele Autoren sprechen daher vom "updating memory" oder sie differenzieren zwischen "simple" und "complex working memory" (Garon et al., 2008). Die Aufrechterhaltung und Manipulation von Information im Geiste scheinen tatsächlich separate Faktoren zu sein (Alloway, Gathercole, Willis & Adams, 2004; Gathercole, Pickering, Knight & Stegmann, 2004) und auch neuronal in unterschiedlichen Bereichen des Gehirns abzulaufen (z.B. Eldreth et al., 2006). Das Arbeitsgedächtnis wird gemeinhin den "kalten EF" zugerechnet, weil es vor allem für das Problemlösen wichtig ist und der Anteil an emotionalen und motivationalen Prozessen eher gering ausfällt (z.B. Zelazo & Carlson, 2012).

Inhibition (Response Inhibition): Unter Inhibition wird die Fähigkeit verstanden, eine dominante Reaktion zu unterdrücken, um stattdessen ein anderes, zielführenderes Verhalten ausführen zu können (Miyake et al., 2000). Die Inhibition hängt eng mit dem Konzept der Selbstkontrolle zusammen, da es vor allem um die Hemmung von präpotenten Verhaltensweisen geht (Diamond, 2013). In diesem Fall spricht man zumeist von Response Inhibition, um zu betonen, dass es um eine konkrete Antwort auf Verhaltensebene geht. Auch hier unterscheiden Garon, Bryson und Smith (2008) zwischen "simple response inhibition" (einfache Unterdrückung eines gerade dominierenden Impulses) und "complex response inhibition" (Beachtung einer Regel, wann eine dominante Reaktion unterdrückt werden muss). Die Inhibition ist aber auch für Prozesse der Aufmerksamkeitslenkung auf rein mentaler Ebene wichtig. So kann sie eine wichtige Rolle dabei

spielen, unwillkommene Gedanken oder Gefühle zu unterdrücken, oder das Bemühen unterstützen, ablenkende Reize zu ignorieren und sich stattdessen auf eine priorisierte Aufgabe zu konzentrieren. Diese Art der Inhibition wird meist als "Interference Control" bezeichnet (Diamond, 2013). Neueste Forschungsbefunde mit Erwachsenen sprechen für eine konzeptuelle Trennung zwischen Response Inhibition und Interference Control (Rey-Mermet, Gade & Oberauer, 2017). Inhibition wird häufig in „heißen“ Situationen gefordert, in denen es um die Regulierung motivationaler Prozesse und häufig damit verbundener emotionaler Zustände geht.

Kognitive Flexibilität (Shifting): Kognitive Flexibilität setzt die Fähigkeit zum Wechsel der Aufmerksamkeit bzw. die Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit voraus (Diamond, 2013). So kann der Fokus zwischen zwei oder auch mehreren Aufgaben, Anforderungen, mentalen Repräsentationen oder Regeln flexibel gewechselt werden. Das erleichtert sowohl räumlich als auch sozial den Perspektivenwechsel und erlaubt es dem Menschen, sich rasch an neue situative Gegebenheiten anzupassen. Kognitive Flexibilität erfordert Arbeitsgedächtnis und die Fähigkeit zur Inhibition (Davidson, Amso, Anderson & Diamond, 2006). So müssen bestimmte Informationen (z.B. Wissen über eine veraltete Regel) gezielt im Arbeitsgedächtnis unterdrückt werden, damit die Aufmerksamkeit flexibel auf andere Informationen gelenkt werden kann (z.B. die aktuell gültige Regel). Garon, Bryson und Smith (2008) differenzieren zwischen "attention shifting" und "response shifting"; sie markieren so die Unterscheidung zwischen Shifting auf mentaler Ebene und auf der Verhaltensebene.

In den Strukturanalysen von Miyake et al. (2000) erklärten alle drei Faktoren (Arbeitsgedächtnis, Inhibition und Kognitive Flexibilität) jeweils eigene Varianzanteile, zeigten untereinander aber auch moderate Korrelationen. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die drei Funktionen klar voneinander unterscheidbar sind, gleichzeitig aber auch eine zugrundeliegende Basis aufweisen. Doch nicht alle Untersuchungen zur Struktur der EF weisen in die gleiche Richtung. Studien mit Jugendlichen konnten die von Miyake und Mitarbeitern postulierte dreifaktorielle Struktur für ältere Kinder (z.B. Lehto, 2003; Rose, Feldman & Jankowski, 2011; Wu et al., 2011), Jugendliche (z.B. Lee, K., Bull & Ho, 2013) und Erwachsene (z.B. Vaughan & Giovanello, 2010) zwar replizieren, doch fanden andere Autoren eine zweifaktorielle Struktur (Huizinga, Dolan & van der Molen, 2006; van der Sluis, de Jong & van der Leij, 2007; Van der Ven, Kroesbergen, Boom & Leseman, 2012), bei der zwischen einem Faktor für Inhibition und einem gemeinsamen Faktor für Arbeitsgedächtnis / Kognitive Flexibilität differenziert wurde. Studien mit jüngeren Altersgruppen sprechen eher für eine unitäre Struktur mit nur einem einzigen Faktor (z.B. Espy et al., 2011; Hughes, Ensor, Wilson & Graham, 2009; Wiebe, Espy & Charak, 2008; Willoughby, Blair, Wirth & Greenberg, 2010).

Basierend auf den vorliegenden Befunden wurde angenommen, dass sich EF aus einem unitären Faktor heraus über die Kindheit hinweg entwickeln. Hinweise darauf gibt beispielsweise die Studie von Friedman, Robinson und Hewitt (2011). Die Autoren konnten die Leistung von Jugendlichen in unterschiedlichen Tests zu EF aufgrund einer einfachen Prohibitionsaufgabe vorhersagen, welche sie mit denselben Probanden bereits im Alter von 14 Monaten durchgeführt hatten. Aus diesen Befunden schlossen Friedmann und Kollegen, dass sich die späteren komplexeren EF vermutlich aus Vorläuferfähigkeiten heraus entwickeln, die man schon im Säuglings- und Kleinkindalter beobachten kann. Da bislang aber noch nicht genügend Studien zur Entwicklung der EF in der frühen Kindheit vorliegen, bleibt die Frage nach dem Ursprung der Struktur von EF vorerst noch offen.

Wie verschiedene Autoren betonen, spielen auch die Methoden zur Erfassung kognitive Basisfähigkeiten und die konkrete Gestaltung der Aufgaben, die in der Analyse berücksichtigt werden, eine entscheidende Rolle (z.B. Miller, M. R., Giesbrecht, Müller, McInerney & Kerns, 2012), wie viele Faktoren in einer konkreten Studie unterschieden werden. Weitgehend einig ist man sich jedoch darin, dass es mit großer Wahrscheinlichkeit sowohl funktionspezifische als auch funktionsübergreifende Bereiche der EF gibt (Collette et al., 2005; Sylvester et al., 2003), was laut Friedman et al. (2008) für die „Unity and Diversity“ Annahme spricht, die dem Modell von Miyake et al. (2000) zugrunde liegt.

1.2.3 Wie grenzt man Exekutiven Funktionen von verwandten Konstrukten ab?

Wie bereits dargelegt, kann man menschliche Selbststeuerung einerseits auf mentale Prozesse und andererseits auch auf Verhaltensweisen beziehen (Liew, 2011; Pauen & the EDOS Group, 2016). Begriffe, die in der Literatur besonders häufig genannt werden, um entsprechende Phänomene zu beschreiben, sind neben dem Begriff der "Exekutiven Funktionen" die Konzepte "Selbstregulation", "Selbstkontrolle", "Effortful Control", "Effortful Attention" und "fluide Intelligenz". Mit der Beschreibung und Abgrenzung dieser Begriffe beschäftigen sich inzwischen zahlreiche wissenschaftliche Abhandlungen (Blair & Ursache, 2011; Diamond, 2013; Eisenberg, Smith & Spinrad, 2011; Hofmann, Schmeichel & Baddeley, 2012; Jurado & Rosselli, 2007; Nigg, 2017; Rothbart, 2011; Welsh, M. & Peterson, 2014; Zhou, Chen & Main, 2012). An dieser Stelle soll eine kurze Übersicht helfen, die zentralen Punkte der aktuellen Diskussion näher zu beleuchten. Dabei beziehen wir uns vor allem auf Ausführungen von Diamond (2013, 2016).

Selbstregulation und Selbstkontrolle

Pauen und die EDOS Gruppe (2016) betonen den Unterschied zwischen Selbstregulation und Selbstkontrolle. Während sich die *Selbstregulation* auf die Modulation interner mentaler Prozesse beziehe, die bewusst (z.B. durch Anwendung von Selbst-Instruktion) oder unbewusst (z.B. bei der Anwendung von psychischen Abwehrmechanismen oder bei der Aktivierung von bestimmten Bedürfnissen durch körperliche Prozesse) ablaufen können, beziehe sich *Selbstkontrolle* auf die Umsetzung von Verhaltensimpulsen in konkrete Handlungen. Das könne sowohl die Initiierung einer bestimmten Aktivität betreffen (z.B. etwas zu tun, das man sich vorgenommen hat) als auch die Hemmung einer Aktivität (z.B. etwas nicht zu tun, zu dem man einen Drang verspürt). Die Selbststeuerung des Menschen schließe stets beide Aspekte ein. Die EF werden in diesem Zusammenhang als Basisfähigkeiten des Menschen verstanden, die Selbststeuerung auf unterschiedlichen Ebenen ermöglichen. Je nach Anforderungen einer Situation sind unterschiedliche Komponenten der EF einzeln oder auch in Kombination beteiligt. Andere Autoren sprechen sich für eine Unterscheidung zwischen Selbstregulation und EF aus (Blair, 2016b; Garon et al., 2008; Nigg, 2017; Zelazo & Cunningham, 2007). Während EF sich primär auf top-down Prozesse beziehen sollen (kognitive Kontrolle von mentalen Zuständen), schließe Selbstregulation auch bottom-up Prozesse ein (Induktion von kognitiven, emotionalen oder motivationalen Zuständen durch Wahrnehmungen interner oder externer Reize). Diese Überlegung lässt sich problemlos mit der zuvor dargestellten Ansicht verknüpfen, da es im ersten Fall um das Verhältnis von Selbstregulation zu Selbstkontrolle und im zweiten Fall um das Verhältnis von Selbstregulation zu EF geht. In beiden Fällen wird Selbstregulation als die mentale Schnittfläche interpretiert, an der top-down und bottom-up Prozesse koordiniert werden, bevor Handlungsimpulse entstehen.

Emotionsregulation

Wie bereits dargelegt, beschreibt der Term Selbstregulation mentale Prozesse, die uns dabei helfen, ein optimales Aktivierungsniveau herzustellen und zu erhalten (Eisenberg, Hofer & Vaughan, 2007; Liew, 2011), indem kognitive, emotionale und motivationale Zustände beeinflusst bzw. angepasst werden. Selbstregulation wird in der bestehenden Literatur häufig auf die Regulierung und Kontrolle von Gefühlen bezogen (Eisenberg, Spinrad & Eggum, 2010; Raver, 2004). In diesem Fall ist auch von *Emotionsregulation* die Rede. So können Menschen beispielsweise beeinflussen, ob und wie (z.B. wie intensiv) sie ein Gefühl zulassen und wie viel Raum sie ihm geben, um auf andere Bereiche wie ihre Motivation, ihre Gedankengänge und ihr Verhalten einzuwirken (Eisenberg et al., 2007). Die Emotionsregulation baut auf kognitiven Prozessen und Basisfähigkeiten auf, zu denen auch EF zählen (Hofmann et al., 2012; Nigg, 2017). Von der Definition her umfasst der Begriff Selbstregulation nur selten und der Begriff Emotionsregulation praktisch nie Prozesse, die dem klassischen Konstrukt des Arbeitsgedächtnisses zugeschrieben werden (Diamond, 2016). Dagegen zeigen sich häufig Überschneidungen mit der Definition von Inhibition, wenn es um die Unterdrückung von Gefühlen geht, oder auch mit der kognitiven Flexibilität (Shifting), wenn es um die Neubewertung von Situationen geht, die zu einer Veränderung der Gefühlslage beitragen.

Effortful Control

Der Begriff *Effortful Control* (Rothbart & Bates, 2006) beschreibt jenen Teil des menschlichen Temperaments, der sich mit Selbststeuerung befasst, wobei unterstellt wird, dass es sich um eine angeborene Disposition handelt. Je nach Ausprägung fällt es Menschen demnach leichter oder schwerer, sich selbst zu regulieren und zu kontrollieren (Diamond, 2016). Dabei kann sowohl ein Zuviel als auch ein zu Wenig an Selbststeuerung schädlich sein (Diamond, 2016). Nach Diamond (2013) steht Effortful Control der EF-Komponente der Inhibition besonders nahe. Es gibt jedoch auch Autoren, die Effortful Control und EF als weitgehend deckungsgleiche Konstrukte betrachten. In der Literatur werden sie daher bisweilen synonym verwendet. Nur selten wird der Begriff Effortful Control jedoch im Zusammenhang mit Arbeitsgedächtnis erwähnt, so dass es durchaus gerechtfertigt scheint, diese beiden Konzepte zu trennen. Zudem betont man bei Verwendung des Begriffes Effortful Control stärker die Annahme, es handle sich um eine angeborene Fähigkeit, als bei Verwendung des Begriffes der EF, welche eher als Kompetenzen verstanden werden, die sich ggf. auch trainieren lassen.

Executive Attention

Mit *Executive Attention* ist die Steuerung der eigenen Aufmerksamkeit gemeint. Unter den Begriff fällt sowohl die *Aufrechterhaltung eines hohen Aufmerksamkeitsniveaus* (z.B. in Vorbereitung auf die Wahrnehmung eines erwarteten Stimulus) als auch die bewusste *Aufmerksamkeitsorientierung* (Diamond, 2016). Letztere beschreibt die Fähigkeit des Menschen, seine Aufmerksamkeit ganz gezielt auf einen bestimmten Reiz zu lenken (z.B. Lauschen auf ein bestimmtes Geräusch) oder die Aufmerksamkeit bewusst NICHT auf einen Reiz zu lenken, der normalerweise Zuwendung auslösen würde (z.B. nicht nach einem Objekt zu schauen, das sich plötzlich in das Gesichtsfeld bewegt). Im letztgenannten Fall spricht Diamond (2016) von *inhibitorischer Aufmerksamkeitskontrolle* oder *Interference Control* (Diamond, 2013). In allen Fällen geht es um die Steuerung der eigenen Aufmerksamkeit und damit um eine kognitive Basisfunktion, die letztlich allen bewussten gedanklichen Prozessen zugrunde liegt. Im Unterschied zu EF wird hier der Anteil des Bewusstseins an der Selbststeuerung besonders betont.

Intelligenz

Immer wieder wird gefragt, in wie weit EF mit Intelligenz gleichzusetzen sind (Duckworth & Seligman, 2005; Friedman & Miyake, 2017). Studien unter Verwendung traditioneller Intelligenztests (z.B. der Wechsler Intelligence Scale for Children; Wechsler, 2003) fanden nur sehr schwache Zusammenhänge mit Messungen der EF (Ardila, Pineda & Rosselli, 2000). Duncan, Burgess und Emslie (1995) regten an, sich speziell die Zusammenhänge zwischen EF und fluider Intelligenz anzuschauen. Die fluide Intelligenz wird von Cattell (1963) definiert als die Fähigkeit, planvoll zu denken (im Englischen „reasoning“) und Strukturen oder Zusammenhänge zu erkennen. Sie grenzt sich ab von der kristallinen Intelligenz, die primär das Ausmaß gespeicherten Wissens umfasst. Damit fallen unter den Begriff der fluiden Intelligenz Fähigkeiten, an denen auch EF maßgeblich beteiligt sind. So ist die Testung von Arbeitsgedächtnis bzw. Updating fester Bestandteil zahlreicher Intelligenztests. Aber auch das Problemlösen und logische Denken, das in vielen IQ Tests abgefragt wird, baut auf EF auf. Vor diesem Hintergrund scheint es wenig überraschend, dass Studien zur fluiden Intelligenz signifikante Zusammenhänge mit Messungen der EF finden (z. B. Conway, Kane & Engle, 2003; Engle, Tuholski, Laughlin & Conway, 1999). Für alle drei Kernfunktionen (Arbeitsgedächtnis, Inhibition und kognitive Flexibilität) ergaben sich im Rahmen einer Studie von Friedman und Kollegen (2006) statistisch bedeutsame Korrelationen mit fluider und kristalliner Intelligenz, die jedoch primär auf geteilte Varianz von Inhibition und kognitiver Flexibilität mit dem Arbeitsgedächtnis zurückzuführen sind und verschwinden, sobald diese geteilte Varianz im Rahmen von strukturellen Gleichungsmodell Berücksichtigung findet (Friedman & Miyake, 2017). Es spricht also einiges dafür, dass insbesondere die Arbeitsgedächtnis-Komponente der EF mit Intelligenz in Verbindung steht.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Wissenschaftler das Phänomen der Selbststeuerung aus verschiedenen Perspektiven beleuchten. Während die einen eher an den internen Prozessen der Selbstregulation interessiert sind, legen andere ihren Fokus auf das daraus resultierende Verhalten und die Selbstkontrolle. Dabei steht für die einen der Umgang mit Aufmerksamkeitszuständen oder anderen kognitiven Zuständen im Vordergrund, während andere sich stärker für den Umgang mit motivationalen und emotionalen Zuständen interessieren. Schließlich gibt es Autoren, die primär prozessorientiert forschen, während andere sich mit den zugrundeliegenden Fähigkeiten beschäftigen und wieder andere von angeborenen Kompetenzen bzw. Temperamenteigenschaften sprechen. Die bislang veröffentlichten Erörterungen führen zwar zu einer größeren begrifflichen Klarheit, lassen jedoch weiterhin Überschneidungen erkennen, die eine trennscharfe Abgrenzung der EF von anderen mentalen Kompetenzen und Prozessen erschweren (Nigg, 2017). Abbildung 1 stellt den Versuch dar, in der Literatur diskutierte Begriffe räumlich so anzuordnen, dass die Position auf den oben genannten Dimensionen gut deutlich wird.

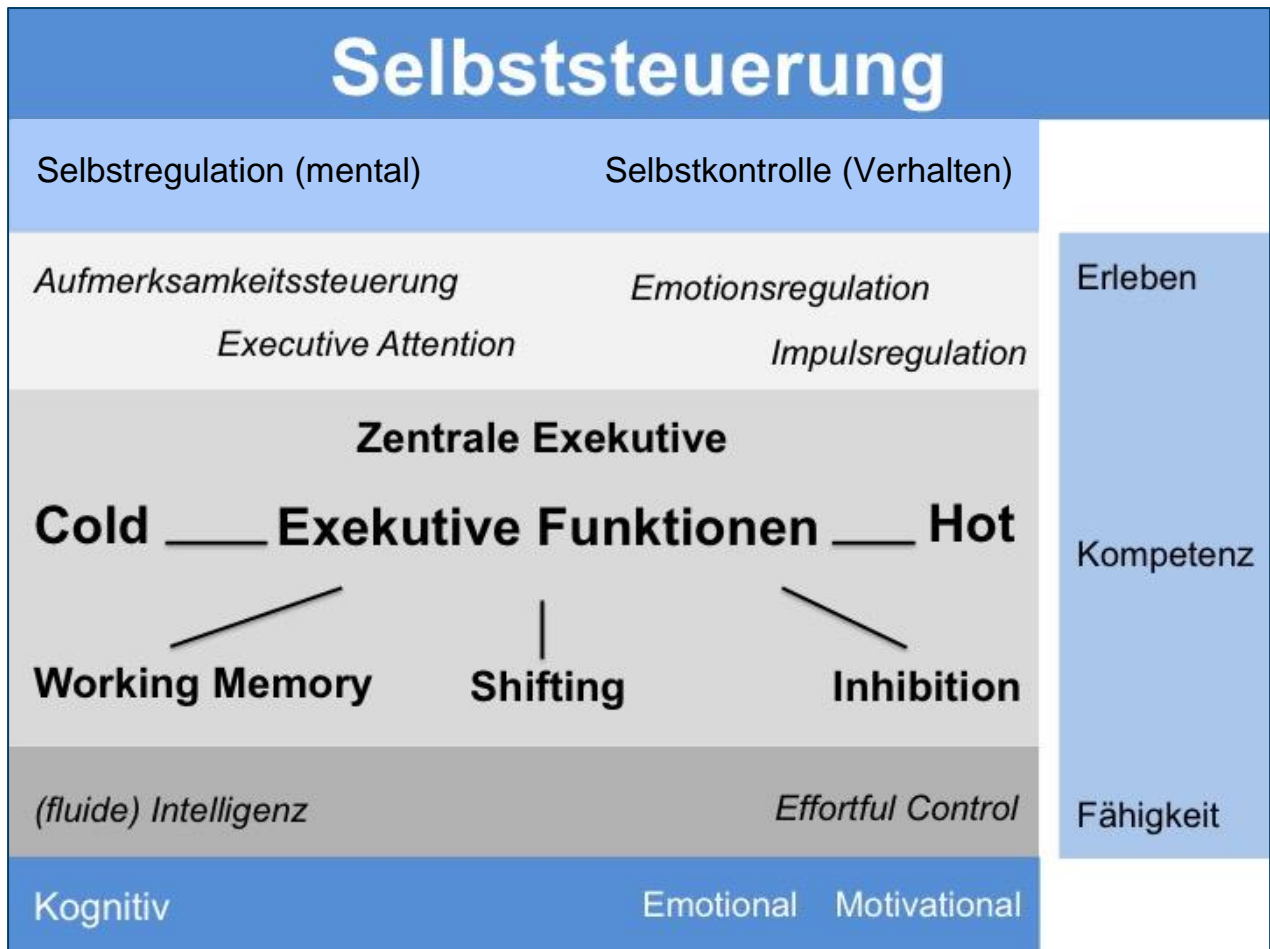


Abbildung 1. Einordnung von verschiedenen Begriffen im Forschungsfeld Selbststeuerung.

Demnach sind *Selbstregulation* (mentale Ebene) und *Selbstkontrolle* (Verhaltensebene) gleichermaßen relevant für die *Selbststeuerung* des Menschen. Abhängig davon, auf welche Aspekte des Erlebens sich Selbststeuerungsprozesse primär beziehen, unterscheidet man zwischen *Aufmerksamkeitssteuerung* oder *Executive Attention* (Denken), *Emotionsregulation* (Gefühle) und *Impulsregulation* (Motivation), wobei alle drei Formen sowohl prozesshaft (Erlebensebene) als auch als erworbene Kompetenzen oder angeborene Fähigkeiten verstanden werden können. Zudem sind sie oft miteinander verwoben. Begriffe, die im Zusammenhang mit EF stehen, zielen primär auf die Beschreibung der Kompetenzebene ab. Hier differenziert man zwischen *kalten EF*, also Fähigkeiten, die primär der Bewältigung kognitiver Herausforderungen (Problemlöseprozesse) dienen und für die man *Arbeitsgedächtnis* oder auch *kognitive Flexibilität* benötigt, und *heißen EF*, also Kompetenzen, die vor allem für die Bewältigung emotional und motivationaler Herausforderungen bedeutsam sind wie die *Inhibition*. Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass die Frage, ob in einer gegebenen Aufgabe eher kalte oder heiße EF gefragt sind, situationsabhängig ist. In allen genannten Fällen wird postuliert, dass entsprechende Leistungen durch Sozialisationsprozesse oder/und Trainings beeinflusst werden können. Im Unterschied dazu geht man hinsichtlich der fluiden Intelligenz und *Arbeitsgedächtnis* auf kognitiver Ebene und der *Effortful Control* auf emotional/kognitiver Ebene davon aus, dass diese zu einem hohen Anteil genetisch determinierte Fähigkeiten sind.

1.3 Wie entwickeln sich Exekutiven Funktionen in der frühen Kindheit?

EF entstehen aus Vorläuferkompetenzen, die teilweise schon im Säuglings- und Kleinkindalter nachweisbar sind. Aber erst mit Beginn des Schulalters scheint eine Differenzierung verschiedener Komponenten zuverlässig möglich zu sein. Zudem deutet einiges darauf hin, dass sich die drei zentralen EF-Komponenten nicht alle gleichzeitig entwickeln. Erreichen die Kinder aber einmal das Vorschulalter, so gelingt auch die Integration der EF und bis dahin vorhandene Teilkompetenzen werden im Wesentlichen nur noch geübt und graduell erweitert. Das Kind kann die einzelnen EF nun immer schneller und zuverlässiger abrufen und auch in komplexeren Situationen kombinieren.

Will man diese Veränderungen besser verstehen, so muss man sich zwangsläufig auch mit der Messung der einzelnen EF beschäftigen. Nachfolgend wird daher für das *Arbeitsgedächtnis* (Kapitel 1.3.1), die *Inhibition* (Kapitel 1.3.2), und die *Kognitive Flexibilität* (Kapitel 1.3.3) getrennt berichtet, wie man die entsprechenden Leistungen über standardisierte Aufgaben in unterschiedlichen Altersstufen erfasst. Bei der Bezeichnung und Beschreibung der unterschiedlichen Paradigmen beziehen wir uns wesentlich auf die Überblicksarbeit von Garon, Bryson und Smith (2008). Anschließend beleuchten wir nochmals genauer Vorstellungen und Befunde zu der Frage, wie sich die von Miyake et al. (2001) postulierte hierarchische Struktur im Verlauf der Kindheit entwickeln könnte (Kapitel 1.3.6) und fragen, ob es Phasen der beschleunigten Entwicklung von EF gibt (Kapitel 1.3.7).

1.3.1 Arbeitsgedächtnis (Updating)

Die Fähigkeit, Gedächtnisinhalte zu speichern und zu aktualisieren (vgl. Definition in Kapitel 1.2.2), setzt voraus, dass Kinder über eine innere Repräsentation von Dingen oder Ereignissen verfügen. Oft geht der Anspruch an Gedächtnisleistungen dabei weit über das einfache "sich etwas merken können" hinaus. Das zeigt sich etwa, wenn Kinder nach einem Gegenstand suchen und dabei berücksichtigen wollen, in welchen Verstecken sie bereits nachgeschaut oder welche Gegenstände sie bereits gefunden haben, um den Suchvorgang effizient zu organisieren. Das Arbeitsgedächtnis wird zudem benötigt, wenn es darum geht, sich Abfolgen oder Sequenzen von Handlungen, Ereignissen oder Worten zu merken. Das braucht man z.B. auch, wenn man einen mehrschrittigen Handlungsplan umsetzen will (z.B. beim Einkaufen). Besonders hoch ist der Anspruch an das Arbeitsgedächtnis, wenn die gespeicherten Inhalte in einer anderen Abfolge reproduziert werden sollen, als man sie ursprünglich wahrgenommen hat (z.B. beim rückwärts Auf-sagen) oder wenn sie anderweitig im Geiste manipuliert, organisiert oder kombiniert werden sollen (z.B. beim Kopfrechnen).

Arbeitsgedächtnis für die räumliche Position eines Objektes. Versteckt man einen Gegenstand an einem von zwei Orten (A, B) vor den Augen eines Kindes im **Säuglingsalter**, dann wird das Kind das Objekt erst gegen Ende des ersten Lebensjahres am Zielort suchen, wie bereits die Studien von Jean Piaget zur Objektpermanenz gezeigt haben. Piaget schließt aus dieser Beobachtung, dass es den Gegenstand während der Phase, in der er nicht zu sehen ist, geistig repräsentiert hat. Dies ist die wohl einfachste Form von Gedächtnisfunktion. Findet das Kind den Gegenstand allerdings mehrfach am gleichen Ort und anschließend transferiert man ihn vor den Augen des Kindes vom bisherigen zum neuen Versteck, so dass es seine Gedächtnisspur verändern muss, dann suchen viele Einjährige nach wie vor am alten Ort. Dies verweist auf mögliche Defizite bei der Aktualisierung der räumlichen Position des Verstecks. Dieser A-nicht-B-Suchfehler-Aufgabe wurde ebenfalls von Piaget in die Literatur eingeführt, um das visuelle

Arbeitsgedächtnis (die geistige Repräsentation von nicht-sichtbaren Objekten) bei 1 bis 2 Jahre alten Kindern zu testen. Interessanterweise hat man später herausgefunden, dass viele Kinder mit den Augen bereits zur richtigen Stelle (neuer Ort) schauen und trotzdem zum falschen (alten) Ort greifen. Offensichtlich haben sie also weniger Probleme damit, zu erkennen, wo sich der Gegenstand nach dem Transfer befindet, als vielmehr Schwierigkeiten, die einmal erfolgreiche Handlung zu hemmen. Bietet man eine ähnliche Suchaufgabe rein visuell dar und nutzt das *Antizipatorische Schauen* (Vorausschauen zum richtigen oder falschen Ort) als abhängige Variable, dann lassen sich nämlich schon zwischen 5 und 9 Monaten deutliche Fortschritte im Arbeitsgedächtnis nachweisen (Ropeter & Pauen, 2013). Unter Berücksichtigung dieser Befunde ist zu vermuten, dass Säuglinge bei Suchaufgaben teilweise weniger Probleme mit dem visuellen Arbeitsgedächtnis haben als vielmehr damit, einen dominanten Handlungsimpuls zu unterdrücken. Dieses Beispiel zeigt anschaulich, wie schwierig es in den ersten Lebensjahren ist, unterschiedliche Komponenten der EF in Laboraufgaben getrennt zu erfassen. Viele Aufgaben für jüngere Kinder fordern eine Anwendung aller drei EF-Komponenten und erschweren so eine klare Trennung zwischen Arbeitsgedächtnis, Inhibition und Kognitiver Flexibilität im Entwicklungsverlauf. Gleichzeitig wird deutlich, dass das Verhalten von Kindern gerade in den ersten Lebensjahren noch nicht auf allen Ebenen ausreichend koordiniert und kontrolliert ist: Die Augenbewegungen scheinen früher selbstkontrolliertes Verhalten zu reflektieren als die Bewegungen von Armen und Händen. Sehr oft erfolgt die Verhaltensreaktion, bevor wirklich Zeit war, über die richtige Reaktion nachzudenken. Die Arbeitsgedächtnisleistung im Säuglingsalter lässt sich daher nur bedingt an motorischen Suchaufgaben ablesen. Verwendet man primär Daten zum Blickverhalten, so spricht vieles dafür, dass eine Repräsentation von Objekten auch nach einem Ortstransfer bereits für wenige Monate alte Kinder möglich ist.

Im **Kleinkindalter** treten grundsätzliche Probleme der Koordination von Denken und Handeln allmählich in den Hintergrund. Hier stellen Suchprobleme wie die *Hide-the-Pots* Aufgabe (Bernier, Carlson & Whipple, 2010) die häufigste Form der Erfassung von Arbeitsgedächtniskapazitäten dar. Entsprechende Aufgaben manipulieren die Anzahl der möglichen Verstecke sowie die Zeit, die Kinder warten müssen, bis sie suchen dürfen (Bechtel, Strodthoff & Pauen, 2016). Das Aktualisieren des Gedächtnisses ist gefordert, weil sich der Ort des Verstecks von Durchgang zu Durchgang ändert. Kinder zwischen 18 Monaten und 3 Jahren lassen hierbei eine weitgehend lineare Steigerung ihrer Arbeitsgedächtnisleistung erkennen.

Ab dem **Kindergartenalter** gibt es alternative Formen der Erfassung: Teilweise suchen die Kinder, ohne vorher gesehen zu haben, wie viele Gegenstände versteckt wurden und wo diese sich genau befinden. Hier geht es primär darum sich zu merken, wo man schon überall nachgeschaut hat und nicht wiederholt an der gleichen Stelle zu suchen. Als abhängige Messung dient die Anzahl der Suchhandlungen, bis jedes Versteck einmal überprüft wurde. Bei diesem Aufgabentyp (*Stationary Pots*) steht die Aktualisierung der Gedächtnisspur stärker im Vordergrund als bei der zuvor beschriebenen einfacheren Aufgabe. Will man es den Kindern noch schwerer machen, so kann man die Verstecke auch auf einem runden Brett montieren und das Brett vor jeder Suchhandlung verdecken und drehen, so dass sich das Kind das konkrete Aussehen (Farbe, Form) der Verstecke merken muss und nicht mehr nur an geometrischen Merkmalen orientieren kann, wenn es wissen will, wo schon überall gesucht wurde (Spin the Pots; Hughes & Ensor, 2007). Solche Aufgaben werden bis ins **Grundschulalter** hinein verwendet.

Arbeitsgedächtnis für die Identität von Objekten. Kinder ab 3 Jahren kann man auch einfach eine Karte zeigen, auf der mehrere Objekte abgebildet sind, und sie bitten, eines davon auszusuchen. Anschließend zeigt man die gleichen Objekte nochmals in geänderter Anordnung auf

einer neuen Karte und bittet das Kind, auf ein Objekt zu zeigen, das bislang noch nicht ausgesucht wurde. Auf die gleiche Weise verfährt man weiter, bis alle Objekte identifiziert wurden, und beginnt dann den nächsten Durchgang mit einem neuen Karten-Set, auf dem andere Objekte abgebildet sind, wobei ein Objekt mehr zu sehen ist als vorher. Zeigt das Kind innerhalb eines Durchgangs zweimal hintereinander auf ein Objekt, das bereits zuvor von ihm identifiziert wurde, wird der Versuch abgebrochen. Diesen Versuch nennt man *Self-ordered pointing*. So kann man prüfen, bis zu welcher Anzahl an Objekten das Kind in der Lage war, weniger als dreimal hintereinander einen Fehler zu machen. Diese Aufgabe ist insofern etwas einfacher als die mit rotierenden Verstecken, als das Kind immer alle interessierenden Objekte vor Augen hat und nicht zwischen vielen ähnlich aussehenden Verstecken wählen muss. Gleichzeitig ist sie insofern schwerer, als sich die räumliche Anordnung der Objekte auf jeder Karte ändert. Man kann die Aufgabe also nur dann gut lösen, wenn man den Ort, an dem das Objekt zu sehen war, ignoriert und sich ausschließlich auf die Identität der Objekte konzentriert. Dies erfordert im Unterschied zur vorherigen Aufgabe verstärkt verbale Gedächtnisleistungen. Daher scheint wenig überraschend, dass sie in der Regel frühesten ab dem **Kindergartenalter** gelöst werden kann und auch noch für **Grundschüler** geeignet ist.

Arbeitsgedächtnis für visuell-räumliche Abfolgen. Eine weitere Aufgabe zur Erfassung des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses nennt sich *Corsi-Block-Task* (Milner, 1971). Hier wird dem Kind ein Brett mit einer bestimmten Anzahl von unregelmäßig montierten kleinen quadratischen Blöcken präsentiert. Der Versuchsleiter zeigt mit dem Finger hintereinander auf eine bestimmte Anzahl dieser Blöcke. Anschließend wird das Kind gebeten, dieses Verhalten nachzuahmen und so den "Pfad" der Zeige-Handlungen nachzuvollziehen. Man fragt sich, bis zu wie viel Schritte des Pfades zuverlässig reproduziert werden können. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe lässt sich erhöhen, indem man die Kinder bittet, die Reihenfolge rückwärts zu reproduzieren. Dadurch wird die Anforderung an das Arbeitsgedächtnis, die Gedächtnisinhalte nicht nur aufrechtzuerhalten, sondern mental zu bearbeiten, gesteigert. Typischerweise zeigen Kinder in diesem Aufgabentyp erst ab dem **Grundschulalter** deutliche Fortschritte. Anders als bei den bisherigen Aufgaben spielt hier das Gedächtnis für die Abfolge von Orten (nicht die Identität oder die relative Position von Objekten) eine zentrale Rolle.

Arbeitsgedächtnis für akustische Abfolgen. Geht es um das akustische Arbeitsgedächtnis, so kann man den Kindern eine Liste von Zahlen vorlesen und sie bitten, diese entweder vorwärts oder/und in umgekehrter Reihenfolge aufzusagen (*Digit Span Task*) Entsprechende Aufgaben sind auch Bestandteil von gängigen Intelligenztests (z.B. Wechsler Intelligenztest für Kinder; Petermann & Petermann, 2011). Mit der Länge der Reihe, die reproduziert werden soll, steigt der Anspruch der Aufgabe. Hierbei ergeben sich wesentliche Leistungszuwächse erst während der **Grundschulzeit** (vor allem beim Rückwärts aufzusagen). Wie bei der Corsi-Block Aufgabe muss auch hier die konkrete Abfolge der Reize erinnert und reproduziert oder (beim Rückwärts aufzusagen) im Geiste manipuliert werden.

Wie diese Ausführungen dokumentieren, wird die Aktualisierung von Gedächtnisinhalten typischerweise auf visuell, räumlich oder sprachlich kodierte Inhalte bezogen, wobei sich die Schwierigkeit entsprechender Aufgaben über die Menge zu erinnernder Elemente, die Dauer bis zum Abruf der Gedächtnisinhalte und die Veränderung der räumlichen Anordnung bzw. Länge und geforderte geistige Manipulation der zu erinnernden Sequenz steigern lässt. Generell scheinen die Leistungen in einfachen Gedächtnisaufgaben (Manipulation der Menge erinnerter Elemente oder/und der Zeitspanne bis zur Suchhandlung/Reproduktion) während der ersten Lebensjahre linear anzuwachsen, was vermutlich mit der zunehmend besseren Konnektivität und dem höhe-

ren Grad an Myelinisierung der Neurone im Frontalcortex zusammenhängt. Während Kleinkinder zunächst jedoch kaum in der Lage sind, sich exakte Sequenzen zu merken, gewinnen Kindergartenkinder auch hierin allmählich Routine. Dabei dürfte die Reifung des Hippocampus, der für das episodische Gedächtnis wichtig ist, eine bedeutsame Rolle spielen. Gedächtnisinhalte dann auch noch mental zu manipulieren, z.B. um sie in geänderter Abfolge abzurufen, gelingt zuverlässig erst ab dem Grundschulalter, wird aber bereits im Kindergartenalter vorbereitet. Aufgaben zur Erfassung dieser EF-Komponenten spielen daher erst im späteren Kindes- und Jugendalter bis zum Erwachsenenalter eine wichtige Rolle.

1.3.2 Inhibition (Response Inhibition)

Ganz grundsätzlich lassen sich Inhibitionsprozesse schon im Säuglingsalter konditionieren. Bereits ein Baby kann lernen, eine bestimmte Reaktion zu unterdrücken, um eine Bestrafung zu vermeiden. Es kann auch lernen, eine dominante Reaktion nicht zu zeigen, wenn es dafür belohnt wird. So etwa, wenn es lernt, nicht in eine Richtung zu gucken, wo kurz zuvor ein Hinweisreiz zu sehen war, weil der Belohnungsreiz später auf der anderen Seite auftaucht (*Anti-Saccade-Test*; e. g. Scerif et al., 2005) oder wenn es nicht auf direktem Weg nach einem Gegenstand greift, der vor ihm liegt, sondern um die Ecke, weil der direkte Zugang durch eine transparente Barriere versperrt ist (*Detour Reaching Task*; Diamond, 2013, 2016). Bevor das Kind jedoch in der Lage ist, einen dominierenden Gedanken, ein Gefühl oder einen Handlungsimpuls bewusst zu unterdrücken und sein Verhalten an die konkreten Erfordernisse der Situation anzupassen, dauert es noch eine ganze Weile.

Bei der experimentellen Überprüfung entsprechender Kompetenzen kann man zwischen einfachen und komplexen Formen der Inhibition unterscheiden. Da man die Inhibition immer nur dann beobachten kann, wenn man weiß, was das Kind vorhat, erfasst man in der Regel die **Response Inhibition**, also die Unterdrückung von Handlungsimpulsen, die von außen induziert werden. (Davon konzeptuell zu unterscheiden ist die Fähigkeit, Gefühle, Gedanken oder motivationale Zustände zu inhibieren - ein Vorgang, der unter Umständen weder von außen initiiert, noch beobachtbar ist). Dabei unterscheiden Garon, Bryson und Smith (2008) zwischen einfacher und komplexer Response Inhibition und beschreiben zu jeder der beiden Formen unterschiedliche Paradigmen ihrer Erfassung:

Einfache Response Inhibition. Bei einfachen Inhibitionsaufgaben bittet man das Kind, eine Handlung mit hohem Aufforderungscharakter zu unterlassen, z.B. nicht nach einem attraktiven Spielzeug zu greifen oder zu warten, bis dies erlaubt ist. Solche *Don't-Paradigms* funktionieren bei manchen Kindern schon im **Säuglingsalter** (ab acht Monaten) und sobald die Kinder Instruktionen verstehen, kann man sie auch bitten, mit einer Handlung einen Moment zu warten (im Englischen spricht man vom Simple Waiting-Paradigm; s. Garon et al., 2008). Um es den etwas älteren Kindern schwerer zu machen, kann man den Anreiz erhöhen, wie dies z.B. bei der *Snack Delay Task* oder der *Gift-Task* der Fall ist. Im ersten Fall wird das Kind instruiert, zu warten, bis ein Signal ertönt, bevor es sich von einer Schale Kekse, die direkt vor ihm steht, bedienen darf, und im zweiten Fall wird es aufgefordert, nicht zu gucken, während der Versuchsleiter eine Schleife um sein Geschenk bindet (leicht) oder das Geschenk geräuschvoll in knisterndes Papier verpackt (schwer). Diese Herausforderungen werden schon ab dem **Kleinkindalter** (mit 2 Jahren) in Ansätzen gemeistert. Ebenfalls in diesem Alter gelingt es den ersten Kindern auch erstmals, auf die unmittelbare Bedürfnisbefriedigung zu warten, um später eine größere Belohnung zu erhalten. Ein echter *Belohnungsaufschub* (*Delay of Gratification*) mit eigener Entscheidung

(entweder jetzt direkt kleinere Belohnung erhalten oder nach längerer Wartezeit doppelte Belohnung) funktioniert dagegen erst ab ca. 3 Jahre. Hier gilt es nicht nur, das höhere Ziel trotz aktueller Versuchung, sich sofort Befriedigung zu verschaffen, längere Zeit im Kopf zu behalten - diese Aufgabe erfordert neben Arbeitsgedächtniskapazität auch Strategien der Ablenkung.

Im **Kindergartenalter** verfügen die meisten Kinder grundsätzlich über die genannten Inhibitions-kompetenzen, wobei die Frage, wie häufig und unter welchen Umständen sie Inhibition zeigen, sowohl intra-individuell als auch inter-individuell stark variieren kann. Wenn die unmittelbare Versuchung sehr groß ist, die noch größere Belohnung zeitlich in weiterer Ferne liegt und wenn die Anstrengung dafür hoch ist, dann zeigen sich noch weit bis ins **Grundschulalter** Defizite in entsprechenden Leistungen. Hier kann man jedoch bereits von komplexer Inhibition sprechen.

Komplexe Inhibition. Im Unterschied zur einfachen Inhibition soll das Kind bei Aufgaben zur komplexen Inhibition nicht nur einmalig einen Impuls unterdrücken oder aufschieben, sondern eine bestimmte Verhaltensregel im Kopf behalten und sich konstant danach richten, obwohl eine andere Reaktionstendenz dominiert. Eine primitive Form davon (Tower Building Kochanska, Murray & Harlan, 2000) ist das gemeinsame Bauen eines Turms, wobei die Regel gilt, dass man immer nur abwechselnd einen Stein auf den Turm legen darf und der Versuchsleiter sich unterschiedlich viel Zeit lässt, wenn er an der Reihe ist, um das Kind auf diese Weise zu nötigen, mehr oder weniger geduldig auf seinen Einsatz zu warten. Gezählt wird, wie viele Steine der Versuchsleiter verbaut hat (proportional zur Anzahl der Steine, die das Kind verbaut hat). Solche Aufgaben kommen ab dem **Kleinkindalter** (ab 2 Jahren) zum Einsatz. Das gilt auch für Aufgaben, bei denen das Kind immer den rechten Knopf drücken soll, wenn es links einen Reiz auf einem Computer-Schirm sieht und immer links, wenn es den Reiz auf der rechten Seite sieht (Spatial Conflict Task Gerardi-Caulton, 2000). Während seine natürliche Verhaltensreaktion darin besteht, den Knopf auf der gleichen Seite zu drücken, muss es sich jeweils für die andere Alternative entscheiden. Das gelingt den Kindern ab frühestens 2 Jahren, wobei die Reaktionszeit und Erfolgsquote mit dem Alter steigen. Widersprüche vergleichbarer Art bestehen zudem in Kategorisierungsaufgaben: In der so genannten *Baby-Stroop Task* soll das Kind zunächst große Löffel zu großen Tassen sowie kleine Löffel zu kleinen Tassen sortieren. Wenn es damit fertig ist, wird die Regel geändert und es soll nun große (Mama-)Löffel zu den (Baby-)Tassen sortieren und kleine (Baby-)Löffel zu den (Mama-)Tassen. In ähnlicher Weise funktioniert die *Shape Stroop Task*, bei der das Kind Karten sieht, auf denen eine kleine Frucht innerhalb einer großen Frucht dargestellt ist. Entgegen seiner spontanen Tendenz, auf die große Frucht zu zeigen, soll das Kind die kleine identifizieren. Bei der *Reverse Categorization Task*, die dem gleichen Typus zuzurechnen ist, besteht die Anforderung darin, große Bauklötze in einen kleinen Korb zu sortieren und kleine Bauklötze in den großen. Allen diesen Aufgaben ist gemeinsam, dass das Kind regelhaft seine spontane Reaktion (hier: sich am großen Objekt zu orientieren bzw. Groß zu Groß und Klein zu Klein zu sortieren) unterdrücken und stattdessen das Gegenteil tun soll. Bei **Kindergartenkindern** kommen anspruchsvollere Varianten zum Einsatz. So etwa bei *Bear & Dragon Task* (Murray & Kochanska, 2002), wo das Kind alle Instruktionen vom Bären, aber nicht die vom Drachen befolgen soll. Während es hier darum geht, bestimmte Dinge nur unter bestimmten Bedingungen zu tun, fordert eine weitere Art von Aufgabe das Kind dazu auf, immer genau das Gegenteil von dem zu tun, was es spontan tun würde, wobei nun auch andere Konflikte als Groß-vs.-Klein thematisiert werden können. So etwa bei der *Grass-Snow Task* oder der *Day-Night Stroop Task*. Im ersten Fall soll es immer auf eine weiße Karte zeigen, wenn es "Gras" hört, und auf die grüne Karte, wenn es "Schnee" hört. Im zweiten Fall geht es darum, immer "Tag" zu sagen, wenn es eine Karte vom Mond sieht und "Nacht", wenn es eine Karte von der Sonne sieht. Solche Stroop-

Aufgaben unter Verwendung von Karten werden gemeinhin erst ab dem dritten Lebensjahr gelöst, wobei die Inhibitionsleistung mit dem Alter immer weiter zunimmt, was sich nicht nur in der sinkenden Fehlerrate, sondern auch in den kürzeren Reaktionszeiten zeigt. Noch anspruchsvoller scheint die berühmte *Simon Says Task* zu sein, bei der das Kind einer Instruktion nur dann folgen darf, wenn sie mit der Aussage "Simon says..." eingeleitet wird. Damit kann es nicht die einfache Regel "folge dieser Person" anwenden, sondern muss beachten, WIE sein Gegenüber die Forderung formuliert. Solche Aufgaben, bei denen Kinder der gleichen Person unter bestimmten Umständen folgen soll und unter anderen nicht (abhängig davon, wie sie den Auftrag einleitet), führen daher auch erst im **Vorschulalter** zu passablen Leistungen. Ihre Schwierigkeit lässt sich noch weiter steigern, wie etwa im Rahmen von *Lurias Tapping Task*: Hier soll das Kind immer zweimal auf den Tisch klopfen, wenn der Versuchsleiter dies einmal vormacht und einmal auf den Tisch klopfen, wenn der Versuchsleiter selbst zweimal klopft (Diamond & Taylor, 1996). In ähnlicher Weise funktioniert die *Hand-Task*, bei der das Kind eine Faust machen soll, wenn sein Gegenüber mit dem Zeigefinger auf den Tisch zeigt und selbst mit dem Zeigefinger auf den Tisch zeigen soll, wenn sein Gegenüber eine Faust macht. Mit anderen Worten: Das Kind muss zwei Regeln parallel im Kopf behalten, die beide von ihm fordern, die dominante Antwort (Imitation seines Gegenübers) zu unterdrücken und stattdessen etwas anderes zu tun, wobei die Frage, was zu tun ist, vom Verhalten des Versuchsleiters abhängt. Diese Aufgabe zeigt die größte Leistungssteigerung im Alter von 6 Jahren, wobei viele Kinder lediglich fähig sind, eine der beiden Regeln zu beachten. Erst im Verlauf des **Grundschulalters** steigert sich die Leistung deutlich hinsichtlich der Reaktionsgeschwindigkeit und der Anzahl korrekter Lösungen, die Kinder produzieren.

