

EINFLUSS VORSCHULISCHER EXEKUTIVER FUNKTIONEN AUF DIE
ENTWICKLUNG VON LESEN, RECHTSCHREIBEN UND RECHNEN IN DER
SCHULEINGANGSPHASE

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Philosophie des
Fachbereichs Psychologie und Sportwissenschaft der Justus-Liebig-
Universität Gießen

vorgelegt von Stefanie Simanowski-Schulz

aus Gießen

2014

1. Berichterstatterin: Prof. Dr. Kristin Krajewski

Dekan und 2. Berichterstatter: Prof. Dr. Marco Ennemoser

Tag der Disputation: 15.09.2014

DANKSAGUNG

Vielen Menschen ist zu danken, dass diese Unternehmung ihr Ziel erreichen konnte. Ich bedanke mich herzlich bei den teilnehmenden Kinder, die über die vergangenen Jahre an der Studie teilgenommen haben und die ich mit Freude drei Jahre lang begleiten konnte sowie deren Eltern, ErzieherInnen und LehrerInnen, die der Studie offen und unterstützend gegenüberstanden.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Kristin Krajewski, die den Anstoß zu dieser Untersuchung gegeben hat. Ich bedanke mich sehr dafür, dass allen Entwicklungsschritten in den vergangenen Jahren die nötige Zeit gegeben wurde und ich danke für wertvolle Gespräche, die dazu beigetragen haben, dass die Inhalte dieser Arbeit wachsen konnten.

Ebenso bedanke ich mich herzlich bei Nicola Désirée Schulte für die förderlichen kritischen Anmerkungen und die hin und wieder notwendige moralische Unterstützung. Mein Dank geht genauso an Nadine Greiner für die lange und vertrauensvolle Zusammenarbeit im Projekt. Viele wissenschaftliche Hilfskräfte waren mit daran beteiligt, die Datengrundlage für diese Untersuchung zu erheben, vielen Dank für die Mithilfe!

Der allergrößte Dank ist meiner Familie auszusprechen: „Wir haben es geschafft!“ kann ich sagen, denn ohne die große Unterstützung von Dir, liebe Angela, und von Euch, meine lieben Eltern und liebe Doris, wäre dieser Schritt nicht machbar gewesen. Ohne Dich, lieber Torsten, hätte es mir an Ruhe und Zuversicht gefehlt und ohne Euch, liebe Hannah, lieber Moritz und lieber Jasper, hätte ich an manchen Tagen das ‚wahre Leben‘ aus den Augen verloren. Und obgleich Ihr drei es sicher vorziehen würdet, wenn in diesem Buch von fantastischen Welten, Abenteuern junger Detektive oder vom Jugendlichsein erzählt werden würde statt von Updating, Shifting und Inhibition, so ist dieses Buch trotzdem besonders Euch Dreien und Eurer Geduld gewidmet.

I. EINLEITUNG.....	1
II. EXEKUTIVE FUNKTIONEN: DEFINITION, ENTWICKLUNG UND ERFASSUNG.....	4
1. BESTANDTEILE UND STRUKTUR	6
1.1 Abgrenzung: Exekutive Funktionen und Aufmerksamkeit	11
1.2 Abgrenzung: Exekutive Funktionen und die zentrale Exekutive des Arbeitsgedächtnisses..	16
1.3 Abgrenzung: Exekutive Funktionen und Working Memory Capacity.....	20
1.4 Abgrenzung: Exekutive Funktionen und Intelligenz	22
1.5 Fazit: Exekutive Funktionen unter dem Gesichtspunkt „Unity-Diversity“	25
2. ENTWICKLUNG UND FAKTORENSTRUKTUR VON EXEKUTIVEN FUNKTIONEN BEI KINDERN.....	28
2.1 Entwicklung	28
2.1.1 Befunde zur Entwicklung exekutiver Funktionen.....	32
2.2 Struktur exekutiver Funktionen	36
2.2.1 Einfaktorielle Struktur	36
2.2.2 Zweifaktorielle Struktur.....	37
2.2.3 Dreifaktorielle Struktur.....	39
3. ERFASSUNG EXEKUTIVER FUNKTIONEN	40
4. FRAGESTELLUNGEN	44
III. EINFLUSS EXEKUTIVER FUNKTIONEN AUF MATHEMATISCHE LEISTUNGEN VON ERSTKLÄSSLERN	46
1. EINLEITUNG	46
1.1 Entwicklung mathematischer Fähigkeiten	47

1.2 Einfluss exekutiver Funktionen auf mathematische Leistungen	49
1.2.1 Allgemeine exekutive Kontrolle und mathematische Leistungen.....	51
1.2.2 Updating und mathematische Leistungen	54
1.2.3 Inhibition und mathematische Leistungen	58
1.2.4 Shifting und mathematische Leistungen	62
1.3 Zusammenfassung	64
1.4 Fragestellungen und Hypothesen	66
2. METHODE.....	69
2.1 Stichprobe und Untersuchungsdesign	69
2.2 Testverfahren.....	70
3. ERGEBNISSE	72
3.1 Deskriptive Statistik	72
3.2 Faktorenanalyse.....	73
3.3 Korrelationen	74
3.4 Strukturgleichungsmodellierung.....	76
4. DISKUSSION	78
 IV. EINFLUSS EXEKUTIVER FUNKTIONEN AUF SCHRIFTSPRACHLICHE LEISTUNGEN VON ERSTKLÄSSLERN.....	 82
1. EINLEITUNG.....	82
1.1 Entwicklung schriftsprachlicher Fähigkeiten.....	84
1.2 Einfluss exekutiver Funktionen auf schriftsprachliche Leistungen	88
1.2.1 Exekutive Funktionen im Allgemeinen und schriftsprachliche Leistungen	89

1.2.2 <i>Updating und schriftsprachliche Leistungen</i>	90
1.2.3 <i>Inhibition und schriftsprachliche Leistungen</i>	94
1.2.4 <i>Shifting und schriftsprachliche Leistungen</i>	99
1.3 Zusammenfassung	100
1.4 Fragestellungen und Hypothesen	101
2. METHODE	104
2.1 Stichprobe und Untersuchungsdesign	104
2.2 Testverfahren	105
3. ERGEBNISSE	107
3.1 Deskriptive Statistik	107
3.2 Korrelationen	110
3.3 Strukturgleichungsmodellierung	113
4. DISKUSSION	121
V. EINFLUSS EXEKUTIVER FUNKTIONEN BEI KINDERN MIT KOMBINIERTEN LERNSCHWÄCHEN	132
1. EINLEITUNG	132
1.1 Definition und Prävalenz komorbider Lernschwächen	133
1.2 Erklärungsansätze für das Auftreten kombinierter Lernschwächen	136
1.3 Kognitive Profile bei kombinierten Lernschwächen	141
1.3.1 <i>Arbeitsgedächtnisleistungen bei kombinierten Lernschwächen</i>	141
1.3.2 <i>Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit bei kombinierten Lernschwächen</i>	143
1.3.3 <i>Domänenspezifische Vorläuferfertigkeiten bei kombinierten Lernschwächen</i>	144

1.4 Einfluss exekutiver Funktionen auf Schulleistungen bei Kindern mit kombinierten Lernschwächen	145
1.4.1 Updating (Working memory/Zentrale Exekutive) und kombinierte Lernschwächen ..	146
1.4.2 Inhibition und kombinierte Lernschwächen	147
1.4.3 Shifting und kombinierte Lernschwächen	150
1.5 Zusammenfassung und Fragestellungen.....	152
2. METHODE.....	158
2.1 Stichprobe	158
2.2 Testverfahren.....	159
3. ERGEBNISSE	161
3.1 Prävalenzen von Lernschwächen	161
3.2 Kognitive Profile von Kindern mit isolierten und kombinierten Lernschwächen.....	168
3.3 Charakteristika von Kindern mit kombinierten Lernschwächen	171
3.4 Prognostische Validität exekutiver Funktionen für kombinierte Lernschwächen	180
4. DISKUSSION	191
VI. ZUSAMMENSCHAU UND AUSBLICK.....	208
VII. ZUSAMMENFASSUNG	212
LITERATURVERZEICHNIS.....	215
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	229
TABELLENVERZEICHNIS	230

I. EINLEITUNG

Bei den exekutiven Funktionen handelt es sich um einen Verbund verschiedener Fähigkeiten, welchen zunächst aus neuropsychologischer, klinischer und kognitionspsychologischer Sicht Aufmerksamkeit gewidmet wurde. In vielen neuropsychologischen und medizinischen Lehrschriften finden sich die Beschreibungen von Patienten, welche nach Frontalhirnläsionen schwere Störungen in der Kontrolle und Regulation von Kognition, Verhalten und Emotionen zeigten. Diese bestehen beispielsweise in reduzierter Ängstlichkeit, gesteigerter Impulsivität und Euphorie, in mangelndem vorausschauenden und Konsequenzen berücksichtigenden Denken und Handeln, in geringerer Initiative und Flexibilität und in reduzierter okulomotorischer Kontrolle als auch erschwerter Überwachung von längeren Handlungsfolgen (z.B. Benton, 1968; Milner, 1982). Gesunde Menschen zeigen alltäglich, was diese Patienten offensichtlich nicht bewältigen können: Situationsangemessenes, kontrolliertes, Alternativen abwägendes, zielorientiertes, aufmerksames, auf wesentliche Aspekte fokussiertes und unwesentliche Stimuli ausblendendes Denken und Verhalten. Die Fähigkeit zu dieser Art Selbstregulation ist bereits bei Kindern vor dem dritten Lebensjahr erkennbar, wenn auch die Entwicklung bis in das Jugend- und Erwachsenenalter hinein voranschreitet (z.B. Best, Miller & Jones, 2009; Garon, Bryson & Smith, 2008; Huizinga, Dolan & van der Molen, 2006). Beispielsweise ein Mensch-ärgere-dich-nicht-Spiel, bei dem verschiedene Zugmöglichkeiten abgewogen werden müssen, die motorische Koordination beim Erlernen eines Instruments, das Wechseln der eigenen Sicht zur Perspektive anderer oder das schrittweise Lösen einer Rechenaufgabe erfordern reflexives Verhalten des Kindes. Kontroll- und Regulationsprozesse spielen deshalb von Kindheit an eine wesentliche Rolle in Informationsverarbeitungsprozessen. Diesen Kontroll- und Regulationsmechanismen mit der Bezeichnung *Exekutive Funktionen* wird eine Top-down-Funktion zugeschrieben (Drechsler, 2007), d.h. exekutive Funktionen stellen eine übergeordnete domänenunspezifische Instanz dar, weil sie ermöglichen, dass andere Prozesse, wie z.B. die Bereitstellung von Wissen aus dem Langzeitgedächtnis, motorische Handlungen oder dauerhafte Aufmerksamkeit im koordinierten Zusammenspiel situationsangemessen und zielgeleitet stattfinden können.

Da exekutive Funktionen immer dann eine bedeutsame Rolle spielen, wenn nicht auf automatisierte Verhaltensweisen, altbekanntes Wissen oder vorhandene erfolgversprechende Problemlösestrategien zurückgegriffen werden kann oder darf, beeinflusst ihr Einsatz das Denken und Verhalten in allen neuen, unerwarteten und komplexen Situationen (vgl. Garon et al., 2008). Auch wenn exekutive Kontrolle während der gesamten Lebensspanne relevant ist, so ist doch die

Kindheit außerordentlich geprägt von vielfältigen neuen Erfahrungen und großen als auch schnellen Lernfortschritten, so dass die Reifung und der Einsatz exekutiver Funktionen in diesem Lebensabschnitt u.a. für den anstehenden Erwerb akademischer Fertigkeiten von besonders großer Bedeutung sind (z.B. Blair & Razza, 2007; Carlson, 2005).