Ganz allgemein lernen Kinder demnach als erstes, dominante Impulse zu unterdrücken, wenn sie direkt von jemand dazu aufgefordert werden (s. *Don't-Paradigm*). Später können sie dies auch für kurze Zeitspannen (Sekunden bis Minuten) alleine schaffen, wie dies in *Waiting-tasks* gefordert ist und noch mehr bei *Delay-of-Gratification Tasks*, wo sie auf die unmittelbare Befriedigung eines Bedürfnisses zugunsten eines höheren Ziels für längere Zeit verzichten sollen. Parallel dazu lernen sie, einer Instruktion selbst dann zu folgen, wenn sie aufgefordert werden, das Gegenteil von dem zu tun, was ihnen spontan naheliegender scheint (s. *Spatial Conflict task*, *Baby-Stroop*, *Shape Stroop*, *Reverse Categorization Task*), und zwar selbst dann, wenn sie dafür zwei unterschiedliche Verhaltensregeln parallel im Kopf behalten müssen (*Grass-Snow-Task*, *Day-Night Stroop*). Zu entscheiden, was sie tun und lassen sollen, fällt ihnen allerdings leichter, wenn es eine klare Zuordnung gibt, wer welches Verhalten von ihnen verlangt (*Bear and Dragon Task*). Stammen die widersprüchlichen Instruktionen von der gleichen Person und das Kind muss beachten, unter welchen Umständen es der Person folgen soll oder nicht (*Simon Says Task*) oder in zwei verschiedenen Fällen immer das Gegenteil von dem tun, was eine Person vormacht (*Lurias Tapping Task*, *Hand Task*), dann ist die Inhibition eigener Impulse in Reaktion auf externe Anforderungen besonders schwer und gelingt erst im Verlauf der Grundschulzeit zuverlässig.

1.3.3 Kognitive Flexibilität (Shifting)

Wie beim Arbeitsgedächtnis und der Inhibition, kann man auch bei der kognitiven Flexibilität unterschiedliche Schwierigkeitsgrade unterscheiden. Wiederum unterscheiden Garon, Bryson und Smith (2008) zwischen einfachem und komplexem Shifting, denen sie jeweils unterschiedliche Paradigmen zur Erfassung von EF zuordnen:

Einfaches Shifting. Schon bei der Inhibition ging es darum, Instruktionen zu folgen, die eine Abweichung vom Gewohnten bedeuten. Die dafür notwendige kognitive Flexibilität steht im Fokus

des Aufgabentypus, der *Dimensional-Change-Card-Sort (DCCS)* nennt (Zelazo, 2006). Solche Aufgaben fordern vom Kind nicht nur, ambig Reize (z.B. rote und blaue Katzen und Hunde) parallel nach zwei getrennte Regeln zu sortieren (z.B. rote Tiere nach links und blaue nach rechts, bzw. Hunde nach links, Katzen nach rechts), sondern das Kriterium später zu wechseln. In der einfacheren Variante wird der Stapel zunächst komplett nach Kriterium A und dann komplett nach Kriterium B sortiert, wobei mehrere entsprechende Wechsel hintereinandergeschaltet werden können. In stark vereinfachten Varianten (Training der Beachtung der weniger salienten Dimension an erster Stelle, expliziter Hinweis auf Regel-Wechsel, Rückmeldung nach jedem Durchgang; s. Pauen & Bechtel-Kuehne, 2016) lässt sich diese Aufgabe bereits ab 2 Jahren durchführen, wobei sich die Leistungen der Kinder bis zum 3. Lebensjahr deutlich steigern.

Komplexes Shifting. In einer komplexeren Variante erhalten die Karten zusätzlich noch einen Rand, der darüber Auskunft gibt, ob gerade das eine oder das andere Kriterium gilt (Zelazo, 2006). Hier müssen die Kinder folglich sequentiell vorgehen, um zu wissen, wie sie sich verhalten sollen. Das fällt Vorschulkindern noch schwer, so dass sie erst ab dem Grundschulalter deutliche Fortschritte machen. Es gibt vielzählige Varianten dieser Grundidee. Man kann sie mit Karten, Objekten oder im Rahmen von digitalen Tablet-Aufgaben realisieren. Inzwischen existieren auch bereits Testbatterien, die ab dem Kindergartenalter normiert sind (z.B. der NIH-Examiner; Kramer et al., 2014).

Konzeptuell baut die kognitive Flexibilität auf den anderen zuvor behandelten EF-Kompetenzen auf: Damit ein Kind in Shifting-Aufgaben reüssieren kann, muss es die Regeln, nach denen es jeweils sortieren soll, erinnern und seine Gedächtnisspur nach jedem Wechsel aktualisieren. In der komplexen Variante müssen die Kinder darüber hinaus sequenziell vorgehen und als erstes entscheiden, welches Kriterium gilt. Damit das gelingen kann, muss es die bis dahin verwendete Antwortstrategie hemmen, um sich zunächst zu vergewissern, welche Regel aktuell gilt.

1.3.4 Aufgaben, die keiner bestimmten EF-Komponente zuzuordnen sind

Bereits in den vorangegangenen Abschnitten hatten wir herausgestellt, dass einige Aufgaben zur Erfassung der EF zwar einer Teil-Kompetenz zugeordnet werden, aber eigentlich auch Aspekte einer anderen Teil-Kompetenz miteinfassen. Dies gilt etwa für die komplexen Inhibitions- oder Shifting-Aufgaben. Es gibt in der Forschungsliteratur jedoch auch Aufgaben, die von vornherein so angelegt sind, dass sie alle drei EF-Funktionen kombiniert messen.

Das trifft etwa auf die *Head-Toes-Knees-Shoulders Aufgabe* (HTKS; McClelland et al., 2014; Ponitz et al., 2008) zu, die vor allem im Vorschulalter zum Einsatz kommt. Bei dieser Aufgabe lernt das Kind erst, sich nach einer entsprechenden Aufforderung selbst an den Kopf bzw. an die Füße zu greifen. Dann wird es instruiert, sich immer möglichst rasch an den Kopf zu greifen, wenn der Versuchsleiter "Fuß" sagt, und an den Kopf, wenn der Versuchsleiter "Fuß" sagt. Nach mehrfacher Anwendung dieser Regel wechselt der Fokus auf Knie und Schultern. Zunächst zeigt das Kind, dass es weiß, wo seine Knie und Schultern liegen, indem es sich nach einer entsprechenden Aufforderung an den passenden Stellen berührt. Anschließend soll das Kind sich immer an die Knie greifen, wenn der Versuchsleiter "Schultern" sagt und an die Schultern, wenn der Versuchsleiter "Knie" sagt. Überprüft wird bei allen "vertauschten" Instruktionen, wie oft das Kind Anstalten macht, sich in die falsche Richtung zu bewegen. Komplexer wird die Aufgabe, wenn im nächsten Schritt beide Regelsysteme (Kopf-Fuß, Schulter-Knie), die jeweils aus zwei eigenen Teilregeln bestehen, kombiniert werden. Während 4-Jährige noch Probleme damit haben, entsprechende Anweisungen zuverlässig zu befolgen, sind 5- und noch mehr 6-Jährige bereits recht gut dazu in der Lage. Diese Aufgabe erfordert Arbeitsgedächtnisleistungen, um die aktuelle Regel

zu repräsentieren (zumindest, wenn sie nicht der normalen Zuordnung entsprechen), die Fähigkeit zur Inhibition der dominanten Antwort (nicht an den Ort zu greifen, der eigentlich zum Wort passt) und kognitive Flexibilität, die Regeln der Zuordnung immer wieder zu aktualisieren. Etwas anders verhält es sich bei der *Flanker-Task*, die bereits 1974 von Eriksen in die Literatur eingeführt wurde und primär der Erfassung zentraler Aufmerksamkeitsleistungen dienen soll, die für alle EF benötigt werden: Das Kind sieht auf einem Computer-Bildschirm eine Reihe von Fischen, Entchen oder ähnlichen Reizen, die eine klare Ausrichtung haben (Seitenansicht; Kopf schaut entweder nach rechts oder nach links) und die in einer Zeile angeordnet sind. Die Aufgabe besteht darin, immer die linke Taste zu drücken, wenn der eigentliche Zielreiz, der sich im Zentrum befindet, linksorientiert ist, und immer rechts zu drücken, wenn der Zielreiz rechtsorientiert ist. Die neben dem Zielreiz befindlichen Reize können dabei alle in die gleiche oder in die entgegengesetzte Richtung wie der Zielreiz schauen. Typischerweise sind inkongruente Durchgänge (unterschiedliche Blickrichtung) für Probanden aller Altersstufen deutlich schwerer als kongruente Durchgänge (gleiche Richtung). Reaktionen dauern daher für inkongruente Durchgänge länger und sind häufiger falsch. Auch die Flanker Aufgabe erfordert bei genauerem Hinsehen alle drei EF: Das Arbeitsgedächtnis ist gefordert, weil das Kind zwei unterschiedliche Regeln parallel im Kopf behalten muss (Ziel rechts-orientiert: rechte Taste drücken; Ziel links-orientiert: linke Taste drücken); Inhibitionsleistungen werden bei inkongruenten Durchgängen benötigt, um die ablenkenden Umgebungsreize zu ignorieren, und Kognitive Flexibilität wird gebraucht, weil das Kind die Unterdrückung nur bei inkongruenten Durchgängen benötigt, bei kongruenten dagegen nicht und daher zwischen beiden Optionen hin- und herschalten muss. Wie Rueda et al. (2004) dokumentieren, gibt es zwischen 4 und 6 Jahren eine große Leistungssteigerung in dieser Aufgabe, während die 7-Jährigen bereits annähernd so viele Durchgänge richtig lösen wie Erwachsene. Dabei sinkt die Reaktionszeit mit dem Alter weiter, weil die Kinder immer schneller Entscheidungen treffen können (s. auch Rothbart & Bates, 2006).

1.3.5 Einschätzungen der Exekutiven Kontrolle durch Bezugspersonen

Bislang wurden ausschließlich Verfahren besprochen, die eine standardisierte Erfassung von EF-Leistungen in Laborsituationen ermöglichen. Im Sinne der ökologischen Validität diskutiert z.B. Drechsler (2007), inwieweit sich solche Messungen auf die Alltagsanforderungen an die EF übertragen lassen. Da häufig fremde Situationen zur Erfassung von EF verwendet werden, die ein neuartiges Lösungsprinzip vom Teilnehmer erfordern, scheint es kaum verwunderlich, dass Probleme mit der Reliabilität bestehen. Eine Alternative bieten Elternfragebögen, wie etwa der BRIEF-P (Gioia, Isquith, Guy & Kenworthy, 2000; s. auch Sherman & Brooks, 2010) oder der stärker auf Interaktionen zwischen Kind und Bezugsperson abzielende IMMA (Bechtel et al., 2016; Pauen, Hochmuth, Schulz & Bechtel, 2014).

Beim BRIEF-P (deutsche Bearbeitung: Daseking & Petermann, 2013; Gioia et al., 2000) handelt es sich um ein Verhaltensinventar zur Beurteilung der EF und anderer selbstregulatorischer Kompetenzen. Der Fragebogen kann sowohl von Eltern als auch Lernbegleitern der Kinder ausgefüllt werden. Dieses Verfahren fragt nach kindlichen Fähigkeiten im Alltag, die sich auf die Hemmung dominanter Impulse, das Umstellen von Plänen und die emotionale Kontrolle beziehen. Hier lässt sich ein Kognitiver Regulations-Index aus den Skalen Initiative, Arbeitsgedächtnis, Planen/Strukturieren, Ordnen/Organisieren und Überprüfen bilden. Eine 1:1 Zuordnung der Fragebogen-Skalen zu einzelnen EF-Komponenten (außer dem Arbeitsgedächtnis) ist jedoch nicht möglich.

Der IMMA (IMpuls-MANagment; Pauen et al., 2014) ist ein neues Instrument, das die Erwartungen, Vorstellungen, Beobachtungen und Umgangsweisen von Bezugspersonen mit selbstregulativem Verhalten von Kindern im Alter bis 6 Jahren thematisiert. Konkret geht es um Situationen,

in denen das Kind mit eigener Frustration, mit Aufforderungen der Bezugsperson oder mit Verboten umgehen muss und daher gefordert ist, sich selbst zu regulieren. Der Schwerpunkt liegt damit auf der emotionalen und motivationalen Selbstregulation, die jedoch nur dann möglich ist, wenn das Kind kognitive Strategien einsetzt, die mit den EF zusammenhängen. So muss es sich an Regeln (Erwartungen, Verbote) erinnern und sie befolgen können, heftige Emotionsäußerungen oder eigene Protest-Impulse hemmen, Belohnungsaufschub leisten und seine Reaktionen flexibel an Gegebenheiten anpassen, um kooperativ zu bleiben. Dieses Instrument bietet die Möglichkeit, die Selbstregulation des Kindes mit dem Verhalten von Erwachsenen in direkten Bezug zu setzen. Es erlaubt jedoch keine differenzierte Erfassung einzelner EF-Komponenten. Fasst man alle bislang geschilderten Aussagen zur Entwicklung und Messung der EF in der frühen Kindheit zusammen, so wird einerseits deutlich, dass sich die Wurzeln der Entwicklung jeder einzelnen Komponente bis in das Säuglingsalter hinein zurückverfolgen lassen. Außerdem zeigt sich, wie hoch komplex die Entwicklung der EF zu sein scheint. Kinder unter 3 Jahren haben noch erhebliche Schwierigkeiten damit, unterschiedliche EF-Komponenten zu koordinieren - insbesondere, wenn das abhängige Maß in Verhaltensreaktionen oder verbalen Äußerungen besteht (Carlson, Moses & Breton, 2002; Diamond, 2002; Zelazo et al., 2003). Bis zum Grundschulalter - so der Tenor unterschiedlichster Studien - erweitern Kinder ihre Kompetenzen auf diesem Gebiet in entscheidender Weise, ohne dass wir bereits genauer verstehen, wie dies im Einzelnen geschieht. Angesichts der Relevanz selbstregulativer Fähigkeiten für den späteren Lebenserfolg (Moffitt et al., 2011), fragt man sich inzwischen jedoch, wie genau die Entwicklung unterschiedlicher Komponenten der EF voneinander abhängt, wann sich die hierarchische Struktur der EF bildet, die das Erwachsenen-Denken charakterisiert (Miyake & Friedman, 2012) und ob es Phasen der beschleunigten Entwicklung gibt. Auf diese übergreifenden Fragen gehen wir nachfolgend näher ein.

1.3.6 Wie entsteht das hierarchische Modell der Exekutiven Funktionen?

In der Literatur werden zu dieser Frage unterschiedliche Optionen diskutiert, zwischen denen eine Entscheidung bislang schwierig erscheint, weil es für die frühe Kindheit noch praktische und theoretische Probleme bei der Erfassung von unterschiedlichen EF-Komponenten gibt (vgl. Kapitel 1.3.1-1.3.5). Die Längsschnittstudie von Fujisawa, Todo und Ando (2017) zeigte, dass die Leistungen in unterschiedlichen EF-Aufgaben im Alter von 2 Jahren noch wenig stabil und heterogen sind. Dies mag u.a. auch damit zusammenhängen, dass sehr junge Kinder von Erwachsenen koreguliert werden müssen, um entsprechende Aufgaben überhaupt bewältigen zu können, so dass die beobachtete Messung nicht nur von ihnen selbst sondern auch vom Versuchsleiter mit abhängt, weil ein strikt standardisiertes Vorgehen bei der Testung so junger Kinder kaum möglich ist (vgl. PROSECO Model von Pauen & the EDOS Group, 2016). Weiterhin wird die Untersuchung der Anfänge der Strukturbildung dadurch erschwert, dass man kognitive Flexibilität als eine der drei zentralen EF-Komponenten zuverlässig erst gegen Ende des Kleinkindalters erfassen kann (vgl. Kapitel 1.3.3), so dass Strukturmodelle für jüngere Kinder diese Komponente oft außen vor lassen müssen und Befunde für jüngere und ältere Kinder gar nicht direkt miteinander vergleichbar sind.

In der aktuellen Diskussion um die Struktur der EF dominiert bislang das **Differenzierungsmodell**: Studien mit jüngeren Altersgruppen (ab dem Kindergartenalter) sprechen für nur einen zentralen EF-Faktor (Espy et al., 2011; Hughes et al., 2009; Wiebe et al., 2008; Willoughby et al., 2010), während Studien mit Vor- und Grundschulkindern Hinweise auf die von Miyake et al. (2000) postulierte hierarchische Struktur erkennen lassen. Dabei wird von einigen Autoren vermutet, dass sich als erstes die Fähigkeit zur Aufmerksamkeitssteuerung entwickelt und dass sich

aus dieser Basiskompetenz allmählich die anderen Teilfähigkeiten herausschälen (Diamond, 2013). Andere Wissenschaftler sehen die Fähigkeit zur Reaktionsverzögerung, welche mit unterschiedlichen EF-Komponenten in Verbindung stehen, als wichtige Vorreiter späterer EF-Kompetenzen an. Im Widerspruch dazu kann man auch das **Integrationsmodell** vertreten. Demnach entwickelt sich jede Teilfähigkeit separat in ihrem eigenen Entwicklungstempo. Erst später würden unterschiedliche EF in ein kohärentes hierarchisches System integriert werden.

Bevor eine fundierte Entscheidung in dieser Frage möglich ist, werden Aufgaben benötigt, die vom frühen Kleinkindalter an bis zum Vorschulalter vergleichbare Daten liefern und im Längsschnitt zum Einsatz kommen. Jede EF-Komponente müsste mit mehreren Aufgaben parallel erfasst werden, um aussagekräftige Modell-Testungen vornehmen zu können. Angesichts der bisherigen Befundlage dürfte klar sein, warum es schwer ist, diese Voraussetzungen zu erfüllen. Auch wenn umfassende Modelltestungen zur Strukturfrage momentan kaum realisierbar scheinen, kann man aber zumindest untersuchen, ob sich alle EF-Komponenten in ähnlichem Tempo entwickeln und ab wann die Integration unterschiedlicher Komponenten die größten Fortschritte macht. Auch solche Befunde geben indirekt Hinweise zur Beantwortung der Strukturfrage - insbesondere, wenn es darum geht einzuschätzen, ob das Differenzierungsmodell oder das Integrationsmodell eher gilt.

1.3.7 Gibt es Phasen der beschleunigten Entwicklung von Exekutiven Funktionen?

Wie bereits zuvor dargelegt (1.3.1) scheint es für das Arbeitsgedächtnis einen linearen Anstieg der Leistungen vom späten Säuglingsalter bis zum Vorschulalter zu geben. Im Unterschied dazu sind deutliche Fortschritte in der Inhibitionsfähigkeit der Kinder erst ab ca. 2 Jahren erkennbar (1.3.2). Schließlich kann man deutliche Leistungssteigerungen bezüglich der Kognitiven Flexibilität erst ab 3 Jahren beobachten (1.3.3). Damit deutet sich insgesamt eine gewisse Reihenfolge an, in der die drei EF-Komponenten nachweisbar sind.

Weiterhin spricht vieles dafür, dass verschiedene EF-Komponenten etwa ab dem 4. Lebensjahr auch kombiniert zum Einsatz kommen und dadurch eine beschleunigte Entwicklung durchlaufen (Rothbart & Bates, 2006), was u.a. zu einem qualitativen Sprung in der Selbststeuerung im Vorschulalter führt (Best & Miller, 2010; Garon et al., 2008; Kopp, 1982; Zelazo, Carlson & Kesek, 2008). Besonders deutlich zeigt sich dieser Entwicklungssprung an Aufgaben, wie der Head-Toes-Knees-Shoulders Aufgabe, der Dimensional Change Card Sorting Aufgabe, der Day-Night Stroop-Aufgabe und der Bear-Dragon-Aufgabe, der Flanker-Task und Lurias Tapping-Task (Diamond, 2002; Gerstadt, Hong & Diamond, 1994; Rothbart & Bates, 2006; Rueda et al., 2004; Zelazo et al., 2003) - also primär an komplexen bzw. integrativen EF-Aufgaben.

Non-lineare Entwicklungstrends mit besonderen Steigerungen im Vorschulalter wurden auch in Längsschnittstudien (Ponitz et al., 2008) sowie in mehreren Studien zu Basisfähigkeiten der EF dokumentiert (Chang, Shaw, Dishion, Gardner & Wilson, 2014; Clark et al., 2013; Wiebe, Sheffield & Andrews Espy, 2012). Montroy et al. (2016) vermuten daher, dass die Entwicklungsphase zwischen 3 und 7 Jahren durch einen raschen Anstieg an EF-Leistungen gekennzeichnet ist, was primär auf die verbesserte Koordination unterschiedlicher Teilkomponenten zurückzuführen sei, gefolgt von einer verlangsamten Entwicklung in den nachfolgenden Grundschuljahren (Chang et al., 2014; Ponitz et al., 2008; Wiebe et al., 2012). Im Verlauf der weiteren Kindheit bis ins Jugendalter erweisen sich die Leistungen in einzelnen EF-Aufgaben dann als weitgehend stabil (Eigsti et al., 2006; Harms, Zayas, Meltzoff & Carlson, 2014).

Fasst man diese Ergebnisse zusammen, so spricht einiges dafür, dass Aufmerksamkeitssteuerung tatsächlich der Ausgangspunkt für die Entwicklung unterschiedlicher EF sein könnte. Aufmerksamkeitskontrolle ist früh nachweisbar und eng an alle Bewusstseinsprozesse gekoppelt. Sie ist erforderlich, um eine mentale Repräsentation von Objekten aufbauen zu können und wird darüber hinaus benötigt, um geistige Repräsentationen manipulieren zu können. Die Aufmerksamkeit gezielt auf einen Aspekt zu richten, erfordert gleichzeitig, andere Aspekte zu hemmen - demnach spielt auch die Inhibition bei der Steuerung eine bedeutsame Rolle. Schließlich ist der Wechsel von Aufmerksamkeit inhärent mit kognitiver Flexibilität verbunden, denn hier geht es konkret darum, den Fokus der Aufmerksamkeit zu ändern. In diesem Sinne könnte man argumentieren, dass sich die einzelnen EF aus der Aufmerksamkeitssteuerung heraus entwickeln bzw. auf ihr aufbauen, was zum Differenzierungsmodell passen würde. Gleichzeitig fällt aber auf, dass jede EF-Komponente ihren eigenen Entwicklungsverlauf zeigt und dass in allen komplexen Aufgaben mehr als eine Komponente beteiligt zu sein scheint. So erklärt sich vermutlich, warum es zu einem großen Leistungszuwachs kommt, sobald alle Komponenten entwickelt sind. Das spricht für das Integrationsmodell. Beide Ansätze müssen sich auch gar nicht widersprechen. Die Aufmerksamkeitssteuerung mag sich zunächst in die drei Komponenten Arbeitsgedächtnis, Inhibition und Kognitive Flexibilität differenzieren. Jede Komponente kann sich dann nach eigenen Gesetzmäßigkeiten weiter entwickeln, wobei die Koordination der Komponenten im Vorschulalter zu einem weiteren Entwicklungssprung führt.

Wie bereits dargelegt, ist eine endgültige Entscheidung über die frühe Entwicklung der EF auf der Basis vorliegender Daten noch nicht möglich. Fest steht nur, dass sie im Verlauf des Kindergartenalters immer besser getrennt erfasst werden können und dass es ab dem Vorschulalter zu einer zunehmenden Integration kommt, was sich u.a. daran zeigt, dass die Kinder immer komplexere Denkaufgaben meistern können. In ihrer eigenen Studie konnten Montroy et al. (2016) zudem nachweisen, dass sich die Kinder dabei abhängig vom Alter, in dem der größte Anstieg in EF-Leistungen zu verzeichnen war, in drei verschiedene Gruppen einteilen ließen. Etwa 20% zeigten kaum oder erst sehr spät einen Zuwachs an EF-Kompetenz. Jungen waren in dieser Gruppe überrepräsentiert. Bei den meisten Kindern steigerten sich die entsprechenden Fähigkeiten jedoch innerhalb von 2 bis 3 Jahren exponentiell. Kinder, die besonders früh entsprechende Veränderung aufwiesen, waren insgesamt auch sprachlich kompetenter und hatten in der Regel Mütter mit höherem Bildungsstand. Woher kommen diese individuellen Unterschiede? Spielen biologische Anlagen oder Erziehungsmaßnahmen die entscheidende Rolle, wenn es um die Weichenstellung der EF-Entwicklung geht? Dieser Frage gehen wir im nachfolgenden Abschnitt nach.

1.4 Was beeinflusst die Entwicklung der Exekutiven Funktionen?

Die Entwicklung der EF verläuft nicht einheitlich, parallel und bei jedem Individuum gleich. Im Gegenteil, der Entwicklungsverlauf wird durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst: Neben der biologischen Reifung des Gehirns bzw. des Präfrontalen Kortex, zählen dazu Individual- und Umweltfaktoren. Individualfaktoren beschreiben Einflüsse, die anlagebedingt „in einer Person selbst“ liegen, wie beispielsweise genetische Voraussetzungen, das Geschlecht oder auch sprachliche Fähigkeiten. Zu den Umweltfaktoren zählen (soziale) Einflüsse, die „außerhalb der Person“ liegen, wie beispielsweise der sozioökonomische Status, der Erziehungsstil und förderliche (Bildungs-)Angebote.

1.4.1 Gehirnentwicklung

Das menschliche Gehirn ist aufgrund seiner hohen Plastizität (= Formbarkeit) zeitlebens anpassungsfähig und „trainierbar“. Das gilt im Besonderen für das kindliche Gehirn. Erfahrungen, Übung und die Umwelt verändern Nervenzellverbindungen. Das Gehirn passt sich den Anforderungen der Umgebung an: es lernt. Durch zahlreiche Erlebnisse und Erfahrungen, die ein Kind ab seiner Geburt macht, werden Nervenzellen vernetzt und Verbindungen durch Wiederholungen gestärkt. Je nach dem, was das Gehirn besonders oft „tut“, werden neurobiologische Voraussetzungen für eben diese Tätigkeiten geschaffen (vgl. Spitzer, 2002). Das gilt auch für die EF. Dieses System von Gehirnfunktionen, das im Präfrontalen Kortex (PFC) angesiedelt ist, entwickelt sich bis ins frühe Erwachsenenalter (Gogtay et al., 2004), bleibt aber bis ins hohe Alter plastisch. Das heißt, auch EF bleiben ein Leben lang „offen für Veränderungen“. In der frühen Kindheit sind sie aber besonders „beeinflussbar“. Für eine gute Entwicklung müssen EF möglichst oft zum Einsatz kommen bzw. gefördert werden (vgl. Diamond & Lee, 2011). So kann sich eine gute Selbststeuerung und Selbstregulation entwickeln. Eine „förderliche“ Umgebung ist deshalb für die allgemeine Gehirnentwicklung und die EF im Speziellen von großer Bedeutung.

1.4.2 Individualfaktoren und ihre Auswirkungen auf die Exekutiven Funktionen

Gene

Die genetische Disposition spielt bei der Entwicklung der EF eine nicht unerhebliche Rolle. In welchem Maße die Gene für die Ausbildung des exekutiven Systems verantwortlich sind, kann mit dem bisherigen Stand der Forschung jedoch nicht eindeutig beantwortet werden. Unterschiedliche Studienergebnisse werden teilweise auf kleine Effektstärken einzelner Gene zurückgeführt. Auch wirken sich mehrere Gene auf eine einzige Funktion aus genauso wie ein Gen eine Vielzahl von Funktionen zu unterstützen scheint. Diese Tatsache macht es schwierig, Ergebnisse von Untersuchungen mit einzelnen Genen zu diskutieren und zu vergleichen (Greene, Braet, Johnson & Bellgrove, 2008).

Die EF werden dennoch meist mit einer sehr hohen Heritabilität diskutiert. Studienergebnisse von Friedman et al. (2008) zeigen, dass individuelle Unterschiede in den EF fast ausschließlich genetisch bedingt sind: EF gehören mit 81 % (kognitive Flexibilität) bis 100 % (Arbeitsgedächtnis) zu den am stärksten vererblichen (neuro-)psychologischen Persönlichkeitsmerkmalen, möglicherweise sogar vererblicher als der IQ. Dennoch unterscheiden sich die Prozentangaben der Heritabilität zwischen den drei Funktionen zum Teil stark. Andere Studien diskutieren Werte von unter 50 % bis 70 %: Beispielsweise mit einem genetische Einfluss auf das Arbeitsgedächtnis von 33 % bis 49 % und auf die Inhibition mit 0 % bis 54 % (Greene et al., 2008).

Jedoch sind sich Wissenschaftler einig, dass die hohe Erbllichkeit der EF nicht bedeutet, dass sie unveränderbar sind und nicht beeinflusst werden können – EF sind sehr sensibel für eine Förderung (vgl. Diamond & Lee, 2011; Miyake & Friedman, 2012). Die Entwicklung der EF ist nicht mit dem Zeitpunkt der Geburt vorbestimmt. Das Umfeld und die Umwelt können zu epigenetischen Veränderungen führen und nehmen bei der Entwicklung sowie der Förderung der EF einen hohen Stellenwert ein (siehe Kapitel 1.4.3).

Geschlecht

Eindeutige Ergebnisse zu Geschlechtsunterschieden bei EF und Selbststeuerungs-kompetenzen gibt es nicht. Studien aus westlichen Ländern, die das Geschlecht in die Untersuchung aufge-

nommen haben, zeigen meist Leistungsunterschiede in den EF und der Selbstregulation zugunsten der Mädchen (z.B. Carlson & Moses, 2001; Kochanska, Murray, Jacques, Koenig & Vandegest, 1996; Matthews, Ponitz & Morrison, 2009; Röthlisberger, Neuenschwander, Michel & Roebbers, 2010). Wobei diese Unterschiede eher gering ausfallen oder sogar verschwinden, wenn für verbale Fähigkeiten kontrolliert wird, was die Vermutung nahe legt, dass Mädchen in EF-Tests – zumindest teilweise – besser abschneiden aufgrund ihrer weiter entwickelten sprachlichen Fähigkeiten (Carlson et al., 2004). Es ist durchaus anzunehmen, dass der Entwicklungsvorsprung in den EF und der Selbstregulation bei Mädchen in der Kindheit auf einen kleinen Reifungsvorsprung hin deutet (vgl. Röthlisberger, Neuenschwander, Cimeli, Michel & Roebbers, 2012). Allerdings gibt es auch gegenläufige Ergebnisse zugunsten der Jungen (Overman, 2004), so dass zum jetzigen Zeitpunkt keine eindeutigen Aussagen zu den Auswirkungen auf die EF durch das Geschlecht getroffen werden können.

Studien mit Jugendlichen und Erwachsenen zeigen ebenfalls sehr unterschiedliche Ergebnisse. So kommt eine Studie mit 8- bis 64-Jährigen von De Luca et al. (2003) zu dem Ergebnis, dass Jungen und Männer vor allem in Aufgaben zum Arbeitsgedächtnis besser abschneiden als Mädchen und Frauen. Eine andere Studie mit 11- bis 17-Jährigen konnte dagegen zeigen, dass Mädchen im Alter von 12 bis 13 Jahren die bis dahin besseren Leistungen in Arbeitsgedächtnis und kognitiver Flexibilität der Jungen überholen (Anderson, V. A., Anderson, Northam, Jacobs & Catroppa, 2001). Die Diskussion dieser Ergebnisse reicht von hormonellen Veränderungen hin zu Unterschieden in Umfeld und Erfahrungen von Mädchen und Jungen während der Pubertät. Die uneinheitlichen Ergebnisse zu den Auswirkungen des Geschlechts auf EF, werden durch kulturübergreifende Studien ergänzt. So zeigen sich bei Kindern im Alter von 3 bis 6 Jahren Unterschiede in der Selbstregulation zugunsten der Mädchen nur in westlichen Ländern (z.B. den USA), wohingegen keine signifikanten Geschlechtsunterschiede in asiatischen Ländern gemessen werden können (Wanless et al., 2013).

Sprache

Entwicklungstheorien legen nahe, dass die Auswirkungen von sozialen Interaktionen auf die Entwicklung von Kognition und Verhalten u.a. durch die Sprachfähigkeit vermittelt werden. Vygotsky und Kollegen gehen davon aus, dass die Entwicklung von EF durch die Internalisierung von Sprache beeinflusst wird (Kozulin, 1986; Zivin, 1979). Sprache und ihre Internalisierung ist ein aktives Vehikel für Denken, Reflektieren, Analysieren und Erfahrungslernen (vgl. Barkley, 2001). Die Internalisierung von Sprache ermöglicht den Übergang von Fremd- zu Selbststeuerung und spielt somit besonders im Kleinkind und Kindergartenalter eine entscheidende Rolle (vgl. Winsler, Diaz, Atencio, McCarthy & Chabay, 2000). Neuere Studien bestätigen diese Zusammenhänge: Bessere Sprachkompetenzen korrelieren mit besseren Leistungen in den EF wohingegen Kinder mit bestimmten Sprachdefizite bei EF-Aufgaben schlechter abschneiden (Carlson, Davis & Leach, 2005). Im Vorschulalter konnten bedeutsame Zusammenhänge zwischen der Sprachfähigkeit und den EF gefunden werden, vor allem in Aufgaben zu Arbeitsgedächtnis und kognitiver Flexibilität (Röthlisberger et al., 2010). Kuhn und Kollegen (2014) konnten in einer Studie zeigen, dass die sprachliche Entwicklung im Alter von 2 bis 3 Jahren die EF im Alter von 4 Jahren voraussagt. Eine Begründung der positiven Zusammenhänge könnte darin liegen, dass der Sprachgebrauch das Ausführen von EF-Aufgaben erleichtert und dadurch die Leistungen verbessert (z.B. Brace, Morton & Munakata, 2006). In ihrer Studie konnten Sarsour et al. (2011) zeigen, dass die sprachliche Ausdrucksform auch bei 9-Jährigen mit besserer Leistung in Arbeitsgedächtnis und Inhibi-

tion zusammen hängt. Dennoch kommen Studien immer wieder zu unterschiedlichen Ergebnissen, die vor allem auf die verschiedenen Messinstrumente zur Erhebung der sprachlichen Fähigkeiten zurückzuführen sind (Sarsour et al., 2011).

Ein weiterer interessanter Aspekt im Zusammenhang von sprachlichen Fähigkeiten und EF ist Bilingualismus. Zweisprachigkeit zeigt bereits in jungen Jahren positive Zusammenhänge mit den EF. So zeigten beispielsweise 2- bis 3-jährige Kinder, die zweisprachig aufwachsen, bessere Leistungen in ihrer Inhibition bei Conflict Tasks (Crivello et al., 2016). Die Autoren begründen das Ergebnis u.a. damit, dass der permanent stattfindende Sprachwechsel, der der Zweisprachigkeit zugrunde liegt, das Lösen von Konfliktaufgaben begünstigt. Zu gleichen Ergebnissen kamen Carlson & Meltzoff (2008) in ihrer Studie: Zweisprachig aufwachende Kindergartenkinder zeigten bessere Leistungen in Konfliktaufgaben, jedoch nicht in Delay Tasks zur Messung der Impulskontrolle. Diese Ergebnisse zeigten sich auch, wenn für Alter, allgemeine sprachliche Fähigkeiten und den sozioökonomischen Status kontrolliert wurde, da diese Faktoren einen sehr großen Einfluss auf die EF haben und andere Zusammenhänge überdecken können. Obwohl die meisten Studien vor allem Leistungsvorsprünge zugunsten der zweisprachigen Kinder in Bezug auf ihre Inhibition in Konfliktaufgaben zeigen, gibt es auch Studien, die bessere Leistungen im Bereich des Arbeitsgedächtnisses nachweisen konnten (z.B. Morales, Calvo & Bialystok, 2013). Aber auch hier zeigten sich bessere Ergebnisse der zweisprachigen Kinder im Alter von 5 bis 7 Jahren besonders in Arbeitsgedächtnisaufgaben, die auch andere EF-Aspekte beanspruchen wie das Ignorieren von Störreizen und Aufgabenwechsel. Man kann also festhalten, dass Kinder durch das gleichzeitige Erlernen von verschiedenen Sprachen und dem damit verbundenen Wechsel zwischen lexikalischen Systemen auch ihre EF stärken (vgl. Carlson & Meltzoff, 2008). Mit zunehmendem Alter und einem wachsenden Wortschatz wird vor allem die Entwicklung der kognitiven Flexibilität, selektiver Aufmerksamkeit und Inhibition gefördert.

Körperliche Aktivität und (Fein-)Motorik

Zahlreiche Studien konnten mittlerweile zeigen, dass sich körperliche Aktivität und Fitness positiv auf unser Gehirn auswirken: Bewegung und körperliche Aktivität verbessern die Gehirndurchblutung und unterstützen die Bildung des neurotrophen Wachstumsfaktors BDNF, der das Wachstum von Nervenzellen sowie die Synapsenbildung begünstigt (z.B. Dishman et al., 2006; Winter et al., 2007). Eine weitere positive Wirkung körperlicher Aktivität stellt die Konzentrationsoptimierung verschiedener Neurotransmitter wie Serotonin, Dopamin und Noradrenalin dar (vgl. Meeusen et al., 2001). Diese durch körperliche Aktivität ausgelösten neurophysiologischen Prozesse beeinflussen und fördern verschiedene kognitive Leistungen, u.a. die EF (z.B. Best, 2010; Hillmann, 2007; Kubesch et al., 2009). Dennoch ist über die genauen Wirkmechanismen und (Langzeit-)Effekte noch relativ wenig bekannt. Verschiedene Arten von Bewegung (z.B. Krafttraining, Ausdauertraining, verschiedene Sportarten, Yoga) wirken sich in unterschiedlicher Weise auf EF aus. Gleichzeitig zeigen sich zum Teil unterschiedliche Ergebnisse in verschiedenen Altersgruppen. Diamond (2015) betont deshalb die Notwendigkeit weiterer Studien zu den Auswirkungen unterschiedlicher sportlicher Aktivitäten auf die EF über die Lebensspanne hinweg. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass Sportangebote, die neben dem körperlichen Aspekt einen kognitiven Anspruch besitzen, am effektivsten zu sein scheinen (vgl. Best, 2010; Diamond & Ling, 2016).

Ein Grund dieser positiven Wirkungen von körperlicher Betätigung auf kognitive Leistungen (v.a. EF), könnte der eindeutige Zusammenhang zwischen kognitiven und motorisch-koordinativen

Prozessen darstellen. In Studien mit funktionellen bildgebenden Verfahren konnte gezeigt werden, dass es bei kognitiven Aufgaben, die dem PFC zuzuordnen sind, auch zu einer Aktivierung des motorischen Teils des Neocortex kommt und umgekehrt (vgl. Diamond, 2000). Zwischen motorisch-kordinativen und kognitiv-kordinativen Leistungen gibt es bedeutsame Überschneidungen, die die enge Verzahnung von kognitiver und motorischer Kontrolle belegen (z.B. Roebbers & Kauer, 2009). So zeigen sich bei 5- bis 6-jährigen Kindern beispielsweise signifikante Zusammenhänge zwischen motorischen Fähigkeiten und der Inhibitionsleistung sowie weniger externalisierendem Verhalten (Livesey, Keen, Rouse & White, 2006). Die Studie von Pagani & Messier (2012) konnte zeigen, dass sich besonders die Feinmotorik von Kindergartenkindern positiv auf Selbststeuerungsfähigkeiten (untersucht wurde z.B. hyperaktiv-unaufmerksames Verhalten) sowie auf mathematische Fähigkeiten auswirkt. Auch wenn weitere Erkenntnisse nötig sind, so zeigen diese Ergebnisse bereits jetzt die große Bedeutung von Sport und Bewegung von klein auf für eine gesunde (kognitive) Entwicklung.

1.4.3 Umweltfaktoren und soziale Einflüsse und ihre Auswirkungen auf die Exekutiven Funktionen

Sozioökonomischer Status

Es gibt mittlerweile mehrfach belegte Zusammenhänge zwischen den EF und dem sozioökonomischen Status. Kinder aus Familien mit einem niedrigeren sozioökonomischen Status zeigen schlechtere EF (vgl. Blair & Raver, 2016). Dies konnten beispielsweise auch Studien von Noble et al. (2007; 2005) und Röthlisberger et al. (2010) zeigen: Kindergartenkinder und Erstklässler aus Familien mit geringerem sozioökonomischen Status zeigen schlechtere Ergebnisse in Tests zu den EF als Kinder aus Familien mit einem höheren sozioökonomischen Status. Denn genauso wie EF positiv beeinflusst werden können, kann ihre Entwicklung auch beeinträchtigt werden. Zu diesen negativen Faktoren zählen Armut, Gewalt, häufige Umzüge, getrennt lebende Eltern oder die Angehörigkeit zu einer diskriminierten Minderheit (vgl. Diamond, 2016). Eine Interventionsstudie von Segretin et al. (2014) widmete sich der Armutslage in Argentinien: Kinder aus Zwei-Eltern-Haushalten und besserem beruflichem Hintergrund der Eltern zeigten bessere Leistungen in Aufgaben zu Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis, Flexibilität und Planungskompetenz.

Die kognitive Entwicklung wird durch Bedingungen des Aufwachsens beeinflusst. Dazu gehören die häusliche Umgebung und vorherrschende Familienverhältnisse, die elterliche Fürsorge, die Familienzusammensetzung sowie die sozialen Ressourcen. Je schlechter diese ausfallen desto stärker ist eine gute kognitive Entwicklung gefährdet (z.B. Berry et al., 2016; Lipina & Colombo, 2009; Rhoades, Greenberg, Lanza & Blair, 2011). Auch die sprachliche Entwicklung wird in diesem Zusammenhang diskutiert: So zeigte sich in den Studien von Noble et al. (2007; 2005), dass die Sprachfähigkeit eine wichtige Mediatorvariable zwischen dem sozioökonomischen Hintergrund und den EF darstellt. Möglicherweise hat der sozioökonomische Hintergrund einen Einfluss auf die Sprachentwicklung von Kindern, was wiederum einen Einfluss auf die Entwicklung der EF nimmt (vgl. Röthlisberger et al., 2010). Eine weitere Erklärung für die negativen Auswirkungen auf die EF ist Stress. All diese (ungünstigen) Lebensumstände verursachen schon bei den Kleinsten ein erhöhtes Stresserleben. Und Stress wirkt sich – genauso wie Krankheit, Schlafmangel oder soziale Ausgrenzung – negativ auf die EF aus (vgl. Blair et al., 2011; Diamond & Ling, 2016).

Erziehung und Betreuung

Eine wichtige Rolle von Anfang an bei der Entwicklung der EF sowie selbstgesteuertem und selbstreguliertem Verhalten spielt die Eltern-Kind-Beziehung bzw. die Beziehung zur Bezugsperson. Die kindliche Bereitschaft zum interaktiven Mitwirken (= compliance) gilt als Prototyp für frühkindliche Selbstregulation: Kinder besitzen die Fähigkeit, ein Verhalten zu beginnen, zu beenden und anzupassen (vgl. Deffner, 2018). Um in sozialen Kontexten angemessene Verhaltensweisen zu zeigen wie z.B. zu kooperieren, sind Interaktionsformen wichtig, die die EF der Kinder unterstützen (Kochanska, Coy & Murray, 2001). Bibok, Carpendale und Müller (2009), Hughes und Ensor (2009) und Carlson (2003) haben die Art der Interaktion zwischen Kind und Beziehungsperson und den Zusammenhang mit den EF genauer betrachtet. Besonders die verbale Unterstützung bzw. „scaffolding“, die sensitive Responsivität (= Feinfühligkeit), Mind-Mindedness (= Kind als eigenständig denkendes und fühlendes Wesen wahrnehmen) und die Unterstützung der Autonomie führen zu besseren selbstregulatorischen Fähigkeiten von Kindern (vgl. Bernier et al., 2010). Werden diese Prinzipien berücksichtigt, bekommt ein Kind zahlreiche Gelegenheiten und Möglichkeiten, die EF und Selbstregulation zu üben und dadurch zu stärken.

Dennoch sollte erwähnt werden, dass Studien zum Teil zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen. So konnten Röthlisberger et al. (2010) keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den EF von Vorschulkindern und der elterlichen Unterstützung feststellen. Auch sollte die mögliche Rolle des sozioökonomischen Status und der sprachlichen Fähigkeiten in diesem Kontext genannt werden. Beides hat einen großen Einfluss auf die EF und könnte eine Mediatorrolle im Zusammenhang zwischen der Beziehung von Bezugsperson(en) und Kind einnehmen.

Kulturelle Einflüsse

Vorweg kann erwähnt werden, dass sich EF von Erwachsenen aus unterschiedlichen Nationen und Kulturen nicht unterscheiden (vgl. Ellefson, Ng, Wang & Hughes, 2017). Betrachtet man jedoch die EF während der Entwicklung, so zeigen sich Ost-West-Unterschiede. Mehrere Studien kommen zu ähnlichen Ergebnissen: Vorschulkinder aus asiatischen Ländern schneiden in Tests zu den EF besser ab, als Vorschulkinder aus westlichen Ländern (z.B. Lewis et al., 2009; Sabbagh, Xu, Carlson, Moses & Lee, 2006). Auch verfügen 4- bis 9-jährige japanische Kinder über bessere EF im Vergleich zu Kindern aus den USA (Imada, Carlson & Itakura, 2013). Diese Unterschiede zeigen sich ebenfalls noch in der (Prä-) Adoleszenz: 9- bis 16-jährige Kinder aus Hong Kong zeigen bessere EF-Leistungen als ihre Vergleichsgruppen aus England (z.B. Ellefson et al., 2017; Wang, Z., Devine, Wong & Hughes, 2016). Interessanterweise zeigen sich diese Unterschiede hauptsächlich bei den EF. So konnte beispielsweise die Studie von Wang et al. (2016) keine Unterschiede bzw. sogar gegenläufige Ergebnisse für andere kognitive Leistungen wie Theory of Mind nachweisen. Die Autoren weisen darauf hin, dass dieser Leistungsvorsprung abhängig von der besuchten Schule der Kinder war, was bedeutet, dass bei der Betrachtung kultureller Unterschiede immer auch weitere Einflussvariablen (hier pädagogische Erfahrungen) berücksichtigt werden müssen. In den verschiedenen Studien werden Leistungsvorsprünge in den EF von 6 Monaten bis zu 2 Jahren berichtet.

Wie kommt es zu diesen Unterschieden bzw. besseren Leistungen der asiatischen Kinder? Autoren, die sich mit dieser Thematik befassen, weisen meist auf die unterschiedlichen Erziehungsstile in den Ländern hin, die aufgrund der dortigen Sozialisation vorherrschen. So bekommen asiatische Kinder schon sehr früh die hohe Bedeutung der Selbstkontrolle vermittelt. In Kulturen, in denen der Konfuzianismus eine große Rolle spielt, werden verstärkt Normen vermittelt, bei

denen die Unterdrückung persönlicher Wünsche nötig ist (vgl. Ellefson et al., 2017). Im Gegensatz zeigte eine interkulturelle Studie, dass Eltern aus England die Wünsche und Bedürfnisse ihrer Kinder stärker berücksichtigen (Hughes, Devine & Wang, 2018). Wie bereits erwähnt, verschwinden diese Leistungsunterschiede mit dem Älterwerden im statistischen Mittel.

Dennoch ist es spannend und notwendig die Entwicklung der EF in jungen Jahren in verschiedenen Kulturen genauer zu betrachten. Unterschiedliche Entwicklungsverläufe können Rückschlüsse auf förderliche oder weniger förderliche Umgebungsfaktoren zulassen, wovon z.B. Förderansätze profitieren können.

Förderliche (Bildungs-) Angebote

Kinder benötigen vor allem viele Gelegenheiten, ihre EF einzusetzen und sie dadurch zu trainieren (siehe Kapitel 1.4.1). In umfassenden Übersichtsartikeln beschreiben Diamond und Kollegen wichtige Wirkfaktoren zur Leistungssteigerung der EF in der Kindheit (z.B. Diamond & Lee, 2011; Diamond & Ling, 2016). Dazu zählen 1.) die Herausforderung und Wiederholung, 2.) der Spaß und die Freude am Tun, 3.) die Selbsttätigkeit und das Aktivsein sowie 4.) der möglichst frühe Beginn der Unterstützung bzw. Förderung. Um EF zu verbessern, müssen sie regelmäßig, d.h. so oft wie möglich, eingesetzt und angesprochen werden. Und das auf einem Niveau, das herausfordert. Denn EF kommen immer dann zum Einsatz, wenn etwas neu ist oder noch nicht richtig beherrscht wird. Dabei sollte der Spaß an erster Stelle stehen. Kinder tun vor allem die Dinge gern und oft, die ihnen Freude bereiten. Durch Aktivsein und selbstständiges Tun, setzen Kinder ihre EF ein. Durch zu viele Erklärungen, Lenkungen oder gar das ständige Abnehmen von Herausforderungen werden Kinder fremdreguliert und verpassen Gelegenheiten, ihre EF zu trainieren. Und um möglichst viele Gelegenheiten in der Entwicklung zu bekommen, sollte die (gezielte) Förderung so früh wie möglich beginnen. Was diese Grundsätze und Prinzipien für eine mögliche Förderung in der MINT-Bildung bedeuten, wird in Kapitel 4.1 näher beschrieben. An dieser Stelle sollen zunächst bestehende pädagogische Konzepte und Programme vorgestellt werden, die die EF von Kindern nachweislich fördern.

Im Kindergarten- und Grundschulbereich gibt es bereits evaluierte Programme und Konzepte zur Stärkung der EF und selbstgesteuertem bzw. selbstreguliertem Verhalten. Dazu zählen u.a. Tools of the Mind, PATH, EMIL, MindUP und Montessori, die hier in Kürze beschrieben werden.

Tools of the Mind (Bodrova & Leong, 2007; www.toolsofthemind.org). Tools of the Mind ist ein alltagsintegriertes Programm, das auf den Theorien des Psychologen Lew Wygotski basiert und mit unterschiedlichen Methoden und Maßnahmen die Selbstregulation und EF von Kindern fördert. Pädagogen im Kindergarten- und Grundschulbereich werden qualifiziert, verschiedene und speziell entwickelte EF-förderliche Aspekte in ihren Alltag zu integrieren. Dazu zählen v.a. die Begleitung des geplanten Rollenspiels, verschiedene Spiele und Aktivitäten mit „EF-Charakter“ sowie der Einsatz von kleinen Hilfsmitteln im Sinne des „scaffoldings“.

PATH (Kusché & Greenberg, 1994; www.pathstraining.com). PATH steht für Promoting Alternative Thinking Strategies. Das Programm richtet sich an Kinder vom Kindergarten bis in die 6. Klasse. PATH besteht aus speziell entwickelten Stundeninhalten und Materialien, die die soziale und emotionale Entwicklung von Kindern stärken und aggressives und problematisches Verhalten im Kindergarten- und Schulsetting reduzieren. Die Umsetzung erfolgt durch geschulte Pädagogen, die das PATH-Curriculum 2-3 Mal in der Woche mit den Kindern durchführen.

EMIL (Quante, Evers, Otto, Hille & Walk, 2016; www.znl-emil.de). Ziel von EMIL ist es, Kinder im Alter von 3 bis 6 Jahren in ihrer sozial-emotionalen Kompetenz zu fördern. Ansatz ist dabei die

Stärkung der EF, Selbstregulationsfähigkeit und Perspektivenübernahme. EMIL ist ein alltagsintegriertes Förderkonzept, das individuell und mit unterschiedlichen Schwerpunkten im Kindergartenalltag umgesetzt werden kann. Ansatzpunkte der EF-Förderung sind Haltung/Dialog; Bewegung/Entspannung/Achtsamkeit; Strukturen (z.B. Rituale, Übergänge, Materialien) sowie Rollenspiele. In der EMIL-Qualifizierung werden pädagogische Fachkräfte in der Theorie geschult und bei der Umsetzung in ihrer Praxis unterstützt.

MindUp (www.mindup.org). Das MindUP-Programm ist eine Lehrplanergänzung vom Kindergarten bis zur 8. Klasse. Es besteht aus 15 Lerneinheiten pro Jahr und zielt darauf ab, das soziale und emotionale Bewusstsein zu stärken, das Wohlbefinden der Schüler zu erhöhen und die akademische Leistung zu verbessern. Die ergänzenden Aktivitäten (z.B. Atemübungen) basieren auf Inhalten der Neurowissenschaften, der positiven Psychologie, dem Bereich der Achtsamkeit sowie dem sozial-emotionalen Lernen zusammen.

Montessori (www.montessori.de). Das pädagogische Bildungskonzept nach Maria Montessori orientiert sich unmittelbar an den einzelnen Kindern und berücksichtigt konsequent ihre Bedürfnisse, Talente und Begabungen. Es kann von der Krippe bis zum Ende der Schulzeit von ausgebildeten Pädagogen in speziellen Montessori-Einrichtungen umgesetzt werden. Das Montessori-Konzept ist ganzheitlich und beeinflusst die gesamte Arbeit der Pädagogen in der Einrichtung. Wichtigster Ansatz ist die Freiarbeit der Kinder zur Stärkung der Individualität und ihrer Selbstständigkeit nach dem Leitsatz „Hilf mir, es selbst zu tun“.

Die hier vorgestellten Konzepte und Programme wurden auf ihre Wirkung untersucht. Wie in den Kurzbeschreibungen erkennbar, sind die Inhalte sowie die Umsetzung sehr unterschiedlich. Zum Teil zielen sie direkt darauf ab, die EF der Kinder zu stärken und wurden entsprechend neu entwickelt (z.B. Tools of the Mind, EMIL). Andere beinhalten eine eher indirekte Förderung der EF (z.B. Montessori, PATH). Bei der Implementierung gibt es ebenfalls große Unterschiede. So enthalten Programme meist vorgegebene Stundeninhalte und-abläufe (z.B. Mind UP). Ganzheitliche und alltagsintegrierte Konzepte dagegen werden so entwickelt, dass sie eine individuelle Umsetzung in den Einrichtungen erlauben und viele Freiheiten bei der Schwerpunktsetzung gewährleisten (z.B. EMIL, Montessori). Aus diesem Grund ist es schwierig Konzepte und Programme miteinander zu vergleichen. Aber eine Wirkungsanalyse mit Vorher-Nacher-Vergleich lässt Aussagen über die Qualität des untersuchten Ansatzes zu und liefert im besten Fall wichtige Belege über positive Effekte. Studien zu Tools of the Mind (z.B. Diamond, Barnett, Thomas & Munro, 2007), PATH (z.B. Domitrovich, Cortes & Greenberg, 2007), EMIL (Walk, Evers, Quante & Hille, 2018), MindUp (z.B. Schonert-Reichl & Lawlor, 2010) und dem Montessori-Ansatz (Lillard & Else-Quest, 2006) konnten positive Effekte auf die Entwicklung der EF nachweisen. Allerdings müssen Studienergebnisse trotzdem immer mit etwas Vorsicht behandelt werden: So zeigen wiederholte Untersuchungen zum Teil gegenläufige Ergebnisse bzw. bei manchen Studien fehlt eine Kontrollgruppe oder ein gemessener Ausgangswert. Kontrollvariablen wie die Bildung der Mutter oder der sozioökonomische Status, die eng mit den EF von Kindern assoziiert sind, werden häufig nicht ausreichend berücksichtigt. Deshalb sollte eine Überinterpretation der Interventionseffekte vermieden werden (vgl. Jacob & Parkinson, 2015). Dennoch sind diese Erkenntnisse vielversprechend, belegen die Förderbarkeit der EF von Kindern im Bildungssetting und sollten von daher weiter beforscht werden – auch in Bereichen, die noch nicht näher betrachtet wurden, wie beispielsweise der frühen MINT-Bildung.

1.5 Zusammenfassung

Unter dem Begriff EF werden verschiedene kognitive Prozesse höherer Ordnung zusammengefasst, die zielgerichtetes Handeln und adaptives Reagieren auf neue, komplexe oder ambivalente Situationen ermöglichen (z.B. Hughes & Ensor, 2005). EF stehen für Kontrollprozesse, die besonders dann eingesetzt werden, wenn automatisiertes Handeln zur Problemlösung nicht mehr ausreicht (Diamond, 2013). Beispiele für solche Situationen wären etwa die Korrektur eines Fehlers, das Erlernen einer neuen Fertigkeit oder das Durchbrechen tief verankerter Gewohnheiten. In diesen Fällen ist anstatt routiniertem Vorgehen ein hohes Maß an bewusstem und aufmerksamem Handeln gefragt, wofür die EF erforderlich sind. Die Definition von EF zeigt Überschneidungen mit anderen Begriffen wie Selbstregulation, Selbstkontrolle und effortful control, was vor allem auf die verschiedenen Forschungsrichtungen, denen sie entstammen, zurückzuführen ist (Nigg, 2017).

Gut entwickelte EF stehen mit einer ganzen Reihe von positiven Outcomes in Zusammenhang: akademischen Fähigkeiten, sozial-emotionalen Kompetenzen, Einkommen und Lebenszufriedenheit (z.B. Blair & Razza, 2007; Clark et al., 2013; Moffitt, Poulton & Caspi, 2013; Rhoades et al., 2009). Dabei sind die EF gemessen in der Kindheit oft gute Prädiktoren für die weitere Entwicklung (z.B. Moffitt et al., 2011). Die Analysen von Miyake und Kollegen (2000) legen nahe, dass die EF auf drei Kernfunktionen reduziert werden können, nämlich Inhibition, Arbeitsgedächtnis und kognitive Flexibilität. Diese Befunde beziehen sich allerdings auf Erwachsene. Studien mit Kindergartenkindern wiesen nach, dass die EF-Komponenten in der frühen Kindheit noch nicht klar unterschieden werden können (z.B. Monette, Bigras & Lafrenière, 2015), was zu der Annahme führte, dass sich die EF erst über das Schulalter hinweg deutlich ausdifferenzieren (z.B. Shing, Lindenberger, Diamond, Li & Davidson, 2010).

Kinder werden nicht mit diesen Fähigkeiten geboren - sie werden mit dem Potenzial geboren, sie zu entwickeln (Hughes, 2013). Die frühe Kindheit ist für die Forschung von besonderem Interesse, da sie durch ein schnelles Wachstum der Fähigkeit zur Verhaltenskontrolle gekennzeichnet ist (z.B. Jones, Rothbart & Posner, 2003; Moilanen, Shaw, Dishion, Gardner & Wilson, 2010). Die den EF zugeordneten Fähigkeiten wachsen und reifen über die Kinder- und Teenagerjahre bis ins frühe Erwachsenenalter (Best & Miller, 2010; Davidson et al., 2006; Shing et al., 2010). Die langsame Reifung des Präfrontalen Kortex macht die Entwicklung der EF stark von der Umwelt abhängig (z.B. Noble et al., 2005). Dabei nehmen u.a. die Beziehungen der Kinder zu Bezugspersonen, die Aktivitäten, an denen sie teilnehmen können, und die Orte, an denen sie leben, lernen und spielen Einfluss auf die Entwicklung (z.B. Garon et al., 2008; Hughes & Ensor, 2009). Um Kinder in ihrer Entwicklung der EF zu unterstützen, ist es hilfreich diese Einflussfaktoren zu kennen und zu verstehen, wie die Qualität der Interaktionen und Erfahrungen Kinder in ihrer Entwicklung stärken oder behindern.

Studien zeigen, dass es während der gesamten Entwicklung Möglichkeiten gibt, die EF von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen zu verbessern (vgl. Diamond & Lee, 2011). Dabei zeigt sich, dass frühe Interventionen effektiver und effizienter sind als Interventionen, die später ansetzen (Hughes, 2013). Die Bemühungen, die Entwicklung dieser Fähigkeiten zu unterstützen, verdienen noch größere Aufmerksamkeit bei der Gestaltung von Früherziehungs- und Bildungsprogrammen. Es wird angenommen, dass Bildungsmaßnahmen ihre Wirksamkeit erhöhen könnten, indem sie die Entwicklung und Förderung der EF berücksichtigen (Center on the Developing Child, 2012).

2 Bezüge zwischen Exekutiven Funktionen und MINT-Bildung

Nachdem ausführlich dargestellt wurde, was unter dem Begriff der EF verstanden wird, sowie die Bedeutung, die Entwicklung und die wichtigsten Einflussfaktoren im Detail beschrieben wurden, soll in diesem Kapitel der Bogen zur MINT-Bildung geschlagen werden. Zunächst werden die Bezüge zwischen EF und kognitiven Prozessen, welche für die MINT-Bildung von Bedeutung sind, theoretisch hergeleitet. Im Folgenden werden Studien vorgestellt, die zum einen die Zusammenhänge mit wissenschaftlichem Denken und Problemlösen und zum anderen mit den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik), sofern vorhanden, untersucht haben.

2.1 Naturwissenschaftliches Denken, Problemlösen und Exekutive Funktionen

Naturwissenschaftliches Denken

Lange war man der Auffassung, Kinder könnten vor Beginn der Schulzeit noch nicht naturwissenschaftlich denken, weil ihre Kognitionen prälogisch und ihre Schlussfolgerungen weitgehend irrational seien (Piaget, 1976). Heute wissen wir, dass bereits wenige Monate alte Säuglinge über rudimentäres Kernwissen im Bereich der Physik und Biologie verfügen (Spelke, Elizabeth 1990) und auch schon fähig sind, Variablen zu identifizieren, die bei der Vorhersage von natürlichen Ereignissen beachtet werden müssen (Baillargeon & Carey, 2012). Spätestens mit Beginn des Kindergartenalters beginnen sie außerdem, gezielt Fragen an die Natur zu stellen, eigene native Theorien zur Erklärung von Naturphänomenen zu generieren (Carey, 1985) und ab dem Vorschulalter scheinen sie den Prozess des Forschens zunehmend besser zu verstehen (Pahnke & Pauen, 2012; Sodian, Thoermer & Koerber, 2008). Zur Illustration dieser Entwicklungssequenz mag das folgende Beispiel dienen: Wie die moderne Säuglingsforschung belegt (vgl. Pauen, 2006), scheinen schon 3 bis 4 Monate alte Kinder davon auszugehen, dass zwei getrennte materielle Einheiten niemals zur gleichen Zeit den gleichen Raum einnehmen können (Solidität), und auch nicht einfach verschwinden oder aus dem Nichts wieder auftauchen (Kontinuität). Aufbauend auf solchen Kernannahmen passen Kinder ihre Vorstellungen über physikalische Gesetze bereits in den ersten Lebensjahren substantiell an die Realität an. Wie Baillargeon und Carey (2012) postulieren, folgen sie dabei bestimmten Gesetzen von "Physical Reasoning": Mit zunehmender Welt-Erfahrung entdecken sie allmählich Variablen, die für die Vorhersage von Ereignissen wichtig sind und explorieren deren Bedeutung. Schon 3 bis 4 Monate alte Säuglinge erwarten, dass Objekte nach unten fallen, wenn sie frei in der Luft hängen und keinerlei Kontakt mit anderen Gegenständen haben. Nur wenige Wochen später begreifen die Kinder auch, dass die Art des Kontaktes nicht beliebig ist, sondern dass das Objekt in der Regel oben aufliegen muss, um nicht zu fallen. Im nächsten Schritt wird bemerkt, dass Objekte nur dann nicht fallen, wenn sie mit mindestens der Hälfte ihrer Grundfläche Kontakt zur Auflage haben. Und ab 5-6 Monaten ist ihnen bereits klar, dass es nicht nur auf die Lage und den prozentualen Anteil der Kontaktfläche ankommt, sondern auch auf die Form und damit den Schwerpunkt des Objektes. An diesem Beispiel zeigt sich das generelle Prinzip, das nach Auffassung moderner Säuglingsforscher für kindliches Lernen maßgeblich ist: Kernwissen wird allmählich ausdifferenziert, indem sukzessive verschiedene kritische Dimensionen in den Fokus rücken, ihre Bedeutung analysiert und bei künftigen Vorhersagen von Ereignissen berücksichtigt wird. Diese Art des Lernens erfolgt zunächst unbewusst und implizit. Schon im 1. und 2. Lebensjahr kann man bisweilen aber auch Ansätze zum systematischen Experimentieren beobachten. So etwa, wenn Kinder im Alter von 1 bis 2 Jahren

nacheinander unterschiedliche Objekte vom Hochstuhl aus auf den Boden fallen lassen oder wenn sie genau beobachten, was passiert, wenn man ein Objekt ganz langsam immer weiter über eine Kante schiebt. Solche Aktivitäten deuten an, dass das Kind bereits begonnen hat, selbstständig und forschend Fragen an die Natur zu stellen und damit aktiver Lerner und Gestalter des Erwerbs naturwissenschaftlicher Kompetenzen ist.

Sobald die Sprache ins Spiel kommt, beginnt eine neue Phase des naturwissenschaftlichen Denkens: Nun werden Phänomene in Worte gefasst. Worte machen das Kind auf potentiell relevante Variablen aufmerksam, die es von sich aus vielleicht noch nicht beachtet hat; es lernt im Verlauf der Kindergarten- und Vorschulzeit allmählich, Fragen zu stellen, Beobachtungen zu beschreiben und Erklärungen zu verstehen oder selbst zu formulieren. Nun wird es immer wichtiger, dem Kind für seine Weiterentwicklung des naturwissenschaftlichen Denkens gezielt Anregungen zu geben. Aus implizitem, individuellem Erfahrungswissen wird im Austausch mit anderen Menschen allmählich verbalisiertes Weltwissen. Das Kind formt ganz allmählich Konzepte und Theorien, die ihm helfen, Phänomene einzuordnen. Diese zunächst naiven Konzepte und Theorien wird es in Abhängigkeit von Anregungen, die es durch Fachkräfte und später auch Lehrer erhält, immer besser der Realität anpassen. Überraschende Erfahrungen werden nun nicht mehr einfach additiv zum Vorwissen hinzugefügt, wo sie unverbunden neben anderen Einsichten stehen, sondern das Kind ist zunehmend darum bemüht, ein in sich konsistentes Weltbild aufzubauen. Ist dies nicht möglich (z.B., weil sich Widersprüche zwischen neuen und alten Erfahrungen ergeben), so müssen existierende Denkmuster angepasst werden. Es kommt zum Conceptual Change (Carey, 1985). Oft geben gerade solche Nicht-Passungen Anlass dazu, genauer nachzuforschen, was es mit einem gegebenen Phänomen auf sich hat. Dieser Prozess beginnt bereits im Kindergartenalter und setzt sich dann über die Grundschulzeit hinweg und darüber hinaus, immer weiter fort.

Kognitive Reifung, Problemlösen und naturwissenschaftliches Denken

Biologische Reifungsprozesse und wachsende kognitive Kompetenzen sorgen dafür, dass der Prozess der Erkenntnisgewinnung zunehmend systematischer erfolgt. Neben "trial-and-error" Lernen wird nun auch das Lernen durch Problemlösen immer prominenter. Sobald sich die Vorstellungskraft des Kindes hinreichend entwickelt hat und es bereits über unterschiedliche Erfahrungen mit einem Phänomen verfügt, muss nicht mehr jedes Ereignis real gesehen und jede Handlung wirklich ausgeführt werden, um vorhersagen zu können, was als nächstes passiert. Das Kind kann bestimmte Prozesse im Geiste simulieren, komplexe Handlungen im Voraus planen, unterschiedliche Beobachtungen im Gedächtnis behalten und zu neuen Einsichten kombinieren. Entsprechende Fähigkeiten werden im Verlauf der Kindergarten und Grundschulzeit immer weiter trainiert und verbessert. Diese Errungenschaften sind überaus nützlich und wichtig für Fortschritte im naturwissenschaftlichen Denken. Allerdings gilt es zu beachten, dass Kinder zwischen 2 und 6 Jahren noch Schwierigkeiten mit solchen höheren geistigen Leistungen und dass sie beim Experimentieren die Technik des Hypothesentestens bzw. der Variablenisolierung noch lange nicht routiniert beherrschen (Sodian et al., 2008). Der Grundstein für entsprechende Kompetenzen ist aber bereits gelegt und damit der Weg für die Entwicklung naturwissenschaftlicher Vorgehensweisen bei der Erkenntnisgewinnung fruchtbar geebnet. Hier genau setzt die Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ an und hat - ausgehend von bereits vorliegenden Expertisen - im so genannten "Forschungskreis" genauer beschrieben, welche Aspekte mit den Kindern praktiziert und damit auch geübt werden können und die naturwissenschaftliche Denkentwicklung nachhaltig zu fördern.

Der Forschungskreis und das naturwissenschaftliche Denken

Der Forschungskreis unterteilt den Forschungsprozess in insgesamt sechs Phasen: (1) Als erstes muss man sich von einem Naturphänomen beeindruckt lassen und sich bewusstwerden, worin genau die Frage besteht, die man beantworten möchte. Nur wer neugierig geworden ist, lässt sich engagiert auf den Forschungs- und Lernprozess ein. (2) In der nächsten Phase geht es darum, Ideen und Vermutungen zum Thema zu sammeln. Das Kind fragt: Warum ist das so? Was passiert, wenn...? Was muss ich tun, damit...? Wie finde ich heraus, ob...? (3) Erst wenn konkrete Ideen und Erwartungen formuliert worden sind, macht es Sinn, gezielt Dinge auszuprobieren und Versuche durchzuführen. (4) Die dabei gemachten Beobachtungen werden in Phase vier gemeinsam beschrieben. Das hilft dabei, sich bewusst zu werden, was man gerade erfahren hat und unterstützt den Austausch von Erfahrungen, Überlegungen oder Einsichten mit anderen. (5) In der nächsten Phase empfiehlt es sich, die Beobachtungen auch zu dokumentieren, damit man sich die neuen Erkenntnisse noch einmal bewusst vor Augen führt und zu einem späteren Zeitpunkt auf die eigenen Beobachtungen zurückgreifen kann. (6) Schließlich kommt es darauf an, die neuen Beobachtungen einzuordnen, Erkenntnisse zu sichern und noch offene Fragen zu identifizieren.

Vom Forschen zu Exekutiven Funktionen

Geht man von den eben beschriebenen Stationen des Forschungsprozesses aus, so gilt es zu klären, wofür genau Selbststeuerungsprozesse in diesem Zusammenhang wichtig sind. Dabei konzentrieren wir uns im vorliegenden Fall auf die Bedeutung der EF als Kompetenz.

Wie bereits dargelegt, scheinen die EF eng mit der bewussten Steuerung von mentalen Prozessen zusammenzuhängen. Diese Form der Selbststeuerung spielt beim naturwissenschaftlichen Forschen grundsätzlich eine wichtige Rolle (Bascandzjev, Powell, Harris & Carey, 2016; Benson, Sabbagh, Carlson & Zelazo, 2012).

Ausgehend von der Unterscheidung zwischen Arbeitsgedächtnis, Inhibition und kognitiver Flexibilität stellt sich die Frage, wie einzelne dieser Kompetenzen auf den Prozess des Forschens und der Konzeptentwicklung Einfluss nehmen. Für Problemlöseprozesse im mathematischen Bereich wurde von Cragg und Gilmore (2014) bereits ein Modell entwickelt, das zwischen dem Umgang mit Fakten, Prozeduren des mathematischen Denkens und konzeptuellen Vorstellungen unterscheidet (vgl. Abbildung 2). Diesem Schema zufolge ist das Arbeitsgedächtnis vor allem für das Aktivieren und Bereithalten von Zahlen und Zwischenergebnissen (Fakten) sowie für die Durchführung von Rechenoperationen (Prozeduren) bedeutsam, während die Inhibition und die kognitive Flexibilität beide sowohl auf die Prozeduren als auch auf die Konzepte (Einsichten in übergreifende Regeln) Einfluss nehmen. Inhibition nimmt insofern eine Schlüsselstellung ein, als diese EF-Komponente auch auf den Umgang mit Fakten Wirkung hat und damit für den gesamten Prozess des mathematischen Denkens eine Rolle spielt. Hervorgehoben wird dabei die Anpassung von konzeptuellen Vorstellungen.

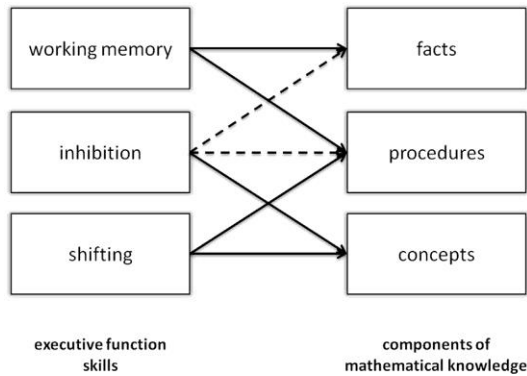


Abbildung 2.
 Modell von Cragg & Gilmore (2014) zum Zusammenhang zwischen Exekutiven Funktionen und mathematischem Denken.

Wie nachfolgend dargelegt wird, können einige dieser Überlegungen auch auf den Bereich des naturwissenschaftlichen Denkens übertragen werden, wobei hier durchaus auch noch weitere Aspekte in Betracht gezogen werden müssen, weil die Planung und Durchführung von naturwissenschaftlichen Versuchen Spezifika aufweist, die so nicht unbedingt für die Planung und Durchführung von Rechenoperationen gelten. Betrachten wir daher zunächst analytisch, in welcher Weise jede der EF-Komponenten das naturwissenschaftliche Forschen in unterschiedlichen Phasen beeinflussen könnte:

Arbeitsgedächtnis (Updating Memory)

Die Fähigkeit, bestehende Gedächtnisinhalte zu aktualisieren, unterschiedliche Gedächtnisinhalte parallel zu aktivieren oder zu kombinieren, spielt beim Forschen zweifellos eine bedeutsame Rolle: Wenn das Kind anfängt, sich über ein Naturphänomen Gedanken zu machen, dann aktiviert es zunächst unterschiedliche Gedächtnisinhalte parallel. Es überlegt, ob bzw. wann es schon einmal etwas Ähnliches erlebt hat und was die betreffende Situation mit dem aktuellen Sachverhalt gemeinsam hat. Anschließend konkretisiert es seine Frage an die Natur vor diesem Hintergrund und trennt dabei nützliche von weniger nützlichen Überlegungen. Es aktiviert und selektiert mögliche Erklärungen für das beobachtete Phänomen. Oft geschieht dies in Zusammenarbeit mit anderen Kindern oder/und Erwachsenen. Die Palette der später zu explorierenden Fragen oder der zu testenden Ideen wird im Dialog ständig aktualisiert, bis man sich dafür entscheidet, was man untersuchen will und von welcher Vermutung man ausgeht. Folglich sind die ersten beiden Schritte des Forschungskreises (Frage an die Naturstellen, Ideen und Vermutungen sammeln) ohne die Beteiligung des Arbeitsgedächtnisses schwer vorstellbar. Bevor man anschließend Dinge ausprobiert oder aktiv Versuche durchführt, muss man klären, mit welchen Methoden / Materialien eine gegebene Hypothese untersucht werden kann. Auch hier werden wieder unterschiedliche Möglichkeiten aktiviert, diskutiert und gegeneinander abgewogen. Folglich spielt das Arbeitsgedächtnis auch in Phase 4 des Forschungskreises eine zentrale Rolle. In Phase 5 gleicht das Kind die eigenen Erwartungen mit der Realität ab. Nur, wenn es einerseits wahrnimmt, was gerade geschieht, und parallel aktiviert, was es dazu bereits weiß, kann es feststellen, ob eine Beobachtung zu den eigenen Erwartungen passt oder nicht. Im Prinzip laufen solche Abgleiche schon bei Säuglingen auf unbewusster Ebene automatisiert ab. Aber erst, wenn ein Kind bewusst darüber nachdenkt, bietet sich die Chance, bestehende Konzepte und Theorien, die in der Regel sprachlich kodiert sind, nachhaltig den neuen Erfahrungen anzupassen (s. auch Bascandzjev et al., 2016). Phase 6 des Forschungskreises dient dann letztlich dazu, diesen Prozess der Bewusstwerdung zu unterstützen und aus zunächst vorläufig gespeichertem Wissen konsolidierte Erkenntnis zu generieren bzw. sich darüber klar zu werden, welche Fragen noch offen sind. Im Prozess des Forschens (Ausprobieren und Versuche durchführen, Beobachten, Beschreiben und

Erörtern) ist das Arbeitsgedächtnis stark involviert, wenn mehrere Beobachtungen systematisch kombiniert werden müssen, um zu einer neuen Einsicht zu gelangen (z.B. bei Integration von Informationen aus Einzelversuchen).

Ganz grundsätzlich halten wir daher fest, dass jeder Vergleich von unterschiedlichen Beobachtungen oder von Beobachtungen mit eigenen Erinnerungen sowie jeder Versuch, Erfahrungen bewusst zu integrieren, das Arbeitsgedächtnis fordert. Das bedeutet, dass diese Kompetenz auch beim Ziehen von Schlussfolgerungen aus unterschiedlichen Beobachtungen gefordert ist. In Übereinstimmung mit dem Modell von Cragg und Gilmore (2014) wird das Arbeitsgedächtnis beim naturwissenschaftlichen Denken als wichtig für den Umgang mit Fakten und die Anwendung von Prozeduren betrachtet. Anders als bei Craigg und Gilmore nehmen wir darüber hinaus an, dass das Arbeitsgedächtnis auch bei der Auswertung von Beobachtungen und der Ergebnisfeststellen (Konzeptbildung) eine wichtige Rolle spielt. Abbildung 3 illustriert diese Argumente bezogen auf den Forscherkreis.



Abbildung 3. Die Rolle des Arbeitsgedächtnisses im Prozess des Forschens.

Inhibition (Response Inhibition)

Die Fähigkeit, eine automatische Reaktion zu inhibieren, erlaubt es uns, erst zu denken und dann zu handeln. Gerade beim Forschen scheint es wichtig, sich zunächst die Zeit zu nehmen, bereits bestehendes Wissen zu aktivieren und eine Idee oder Vermutung zu äußern, bevor man mit dem

Experimentieren beginnt. Indem Lernbegleiter die Kinder beim Experimentieren zu vorausschauendem planvollen Handeln anregen, stärken sie gleichzeitig deren Fähigkeit zur Inhibition dominanter Impulse. Warten, bis der Versuch gut vorbereitet ist, bis man an der Reihe ist, etwas auszuprobieren, bis ein anderes Kind oder der Lernbegleiter ihre Vermutung, Beobachtung oder Erklärung ausgesprochen haben - all dies kann nur gelingen, wenn das Kind seine dominanten Impulse zunächst hemmen kann. Diese Aufgabe ist besonders schwer, wenn das Kind emotional und motivational hoch involviert ist. Aber auch bei der Auswertung von Versuchen ist Zurückhaltung gefragt. Sonst besteht die Gefahr, zu schnell von einer Beobachtung ausgehend verallgemeinernde Schlüsse zu ziehen, ohne sich mit möglicher Gegenevidenz zu beschäftigen. Nicht zuletzt aus diesem Grund postulieren Carlson und Moses (2001), dass Kinder ohne inhibitorische Fähigkeiten für immer bei ihrer dominierenden Hypothese bleiben würden (s. auch Moses & Tahiroglu, 2010). Folglich ist Response Inhibition sowohl für den Umgang mit Fakten, als auch für die prozedurale Umsetzung eigener Ideen und für die Formierung und Anpassung von Konzepten relevant (s. auch Cragg & Gilmore, 2014). Abbildung 4 illustriert die Rolle der Inhibition bezogen auf den Forscherkreis.

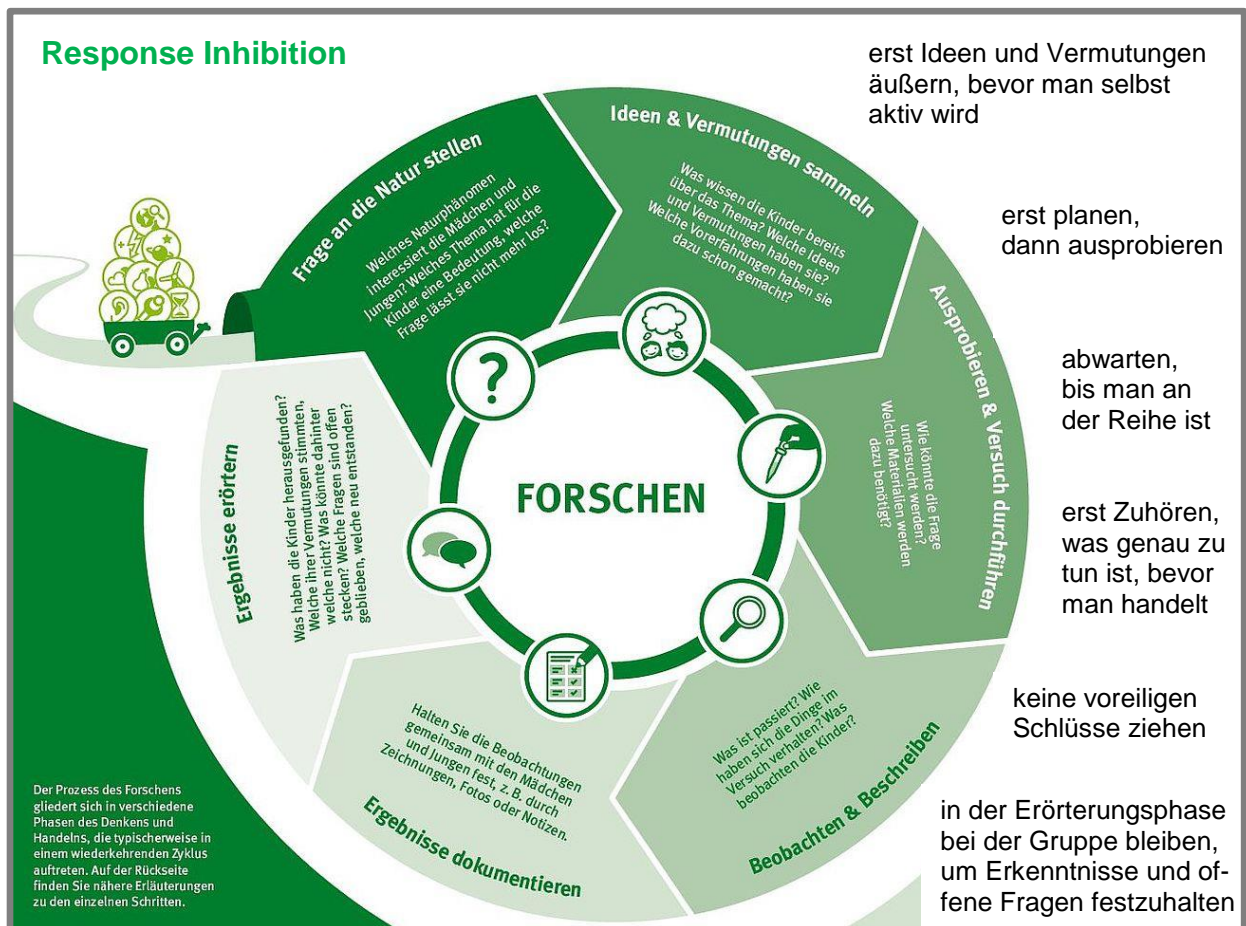


Abbildung 4. Die Rolle von Response Inhibition im Prozess des Forschens.

Kognitive Flexibilität (Shifting)

Im Rahmen des Forschungskreises ist Flexibilität in der Aufmerksamkeitssteuerung und im Denken allgemein vor allem dann wichtig, wenn es darum geht, nacheinander gezielt auf unterschiedliche Aspekte einer gegebenen Beobachtungssituation zu achten (z.B. während eines Versuches). Geistige Flexibilität ist aber schon dann gefordert, wenn das Kind Ideen sammeln und Vermutungen anstellen soll. Wer sich hier von vornherein auf eine Vermutung festlegt, ist nicht offen für überraschende Beobachtungen. Auch beim Ausprobieren und Durchführen von Versuch hilft es, mit flexiblem Blick an das Experimentieren heran zu gehen. Erst dann kommen Aspekte in Betracht, an die man zunächst vielleicht gar nicht gedacht hat, die aber wichtig sind, um ein Phänomen zu verstehen. Stellt das Kind dann beim Beobachten und Beschreiben fest, dass die eigenen Annahmen nicht mit empirischen Beobachtungen oder mit den Vorstellungen anderer Kinder übereinstimmen, so müssen Alternativen in Betracht gezogen werden, und das Kind sollte bereit sein, sich von bestehenden Denkgewohnheiten zu lösen. Das gilt auch für die Phase der gemeinsamen Erörterung von Erfahrungen (s. auch Bascandziev et al., 2016). Diese Annahmen passen insgesamt gut zum Modell von Cragg und Gilmore (2014), da auch hier postuliert wird, dass vor allem die Anwendung von Prozeduren (Versuche planen, durchführen und auswerten) und die Formierung bzw. Anpassung von Konzepten auf der Basis neuer Beobachtungen Shifting-Kapazitäten erfordert, während der einfache Zugriff auf Fakten weniger durch Shifting beeinflusst sein dürfte. Abbildung 5 stellt die Rolle der Kognitiven Flexibilität im Forschungsprozess dar.

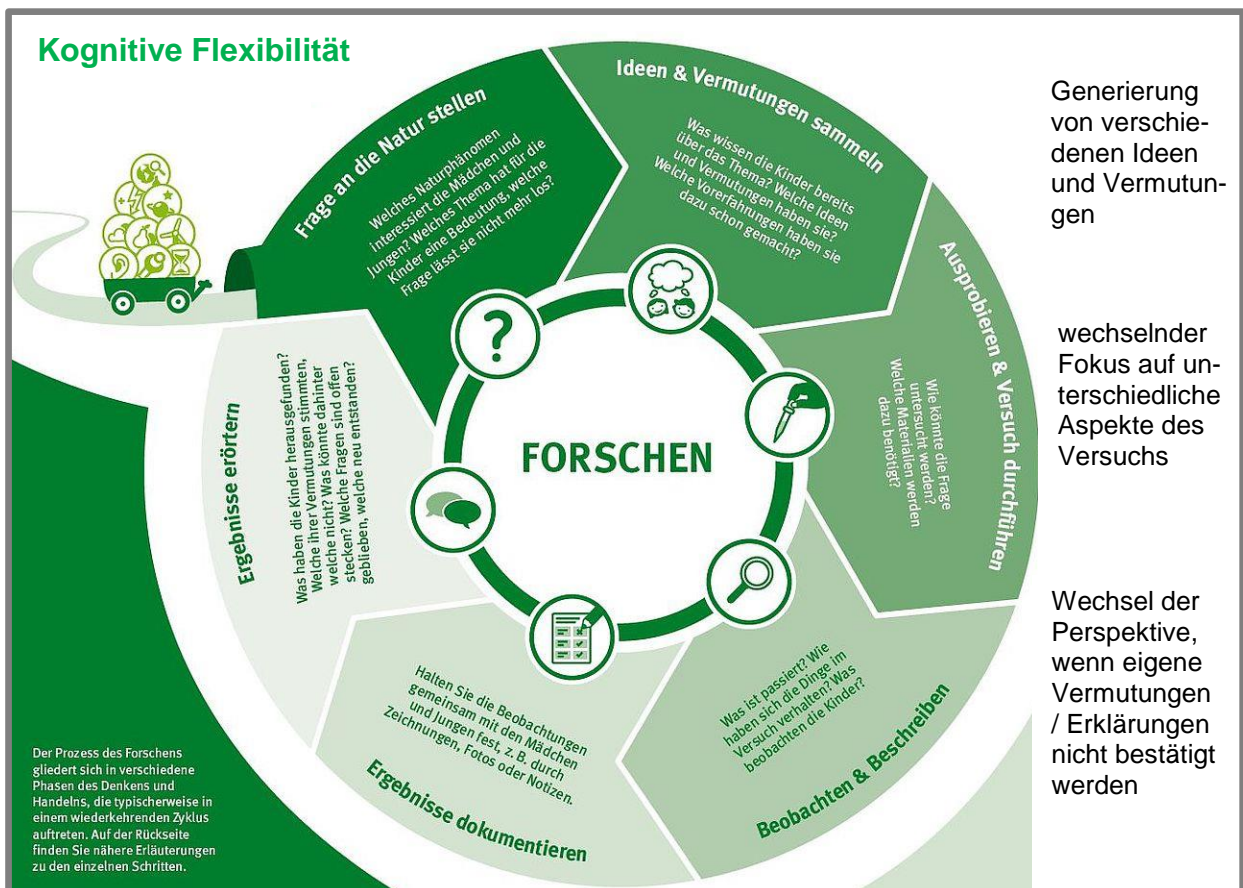


Abbildung 5. Die Rolle von Kognitiver Flexibilität im Prozess des Forschens.

Wie diese wenigen Beispiele deutlich machen, stellen EF wichtige Basisfähigkeiten des Denkens dar, die maßgeblichen Einfluss auf die Gestaltung und das Gelingen von Forschungsprozessen in der frühen Kindheit nehmen. Kinder mit gutem Arbeitsgedächtnis, flexibler Aufmerksamkeitskontrolle und hoher inhibitorischer Kontrolle sind besonders gut darauf vorbereitet, neue Erkenntnisse zu gewinnen (s. auch Bascandziev et al., 2016). Dabei nehmen die genannten Komponenten möglicherweise in unterschiedlicher Gewichtung auf die verschiedenen Phasen des Forschungsprozesses Einfluss. Gleichzeitig dürfte klargeworden sein, dass verschiedene Elemente des Forschungsprozesses die EF von Kindern herausfordern und sie damit indirekt trainieren. Zwischen naturwissenschaftlichem Denken einerseits und EF andererseits gibt es vielfältige Verbindungen und Wechselwirkungsprozesse. Auch Problemlöseprozesse und Metakognitionen sind in diesem Zusammenhang von Interesse, seien hier jedoch nochmals getrennt diskutiert, da sie nicht nur für naturwissenschaftliches Denken, sondern auch für andere Aspekte von MINT (neben der Mathematik und den Naturwissenschaften den Umgang mit Themen der Informatik und der Technik) bedeutsam sind:

Von Exekutiven Funktionen zu Problemlöseprozessen

Beim Problemlöseprozess kann die Lösung für ein gegebenes Problem nicht einfach nur abgerufen werden, sondern muss erst erarbeitet werden, indem das Kind unterschiedliche Wissensinhalte und Beobachtungen neu integriert. Ausgangspunkt ist dabei das Problem, welches man im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess entweder als Fragestellung an die Natur betrachten kann (Schritt 1 und 2 Forschungskreis), als Überlegung, wie man eine gegebene Fragestellung operationalisieren und umsetzen kann (Schritt 2 und 3 Forschungskreis) oder wie man die gemachten Beobachtungen ordnen, integrieren, dokumentieren und diskutieren kann (Schritt 4, 5 und 6 Forschungskreis). In allen diesen Phasen ist die Lösung nicht offensichtlich, sondern muss von den Kindern (ggf. mit Hilfe eines Erwachsenen) im Dialog generiert werden. Im Bereich der Informatik oder Technik sind die genannten Teil-Prozesse des Erkenntnisgewinns durch Problemlösen in vergleichbarer Weise involviert.

Auch hier gilt es, zunächst unterschiedliche Aspekte, die für die Problemlösung relevant sein könnten, aus dem Gedächtnis zu aktivieren und zu kombinieren, um so zu bestimmen, wie man an das Problem herangehen könnte. Dabei muss man unmittelbare Handlungsimpulse oder auch dominierende Denkmuster inhibieren können, um alternativen Verhaltens- und Denkweisen Raum zu geben und gegebenenfalls flexibel zwischen mehreren Aufmerksamkeitsfoki bzw. Denkmodi hin- und herschalten zu können. Im Prinzip sind Problemlöseprozesse damit integraler Bestandteil aller Denkprozesse durch Einsicht, wie sie in den unterschiedlichen MINT Fächern gleichermaßen beteiligt sind, und weisen damit bedeutsame Überschneidungen mit EF auf. Einerseits stellen die EF die Basis für höhere kognitive Leistungen wie Problemlösen und naturwissenschaftliches Denken dar, andererseits fördern die genannten Leistungen die Entwicklung der EF.

Nach diesen eher theoretisch-analytischen Ausführungen folgt nun eine Übersicht über empirische Befunde, die sich mit Zusammenhängen zwischen EF und naturwissenschaftlichem Denken bzw. Problemlösen befassen.

2.2 Zusammenhänge zwischen Exekutiven Funktionen und naturwissenschaftlichem Denken

In diesem Kapitel werden Studien vorgestellt, die die Zusammenhänge von EF und naturwissenschaftlichem Denken untersuchen. Berücksichtigt wurden bei der Recherche vor allem Studien mit Kindern im Alter von 3 bis 10 Jahren. Allerdings ist die Studienlage in dieser Altersgruppe nicht besonders umfangreich und in Bezug auf die einzelnen EF auch nicht gleichverteilt. Aus diesem Grund fließen zum Teil auch Erkenntnisse aus anderen Altersgruppen ein. Dennoch hat diese Studienübersicht keinen Anspruch auf Vollständigkeit, spiegelt aber den momentanen Forschungsstand gut wider. Erschwerend für die Recherche sind neben der Altersgruppe auch unterschiedliche Definitionen und Benennungen der untersuchten Konstrukte (naturwissenschaftliches Denken, logisches oder analytisches Denken, Problemlösen...). So ist beispielsweise die Definition naturwissenschaftlichen Denkens nicht immer einheitlich und manche Versuche untersuchen eigentlich eher die Fähigkeit des Problemlösens. Ebenfalls erwähnt werden sollte die zum Teil sehr unterschiedliche methodische Herangehensweise bzw. Operationalisierung der Untersuchungen. Nicht nur bei den EF kommen unterschiedliche Messmethoden zum Einsatz. Besonders auch im Bereich des naturwissenschaftlichen Denkens werden verschiedenste Instrumente und Fragestellungen für die Probanden verwendet, die eine Vergleichbarkeit erschweren. Die meisten Studien betrachten die Zusammenhänge von EF und naturwissenschaftlichem Denken. Unklar bleibt die Frage nach der Wirkungsrichtung: Sind gut entwickelte EF Voraussetzung für naturwissenschaftliches Denken oder führt naturwissenschaftliches Denken zu besser ausgebildeten EF? Diese Frage kann mit den vorliegenden Studien nicht immer eindeutig beantwortet werden. Ein weiterer Punkt, der mit der momentanen Studienlage noch nicht geklärt werden kann, sind mögliche Einflüsse weiterer Variablen. In den wenigsten Studien wurde auf alle (wichtigen) Einflussfaktoren kontrolliert. Dadurch bleiben Fragen offen, wie z.B. ob allein der sozioökonomische Status manche Zusammenhänge erklären könnte. Dennoch lassen sich bereits jetzt interessante Zusammenhänge feststellen, die die Bedeutung der EF für naturwissenschaftliches Denken und umgekehrt nahelegen.

2.2.1 Arbeitsgedächtnis und naturwissenschaftliches Denken

Kuhn und Franklin (2006) messen dem kurzzeitigen Speichern von Informationen, um mental mit ihnen zu operieren, eine große Bedeutung für den naturwissenschaftlichen Denkprozess bei. Das Testen einer Hypothese beispielsweise erfordert die Aufrechterhaltung von wichtigen Informationen (Kwon & Lawson, 2000). Am Ende gilt es zu reflektieren, ob das Ergebnis mit der zuvor generierten Hypothese übereinstimmt oder nicht (Gropen, Clark-Chiarelli, Hoisington & Ehrlich, 2011; Kuhn, D., 2000). Ebenfalls kommt es dem Arbeitsgedächtnis zu, relevante Information aus dem Langzeitgedächtnis abzurufen und in aktuelle Überlegungen zu integrieren (van der Graaf, Segers & Verhoeven, 2016).

Eine Studie mit Kindergartenkinder konnte zeigen, dass die Leistung des verbalen Arbeitsgedächtnisses zu besserem naturwissenschaftlich analytischem Denken führt (hier Experimentieren und evidenzbasiertes Bewerten (van der Graaf et al., 2016). Die Autoren argumentieren, dass diese positive Beeinflussung hauptsächlich über die besseren verbalen Fähigkeiten zu erklären sind. Kindergartenkindern mit einem guten verbalen Arbeitsgedächtnis fällt es leichter, sich selbst verbal zu instruieren und dadurch Handlungen und Gedankengänge besser zu steuern. Außerdem unterstützt die Verbalisierung die mentale Repräsentation eines Sachverhalts und erleichtert dadurch die evidenzbasierte Bewertung. In Bezug auf das räumlich-visuelle Arbeitsgedächtnis

konnte die Studie keine positiven Zusammenhänge zeigen. Diskutiert werden dabei die verwendeten stark verbal ausgerichteten Aufgaben für das naturwissenschaftliche Denken.

Diese Argumentation stützt die Studie von Rasmussen & Bisanz (2005). Diese kommt zu dem Ergebnis, dass das räumlich-visuelle Arbeitsgedächtnis von Vorschulkindern der beste Prädiktor für die Leistung bei nonverbalen Aufgaben ist. Sie begründen die Ergebnisse damit, dass arithmetische Aufgaben ein mentales Model erfordern, welches wiederum ein gutes räumlich-visuelles Arbeitsgedächtnis benötigt. Obwohl die Aufgabenstellung dieser Studie stärker dem Problemlösen zuzuordnen ist, beziehen sich die Autoren auf die Überschneidungen beider Fähigkeiten und verweisen darauf, dass das naturwissenschaftliche bzw. kritisch-analytische Denken ein Teil der Problemlöseaktivität darstellt (Byrnes & Dunbar, 2014).