Im Vorschulalter lassen sich bereits Hinweise auf die Beteiligung exekutiver Funktionen an der Entwicklung schriftsprachlicher und numerischer Vorläuferfertigkeiten finden (z.B. Bull & Lee, 2014; Röthlisberger, Neuenschwander, Michel & Roebbers, 2010; Welsh et al., 2010), welche wiederum bedeutsame Voraussetzungen für den Erwerb von Lesen, Schreiben und Rechnen darstellen (z.B. Duncan et al., 2007; Krajewski & Schneider, 2009a; Wagner & Torgesen, 1987). Exekutive Funktionen sind aber nicht nur indirekt mit dem Erwerb akademischer Fähigkeiten verknüpft. Mit dem Übergang vom Kindergarten in die Grundschule begibt sich das Kind in eine neue Lernumgebung, welche deutlich höhere Ansprüche als der Alltag im Kindergarten an das Kind stellt. Die Regulation von Motivation und Emotion als auch des Verhaltens stellen wichtige Grundlagen für eine erfolgreiche Anpassung an die schulische Lernumwelt dar und insbesondere die Verhaltensregulation durch exekutive Funktionen nimmt unabhängig von der individuellen Intelligenz direkten Einfluss auf Schulleistungen (Best, Miller & Naglieri, 2011; Neuenschwander, Röthlisberger, Cimeli & Roebbers, 2012). Neben diesem direkten domänenübergreifenden Einfluss exekutiver Kontrolle auf das Lesen, Schreiben und Rechnen lässt sich beobachten, dass Kinder mit guten exekutiven Kontrollfähigkeiten auch in schwierigen Lernsituationen eher ein angemessenes Arbeitsverhalten aufrechterhalten können, was sich wiederum positiv auf Lernerfolge auswirkt (Neuenschwander et al., 2012).

Das Konstrukt exekutiver Funktionen stellt somit zweifelsohne ein faszinierendes Konstrukt dar, das aufgrund seiner Top-down-Funktion und der Hinweise auf die Bedeutsamkeit für verschiedene schulische Fertigkeitsbereiche ein interessantes Forschungsfeld von praktischer Relevanz verspricht. Dies spiegelt sich in der Vielzahl an aktuellen Forschungsarbeiten wider, die sich mit der Entwicklung und Struktur exekutiver Funktionen sowie den Zusammenhängen exekutiver Funktionen und akademischer Leistungen beschäftigen. Auch wenn diese Untersuchungen bereits viele Aspekte beleuchten können, bleiben doch mehrere relevante Fragestellungen weiterhin offen, zu deren Beantwortung die vorliegenden Untersuchungen beitragen möchten. Teil II dieser Arbeit stellt zunächst verschiedene Theorien vor, die den Begriff der exekutiven Funktionen aus verschiedenen Perspektiven definieren, beschreibt bisherige Befunde zur Entwicklung exekutiver Funktionen im Kindesalter und befasst sich mit deren Messung. Teil III untersucht zum einen die bislang heterogen beschriebene Struktur

exekutiver Funktionen bei Vorschulkindern und deren dezidierte Einflüsse auf numerische Basiskompetenzen und Rechenperformanz, während sich Teil *IV* mit dem spezifischen Einfluss exekutiver Funktionen auf schriftsprachliche Leistungen beschäftigt. Teil *V* dieser Arbeit hat schließlich zum Ziel, die Eignung exekutiver Funktionen zur Risikoklassifikation von Lernschwächen zu untersuchen. Im abschließenden Teil *VI* sollen die neu gewonnenen Erkenntnisse aus den Teilen *III* - *V* in der Zusammenschau bewertet und Ausblicke auf zukünftige Forschungsvorhaben gegeben werden.

Das Forschungsprojekt, aus dem die Daten für die vorliegenden Untersuchungen gewonnen wurden, wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Forschungsschwerpunkts „Ursachenbezogene individuelle Diagnostik und Intervention bei umschriebenen Entwicklungsstörungen schulischer Fertigkeiten“ unter dem Kennzeichen 01GJ1002 unter der Leitung von Prof. Dr. Kristin Krajewski gefördert.

II. EXEKUTIVE FUNKTIONEN: DEFINITION, ENTWICKLUNG UND ERFASSUNG

Beschäftigt man sich mit Untersuchungen zu Struktur und Einfluss exekutiver Funktionen, so muss festgestellt werden, dass eine allgemeingültige Definition exekutiver Funktionen schwierig ist. Exekutive Funktionen stellen ein vielgestaltiges Konstrukt mit differierenden Beschreibungen und unterschiedlichen faktoriellen Strukturen dar. Best, Miller und Jones (2009) drückten dies folgendermaßen aus: „Executive function serves as an umbrella term to encompass the goal-oriented control functions of the prefrontal cortex.“ (S. 180)

Eine Vielzahl an Studien versucht, das Konzept exekutiver Funktionen mit Hilfe neuroanatomischer Zuordnung als auch Aktivierung und Hemmungen neuronaler Schaltkreise zu erklären. Dieser Ansatz trägt laut Barkley (2001) nur begrenzt zur Erklärung des Konstruktes bei: „Some have defined it simply as the actions of the frontal lobes, but this is neither wholly accurate nor helpful. It merely sidesteps the challenge of operationally defining the term by placing it in a neuroanatomical location.“ (S. 309)

Bis heute wird eine übereinstimmende Antwort auf die Frage gesucht, welche Prozesse das Konstrukt der exekutiven Funktionen umfasst. Es lassen sich in nahezu allen Aufzählungen zumindest einige der „Big Three“ der exekutiven Funktionen, Inhibition, Shifting und Updating, wiederfinden (Miyake et al., 2000). Oftmals werden diesen drei Faktoren aber unterschiedliche Mechanismen zugeordnet, sie werden verschieden benannt oder von zusätzlichen exekutiven Funktionen begleitet.