Auch die Ergebnisse einer Studie mit Koreanischen Schülern im Alter von 13 bis 16 Jahren unterstützen die Zusammenhänge von Arbeitsgedächtnis und naturwissenschaftlichem Denken (Kwon & Lawson, 2000). Messungen der Leistungen des Präfrontalen Kortex' korrelieren stark mit der Fähigkeit naturwissenschaftlich zu denken. Getestet wurden dabei die Fähigkeiten wissenschaftlich zu argumentieren sowie theoretische Konzepte zu erlernen. Die Fähigkeit des Arbeitsgedächtnisses, aufgabenrelevante Informationen aufrechtzuerhalten, sagt die Leistung im naturwissenschaftlichen Denken voraus.

2.2.2 Inhibition und naturwissenschaftliches Denken

Ausgehend von ihren Definitionen lassen sich schnell theoretische Zusammenhänge zwischen der Inhibition und naturwissenschaftlichem Denken feststellen. So müssen beispielsweise aufgabenirrelevante Stimuli bewusst ignoriert und intuitiv geleitete falsche Annahmen unterdrückt werden, so dass diese nicht auf den Prozess und das aktuelle Handlungsgeschehen einwirken (Kuhn, D. & Franklin, 2006; Kwon & Lawson, 2000). Doch nicht nur die Aufmerksamkeitsablenkung durch momentane äußere und innere Einflüsse muss inhibiert werden, auch zuvor ermittelte Resultate, die im Augenblick nicht relevant sind, gilt es zu ignorieren (Kuhn, D. & Franklin, 2006). Untersuchungen zu den Zusammenhängen von Inhibition und naturwissenschaftlichem Denken kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen. So zeigt beispielsweise eine Studie von Mayer et al. (2014) keinen signifikanten Zusammenhang von Inhibition und naturwissenschaftlichem Denken bei 4. Klässlern gemessen mit Paper-Pencil-Tests. Die Autoren stellen die Vermutung auf, dass bei schriftlichen Tests, die Fähigkeit, ursprünglich angenommene Erwartungen zu unterdrücken, nicht so stark im Vordergrund steht wie es bei selbsttätigen Experimenten der Fall ist.

Im Gegensatz dazu kommen die Untersuchungen von Van der Graaf et al. (2016) zu gegenläufigen Ergebnissen. Die Autoren konnten zeigen, dass die Fähigkeit von Kindergartenkindern, wissenschaftlich analytisch zu denken, besser ausgebildet ist, je besser ihre verhaltensbasierten Inhibitionsleistungen sind.

Auch mit 2- bis 3-jährigen Kindern konnte eine Studie zeigen, dass die Fähigkeit logisch zu denken, mit der Inhibitionsleistung in einer Delay-Aufgabe (= eine impulsive Handlung unterdrücken und abwarten) zusammenhängt (Bascandzjev et al., 2016): Es zeigte sich ein Trend zu einer signifikanten Korrelation, dass eine bessere Inhibition eine bessere Leistung im Prätest hervorruft. Ein weiteres Ergebnis dieser Studie ist der positive Zusammenhang von EF und einer größeren Verbesserung vom Prä- zum Posttest durch Übung. Hier zeigte sich ein Trend in einem Test zur Response conflict inhibitory control (= Antworttendenzen in Konfliktsituationen kontrollieren). Die Autoren schlussfolgern, dass eine gute Inhibition nicht nur hilft, ein naturwissenschaftliches Verständnis auszudrücken, sondern auch ein neues explizites Verständnis zu konstruieren (Bascandzjev et al., 2016).

Zu gleichen Ergebnissen kommt auch die Studie von Baker et al. (2011). Sie finden einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Inhibitionsleistung in einer Delay-Aufgabe und einer Aufgabe zum logischen Denken bei Kindern im Alter von 2 bis 3 Jahren.

2.2.3 Kognitive Flexibilität und naturwissenschaftliches Denken

Zusammenhänge mit der Fähigkeit zur kognitiven Flexibilität begründen Bascandziev und Kollegen (2016) unter anderem damit, dass man beim naturwissenschaftlichen Denken häufig gefordert ist, den Aufmerksamkeitsfokus zwischen unterschiedlichen Informationen, Wissensbeständen oder Ereignissen zu wechseln. Auch ist es wichtig, sich von zunächst angenommenen Hypothesen lösen zu können und sich flexibel einem abweichenden Sachverhalt zu widmen, um neue aktuellere Hypothesen zu bilden. Zuvor gebildete Hypothesen weichen nicht selten von real beobachteten Ereignissen ab. Auf die Abweichung von Annahme und Beobachtung gilt es flexibel zu reagieren (Gropen et al., 2011).

Wie bereits für die Inhibition, konnten Bascandziev et al. (2016) zeigen, dass auch eine bessere kognitive Flexibilität in Aufgaben zum logischen Denken zu einer größeren Verbesserung vom Prä- zum Posttest durch Übung führt. Kinder zwischen 2 und 3 Jahren profitierten stärker von Instruktionen und konnten dieses neue Wissen besser umsetzen.

Ähnliche Ergebnisse zeigt eine Studie mit 13- bis 16-jährigen koreanischen Schülern: Mit einem Test zu kognitiver Flexibilität und Inhibition konnte gezeigt werden, dass diese Fähigkeiten stark mit naturwissenschaftlichem Denken zusammenhängen (Kwon & Lawson, 2000). Außerdem zeigt die Studie, dass bessere Leistungen im EF-Test die Ergebnisse im naturwissenschaftlichen Denken voraussagen.

2.3 Zusammenhänge zwischen Exekutiven Funktionen und Problemlösen

In diesem Kapitel werden Studien vorgestellt, die die Zusammenhänge von EF und Problemlösekompetenzen untersuchen. Wie eingehend in Kapitel 2.2 erwähnt, unterscheidet sich die Studienlage zu den einzelnen EF auch hier zum Teil stark. So finden sich beispielsweise einige Untersuchungen zu Problemlösekompetenzen und Arbeitsgedächtnis wohingegen es zu Inhibition und kognitive Flexibilität vergleichsweise wenig gibt. Auch treten die gleichen Schwierigkeiten bei der Recherche bzw. Studienlage wie im vorangegangenen Kapitel auf. In der Altersgruppe 3 bis 10 Jahre finden sich relativ wenige Studien. Auch wird der Begriff „Problemlösen“ unterschiedlich definiert oder mit sehr verschiedenen Instrumenten und Aufgabenstellungen untersucht. Ebenso fällt das Kontrollieren von Einflussvariablen häufig schwach aus. Nichts desto trotz zeigen sich auch hier interessante Zusammenhänge der beiden Konstrukte EF und Problemlösen, die nahelegen, dass beide voneinander profitieren.

2.3.1 Arbeitsgedächtnis und Problemlösen

Beim Problemlösen geht es darum, sich Vorgänge vorzustellen und komplexe Handlungen im Voraus zu planen. Unterschiedliche Beobachtungen müssen evtl. zu neuen Einsichten kombiniert und Fehler korrigiert werden. Für eine gute Ausübung dieser Prozesse ist das Arbeitsgedächtnis maßgeblich verantwortlich: Unter anderem dient es der Speicherung aufgabenrelevanter Informationen und unterstützt die kontrollierte Aufmerksamkeitslenkung (Solaz-Portoles & Sanjosé-López, 2009). Problemlösen bedeutet, Regeln und Strategien bei komplexen Aufgaben anzuwenden, bei denen neue Denkformen genauso gefordert sind wie das Anpassen von bereits gelernten. Genau dafür spielen EF und besonders das Arbeitsgedächtnis eine bedeutende Rolle (Ropovik, 2014).

Die Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses bei mathematischen Problemlöseaufgaben von 1.- bis 3.-Klässlern konnte die Studie von Swanson, Jerman und Zheng (2008) zeigen: Bessere Leistungen im Arbeitsgedächtnis sagen die Leistungen in Problemlöseaufgaben zwei Jahre später voraus. Außerdem führen größere Verbesserungen in der Arbeitsgedächtnisleistung zu einer gesteigerten Performanz im Problemlösen. Die Ergebnisse stützen laut den Autoren die Ansicht, dass das Arbeitsgedächtnis ein wichtiger Prädiktor für Problemlösefähigkeiten ist - neben der Lese- und Rechenfähigkeit, Verarbeitungsgeschwindigkeit und phonologischen Fähigkeiten. Eine Studie mit Kindern der 4. Klasse zeigt ganz ähnliche Ergebnisse. Kinder, die Schwierigkeiten beim Lösen mathematischer Probleme haben, schneiden auch schlechter ab in Tests zum Arbeitsgedächtnis, besonders wenn es um das Speichern von numerischen Inhalten geht (Passolunghi & Siegel, 2001).

Werden Arbeitsgedächtnis und Problemlösekompetenzen bei Studenten untersucht, weisen die Studien in dieselbe Richtung. Bühner et al. (2008) konnten starke Zusammenhänge von Arbeitsgedächtnis und Problemlösen finden. Die Leistungen im Arbeitsgedächtnis waren ein starker Prädiktor für Regelwissen und -anwendung. Die Autoren sehen eine Erklärung in der Speicherung, Verarbeitung sowie der Integration mehrerer Elemente im Arbeitsgedächtnis. Diese Fähigkeiten erleichtern das Erwerben und die Umsetzung von Regeln.

Der Frage, warum sich diese starken Zusammenhänge zwischen Arbeitsgedächtnis und dem Lösen von Problemen zeigen, ging Ropovik (2014) nach. In einer Untersuchung konnte der Wissenschaftler bei Kindern im Alter von 9 bis 10 Jahren zeigen, dass das Arbeitsgedächtnis die allgemeine Fähigkeit zu Lernen maßgeblich beeinflusst. Beim Problemlösen geht es darum, verschiedene Prinzipien zu erlernen und flexibel anzuwenden. Das Arbeitsgedächtnis unterstützt die Fähigkeit, neue Denkmuster und Strategien zu internalisieren.

2.3.2 Inhibition und Problemlösen

Das Lösen komplexer Problemstellungen verlangt die Fähigkeit, sich auf das Wesentliche zu konzentrieren und störende Reize sowie irreführende Informationen und Wissensinhalte zu ignorieren (Solaz-Portoles & Sanjosé-López, 2009). Dafür wird Inhibition benötigt. Besonders bei jüngeren Kindern ist es diese Fähigkeit, die verantwortlich ist für das erfolgreiche Lösen von Problemen (Senn, Espy & Kaufmann, 2004). Kleinkinder benötigen die Inhibitionsfähigkeit vor allem, wenn sie eine naheliegende Antwort für das Lösen von Aufgaben das erste Mal unterdrücken müssen (Pauen & Bechtel-Kuehne, 2016).

Bereits bei 22 bis 24 Monate alten Kleinkindern spielt die Inhibition eine wichtige Rolle beim Problemlösen (hier der richtige Einsatz von passenden Werkzeugen). Pauen und Bechtel (2016) konnten zeigen, dass speziell die Fähigkeit zur Unterdrückung von Handlungsimpulsen mit einer besseren Transferleistung und weniger Fixierung auf funktionell unpassende Werkzeuge zusammenhängt.

Bei 2- bis 6-jährigen Kindergartenkindern zeigte die Studie von Senn et al. (2004) einen starken Zusammenhang zwischen der Inhibition und der Problemlösefähigkeit. Bei den jüngeren Probanden war die Inhibition der stärkste Prädiktor für Problemlösen (bei den älteren das Arbeitsgedächtnis). Dieses Ergebnis könnte aufgrund der sich schneller und früher entwickelten Inhibition auftreten. Wohingegen die etwas älteren Kinder ihr weiter entwickeltes Arbeitsgedächtnis verstärkt zum Lösen von Problemen einsetzen.

Dennoch bleibt der große Zusammenhang von Inhibitionsleistung und Problemlösekompetenz auch bei älteren Kindern bestehen. Das beweist eine Studie mit 4.-Klässlern. Diese zeigte, dass vor allem die Fähigkeit, irrelevante Informationen zu inhibieren, zu besseren Ergebnissen bei

Problemlöseaufgaben führt. Die Inhibition unterdrückt Informationen im Gedächtnis, die nicht zielführend sind (Passolunghi & Siegel, 2001).

2.3.3 Kognitive Flexibilität und Problemlösen

Die Hauptaufgabe beim Problemlösen ist, Strategien zu lernen, anzuwenden und vor allem flexibel an die Aufgabenstellung oder eine Veränderung anzupassen. Die kognitive Flexibilität hilft, zunächst eine Verbindung zwischen Reiz und Antwort herzustellen. Anschließend unterstützt sie, von diesen (hinderlichen) Assoziationen flexibel umzuschalten zu neuen Assoziationen und Gedankenverknüpfungen für das erfolgreiche Lösen von Problemen (Garon et al., 2008). Problemlösen bedeutet, kreativ zu sein, eigene Annahmen zu hinterfragen und sich andere Sichtweisen und Möglichkeiten vorzustellen. Dabei hilft eine gut entwickelte kognitive Flexibilität (DeHaan, 2009).

Diese Zusammenhänge von kognitiver Flexibilität und Problemlösen konnten Pauen und Bechtel (2008) schon bei 2-jährigen Kindern nachweisen. Kinder mit einer guten Flexibilität konnten ihre Aufmerksamkeit und ihr Verhalten an unterschiedliche Bedingungen anpassen und bei einer Problemstellung das passende Werkzeug suchen, um eine Kugel eine Rampe runter rollen zu lassen. Ebenso zeigten die Kinder mit einer besseren kognitiven Flexibilität bessere Transferleistungen von Wissen zu Handeln.

Allerdings können nicht alle Studien diese Zusammenhänge nachweisen. Benedek et al. (2014) fanden allein Zusammenhänge von Arbeitsgedächtnis und Inhibition und kreativem Denken. Eine weitere Studie kam zu dem Ergebnis, dass die positiven Auswirkungen von kognitiver Flexibilität auf Problemlösekompetenzen hauptsächlich auf den Zusammenhang von kognitiver Flexibilität mit dem Arbeitsgedächtnis und der Inhibition zurückzuführen sind (Ropovik, 2014). Um kognitiv flexibel zu denken und zu handeln, benötigen Kinder zunächst ein gutes Arbeitsgedächtnis (Was ist die Aufgabe, welche Strategien gibt es?) und eine gute Inhibition (Störreize unterdrücken, Handlungen kontrollieren). Diese Annahme unterstützen Diamond und Kollegen, die schreiben, dass die kognitive Flexibilität auf dem Arbeitsgedächtnis und der Inhibition aufbaut (Diamond et al., 2007).

2.4 Zusammenhänge zwischen Exekutiven Funktionen und den MINT-Fächern

Dass die EF für den Bereich der MINT-Bildung von Bedeutung sind, legen sowohl die theoretischen Überlegungen als auch die empirischen Befunde zu den Zusammenhängen mit wissenschaftlichem Denken und Problemlösen nahe. Die Forschung zu EF und MINT-Bildung hat bislang besonders die Mathematik in den Fokus genommen. Eine Handvoll Studien aus den letzten fünf Jahren widmen sich zudem den Zusammenhängen mit den Naturwissenschaften. Studien zu Zusammenhängen zwischen EF und Informatik oder Technik konnten nicht identifiziert werden.

Die Rolle der EF bei der Entwicklung von mathematischen und naturwissenschaftlichen Kompetenzen kann auf verschiedene Arten untersucht werden. Bei der Mehrheit der bislang durchgeführten Studien handelt es sich um Querschnittsstudien (Cragg & Gilmore, 2014), die die Zusammenhänge mit den EF zu einem bestimmten Zeitpunkt untersuchten. Andere Studien widmeten sich den Zusammenhängen zwischen den EF-Faktoren im Längsschnitt, um deren Vorhersagekraft für die Entwicklung von mathematischen und naturwissenschaftlichen Kompetenzen über einen längeren Zeitraum hinweg zu prüfen. Darüber hinaus gibt es einige wenige Trainingsstudien, die untersuchten, in wie weit durch die Förderung der EF eine Verbesserung in den beiden MINT-Bereichen Mathematik und Naturwissenschaften erreicht werden kann.

Bei dem Vergleich von Studienergebnissen sind drei Punkte von besonderer Bedeutung:

- (1) die Art der Operationalisierung von MINT und EF,
- (2) die in den Studien untersuchten Altersgruppen und
- (3) die Berücksichtigung von Kontrollvariablen.

Die Operationalisierung unterscheidet sich natürlich zwischen den einzelnen MINT-Bereichen, aber auch innerhalb der Bereiche. In manchen Studien werden die EF als Gesamtkonstrukt operationalisiert. Andere widmen sich der Rolle einer bestimmten EF oder stellen Vergleiche her zwischen den separaten Funktionen und ihren individuellen Zusammenhängen mit MINT. Abhängig von der untersuchten Altersgruppe werden unterschiedliche Messverfahren für MINT und EF eingesetzt. Doch auch wenn der Einsatz derselben Messverfahren möglich ist, können sich die Zusammenhänge zwischen MINT und EF für die verschiedenen Altersgruppen unterscheiden. Neben dem Alter können auch andere Variablen wie Verarbeitungsgeschwindigkeit, IQ oder der elterliche Bildungshintergrund Einfluss auf die Zusammenhänge nehmen. Die Studien unterscheiden sich zum Teil stark in dem Maße, in dem solche potenziellen Einflussfaktoren berücksichtigt werden.

Im Folgenden werden Studien vorgestellt, die die Zusammenhänge zwischen den EF und Mathematik sowie den Naturwissenschaften bei Kindern zwischen 3 und 10 Jahren wissenschaftlich analysiert haben.

2.4.1 Exekutive Funktionen und Mathematik

Bevor verschiedene Studien vorgestellt werden, möchten wir kurz berichten, mit welchen Messverfahren die mathematischen Fähigkeiten erfasst wurden. Die Mathematik lässt sich in viele Teilbereiche aufgliedern (Arithmetik, Geometrie, Algebra). Darüber hinaus lassen sich verschiedene Aufgabentypen unterscheiden (Rechenaufgaben, Textaufgaben, Anwendungsaufgaben). Wie die mathematischen Fähigkeiten in den einzelnen Studien gemessen wurden, hängt stark von der untersuchten Altersgruppe ab. Bei Kindern unter 6 Jahren wurden oft mathematische Vorläuferfähigkeiten wie Zahlen- und Mengenverständnis mit Hilfe von standardisierten Tests als Indikatoren für mathematische Kompetenzen genutzt. Bei älteren Kindern wurden u.a. das Verständnis von Textaufgaben, das Lösen von Additions- und Subtraktionsaufgaben oder auch Aufgaben aus der Geometrie sowie das Verständnis von mathematischen Symbolen und Konzepten erfasst. Manche Studien griffen auf Daten aus nationalen Vergleichsstudien zurück, in welchen nicht nur eine sondern diverse mathematische Fähigkeiten erfasst wurden (vgl. Friso-van den Bos, van der Ven, Kroesbergen & van Luit, 2013; Peng, Namkung, Barnes & Sun, 2016).

Im Folgenden werden Querschnitts-, Längsschnitt- und Trainingsstudien beschrieben, die sich die Zusammenhänge mit Mathematik und den EF entweder als Gesamtkonstrukt oder auch im Einzelnen untersucht haben.

Querschnittsstudien

Der Zusammenhang zwischen den EF und Mathematik ist im Vergleich zu den anderen MINT-Bereichen sehr gut untersucht. Zahlreiche Studien konnten zeigen, dass die EF bei der Entwicklung von mathematischen Fertigkeiten (sei es der Vergleich von Mengen, die Durchführung von einfachen Rechenoperationen oder auch das Verstehen von Textaufgaben) eine wichtige Rolle spielen (z.B. Bull et al., 2008; Clements, Sarama & Germeroth, 2016).

Arbeitsgedächtnis (Updating)

Das Lösen mathematischer Aufgaben fordert das Arbeitsgedächtnis auf unterschiedliche Weise. Die Kinder müssen komplexe Instruktionen verstehen und umsetzen sowie neue Informationen mit bereits vorhandenem Wissen verknüpfen (Gathercole & Alloway, 2004; Peng et al., 2016; Swanson & Beebe-Frankenberger, 2004). Die relevanten Informationen müssen sie während des Lösungsprozesses aufrechterhalten sowie die Zwischenergebnisse für die weitere Verarbeitung zwischenspeichern und wieder abrufen (Bull & Lee, 2014; Clements et al., 2016).

Die Ergebnisse aus Querschnittsstudien zeigen deutlich: Das Arbeitsgedächtnis steht in engem Zusammenhang mit mathematischen Fähigkeiten (z.B. Best, Miller & Naglieri, 2011; Espy et al., 2004; Gathercole, Pickering, Ambridge & Wearing, 2004; Miller, M. R., Müller, Giesbrecht, Carpendale & Kerns, 2013; Navarro et al., 2011; Swanson & Beebe-Frankenberger, 2004; van der Sluis et al., 2007). Die überaus konsistenten Befunde der einzelnen Studien wurden durch die Meta-Analysen von Friso-van den Bos und Kollegen (2013) und von Peng und Kollegen (2016) bestätigt: Beide fanden signifikante mittelstarke Korrelationen (um $r = .35$, $p < .001$) zwischen Mathematik und Arbeitsgedächtnis (Friso-van den Bos et al., 2013; Peng et al., 2016).

Trotz der überaus konsistenten Befundlage, werden in den beiden genannten Meta-Analysen sowie auch im Review von Clements und Kollegen (2016) zentrale Punkte aufgeworfen, die für die Interpretation der Ergebnisse bedeutsam sind: die Operationalisierung, die untersuchte Altersgruppe und die Berücksichtigung von Kontrollvariablen.

Die Operationalisierung von Arbeitsgedächtnis unterscheidet sich stark von Studie zu Studie – abhängig nicht zuletzt von der untersuchten Altersgruppe. Dabei zeigt sich, dass verschiedene Aspekte des Arbeitsgedächtnisses mit verschiedenen Bereichen der Mathematik unterschiedlich stark zusammenhängen (Clements et al., 2016). Wie in Kapitel 1.3.1 beschrieben, werden dem Arbeitsgedächtnis verschiedene Funktionen zugeordnet (u.a. das Aufrechterhalten, das Manipulieren und das Aktualisieren von Informationen).

Abhängig von der untersuchten Komponente des Arbeitsgedächtnisses zeigten sich interessante Unterschiede in den Ergebnissen. So scheint für die Lösung von Rechenaufgaben die mentale Manipulation und Aktualisierung von Informationen wichtiger als die bloße Aufrechterhaltung (Best et al., 2011; Passolunghi & Cornoldi, 2008; Van der Ven et al., 2012). Darüber hinaus finden sich Unterschiede für die Verarbeitung von visuell-räumlichen und phonologischen Reizen im Arbeitsgedächtnis. Die beiden Komponenten des Arbeitsgedächtnisses können separate Varianz für die Lösung von Rechenaufgaben aufklären (Berg, 2008).

Friso und Kollegen (2013) konnten in ihrer Meta-Analyse nachweisen, dass die Einzelbefunde tatsächlich einer gewissen Systematik folgen. So zeigten sich im Mittel eine etwas stärkere Korrelationen zwischen mathematischen Fähigkeiten und phonologischem Updating ($r = .38$, $p < .001$) als mit räumlich-visuellem Updating ($r = .34$, $p < .001$). Die Aufrechterhaltung von visuellen Informationen zeigte eine mittlere Korrelation von $r = .34$, $p < .001$, während die Aufrechterhaltung von phonologischen Informationen eine Korrelation von $r = .31$, $p < .001$ zeigte. Es wird ebenfalls deutlich, dass für manche Messverfahren zur Erfassung der Arbeitsgedächtniskapazität konsistent höhere Kennwerte gefunden werden als für andere (Friso-van den Bos et al., 2013).

Auch die Operationalisierung der mathematischen Fähigkeiten beeinflusst die Ergebnisse. Beide Meta-Analysen stellten Unterschiede in der Stärke der Zusammenhänge mit Arbeitsgedächtnis für verschiedenen mathematischen Themen- und Aufgabengebieten fest. Textaufgaben und Rechenaufgaben mit ganzen Zahlen zeigten die höchsten Korrelationen, während Geometrie im Vergleich am schwächsten mit der Arbeitsgedächtnisleistung korrelierte (Friso-van den Bos et al., 2013; Peng et al., 2016). Wie für das Arbeitsgedächtnis zeigen auch für Mathematik bestimmte

Messverfahren im Mittel höhere Korrelationen als andere. So zeigt sich, dass Gesamtwerte für Mathematik basierend auf mehreren Leistungsindikatoren sowie auch nationale Vergleichstest im Allgemeinen höhere Korrelationen erzielen als andere Messverfahren (Friso-van den Bos et al., 2013).

Die nächste Frage widmet sich den untersuchten Altersgruppen. Gelten die Befunde für Kindergarten- und Grundschulkindern gleichermaßen? Eine Studie stellte in Bezug auf das räumlich-visuelle und das phonologische Updating Unterschiede zwischen Schülerinnen und Schülern der 1. und der 5. Klasse fest. Während sich für die Erstklässler allein mit der Kapazität für räumlich-visuelle Reize Zusammenhänge fanden, zeigten sich für die Fünftklässler ebenfalls signifikante Korrelationen mit phonologischem Updating (De Smedt, Ghesquière & Verschaffel, 2004). Dies wurde in der Meta-Analyse von Friso und Kollegen (2013), die sich 4- bis 12-jährigen Kindern widmete, bestätigt. Die Assoziation zwischen räumlich-visuellem Arbeitsgedächtnis und mathematischer Leistung hängt vom Alter ab. Für jüngere Kinder zeigen sich stärkere Zusammenhänge mit der räumlich-visuellen Verarbeitung. Eine solche Veränderung konnte nicht für das phonologische Arbeitsgedächtnis nachgewiesen werden. Allgemein wird aber mit zunehmendem Alter die mentale Manipulation wichtiger als die bloße Aufrechterhaltung – unabhängig davon, ob es sich um räumlich-visuelle oder phonologische Reize handelt (Friso-van den Bos et al., 2013).

Inwieweit finden in den Studien Kontrollvariablen wie andere Leistungsindikatoren (z.B. IQ, Verarbeitungsgeschwindigkeit, Vorkenntnisse) oder auch Individualfaktoren (z.B. sozioökonomischer Status) Beachtung? Nur wenige Studien kontrollieren für diese Art von Faktoren, die einen potenziellen Einfluss auf die Zusammenhänge zwischen Arbeitsgedächtnis und Mathe nehmen könnten. Diese Varianz kann nicht durch andere Faktoren wie Alter, IQ, Verarbeitungsgeschwindigkeit, mathematischen Vorkenntnissen oder sprachlichen Fähigkeiten erklärt werden (Alloway & Alloway, 2010; Clark, Pritchard & Woodward, 2010). Die Beachtung der zuvor genannten Indikatoren für die kognitive Leistung in den statistischen Analysen führt jedoch häufig zu einer z.T. deutlichen Abnahme der erklärten Varianz (Kyttälä, Aunio & Hautamäki, 2010).

Inhibition

Der Inhibition kommt beim Lösen von mathematischen Problemen die Aufgabe zu, irrelevante Informationen auszublenden und Reaktionen zu unterdrücken (Bull & Scerif, 2001) (Bull & Scerif, 2001; Gilmore et al., 2013; St. Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Bull und Scerif (2001) postulieren, dass ein Mangel an Inhibition ein möglicher Grund für eine Rechenschwäche sein kann. Die Mehrheit an Studien zeigte, dass die Fähigkeit zur inhibitorischen Kontrolle eng mit der Matheleistung verknüpft ist (Blair & Razza, 2007; Bull et al., 2008; Bull & Scerif, 2001; Espy et al., 2004; Gilmore et al., 2013; Kroesbergen, Van Luit, Van Lieshout, Van Loosbroek & Van de Rijt, 2009; Lee, K. et al., 2012; Navarro et al., 2011; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006; Van der Ven et al., 2012).

Doch nicht alle Studien konnten einen signifikanten Zusammenhang nachweisen (Anderson, P. J., 2008; Lan, Legare, Ponitz, Li & Morrison, 2011). Diese Befunde scheinen jedoch eher die Ausnahme zu sein. Die Meta-Analyse von Friso und Kollegen (2013) zeigte bei der Untersuchung von 131 Korrelationen aus 29 Studien eine signifikante Korrelation zwischen Inhibition und mathematischen Fähigkeiten von $r = .27, p < .01$.

Die Unterschiede in den Befunden aus den einzelnen Studien sind möglicherweise auf Unterschiede in der Operationalisierung von mathematischen Fähigkeiten und Inhibition, auf die untersuchten Altersgruppen oder auch auf die Berücksichtigung von Kontrollvariablen zurückzuführen. Sowohl Anderson (2008) als auch Lan et al. (2011) erfassten die mathematischen Fähigkeiten

als Rechengenauigkeit (u.a. Additions- und Subtraktionsaufgaben sowie mathematische Gleichungen, die um fehlende Zahlen ergänzt werden mussten). Aufgrund der Befunde für das Arbeitsgedächtnis kann vermutet werden, dass diese weniger stark die kindliche Inhibition beanspruchen als Aufgaben, die eine flexible Umsetzung von erlernten Lösungswegen (z.B. bei Textaufgaben) erfordern. In der Meta-Analyse von Friso und Kollegen (2013) konnte jedoch kein systematischer Unterschied zwischen den verschiedenen Operationalisierungen von mathematischen Fähigkeiten nachgewiesen werden.

Der Zusammenhang zwischen Inhibition und mathematischen Fähigkeiten scheint nicht abhängig von der untersuchten Altersgruppe zu sein. Signifikante Korrelationen konnten sowohl für Kindergartenkinder (z.B. Espy et al., 2004), Grundschul Kinder (z.B. Bull & Scerif, 2001) und auch für Kinder in der Sekundarstufe (St Clair-Thompson & Gathercole, 2006) nachgewiesen werden.

Wie schon für das Arbeitsgedächtnis diskutiert, nehmen auch hier die Aufnahme von Kontrollvariablen wie Alter und Verarbeitungsgeschwindigkeit, aber auch die Berücksichtigung anderer EF Einfluss auf die Befunde (Clements et al., 2016). In der Studie von Espy und Kollegen (2004) war die Inhibition ein signifikanter Prädiktor von frühen mathematischen Fähigkeiten, wenn für Alter, mütterliche Bildung und sprachliche Fähigkeiten kontrolliert wird. Selbst wenn Arbeitsgedächtnis und kognitive Flexibilität in die Analysen aufgenommen werden, bleibt Inhibition als signifikanter Prädiktor bestehen. Dennoch sinkt die Varianz, die durch die Inhibition aufgeklärt wird, erheblich durch die Aufnahme der beschriebenen Kontrollvariablen. In anderen Studien verschwand hingegen der signifikante Zusammenhang mit Inhibition, wenn für Arbeitsgedächtnis kontrolliert wurde (z.B. Van der Ven et al., 2012)

Kognitive Flexibilität (Shifting)

Die Evidenzen für einen Zusammenhang zwischen kognitiver Flexibilität, die Fähigkeit die eigene Aufmerksamkeit flexibel zwischen verschiedenen Aufgaben hin- und her zu lenken, und mathematischen Fähigkeiten sind nicht sehr robust (Bull & Lee, 2014). Einzelne Studien konnten einen Zusammenhang finden (z.B. Andersson, 2010), andere jedoch nicht (z.B. Espy et al., 2004; van der Sluis et al., 2007). Dennoch fanden zwei Meta-Analysen (Friso-van den Bos et al., 2013; Yeniad, Malda, Mesman, van IJzendoorn & Pieper, 2013) signifikante Korrelationen zwischen kognitiver Flexibilität und Mathematik. Friso und Kollegen (2013) analysierten 94 Korrelationen aus 18 Studien und fanden eine mittlere Korrelation von $r = .28, p < .001$.

Die Meta-Analyse von Friso und Kollegen (2013) zeigte keine Unterschiede in der Stärke der Zusammenhänge, die auf die Operationalisierung von kognitiver Flexibilität zurückgeführt werden konnte. Wurden mathematische Fähigkeiten jedoch mit Rechenaufgaben (Arithmetik) erfasst, zeigten sich für diese Studien im Durchschnitt schwächere Zusammenhänge mit kognitiver Flexibilität. Es zeigten sich ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Altersgruppen. Im Allgemeinen zeigten sich stärkere Korrelationen für jüngere Kinder (Friso-van den Bos et al., 2013).

Manche Studien berichten von signifikanten Zusammenhängen, die jedoch verschwinden, sobald zusätzlich demografische Kontrollvariablen (z.B. Jenks, Van Lieshout & de Moor, 2012) oder auch Messwerte für Inhibition und Arbeitsgedächtnis (e.g. Monette, Bigras & Guay, 2011; Van der Ven et al., 2012) berücksichtigt werden. Blair und Razza (2007) führen letzteres darauf zurück, dass die Varianz, die durch Shifting erklärt werden könnte, zum großen Teil auf den Faktor Inhibition fällt, auf welcher die Funktion von Shifting stark aufbaut (Diamond, 2013). Eine weitere Erklärung für die unterschiedlichen Befunde liefern Van der Sluis und Kollegen (2004). Sie sehen die Herausforderung bei der Lösung von Matheaufgaben besonders in der simultanen Anwendung von

kognitiver Flexibilität, Arbeitsgedächtnis und Inhibition. Die gleichzeitig ablaufenden exekutiven Prozesse machen es schwer, die Varianz, die auf die jeweilige Subkomponenten der EF fällt, klar zu identifizieren (van der Sluis et al., 2004).

Exekutive Funktionen als Gesamtfaktor

Manche Studien untersuchten die EF nicht separat voneinander, sondern als Gesamtkonstrukt. In einer repräsentativen Studie untersuchten Best, Miller und Naglieri (2011) die Zusammenhänge zwischen EF und Mathematik bei mehr als 2000 Kindern zwischen 5 und 17 Jahren. Die Autoren interessierte es besonders, ob sich Unterschiede in der Stärke der Zusammenhänge für die verschiedenen mathematischen Bereiche zeigen. Die EF hingen stärker mit anwendungsorientiertem Problemlösen als mit dem Lösen von Rechenaufgaben zusammen. Als Erklärung nennen die Autoren, dass die Formulierung und Anwendung von Strategien, wie es komplexe mathematische Aufgaben erfordern, einen höheren Anspruch an die EF stellen. Die Lösung von Rechenaufgaben fordert hingegen eher das Abrufen von Fakten oder die Anwendung von gut gelernten Vorgehensweisen, also Prozesse, die im Vergleich kognitiv weniger anspruchsvoll sind. Sie konnten außerdem zeigen, dass die Zusammenhänge zwischen EF und Mathematik nicht bezeichnend für eine spezielle Altersgruppe sind. Zeigten sich auch kleine Veränderungen in der Stärke des Zusammenhangs zwischen den einzelnen Altersgruppen, fand sich doch immer eine signifikante moderate bis starke Korrelation (Best et al., 2011).

Längsschnittstudien

Nach Betrachtung der Querschnittstudien bleibt die zentrale Frage, ob die EF-Prozesse eine Voraussetzung für mathematische Fähigkeiten sind (Clements et al., 2016). Um diese Frage beantworten zu können, braucht es Längsschnittstudien.

Im Allgemeinen konnten wie im Querschnitt auch im Längsschnitt Zusammenhänge zwischen den drei EF und Mathematik nachgewiesen werden (Bull et al., 2008; Clark et al., 2010; Hassinger-Das, Jordan, Glutting, Irwin & Dyson, 2014; Rimm-Kaufman, Curby, Grimm, Nathanson & Brock, 2009). Diese sind jedoch weitaus weniger belastbar als die Befunde aus Querschnittsstudien, insbesondere, wenn Kontrollvariablen in den Analysen berücksichtigt werden.

Arbeitsgedächtnis

Es gibt belastbare Befunde, dass das Arbeitsgedächtnis eine wichtige Rolle für die Entwicklung von mathematischen Kompetenzen ist (z.B. Alloway & Alloway, 2010; Hecht, Torgesen, Wagner & Rashotte, 2001; Monette et al., 2011; Welsh, J. A., Nix, Blair, Bierman & Nelson, 2010). Signifikante Zusammenhänge waren unabhängig von der untersuchten Altersgruppe und konnten sowohl für Kinder im Kindergarten- als auch im Grundschulalter gefunden werden und zeigten sich auch für Gruppen mit niedrigerem Bildungshintergrund (Welsh, J. A. et al., 2010).

Die Studie von Bull und Kollegen widmete sich der Frage, inwieweit das Arbeitsgedächtnis gemessen im Kindergarten die mathematischen Fähigkeiten in der Grundschule vorhersagen kann. Es zeigte sich, dass eine höhere Arbeitsgedächtniskapazität im Kindergarten einen signifikanten Vorsprung in den mathematischen Fähigkeiten zu Beginn der Grundschule verschafft. Dieser Vorsprung blieb durchgängig bis zur 3. Klasse bestehen und konnte sowohl für das räumlich-visuelle als auch für das phonologische Arbeitsgedächtnis nachgewiesen werden. Diese Zusam-

menhänge verschwanden allerdings, wenn zusätzlich zum Alter der Kinder auch für ihre Lesefähigkeit kontrolliert wurde (Bull et al., 2008). Hier wird erneut die Bedeutsamkeit für die Berücksichtigung von Kontrollvariablen deutlich, welche einen Einfluss auf die Zusammenhänge nehmen können. Nicht alle Studien, die signifikante Zusammenhänge identifizierten, inkludierten Kontrollvariablen in ihren Analysen. Monnette und Kollegen (2011) kontrollierten für akademische Vorläuferfähigkeiten, affektive Variablen und Familienhintergrund. Der Anteil an aufgeklärter Varianz durch das Arbeitsgedächtnis sank zwar ab, blieb aber signifikant. Alloway und Alloway (2010) fanden, dass das Arbeitsgedächtnis ein besserer Prädiktor für spätere Matheleistung war als der IQ.

Die meisten Studien betrachten den Einfluss von EF auf die spätere Matheleistung. Für die Komponente Arbeitsgedächtnis gibt es jedoch erste Befunde für Grundschüler, dass auch mathematische Fähigkeiten Einfluss auf das Arbeitsgedächtnis nehmen (Van der Ven et al., 2012). Die Autoren postulieren, dass sich die Fähigkeit zum Updaten schneller entwickelt, je öfter Kinder das Lösen mathematischer Probleme üben.

Inhibition

Da es nur wenige Studien gibt, die sich der Rolle der Inhibition für die Entwicklung von mathematischen Fähigkeiten widmen, wurden auch Studien hinzugezogen, die nach eigenen Angaben *effortful control* messen. Bei genauerer Betrachtung der Studien wurde deutlich, dass die Autoren das Konstrukt aber mit Messungen operationalisierten, die vielfach zur Erfassung der Inhibition eingesetzt werden (vgl. Blair & Razza, 2007; Liew, McTigue, Barrois & Hughes, 2008).

Die Ergebnisse der identifizierten Studien sind eher inkonsistent. Die meisten Studien fanden, dass Kinder mit besserer inhibitorischer Kontrolle im Kindergarten im Mittel bessere Matheleistungen in der Grundschule zeigen (Bull et al., 2008; Bull & Scerif, 2001; Clark et al., 2010; Mazzocco & Kover, 2007). Blair und Razza (2007) fanden in ihrer Studie mit Kindergartenkindern signifikante Korrelationen zwischen der Inhibition und den mathematischen Fähigkeiten ein Jahr später. Bislang konnten nur die Studien von Liew und Kollegen und die Studie von Viterbori und Kollegen keinen Zusammenhang zwischen der Inhibition bei Erstklässlern und deren Leistungszuwachs in mathematischen Fähigkeiten bis zur 3. Klasse nachweisen (Liew et al., 2008; Viterbori, Usai, Traverso & De Franchis, 2015).

Doch wie für das Arbeitsgedächtnis führt die Berücksichtigung von Kontrollvariablen auch für die Zusammenhänge zwischen Inhibition und Matheleistung zum Teil zum Verschwinden von zunächst signifikanten Ergebnissen. Berücksichtigten Bull und Kollegen das Alter und die Lesefähigkeit der Kinder, zeigten sich nicht länger signifikante Zusammenhänge (Bull et al., 2008). Es ist zu anmerken, dass in vielen der anderen Studien, die signifikante Effekte fanden, keine einzige Kontrollvariable in die Analysen aufgenommen wurde (Clark et al., 2010; Mazzocco & Kover, 2007). Welche Variablen einen Einfluss auf die Zusammenhänge nehmen, ist weiterhin ungeklärt. So fanden Bull und Scerif (2001) weiterhin signifikante Zusammenhänge, auch wenn sie für Lesefähigkeit und Intelligenz kontrollierten. Auch Blair und Razza (2007) identifizierten trotz Kontrolle für verbale und nonverbale Intelligenz sowie allgemeiner EF signifikante Zusammenhänge zwischen Inhibition und mathematischen Fähigkeiten über den Abstand eines Jahres. Inwieweit sich die Operationalisierung von Inhibition sowie auch von mathematischen Fähigkeiten auf die Ergebnisse auswirkt, wurde bislang nicht systematisch untersucht. Die Erfassung der EF erfolgte in den meisten Studien über vielfach erprobte Messverfahren. Andere wiederum nutzten Verfahren, die nach Auffassung anderer Autoren nicht nur inhibitorische Prozesse erfordern, wie z.B. der Tower of London (Shallice, 1982). Diese wurde von Viterbori und Kollegen (2015) zur

Messung der Inhibition eingesetzt und zeigte keine signifikanten Zusammenhänge im Längsschnitt.

Kognitive Flexibilität (Shifting)

Nur wenige Studien untersuchten bislang die Vorhersagekraft von kognitiver Flexibilität für die spätere Matheleistung. Die Studie von Clark und Kollegen (2010) zeigte, dass die kognitive Flexibilität im Alter von 4 Jahren die mathematischen Fähigkeiten mit 6 Jahren vorhersagen konnte (Clark et al., 2010).

Espy und Kollegen (2004) kamen in ersten Analysen zum gleichen Ergebnis, replizierten diese dann aber unter Berücksichtigung verschiedener Kontrollvariablen. Es zeigte sich, dass die kognitive Flexibilität zwar unabhängig von Alter, mütterlicher Bildung und sprachlichen Fähigkeiten den Leistungszuwachs in Mathematik vorhersagen konnte, wurde jedoch auch Inhibition in die Analysen einbezogen, verschwand der Anteil, der durch kognitive Flexibilität ausgeklärt werden konnte.

Exekutive Funktionen als Gesamtfaktor

Bull und Kollegen (2008) zeigten in ihrer Studie, dass die Performanz von 5-jährigen Kindern in einer komplexen EF-Aufgabe (Tower of London) den Leistungsanstieg in den mathematischen Fähigkeiten drei Jahre später vorhersagen konnte (Bull et al., 2008). Vergleichbare Ergebnisse zeigten auch die Studien von Mazzocco und Kover (2007) und Viterbory und Kollegen. Letztere untersuchten den Einfluss von Arbeitsgedächtnis und kognitiver Flexibilität als kombinierten Faktor auf die spätere Matheleistung (Viterbori et al., 2015). Interessanterweise fanden Brock und Kollegen (2009) bei Vorschulkindern nur für kalte nicht aber für heiße EF Zusammenhänge mit mathematischen Fähigkeiten.

Ähnliche Ergebnisse zeigen sich, wenn nicht die EF, sondern die Selbstregulation untersucht wird. Die Selbstregulation von Kindergartenkindern steht nicht nur eng in Zusammenhang mit frühen mathematischen Fähigkeiten; die Verbesserung in der Selbstregulation sagte auch die Zunahme in den mathematischen Leistungen über einen Zeitraum von einem Jahr voraus (McClelland, Cameron, Wanless & Murray, 2007; Ponitz, McClelland, Matthews & Morrison, 2009). Die Studie von Blair und Kollegen (2015) zeigte, dass die Zusammenhänge zwischen der kindlichen Selbstregulation und mathematischen Fähigkeiten beim Schuleintritt sogar über den Zeitraum von zwei Schuljahren hinweg bestehen bleiben. Dies ist ebenfalls der Fall, wenn für weitere kognitive Fähigkeiten des Kindes wie die Verarbeitungsgeschwindigkeit und demografische Variablen kontrolliert werden (Blair, Ursache, Greenberg & Vernon-Feagans, 2015). Dass dieser Zusammenhang über einen langen Zeitraum stabil bleibt, zeigte die Studie von McClelland und Kollegen aus dem Jahr 2006. In der Studie wurden Kindern von ihrem letzten Kindergartenjahr bis zum Eintritt in die 6. Klasse begleitet. Ihre Fähigkeit zur behavioralen Selbstregulation im Kindergarten konnte ihre Leistungen in Mathematik über einen Zeitraum von 5 Jahren hinweg vorhersagen (McClelland, Acock & Morrison, 2006).

Die meisten Studien fokussierten sich auf Kindergartenkinder und ihren Übergang in die Schule. Die Befunde scheinen aber auch für andere Altersgruppen zuzutreffen wie Mazzocco und Kover (2007) zeigten. Auch über die Grundschuljahre hinaus erwiesen sich die EF als wichtige Prädiktoren für die spätere Matheleistung. Die Autoren fanden, dass die EF gemessen bei 6- bis 7-jährigen Kindern sowohl mit den derzeitigen als auch mit den mathematischen Fähigkeiten im Alter von ca. 11 Jahren zusammenhängen.

Trainingsstudien

Trotz der weitestgehend robusten Befunde in Bezug auf den Zusammenhang zwischen Mathematik und den EF existieren nur eine Handvoll von Trainingsstudien zu diesem Thema (Clements et al., 2016). Aus diesem Grund wurden auch Studien hinzugezogen, die die Stärkung der Selbstregulation zum Ziel hatten. Die identifizierten Studien beziehen sich meist auf die Stärkung des Arbeitsgedächtnisses oder EF als Gesamtkonstrukt. Trainingsstudien zur Stärkung der Inhibition oder kognitiven Flexibilität konnten nicht identifiziert werden.

Die Ergebnisse zur Wirksamkeit von Arbeitsgedächtnistraining auf Matheleistungen sind uneindeutig. Während einige Interventionen zu einem Zuwachs in der Matheleistung führen (Holmes, Gathercole & Dunning, 2009; Iseman & Naglieri, 2011; Kroesbergen, van't Noordende & Kolkman, 2014) zeigen andere keine signifikanten Effekte (z.B. St Clair-Thompson, Stevens, Hunt, & Bolder, 2010). Dies ist möglicherweise auf die unterschiedlichen Methoden und Operationalisierungen oder auch auf die untersuchten Stichproben zurückzuführen (Cragg & Gilmore, 2014).

Die Studie von Kroesbergen und Kollegen (2014) zeigte beispielsweise, dass die Effekte eines weitestgehend nicht computerbasierten Trainings bei 5-jährigen Kindern domänenspezifisch waren. Das computerbasierte Training von St Clair-Thompson und Kollegen (2010) zeigte weder Kurzzeit- noch Langzeiteffekte auf die mathematischen Kompetenzen von Kindern zwischen 5 und 8 Jahren. Andere Studien weisen methodologische Probleme auf wie das Fehlen einer Kontrollgruppe. Obwohl sich die 9- und 10-Jährigen mit schwachem Arbeitsgedächtnis signifikant im mathematischen Problemlösen verbesserten, können diese Ergebnisse durch das Fehlen einer Kontrollgruppe nicht eindeutig auf die Intervention zurückgeführt werden (Holmes et al., 2009). Allgemein scheinen die Effekte höher zu sein, wenn sich das Training an Kindern mit Lern- oder Regulationsschwächen richtet. Schülerinnen und Schüler mit ADHS zeigten signifikante Verbesserungen nach einem 10-tägigen Training zur Förderung einer planvollen Herangehensweise an Rechenaufgaben (Iseman & Naglieri, 2011). Direkt nach dem Training sowie auch ein Jahr später erzielten die Teilnehmenden signifikant bessere Ergebnisse in Tests zu mathematischen Fähigkeiten als die Kontrollgruppe.

Weitere Evidenz bietet eine Trainingsstudie von Schmitt und Kollegen (2015), die sich der Stärkung der Selbstregulation von Kindern und de Auswirkungen auf frühe Matheleistung widmete. Kinder im Alter von 4 Jahren aus benachteiligten Familien nahmen an einer 8-wöchigen Intervention zur Verbesserung der Selbstregulation teil. Verglichen mit einer Kontrollgruppe zeigten die Kinder nicht nur bessere Selbstregulationsfähigkeiten, sondern auch Verbesserungen in ihren mathematischen Kompetenzen. Kinder, die eine andere Muttersprache hatten, profitierten im Vergleich signifikant stärker von der Intervention in Bezug auf ihre mathematischen Fähigkeiten als teilnehmende Muttersprachler (Schmitt et al., 2015). Clements et al. (2016) postulieren aufgrund der Befundlage, dass guter Matheunterricht positive Auswirkungen nicht nur auf die mathematischen Leistungen von Kindern, sondern auch auf ihre EF habe.

2.4.2 Exekutive Funktionen und Naturwissenschaften

Im Vergleich widmen sich verhältnismäßig viele Studien zum Thema Selbststeuerung den Zusammenhängen mit dem M aus MINT. Lernleistungen in den Naturwissenschaften und ihr Zusammenhang mit EF wurden bislang nur in wenigen Studien untersucht und oft bei Kindern älter als 10 Jahre. Aufgrund der dünnen Forschungslage, werden daher im Folgenden auch Studien mit älteren Kindern vorgestellt. Um die Ergebnisse von denen aus Kapitel 2.2 (Exekutive Funkti-

onen und wissenschaftliches Denken) und 2.3 (Exekutive Funktionen und Problemlösen) abzugrenzen, wurden allein Studien begutachtet, die naturwissenschaftliches Wissen und konzeptuelles Verständnis von naturwissenschaftlichen Phänomenen untersuchen. Beispiele für die Operationalisierung von naturwissenschaftlichem Verständnis sind z.B. die erreichte Punktzahl bei Aufgaben am Tablet zum biologischen oder physikalischen Verständnis, Interviews mit offenen Fragen zum Wissen oder Verständnis von Biologie und Chemie oder auch Noten in den naturwissenschaftlichen Schulfächern.

Die meisten Studien untersuchten den Zusammenhang zwischen dem N aus MINT und den EF im Querschnitt. Es konnten nur wenige Studien identifiziert werden, die sich die Zusammenhänge im Längsschnitt anschauten; Trainingsstudien konnten gar keine gefunden werden. Die meisten Studien widmen sich entweder den Zusammenhängen mit dem Arbeitsgedächtnis, dessen Prozesse, wie für mathematische Fähigkeiten, auch für naturwissenschaftliches Verständnis als überaus bedeutsam angesehen werden (St Clair-Thompson & Botton, 2009), oder den EF als Gesamtfaktor. Nur wenige spezifische Studien zur Inhibition und kognitiven Flexibilität wurden gefunden.

Querschnittsstudien

Die existierenden Studien deuten an, dass es signifikante Zusammenhänge zwischen den EF und den Naturwissenschaften gibt (Danili & Reid, 2004; Gathercole, Pickering, Knight, et al., 2004; Nayfeld, Fuccillo & Greenfield, 2013; Rhodes et al., 2014; Rhodes et al., 2016; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006).

Arbeitsgedächtnis (Updating)

Danili und Reid (2004) fanden in ihrer Untersuchung von 15- und 16-jährigen Schülerinnen und Schülern, dass das Arbeitsgedächtnis mit dem Begreifen von chemischen Konzepten zusammenhängt. Gathercole und Kollegen (2004) fanden heraus, dass 7- und 14-jährige Kinder, die hohe Leistungen in den Naturwissenschaften zeigten, im Mittel besser in einem Test zur phonologischen Schleife abschnitten. Doch zeigten sich auch Unterschiede zwischen den beiden Altersgruppen. So fanden sich allein für die 14-jährigen Schülerinnen und Schüler signifikante Korrelationen mit Arbeitsgedächtnis ($r = .39 - .50, p < .001$), nicht aber für 7-jährige Kinder. Da es sich nicht um dieselben Kinder handelt, sondern um eine Querschnittsstudie, sind die Unterschiede in den Zusammenhängen eventuell auf Unterschiede in den beiden Altersgruppen zurückzuführen.

Inhibition

St Clair-Thompson und Gathercole (2006) widmeten sich den Zusammenhängen mit Inhibition bei 11 und 12 Jahre alten Kindern: Die Inhibition zeigte signifikante Korrelationen mit naturwissenschaftlichem Verständnis. Eine Studie mit Jungen zwischen 11 und 16 Jahren wies ebenfalls eine signifikante Korrelation zwischen den beiden Faktoren nach (Latzman et al., 2010). Der Anteil der Varianzaufklärung war sogar höher als der durch die allgemeine Intelligenz.

Kognitive Flexibilität (Shifting)

Latzman und Kollegen (2010) untersuchten bei der Stichprobe aus 11- bis 16-jährigen Jungen die Zusammenhänge mit konzeptueller Flexibilität und Verständnis von Naturwissenschaften. Wie für die Inhibition konnte auch die Flexibilität einen signifikanten Anteil der Varianz erklären

(Latzman et al., 2010). Im Gegensatz dazu konnten St Clair-Thompson und Gathercole (2006) keine signifikanten Zusammenhänge für die Altersgruppe der 11- und 12-Jährigen nachweisen. Ob dies auf die untersuchte Altersgruppe zurückzuführen ist oder die Operationalisierung von naturwissenschaftlichem Verständnis bleibt unklar.

Exekutive Funktionen als Gesamtfaktor

Bereits im Kindergartenalter zeigten sich signifikante Zusammenhänge zwischen den EF und dem frühen biologischen Verständnis, wie die Studie von Zaitchik und Kollegen (2014) zeigen konnte. In Interviews wurden 5- bis 6-Jährige zu verschiedenen biologischen Phänomenen befragt (Leben und Tod, Körperfunktionen). Die erreichte Gesamtpunktzahl wurde mit ihrer Leistung in verschiedenen EF-Tests in Zusammenhang gesetzt. Die EF erklären einen signifikanten Anteil der Varianz von biologischem Verständnis, auch wenn Kontrollvariablen wie Alter und verbaler IQ berücksichtigt wurden (Zaitchik, Iqbal & Carey, 2014).

Rhodes und Kollegen (2014; 2016) widmeten sich 12- und 13-jährigen Schülerinnen und Schülern, um die Zusammenhänge zwischen den drei exekutiven Kernfunktionen mit Biologie, Chemie und Naturwissenschaften im Allgemeinen zu untersuchen. Die Studie von 2014 zeigte, dass räumlich-visuelles Updating die Leistung in einem Test zum konzeptuellen Verständnis von biologischen Phänomenen vorhersagen konnte, nicht aber die Leistung beim Lernen von biologischen Fakten. Die Studie von 2016, die sich mit dem faktischen und konzeptuellen Verständnis von Chemie beschäftigte, identifizierte ebenfalls eine signifikante Korrelation mit Updating. Wie schon für Biologie zeigte sich auch für Chemie, dass räumlich-visuelles Updating allein mit dem konzeptuellen Verständnis zusammenhängt.

Längsschnittstudien

Exekutive Funktionen als Gesamtfaktor

Zwei Studien konnten identifiziert werden, die die Zusammenhänge zwischen den EF (im weiteren Sinne) und naturwissenschaftlichem Verständnis von Kindergartenkindern untersucht haben. In der Studie von Nayfeld und Kollegen (2013) wurden Kinder von 5 Jahren über ein Kindergartenjahr hinweg begleitet. Unterschiedliche Fähigkeiten (Literacy, Mathematik, Naturwissenschaften sowie ihre EF) wurden zu zwei Messzeitpunkten erfasst. Die Ergebnisse zeigten, dass EF nicht nur eng mit Vorläuferfähigkeiten im Bereich Literacy und Mathematik zusammenhängen, sondern auch mit Naturwissenschaften. Ein weiteres Ergebnis war, dass die Vorhersagekraft der EF für den Leistungszuwachs in den Naturwissenschaften sogar größer ausfiel als für die anderen beiden Bereiche (Nayfeld et al., 2013).

Bustamante und Kollegen (2017) untersuchten in ihrer Studie die Zusammenhänge zwischen der Entwicklung von naturwissenschaftlichem Verständnis und "Herangehensweisen ans Lernen" bei Vorschulkindern. Diese wurden als Aufmerksamkeitskontrolle, Frustrationstoleranz, Lernen in Gruppen und Herangehensweise an Aufgaben operationalisiert. Damit weist das Konstrukt deutliche Überschneidungen mit der Selbststeuerung auf. Sie fanden Korrelationen von $r = .39$ bzw. $r = .36$ (beide $p < .01$) ein halbes Jahr später. Die Herangehensweise ans Lernen konnte darüber hinaus signifikant den Lernzuwachs in den Naturwissenschaften vorhersagen – nicht aber in Mathematik oder in Literacy (Bustamante, White & Greenfield, 2017).

Inwieweit die Operationalisierung von naturwissenschaftlichem Verständnis und EF einen Einfluss auf die Studienergebnisse nimmt, wurde bislang nicht systematisch untersucht. Die hier vorgestellten Befunde legen nahe, dass die EF – und hier insbesondere das Arbeitsgedächtnis – vor

allem in komplexeren, anspruchsvolleren Aufgaben gefordert sind und nicht so sehr in Aufgaben wie dem Auswendiglernen von Fakten. Erst durch weitere Studien mit unterschiedlichen Operationalisierungen der drei EF und Naturwissenschaften für verschiedene Altersgruppen und unter Einbeziehung möglicher Kontrollvariablen, kann die Einflussnahme dieser Faktoren mit größerer Sicherheit eingeschätzt werden. Besonders in Bezug auf die Komponenten des Arbeitsgedächtnisses, deren unterschiedlichen Rollen in mathematischen Prozessen deutlich sichtbar sind, scheint dies von großer Bedeutung zu sein (Yuan, Steedle, Shavelson, Alonzo & Oppezzo, 2006). Wie auch in Bezug auf Mathematik wird auch für den Bereich der Naturwissenschaften eine mögliche Bidirektionalität für den Zusammenhang mit EF diskutiert. Nayfeld und Kollegen postulieren, dass auch die Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Aktivitäten möglicherweise die EF fördern.

Trainingsstudien

Obwohl es keine Trainingsstudien gibt, vermuten Nayfield und Kollegen (2013) basierend auf den zuvor dargestellten Ergebnissen, dass eine Stärkung der EF durch Interventionen im naturwissenschaftlichen Setting zu einer Verbesserung sowohl in den EF als auch im naturwissenschaftlichen Verständnis führen könnte. Erste Studien in diesem Feld werden zeigen müssen, ob dies auch tatsächlich der Fall ist.

2.4.3 Zusammenfassung: Exekutive Funktionen und MINT-Fächer

Der Zusammenhang zwischen EF, mathematischen und naturwissenschaftlichen Fähigkeiten konnte von zahlreichen Studien nachgewiesen werden. Dabei ist herauszustellen, dass die Zusammenhänge mit Mathematik sehr viel umfangreicher erforscht sind als mit den Naturwissenschaften. Dennoch scheint das Interesse an dem N aus MINT zuzunehmen.

Von den drei Kernfunktionen sind die querschnittlichen wie auch längsschnittlichen Zusammenhänge zwischen Mathematik und dem Arbeitsgedächtnis mit Abstand am besten untersucht. Dennoch ist in den letzten Jahren ein wachsendes Interesse an der Rolle der Inhibition und der kognitiven Flexibilität zu erkennen (Bull & Lee, 2014). Im Vergleich zeigen sich durchaus Unterschiede im Auftreten sowie in der Größe der Zusammenhänge für Inhibition, Arbeitsgedächtnis und kognitive Flexibilität (Friso-van den Bos et al., 2013). Die robustesten Befunde und höchsten Korrelationen zeigten sich für Arbeitsgedächtnis (Bull & Lee, 2014; Miller, M. R. et al., 2013; Yuan et al., 2006). Ein Teil der Studien für Inhibition und kognitive Flexibilität belegen einen Zusammenhang mit mathematischen Fähigkeiten, doch gibt es für beide Funktionen ebenfalls Studien, die diesen Zusammenhang gar nicht oder nach der Kontrolle bestimmter Variablen nicht mehr nachweisen konnten (vgl. Clements et al., 2016). Besonders im Längsschnitt zeigen beide Faktoren im Vergleich zum Arbeitsgedächtnis nur bedingte Vorhersagekraft der mathematischen Fähigkeiten. Die Befunde geben Grund zur Annahme, dass besonders ein effizientes Arbeitsgedächtnis von Bedeutung für das Erwerben von mathematischen Fähigkeiten im Kindesalter ist (Gathercole & Alloway, 2004; Gathercole & Pickering, 2000; Swanson, 2006).

Auch in Bezug auf die Naturwissenschaften legen die Ergebnisse nahe, dass von den drei Kernfunktionen insbesondere das Arbeitsgedächtnis eine zentrale Rolle spielt (Gathercole, Pickering, Ambridge, et al., 2004). Die Zusammenhänge mit Inhibition und kognitiver Flexibilität wurden nur von sehr wenigen Studien untersucht, welche eher inkonsistente Befunde lieferten (Latzman et al., 2010; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006).

Innerhalb eines Konstrukts zeigten sich abhängig von der Art der Erfassung Unterschiede in der Stärke der Korrelationen mit mathematischen Fähigkeiten. So unterscheiden sich die Befunde für

Arbeitsgedächtnis in Abhängigkeit davon, ob phonologisches oder räumlich-visuelles Updating erfasst wurde (Friso-van den Bos et al., 2013; Peng et al., 2016). Diese anscheinend systematischen Unterschiede sollten in weiteren Studien mit verschiedenen Altersgruppen adressiert werden (Yuan et al., 2006). Auch wenn diese Unterschiede für die Naturwissenschaften bislang nicht spezifisch untersucht wurden, besteht auch hier der Ruf nach genaueren Analysen der einzelnen EF-Komponenten (z.B. des Arbeitsgedächtnisses) in verschiedenen Altersgruppen unter Kontrolle von relevanten Variablen (Friso-van den Bos et al., 2013; Yuan et al., 2006; Zaitchik et al., 2014).

Interventionen zur Stärkung der mathematischen Fähigkeiten über die EF gibt es bislang nur wenige und nicht alle konnten signifikante Effekte nachweisen (Cragg & Gilmore, 2014). Dennoch rechnen viele Wissenschaftler der Stärkung der EF ein hohes Potenzial für die Entwicklung von mathematischen Fähigkeiten zu. Laut Fuhs et al. (2014) sollte auf Basis der robusten Befunde Aktivitäten für den Kindergarten entwickelt werden, mit denen die Selbststeuerung von Kindern verbessert werden kann. Gleichzeitig stellen (mathematische) Übungen möglicherweise einen guten Weg dar, um die Kinder nicht nur in diesem Fachgebiet, sondern auch in der Entwicklung von Selbststeuerungskompetenzen zu stärken (Clark et al., 2010; Clements et al., 2016; Fuhs, Nesbitt, Farran & Dong, 2014).

Obwohl bislang keine Studie den Effekt eines Trainings der EF auf naturwissenschaftliches Verständnis untersuchte, besteht die Vermutung, dass eine Stärkung der EF sinnvoll ist (Gathercole, Pickering, Ambridge, et al., 2004; Rhodes et al., 2014; Rhodes et al., 2016). Aufgrund des angenommenen bidirektionalen Zusammenhangs kann ebenfalls davon ausgegangen werden, dass eine Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Inhalten und Prozessen ebenfalls zu einer Verbesserung der EF führt. Eine Bestätigung der wechselseitigen Bedingung der beiden Faktoren vorausgesetzt, könnten Interventionen zur Stärkung der EF in einem naturwissenschaftlichen Setting beiden Kompetenzen positiv beeinflussen (Nayfeld et al., 2013). Empirische Studien im Kontrollgruppendesign unter Berücksichtigung potentieller Einflussfaktoren werden zeigen müssen, ob dies auch tatsächlich der Fall ist.

3 Bezüge zwischen Exekutiven Funktionen und Kultureller Bildung

3.1 Begriffsklärungen und zentrale Fragestellungen

In den vorhergehenden Kapiteln wurde darauf hingewiesen, dass der Begriff „Exekutive Funktionen“ zwar durch eine ganze Reihe unterschiedlicher Merkmale definiert wird, dass sich jedoch in Theorie und Forschung immer deutlicher einige Hauptbegriffe herauschälen. Sie beziehen sich auf die grundlegenden Fähigkeiten, seine Gedanken, Emotionen und Handlungsimpulse kontrollieren und sich auf eine Aufgabe unter Ausblendung aller dafür nebensächlichen Ereignisse und Sachverhalte konzentrieren zu können, ferner auf das Vermögen, sich die relevanten Informationen aus dem eigenen Wissenskanon ins Bewusstsein zu rufen und dort präsent zu halten, bis die jeweilige Aufgabe bewältigt ist, und schließlich auch auf die Fähigkeit, sich mit seinen Gedanken, Gefühlen und Willensaktivitäten wechselnden Anforderungen flexibel anpassen zu können.

Die drei Leitbegriffe dafür sind, wie ausgeführt wurde, zunächst die Inhibition (Hemmung), womit die Fähigkeit bezeichnet wird, für die Lösung der anstehenden Aufgabe unwichtige oder dysfunktionale Impulse nicht wirksam werden zu lassen, sie unterdrücken oder ausblenden zu können. Zweitens geht es um das sogenannte Arbeitsgedächtnis, das Informationen und geistige Prozesse präsent halten soll, die für eine Bewältigung aktueller Aufgaben wichtig sind. Und schließ-

lich geht es um die kognitive Flexibilität (Shifting), d. h. um die Fähigkeit, den jeweiligen Anforderungen entsprechend seine Perspektiven wechseln zu können, neue Lösungsansätze entwerfen und erproben zu können oder neue Arbeitsstrategien zu verfolgen, wenn sich die bisherigen nicht als zielführend erwiesen haben.

Während die EF in der Psychologie seit vielen Jahren intensiv diskutiert werden, spielen sie in der deutschen Erziehungswissenschaft bisher kaum eine Rolle (vgl. jedoch einige Beiträge in Kubesch, 2014). Das ist aber nur oberflächlich betrachtet so, denn bei genauerem Hinsehen zeigt sich, dass die drei genannten Fähigkeitsbereiche in der Kindheits- und Schulpädagogik häufig thematisiert werden, nur eben nicht unter dem Namen der EF. Denn die Frage, wie beispielsweise mit Konzentrationsstörungen von Schülerinnen und Schülern, wie mit dem sogenannten Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätssyndrom (ADHS) von Kindern umzugehen ist, wie ein anpassungsfähiges flexibles Denken und eine hohe Präsenz beim Problemlösen, wie Impulskontrollen und emotionale Stabilität gefördert werden können, betrifft ein für die Erziehung und für didaktische Theorien zentrales Themenfeld. Dass viele Bücher und Artikel, deren Verfasserinnen und Verfasser die Erkenntnisse zu den EF für Kindergarten und Schule nutzbar machen wollen, eine deutliche Defizitorientierung aufweisen, mag daran liegen, dass Phänomene wie eine unzureichende Konzentrationsfähigkeit, mangelnde Geduld oder leichte Ablenkbarkeit zu den Kardinalproblemen der pädagogischen Praxis gehören (z. B. Brunsting, 2011; Dawson & Guare, 2010; sehr praxisnah Kubesch, 2014; Meltzer, 2010, 2011; Wiebe & Karbach, 2018). Es ist jedoch im vorhergehenden Kapitel schon darauf aufmerksam gemacht worden, dass die Förderung der Fähigkeiten und psychischen Techniken, die unter dem Titel EF beschrieben werden, genuin menschliche Eigenschaften betrifft, die für jeden Bildungsprozess substantiell sind. Dass man dabei nicht einer kognitivistischen Engführung unterliegen darf und gerade im Umgang mit Kindern nicht auf intellektuelle Trainingsprogramme setzen sollte, die der Entwicklung sowohl ihrer Denkfähigkeit als auch ihrer Gefühls- und Willenskultur kaum gerecht werden können, muss dabei allerdings beachtet werden – Tendenzen dazu sind insbesondere in der US-amerikanischen Fachliteratur zu erkennen. Jedenfalls kann man hier schon die Frage nach der Bedeutung stellen, die im pädagogischen Gesamtkonzept zur Förderung der EF einer vielseitig fordernden künstlerischen Praxis zukommen könnte: Z. B. im Zusammenhang einer Körper und Geist, Sinnlichkeit und Verstand gleichermaßen aktivierenden Theater-Produktion.

Es ist nämlich erstaunlich, dass die EF bisher – ob so benannt oder unter Titeln wie „gezielte Aufmerksamkeit“, „situationsangemessenes flexibles Denken“, „attention skills“ etc. – in pädagogischer Hinsicht eher auf die Förderung der sogenannten MINT-Kompetenzen bezogen wurden (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik), kaum auf künstlerische Fähigkeiten. Umso mehr ist zu begrüßen, dass in der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ nun eine Erweiterung der Arbeitsperspektive angedacht wird, die auch mögliche Potentiale der Kulturellen Bildung für die Entwicklung der EF in die eigenen konzeptionellen und forschungspropädeutischen Überlegungen einbezieht. Denn insbesondere in Kindergärten und Grundschulen spielen Angebote zur ästhetischen Bildung, aber auch künstlerische Gestaltungen des gegenständlichen Umgebungsmilieus bisher eine fundamentale Rolle, die man nicht zugunsten naturwissenschaftlicher und mathematischer Grundübungen übersehen sollte. Zu denken ist hier an das Erzählen von Märchen und Sagen, an das Ausschmücken der Kindergarten- und Grundschulräume, an liebevoll gepflegte Gärten und Schulumgebungen. Künstlerisches begegnet uns in Gestalt des gemeinsamen Singens von Liedern, im Aufsagen von Gedichten beim Reigen, im schön gestalteten Spielmaterial, in geschmückten Jahreszeitentischen und natürlich im Schulzusammenhang auch in den künstlerischen Fächern. Vielleicht geschieht dies häufig, weil es die Tradition so vorgibt

oder weil ein intuitives Gefühl für die emotional wie geistig aufbauende Wirkung eines auch ästhetisch befriedigenden Erziehungsmilieus besteht: Insofern sind diese Gestaltungsmerkmale nicht ungefährdet, wenn einmal die Tradition nicht mehr tragen sollte oder wenn das Interesse an künstlerischen Aktivitäten der beschriebenen Art schwindet. Die seit etwa 20 Jahren in Deutschland (aber auch in anderen Ländern, dann beispielsweise unter dem Titel „arts education“) intensiv betriebene Förderung der kulturellen/ästhetischen Bildung hat dazu geführt, wieder forschungsgestützte Argumente für die Überzeugung zu entwickeln, dass künstlerische Aktivitäten von Kindern und Jugendlichen gleichwertig neben die MINT-Lernfelder gestellt werden müssen (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2013; vgl. auch das Projekt der Kulturschulen: Fuchs, 2013; Fuchs & Braun, 2015; Hamer, 2014; Konietzko, Kuschel & Reinwand-Weiss, 2017; Rat für Kulturelle Bildung, 2014; Rittelmeyer, 2010; Winner, Goldstein & Vincent-Lancrin, 2013). Wenn hier allerdings künstlerische und kulturelle Bildung im gleichen Atemzug genannt werden, bedarf dies einer Erläuterung und begrifflichen Klärung (dazu ausführlicher Bockhorst, Reinwand & Zacharis, 2012). Was ist mit dem Begriff Kulturelle Bildung gemeint? Im Jahr 2007 (und nochmals bekräftigend 2013) wurde der Kulturellen Bildung in Deutschland gleichsam ein amtliches Siegel auch für Schulen verliehen: In der Empfehlung der Kultusministerkonferenz zur Kulturellen Kinder- und Jugendbildung heißt es: „Die Kultusministerkonferenz betrachtet die Kulturelle Bildung als einen unverzichtbaren Beitrag zur Persönlichkeitsentwicklung junger Menschen. Kulturelle Bildung ... vermittelt kognitive und nichtkognitive Kompetenzen; sie trägt zur emotionalen und sozialen Entwicklung und zur Integration in die Gemeinschaft bei. Kinder und Jugendliche müssen daher intensiver als bisher an Kultur herangeführt werden. Allen Angeboten kultureller Kinder- und Jugendbildung ist immanent, dass sie zur Persönlichkeitsentwicklung eines jungen Menschen und zur Herausbildung von zukunftsweisenden Schlüsselqualifikationen einen wichtigen Beitrag liefern ... Insgesamt kann der Stellenwert der musischen Fächer (z. B. Bildende Kunst, Darstellendes Spiel, Musik) gestärkt werden. Kulturelle Bildung kann Schulen somit eine neue Orientierung geben.“ (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder Deutschland, 2007)

Es ist bemerkenswert, dass der Begriff Kulturelle Bildung in der KMK-Erklärung im Kern mit künstlerischen Tätigkeiten in den ‚musischen Fächern‘ gleichgesetzt wird; die Grenzen zu nichtkünstlerischen Aktivitäten sind allerdings offen gehalten, da dies den faktischen Verhältnissen insbesondere in der außerschulischen kulturellen Kinder- und Jugendbildung entspricht. Damit wird allerdings ein begriffliches Problem angesprochen, das die Kulturelle Bildung seit ihren Anfängen in den 1950er Jahren begleitet hat und immer wieder für Irritationen sorgt: „Kultur“ ist im philosophischen, soziologischen, kultur- und geschichtswissenschaftlichen Verständnis die Gesamtheit dessen, was Menschen hervorgebracht haben – sie wird daher häufig von der „Natur“ abgegrenzt, was aber auch bestimmte Probleme aufwirft, da „Natur“ immer und notwendig aus bestimmten kulturell geprägten Perspektiven wahrgenommen und gedeutet wird. Kultur nennen wir also alles von Menschen Hervorgebrachte: die Sprachen, das historische Gedächtnis, die Lebensformen, normativen Orientierungen, Institutionen, mentalen Verfassungen, Arbeitsweisen, Werkzeuge, Traditionen, Körperbilder, Geschlechterrollen usw., also die überwiegend außerästhetischen Lebensformen der Menschen (z.B. Helmer, 2014; Hillmann, 2007, S. 471; Ritter & Gründer, 1976, Spalte 1309). Wenn manche Autorinnen und Autoren im Bereich der Kulturellen Bildung, aber auch der Kulturwissenschaften von beispielsweise ethnologischen, soziologischen oder anthropologischen, von normativen, differenztheoretischen oder semiotischen Kulturbegriffen sprechen, werden damit schon sekundäre Phänomene beschrieben, die sich notwendig aus einer genauen Betrachtung konkreter Kulturformen ergeben (z.B. Fuchs, 2008, S. 133f.; Jaeger, Liebsch, Rüsen & Straub, 2004; Reinwand, 2012). Es ist natürlich problematisch, den allgemeinen Kulturbegriff

gleichzusetzen mit Begriffen der ästhetischen Erfahrung und Bildung. Aus diesem Grund dürfte in dem KMK-Text die einschränkende Bezeichnung „müsisch-kulturelle Bildung“ gewählt worden sein; oft werden in der Fachliteratur auch Arbeitsdefinitionen wie die vorgestellt, dass hier eine „Bildung in den Künsten und durch die Künste“ oder ein im Kern ästhetisches, jedoch in konzentrischen Kreisen nach außen auch außerästhetisches Unternehmen gemeint ist.

Bei der Erörterung der Frage, welche Beziehungen zwischen EF und Kultureller Bildung bestehen, sollte man diesen Diskurshintergrund zwar kennen. In der vorliegenden Expertise wird es jedoch um den engeren, von der KMK favorisierten Begriff der Kulturellen Bildung gehen, der sich im Kern auf die ästhetische oder künstlerische Erziehung und Bildung bezieht. Der folgende Abschnitt wird zunächst einen Einblick in typische Fragestellungen und Forschungsergebnisse geben, die sich mit den in unseren Kerncurricula so genannten außerfachlichen Wirkungen künstlerischer Erfahrungen und Aktivitäten befasst, d. h. beispielsweise mit den Effekten des Ensemble-Musizierens auf Konzentrationsfähigkeit und geistige Beweglichkeit von Kindern und Jugendlichen. Hier wird auch oft von Transferwirkungen und einer darauf bezogenen Transferforschung gesprochen (Hamer, 2014; generell dazu: Rittelmeyer, 2010; Winner et al., 2013). Denn es ist bemerkenswert, dass die inzwischen umfangreiche Fach- und speziell auch Forschungsliteratur zum Thema „künstlerische Praxis und Exekutive Funktionen“ fast ausschließlich auf diese „über- bzw. außerfachlichen“ Wirkungen künstlerischer Tätigkeiten bezogen ist, zu denen auch kognitive Fähigkeiten wie die Aufmerksamkeitssteuerung, die Flexibilität der Wahrnehmung oder die mentale Präsenz beim Bearbeiten von Aufgaben gehören. Analog war diese eingeeengte Perspektive für die gesamte – also auch andere Merkmale als die EF betreffende – bisherige Erforschung der persönlichkeitsbildenden Wirkungen künstlerischer Tätigkeiten zu konstatieren. Wie in dieser Form der Wirkungsforschung nach Effekten beispielsweise des Musikunterrichts, des Tanzens oder der Aquarellmalerei auf Intelligenz, räumliches Vorstellungsvermögen, Empathie, Kreativität etc. gefragt wurde, so kommt als neue Qualität jetzt auch die Förderung des Arbeitsgedächtnisses, der mentalen Kontrolle, der intellektuellen Flexibilität usw. dazu. So gut wie überhaupt nicht wird indessen nach den „innerfachlichen“ Wirkungen beispielsweise eines Theaterprojekts oder einer Tanzperformance gefragt – also nach der ästhetischen Erfahrung und nach der Bildung einer ästhetischen Erfahrungsfähigkeit und ihres vielleicht ganz andersartigen Bezuges zu den EF. Wenn bei der präzisen Federzeichnung einer Pflanze einerseits die Konzentrationsfähigkeit geübt wird, beim Versuch einer schönen Gestaltung sich aber gleichzeitig auch eine (in ihrer biografischen Wirkung noch unbestimmte) ästhetische Erfahrung ereignet, wird ersichtlich, dass außerfachliche Wirkungen und ästhetische Erfahrungen im Künstlerischen nicht getrennt werden können, obgleich es dabei um unterschiedliche Lernerfahrungen geht. Beide Fragen zu stellen, ist also entscheidend, wenn pädagogische Folgerungen aus den Forschungsergebnissen und auch aus den theoretischen Diskursen etwa im Hinblick auf die Vorschulerziehung plausibel entwickelt werden sollen (ausführlich dazu Rittelmeyer, 2013; und insbesondere Rittelmeyer, 2016; Kapitel 6).

Gerade mit Blick auf die eben erwähnten zahlreichen künstlerischen Aktivitäten in Kindergärten und Grundschulen ist die Klärung dieser Frage nach innerfachlichen Wirkungen (oder nach der ästhetischen Alphabetisierung) jedoch in didaktischer Hinsicht und mit Blick auf die Begründung derartiger Tätigkeiten von großer Wichtigkeit. Einige Aspekte dieser Frage sollen im folgenden Kapitel wenigstens angedeutet werden, wobei es auch um Forschungsperspektiven geht. Ferner soll in diesem Zusammenhang gefragt werden, welche offenen methodologischen Fragen im Hinblick auf beide Forschungsfragen bisher bestehen und welche Perspektiven sich daraus ergeben. Schließlich wird dann – auch als Versuch einer ersten Anregung für die Praxis der naturwissen-

schaftlichen und künstlerischen Bildung in Kindergärten und Schulen – auf Zusammenhänge zwischen künstlerischen und naturwissenschaftlich-technischen Bildungserfahrungen hingewiesen sowie darauf aufmerksam gemacht, dass wir in zahlreichen spontanen (d. h. didaktisch nicht in Regie genommenen) Tätigkeiten von Kindern ästhetische Artikulationen entdecken können, die eng mit EF verbunden sind und die auch für didaktische Modelle etwa in den Bildungsangeboten der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ lehrreich sein könnten, vgl. dazu auch die Empfehlungen in Kapitel 4.2.

3.2 Forschungsbeispiele und ihre Diskussion

Ausgewählte Beispiele sollen nun in typische Fragestellungen und erste Resultate dieses noch jungen Forschungsfeldes einführen. Einige Vorbemerkungen mögen dafür sinnvoll sein. Zunächst: Wenn die folgenden Hinweise auf „künstlerische Aktivitäten“ bezogen werden, so sind damit sowohl künstlerische Produktionen (z. B. die Einübung und Aufführung eines Theaterstücks) als auch ästhetische Erlebnisse beim Betrachten von künstlerischen Aktivitäten und Objekten gemeint. Die Forschung hat gezeigt, dass Lernerfahrungen auch im letztgenannten Bereich vor allem dann auftreten, wenn die Rezeption nicht im Sinne eines Kunst-Konsums, sondern mit aktiver innerer Beteiligung erfolgt (Rittelmeyer, 2010). Es wäre gesondert zu untersuchen, welche unterschiedlichen Bildungserfahrungen und –wirkungen in diesen verschiedenartigen Lernfeldern gemacht werden können – ich kenne dazu bisher keine systematische Studie. Ferner: Dass hier insbesondere über Wirkungen künstlerischer Aktivitäten auf die Ausbildung von EF berichtet wird, liegt daran, dass diese Frage bisher im Zentrum entsprechender Transferuntersuchungen stand. Zwar werden mitunter komplexere Verhältnisse als die monokausale Wirkung künstlerischer Tätigkeiten auf solche Funktionen untersucht. So scheint uns beispielsweise in einer Studie zu den Wirkungen musikalischer Aktivitäten auf die Intelligenz interessant zu sein, dass die EF hier als Moderator-Variable untersucht wurden: Ob solche Effekte auftreten, hängt davon ab, in welcher Weise die EF aktiviert werden (Degé, Kubicek & Schwarzer, 2011). Die umgekehrte Fragerichtung ist aber ebenso interessant, bisher jedoch noch nicht hinreichend im Blickfeld der Forschung: Welchen Beitrag leisten mehr oder minder gut ausgebildete EF für die Entwicklung von Fähigkeiten der ästhetischen Erfahrung und der künstlerischen Produktivität? Darauf wurde einleitend zu dieser Expertise schon hingewiesen, später wird jedoch mit einigen weiteren Anmerkungen darauf zurückzukommen sein. Ferner ist der folgende Überblick über ausgewählte Forschungsarbeiten nicht speziell auf die Gruppe der Vor- und Grundschul Kinder bezogen, die mit den Bildungsangeboten der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ angesprochen werden. Gleichwohl geben auch auf Jugendliche bezogene Forschungen Hinweise auf strukturelle Zusammenhänge zwischen künstlerischen Tätigkeiten und EF, die das Nachdenken über entsprechende Wirkungen bei Kindern aufklären können. Hier besteht eine interessante Perspektive auch für zukünftige Evaluationsprojekte.

Eine erste Sichtung der Forschungen zeigt einen zur bisherigen Wirkungsforschung im Bereich der Kulturellen Bildung analogen Trend: Es wird bevorzugt die Wirkung der Musik auf die Entwicklung der EF untersucht, mit einigem Abstand folgen dann bildende Kunst, Tanz und Theater; kaum untersucht wurde bisher die Wirkung der Lektüre belletristischer Literatur oder des Erzählens von Märchen, Kindergeschichten etc. in Vorschuleinrichtungen (vgl. dazu auch Rittelmeyer, 2010). In dieser Hinsicht besteht also noch erheblicher Forschungsbedarf. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass zahlreiche Studien zwar auf EF bezogen sind, diese jedoch nicht so benennen, sondern von „akademischen Leistungen“, „Verständnis komplexer Zusammenhänge“, „geistiger

Wachheit“, „kognitiver Aktivierung“ etc. handeln. Eine Meta-Analyse der Wirkungen des Theaterspielens auf kognitive Fähigkeiten von Kindern und Jugendlichen bis zur Universitätsreife (PreK-16) zeigt beispielsweise, dass hierzu nicht nur zahlreiche Studien vorliegen, sondern auch häufige indirekte Hinweise darauf zu entdecken sind, dass die EF im Blick stehen, ohne als solche benannt zu werden (Lee, B. K., Patall, Cawthon & Steingut, 2015). So dürfte das sogenannte divergente Denken, das im Unterschied zum konvergenten Denken nicht nur auf eine richtige Lösung abzielt, sondern gleichermaßen verschiedene richtige Lösungen einer Aufgabe hervorbringen kann (z. B. „Nenne möglichst viele Verwendungsmöglichkeiten für Ziegelsteine“), ausgeprägte Bezüge zur „kognitiven Flexibilität“ haben. In einer Studie von Sema Karakelle von 2009 mit jungen Erwachsenen zeigten sich positive Effekte des „kreativen Theaterspielens“ auf diese kognitive Fähigkeit, die von der Autorin als „flüssiges und flexibles Denken“ bezeichnet wird. Das kreative, also durch die Teilnehmenden mitgestaltete und auch improvisatorische Theaterspielen, so die These, fordert häufige Wechsel von einer Rolle in die andere, von einer Stimmung in die andere und lässt daher erwarten, eine derartige Plastizität des Denkens zu fördern. Zu den Forschungsaufgaben auf diesem Gebiet könnte also gehören, solche Studien einmal systematisch auf ihre Bezüge zu den EF auszuwerten (Karakelle, 2009).

Ferner wird aus den Untersuchungen insgesamt deutlich (ohne dass dies in den Einzeluntersuchungen in aller Regel hinreichend thematisiert wird), dass man – wie eben schon angedeutet – offenbar einen komplexen Wechselprozess von Wirkungen beachten muss: Die Flexibilisierung der Wahrnehmungsmodalitäten, die Fähigkeit der gezielten und disziplinierten Aufmerksamkeit etc. werden der Forschung zufolge durch künstlerische Aktivitäten nicht nur gefördert, sie sind vielfach auch Voraussetzungen, sich künstlerischen Erfahrungen überhaupt aussetzen zu wollen und zu können. Dieser Aspekt dürfte für die Praxis so wichtig sein, dass er – wie von uns einleitend schon erwähnt – eine besondere Beachtung verdient. Schließlich ist mit Blick auf die Mehrzahl der gesichteten Studien darauf hinzuweisen, dass eine umfassende Erforschung der Wirkungen Kultureller Bildung auf die EF einige Fragestellungen in das methodische Design einbeziehen müsste, die signifikante oder auch insignifikante Forschungsergebnisse erst interpretierbar machen. Die Forschung folgt auch hier – wie in der Transferforschung zur Wirkung Kultureller Bildung überhaupt – weitgehend einem mechanisch-behavioristischen Wirkungsmodell: Man inszeniert irgend eine Form der „arts education“ mit Kindern, misst davor und danach per Test ihre Intelligenz oder gedankliche Selbstkontrolle, bedenkt aber nicht, dass diese Kinder auch entscheidungsfähige Individualitäten sind, mit ihrem eigenen Willensleben, das zu einer Übertragung des künstlerischen Erfahrenen in das Alltagsleben oder auch zu keiner Wirkung beiträgt. Neben diesem volitionalen Aspekt wäre es beispielsweise wichtig, das jeweilige Erleben der untersuchten Personen bei der künstlerischen Tätigkeit aufzuklären, auch der Begriff „künstlerisch“ (oder „arts“) wäre wenigstens operational zu definieren. Ferner wird häufig nicht reflektiert, welche Gründe dafür sprechen, von bestimmten künstlerischen Tätigkeiten bestimmte kognitive Wirkungen zu erwarten. Dass z. B. das Mitwirken in „drama groups“ die Selbstkontrolle fördert, wird unterstellt, ohne dass genau analysiert wird, welche Art von Theaterspielen derartige Wirkungen wahrscheinlich macht und welche nicht. Solche Überlegungen sollen hier als bildungstheoretische Strukturanalysen der Tätigkeiten und Erfahrungen bezeichnet werden, die man untersuchen möchte (ausführlich dazu Rittelmeyer, 2016). In dieser Hinsicht besteht also im Dienste einer Qualitätsverbesserung der Forschung noch Entwicklungsbedarf.

Zunächst sei nun ein Internet-Blog vorgestellt, den ein künstlerisches Mitglied des südamerikanischen Musikprojektes El Sistema unter dem Titel „El Sistema, Music Education, and Executive Functioning“ veröffentlicht hat. Es ist keine Forschungsarbeit, sondern ein Text, der sich auf wenige Forschungen bezieht, der aber auch ein Beispiel für die phänomenologische Betrachtung

jener Aspekte beim Musizieren ist, die für eine Förderung der EF bedeutsam sein könnten – es geht also durchaus um eine in Ansätzen erkennbare bildungstheoretische Strukturanalyse dieses Projektes (vgl. Hernandez-Estrada, 2012).

Die viel diskutierten beiden Musik- und Tanztheater-Projekte El Sistema und Rhythm Is It!, die der besonderen Förderung von Kindern aus „bildungsfernen Schichten“ galten, sind leider bisher nicht evaluiert worden. Im Fall des südamerikanischen El-Sistema-Unternehmens spielen sozial benachteiligte Kinder und Jugendliche in einem Orchester auch anspruchsvolle Werke, unter anderem aus dem Repertoire klassischer Musik. Das verfilmte und auf DVD im Handel erhältliche Experiment „Rhythm is it“ zeigt auf beeindruckende Weise die Arbeit der Berliner Philharmoniker und ihres Chefdirigenten Simon Rattle mit 250 Kindern und Jugendlichen aus 25 Nationen, zu meist aus Berliner „Problemschulen“. Unter Mitarbeit eines Tanzpädagogen übten sie ein Ballet Igor Strawinskys ein. Der Film lässt nachvollziehbar werden, wie die Jugendlichen aus den wachsenden Erfolgen durch das für sie eher ungewohnte disziplinierte Arbeiten Selbstbewusstsein gewinnen, allerdings werden auch die erheblichen Schwierigkeiten einer solchen Arbeit deutlich. Es wäre interessant, dieses Material auf Indizien für das Üben der EF hin zu untersuchen.

Inzwischen liegen einige Studien vor, die zeigen, dass solche Tanz- und Musikprojekte gerade Kindern aus „bildungsfernen“ Herkunftsmilieus mitunter bessere Chancen zur Ausbildung elementarer Fähigkeiten und speziell der EF bieten, als das durch den üblichen Schulunterricht möglich wäre (Hille & Schupp, 2015; Stern et al., 2017). Wenn in den Publikationen auch noch nicht explizit auf die EF Bezug genommen wird, so werden hier doch kognitive Qualitäten untersucht, die mit diesem Begriff gemeint sind. In der nun zu besprechenden Analyse des El-Sistema-Projektes durch Jose Luis Hernandez wird jedoch, wie erwähnt, auf diese Funktionen ausdrücklich Bezug genommen.

Die gegenwärtige Kindheitsforschung, so der Autor, habe darauf aufmerksam gemacht, dass eine den Anforderungen moderner Gesellschaften gerecht werdende Bildung ihre Grundlage in der richtigen Orchestrierung verschiedener EF bzw. Fähigkeiten habe. Die Inhibition (Inhibitory Control), das Arbeitsgedächtnis (Updating Memory) und die kognitive Flexibilität (Mental Flexibility) werden als zentrale und essentielle Fähigkeiten hervorgehoben (vgl. als Referenz des Autors: Center on the Developing Child at Harvard University, 2011). Würden diese Fähigkeiten nicht schon früh geübt, sei eine erhöhte Wahrscheinlichkeit unter anderem für spätere antisoziale Verhaltensweisen und für schlechtere Schulleistungen gegeben. Durch seine „künstlerische Brille“ (artistic lens), so Hernandez, möchte er deutlich machen, welche Chancen gerade für Kinder aus „bildungsfernen Schichten“, die durch äußere Umstände bedingt ihre EF nicht hinreichend ausbilden können, im gemeinsamen anspruchsvollen Musizieren gesehen werden können.

So verlange beispielsweise das Spiel im Ensemble eine ausgeprägte Konzentration auf die Aufgabe unter Absehung aller dafür nebensächlichen Aspekte, eine gesteigerte Aufmerksamkeit und Empathie für die Mitspieler, da anders kein ästhetisch ansprechendes und professionelles Musizieren gelingen kann – also eine störende Einflüsse hemmende und alle für die Aufgabe irrelevante Phänomene ausblendende Form der Aufmerksamkeit (Inhibition), die hier vorausgesetzt, aber auch geübt wird. Dieser Doppelaspekt, dass im künstlerischen Tun die gleichen EF Bedingung, aber auch Wirkung des Geschehens sein können, wurde schon erwähnt.

Ferner muss die gesamte Komposition bzw. die musikalische Instruktion für diese spezielle Ausführung stetig präsent sein, wofür die Leistungen des Arbeitsgedächtnisses sowohl Voraussetzung als auch Übungsfeld sind. „In El Sistema bittet ein lehrender Musiker ein 6-jähriges Kind, sein Instrument zu finden, sich damit aufrecht hinzusetzen und auf den Einsatz zu warten, sich

„aufzuwärmen“ für das Spiel. Das Kind lernt, sich diese Abläufe einzuprägen und in einer festgelegten Weise zu befolgen.“ Es schafft sich ein mentales Tableau (mental surface), das wiederum das Arbeitsgedächtnis konturiert.

Schließlich wird auch immer wieder die mentale Flexibilität herausgefordert und habitualisiert, um sich den typischen Unwägbarkeiten der musikalischen Aufführungspraxis im konkreten Zusammenspiel, den Direktiven des Dirigenten oder des Instrumente-Führers, den Tempi, Dynamiken und Spieltechniken, der sensiblen wechselseitigen Wahrnehmung bei Einsätzen, den wechselnden instrumentalen und kompositorischen Prioritäten und anderen Prozessmerkmalen des Musizierens anpassen zu können, um schließlich einen überzeugenden Gesamteindruck des Ensembles zu gewährleisten. Aber auch das Wahrnehmen und Korrigieren von Fehlern oder unbefriedigenden Interpretationen des kompositorischen Materials gehört in diesen Zusammenhang. Über eine gute mentale Flexibilität zu verfügen, erlaubt es Kindern, Fehler wahrzunehmen, sie korrigieren und erinnern zu können. Sie erlaubt, das eigene Tun auch aus einer neuen, anderen, vielleicht ungewohnten Perspektive zu betrachten und „outside the box“, also auch selbstreflexiv zu denken.

Obgleich diese Wirkungserwartungen an das Musizieren zunächst Hypothesen sind, die empirisch zu prüfen wären, gibt es doch zahlreiche Studien, die eine solche Wirkung auf das Vermögen der EF nahelegen (Fujioka, Ross, Kakigi, Pantev & Trainor, 2006; Holochwost et al., 2017; interessant ist auch eine Studie, die zeigt, dass Kinder mit Defiziten im Bereich der EF weitaus weniger in der Lage waren, musikalische Strukturen und Intonationsformen zu erkennen, als Kinder mit gut ausgebildeten Funktionen, vgl. Lesiuk, 2015). Jose Luis Hernandez nennt Studien, die den Zusammenhang zwischen musikalischer Bildung und (für das Arbeitsgedächtnis wichtigen) Sprachkompetenzen zeigen (Ho, Cheung & Chan, 2003; siehe ergänzend auch Moreno, 2009): „Insgesamt zeigen diese Forschungsarbeiten, dass Musiker, verglichen mit Nichtmusikern, ein besseres Arbeitsgedächtnis und eine ausgeprägtere Fähigkeit zeigten, mentale Kontrolle während des Erinnerns zu realisieren.“ (S. 2f.). So ist beispielsweise eine (auch neurologisch orientierte) Forschungsarbeit von Pallesen et al. (2010) ausdrücklich auf die für professionelle Musikerinnen und Musiker grundlegende Fähigkeit gerichtet, beim aktuellen Spiel immer das größere Ganze im Blick zu haben, was eine Leistung sowohl des Arbeitsgedächtnisses als auch der Konzentrationsfähigkeit ist. Beide Fähigkeiten, so die Forschergruppe, waren bei Musikern stärker ausgeprägt als bei Nichtmusikern. Hier wie bei den folgenden Forschungshinweisen sollte allerdings bedacht werden, dass es um statistische Trends geht, denen mehr oder minder umfangreiche Teilgruppen nicht folgen; von „den Musikern“ zu sprechen, ist deshalb problematisch. Auch andere kognitive Funktionen, die mit den EF zusammenhängen, wurden zitierten Studien zufolge durch das Musizieren verbessert (z.B. Camilleri, 2007; Campe & Kaufman, 2011; Sportman, Robinson & Sinclair, 2010). Hernandez schließt dann seine Überlegungen mit dem Hinweis, dass sozial benachteiligte Kinder besonders von einer ästhetischen Erziehung profitieren können, weil diese das Einüben der EF über das gesamte sinnliche und körperliche Engagement und die Freude an der künstlerischen Produktion besser ermöglichen als die „literacy instruction“, das heißt die traditionelle kognitiv zentrierte Schuldidaktik (dazu auch Diamond & Lee, 2011). Diese künstlerische Didaktik sei die des 21. Jahrhunderts: Ihre Fokussierung auf die Förderung bzw. Ausbildung der EF über den didaktischen Weg ästhetischer Aktivitäten und eines „arts minded curriculum“ sei ein äußerst vielversprechendes Motiv für die Evolution einer zeitgemäßen Bildung (dazu auch Granados & Callejón, 2010).