Welsh, Pennington und Groisser (1991) gaben beispielsweise folgende Definition: „Executive function facilitates future-oriented behavior by allowing for planning, flexible strategy employment, impulse control, and organized search.“ (S. 132)

Anderson (2008) hingegen sieht „... executive function as an overall control system which comprises four distinct domains: Attentional control, cognitive flexibility, goal setting, and information processing.“ (S. 16)

Isquith, Gioia und Espy (2004) kommen zu dem Schluss, dass in ihrem Fragebogen fünf Faktoren das Konstrukt der exekutiven Funktionen ausmachen. „The scale development process yielded five scales reflecting subdomains of executive function consistent with the extant literature: Inhibitory Control, Flexibility, Emotional Modulation, Working Memory, and Planning/Organization.“ (S. 417)

Die vorgenannten Definitionen stimmen zwar beispielsweise in der Benennung von exekutiven Funktionen, die den Begriffen Shifting und Inhibition ähneln, überein (Flexible strategy employment, Cognitive flexibility und Flexibility, bzw. Impulse control, Attentional control, Inhibitory control), doch bleibt unklar, ob mit den unterschiedlichen Begriffen tatsächlich das identische Konstrukt gemeint ist. Zusammenfassend bemerkt Carlson (2005) beinahe zynisch „In the absence of a concise definition, do we at least know it when we see it?“ (S. 596)

Dennoch stimmen alle Wissenschaftler darin überein, dass exekutive Funktionen eine wichtige Rolle für das Denken und Verhalten spielen. Zwar seien sie laut Blair und Willoughby (2013) nicht die Hauptquelle kognitiver Leistungsfähigkeit, doch besäßen sie wichtige Qualitäten: „Here, executive functions might be most appropriately cast as trailing rather than leading indicators of overall ability. They are the icing on the cognitive developmental cake, not the cake itself.“ (S. 350)

Diamond (2013) beschreibt die positiven Auswirkungen verschiedener exekutiver Funktionen folgendermaßen: „Executive functions (EFs) make possible mentally playing with ideas; taking time to think before acting; meeting novel, unanticipated challenges; resisting temptations; and staying focused.“ (S. 35)

Abschließend seien Miyake und Friedman (2012) zitiert, die den Einfluss exekutiver Funktionen auf den Alltag betonen, was letzten Endes den grundlegenden Anreiz für alle Forschungsbemühungen ausmacht. „EF ... are a core component of self-control or self-regulation ability (or “willpower”), which has been shown to have broad and significant implications for everyday lives.“ (S. 8)

Um dieses breitgefächerte, mäßig definierte Set an wichtigen regulatorischen Fähigkeiten genauer betrachten zu können, sollen im Folgenden zunächst einzelne exekutive Funktionen als auch deren gemeinsame Struktur beschrieben werden. Zu unterscheiden sind kognitive „cool executive functions“ von den „hot executive functions“, die sich auf die Kontrolle von sozialem und emotionalem Verhalten beziehen (Zelazo & Müller, 2002). Letztere werden in dieser Arbeit aufgrund der verfügbaren Datengrundlage von einer vertiefenden Besprechung ausgespart. Mit kognitiver Kontrolle und Selbstregulation werden neben dem Konstrukt der exekutiven Funktionen auch andere sich in vielen Aspekten ähnelnde theoretische Konstrukte in Verbindung gebracht. So finden sich konzeptuelle Überschneidungen zwischen den Theorien zu exekutiven Funktionen und dem Arbeitsgedächtnis, insbesondere der *zentralen Exekutive* (Baddeley, 1996), sowie dem nach Baddeley (1986) darin einzuordnenden *Supervisory Attentional System SAS*

(Norman & Shallice, 1986) als auch verschiedenen Theorien zur *Aufmerksamkeit* (Engle & Kane, 2004; Schneider & Shiffrin, 1977). Morris (2001) beschäftigte sich in einem Übersichtsartikel mit den Zusammenhängen und Abgrenzungen ebendieser Konstrukte Aufmerksamkeit, Gedächtnis und exekutive Funktionen. In diesem Artikel zog er das Résumé, dass Wissenschaftler eine große Bandbreite unterschiedlicher und häufig komplexer Verfahren zur Erfassung dieser drei Konstrukte einsetzten. Neben der differierenden Erfassung gleicher Konstrukte würden aber auch gleiche Testverfahren zur Erfassung verschiedener Konstrukte eingesetzt und dennoch Schlüsse auf separate Konstrukte gezogen, beispielsweise wird der Stroop-Test gleichermaßen zur Erfassung der Aufmerksamkeit wie zur Erfassung der exekutiven Funktion Inhibition eingesetzt. Morris (2001) stellte die berechtigte Frage: „Are they really different constructs, or just labelled differently?“ (S. 14). Zelazo, Muller, Frye und Marcowitch (2003) wiesen darauf hin, dass der Ansatz der faktorenanalytischen Untersuchung exekutiver Funktionen die Schwierigkeit mit sich bringe, dass das „Labelling“ einer exekutiven Funktion gleichzeitig ein Verständnis zugrunde liegender kognitiver Prozesse suggeriere. Zelazo und Kollegen schlugen deshalb vor, eine Betrachtung exekutiver Funktionen unter deren funktionalen Aspekten in den Mittelpunkt zu rücken, um die beschreibende Ebene zu verlassen und Erklärungen für zugrunde liegende Prozesse zu finden. Neben konzeptuellen Überschneidungen und Abgrenzungen von Aufmerksamkeit, Gedächtnis und exekutiven Funktionen diskutieren manche Arbeitsgruppen zudem die Nähe zwischen exekutiver Kontrolle und *fluiden Intelligenz* (Blair, 2006; Wilhelm, Hildebrandt & Oberauer, 2013). Im Anschluss an den Versuch einer Definition exekutiver Funktionen sollen deshalb auch diese Konstrukte beschrieben und mit den exekutiven Funktionen verknüpft werden, um Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede deutlich zu machen.