Man kann diese Überlegungen, die sich auf die besonderen Chancen einer Arbeit mit sozial benachteiligten Kindern beziehen, ohne Schwierigkeiten durch weitere Forschungsarbeiten stützen

– wie erwähnt, immer mit dem Bewusstsein, dass es um mehr oder minder ausgeprägte statistische Trends geht, die nicht jeden Einzelfall betreffen. So zeigt beispielsweise eine Studie von Helen Neville et al. (2008) wiederum den erwähnten interessanten Doppelaspekt der EF als Voraussetzung, aber auch Wirkung bestimmter kultureller Aktivitäten wie der des Musizierens (und bietet damit auch ein weiteres Argument, diese Frage nach Ursache und Wirkung nicht monokausal zu beantworten, siehe dazu auch Schellenberg, 2011; Zuk, Benjamin, Kenyon & Gaab, 2014). Die Autorengruppe geht mit Blick auf bisherige Forschungen davon aus, dass musikalisches Training verschiedene kognitive Fähigkeiten fördert und dass eine durch die Musik provozierte erhöhte Aufmerksamkeit einer der Gründe für diesen Effekt ist. Sie untersuchten in einem Experiment 88 Vorschulkinder aus Elternhäusern mit niedrigem Sozialstatus. Über eine Periode von 8 Wochen erhielten die Kinder täglich an jeweils 5 Tagen der Woche für 40 Minuten einen speziellen Unterricht: Die nach Zufallsprinzipien auf vier Gruppen aufgeteilten Versuchsteilnehmer erhielten in der ersten Gruppe Musikunterricht in Form des Singens von Liedern, des Musikhörens oder Instrumentespielens. Eine zweite Gruppe nahm an einem regulären Frühförderprogramm (Head Start) ohne Musik teil, eine dritte ebenso, jedoch mit geringerer Gruppengröße und damit einer dichteren Betreuungsmöglichkeit durch zwei Erwachsene, die Kinder der vierten Gruppe nahmen an einem Programm zur Aufmerksamkeitsschulung (z. B. Detailwahrnehmung) teil. Alle Kinder wurden vor und nach dem Experiment auf verbale Fähigkeiten, Intelligenzleistungen, räumliches Vorstellungsvermögen und einfache mathematische Fähigkeiten getestet. Sowohl die Kinder der Musik- als auch die der Aufmerksamkeitsgruppe zeigten sehr deutliche Verbesserungen ihrer nichtverbalen Intelligenzleistungen, ihrer mathematischen Grundfähigkeiten und ihres räumlichen Vorstellungsvermögens. Da sämtliche Gruppen parallelisiert waren, können diese Effekte kaum auf gruppenspezifische „mitgebrachte“ Fähigkeiten zurückgeführt werden. Auch in der Head-Start-Gruppe traten solche Effekte auf, aber überwiegend nur in der kleineren Gruppe mit dichter Betreuung durch die Lehrer (in allen Gruppen lehrten dieselben Betreuer!). Die erhöhte Aufmerksamkeit, die Lehrer auf die Kinder verwenden, ist daher – so die Autoren – für das Zustandekommen der Leistungsfortschritte wesentlich, da sie auch die Aufmerksamkeit der Kinder stärker fordert. Aufmerksamkeitsschulung und musikalisches Training in solchen Gruppen führen überdies zu vergleichbaren Lernfortschritten. Mit dieser Feststellung wird für die Forscherinnen und Forscher jedoch keineswegs der Musikeffekt als sekundär bewertet, auch die Musik, so folgern sie vielmehr, ist – wird sie aktiv und kindorientiert betrieben – immer eine Schulung der Aufmerksamkeit. Sie verwenden einige Mühe darauf, diesen so wichtigen Begriff der Aufmerksamkeit (attention) genau zu charakterisieren: als Zustand gesteigerter Wachsamkeit und selektiven Fokussierung auf besondere Objekte, Reize und Signale und gleichzeitig als Fähigkeit, für das je anstehende Problem irrelevante Informationen aus dem bewussten Wahrnehmungsfeld auszublenden. Zweifellos geht es dabei um die EF, ohne dass diese so benannt werden. Eine andere Forschungsgruppe um Michael Posner spricht in diesem Zusammenhang der Wirkungen künstlerischer Tätigkeiten von einer unmittelbar praktisch werdenden Form der Aufmerksamkeit (executive attention), die durch einen hohen Grad der Offenheit und Sensitivität für die Gegenstände der Wahrnehmung geprägt ist (Posner, Rothbart, Sheese & Kieras, 2008). Hier sind unmittelbare Bezüge beispielsweise zu den ästhetischen Theorien Immanuel Kants oder Friedrich Schillers erkennbar: Für beide Positionen besteht die Eigenart ästhetischer Wahrnehmung darin, dass dabei Einbildungskraft und Verstand in ein Spiel geraten, weil der Gegenstand der Betrachtung – z. B. ein altgriechisches Weihrelief – „schön“ oder „ästhetisch“ erscheint, ohne dass man argumentativ angeben kann, warum dies so ist, man kann es allenfalls umschreiben. Gerade diese Attraktivität und zugleich „Begriffslosigkeit“ des Kunstwerks fordert die Ver-

standeskräfte heraus: Das ist ziemlich genau der Zustand gesteigerter Aufmerksamkeit und kognitiver Offenheit, der auch nach den beschriebenen Transfer-Untersuchungen ein Merkmal des Musikhörens (und im weiteren Sinn jeder künstlerischen Tätigkeit) ist. Die executive attention ist insofern kein Epiphänomen der ästhetischen Wahrnehmung oder des ästhetischen Urteils, sondern deren Wesen. Aber in einer besonderen Weise: Die begriffsbildenden EF müssen im Fall einer ästhetischen Empfindung oder Wahrnehmung gerade „gezügelt“ werden – wie später aufgezeigt wird.

Diese kognitiven Prozesse sind an bestimmte neuronale Prozesse gebunden, die bei längerfristiger Aktivität auch in eine komplexere synaptische Vernetzung der betroffenen Hirn-Areale münden (dazu Olesen, Klingberg & Westerberg, 2004; Petitto, 2008). Die daraus sich ergebende praktische Folgerung ist, dass aktives Musikhören und Musizieren auch schon bei Vorschulkindern die verschiedenen Facetten der Aufmerksamkeit schult und damit kognitive Fähigkeiten fördert, die organisch manifest werden. Die anspruchsvolle Musik bildet mit der executive attention nicht nur das ästhetische Vermögen, sondern auch die hirnorganischen Voraussetzungen, diese Fähigkeit über das Ästhetische hinaus wirksam werden zu lassen. Effekte wie die Verbesserung des räumlichen Vorstellungsvermögens sind zwar auch in anderer Form (z. B. durch sportliche Betätigung) erreichbar – aber das spricht dafür, Grundlagen des Musizierens in Schulen zu vermitteln, damit Kinder entdecken können, ob sie hier ein für sie interessantes Betätigungsfeld finden. Später können dann solchen Bedürfnissen entsprechende weitergehende Angebote gemacht werden, so z. B. die Aufmerksamkeitsschulung durch genaue Naturbeobachtungen, durch das zeichnerische oder mathematische Üben, durch Gedichtinterpretationen usw. Was man auch wählt, wird zu einem Übungsfeld für die Aufmerksamkeits- und Wahrnehmungssensibilität, wenn es den eigenen Neigungen entspricht. Diese Wahlmöglichkeit macht neben weiteren Attributen eine humane, lebendige, individuellen Interessen gerecht werdende Vorschul- und Schulbildung aus.

Ellen Bialystok und Anne-Marie DePape (2009) untersuchten die Bedeutung bilingualer Lernprozesse und musikalischer Erfahrungen auf die Entwicklung der EF. Sie berichten von früheren Forschungen, die zeigen, dass Menschen, die mehrere Sprachen sprechen, einen höheren Level der exekutiven Kontrolle erreichen als vergleichbare „Monolinguals“. Diese Fähigkeiten seien im Alter auch eine unter vielen Bedingungen, das Risiko von Demenz-Erkrankungen zu mindern. Sie gehen dabei von der Hypothese aus, dass bilingual ausgebildete Menschen häufig beim Sprechen einer Sprache die andere gleichsam im Hintergrund mitdenken – was, wie auch das Wechseln von einer in die andere Sprache – einen hohen Grad der (selektiven) Aufmerksamkeit und Sprachkontrolle verlangt, ebenso eine ausgeprägte Flexibilität, um in den verschiedenen Sprachsystemen mental präsent zu sein, schließlich auch ein gutes „Arbeitsgedächtnis“.

Ähnliche Anforderungen ergeben sich nach ihrer Meinung aber auch beim gemeinsamen Musizieren: Fortwährende geistige Wachheit und Konzentration, Beobachtung der Klänge und Partner, Wechsel (kognitive Flexibilität) von Spielweisen und Intonationsformen, wenn dies im Dienst eines guten Zusammenspiels nötig wird, seien konstitutive Bedingungen, damit aber auch Lernerfahrungen des anspruchsvollen Musizierens in der Gemeinschaft. Sie untersuchten Gruppen von jungen Erwachsenen, die zwei Sprachen beherrschten, und Musikern (Instrumentalisten oder Vokalisten) im Vergleich mit einer Kontrollgruppe einsprachiger Personen. Während bilingual und musikalisch trainierte Personen den einsprachigen und musikalisch weniger Geübten in einigen Tests der EF überlegen waren, zeigte sich in einem Test mit einem linguistischen Konflikt eine spezifische Überlegenheit der Musiker-Gruppe. Wenn beispielsweise die Worte „Hoch“ oder „Tief“ zu lesen und identifizieren sind und gleichzeitig mit hoher oder niedriger Stimme gesungen

werden, so verlangt die Konzentration auf das richtige geschriebene Wort bei abweichender Intonation („Tief“ wird z. B. mit hoher Stimme gesungen) eine hohe selektive Aufmerksamkeit. Von dieser Art waren auditive Aufgaben, die von den Musikern besser als von Bilingualen und Nichtmusikern gelöst wurden. Die Autorinnen betonen, dass sie den „Mechanismus“, der für diese Effekte maßgebend ist, noch nicht erklären können – hier wären Testaufgaben und musikalische Gebilde in Gestalt einer Strukturanalyse genauer zu interpretieren, um verstehen zu können, wie solche Effekte zustande kommen und ob man mit guten Gründen erwarten kann, dass sie auch in weiteren Studien auftauchen und pädagogische Perspektiven eröffnen.

Während es in diesem Experiment um das aktive Musizieren geht, sind andere Forschungen auf das Musikhören bezogen: Auch hier zeigen sich begünstigende Wirkungen für die Ausbildung von EF. Ein Beispiel ist die Studie von Devarajan Sridharan et al. (2007), in der es um die Frage ging, was sich im Gehirn musikhörender Personen ereignet. Allerdings gilt das eigentliche Interesse dieser Forschergruppe nicht der Musik – was hier stellvertretend für den in den meisten Studien beobachtbaren Umstand erwähnt werden soll, dass künstlerische Erfahrungen und Tätigkeiten so behandelt werden, als könne man an ihrer Stelle ebenso gut irgendwelche außerkünstlerischen Bedingungsvariablen auswählen, um die Stimulation wie Förderung der EF zu untersuchen. Die zentrale Fragestellung in dieser magnetresonanztomografischen Studie war, welche Stellen des Gehirns jeweils (stoffwechsel-)aktiv sind, wenn das Beobachtungsfeld gedanklich strukturiert oder „segmentiert“, d. h. in sinntragende Einheiten untergliedert wird.

Das sensorische System des Menschen ist einem kontinuierlichen Strom von zunächst undifferenzierten Eindrücken ausgesetzt, die – um beurteilt, verstanden, vielleicht auch nur sinnstiftend gefühlt werden zu können – irgendwie strukturiert werden müssen. Dieser perzeptive und gedankliche Ordnungsprozess soll unter möglichst wirklichkeitsgetreuen Bedingungen untersucht werden (ecologically valid stimuli). Offenbar haben frühere Studien gezeigt, dass kernspintomografische Untersuchungen „in der Röhre“ bei bestimmten Aufgabenstellungen Gehirnaktivitäten anzeigen, die so bei analogen Aufgabenstellungen in natürlichen Umwelten nicht mehr oder in anderen Aktivitätsmustern beobachtbar sind (dazu auch Hasson, Nir, Levy, Fuhrmann & Malach, 2004).

Ob dieses Problem mit dem hier gewählten Ansatz gelöst wird, ist fraglich. Die Forscher spielten den im Kernspintomographen (MRI-Scanner) „entspannt“ liegenden 18 männlichen und weiblichen Versuchspersonen Symphonien des in Laienkreisen wenig bekannten „Barock“-Komponisten William Boyce (1711-79) vor, wobei sie sich besonders für die neuronalen Reaktionen auf die erlebten musikalischen Übergänge der ausgeprägt strukturierten und phrasierten Kompositionen interessierten. Bei diesen Übergängen z. B. des einen in ein anderes Motiv, der einen in eine andere Takt- bzw. Intonationsfolge, des einen Satzes in einen anderen Satz oder auch der tonlosen Pause zeigten sich die stärksten Aktivitäten, und zwar insbesondere in zwei Arealen des Gehirns (neural networks), deren kognitive Funktionen man schon kennt: zunächst eine Hirnregion, die bei der Identifikation markanter Ereignisse (wie einer plötzlichen Pause im musikalischen Geschehen, einem Crescendo oder einer Modulation der Tonart) aktiv wird, gefolgt von einem anderen Netzwerk, dessen Aktivierung mit einer erhöhten Aufmerksamkeit in Erwartung eines neuen Ereignisses einhergeht, ebenso – hier kommt wieder die technische Sprache vieler Neurologen zum Ausdruck – mit einem „Update des Arbeitsgedächtnisses“, d. h. mit der Eingliederung des bisher Gehörten und des Erwarteten in ein vorläufiges sinntragendes Gesamtbild des kompositorischen Geschehens.

Dreierlei scheint an diesem Beispiel bedenkenswert zu sein: Es werden ohne Zweifel die EF und ihre Förderung durch die gehörte Musik thematisiert, obgleich dieser Begriff überhaupt nicht

Thema der vorliegenden Untersuchung ist. Das dürfte, wie schon mehrfach erwähnt, für zahlreiche Beispiele der bisherigen und auch zukünftigen Transferforschung gelten, die nicht explizit die EF thematisieren. Weiterhin wäre es lohnend, den Charakter der Transferwirkung in den strukturbildenden Prozessen des Gehirns genauer zu charakterisieren, um zu verstehen, wie solche Wirkungen aus den beschriebenen Aktivierungen bestimmter Zentren hervorgehen. Dazu hier nur einige Hinweise. Die Autorinnen weisen in einem Kommentar der Stanford-University (Baker, M., 2007) darauf hin, dass „das Anhören von Musik ein Weg sein könnte, das Gehirn in die Lage zu versetzen, Ereignisse zu antizipieren und seine Umwelt mit wacher Aufmerksamkeit wahrzunehmen.“ Wie ist aber dieser „Transfer“ aus neurologischer Sicht prozessual zu verstehen (dazu auch Rittelmeyer, 2010, S. 45ff)? Zwei elementare Einsichten neurologischer Forschung sind in diesem Zusammenhang für die Transferforschung aufklärend: Erstens die Tatsache der Plastizität des Gehirns, d. h. die Reduktion oder Bereicherung synaptischer Verbindungen in Abhängigkeit von den sensorischen, aber auch eigenaktiv generierten kognitiven sowie emotionalen Erfahrungen bzw. Tätigkeiten des Individuums. Komplexere und dichtere Vernetzungen der Hirnarchitektur wiederum scheinen organische Bedingungen dafür bereitzustellen, auch das eigene Denken, Fühlen und Handeln komplexer auszugestalten.

Ferner und speziell auf die künstlerische Tätigkeit bezogen kann man – wie eben beispielhaft beschrieben – beobachten, welche Hirnareale durch welche künstlerischen Aktivitäten und Erfahrungen besonders stimuliert und damit reichhaltiger vernetzt werden. Die Effekte stellen sich z. B. bei klavierübenden Kindern schon nach wenigen Übungsstunden ein. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass es kein bestimmtes „Musikzentrum“, kein „Malzentrum“ im Gehirn gibt – es sind vielmehr immer zahlreiche Hirnareale betroffen, mit starken interindividuellen Unterschieden. So hören z. B. Musikexperten nicht weitaus überwiegend – wie viele Laien – mit den akustischen und motorischen Zentren, sondern auch mit neokortikalen Arealen im Vorderhirn, die anzeigen, dass sich hier vermutlich eine denkende oder die musikalische Struktur wahrnehmende Rezeption ereignet. Werden häufiger relativ komplexe Kompositionen gehört oder gespielt, vernetzen sich entsprechende Areale – so jedenfalls erste Indizien – komplexer, was wiederum, neben vielen weiteren Faktoren, Voraussetzungen eines komplexeren Zusammenwirkens geistiger und sensorischer Aktivitäten schafft (Birbaumer & Schmidt, 2006, S. 763ff). Transfereffekte künstlerischer Tätigkeiten werden aus Sicht der Hirnforschung dadurch erklärbar, dass z. B. die Fähigkeit, den emotionalen Gehalt der verbalen Äußerung eines anderen Menschen identifizieren zu können (eine wichtige Teilfähigkeit der Empathie), im akuten Vollzug solcher Verstehens-Handlungen mit Aktivitäten des gleichen Hirnareals einhergeht, das auch besonders engagiert ist, wenn man Musik aktiv hört oder praktisch ausübt. Da sich diese Hirnregion durch musikalische Tätigkeiten komplexer ausbilden, wird ebenso jene Kompetenz der Identifikation prosodischer bzw. paraverbalen Botschaften in der Alltagskommunikation bereichert (Jentschke & Koelsch, 2009; Koelsch, 2005; Kraus, Skoe, Parbery-Clark & Ashley, 2009; Strait, Kraus, Skoe & Ashley, 2009). Aus dieser Sicht besteht also gar kein echter „Transfer“ etwa einer gehörten Symphonie auf die EF – es sind vielmehr zum Teil die gleichen Hirnareale, die bei der Musikrezeption und beim aufmerksamen Betrachten beispielsweise einer technischen Zeichnung aktiv und bereichert sind. Der eben schon erwähnte Michael Posner untersuchte mit seinem Forschungsteam Wirkungen verschiedener Kunstfächer (Musik sowie bildende und darstellende Kunst) auf die kognitive Entwicklung von Kindern. Ausgehend von der Hypothese, dass der Enthusiasmus, den viele junge Menschen für künstlerische Aktivitäten entwickeln, eine aufmerksamkeitsstimulierende Wirkung hat, untersuchten sie nicht nur diese Leistungen, sondern auch die sie begleitenden Hirnprozesse. Sie konnten zeigen, dass zwar je nach Kunstform sehr verschiedene Hirnareale bei künst-

lerischen Tätigkeit aktiv sind, dass jedoch bei kunstinteressierten Personen auch eine Art generelle Offenheit für ästhetische Phänomene existiert, die ihrerseits häufig einhergeht mit der Temperament-Eigenschaft der „orienting sensitivity“, d. h. einer generellen Neigung zur Offenheit oder Neugier neuen Phänomenen gegenüber. Posner et al. konnten zeigen, dass die hohe Motivation, die – in diesem Fall 4- bis 10-jährige – Kinder für bestimmte künstlerische Tätigkeiten aufbrachten, auch zu einer generell höheren Aufmerksamkeitsbereitschaft, also kognitiven Wachheit führte. Die Autoren sprechen in diesem Zusammenhang von einer unmittelbar praktisch werdenden Form der Aufmerksamkeit (executive attention), die durch einen hohen Grad der Offenheit und Sensitivität für die Objekte der Wahrnehmung geprägt ist. Für die gesamte Transferforschung wichtig ist übrigens in diesem Zusammenhang die Feststellung des Forscherteams, dass für solche Effekte ein wirkliches Interesse an künstlerischen Tätigkeiten grundlegend ist: Darauf ist in vielen Studien nicht hinreichend geachtet worden, was niedrigere Transfereffekte (z. B. niedriger Korrelationen zwischen der Intensität des Theaterspielens und kognitiven bzw. sozialen Fähigkeiten) erklären könnte. Gerade diese durch künstlerisches Tun forcierte exekutive Aufmerksamkeit/Wachheit geht offenbar auch einher mit einer gesteigerten Fähigkeit, seine Gedanken und Emotionen zu kontrollieren (siehe dazu auch Rueda, Rothbart, McCandliss, Saccomanno & Posner, 2005).

Bevor nach diesem kurzen Einblick in Forschungen insbesondere zu den Transferwirkungen künstlerischer Tätigkeiten auf die EF die Frage nach dem Zusammenhang dieser Funktionen mit der ästhetischen Erfahrung eingegangen wird, sei noch rasch eine dritte Anmerkung zum Artikel von Sridharan et al. angefügt. Sie leitet unmittelbar zum Folgethema über und bezieht sich auf das auch in diesem Artikel erkennbare Ausblenden der Frage, was über die exekutiv gesteuerte Aufmerksamkeit hinaus beim Musikhören den eigentlichen ästhetischen Reiz ausmacht, der sich nicht bei jedem Rezipienten, aber doch im Fall von kunstvoll wirkenden Kompositionen bei manchen künstlerischen Darbietungen einstellt. Die Forschungsgruppe betont in der erwähnten Presseerklärung zwar, dass die besondere regionale Aktivität neuronaler Netze deutlich macht, dass offenbar ein Reiz darin liegt, das Unerwartete neugierig und wachsam zu erwarten. Wäre aber in der Komposition nicht immer wieder angelegt, dass sich Unerwartetes (z. B. nach einer Modulation) ereignet, dass also das Werk keine ausgeprägte Redundanz aufweist, dann würde sich kein ästhetischer Reiz einstellen. Diese in der Forschung angedeutete, aber in keiner Weise wirklich beachtete Spur aufzunehmen und zu verfolgen, ist wichtig, wenn im Hinblick auf künstlerische Aktivitäten kein naiver Instrumentalismus favorisiert werden soll – etwa in Gestalt eines „Gehirnjoggings“ für die Entwicklung der EF durch Musik, Theater und Malerei (vgl. eine solche flache Trainingsperspektive auf die Künste z. B. bei Moreno et al., 2011).

Es ist hier nicht der Raum, ausführlich auf diese für die Kulturelle Bildung und deren Erforschung entscheidende Frage einzugehen, worin genau das Ästhetische, das Künstlerische, die ästhetische Erfahrung usw. besteht (vgl. Hinweis in Rittelmeyer, 2014b, 2015; Rittelmeyer, 2016, Kapitel 6). Einige Bemerkungen mögen aber deutlich machen, wie sich von bestimmten Begriffsbestimmungen des Ästhetischen her auch ein Verständnis von EF ergeben kann, das sich von den Vorstellungsmodellen der Transferforschung unterscheidet. Denn die ästhetische Erfahrung wird in den verschiedenen Theorien immer wieder als etwas beschrieben, das sich von einer begrifflichen Feststellung (im wörtlichen Sinn) oder von der wissenschaftlichen Erkenntnis klar unterscheidet: Die Rede ist vom Ästhetischen als „Rätsel“ (Adorno, Adorno & Tiedemann, 1973, S. 182), als „autoreflexive Botschaft, die den Rezipienten zur Frage veranlasst, was ihn da so berührt“ (Eco, 1994, S. 145), als erlebtes Objekt, das „wie eine Antwort wirkt, zu der die Frage erst gesucht werden muss“ (Nibbrig, 1978, S. 11), als „begriffslose Erfahrung der inneren Zweckmä-

ßigkeit eines Gegenstandes“ (Kant, 1968/1790, § 6ff., S. 63ff). Geht man von solchen Umschreibungen des Ästhetischen aus, dann handelt es sich bei künstlerischen Erfahrungen offenbar nicht um Erkenntnisprozesse, die zu bestimmten Begriffen der künstlerischen Objekte führen. Vielmehr geht es um einen Zustand, in dem Einbildungskraft und Verstand in ein Spiel geraten: Man fragt sich, vereinfacht ausgedrückt, wodurch es kommt, dass eine Musikdarbietung, ein Theaterstück, eine Tanzperformance so schön, so stimmig, so aussagekräftig erscheint, obwohl man über keinen Begriff der Sache verfügt, d. h. die Wirkung des Kunstwerks nicht argumentativ „auf den Begriff bringen“ kann. Über den ästhetischen Geschmack lässt sich, wie es der Philosoph Kant formulierte, zwar streiten, nicht aber disputieren, d. h. durch Beweise entscheiden.

Folgt man einer solchen Auffassung der ästhetischen Wirkung, dann haben die EF in der ästhetischen Wahrnehmung auch einen bestimmten Erscheinungs- und Wirksamkeitsmodus, der intensiver erforscht und reflektiert werden sollte, sich aber zunächst so umschreiben lässt: Dieser ästhetische Zustand kann nur entstehen, wenn die Tätigkeit der EF abgedämpft wird, wenn die von Friedrich Schiller so genannte „gewalttätige Usurpation der Denkkraft“ die pathische bzw. sinnlichen Erfahrungsfähigkeit nicht unterdrückt oder zu eliminieren sucht. Versteht man den Begriff EF als Synonym für Selbststeuerung, Selbstregulation oder selbstbestimmtes Handeln, kann man ihnen jedoch eine wesentliche Funktion auch für die Fähigkeit zuschreiben, ästhetische Ereignisse aus einer solchen Mittelstellung zwischen begrifflichem Zugriff und sinnlicher Passivität bewusst und aktiv wahrnehmen zu können. Es wird jedenfalls für die Frage, wie sich ästhetische Erfahrungen und EF in der konkreten pädagogischen Arbeit mit Kindern in das richtige Verhältnis zueinander bringen lassen, notwendig sein, diese begrifflichen Aspekte aufzuklären und zu erkennen, dass geistige Flexibilität, selektive Aufmerksamkeit etc. hier möglicherweise in einer ganz bestimmten Konstellation gefördert werden müssen, wenn damit die ästhetische Erfahrungsfähigkeit gebildet werden soll (Schiller, 1989/1795, 13. Brief). Jede Indienstnahme beispielsweise der Kunst für bestimmte Erziehungsziele würde, wenn man die eben beschriebene Bestimmung des Ästhetischen zugrunde legt, dieses Ästhetische selber zerstören, d. h. an die Stelle eines freien Spiels von Einbildungskraft und Verstand eine zweckgerichtete, also technische bzw. nicht-ästhetische Veranstaltung setzen. Ähnlich, wie es Schiller zufolge zwar eine „schöne Kunst der Leidenschaften“ gibt (man denke an eine dramatische Oper), nicht aber eine „schöne leidenschaftliche Kunst“ (die vorrangig die sinnlich-pathische, nicht gleichermaßen die vernünftig-aktive Seite des Menschen ansprechen würde, also in Wahrheit nicht künstlerisch wäre), so gibt es auch keine „didaktische (lehrende) schöne Kunst“, denn „nichts streitet mehr mit dem Begriff der Schönheit, als dem Gemüt eine bestimmte Tendenz zu geben.“ Damit entsteht allerdings ein Widerspruch zu den Intentionen der zuvor behandelten Transferforschung, die sich mit den Wirkungen künstlerischer Erfahrungen auf die EF (oder mit der umgekehrten Wirkungskette von diesen Funktionen auf die künstlerische Wahrnehmung und Produktivität) beschäftigt. Sofern man jedoch davon ausgeht, dass die Transferwirkungen des Künstlerischen wichtige Bildungsinstanzen sind, die aber mit der eigentlichen ästhetischen Bildung zwar einhergehen, von dieser aber unterschieden werden müssen, hebt sich dieser Widerspruch auf. Im folgenden Kapitel soll in dessen noch tiefergehend ausgeleuchtet werden, warum die Transferforschung aufklärend gerade auch für die pädagogische Würdigung der ästhetischen Bildung ist.

Es ist vielleicht für die erziehungstheoretische Reflexion der künstlerischen Arbeit mit Kindern, aber auch für deren naturwissenschaftliche Bildung interessant, noch einmal auf Friedrich Schillers Idee zurückzukommen, dass bestimmte „Grundkräfte“ des Menschen geschult werden müssen, um eine ästhetische Erfahrung zu ermöglichen (seine Begriffe dafür sind die des „Stofftriebes“, d. h. der sinnlichen Seite des Menschen, und des „Formtriebes“, der vernünftigen Seite des

Menschen – der vielleicht heute problematisch anmutende Dualismus muss uns jetzt nicht beschäftigen, siehe dazu Überlegungen bei Rittelmeyer, 2014, Kap. 11). Schiller bezeichnet es als eine sowohl historisch-kulturelle als auch pädagogische Bildungsaufgabe, die Grundkräfte der ästhetischen Weltzuwendung, Fühlen und Denken, auf die bestmögliche Art auszubilden und in einem harmonischen Wechselverhältnis zu entwickeln. Nicht um seine vielleicht idealistisch erscheinende Terminologie, sondern um die folgende anthropologisch begründete Aufgabe menschlicher Bildung geht es gerade mit Blick auf die Arbeit mit Kindern: „Je vielseitiger sich die Empfänglichkeit ausbildet, je beweglicher dieselbe ist, und je mehr Fläche sie den Erscheinungen darbietet, desto mehr Welt ergreift der Mensch, desto mehr Anlagen entwickelt er in sich; je mehr Kraft und Tiefe die Persönlichkeit, je mehr Freiheit die Vernunft gewinnt, desto mehr Welt begreift der Mensch, desto mehr Form schafft er außer sich. Seine Kultur wird also darin bestehen, erstlich: dem empfangenden Vermögen die vielfältigsten Berührungen mit der Welt zu verschaffen und auf Seiten des Gefühls die Passivität aufs Höchste zu treiben; zweitens: dem bestimmenden Vermögen die höchste Unabhängigkeit von dem empfangenden zu erwerben und auf Seiten der Vernunft die Aktivität aufs Höchste zu treiben.“ (13. Brief) Es ist eine interessante Aufgabe, solche Balancierungen sinnlicher und begrifflich-formgebender Aktivitäten im kindlichen Spiel, in den Naturbeobachtungen, in Zeichnungen oder Liedern der Kinder aufzuspüren.

3.3 Der Konflikt zwischen MINT-Orientierungen und künstlerischen Lernfeldern vor dem Hintergrund neuerer Studien zur Bildungsaspiration

Einleitend zu dieser Expertise wurde schon mit Blick auf Schüler- und Elternstudien (Rat für Kulturelle Bildung, 2015, 2017) darauf hingewiesen, dass kulturelle Interessen und Aktivitäten von Jugendlichen wie Erwachsenen wesentliche Wirkungsfaktoren, aber auch Folgen einer allgemeinen Bildungsaspiration sein dürften. Es ist zu vermuten, dass solche Wechselwirkungen künstlerischer und nichtkünstlerischer Interessen auch für das Gebiet der EF bedeutsam sind. Denkt man sich in solche Zusammenhänge einmal genauer herein, dann muss es erstaunen, dass bisher zwar häufig die Effekte künstlerischer Aktivitäten auf außerkünstlerische Fähigkeiten und Interessen untersucht wurden, nur sehr selten aber der umgekehrte Vorgang. So wurde beispielsweise häufiger der Einfluss musikalischer Tätigkeiten auf mathematische Kompetenzen (insbesondere Topologie und Geometrie) studiert, vgl. z. B. Spelke, Elizabeth (2008) nicht aber der denkbare Einfluss mathematischer Kenntnisse und Fähigkeiten auf künstlerische Ambitionen und Tätigkeiten. In einer gleich noch zu besprechenden, für den Forschungstypus der Transferuntersuchungen ungewöhnlich reflektierten empirischen Studie von Fleming et al. (2010) merken die Forscherin und Forscher erstaunt an, dass traditionell kaum nach den Transferwirkungen der Mathematik auf musikalische Fähigkeiten gefragt wird, fast immer jedoch nach dem umgekehrten Effekt der Musik auf mathematische Leistungen.

Empirische Untersuchungsbeispiele, die den Sinn der Erforschung derartiger wechselseitiger, nicht mehr unidirektionaler Wirkungskomplexe deutlich machen, kann man der Fachliteratur in erheblicher Anzahl entnehmen; es käme nun allerdings darauf an, diese Wechselwirkungen in zukünftigen Forschungsprojekten, obgleich das methodisch nicht einfach ist, im konkreten Zusammenhang zu untersuchen. So gibt es beispielsweise empirische Studien, die einen Einfluss der Lektüre anspruchsvoller belletristischer Literatur auf die Fähigkeit zeigen, sich in andere Personen hineinversetzen und ihre Gefühle nachempfinden zu können (z.B. Bal & Veltkamp, 2013; Kidd, Palmeri & Aslin, 2013). Es gibt aber auch Hinweise darauf, dass ein Verstehen anspruchsvoller belletristischer Literatur empathische Fähigkeiten voraussetzt (z.B. Argo, Zhu & Dahl, 2007; Frederking et al., 2017). Mit Blick auf homologe Strukturen der Musik und der verbalen Sprache

sind Effekte musikalischer Aktivitäten auf das Sprachvermögen aufgedeckt worden (z.B. Gordon, Fehd & McCandliss, 2015; Laufer, 1995), aber eine Förderung des Sprachvermögens begünstigt offenbar auch die Fähigkeit, musikalische Strukturen bewusster wahrzunehmen (Grolig, Cohrdes & Schroeder, 2017). Musikalische Erfahrungen fördern, wie früher schon erwähnt, die EF: Wachheit, Aufmerksamkeit, Selbstkontrolle im Denken etc. (Holochwost et al., 2017; Moreno et al., 2011; Park et al., 2015), aber schwächer ausgebildete EF führen auch zu einer geringeren Fähigkeit, musikalische Strukturen und Ausdrucksformen wahrnehmen bzw. identifizieren zu können (Lesiuk, 2015). Künstlerische Tätigkeiten einschließlich der darstellenden Künste fördern die intellektuelle Offenheit für Phänomene unserer Lebenswelt (Lehmann - Wermser & Krupp - Schleußner, 2017; Posner et al., 2008), aber diese Offenheit fördert auch die Bereitschaft, ins Theater zu gehen (Kröner, Lüdtko, Maaz, Trautwein & Köller, 2008). In dieser Hinsicht sind auch im Hinblick auf den Zusammenhang der EF mit künstlerischen Tätigkeiten neuartige, komplexere Forschungsansätze zu entwickeln.

In der eben schon erwähnten Studie von Fleming et al. 2010 wird ein interessanter erweiterter Erklärungsansatz für Transferwirkungen dargestellt, der in diesem Zusammenhang der Bildungsaspiration und der komplexen Wechselwirkungen künstlerischer und nichtkünstlerischer Erfahrungen erwähnenswert ist. Die britische Forschungsgruppe untersuchte in dem mehrjährigen Projekt den Einfluss des Theaterspielens auf verschiedene Leistungen und Einstellungen, von denen für unseren Zusammenhang die Mathematik besonders interessant, weil auf die EF beziehbar ist. Die untersuchten Jugendlichen kamen überwiegend aus eher ungünstigen familialen bzw. sozioökonomischen Verhältnissen. Die Studie zeigte, dass in den beiden Theatergruppen am Ende der Projektzeit deutlich bessere Mathematikleistungen erzielt wurden als in zwei vergleichbaren Kontrollgruppen mit traditioneller Förderung. Sie wenden sich ausdrücklich dagegen, das Theaterspielen für akademische Leistungen zu instrumentalisieren, verstehen indessen ihren eigenen Ansatz als Ausweitung der Erkenntnisse über das, was sich inner- und außerfachlich in solchen künstlerischen Prozessen ereignet. So führen sie die verbesserten mathematischen Leistungen nicht auf unmittelbare Wirkungen des Theaterspielens zurück, sondern unter anderem darauf, dass in den Theaterprojekten eine ganze Reihe von Lernerfahrungen gemacht werden können, wozu auch eine Stärkung des Selbstvertrauens gehört. Es seien, so die Vermutung, derartige künstlerisch angeregte, ihrerseits jedoch nichtkünstlerischen Lernerfahrungen, die dann auch in den einzelnen akademischen Leistungen moderierend wirksam werden.

Sehr hilfreich könnte es für eine weitere Aufklärung der Wechselbeziehungen künstlerischer und nichtkünstlerischer Erfahrungen darüber hinaus sein, in den spontanen (also didaktisch von Eltern oder Erzieherinnen nicht in Regie genommenen) Aktivitäten der Kinder solche Indizien zu identifizieren. Bevor einige Beispiele dazu betrachtet werden, ist vielleicht zunächst ein Hinweis auf die Bedeutung des freien, d. h. nicht didaktisch gelenkten Spiels an sich für elementare Bildungsprozesse des Kindes weiterführend. Dazu gibt es eine reichhaltige Fachliteratur, ich möchte hier nur einen bestimmten Gedanken vorstellen, der sich auf das Symbolspiel bezieht.

In seinem lesenswerten Kommentar zu Friedrich Schillers Briefen über die ästhetische Erziehung des Menschen (1795) hat Heinrich Deinhardt, rund 50 Jahre nach Schillers Tod, eine auch für unseren Zusammenhang wegweisende pädagogische Überlegung vorgetragen. „Das Kind setzt sich zu allen Gegenständen, die seinen Sinn frappieren, in ein persönliches Verhältnis, indem es sie zu Gegenständen des Verlangens oder der Furcht macht, es gibt also seinem praktischen Interesse die weiteste Ausdehnung, und was der ‚werdende Mensch‘ an sich tut, hat der Erzieher in dieser wie in allen anderen Beziehungen zu regeln und durchzusetzen. Sonach ist es seine Aufgabe, die Gegenstände des theoretischen Interesses, das bei dem Zögling erst zu entwickeln ist, in den Umkreis des praktischen Interesses mittels der Vorstellungen, die er von ihnen erweckt,

hereinzuziehen; um dies aber zu können, vorerst die Gegenstände, zu denen der Zögling an sich ein unmittelbares und praktisches Verhältnis hat, zu objektivieren, d. h., zu Objekten, mit denen sich die Vorstellung frei beschäftigt ... zu erheben.“ (Deinhardt, 1922, S. 129; siehe hierzu und zu den folgenden Beispielen: Rittelmeyer, 2014a, S. 45ff).

Erziehungsaufgaben ergeben sich demnach aus einer genauen Phänomenologie dessen, was Kinder auch von sich aus schon tun – dies gilt es unterstützend „durchzusetzen“, d. h. in Gestalt von Aktivitäts- oder Spielräumen zu ermöglichen. Praktische Interessen werden beispielsweise durch Sätze der Art „Das will ich haben“ oder „Weg damit, das mag ich nicht“ angezeigt, wobei man diese einfachen Grundformeln durch beliebige verfeinerte Sprachformen ersetzen kann. Theoretische Interessen – Deinhardt bewegt sich hier wie Schiller in der Denktradition Immanuel Kants – sind hingegen nicht auf den Besitz, den Genuss oder auch die Antipathie im Hinblick auf Objekte der Anschauung gerichtet, sondern initiieren das Bestreben, einen Sachverhalt oder ein Objekt betrachtend zu verstehen: Eine interessante Erscheinungsform auch der EF. Es ist eine Aufgabe jeder Zivilisation des Menschen, diesen in die Lage zu versetzen, seine praktischen Interessen auch zu Gegenständen der theoretischen machen zu können, also sie gleichsam von einem neutralen Standpunkt aus betrachten und so auch kritisch beurteilen zu können. Es war sowohl Schiller als auch Deinhardt bewusst, dass Kinder in ihren Spielen und Erwachsene in ihren künstlerischen Aktivitäten diesen Zivilisationsprozess in einer ganz besonderen, eigenaktiven und nicht von außen gelenkten Weise inszenieren.

Beobachtet man beispielsweise das Spiel von Kindern mit einer einfachen stabförmigen Holzpuppe etwa im zweiten Lebensjahr, so fällt gelegentlich auf, dass die Figur in den Mund gesteckt, in der Folgezeit aber immer mehr zu einem Objekt der Betrachtung wird. Das „Schmecken“ der Puppe kann verschieden gedeutet werden – in bestimmten Situationen kann es durchaus lustvoll (also Gegenstand eines praktischen Interesses) sein und damit zum Ausgangsbild für eine bemerkenswerte Prozess-Beobachtung werden. Denn in der Folgezeit wendet sich das Kind diesem Gegenstand – insbesondere im Symbolspiel – zunehmend in einer Vorform der Betrachtung zu, indem es vielfältige Phantasien in die Figur projiziert (diese kann dann ein Kind, eine Mutter, einen Polizisten usw. in mannigfaltigen Rollen repräsentieren). Einerseits würden bloße Phantasien das Kind nicht befriedigen (obgleich es im imaginativen Phantasiespiel auch die gibt), denn es sucht sich die Spielfiguren, sucht also die sinnliche Gegenwart des Objektes. Andererseits macht es den Spielgegenstand aber nicht mehr zum bloßen Objekt seiner praktischen Bedürfnisse, sondern auch zu einem der theoretischen, d. h. hier: phantasievollen, geistig produktiven Betrachtung. Keinem anderen Muster folgt aber im Prinzip die theoretische Betrachtung des Erwachsenen, der mit Blick auf konkrete oder ideelle Phänomene seine Ideen, Einfälle, Gedanken entwickelt. Ist das vielleicht eine elementare Form jener Fähigkeit, die als „kognitive Flexibilität“ bezeichnet wird?

Genau diesen Vorgang hat Friedrich Schiller im Zusammenhang seiner Briefe über die ästhetische Erziehung im Auge: das ästhetische Werk befriedigt unsere sinnlichen (bzw. praktischen) Elementarinteressen; da es aber nicht durch bloße sinnliche Stimulation zustande kommt, ist es zugleich Gegenstand der theoretischen Betrachtung oder fordert diese in der Region der praktischen Interessen heraus. Gerade diese sinnlich-geistige Doppelnatur macht vermutlich den Reiz derartiger vielseitig bildenden Spiele aus. In diesem Sinne dienen die Gegenstände des praktischen Interesses (z. B. solche des Lustgewinns) nicht mehr nur der Befriedigung, sie werden vielmehr gleichsam vor den Menschen gerückt, der sie zu betrachten statt nur zu begehren beginnt und der sich damit von ihrer unmittelbaren Macht befreit, ohne seine sinnlichen Bedürfnisse zu unterdrücken. Das ist die Vorstufe jeder Freiheit der Vernunft, die hier aber nicht gegen, sondern mit den und in den Grenzen der praktischen Interessen erreicht wird. EF werden also, folgt

man dieser Überlegung, nicht nur durch Übungsprogramme erworben, sondern in jener Sphäre des freien Kinderspiels, die in der neueren (deutschen) Vorschulpädagogik neben angeleiteten Spielen und anderen Tätigkeiten eine elementare Rolle spielen. Es kommt in Forschungen zu den EF daher auch darauf an, diesseits der empirisch-statistischen Untersuchungen solche theoretisch aufgeklärten phänomenologischen Studien kindlicher Aktivitäten durchzuführen. Diese genaue Beobachtung gilt dann ebenso für die Klärung der Frage, wie sich in weiteren spontanen Aktivitäten von Kindern jene substanzielle Verbindung von naturwissenschaftlich-mathematisch-technischen Erfahrungen mit künstlerischen Ausdrucksformen artikuliert. Ein Beispiel, das sowohl Symbol- als auch Konstruktionsspiele betrifft, soll dies veranschaulichen.

Abbildung 6 zeigt Cowboygewehre und –pistolen aus einem Playmobil-Wildwestbaukasten. Ein 10-jähriger Junge hatte immer wieder ausgiebig mit den Materialien des Kastens (Pferde, Indianer, Cowboys, Soldaten, Fort und Sheriffhaus, Bäume, Planwagen etc.) gespielt, wobei dem Beobachter nicht nur die konstruktive Leistung auffiel: Das Zusammenbauen etwa eines Forts nach Bedienungsanleitung wurde in großer Geschwindigkeit vollzogen, der zuschauende Erwachsene hätte wohl wesentlich länger gebraucht. Darüber hinaus war jedoch interessant, dass der Junge bemüht war, gut komponierte Landschaften, Reiterordnungen, Häuserareale usw. aufzubauen – die Spielszenarien wirkten nicht chaotisch, sondern bewusst und geplant durchgestaltet, so dass sie schön anzusehen waren. In einem späteren Gespräch, in dessen Zusammenhang der Beobachter einige Spielfiguren etwas chaotischer anordnete, intervenierte der Junge: Das sehe nicht mehr schön aus. Es ist klar, dass der Aufbau einer solchen Szenerie eine hohe Präsenz der stetig handlungsleitenden Gesamtidee voraussetzt, vermutlich wird – was man in Kinderspielen häufig beobachten kann – aber auch immer wieder eine gewisse Anpassungsbereitschaft an die jeweiligen Spielgestaltungen notwendig. So lehnt sich der Junge nach dem Teilaufbau seines Forts zurück, betrachtet die Szenerie und entdeckt, dass fast alle Soldaten auf dem oberen Umlauf der Anlage nur auf einer Seite versammelt sind – was aber, wenn die Indianer von der anderen Seite her angreifen? Niemand sieht sie dann kommen. Rasch werden auch dort einige Figuren aufgestellt. Es ist dieses für Spiele grundlegende Hin und Her zwischen jeweiliger Umsetzung der Spielidee in das Spielmaterial, also der Phantasie oder Spontaneität, und der Änderung von Spielformen durch die wahrgenommene materielle Szene, die zu neuen Ideen anregt – Rezeptivität.



Abbildung 6. Gewehre und Pistolen angeordnet von einem 10-jährigen Jungen.

Eines Tages war auf dem Esstisch die separat aufgebaute Waffenanordnung zu sehen, die hier gezeigt wird. Man erkennt, dass mit ausgeprägter manueller Geschicklichkeit wie auch mit einer das räumliche Vorstellungsvermögen herausfordernden Genauigkeit ein symmetrisches Muster ausgelegt worden war. Die Waffen wurden also nicht mehr in die Hände und Pistolentaschen der Cowboys/Indianer gesteckt, um hier ihre instrumentelle Funktion zu erfüllen, sie wurden vielmehr zu einem geometrischen Muster arrangiert, das offensichtlich auch einen ästhetischen Reiz für diesen Jungen darstellte. Damit ist also eine eigenaktiv objektivierte theoretische Betrachtung im Medium einer auch sinnlich faszinierenden ästhetischen Gestaltung inszeniert worden. Es ist ein umfassendes, technisch geplantes und ästhetisch gestaltetes Anregungsmilieu, das grundlegend für die Ausbildung der oben beschriebenen Bildungsaspiration sein dürfte. Technik, theoretische Überschau und eine quasi-künstlerische Gestaltung sind in dieser Spielsituation integriert, nicht separiert.

Vier Jahre später hatte der Junge einen Baukasten mit einfachen rechteckigen Holzbauklötzen geschenkt bekommen. Er baute eines Tages wiederum mit ausgeprägtem konstruktivem Formwillen und bemerkenswerter Handgeschicklichkeit wie Präzision damit Türme, ein Beispiel zeigt Abbildung 7. Wiederum darf man vermuten, dass der Turm schön wirken sollte, also auch als Gegenstand einer bewundernden Betrachtung geschaffen wurde. Auffällig ist indessen auch die schraubenförmige, „schwungvolle“ Gestalt, die nicht nur eine sehr feinfühlig Justierung der statischen Verhältnisse voraussetzt, also eine naturwissenschaftlich-mathematische Komponente enthält, sondern ebenso für unser Eigenbewegungsempfinden einen dynamischen statt starren Eindruck erzeugt, der eine ästhetische Komponente aufweist.



Abbildung 7. Aufbau eines Turms aus Bausteinen durch 14-jährigen Jungen.