1. BESTANDTEILE UND STRUKTUR

In ihrer Übersichtsarbeit zur Klassifizierung klinisch und neuropsychologisch relevanter exekutiver Funktionen ordnet Drechsler (2007) diese auf drei Dimensionen, der Regulations-, Prozess- und Komplexitätsebene, an. Regulation ist erstens auf den Ebenen der Kognition (z.B. ungestörte Informationsverarbeitung), Emotion (z.B. Frustrationstoleranz), Aktivität (z.B. Antrieb) sowie im sozialen Leben (z.B. Empathie) notwendig. Zweitens umfasst die Regulation in diesen Bereichen wiederum vier basale exekutive Prozesse: *Initiieren*, *Wechseln* und *Hemmen*, sowie laut Drechsler möglicherweise das *Aufrechterhalten und Erneuern von Information im Arbeitsgedächtnis*, was in alle drei vorgenannten Prozesse involviert sein könnte. Unter *Initiieren* versteht die Autorin das selbstbestimmte Beginnen und Durchführen einer Handlung bei selbstgewählter Geschwindigkeit.

Wechseln bedeutet, dass der Aufmerksamkeitsfokus je nach aktueller Aufgabenrelevanz gezielt zwischen verschiedenen Inhalten wechseln kann. *Hemmen* ist erforderlich, um nicht durch irrelevante Reaktionen von der Zielerreichung abgelenkt zu werden. Als dritte Dimension neben Ebene und Prozess unterteilt Drechsler in basale und komplexe kognitive Regulationsprozesse. Zusätzlich zu den beschriebenen basalen Prozessen der Aufrechterhaltung, Initiierung, Hemmung und des Wechsels kommen Monitoring (Überwachung und Ergebniskontrolle), Problemlösen und Planen (Zielfindung, Strategiewahl, Verlaufskontrolle, Anpassung, Evaluation), Aufgabenorganisation (Multitasking, Zeiteinteilung), Aufmerksamkeitsverteilung und Konfliktverarbeitung bei gleichzeitig ablaufenden, Aufmerksamkeit fordernden Prozessen und Nutzung passender Enkodier- bzw. Abrufstrategien. Komplexe Regulationsprozesse dieser Art involvieren viele unterschiedliche Strategien und Fertigkeiten und demzufolge ist die Validität der zur Erfassung verwendeten Aufgaben schwer zu bestimmen. Zum Lösen der von Drechsler (2007) beschriebenen Turmaufgaben (Turm von London, Turm von Hanoi) zur Erfassung von Problemlösen und Planen beispielsweise ist Inhibition von spontanen, aber falschen Reaktionen aber auch Aufrechterhaltung der Regeln sowie vorausschauendes Denken erforderlich. Welchen Varianzanteil nun welche exekutive Funktion oder andere Fähigkeit an der Aufgabenlösung genau nimmt, kann nicht befriedigend geklärt werden. Beispielsweise kamen Lehto, Juujärvi, Kooistra und Pulkkinen (2003) zu dem Schluss, dass das Lösen dieser Aufgabe guter Inhibitionsfähigkeit geschuldet ist, während Hughes, Ensor, Wilson und Graham (2010) feststellten, dass die Leistung in der Turmaufgabe zwar mit Inhibitionsfähigkeiten, aber auch mit dem Arbeitsgedächtnis assoziiert ist. Damit bleibt unklar, ob eine gute Leistung in der Turmaufgabe nun von guten inhibitorischen oder von guten Arbeitsgedächtnisfertigkeiten oder einer beide verbindenden generell guten exekutiven Kontrolle abhängig ist (vgl. Miyake et al., 2000). Zu dieser Interpretationsschwierigkeit kommt bei den beiden letztgenannten Studien hinzu, dass Alter und Entwicklungsstand die Einsatzmöglichkeiten einzelner exekutiver Funktionen verändern. Während bei Lehto und Kollegen die Kinder zwischen 8 und 13 Jahren alt waren, untersuchten Hughes und Mitarbeiter Kinder im Vor- und beginnenden Grundschulalter mit vergleichsweise geringer entwickelten exekutiven Funktionen, was möglicherweise bei der Aufgabenbearbeitung zu mehr Arbeitsgedächtnisbeanspruchung führte. Detaillierte und vergleichende Rückschlüsse auf die Lösungsprozesse von Aufgaben, die komplexe Regulationsprozesse erfordern, sind daher möglicherweise besonders im Kindesalter aufgrund der stattfindenden Entwicklungsprozesse schwer zu ziehen (vgl. Morris, 2001).

Die einflussreiche Arbeit von Miyake und Kollegen (2000) setzt an diesem Punkt an und nennt Inhibition, Updating und Shifting als wesentliche grundlegende exekutive Funktionen. Diese drei

werden als Mechanismen zentral-exekutiver Steuerung (vgl. Baddeley, 1996) betrachtet. Miyake und Kollegen unterstreichen die Notwendigkeit, sich auf diese basalen Regulationsprozesse zu fokussieren und erst bei Kenntnis von deren Beschaffenheit und Struktur Vorhersagen auf komplexe Regulationsprozesse zu treffen. Von Vorteil sei, so Miyake und Kollegen, dass die von ihnen in den Mittelpunkt gestellten drei basalen Funktionen im Gegensatz zu komplexen exekutiven Funktionen relativ rein und präzise operationalisierbar seien. Im Anschluss an die gelungene Operationalisierung und den Beleg der einzelnen Faktoren könnten dann die relativen Anteile dieser drei basalen exekutiven Funktionen an komplexen Regulationsprozessen wie z.B. beim Lösen der Turmaufgabe geschätzt werden.