In einer ganz anderen Weise zeigt sich dieser Wille zu Schönheit und ausgewogener Gestaltung in einigen Werken, die von der Schwester des Jungen geschaffen oder inszeniert wurden. Bemerkenswert ist beispielsweise eine „Geburtstagsfeier“, die das Mädchen im Alter von etwa 6 Jahren mit ihren Puppen feierte: Sehr sorgfältig wurden die „Geschenke“ in bunten Papiertüten

verpackt, die sie selber geklebt hatte, die Gaben wurden dann mit Kommentaren vor der Puppe ausgepackt (Abbildung 8). Auch der Tisch war ebenmäßig mit einem gemusterten roten Tuch bedeckt, drei Wachskerzen standen für das Alter des Geburtstagskindes. Gewiss waren dabei Erfahrungen mit Geburtstagstischen in der eigenen Familie maßgebend, dieser Tisch hatte aber eine ganz eigene, sehr sorgfältig durchgestaltete Anmutungsqualität. Man kann auch angesichts solcher eigenaktiv entfalteter künstlerischer Tätigkeiten von Vor- und Grundschulkindern vielleicht nachvollziehen, was die von Heinrich Deinhardt beschriebene, immer sensomotorisch gestaltete Bildbewegung von den praktischen (z.B. Nutzen, Genuss der Geschenke) zur auch theoretischen Interessiertheit (Bewundern der schön wirkenden Präsentation, unabhängig von ihrem praktischen Nutzen) real bedeutet. Diese Fähigkeit zur „theoretischen“ Betrachtung von Sachverhalten ist vielleicht eine elementare Voraussetzung, Gedankenkontrolle, Emotionsregulation oder auch ein flexibles Einlassen auf die Veränderungen der Beobachtungsobjekte lernen zu wollen. Aber das sind weiterführende Fragen, die von der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ zu klären wären.



Abbildung 8. Rollenspiel „Geburtstagsfeier“ eines 6-jährigen Mädchens.

Es sei abschließend noch erwähnt, dass man Anregungen für die pädagogische Arbeit zur Förderung der EF nicht nur aus solchen Beispielen der kindlichen Lebenswelt erhalten kann. Sieht man sich die Bildungsangebote und Forschungsimpulse an, die beispielsweise von der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ zur naturwissenschaftlich-technischen Grundbildung gemacht werden, so sind hier auch immer wieder künstlerische Gestaltungselemente zu erkennen, die aber bisher nicht als solche thematisiert wurden (z.B. Benz et al., 2017). Zwar fällt an manchen weiteren, nicht aus dieser Institution kommenden Schriften zur frühen naturwissenschaftlichen Bildung auf, dass in ihnen der ästhetische Aspekt vollkommen ausgeblendet erscheint, was angesichts der beschriebenen künstlerisch-naturwissenschaftlichen Spontanaktivitäten von Kindern merkwürdig ist (z.B. Leuchtner, 2017). Aber es gibt zahlreiche Zeugnisse auch im Bereich der kulturellen Bildung, in der die Einheit naturwissenschaftlich-technisch-mathematischer mit der künstlerischen Tätigkeit gerade mit Blick auf Kinder demonstriert wird (Arbeitsstelle "Kulturelle Bildung in Schule und Jugendarbeit" NRW, 2014, S. 36ff; Bilstein & Neysters, 2013; Brandstätter, 2013, S. 92ff; Lutz-Sterzenbach & Kirschenmann, 2014). Auch interessante Untersuchungen sind erwähnenswert, die beispielsweise Wirkungen eines „drama-basierten“ Geometrieunterrichts auf kognitive Leistungen (Duatepe-Paksu & Ubuz, 2009) oder einer „drama-basierten Pädagogik“ auf das Verständnis chemischer Prozesse (Dorion, 2011) nachgewiesen haben – im letzten Fall geht

es um ein Verstehen abstrakter wissenschaftlicher Konzepte, das sicher wie das zuvor genannte Verständnis geometrischer Sachverhalte mit den EF in Verbindung steht.

Es ist in diesem Zusammenhang auch historisch interessant, dass viele Naturforscherinnen und Naturforscher ihre Begeisterung für das eigene Fach und ihren Einfallsreichtum dem Umstand verdanken, dass sie naturwissenschaftlich-mathematische Erkundungen mit ästhetischen Aufmerksamkeiten verbunden haben – so beispielsweise die zur Zeit wieder in großen Ausstellungen und Publikationen gewürdigte, zoologisch und botanisch forschende Maria Sibylla Merian, oder der speziell für sein weibliches Publikum „botanische Lehrbriefe“ (mit künstlerisch gestalteten Illustrationen) verfassende Jean-Jaques Rousseau. Zu nennen ist die erkennbar künstlerische Dokumentation von Pflanzen, Menschen, geografischen Charakteristika Südamerikas im Werk Alexander von Humboldts, die Begeisterung für die „Kunstformen der Natur“ Ernst Haeckels oder die Faszination, die Vertreter der mathematischen Chaosforschung für die „phantastischen Landschaften“ bekundeten, die grafische Darstellungen der Forschungsergebnisse zur Erscheinung brachten. Man mag daran erkennen, dass sich an diese Expertise didaktische Überlegungen anschließen sollten, die eine solche erweiterte Perspektive auf die Förderung kindlicher Bildungsprozesse aufgreifen.

3.4 Zusammenfassung und Identifizierung von Forschungsbedarf

Zunächst kann festgehalten werden, dass der Forschungskorpus zur Frage nach dem Zusammenhang von EF mit ästhetischen Interessen und Fähigkeiten noch nicht sehr umfangreich ist. Dieser Sektor der Transferforschung ist offensichtlich erst im Entstehen. Die bisher vorliegenden Daten lassen jedoch die begründete Vermutung zu, dass die EF durch künstlerische Tätigkeiten und ästhetische Erfahrungen gefördert werden können. Zwar sind einige Künste, insbesondere die Musik, relativ häufig hinsichtlich ihrer Wirkungen untersucht worden, andere, beispielsweise das Lesen belletristischer Literatur oder das kreative Schreiben, eher selten. Auch gibt es bisher erst wenige Studien, die sich auf Kinder im Vorschul- und Grundschulalter beziehen. In dieser Hinsicht besteht also noch erheblicher Forschungsbedarf. Man kann allerdings erwarten, dass angesichts der Relevanz der EF besonders in der Psychologie weitere Forschungen auch zum Beitrag kultureller Bildung für die Förderung der EF folgen werden – das heißt, in naher Zukunft sollte einmal systematisch gesammelt und metaanalytisch ausgewertet werden, was dazu vorliegt und wo „weiße Flecken“ in der Forschungslandschaft bestehen.

Ferner wäre es sinnvoll, die Transferforschung zu den Wirkungen kultureller Bildung umfassender auf Resultate hin zu untersuchen, die zwar nicht explizit auf die EF bezogen sind, wohl aber unter anderen Bezeichnungen (wie „attention skills“) solche Funktionen betreffen. Einige Beispiele dafür wurden im vorhergehenden Forschungsüberblick schon genannt. Die Anzahl relevanter Studien zu unserem Thema könnte sich damit wesentlich erhöhen. Auch wird es aufklärend sein, durch kasuistische bzw. sogenannte qualitative Untersuchungen einen genaueren Einblick in die Prozesse zu gewinnen, die beispielsweise im Rahmen eines Malkurses dazu führen, dass Kinder eine ausgeprägtere Konzentrations- oder Selbststeuerungsfähigkeit erwerben: Welche Formen des Malens sind es, die solche Effekte begünstigen, sind es bestimmte Arten der Konzentrationsfähigkeit, die hier geübt werden, welche Eigenschaften der Kinder begünstigen derartige Effekte, welche behindern sie? Trotz solcher weiterführenden Fragen scheinen uns die bisherigen Forschungsarbeiten den Vorsatz zu rechtfertigen, auch künstlerische Elemente stärker als bisher in die didaktischen Schulungen und Planungen der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ einzubeziehen. Dabei sollte gerade auch mit Blick auf den Vorschulbereich das gesamte

Lehr- Lern- und Raummilieu Beachtung finden, ebenso die Einsicht in die elementare Rolle freier Spiele (wie Funktions-, Konstruktions-, Symbol- und soziales Rollenspiel).

Die zuvor charakterisierten Forschungsergebnisse lassen darüber hinaus auch die Annahme berechtigt erscheinen, dass EF nicht nur durch künstlerische Aktivitäten angeregt bzw. moderiert werden, sondern ihrerseits maßgebend an der Entwicklung ästhetischer Herstellungs- und Wahrnehmungsfähigkeiten beteiligt sind: So setzt z. B. der sorgfältige Aufbau eines fragilen Turms aus Bauklötzen eine ausgeprägte sensomotorische und kognitive Kontrolle und die Fähigkeit zur gedanklichen Überschau über das voraus, was da entstehen soll. Aber offenbar werden diese Fähigkeiten – was man an dem Beispiel anschaulich nachvollziehen kann – in solchen Tätigkeiten auch geschult. Es sind also derartige komplexe Prozesse, die man bei der Planung eines EF fördernden didaktischen Arrangements immer im Auge haben und tiefergehend erforschen sollte. Sehr wichtig ist aber auch die Erkenntnis, dass Interessen für naturwissenschaftlich-technische Sachgebiete mindestens in einer erheblichen Teilgruppe der Kinder durch künstlerische Tätigkeiten und kulturelle Interessen verstärkt und belebt werden können, wie andererseits – das ist bisher noch kaum erforscht – Interessen und Fähigkeiten, die im Bereich der MINT-Disziplinen erworben wurden, auch Kompetenzen für das künstlerische Tun wecken oder initiieren können. Dieser Wechselprozess ist offenbar wichtig für die Ausbildung dessen, was man in der Pädagogik als Bildungsaspiration bezeichnet: Damit ist eine ausgeprägte Neugier auf Neues gemeint, das Interesse am Lernen, ein relativ breites Interessenspektrum und die eigenaktive Entwicklung von Fähigkeiten. Angesichts der immer wieder aufflammenden Kontroverse um die gesellschaftliche Bedeutung von MINT- und Kunstfächern in den Schulen ist dies vielleicht einer der wichtigsten zukünftigen Forschungsbereiche. Möglicherweise bietet die Integration künstlerischer Aspekte in die Weiterbildung im Vor- und Grundschulbereich eine Chance, die MINT-Bildung nachhaltiger und motivierender zu betreiben als durch eine rein naturwissenschaftlich-informatisch-mathematisch-technisch orientierte Angebotspalette.

Schließlich sollte in zukünftigen Forschungsvorhaben auch der Rolle von moderierten Erfahrungskomplexen ins Auge gefasst werden – darüber wissen wir im Bereich der kulturellen Bildung bisher wenig. Als Beispiel kann das früher erwähnte Projekt gelten, in dem die Wirkungen des Theaterspielens auf mathematische Fähigkeiten untersucht wurden, wobei jedoch der „Zwischenschritt“ einer Verbesserung unter anderem des Selbstwertgefühls entscheidend war. Naturwissenschaftlich-technische wie künstlerische Aktivitäten können eine bestimmte mentale Gestimmtheit, eine spezifische Motivationskultur erzeugen, die ihrerseits prägend für bildende Effekte solcher Tätigkeiten sind.

4 Fazit und Empfehlungen zur Förderung der Exekutiven Funktionen in der frühen MINT- und Kulturellen Bildung

4.1 Förderung von Exekutiven Funktionen in der MINT-Bildung

Die vorangegangenen Darstellungen machen deutlich, dass die EF von großer Bedeutung sind für den Erfolg in der MINT-Bildung. Kinder, die über bessere EF verfügen, zeigen bessere Leistungen beim Problemlösen, im wissenschaftlichen Denken, in der Mathematik und in den Naturwissenschaften (vgl. Kapitel 2.2-2.4). Dieses Erkenntnis wirft die Frage auf, wie man mit diesem Wissen um die Bedeutung der EF für die MINT-Bildung weiterverfährt, um Kinder in ihrer Entwicklung bestmöglich zu unterstützen. Wie bereits in Kapitel 1.4.3 dargestellt, gibt es Interventionen, die nachweislich die EF von Kindern stärken und positive Auswirkungen auf die sozial-emotionalen oder akademischen Fähigkeiten erwirken. Von den vier MINT-Bereichen gibt es bislang nur aus der Mathematik erste Hinweise darauf, dass mit Hilfe von Interventionen, welche die EF von Kindern fördern, Verbesserungen in den mathematischen Leistungen erreicht werden können (z.B. Schmitt et al., 2015). Diese Befunde gilt es in Zukunft noch stärker zu beforschen und im besten Fall für die anderen MINT-Bereiche zu replizieren.

Genauso wichtig ist die Frage, ob und wie auch durch MINT-Angebote die EF gefördert werden können. Zum jetzigen Zeitpunkt muss beachtet werden, dass die bislang publizierten Interventionsstudien einen eher mäßigen und in einigen Fällen auch gar keinen Erfolg zeigten. Solange nicht klar ist, welche Prozesse und Wirkungsweisen eine Rolle spielen, bleibt die Frage offen, wie eine erfolgreiche Förderung der EF durch MINT-Bildung sowie die Förderung von Kompetenzen in den MINT-Bereichen durch Stärkung der EF aussehen kann.

Dennoch kann aufgrund erster Studien und theoretischer Überlegungen vermutet werden, dass eine Auseinandersetzung mit MINT-Inhalten, die wissenschaftliches Denken, planvolles Handeln und Problemlösekompetenzen erfordern, ebenfalls viele EF-Prozesse beansprucht. Diese Förderung von EF könnte gegebenenfalls auch zu einer Förderung der EF führen. Ob dies tatsächlich der Fall ist, hängt sehr wahrscheinlich von einer Reihe von Faktoren ab:

- (1) der Aktivität bzw. der Aufgabe,
- (2) den Kompetenzen und der Persönlichkeit des Lernenden,
- (3) der Lernbegleitung sowie
- (4) dem Lernsetting.

Diese vier Faktoren wirken abhängig voneinander und sind daher unbedingt in Verbindung zu betrachten. Wie eng diese Faktoren mit einer erfolgreichen Förderung von EF zusammenhängen, zeigt Abbildung 9.

1) Es wird davon ausgegangen, dass dem Lernenden eine **Aufgabe** gestellt wird oder er an einer **Aktivität** oder einem Angebot teilnimmt. Dieses hat einen gewissen Anspruch, welcher für jeden Lernenden individuell beurteilt werden muss. Für die Förderung der EF ist es sehr wichtig, dass Aufgaben und Aktivitäten einen herausfordernden Charakter besitzen. Denn nur in neuen, schwierigen oder komplexen Situationen benötigen Kinder (und Erwachsene) den Einsatz der EF, um das eigene Denken und Handeln gezielt zu steuern, um ein gesetztes Ziel zu erreichen (Diamond, 2012). Eine angemessene Herausforderung führt dazu, dass der Lernende mit Freude und Spaß an den angebotenen Aktivitäten teilnimmt – und das immer wieder. Werden Kinder unterfordert, langweilen sie sich und es zeigen sich keine Effekte bzw. Leistungsverbesserungen.

Werden sie überfordert, erleben sie dies als Stress. Erleben von Stress wirkt sich nachweislich negativ auf die Entwicklung der EF aus (Blair et al., 2011; Diamond & Ling, 2016) und sollte deswegen vermieden werden.

2) Der Grad der Herausforderung ist in Abhängigkeit von den **Kompetenzen** des Lernenden und seinem Vorwissen zu beurteilen. Kompetenzen und Vorwissen sollten daher die Wahl und Ausgestaltung von Angeboten beeinflussen. Nur so kann eine individuell angemessene Herausforderung an die EF gewährleistet werden. Des Weiteren bringt der Lernende seine eigenen Interessen und ein bestimmtes Maß an Motivation mit. Beides beeinflusst die Intensität mit der sich der Lernende mit einer Sache auseinandersetzt und wie erfolgreich er ist. Er erlebt sich dann in seinem Können bestärkt und selbstwirksam, was wichtige Voraussetzung für eine hohe intrinsische Motivation ist (Ryan & Deci, 2000).

3) Der Lernende in Kindergarten und Grundschule wird meist durch einen **Lernbegleiter** in seinem Lernprozess begleitet. Das Maß an Unterstützung muss sowohl an den Anspruch der vorliegenden Aufgabe wie auch an die Kompetenzen des Lernenden angepasst sein. Der Lernbegleiter muss also in Abhängigkeit von beidem entscheiden, wie viel Unterstützung er anbietet und wann er sich zurückhält. Die passende Dosis für eine angemessene Herausforderung für den Lernenden ist entscheidend dafür, wie erfolgreich die Förderung in Bezug auf die EF ist (Diamond, 2012). Wie gut diese Begleitung funktioniert und wie positiv dieser Prozess von dem Lernenden wie auch seinem Begleiter empfunden wird, hängt stark von der Beziehung ab, die zwischen den beiden besteht. Dafür sind die Art der Interaktion und die Anwendung von Sprache in der konkreten Situation besonders wichtig. Denn das Gefühl der Zugehörigkeit ist für Kinder von großer Bedeutung. Sozial eingebunden zu sein, stellt ein Grundbedürfnis dar und unterstützt Lernprozesse (Ryan & Deci, 2000). Deshalb sollte die Beziehungsebene bei der Förderung der EF stark berücksichtigt werden (Diamond & Lee, 2011).

4) Lernen findet immer in einem bestimmten **Setting** statt, welches die Lernprozesse und -fortschritte maßgeblich beeinflusst. Die Gestaltung und Organisation der (Lern-) Umgebung hat Auswirkungen auf kognitive Prozesse: Je klarer, strukturierter und vorhersehbarer, desto leichter fallen Kindern kognitive Leistungen (Lillard & Else-Quest, 2006). Dennoch ist dieses Setting immer auch in Abhängigkeit von den Kompetenzen des Lernenden sowie von der Lernbegleitung zu bewerten. Welches Maß an Struktur ist geboten? Welche Gruppenprozesse finden statt? Wie förderlich sind die Raumgestaltung und das Materialangebot? Das sich entwickelnde Kind benötigt vielfältige Möglichkeiten, sich auszuprobieren. Denn es gilt: Nur durch selbsttätiges Tun werden Fortschritte erreicht. EF entwickeln sich nicht durch Fremdsteuerung. Kinder brauchen viele Gelegenheiten, möglichst selbstständig zu handeln. Dafür spielen Strukturen und eine vorbereitete Umgebung eine wichtige Rolle. Ziel sollte es immer sein, Lernenden zu ermöglichen, sich autonom zu verhalten und immer weniger Hilfe von außen zu benötigen. Die Autonomie über den Lernprozess stellt nach Ryans & Deci (2000) Selbstbestimmungstheorie ein wichtiger Faktor für das Aneignen neuer Fähig- und Fertigkeiten dar.



Abbildung 9. Beachtenswerte Faktoren für die Förderung der Exekutiven Funktionen.

Diese Ausführung macht deutlich, wie wichtig es ist (Förder-)Angebote ganzheitlich zu betrachten. Das Drehen an einer Schraube kann in manchen Fällen eine wirkungslose Intervention zu einer erfolgreichen machen. In (vielen) anderen Fällen bewirkt eine Veränderung eines Aspekts allerdings rein gar nichts, wenn nicht die anderen Faktoren mit beachtet werden.

Es ist davon auszugehen, dass implizit bereits in vielen Kindergarten- und Schulanangeboten eine Förderung der EF stattfindet - im MINT-Bereich sowie in anderen Lernfeldern. Die Berücksichtigung der genannten Faktoren bietet den Lernenden eine wichtige Voraussetzung für erfolgreiches Lernen. Die beschriebenen EF-förderlichen Faktoren können dabei domänenunabhängig und inhaltsübergreifend umgesetzt werden und sollten aufgrund ihrer hohen Bedeutung für die kognitive und sozial-emotionale Entwicklung in MINT-Angeboten genauso wie in anderen lernrelevanten Settings noch stärker Beachtung finden. Dadurch entsteht eine bewusste explizite Förderung.

Forschungs- und Entwicklungsbedarfe

Eine Analyse, inwieweit die EF in den MINT-Bildungsaktivitäten, wie sie von der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ konzipiert sind, schon angesprochen und gefordert werden, würde einen wichtigen Erkenntnisgewinn bedeuten. Dafür könnten beispielsweise Videoaufnahmen oder Beobachtungen von Angeboten, wie sie im Kindergarten stattfinden, auf ihren Anspruch an die drei exekutiven Kernfunktionen Arbeitsgedächtnis, Inhibition und kognitive Flexibilität hin ausgewertet werden. Aufgrund der Ergebnisse lassen sich gegebenenfalls erste Hinweise ableiten, für welche (Forschungs-)Tätigkeiten die EF von Kindern eine besondere Rolle spielen, an welchen Stellen diese eventuell unter- oder auch überfordert sind, und wie die Lernbegleiter diesen Unter- oder Überforderungen am besten begegnen können, um den Kindern das größtmögliche Lernpotential in Bezug auf MINT-Bildung – aber auch in Hinblick auf die EF – zu bieten.

Zentrale Fragen sind:

- Wie stark sprechen verschiedene MINT-Angebote und Aufgaben die drei exekutiven Kernfunktionen (Inhibition, Arbeitsgedächtnis und kognitive Flexibilität) an?
- Gibt es bereits gezielte Übungen für die einzelnen EF in den Angeboten (z.B. Alle Kinder merken sich, wie weit der Papierflieger geflogen ist)?
- Passt die Schwierigkeit der Aufgabe zu den Kompetenzen des Lernenden?
- Wie wird auf individuelle Entwicklungsstände in den EF eingegangen?
- Wie verlaufen Dialoge und Interaktionen zwischen den Lernenden und dem Lernbegleiter?
- Wie förderlich sind die strukturellen Rahmenbedingungen in Bezug auf die EF?
- Inwieweit lassen die Angebote selbsttätiges Handeln zu?

Neben der Überprüfung, wie stark die EF in MINT-Bildungsangeboten der Initiative „Haus der kleinen Forscher“ bereits angesprochen bzw. gefördert werden, stellt auch die gezielte Entwicklung von speziellen MINT-Bildungsangeboten mit besonders viel „EF-Gehalt“ einen interessanten Forschungsbereich dar. Um solche Interventionen zu konzipieren, bedarf es einer engen Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und pädagogischer Praxis.

Zentrale Fragen sind:

- Wie müssen Angebote konzipiert, vorbereitet und durchgeführt werden, damit sie die EF der Lernenden (noch stärker) ansprechen?
- Wie muss das Lernsetting für EF aussehen, um den pädagogischen Anforderungen zu entsprechen?
- Wie können die lernrelevanten Faktoren in Bezug auf die EF noch besser berücksichtigt und ausgestaltet werden?

Vor allem um spezielle MINT-Angebote zu entwickeln, die verstärkt die EF fördern, ist es wichtig, eng mit den Lernbegleitern zusammenzuarbeiten. Die EF werden zwar seit einigen Jahren stark beforscht. Dennoch gibt es noch viele offene Fragen auf Seiten der Wissenschaft (siehe Kapitel 1 und 2) – vor allem aber auch in Bezug auf die pädagogische Relevanz und Umsetzung. Um erfolgreiche Interventionen zu implementieren, müssen die Lernbegleiter gut im Bereich der EF ausgebildet sein (Liew, 2012). Nur wer über das nötige Hintergrundwissen und praxistaugliches „Werkzeug“ für die Umsetzung verfügt, kann die EF erfolgreich fördern.

Zentrale Fragen sind:

- Welches (zusätzliche) Wissen über die EF benötigen MINT-Lernbegleiter?
- Wie muss das Weiterbildungsformat aussehen, damit Lernbegleiter selbstsicher das neue Wissen in die Praxis übertragen können?
- Welches Material benötigen Lernbegleiter für die Förderung der EF in bestehenden und/oder neu entwickelten Angeboten?

Ein letzter interessanter Aspekt im Bereich der Förderung der EF durch MINT-Initiativen wie dem „Haus der kleinen Forscher“ stellt die wissenschaftliche Überprüfung dar. Die Effektivität von pädagogischen Angeboten sollte immer auch mit wissenschaftlichen Studien nachgewiesen werden – vor allem, wenn eine Verbreitung von Maßnahmen angestrebt wird. Im Bereich der EF gibt es

zahlreiche Messverfahren, die die Wirksamkeit von Interventionen beweisen (oder widerlegen) können. Um solche Untersuchungen durchzuführen, ist wieder die enge Verzahnung von Wissenschaft und Umsetzung in der Praxis gefragt. Mit standardisierten Tests im Vorher-Nachher-Design mit Kontrollgruppe können Fragen beantwortet werden, ob und ggf. wie stark sich die EF-Leistungen und auch die MINT-Fähigkeiten der Lernenden durch die untersuchte Intervention verändern. Auch die Frage nach weiteren Transfereffekten ist in diesem Zusammenhang spannend: Wie wirkt sich die Förderung von EF in MINT-Angeboten auf beispielsweise die sozial-emotionale Entwicklung von Kindern aus und wie werden ggf. Leistungen in anderen Bereichen wie z.B. der Sprache beeinflusst?

Abschließend möchten wir an dieser Stelle festhalten, dass es im Bereich EF und MINT-Bildung bereits vielversprechende Studien und Untersuchungen gibt. Allerdings sind einige interessante Fragestellungen für die Umsetzung von MINT-Bildungsangeboten hinsichtlich einer Förderung der EF noch nicht hinreichend untersucht bzw. in ihren Ergebnissen inkonsistent. Dies erschwert Empfehlungen für und die Umsetzung in die pädagogische Praxis. Die vorliegende Expertise soll einen Erkenntnisgewinn im Bereich EF und MINT liefern und erste Vorschläge und Anregungen für Folgeprojekte und Forschungen bieten. Hier stellen die aufgeführten Empfehlungen und Forschungsfragen mögliche Ansatzpunkte dar, in Zukunft das Potential von MINT-Angeboten für die kindliche Entwicklung noch besser ausschöpfen zu können.

4.2 Förderung von Exekutiven Funktionen in der Kulturellen Bildung

Die Tatsache, dass sich in der bisherigen Forschung Wirkungen künstlerischer Aktivitäten und Erfahrungen auf exekutive Funktionen gezeigt haben, lässt natürlich noch keine unmittelbaren Schlüsse auf entsprechende Effekte von pädagogischen Angeboten der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ zu. Es ist zu empfehlen, hier über genaue Strukturanalysen der Tätigkeiten zu begründeten Erwartungen für die Praxis und auch zur Wahl bestimmter didaktischer Modelle zu kommen. Konkret: Am Beispiel der Kinderspiele wurde verdeutlicht, wie man bei möglichst präziser Betrachtung von deren Struktur und Themen begründete Erwartungen darüber formulieren kann, welche Lernerfahrungen im Spielzusammenhang wahrscheinlich sind. Will man mindestens in einen Teil der technisch-informatisch-naturwissenschaftlich orientierten Angebote auch künstlerische Elemente integrieren, sollte man durch eine genaue Phänomenologie dieser Angebote Hypothesen darüber ausbilden, wie der Doppelaspekt einer z. B. naturwissenschaftlichen und künstlerischen Tätigkeit Bildungsaspirationen fördert und bestimmte „außerfachliche“ wie „innerfachliche“ Bildungserfahrungen ermöglicht. Vermutlich wird im künstlerischen Bereich weniger das Training oder die wiederholte Übung maßgebend sein (obgleich auch dies beispielsweise beim Erlernen des Klavierspiels oder beim Einüben eines Theaterstücks wichtig sein kann – das sind aber eher technische, nicht eigentümlich ästhetische Aspekte). Es wird vielmehr darum gehen, entsprechende Angebote überhaupt für den Erfahrungshorizont der Kinder bereitzustellen und später auch hinsichtlich der erwarteten Lernerfahrungen zu evaluieren.

Es gibt mehrere Anknüpfungspunkte für eine sowohl MINT-Fähigkeiten als künstlerische Kompetenzen fördernde didaktische Kultur, wobei unserem Auftrag gemäß immer die exekutiven Funktionen im Blick stehen sollten – als besondere Wirkungen, aber auch spezifische Bedingungen der Kulturellen und MINT-Bildung und deren Wechselbeziehungen. Wie zuvor schon angedeutet, dürften zahlreiche Bildungsangebote der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ bei genauer Betrachtung bereits ästhetische bzw. künstlerische Elemente enthalten, die jedoch als solche bisher nicht beachtet und bewusst in Regie genommen wurden: So etwa die künstlerische Gestaltung didaktischer Materialien, die literarische Qualität erzählter Beispiele und Geschichten, die schön

wirkende Zeichnung geometrischer Figuren, die Bewunderung eines beeindruckenden Naturphänomens. Die Angebote und publizierten Präsentationen sollten einmal gezielt auf diese Elemente hin analysiert werden. Das kann dann Anlass werden, zukünftig Materialien und Modelle unter Beachtung solcher ästhetischer Aspekte zu planen.

Ferner sollten die Kinder als Lehrmeisterinnen und Lehrmeister betrachtet werden – was sie konkret und ohne besondere Anleitung in ihren Spielen, Zeichnungen, Erzählungen, Liedern, Spielzeug-Arrangements zeigen, kann auf mögliche Doppelqualitäten im MINT- und KUNST-Bereich untersucht werden, wie dies an einigen Beispielen schon beschrieben wurde. Diese Betrachtung kann auch deutlich machen, wie eine organische Verbindung beider Bereiche unter dem übergeordneten Aspekt der Bildungsaspiration beschaffen sein könnte, die dann in didaktische Modelle Eingang finden kann.

Auch die Aktivitäten, die in Kindergärten und Grundschulen im ästhetischen Bereich traditionell (immer noch?) beobachtbar sind, sollten einmal unter diesem Doppelaspekt z. B. naturwissenschaftlicher und künstlerischer Bildung untersucht und vielleicht bewusst aufgegriffen werden: Das Ausschmücken der Räume, das Erzählen von Geschichten, das gemeinsame rhythmische Klatschen beim Aufsagen eines Reimverses etc. Was ist da an MINT-Bildung, was an ästhetischer Alphabetisierung immanent? Welche exekutiven Funktionen sind davon betroffen?

Die Verbindung von naturwissenschaftlich-technischer mit künstlerischer Bildung setzt eine neuartige Weiterbildung der damit betrauten Betreuungskräfte in Vor- und Grundschuleinrichtungen voraus. Sie können für die Implikationen beider Bereiche in ihrer schon bestehenden, aber vielleicht in dieser Breite didaktisch noch nicht reflektierten Praxis sensibilisiert werden, darüber hinaus mit neuen Möglichkeiten einer die Bildungsaspirationen im weiteren und die exekutiven Funktionen im engeren Sinn fördernden Pädagogik vertraut gemacht werden. Dabei sollte der künstlerische Ansatz auch befähigen, statt mit schematisch angewendeten Modellen kreativ eigene Angebote zu entwickeln, die beiden Bereichen gerecht werden. Ausdrücklich sei in diesem Zusammenhang auf die Hinweise zu den genuin ästhetischen Erfahrungen im Zusammenhang künstlerischer Tätigkeiten verwiesen, die in Kapitel 3.2 gegeben wurden.

5 Literaturverzeichnis

- Adorno, T. W., Adorno, G. & Tiedemann, R. (1973). *Ästhetische theorie* (Bd. 2): Suhrkamp Frankfurt.
- Alloway, T. P. & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of experimental child psychology*, 106(1), 20-29.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Willis, C. & Adams, A.-M. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *Journal of experimental child psychology*, 87(2), 85-106.
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child neuropsychology*, 8(2), 71-82.
- Anderson, P. J. (2008). Towards a developmental model of executive function. In V. Anderson, R. Jacobs & P. Anderson (Hrsg.), *Executive functions and the frontal lobes* (S. 3-21). New York, NY: Psychology Press.
- Anderson, V. A., Anderson, P. J., Northam, E., Jacobs, R. & Catroppa, C. (2001). Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Developmental neuropsychology*, 20(1), 385-406.
- Arbeitsstelle "Kulturelle Bildung in Schule und Jugendarbeit" NRW (Hrsg.). (2014). *Lernen mit Kunst und Kultur*. Remscheid.
- Ardila, A., Pineda, D. & Rosselli, M. (2000). Correlation between intelligence test scores and executive function measures. *Archives of clinical neuropsychology*, 15(1), 31-36.
- Argo, J. J., Zhu, R. & Dahl, D. W. (2007). Fact or fiction: An investigation of empathy differences in response to emotional melodramatic entertainment. *Journal of Consumer Research*, 34(5), 614-623.
- Baddeley, A. (1992). Working Memory - the Interface between Memory and Cognition. *J Cogn Neurosci*, 4(3), 281-288.
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current biology*, 20(4), R136-R140.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual review of psychology*, 63, 1-29.
- Baddeley, A. & Hitch, G. (1974). Working memory. In *Psychology of learning and motivation* (Bd. 8, S. 47-89): Elsevier.
- Baillargeon, R. & Carey, S. (2012). Core cognition and beyond: The acquisition of physical and numerical knowledge. *Early childhood development*, 33-65.
- Baker, M. (2007). *Music moves brain to pay attention, Stanford study finds*. [Pressemitteilung]. Verfügbar unter: <https://med.stanford.edu/news/all-news/2007/07/music-moves-brain-to-pay-attention-stanford-study-finds.html>
- Baker, S. T., Gjersoe, N. L., Sibielska-Woch, K., Leslie, A. M. & Hood, B. M. (2011). Inhibitory control interacts with core knowledge in toddlers' manual search for an occluded object. *Developmental Science*, 14(2), 270-279.
- Bal, P. M. & Veltkamp, M. (2013). How does fiction reading influence empathy? An experimental investigation on the role of emotional transportation. *PloS one*, 8(1), e55341.
- Banich, M. T. (2009). Executive function: The search for an integrated account. *Current directions in psychological science*, 18(2), 89-94.
- Barkley, R. A. (2001). The executive functions and self-regulation: An evolutionary neuropsychological perspective. *Neuropsychology review*, 11(1), 1-29.
- Barkley, R. A. (2012). *Executive functions: What they are, how they work, and why they evolved*: Guilford Press.
- Bascandzjev, I., Powell, L. J., Harris, P. L. & Carey, S. (2016). A role for executive functions in explanatory understanding of the physical world. *Cognitive Development*, 39, 71-85.
- Bechtel, S., Strodthoff, A. & Pauen, S. (2016). Co- and self-regulation in the caregiver-child dyad : parental expectations, children's compliance, and parental practices during early years. *Journal of Self-Regulation and Regulation*, 2, 33-56.

- Benedek, M., Jauk, E., Sommer, M., Arendasy, M. & Neubauer, A. C. (2014). Intelligence, creativity, and cognitive control: The common and differential involvement of executive functions in intelligence and creativity. *Intelligence*, 46, 73-83.
- Benson, J. E., Sabbagh, M. A., Carlson, S. M. & Zelazo, P. D. (2012). Individual Differences in Executive Functioning Predict Preschoolers' Improvement From Theory-of-Mind Training. *Dev Psychol.*
- Benz, C., Grüßing, M., Lorenz, J. H., Reiss, K., Selter, C. & Wollring, B. (2017). *Frühe mathematische Bildung-Ziele und Gelingensbedingungen für den Elementar-und Primarbereich*: Opladen; Berlin; Toronto: Verlag Barbara Budrich.
- Berg, D. H. (2008). Working memory and arithmetic calculation in children: The contributory roles of processing speed, short-term memory, and reading. *Journal of experimental child psychology*, 99(4), 288-308.
- Bernier, A., Carlson, S. M. & Whipple, N. (2010). From external regulation to self-regulation: Early parenting precursors of young children's executive functioning. *Child development*, 81(1), 326-339.
- Berry, D., Blair, C., Willoughby, M., Garrett-Peters, P., Vernon-Feagans, L., Mills-Koonce, W. R. et al. (2016). Household chaos and children's cognitive and socio-emotional development in early childhood: Does childcare play a buffering role? *Early childhood research quarterly*, 34, 115-127.
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, 30(4), 331-351.
- Best, J. R. & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child development*, 81(6), 1641-1660.
- Best, J. R., Miller, P. H. & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental review*, 29(3), 180-200.
- Best, J. R., Miller, P. H. & Naglieri, J. A. (2011). Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample. *Learning individual differences*, 21(4), 327-336.
- Bialystok, E. & DePape, A.-M. (2009). Musical expertise, bilingualism, and executive functioning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(2), 565-574.
- Bibok, M. B., Carpendale, J. I. & Muller, U. (2009). Parental scaffolding and the development of executive function. *New Directions in Child and Adolescent Development*, 2009(123), 17-34.
- Bilstein, J. & Neysters, S. (Hrsg.). (2013). *Kinder entdecken Kunst*. Oberhausen.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2006). *Biologische Psychologie*. (6. Auflage). In: Heidelberg: Springer.
- Blair, C. (2016a). Developmental science and executive function. *Current directions in psychological science*, 25(1), 3-7.
- Blair, C. (2016b). Executive function and early childhood education. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 102-107.
- Blair, C., Granger, D. A., Willoughby, M., Mills-Koonce, R., Cox, M., Greenberg, M. T. et al. (2011). Salivary cortisol mediates effects of poverty and parenting on executive functions in early childhood. *Child Development*, 82(6), 1970-1984.
- Blair, C. & Raver, C. C. (2015). School readiness and self-regulation: A developmental psychobiological approach. *Annual Review of psychology*, 66, 711-731.
- Blair, C. & Raver, C. C. (2016). Poverty, stress, and brain development: New directions for prevention and intervention. *Academic pediatrics*, 16(3), S30-S36.
- Blair, C. & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child development*, 78(2), 647-663.
- Blair, C. & Ursache, A. (2011). A bidirectional model of executive functions and self-regulation. *Handbook of self-regulation: Research, theory, and applications*, 2, 300-320.

- Blair, C., Ursache, A., Greenberg, M. & Vernon-Feagans, L. (2015). Multiple aspects of self-regulation uniquely predict mathematics but not letter–word knowledge in the early elementary grades. *Developmental psychology*, 51(4), 459.
- Bockhorst, H., Reinwand, V. & Zacharis, W. (Hrsg.). (2012). *Handbuch Kulturelle Bildung*. München: kopaed.
- Bodrova, E. & Leong, D. (2007). *Tools of the mind*. OH: Merrill: Prentice Hall.
- Brace, J. J., Morton, J. B. & Munakata, Y. (2006). When actions speak louder than words: Improving children's flexibility in a card-sorting task. *Psychological Science*, 17(8), 665-669.
- Brandstätter, U. (2013). *Erkenntnis durch Kunst*. Wien/ Köln/ Weimar.
- Brunsting, M. (2011). *Lernschwierigkeiten - Wie executive Funktionen helfen können. Grundlagen und Praxis für Pädagogik und Heilpädagogik (2)*. Bern.
- Bühner, M., Kröner, S. & Ziegler, M. (2008). Working memory, visual–spatial-intelligence and their relationship to problem-solving. *Intelligence*, 36(6), 672-680.
- Buil, J. M., van Lier, P. A., Brendgen, M. R., Koot, H. M. & Vitaro, F. (2017). Developmental pathways linking childhood temperament with antisocial behavior and substance use in adolescence: Explanatory mechanisms in the peer environment. *Journal of personality and social psychology*, 112(6), 948.
- Bull, R., Espy, K. A. & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental neuropsychology*, 33(3), 205-228.
- Bull, R., Espy, K. A., Wiebe, S. A., Sheffield, T. D. & Nelson, J. M. (2011). Using confirmatory factor analysis to understand executive control in preschool children: Sources of variation in emergent mathematics achievement. *Developmental science*, 14(4), 679-692.
- Bull, R. & Lee, K. (2014). Executive functioning and mathematics achievement. *Child Development Perspectives*, 8(1), 36-41.
- Bull, R. & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental neuropsychology*, 19(3), 273-293.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.). (2013). *Perspektiven der Forschung zur kulturellen Bildung*. Bonn.
- Burgess, P. W. & Simons, J. S. (2005). 18 Theories of frontal lobe executive function: clinical applications. *The effectiveness of rehabilitation for cognitive deficits*, 211.
- Bustamante, A. S., White, L. J. & Greenfield, D. B. (2017). Approaches to learning and school readiness in Head Start: Applications to preschool science. *Learning Individual Differences*, 56, 112-118.
- Byrnes, J. P. & Dunbar, K. N. (2014). The nature and development of critical-analytic thinking. *Educational Psychology Review*, 26(4), 477-493.
- Camilleri, V. (Hrsg.). (2007). *Healing the Inner City Child: Creative Arts Therapies with At-Risk Youth*. London/ Philadelphia.
- Campe, K. L. & Kaufman, B. L. (2011). How does a Latin American Music Initiative impact an American Charter School Community? Observations from El Sistema Boston
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Boston: MIT Press.
- Carlson, S. M. (2003). Executive function in context: Development, measurement, theory, and experience. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 68(3), 138-151.
- Carlson, S. M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental neuropsychology*, 28(2), 595-616.
- Carlson, S. M., Davis, A. C. & Leach, J. G. (2005). Less is more - Executive function and symbolic representation in preschool children. *Psychological Science*, 16(8), 609-616.
- Carlson, S. M., Mandell, D. J. & Williams, L. (2004). Executive function and theory of mind: stability and prediction from ages 2 to 3. *Developmental psychology*, 40(6), 1105.

- Carlson, S. M. & Meltzoff, A. N. (2008). Bilingual experience and executive functioning in young children. *Developmental science*, 11(2), 282-298.
- Carlson, S. M. & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child development*, 72(4), 1032-1053.
- Carlson, S. M., Moses, L. J. & Breton, C. (2002). How specific is the relation between executive function and theory of mind? Contributions of inhibitory control and working memory. *Infant and Child Development*, 11(2), 73-92.
- Casey, B., Somerville, L. H., Gotlib, I. H., Ayduk, O., Franklin, N. T., Askren, M. K. et al. (2011). Behavioral and neural correlates of delay of gratification 40 years later. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(36), 14998-15003.
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of educational psychology*, 54(1), 1.
- Center on the Developing Child. (2012). *Executive Function (InBrief)*. Verfügbar unter: www.developingchild.harvard.edu
- Center on the Developing Child at Harvard University. (2011). *Building the Brain's "Air Traffic Control" System. How Early Experiences Shape the Development of Executive Function*. Verfügbar unter: <http://developingchild.harvard.edu/wp-content/uploads/2011/05/How-Early-Experiences-Shape-the-Development-of-Executive-Function.pdf>
- Chang, H., Shaw, D. S., Dishion, T. J., Gardner, F. & Wilson, M. N. J. J. o. a. c. p. (2014). Direct and indirect effects of the family check-up on self-regulation from toddlerhood to early school-age. *42(7)*, 1117-1128.
- Chapman, A. L., Leung, D. W. & Lynch, T. R. (2008). Impulsivity and emotion dysregulation in borderline personality disorder. *Journal of personality disorders*, 22(2), 148-164.
- Clark, C., Pritchard, V. E. & Woodward, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Dev Psychol*, 46(5), 1176-1191.
- Clark, C., Sheffield, T. D., Wiebe, S. A. & Espy, K. A. (2013). Longitudinal associations between executive control and developing mathematical competence in preschool boys and girls. *Child Development*, 84(2), 662-677.
- Clements, D. H., Sarama, J. & Germeroth, C. (2016). Learning executive function and early mathematics: Directions of causal relations. *Early Childhood Research Quarterly*, 36, 79-90.
- Collette, F., Van der Linden, M., Laureys, S., Delfiore, G., Degueldre, C., Luxen, A. et al. (2005). Exploring the unity and diversity of the neural substrates of executive functioning. *Human brain mapping*, 25(4), 409-423.
- Conway, A. R., Kane, M. J. & Engle, R. W. (2003). Working memory capacity and its relation to general intelligence. *Trends in cognitive sciences*, 7(12), 547-552.
- Cragg, L. & Gilmore, C. (2014). Skills underlying mathematics: The role of executive function in the development of mathematics proficiency. *Trends in Neuroscience and Education*, 3(2), 63-68.
- Crivello, C., Kuzyk, O., Rodrigues, M., Friend, M., Zesiger, P. & Poulin-Dubois, D. (2016). The effects of bilingual growth on toddlers' executive function. *Journal of Experimental Child Psychology*, 141, 121-132.
- Damasio, H., Grabowski, T., Frank, R., Galaburda, A. M. & Damasio, A. R. (1994). The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, 264(5162), 1102-1105.
- Danili, E. & Reid, N. (2004). Some strategies to improve performance in school chemistry, based on two cognitive factors. *Research in Science Technological Education*, 22(2), 203-226.
- Daseking, M. & Petermann, F. J. B. H. (2013). Verhaltensinventar zur Beurteilung exekutiver Funktionen für das Kindergartenalter (BRIEF-P).
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C. & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037-2078.

- Dawson, P. & Guare, R. (2010). *Executive skills in children and adolescents: A practical guide to assessment and intervention (2. Auflage)*. New York: Guilford Publications.
- De Luca, C. R., Wood, S. J., Anderson, V. A., Buchanan, J.-A., Proffitt, T. M., Mahony, K. et al. (2003). Normative data from the CANTAB. I: development of executive function over the lifespan. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 25(2), 242-254.
- De Smedt, B., Ghesquière, P. & Verschaffel, L. (2004). Working memory and arithmetic abilities in seven and eleven year old children. *Paper presented at the European Working Memory Symposium EQOMS II, Beaune, France*.
- Deffner, C. (2018). Exekutive Funktionen - ein Spiel fürs Leben. In I. Schenker (Hrsg.), *Didaktik in Kindertageseinrichtungen. Eine systemisch-konstruktivistische Perspektive* (S. 81-103). Weinheim Basel: Beltz Juventa.
- Degé, F., Kubicek, C. & Schwarzer, G. (2011). Music lessons and intelligence: A relation mediated by executive functions. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 29(2), 195-201.
- DeHaan, R. L. (2009). Teaching creativity and inventive problem solving in science. *CBE-Life Sciences Education*, 8(3), 172-181.
- Deinhardt, H. M. (1922). *Beiträge zur würdigung Schillers: Briefe über die ästhetische erziehung des menschen*.
- Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child development*, 71(1), 44-56.
- Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood- Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In D. Stuss & R. Knight (Hrsg.), *Principles of Frontal Lobe Function*. New York, NY: Oxford University Press.
- Diamond, A. (2012). Activities and programs that improve children's executive functions. *Current directions in psychological science*, 21(5), 335-341.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135-168.
- Diamond, A. (2015). Effects of physical exercise on executive functions: going beyond simply moving to moving with thought. *Annals of sports medicine and research*, 2(1), 1011.
- Diamond, A. (2016). Why improving and assessing executive functions early in life is critical. *Executive function in preschool-age children: Integrating measurement, neurodevelopment, and translational research*, 11-43.
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J. & Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. *Science (New York, NY)*, 318(5855), 1387.
- Diamond, A. & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, 333(6045), 959-964.
- Diamond, A. & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental cognitive neuroscience*, 18, 34-48.
- Diamond, A. & Taylor, C. (1996). Development of an aspect of executive control: Development of the abilities to remember what I said and to "Do as I say, not as I do". *Developmental psychobiology*, 29(4), 315-334.
- Dishman, R. K., Berthoud, H. R., Booth, F. W., Cotman, C. W., Edgerton, V. R., Fleshner, M. R. et al. (2006). Neurobiology of exercise. *Obesity*, 14(3), 345-356.
- Domitrovich, C. E., Cortes, R. C. & Greenberg, M. T. (2007). Improving young children's social and emotional competence: A randomized trial of the preschool "PATHS" curriculum. *The Journal of primary prevention*, 28(2), 67-91.
- Dorion, K. C. (2011). *An exploration of how a drama-based pedagogy can promote understanding of chemical concepts in 11-15 year old science students*. University of Cambridge, Cambridge.
- Drechsler, R. (2007). Exekutive funktionen. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 18(3), 233-248.
- Duatepe-Paksu, A. & Ubuz, B. (2009). Effects of drama-based geometry instruction on student achievement, attitudes, and thinking levels. *The Journal of Educational Research*, 102(4), 272-286.