Miyake und Kollegen definieren Inhibition, Shifting und Updating wie folgt: *Inhibition* sei die Fähigkeit zur bewussten und absichtsvollen Unterdrückung einer vorherrschenden Reaktion. *Shifting*, auch „Attention switching“ oder „Task switching“ genannt, impliziere die Fähigkeit irrelevant gewordene Aufgaben zu beenden und sich trotz proaktiver Interferenz (= vorangegangene Aktivität/Regel überlagert die nachfolgende Aktivität/Regel) und negativem Priming (= verlangsamtes Reagieren auf Reiz, der vorher ignoriert werden sollte) aktiv relevanten Aufgaben zuzuwenden. *Updating* beinhalte das Überwachen und Kodieren neu eingehender Informationen, wobei diese auf Relevanz für die aktuelle Aufgabe geprüft würden. Entsprechend dem Ergebnis dieser Prüfung würden relevante Informationen im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten bzw. irrelevante Informationen ersetzt. Updating-Prozesse gingen über die rein passive Speicherung und Aufrechterhaltung von Informationen im Kurzzeitspeicher hinaus, da diese Prozesse die aktive Manipulation von Informationen ermöglichten. Updating von Arbeitsgedächtnisrepräsentationen sei neuroanatomisch als auch theoretisch eng mit dem Konstrukt Arbeitsgedächtnis verbunden.

In ihrer vielzitierten Studie zur Untersuchung der Funktionen der zentralen Exekutive bei jungen Erwachsenen (Miyake et al., 2000) wurden jeweils drei Testverfahren zur Erfassung jeder der drei basalen exekutiven Funktionen eingesetzt (Inhibition: Anti-Sakkaden, Farbstroop, Stop-Signal-Aufgabe; Shifting: Plus-/Minus-Rechenaufgaben im Wechsel, Local-Global-Aufgabe, Wechsel von Buchstaben-/Ziffernbenennung; Updating: Keep-Track, 4-back-Aufgabe, Komplexe Spanne mit Tonhöhen). In einer konfirmatorischen Faktoranalyse zeigten Miyake und Kollegen sowohl Gemeinsamkeit als auch Unterschiedlichkeit („Unity and Diversity“) innerhalb der drei basalen Prozesse. Dies bedeutet, dass Inhibition, Shifting und Updating separate, latente Variablen mit großen Anteilen an nichtgeteilter Varianz und somit unterschiedliche Fähigkeiten

darstellen. Im gleichen Zuge sind diese Faktoren aber moderat miteinander korreliert und besitzen demzufolge ein einheitliches Moment.

Miyake und Kollegen (2000) diskutierten zunächst, dass der Gemeinsamkeit („Unity“) ein allgemeiner Inhibitionsprozess zugrunde liegen könnte. Dieser könnte den gemeinsamen Nenner aller Aufgaben darstellen, da sowohl Updating- als auch Shifting-Aufgaben inhibitorische Elemente enthielten und zwar Updating in der Hemmung irrelevanter neu eintreffender und nicht weiter benötigter Informationen und Shifting in der Hemmung nicht mehr aktueller Regeln. Zunächst argumentierten Miyake und Kollegen, dass dieser Hemmprozess Überschneidungen mit dem exekutiven Faktor Inhibition, also dem bewussten Unterdrücken von vorherrschenden und dominanten Reaktionen, zeige. Stärker aber beträfe dieser Hemmprozess auf basaler Ebene das Unterdrücken von irrelevanten Informationen oder veralteten Schemata (sogenannter „mental sets“). In einer späteren konfirmatorischen Faktorenanalyse zeigten Miyake und Friedman (2012), dass bei Berücksichtigung eines Faktors, der die geteilte Varianz aller drei exekutiven Funktionen beinhaltet und somit die Gemeinsamkeit („Unity“) darstellt, der Faktor Inhibition perfekt mit diesem korreliert und keinen Bestand als separater Faktor neben Updating und Shifting hat. Inhibition scheint demzufolge nicht von einer allgemeinen, allen exekutiven Funktionen zugrunde liegenden kognitiven Leistungsfähigkeit trennbar zu sein. Miyake und Friedman interpretierten den allen Variablen gemeinsamen Varianzanteil als die Fähigkeit, aufgabenrelevante Ziele und Informationen im Arbeitsgedächtnis bereitzuhalten, was grundlegend für die weitere Informationsverarbeitung ist: Das Aufrechterhalten von Zielen und zielrelevanter Information ermöglicht beispielsweise das bewusste Inhibieren von vorherrschenden Reaktionen (Miyake & Friedman, 2012; vgl. Munakata, 2011).

Wie eingangs angemerkt wurde, ist zu beachten, dass nicht alle Forschergruppen Inhibition, Shifting und Updating gleichermaßen definieren. Nigg (2000, S. 228) differenzierte zum Beispiel „effortful inhibition of motor or cognitive response“ von „automatic inhibition of attention“ und wies diesen unterschiedliche neuroanatomische Korrelate zu. Erstere Art der Inhibition kann zweifelsfrei den exekutiven Funktionen zugeordnet werden, denn exekutive Funktionen sind per Definition absichtsvolle Prozesse (vgl. Zelazo et al., 2003). Darüber hinaus kann diese bewusste, Ressourcen erfordernde Inhibition weiter unterteilt werden. Nigg unterschied zusätzlich zwischen a) dem Vorbeugen von Interferenz (z.B. bei Farb-Stroop: Inhibition der Überlagerung von Wortbedeutung und Farbe), b) der kognitiven Inhibition (z.B. bei Directed forgetting: bewusstes Unterdrücken von Informationen im Arbeitsgedächtnis), c) der Verhaltenskontrolle (z.B. bei Go-No-Go-Aufgabe: Unterdrücken einer dominanten automatisierten Reaktion) und d) der

okulomotorischen Unterdrückung (z.B. bei Antisakkaden-Aufgaben: Inhibition von reflexhaften Blicken).