- Duckworth, A. L. & Seligman, M. E. (2005). Self-discipline outdoes IQ in predicting academic performance of adolescents. *Psychological science*, 16(12), 939-944.
- Duncan, J., Burgess, P. & Emslie, H. (1995). Fluid intelligence after frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, 33(3), 261-268.
- Eco, U. (1994). Einführung in die Semiotik (1972). Auflage. München.
- Eigsti, I. M., Zayas, V., Mischel, W., Shoda, Y., Ayduk, O., Dadlani, M. B. et al. (2006). Predicting cognitive control from preschool to late adolescence and young adulthood. *Psychological Science*, 17(6), 478-484.
- Eisenberg, N., Hofer, C. & Vaughan, J. (2007). Effortful control and its socioemotional consequences. *Handbook of emotion regulation*, 2, 287-288.
- Eisenberg, N., Smith, C. L. & Spinrad, T. L. (2011). Effort control: Relations with emotion regulation, adjustment, and socialization in childhood. In K. D. Vohs & R. F. Bauermeister (Hrsg.), *Handbook of self-regulation* (2nd ed., S. 263–283). New York: Guilford Press.
- Eisenberg, N., Spinrad, T. L. & Eggum, N. D. (2010). Emotion-related self-regulation and its relation to children's maladjustment. *Annual review of clinical psychology*, 6, 495-525.
- Eldreth, D. A., Patterson, M. D., Porcelli, A. J., Biswal, B. B., Rebbeci, D. & Rypma, B. (2006). Evidence for multiple manipulation processes in prefrontal cortex. *Brain research*, 1123(1), 145-156.
- Ellefson, M. R., Ng, F. F.-Y., Wang, Q. & Hughes, C. (2017). Efficiency of executive function: a two-generation cross-cultural comparison of samples from Hong Kong and the United Kingdom. *Psychological science*, 28(5), 555-566.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E. & Conway, A. R. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent-variable approach. *Journal of experimental psychology: General*, 128(3), 309.
- Espy, K. A., McDiarmid, M. M., Cwik, M. F., Stalets, M. M., Hamby, A. & Senn, T. E. (2004). The contribution of executive functions to emergent mathematics skills in preschool children. *Developmental neuropsychology*, 26(1), 465-486.
- Espy, K. A., Sheffield, T. D., Wiebe, S. A., Clark, C. A. & Moehr, M. J. (2011). Executive control and dimensions of problem behaviors in preschool children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52(1), 33-46.
- Fleming, M., Merrell, C. & Tymms, P. (2010). The impact of drama on pupils' language, mathematics, and attitude in two primary schools. Research in Drama Education. *The Journal of Applied Theatre and Performance*, 9(2), 177-197.
- Frederking, V., Brüggermann, J., Henschel, S., Burgschweiger, C., Stark, T., Roick, T. et al. (2017). Erleben und Verstehen. Das emotionale Potential literarischer Texte. In R. f. K. Bildung (Hrsg.), *Wenn - Dann. Befunde zu den Wirkungen Kultureller Bildung* (S. 42-43). Essen.
- Friedman, N. P. & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex*, 86, 186-204.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C. & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological science*, 17(2), 172-179.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Robinson, J. L. & Hewitt, J. K. (2011). Developmental trajectories in toddlers' self-restraint predict individual differences in executive functions 14 years later: A behavioral genetic analysis. *Developmental psychology*, 47(5), 1410.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P. & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(2), 201.
- Friso-van den Bos, I., van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H. & van Luit, J. E. H. (2013). Working memory and mathematics in primary school children: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 10, 29-44.
- Fuchs, M. (2008). *Kulturelle Bildung. Grundlagen - Praxis-Politik*. München: Kopaed.

- Fuchs, M. (2013). Auf dem Weg zur Kulturschule. *Sonderheft 21 der Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 16(3), 257-271.
- Fuchs, M. & Braun, T. (Hrsg.). (2015). *Die Kulturschule und kulturelle Schulentwicklung*. Weinheim ; Basel: Beltz Juventa.
- Fuhs, M. W., Nesbitt, K. T., Farran, D. C. & Dong, N. (2014). Longitudinal associations between executive functioning and academic skills across content areas. *Developmental Psychology*, 50(6), 1698.
- Fujioka, T., Ross, B., Kakigi, R., Pantev, C. & Trainor, L. J. (2006). One year of musical training affects development of auditory cortical-evoked fields in young children. *Brain*, 129(10), 2593-2608.
- Fujisawa, K. K., Todo, N., Ando, J. J. I. & Development, C. (2017). Genetic and environmental influences on the development and stability of executive functions in children of preschool age: A longitudinal study of Japanese twins. 26(3), e1994.
- Garon, N. (2016). A review of hot executive functions in preschoolers. *Journal of Self-Regulation and Regulation*, 2, 57-80.
- Garon, N., Bryson, S. E. & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychological bulletin*, 134(1), 31.
- Gathercole, S. E. & Alloway, T. P. (2004). Working memory and classroom learning.
- Gathercole, S. E. & Pickering, S. J. (2000). Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *Br J Educ Psychol*, 70 (Pt 2), 177-194.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B. & Wearing, H. (2004). The Structure of Working Memory From 4 to 15 Years of Age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C. & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, 18(1), 1-16.
- Gerardi-Caulton, G. (2000). Sensitivity to spatial conflict and the development of self-regulation in children 24-36 months of age. *Developmental Science*, 3(4), 397-404.
- Gerstadt, C., Hong, Y. & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: performance of children 3 1/2-7 years old on a Stroop-like day-night test. *Cognition*, 53(2), 129-153.
- Gilmore, C., Attridge, N., Clayton, S., Cragg, L., Johnson, S., Marlow, N. et al. (2013). Individual differences in inhibitory control, not non-verbal number acuity, correlate with mathematics achievement. *PloS one*, 8(6), e67374.
- Gioia, G. A., Isquith, P. K., Guy, S. C. & Kenworthy, L. (2000). *Behavior Rating Inventory of Executive Function: BRIEF*. Psychological Assessment Resources Odessa, FL.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C. et al. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(21), 8174-8179.
- Gordon, R. L., Fehd, H. M. & McCandliss, B. D. (2015). Does music training enhance literacy skills? A meta-analysis. *Frontiers in psychology*, 6, 1-16.
- Granados, I. & Callejón, M. (2010). The Relation between the Executive Function and the Process of Artistic Creation: It's Influence on Pro-social Behavior. *International Journal of the Arts in Society*, 4(6), 213-224.
- Greene, C. M., Braet, W., Johnson, K. A. & Bellgrove, M. A. (2008). Imaging the genetics of executive function. *Biological psychology*, 79(1), 30-42.
- Grolig, L., Cohrdes, C. & Schroeder, S. (2017). Transfereffekte von musikalischer Frühförderung auf Kognition und Leseentwicklung. In R. f. K. Bildung (Hrsg.), *Wenn - Dann. Befunde zu den Wirkungen Kultureller Bildung* (S. 56-63). Essen.
- Gropen, J., Clark-Chiarelli, N., Hoisington, C. & Ehrlich, S. B. (2011). The importance of executive function in early science education. *Child Development Perspectives*, 5(4), 298-304.
- Hamer, G. (Hrsg.). (2014). *Wechselwirkungen. Kulturelle Bildung und ihre Effekte*. München.

- Harms, M. B., Zayas, V., Meltzoff, A. N. & Carlson, S. M. (2014). Stability of executive function and predictions to adaptive behavior from middle childhood to pre-adolescence. *Frontiers in psychology*, 5, 331.
- Hassinger-Das, B., Jordan, N. C., Glutting, J., Irwin, C. & Dyson, N. (2014). Domain-general mediators of the relation between kindergarten number sense and first-grade mathematics achievement. *Journal of experimental child psychology*, 118, 78-92.
- Hasson, U., Nir, Y., Levy, I., Fuhrmann, G. & Malach, R. (2004). Intersubject synchronization of cortical activity during natural vision. *science*, 303(5664), 1634-1640.
- Hecht, S. A., Torgesen, J. K., Wagner, R. K. & Rashotte, C. A. (2001). The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical computation skills: A longitudinal study from second to fifth grades. *Journal of Experimental Child Psychology*, 79(2), 192-227.
- Helmer, K. (2014). Kultur. In D. Benner & J. Oelkers (Hrsg.), *Historisches Wörterbuch der Pädagogik* (S. 527-547). Weinheim.
- Hernandez-Estrada, J. L. (2012). *Aesthetics of generosity: El Sistema, music education, and social change*. CreateSpace.
- Hille, A. & Schupp, J. (2015). How learning a musical instrument affects the development of skills. *Economics of Education Review*, 44, 56-82.
- Hillmann, K.-H. (2007). *Wörterbuch der Soziologie. (5. Auflage)*. Stuttgart: Kröner.
- Ho, Y.-C., Cheung, M.-C. & Chan, A. S. (2003). Music training improves verbal but not visual memory: cross-sectional and longitudinal explorations in children. *Neuropsychology*, 17(3), 439-450.
- Hofmann, W., Schmeichel, B. J. & Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in cognitive sciences*, 16(3), 174-180.
- Holmes, C. J., Gathercole, S. E. & Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science*, 12(4), F9-15.
- Holmes, C. J., Kim-Spoon, J. & Deater-Deckard, K. (2016). Linking executive function and peer problems from early childhood through middle adolescence. *Journal of abnormal child psychology*, 44(1), 31-42.
- Holochwost, S., Propper, C., Wolf, D., Willoughby, M., Fisher, K., Kolacz, J. et al. (2017). Music Education, Academic Achievement, and Executive Functions. *Psychology of Aesthetics creativity and the arts*, 11(2), 247-166.
- Hughes, C. (2013). *Executive function: Development, individual differences, and clinical insights*.
- Hughes, C., Devine, R. T. & Wang, Z. (2018). Does parental mind-mindedness account for cross-cultural differences in preschoolers' theory of mind? *Child development*, 89(4), 1296-1310.
- Hughes, C. & Ensor, R. (2005). Executive function and theory of mind in 2 year olds: A family affair? *Developmental Neuropsychology*, 28(2), 645-668.
- Hughes, C. & Ensor, R. (2007). Executive function and theory of mind: Predictive relations from ages 2 to 4. *Developmental psychology*, 43(6), 1447.
- Hughes, C. & Ensor, R. (2009). How do families help or hinder the emergence of early executive function? *New directions for child and adolescent development*, 2009(123), 35-50.
- Hughes, C., Ensor, R., Wilson, A. & Graham, A. (2009). Tracking Executive Function Across the Transition to School: A Latent Variable Approach. *Developmental Neuropsychology*, 35, 20-36.
- Huizinga, M., Dolan, C. V. & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44(11), 2017-2036.
- Imada, T., Carlson, S. M. & Itakura, S. (2013). East–West cultural differences in context-sensitivity are evident in early childhood. *Developmental Science*, 16(2), 198-208.

- Iseman, J. S. & Naglieri, J. A. (2011). A cognitive strategy instruction to improve math calculation for children with ADHD and LD: A randomized controlled study. *Journal of Learning Disabilities, 44*(2), 184-195.
- Jacob, R. & Parkinson, J. (2015). The potential for school-based interventions that target executive function to improve academic achievement: A review. *Review of Educational Research, 85*(4), 512-552.
- Jaeger, F., Liebsch, B., Rösen, J. & Straub, J. (2004). *Handbuch der Kulturwissenschaften: Band 3: Themen und Tendenzen*: Springer-Verlag.
- Jenks, K., Van Lieshout, E. & de Moor, J. (2012). Cognitive correlates of mathematical achievements in children with cerebral palsy and typically developing children. *British Journal of Educational Psychology, 82*, 120-135.
- Jentschke, S. & Koelsch, S. (2009). Musical training modulates the development of syntax processing in children. *NeuroImage, 47*, 10 S.
- Jones, L. B., Rothbart, M. K. & Posner, M. I. J. D. S. (2003). Development of executive attention in preschool children. *6*(5), 498-504.
- Jurado, M. B. & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding. *Neuropsychology review, 17*(3), 213-233.
- Kant, I. (1790/1791). *Kritik der Urteilskraft. Auf der Grundlage der Kehrbachschen Ausgabe herausgegeben von Raymund Schmidt (6. Aufl.)*. Leipzig: Reclam.
- Karakelle, S. (2009). Enhancing fluent and flexible thinking through the creative drama process. *Thinking Skills and Creativity, 4*, 124-129.
- Keuchel, S. (2012). *Das 2. Jugend-KulturBarometer : "Zwischen Xavier Naidoo und Stefan Raab..."*. Köln: ARCult Media.
- Kidd, C., Palmeri, H. & Aslin, R. N. (2013). Rational snacking: Young children's decision-making on the marshmallow task is moderated by beliefs about environmental reliability. *Cognition, 126*(1), 109-114.
- Kochanska, G., Coy, K. C. & Murray, K. T. (2001). The development of self-regulation in the first four years of life. *Child development, 72*(4), 1091-1111.
- Kochanska, G., Murray, K., Jacques, T. Y., Koenig, A. L. & Vandegest, K. A. (1996). Inhibitory control in young children and its role in emerging internalization. *Child development, 67*(2), 490-507.
- Kochanska, G., Murray, K. T. & Harlan, E. T. (2000). Effortful control in early childhood: continuity and change, antecedents, and implications for social development. *Developmental psychology, 36*(2), 220.
- Koelsch, S. (2005). Neural substrates of processing syntax and semantics in music. *Current Opinion in Neurobiology, 15*, 1-6.
- Konietzko, S., Kuschel, S. & Reinwand-Weiss, V.-I. (2017). *Von Mythen zu Erkenntnissen? Empirische Forschung in der Kulturellen Bildung*. München.
- Kopp, C. B. (1982). Antecedents of self-regulation: a developmental perspective. *Developmental psychology, 18*(2), 199.
- Kozulin, A. (1986). The concept of activity in Soviet psychology: Vygotsky, his disciples and critics. *American psychologist, 41*(3), 264.
- Kramer, J. H., Mungas, D., Possin, K. L., Rankin, K. P., Boxer, A. L., Rosen, H. J. et al. (2014). NIH EXAMINER: conceptualization and development of an executive function battery. *Journal of the international neuropsychological society, 20*(1), 11-19.
- Kraus, N., Skoe, E., Parbery-Clark, A. & Ashley, R. (2009). Experience-induced Malleability in Neural Encoding of Pitch, Timbre, and Timing: Implications for Language and Music. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1169*, 543-557.
- Kroesbergen, E. H., Van Luit, J., Van Lieshout, E., Van Loosbroek, E. & Van de Rijt, B. (2009). Individual differences in early numeracy: The role of executive functions and subitizing. *Journal of Psychoeducational Assessment, 27*(3), 226-236.

- Kroesbergen, E. H., van't Noordende, J. E. & Kolkman, M. E. (2014). Training working memory in kindergarten children: Effects on working memory and early numeracy. *Child Neuropsychology*, 20(1), 23-37.
- Kröner, S., Lüdtke, O., Maaz, K., Trautwein, U. & Köller, O. (2008). Wer geht ins Theater? Künstlerisches Interesse und Offenheit für Erfahrung als Prädiktoren für Veränderungen kultureller Partizipation in der Emerging Adulthood. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und pädagogische Psychologie*, 40, 110-110.
- Kubesch, S. (Hrsg.). (2014). *Exekutive Funktionen und Selbstregulation : neurowissenschaftliche Grundlagen und Transfer in die pädagogische Praxis* (1. Aufl. ed.). Bern: Huber.
- Kubesch, S., Walk, L., Spitzer, M., Kammer, T., Lainburg, A., Heim, R. et al. (2009). A 30-minute physical education program improves students' executive attention. *Mind, Brain, and Education*, 3(4), 235-242.
- Kuhn, D. (2000). Metacognitive development. *Current directions in psychological science*, 9(5), 178-181.
- Kuhn, D. & Franklin, S. (2006). *The second decade: What develops (and how)*: Wiley Online Library.
- Kuhn, L. J., Willoughby, M. T., Wilbourn, M. P., Vernon-Feagans, L. & Blair, C. B. (2014). Early communicative gestures prospectively predict language development and executive function in early childhood. *Child development*, 85(5), 1898-1914.
- Kusché, C. A. & Greenberg, M. T. (1994). *The PATHS curriculum*: Seattle, WA: Developmental Research and Programs.
- Kwon, Y. J. & Lawson, A. E. (2000). Linking brain growth with the development of scientific reasoning ability and conceptual change during adolescence. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(1), 44-62.
- Kyttälä, M., Aunio, P. & Hautamäki, J. (2010). Working memory resources in young children with mathematical difficulties. *Scandinavian journal of psychology*, 51(1), 1-15.
- Lan, X., Legare, C. H., Ponitz, C. C., Li, S. & Morrison, F. J. (2011). Investigating the links between the subcomponents of executive function and academic achievement: A cross-cultural analysis of Chinese and American preschoolers. *Journal of experimental child psychology*, 108(3), 677-692.
- Latzman, R. D., Elkovitch, N., Young, J. & Clark, L. A. (2010). The contribution of executive functioning to academic achievement among male adolescents. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 32(5), 455-462.
- Laufer, D. (1995). *Untersuchungen zur Transferwirkung der Musik auf die sprachlichen Leistungen von Menschen mit geistiger Behinderung* (1. Aufl.). Köln: Dohr.
- Lee, B. K., Patall, E. A., Cawthon, S. W. & Steingut, R. R. (2015). The effect of drama-based pedagogy on preK-16 outcomes: A meta-analysis of research from 1985 to 2012. *Review of Educational Research*, 85(1), 3-49.
- Lee, K., Bull, R. & Ho, R. M. (2013). Developmental changes in executive functioning. *Child development*, 84(6), 1933-1953.
- Lee, K., Ng, S. F., Pe, M. L., Ang, S. Y., Hasshim, M. N. A. M. & Bull, R. (2012). The cognitive underpinnings of emerging mathematical skills: Executive functioning, patterns, numeracy, and arithmetic. *British Journal of Educational Psychology*, 82(1), 82-99.
- Lehmann - Wermser, A. & Krupp - Schleußner, V. (2017). *Jugend und Musik. Eine Studie zu den musikalischen Aktivitäten Jugendlicher in Deutschland*. Bielefeld.
- Lehto, J. E. J., P. ; Kooistra, L. ; Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21, 59-80.
- Lesiuk, T. (2015). Music perception ability of children with executive function deficits. *Psychology of Music*, 43(1), 530-544.
- Leuchtner, M. (2017). *Kinder erkunden die Welt. Frühe naturwissenschaftliche Bildung und Förderung*. Stuttgart.

- Lewis, C., Koyasu, M., Oh, S., Ogawa, A., Short, B. & Huang, Z. (2009). Culture, executive function, and social understanding. *New directions for child and adolescent development*, 2009(123), 69-85.
- Lezak, M. D. (1983). *Neuropsychological assessment* (2nd). New York: Oxford University Press.
- Liew, J. (2011). Effortful Control, Executive Functions, and Education: Bringing Self-Regulatory and Social-Emotional Competencies to the Table. *Child Development Perspectives*, 6(2), 105-111.
- Liew, J. (2012). Effortful control, executive functions, and education: Bringing self-regulatory and social-emotional competencies to the table. *Child development perspectives*, 6(2), 105-111.
- Liew, J., McTigue, E. M., Barrois, L. & Hughes, J. N. (2008). Adaptive and effortful control and academic self-efficacy beliefs on achievement: A longitudinal study of 1st through 3rd graders. *Early childhood research quarterly*, 23(4), 515-526.
- Lillard, A. & Else-Quest, N. (2006). The early years: Evaluating Montessori education. *Science*, 313(5795), 1893-1894.
- Lipina, S. J. & Colombo, J. A. (2009). *Poverty and brain development during childhood: An approach from cognitive psychology and neuroscience*: American Psychological Association.
- Livesey, D., Keen, J., Rouse, J. & White, F. (2006). The relationship between measures of executive function, motor performance and externalising behaviour in 5-and 6-year-old children. *Human Movement Science*, 25(1), 50-64.
- Lutz-Sterzenbach, B. & Kirschenmann, J. (2014). Zeichnung im Papier-das Wesentliche liegt dazwischen.
- Martel, M. M. & Nigg, J. T. (2006). Child ADHD and personality/temperament traits of reactive and effortful control, resiliency, and emotionality. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(11), 1175-1183.
- Matthews, J. S., Ponitz, C. C. & Morrison, F. J. (2009). Early gender differences in self-regulation and academic achievement. *Journal of educational psychology*, 101(3), 689.
- Mayer, D., Sodian, B., Koerber, S. & Schwippert, K. (2014). Scientific reasoning in elementary school children: Assessment and relations with cognitive abilities. *Learning and Instruction*, 29, 43-55.
- Mazzocco, M. M. & Kover, S. T. (2007). A longitudinal assessment of executive function skills and their association with math performance. *Child Neuropsychology*, 13(1), 18-45.
- McClelland, M. M., Acock, A. C. & Morrison, F. J. (2006). The impact of kindergarten learning-related skills on academic trajectories at the end of elementary school. *Early Childhood Research Quarterly*, 21(4), 471-490.
- McClelland, M. M., Cameron, C. E., Duncan, R., Bowles, R. P., Acock, A. C., Miao, A. et al. (2014). Predictors of early growth in academic achievement: The head-toes-knees-shoulders task. *Frontiers in psychology*, 5, 599.
- McClelland, M. M., Cameron, C. E., Wanless, S. B. & Murray, A. (2007). Executive Function, Self-Regulation, and Social-Emotional Competence: Links to School Readiness.
- Meeusen, R., Piacentini, M., Kempnaers, F., Busschaert, B., De Schutter, G., Buyse, L. et al. (2001). Neurotransmitter im Gehirn während körperlicher Belastung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 52(12), 361-368.
- Meltzer, L. (2010). *Promoting executive function in the classroom*. Portland: Ringgold, Inc.
- Meltzer, L. (Hrsg.). (2011). *Executive function in education; from theory to practice* (Bd. 22). Portland: Ringgold, Inc.
- Miller, E. K. & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual review of neuroscience*, 24(1), 167-202.
- Miller, M. R., Giesbrecht, G. F., Müller, U., McInerney, R. J. & Kerns, K. A. (2012). A latent variable approach to determining the structure of executive function in preschool children. *Journal of Cognition and Development*, 13(3), 395-423.

- Miller, M. R., Müller, U., Giesbrecht, G. F., Carpendale, J. I. & Kerns, K. A. (2013). The contribution of executive function and social understanding to preschoolers' letter and math skills. *Cognitive Development*, 28(4), 331-349.
- Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British medical bulletin*, 27, 272-277.
- Mischel, W., Shoda, Y. & Peake, P. K. (1988). The nature of adolescent competencies predicted by preschool delay of gratification. *Journal of personality and social psychology*, 54(4), 687.
- Mischel, W., Shoda, Y. & Rodriguez, M. I. (1989). Delay of gratification in children. *Science*, 244(4907), 933-938.
- Miyake, A. & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current directions in psychological science*, 21(1), 8-14.
- 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(1), 49-100.
- Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H. et al. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 2693-2698.
- Moffitt, T. E., Poulton, R. & Caspi, A. (2013). Lifelong impact of early self-control. *American Scientist*, 101(5), 352-359.
- Moilanen, K. L., Shaw, D. S., Dishion, T. J., Gardner, F. & Wilson, M. J. S. D. (2010). Predictors of longitudinal growth in inhibitory control in early childhood. 19(2), 326-347.
- Monette, S., Bigras, M. & Guay, M.-C. (2011). The role of the executive functions in school achievement at the end of Grade 1. *Journal of experimental child psychology*, 109(2), 158-173.
- Monette, S., Bigras, M. & Lafrenière, M.-A. (2015). Structure of executive functions in typically developing kindergarteners. *Journal of experimental child psychology*, 140, 120-139.
- Montroy, J. J., Bowles, R. P., Skibbe, L. E., McClelland, M. M. & Morrison, F. J. (2016). The development of self-regulation across early childhood. *Developmental psychology*, 52(11), 1744.
- Morales, J., Calvo, A. & Bialystok, E. (2013). Working memory development in monolingual and bilingual children. *Journal of experimental child psychology*, 114(2), 187-202.
- Moreno, S. (2009). Can Music Influence Language and Cognition? *Contemporary Music Review*, 28(3), 329-345.
- Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E. G., Cepeda, N. J. & Chau, T. (2011). Short-Term Music Training Enhances Verbal Intelligence and Executive Function. *Psychological Science*, 22(11), 1425-1433.
- Moses, L. & Tahiröglu, D. (2010). Clarifying the relation between executive function and children's theories of mind. *Self and social regulation: Social interaction and the development of social understanding and executive functions*, 218-233.
- Murray, K. T. & Kochanska, G. (2002). Effortful Control: Factor Structure and Relation to Externalizing and Internalizing Behaviors. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 30(5), 503-514.
- Navarro, J. I., Aguilar, M., Alcalde, C., Ruiz, G., Marchena, E. & Menacho, I. (2011). Inhibitory processes, working memory, phonological awareness, naming speed, and early arithmetic achievement. *The Spanish Journal of Psychology*, 14(2), 580-588.
- Nayfeld, I., Fuccillo, J. & Greenfield, D. B. (2013). Executive functions in early learning: Extending the relationship between executive functions and school readiness to science. *Learning and Individual Differences*, 26, 81-88.
- Neville, H. (2008). Effects of Music Training on brain and Cognitive Development in Under-Privileged 3- to 5-Year-old Children: Preliminary Results. In C. Absbury & B. Rich

- (Hrsg.), *The Dana Consortium Report on Arts and Cognition: Learning, Arts, and the Brain* (S. 105-116). New York/ Washington.
- Nibbrig, C. L. H. (1978). *Ästhetik: Materialien zu ihrer Geschichte*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Nigg, J. T. (2017). Annual Research Review: On the relations among self-regulation, self-control, executive functioning, effortful control, cognitive control, impulsivity, risk-taking, and inhibition for developmental psychopathology. *Journal of child psychology and psychiatry*, 58(4), 361-383.
- Nigg, J. T., Silk, K. R., Stavro, G. & Miller, T. (2005). Disinhibition and borderline personality disorder. *Development and psychopathology*, 17(4), 1129-1149.
- Noble, K. G., McCandliss, B. D. & Farah, M. J. (2007). Socioeconomic gradients predict individual differences in neurocognitive abilities. *Developmental science*, 10(4), 464-480.
- Noble, K. G., Norman, M. F. & Farah, M. J. (2005). Neurocognitive correlates of socioeconomic status in kindergarten children. *Developmental science*, 8(1), 74-87.
- Olesen, P. J., Klingberg, T. & Westerberg, H. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7(1), 75-79.
- Overman, W. H. (2004). Sex differences in early childhood, adolescence, and adulthood on cognitive tasks that rely on orbital prefrontal cortex. *Brain and cognition*, 55(1), 134-147.
- Pagani, L. S. (2012). Links between Motor Skills and Indicators of School Readiness at Kindergarten Entry in Urban Disadvantaged Children. *Journal of Educational and Developmental Psychology*, 2(1), 95-107.
- Pahnke, J. & Pauen, S. (2012). Entwicklung mathematischer und naturwissenschaftlicher Kompetenzen in der frühen Kindheit. *Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“*, 4, 17-68.
- Pallesen, K. J., Brattico, E., Bailey, C. J., Korvenoja, A., Koivisto, J., Gjedde, A. et al. (2010). Cognitive Control in Auditory Working Memory Is Enhanced in Musicians. *PLOS ONE*, 5(6).
- Park, S., Lee, J., Baik, Y., Kim, K., Yun, H., Kwon, H. et al. (2015). A Preliminary Study on the Effects of an Arts Education Program on Executive Function, Behavior, and Brain Structure in a Sample of Nonclinical School-Aged Children. *Journal of Child Neurology*, 30(13), 1757-1766.
- Passolunghi, M. C. & Cornoldi, C. (2008). Working memory failures in children with arithmetical difficulties. *Child Neuropsychology*, 14(5), 387-400.
- Passolunghi, M. C. & Siegel, L. S. (2001). Short-term memory, working memory, and inhibitory control in children with difficulties in arithmetic problem solving. *Journal of experimental child psychology*, 80(1), 44-57.
- Pauen, S. (2006). *Was Babys denken : eine Geschichte des ersten Lebensjahres*. München: Beck.
- Pauen, S. & Bechtel-Kuehne, S. (2016). How toddlers acquire and transfer tool knowledge : Developmental changes and the role of executive functions. *Child development*, 87(4), 1233-1249.
- Pauen, S., Hochmuth, A., Schulz, A. & Bechtel, S. (2014). IMMA 1-6 : IMPuls-MANagement vom Kleinkind - bis zum Vorschulalter - Ein Elternfragebogen zur Beziehungsgestaltung im Umgang mit Erwartungen, Zielen und Gefühlen. In *Kindergartenpädagogik - Online Handbuch*.
- Pauen, S. & the EDOS Group. (2016). Understanding early development of self-regulation and co-regulation: EDOS and PROSECO. *Journal of Self-Regulation and Regulation*, 2, 3-6.
- Peng, P., Namkung, J., Barnes, M. & Sun, C. (2016). A meta-analysis of mathematics and working memory: Moderating effects of working memory domain, type of mathematics skill, and sample characteristics. *Journal of Educational Psychology*, 108(4), 455.
- Petermann, F. & Petermann, U. (2011). Prävention. *Kindheit und Entwicklung*, 20(4), 197-200.
- Petitto, L. (2008). *Arts and Cognition Monograph: Arts Education, the Brain, and Language*. Verfügbar unter: <http://www.dana.org/Publications/ReportDetails.aspx?id=44250>

- Piaget, J. (1976). Piaget's theory. In *Piaget and his school* (S. 11-23): Springer.
- Ponitz, C. C., McClelland, M. M., Jewkes, A. M., Connor, C. M., Farris, C. L. & Morrison, F. J. (2008). Touch your toes! Developing a direct measure of behavioral regulation in early childhood. *Early Childhood Research Quarterly*, 23(2), 141-158.
- Ponitz, C. C., McClelland, M. M., Matthews, J. S. & Morrison, F. J. (2009). A structured observation of behavioral self-regulation and its contribution to kindergarten outcomes. *Developmental Psychology*, 45(3), 605-619.
- Posner, M., Rothbart, M. K., Sheese, B. & Kieras, J. (2008). How Arts Training Influences Cognition. In C. Asbury & B. Rich (Hrsg.), *The Dana Consortium Report on Arts and Cognition: Learning, Arts, and the Brain* (S. 1-10). New York/ Washington.
- Poulton, R., Moffitt, T. E. & Silva, P. A. (2015). The Dunedin Multidisciplinary Health and Development Study: overview of the first 40 years, with an eye to the future. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 50(5), 679-693.
- Quante, S., Evers, W. F., Otto, M., Hille, K. & Walk, L. M. (2016). EMIL-Ein Kindergarten-Konzept zur Stärkung der Selbstregulation durch Förderung der exekutiven Funktionen. *Diskurs Kindheits-und Jugendforschung*, 11(4).
- Rasmussen, C. & Bisanz, J. (2005). Representation and working memory in early arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91(2), 137-157.
- Rat für Kulturelle Bildung (Hrsg.). (2014). *Schön dass ihr da seid. Kulturelle Bildung: Teilhabe und Zugänge*. Essen.
- Rat für Kulturelle Bildung (Hrsg.). (2015). *Jugend/ Kunst/ Erfahrung. Horizont 2015*. Essen.
- Rat für Kulturelle Bildung (Hrsg.). (2017). *Eltern/ Kind/ Kulturelle Bildung*. Essen.
- Raver, C. C. (2004). Placing emotional self-regulation in sociocultural and socioeconomic contexts. *Child Dev*, 75(2), 346-353.
- Reinwand, V. (2012). Künstlerische Bildung - Ästhetische Bildung - Kulturelle Bildung. In H. Bockhorst, V. Reinwand & W. Zacharis (Hrsg.), *Hanbuch Kulturelle Bildung* (S. 108-114). München.
- Rey-Mermet, A., Gade, M. & Oberauer, K. (2017). Should we stop thinking about inhibition? Searching for individual and age differences in inhibition ability.
- Rhoades, B. L., Greenberg, M. T. & Domitrovich, C. E. (2009). The contribution of inhibitory control to preschoolers' social-emotional competence. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 30(3), 310-320.
- Rhoades, B. L., Greenberg, M. T., Lanza, S. T. & Blair, C. J. J. o. E. C. P. (2011). Demographic and familial predictors of early executive function development: Contribution of a person-centered perspective. *108(3)*, 638-662.
- Rhodes, S. M., Booth, J. N., Campbell, L. E., Blythe, R. A., Wheate, N. J. & Delibegovic, M. (2014). Evidence for a role of executive functions in learning biology. *Infant and Child Development*, 23(1), 67-83.
- Rhodes, S. M., Booth, J. N., Palmer, L. E., Blythe, R. A., Delibegovic, M. & Wheate, N. J. (2016). Executive functions predict conceptual learning of science. *British Journal of Developmental Psychology*, 34(2), 261-275.
- Rimm-Kaufman, S. E., Curby, T. W., Grimm, K. J., Nathanson, L. & Brock, L. L. (2009). The contribution of children's self-regulation and classroom quality to children's adaptive behaviors in the kindergarten classroom. *Developmental psychology*, 45(4), 958.
- Rittelmeyer, C. (2010). *Warum und wozu ästhetische Bildung? : über Transferwirkungen künstlerischer Tätigkeiten ; ein Forschungsüberblick* (1. Aufl.). Oberhausen: Athena-Verl.
- Rittelmeyer, C. (2013). Transferwirkungen künstlerischer Tätigkeiten. Ihre kritische Kommentierung durch eine umfassende Theorie ästhetischer Bildung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 16(Sonderheft 21), 217-231.
- Rittelmeyer, C. (2014a). *Aisthesis. Zur Bedeutung von Körper-Resonanzen für die ästhetische Bildung*. München.
- Rittelmeyer, C. (2014b). Kulturelle Bildung ohne Künste? In Wissensplattform kulturelle Bildung online (Hrsg.).

- Rittelmeyer, C. (2015). Werke und Prozesse künstlerischer Bildung im Blick der Forschung: Über den methodologisch organisierten Verlust der "Objekte" - und ihre Wiederentdeckung am Beispiel der Musik. In Wissensplattform kulturelle Bildung online (Hrsg.).
- Rittelmeyer, C. (2016). *Bildende Wirkungen ästhetischer Erfahrungen : wie kann man sie erforschen? : Eine Rahmentheorie*. Weinheim ; Basel: Beltz Juventa.
- Ritter, J. & Gründer, K. (Hrsg.). (1976). *Historisches Wörterbuch der Philosophie* (Bd. 4). Darmstadt.
- Roebers, C. M. & Kauer, M. (2009). Motor and cognitive control in a normative sample of 7-year-olds. *Developmental Science*, 12(1), 175-181.
- Ropeter, A. & Pauen, S. (2013). Relating 7-Month-Olds Visuo-Spatial Working Memory to Other Basic Mental Skills Assessed With Two Different Versions of the Habituation-Dishabituation Paradigm *Infancy*, 18(4), 578-603.
- Ropovik, I. (2014). Do executive functions predict the ability to learn problem-solving principles? *Intelligence*, 44, 64-74.
- Rose, S. A., Feldman, J. F. & Jankowski, J. J. (2011). Modeling a cascade of effects: The role of speed and executive functioning in preterm/full-term differences in academic achievement. *Developmental science*, 14(5), 1161-1175.
- Rothbart, M. K. (2011). *Becoming who we are: Temperament and personality in development*. Guilford Press.
- Rothbart, M. K. & Bates, J. (2006). Temperament (In W. Damon, R. Lerner, & N. Eisenberg(Eds.). *Handbook of child psychology. Social, emotional, and personality development* (Vol. 3, pp. 99–166): New York: Wiley.
- Rothlisberger, M., Neuenschwander, R., Cimeli, P., Michel, E. & Roebers, C. M. (2012). Improving executive functions in 5- and 6-year-olds: Evaluation of a small group intervention in prekindergarten and kindergarten children. *Infant and Child Development*, 21(4), 411-429.
- Röthlisberger, M., Neuenschwander, R., Michel, E. & Roebers, C. M. (2010). Exekutive funktionen: zugrundeliegende kognitive prozesse und deren korrelate bei kindern im späten vorschulalter. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*.
- Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B. D., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Lercari, L. P. et al. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, 42(8), 1029-1040.
- Rueda, M. R., Rothbart, M. K., McCandliss, B. D., Saccomanno, L. & Posner, M. (2005). Training, Maturation, and Genetic Influences on the Development of Executive Attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(41), 14931-14936.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, 55(1), 68.
- Sabbagh, M. A., Xu, F., Carlson, S. M., Moses, L. J. & Lee, K. (2006). The development of executive functioning and theory of mind: A comparison of Chinese and US preschoolers. *Psychological science*, 17(1), 74-81.
- Sarsour, K., Sheridan, M., Jutte, D., Nuru-Jeter, A., Hinshaw, S. & Boyce, W. T. (2011). Family socioeconomic status and child executive functions: The roles of language, home environment, and single parenthood. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(1), 120-132.
- Scerif, G., Karmiloff-Smith, A., Campos, R., Elsabbagh, M., Driver, J. & Cornish, K. (2005). To Look or Not to Look? Typical and Atypical Development of Oculomotor Control. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(4), 591-604.
- Schellenberg, E. G. (2011). Examining the association between music lessons and intelligence. *BRITISH JOURNAL OF PSYCHOLOGY*, 102(3), 283-302.

- Schiller, F. (1795). Über die ästhetische Erziehung des Menschen in einer Reihe von Briefen. In F. Schiller (Hrsg.), *Sämtliche Werke* (Bd. 5, S. 570-569). München.
- Schmitt, S. A., McClelland, M. M., Tominey, S. L. & Acock, A. C. (2015). Strengthening school readiness for Head Start children: Evaluation of a self-regulation intervention. *Early Childhood Research Quarterly, 30*, 20-31.
- Schonert-Reichl, K. A. & Lawlor, M. S. (2010). The effects of a mindfulness-based education program on pre-and early adolescents' well-being and social and emotional competence. *Mindfulness, 1*(3), 137-151.
- Segretin, M. S., Lipina, S. J., Hermida, M. J., Sheffield, T. D., Nelson, J. M., Espy, K. A. et al. (2014). Predictors of cognitive enhancement after training in preschoolers from diverse socioeconomic backgrounds. *Frontiers in psychology, 5*, 205.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder Deutschland (Hrsg.). (2007). *Empfehlungen der Kultusministerkonferenz zur kulturellen Kinder- und Jugendbildung. Beschluss vom 1.2.2007 i.d.F. vom 10.10.2013.*
- Senn, T. E., Espy, K. A. & Kaufmann, P. M. (2004). Using path analysis to understand executive function organization in preschool children. *Developmental neuropsychology, 26*(1), 445-464.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 298*(1089), 199-209.
- Sherman, E. M. & Brooks, B. L. J. C. N. (2010). Behavior rating inventory of executive function—preschool version (BRIEF-P): Test review and clinical guidelines for use. *16*(5), 503-519.
- Shing, Y. L., Lindenberger, U., Diamond, A., Li, S.-C. & Davidson, M. C. (2010). Memory maintenance and inhibitory control differentiate from early childhood to adolescence. *Developmental Neuropsychology, 35*(6), 679-697.
- Shoda, Y., Mischel, W. & Peake, P. K. (1990). Predicting adolescent cognitive and self-regulatory competencies from preschool delay of gratification: Identifying diagnostic conditions. *Developmental psychology, 26*(6), 978.
- Sodian, B., Thoermer, C. & Koerber, S. (2008). Das Kind als Wissenschaftler—schon im Vor- und Grundschulalter. In L. Fried (Hrsg.), *Das wissbegierige Kind. Neue Perspektiven in der Früh- und Elementarpädagogik* (S. 29-36). Weinheim: Juventa.
- Solaz-Portoles, J. J. & Sanjosé-López, V. (2009). Working memory in science problem solving: A review of research. *Revista mexicana de psicología, 26*(1).
- Spelke, E. (1990). Principles of object perception. *Cognitive Science, 14*(1), 29-56.
- Spelke, E. (2008). Effects of Music Instruction on Developing Cognitive Systems at the Foundations of Mathematics and Science. In C. Asbury & B. Rich (Hrsg.), *The Dana Consortium Report on Arts and Cognition: Learning, Arts and the Brain* (S. 14-49). New York/ Washington.
- Spitzer, M. (2002). Lernen. *Gehirnforschung und die Schule des Lebens. Heidelberg: Spektrum.*
- Sportman, E., Robinson, S. & Sinclair, O. (2010). *OrchKids Evolution Report Executive Summary and Primary Data Collection*. Verfügbar unter: http://elsistemahawaii.net/REP+Resource/Resources_files/OrchKids%20Evaluation%20Report%202009-2010.pdf [Oktober 2017].
- Sridharan, D., Levitin, D. J., Chafe, C. H., Berger, J. & Menon, V. (2007). Neural Dynamics of Event Segmentation in Music: Converging Evidence for Dissociable Ventral and Dorsal Networks. *Neuron, 55*(3), 521-532.
- St Clair-Thompson, H. L. & 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.
- St Clair-Thompson, H. L. & Botton, C. (2009). Working memory and science education: Exploring the compatibility of theoretical approaches. *Research in Science & Technological Education, 27*(2), 139-150.
- Stern, M., Konowalczk, S., Pürgstaller, E., Hardt, Y., Neuber, N. & Steinberg, C. (2017). Tanz und Bewegungstheater: Ein künstlerisch-pädagogisches Projekt zur Kulturellen Bildung

- in der Ganztagesesschule. In R. f. K. Bildung (Hrsg.), *Wenn - Dann Befunde zu den Wirkungen Kultureller Bildung* (S. 75-82). Essen.
- Strait, D., Kraus, N., Skoe, E. & Ashley, R. (2009). Musical experience and neural efficiency - effects of training on subcortical processing of vocal expressions of emotion. *European Journal of Neuroscience*, 29(3), 661-668.
- Swanson, H. (2006). Cross-sectional and incremental changes in working memory and mathematical problem solving. *Journal of educational psychology*, 98(2), 265.
- Swanson, H. & Ashbaker, M. H. (2000). Working memory, short-term memory, speech rate, word recognition and reading comprehension in learning disabled readers: does the executive system have a role? 1. *Intelligence*, 28(1), 1-30.
- Swanson, H. & Beebe-Frankenberger, M. (2004). The relationship between working memory and mathematical problem solving in children at risk and not at risk for serious math difficulties. *Journal of educational psychology*, 96(3), 471.
- Swanson, H., Jerman, O. & Zheng, X. (2008). Growth in working memory and mathematical problem solving in children at risk and not at risk for serious math difficulties. *Journal of Educational Psychology*, 100(2), 343.
- Swanson, H. & Sachse-Lee, C. (2001). Mathematical problem solving and working memory in children with learning disabilities: Both executive and phonological processes are important. *Journal of Experimental Child Psychology*, 79(3), 294-321.
- Sylvester, C.-Y. C., Wager, T. D., Lacey, S. C., Hernandez, L., Nichols, T. E., Smith, E. E. et al. (2003). Switching attention and resolving interference: fMRI measures of executive functions. *Neuropsychologia*, 41(3), 357-370.
- Teuber, H.-L. (1972). Unity and diversity of frontal lobe functions. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 32, 615-656.
- Trentacosta, C. J. & Shaw, D. S. (2009). Emotional self-regulation, peer rejection, and antisocial behavior: Developmental associations from early childhood to early adolescence. *Journal of applied developmental psychology*, 30(3), 356-365.
- van der Graaf, J., Segers, E. & Verhoeven, L. (2016). Scientific reasoning in kindergarten: Cognitive factors in experimentation and evidence evaluation. *Learning and Individual Differences*, 49, 190-200.
- van der Sluis, S., de Jong, P. F. & van der Leij, A. (2004). Inhibition and shifting in children with learning deficits in arithmetic and reading. *Journal of experimental child psychology*, 87(3), 239-266.
- van der Sluis, S., de Jong, P. F. & van der Leij, A. (2007). Executive functioning in children, and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence*, 35(5), 427-449.
- Van der Ven, S. H., Kroesbergen, E. H., Boom, J. & Leseman, P. P. (2012). The development of executive functions and early mathematics: A dynamic relationship. *British Journal of Educational Psychology*, 82(1), 100-119.
- Vaughan, L. & Giovanello, K. (2010). Executive function in daily life: Age-related influences of executive processes on instrumental activities of daily living. *Psychology and aging*, 25(2), 343.
- Viterbori, P., Usai, M. C., Traverso, L. & De Franchis, V. (2015). How preschool executive functioning predicts several aspects of math achievement in Grades 1 and 3: A longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 140, 38-55.
- Walk, L. M., Evers, W. F., Quante, S. & Hille, K. (2018). Evaluation of a teacher training program to enhance executive functions in preschool children. *PloS one*, 13(5), e0197454.
- Wang, F. L., Chassin, L., Eisenberg, N. & Spinrad, T. L. (2015). Effortful control predicts adolescent antisocial-aggressive behaviors and depressive symptoms: Co-occurrence and moderation by impulsivity. *Child development*, 86(6), 1812-1829.
- Wang, Z., Devine, R. T., Wong, K. K. & Hughes, C. (2016). Theory of mind and executive function during middle childhood across cultures. *Journal of experimental child psychology*, 149, 6-22.

- Wanless, S. B., McClelland, M. M., Lan, X., Son, S.-H., Cameron, C. E., Morrison, F. J. et al. (2013). Gender differences in behavioral regulation in four societies: The United States, Taiwan, South Korea, and China. *Early Childhood Research Quarterly*, 28(3), 621-633.
- Watts, T. W., Duncan, G. J. & Quan, H. (2018). Revisiting the Marshmallow Test: A Conceptual Replication Investigating Links Between Early Delay of Gratification and Later Outcomes. *Psychological science*, 0956797618761661.
- Wechsler, D. (2003). *Wechsler intelligence scale for children : (WISC-IV) r*. Frankfurt am Main: Pearson.
- Welsh, J. A., Nix, R. L., Blair, C., Bierman, K. L. & Nelson, K. E. (2010). The development of cognitive skills and gains in academic school readiness for children from low-income families. *Journal of educational psychology*, 102(1), 43.
- Welsh, M. & Peterson, E. (2014). Issues in the conceptualization and assessment of hot executive functions in childhood. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 20(2), 152-156.
- Wiebe, S. A., Espy, K. A. & Charak, D. (2008). Using confirmatory factor analysis to understand executive control in preschool children: I. Latent structure. *Developmental psychology*, 44(2), 575.
- Wiebe, S. A. & Karbach, H. (Hrsg.). (2018). *Executive Function. Development Across the Life Span*. New York.
- Wiebe, S. A., Sheffield, T. D. & Andrews Espy, K. (2012). Separating the fish from the sharks: a longitudinal study of preschool response inhibition. *Child Development*, 83(4), 1245-1261.
- 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(11), 1336-1346.
- Willoughby, M. T., Blair, C. B., Wirth, R. J. & Greenberg, M. (2010). The Measurement of Executive Function at Age 3 Years : Psychometric Properties and Criterion Validity of a New Battery of Tasks. *Psychological Assessment*, 22(2), 306-317.
- Winner, E., Goldstein, T. & Vincent-Lancrin, S. (2013). *Art for Art's sake? Overview*: OECD publishing.
- Winsler, A., Diaz, R. M., Atencio, D. J., McCarthy, E. M. & Chabay, L. A. (2000). Verbal self-regulation over time in preschool children at risk for attention and behavior problems. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 41(7), 875-886.
- Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A. et al. (2007). High impact running improves learning. *Neurobiology of learning and memory*, 87(4), 597-609.
- Wu, C. T., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Chaddock, L., Voss, M. W., Kramer, A. F. et al. (2011). Aerobic fitness and response variability in preadolescent children performing a cognitive control task. *Neuropsychology*, 25(3), 333-341.
- Yeniad, N., Malda, M., Mesman, J., van IJzendoorn, M. H. & Pieper, S. J. L. (2013). Shifting ability predicts math and reading performance in children: A meta-analytical study. *Learning Individual Differences*, 23, 1-9.
- Yuan, K., Steedle, J., Shavelson, R., Alonzo, A. & Opezzo, M. (2006). Working memory, fluid intelligence, and science learning. *Educational Research Review*, 1(2), 83-98.
- Zaitchik, D., Iqbal, Y. & Carey, S. (2014). The effect of executive function on biological reasoning in young children: An individual differences study. *Child Development*, 85(1), 160-175.
- Zelazo, P. D. (2006). The Dimensional Change Card Sort (DCCS): A method of assessing executive function in children. *Nature Protocols*, 1(1), 297-301.
- Zelazo, P. D. & Carlson, S. M. (2012). Hot and cool executive function in childhood and adolescence: Development and plasticity. *Child Development Perspectives*, 6(4), 354-360.

- Zelazo, P. D., Carlson, S. M. & Kesek, A. (2008). The development of executive function in childhood.
- Zelazo, P. D. & Cunningham, W. (2007). Executive Function: Mechanisms Underlying Emotion Regulation. In J. Gross (Hrsg.), *Handbook of emotion regulation* (S. 135-158). New York: Guilford Press.
- Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., Marcovitch, S., Argitis, G., Boseovski, J. et al. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the society for research in child development*, i-151.
- Zhou, Q., Chen, S. H. & Main, A. (2012). Commonalities and differences in the research on children's effortful control and executive function: A call for an integrated model of self-regulation. *Child Development Perspectives*, 6(2), 112-121.
- Zivin, G. (1979). *The development of self-regulation through private speech* (Bd. 6): John Wiley & Sons.
- Zucker, R. A., Heitzeg, M. M. & Nigg, J. T. (2011). Parsing the undercontrol–disinhibition pathway to substance use disorders: A multilevel developmental problem. *Child development perspectives*, 5(4), 248-255.
- Zuk, J., Benjamin, C., Kenyon, A. & Gaab, N. (2014). Behavioral and Neural Correlates of Executive Functioning in Musicians and Non-Musicians. *PLOS ONE*, 9.