Ebenso gibt es unterschiedliche Definitionen von Updating. Während Updating-Prozesse hin und wieder äußerst eng gefasst werden (z.B. Wilhem, Hildebrandt & Oberauer, 2013) und ausschließlich bedeuten, dass irrelevant werdende Informationen durch aktuell benötigte Inhalte im Arbeitsgedächtnis selektiv ersetzt werden, wird dem Updating beispielweise bei Miyake und Kollegen (2000) zusätzlich zu reinen Updatingprozessen überwachende und informationsverarbeitende Qualität eingeräumt. In einer aktuelleren Arbeit definieren Miyake und Friedman Updating allerdings enger und nennen effektives „gating“ von Informationen und den kontrollierten Abruf aus dem Langzeitgedächtnis als mögliche Kernmechanismen dieser Funktion (Miyake & Friedman, 2012, S.11). Bull und Lee fassen diese unterschiedlich breiten Funktionsweisen des Updating mit den Stichworten „Selective replacement“ versus „Processing and Recall“ zusammen (Bull & Lee, 2014, S.36). Das letztere Konzept („Processing and Recall“), das informationsverarbeitende Prozesse als Kernfunktion des Updating betrachtet, orientiert sich nach Bull und Lee an dem ursprünglichen Entwurf einer zentralen Exekutive, die gleichzeitig Aufmerksamkeitsfokussierung, zielgerichteten Verarbeitung und Speicherung bewirkt (Baddeley & Hitch, 1974) und wird häufig mit dem Begriff Working memory (Diamond, 2013; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006) bezeichnet. Letzterer Begriff ist nicht zu verwechseln mit dem Begriff der Working memory capacity von Engle und Kane (1999), welcher neben Arbeitsgedächtnisleistungen in Form von Aufrechterhaltung zielrelevanter Informationen auch parallele inhibitorische Aspekte beinhaltet und dem Begriff des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley, 1996), welcher auch die passiven Speichersysteme phonologische Schleife und visuell-räumlicher Notizblock umfasst.

Fasst man die bisherigen Beschreibungen zusammen, so soll zunächst von der folgenden Arbeitsdefinition exekutiver Funktionen ausgegangen werden: Exekutive Funktionen sind ein multifaktorielles Konstrukt, bestehend aus mehreren basalen exekutiven Funktionen und komplexen exekutiven Funktionen, wie dem Planning oder Monitoring. Letztere enthalten kombinierte basale exekutive Funktionen (Drechsler, 2007) und entwickeln sich demzufolge aufbauend auf basalen exekutiven Funktionen bis in das Erwachsenenalter hinein (Lehto et al., 2003). Zur Erfassung grundlegender Komponenten exekutiver Kontrolle im Vorschulalter sollen deshalb basale exekutive Funktionen im Vordergrund stehen, welche zudem reiner, d.h. unverfälschter durch die Einflüsse weiterer kognitiver Fertigkeiten erfassbar sind. Basale exekutive Kernfunktionen sind nach Miyake und Kollegen die drei korrelierten, aber dennoch

distinkten Faktoren Inhibition, Shifting und Updating. Inhibition besteht sowohl aus motorischer als auch kognitiver Hemmung, Shifting beinhaltet die Fähigkeit, flexibel Aufmerksamkeit auf relevante Aspekte zu lenken und passende Verhaltensmuster zu aktivieren und Updating bedeutet selektives Ersetzen und Überwachen des Informationsflusses (vgl. Miyake et al., 2000).

Nicht nur in der Definition des Shifting-Prozesses findet sich der Begriff Aufmerksamkeit. Auch Inhibition involviert Aufmerksamkeit, da irrelevanten Stimuli bewusst Aufmerksamkeit entzogen wird, und Updating bedeutet wiederum, dass nur relevanten Informationen Aufmerksamkeit zuteil wird. Im nächsten Abschnitt soll deshalb beschrieben werden, was die Konstrukte Aufmerksamkeit und exekutive Funktionen eint und was sie trennt.

1.1 ABGRENZUNG: EXEKUTIVE FUNKTIONEN UND AUFMERKSAMKEIT

Immer wieder fällt in Untersuchungen zu exekutiven Funktionen das Wort *Aufmerksamkeit*, beispielsweise in direkter Verknüpfung mit dem Konzept exekutiver Kontrolle in dem Begriff der „Controlled attention“ oder „Executive attention“ bei Engle und Kane (2004). Zudem weisen Begriffe wie fokussierte oder geteilte Aufmerksamkeit Überschneidungen mit den exekutiven Funktionen Inhibition und Shifting auf (van der Sluis, de Jong & van der Leij, 2003). Diamond (2002, 2006) geht davon aus, dass der Unterschied zwischen exekutiven Funktionen und Aufmerksamkeit eher semantischer Art und überflüssig sei und beide Konstrukte mit dem präfrontalen Kortex die gleiche neuroanatomische Grundlage hätten: „...one can say that information is held in working memory for several seconds or that focused attention on the information was sustained for several seconds, they mean the same thing.“ (Diamond, 2002, S. 492).

Barkley (2001) konstatiert, dass sowohl Aufmerksamkeit als auch exekutive Funktionen multidimensionale Konzepte seien, welche „suffer from a certain vagueness in their definitions and in the areas where they may overlap. At times, one even senses redundancy in some of their dimensions and certainly in the measures chosen to assess them“ (S. 307). Es stellt sich deshalb die Frage, was Aufmerksamkeit von exekutiven Funktionen unterscheidet und an welchen Punkten man Verbindungen herstellen kann.

In ihren frühen Überlegungen wiesen Schneider und Shiffrin (1977) dem Konstrukt Aufmerksamkeit eine bedeutende Rolle in der Steuerung von Wahrnehmungsprozessen zu. Experimentell basierend definierten sie erstens einen automatisierten und zweitens einen kontrollierten Prozess in der Wahrnehmung von Reizen, welche in Abhängigkeit von der

Komplexität der Aufgabe, des Übungsgrads des Individuums und der Konsistenz von Reiz und Reaktion verschiedentlich aktiv werden. Zum einen könnten wahrgenommene Reize automatisiert ohne Kontrolle und aktive Aufmerksamkeitslenkung des Individuums verarbeitet werden. Dies ist immer dann der Fall, wenn die eingehende Information bereits im Langzeitgedächtnis abgespeicherte, passende Informationsstrukturen oder Handlungsschemata aktivieren kann. Neuartige Informationen oder inkonsistente Reiz-Reaktionsschemata, für die keine stringente Reaktionsanweisungen im Langzeitgedächtnis abgespeichert sind, würden hingegen kontrollierte Reizverarbeitung erfordern. Dies impliziert neben einem zumeist seriellen Verarbeitungsprozess eine bewusste Aufmerksamkeitssteuerung sowie Aufrechterhaltung von relevanten Informationen im Kurzzeitgedächtnis. Letzteres erinnert wieder an Miyake und Friedmann (2012), denen zufolge ein allgemeiner Prozess der Aufrechterhaltung zielrelevanter Informationen im Arbeitsgedächtnis allen exekutiven Funktionen und demnach der kontrollierten Handlungssteuerung zugrunde liegt.

Analog zu Schneider und Shiffrins Arbeiten (1977) zu automatischer und kontrollierter Informationsverarbeitung von Wahrnehmungen beschäftigten sich Norman und Shallice (1986) mit der Rolle der Aufmerksamkeit für die Kontrolle von Handlungen. Auch sie unterschieden zwischen automatisch und kontrolliert ablaufenden Prozessen. Der automatisierte Steuerungsprozess konkurrierender Schemata wird von Norman und Shallice als Contention Scheduling bezeichnet. Dieser „Wettstreit“ zwischen verschiedenen aktivierten Schemata wird durch laterale Aktivierung und Inhibition gelöst, damit das situationsangemessenste Schema die höchste Aktivierung erhält und zu angemessenem Verhalten führt. Automatisierte Handlungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie nach Reizeinwirkung ohne bewusste Steuerung, Wahrnehmung und absichtsvolle Aufmerksamkeitslenkung ablaufen und keine Arbeitsgedächtnisressourcen brauchen, demzufolge also auch weitere gleichzeitige Handlungen nicht einschränken. Für eine Vielzahl an Aufgaben und Situationen allerdings gibt es keine derartigen, automatisierten gut gelernten Handlungsschemata, die durch Trigger-Reize passgenau bei gleichzeitiger automatischer Hemmung unpassender Schemata aktiviert werden. Das Contention Scheduling kann folglich nicht automatisch durchlaufen, sondern muss durch bewusste Kontrolle beeinflusst werden. Dies sei immer dann der Fall, wenn Aufgaben Planung, Entscheidungsfindungen und Fehlersuche beinhalten und nicht geübte oder veränderte Reaktionen erfordern würden, anspruchsvoll oder gefährlich seien oder automatisierte oder konkurrierende Reaktionen verhindert werden müssten. Derartige Anforderungen würden zusätzliche Aufmerksamkeitssteuerung durch ein Kontrollsystem, welches als *Supervisory Attention System* bezeichnet wird, erfordern. Dieses beeinflusst indirekt die Auswahl eines

adäquaten Reaktionsschemas, indem es durch absichtsvolle Aufmerksamkeitslenkung zur Aktivierung zielführender beziehungsweise Hemmung irrelevanter konkurrierender, aber hinderlicher Schemata beiträgt. In Abb. 1 sind die beiden Prozesse der automatisierten und der bewussten Handlungskontrolle im Rahmen der Handlungskontrolle erkennbar. Automatisierte Handlungskontrolle ist durch einen waagerechten Verlauf durch die schematische Abbildung gekennzeichnet, bewusste Handlungskontrolle durch senkrecht abgebildete Einflüsse. Der Prozess beginnt mit der Wahrnehmung sensorischer Informationen. Diese aktivieren als Trigger verschiedene miteinander in Verbindung stehende Schemata. Norman und Shallice nennen beispielhaft das Autofahren. Bei einem geübten Fahrer sind beim Autofahren alle zugehörigen Prozesse, wie z.B. Schalten, Bremsen, Anfahren grundlegend aktiv. Nach Wahrnehmung eines Trigger-Reizes, beispielsweise der roten Ampel, werden automatisch die Handlungsschemata Bremsen und Herunterschalten aktiviert und das Betätigen des Gaspedals gehemmt. Dieses Aktivieren versus Inhibieren von diversen zur Verfügung stehenden automatisierten Schemata im Rahmen des Contention Scheduling führt ohne bewusste Aufmerksamkeitslenkung zur Ausübung situationsangemessenen Verhaltens. Die in der Abbildung durch senkrechte schwarze Linien angezeigten zusätzlichen Aufmerksamkeitsressourcen in Form zusätzlicher Aktivierung bzw. Inhibition von Schemata durch das Supervisory Attention System werden notwendig, wenn keine automatische Auswahl eines passenden Schemas möglich ist, der geübte Autofahrer beispielsweise ein unbekanntes Auto fahren muss oder sich in einem Land mit Linksverkehr befindet.

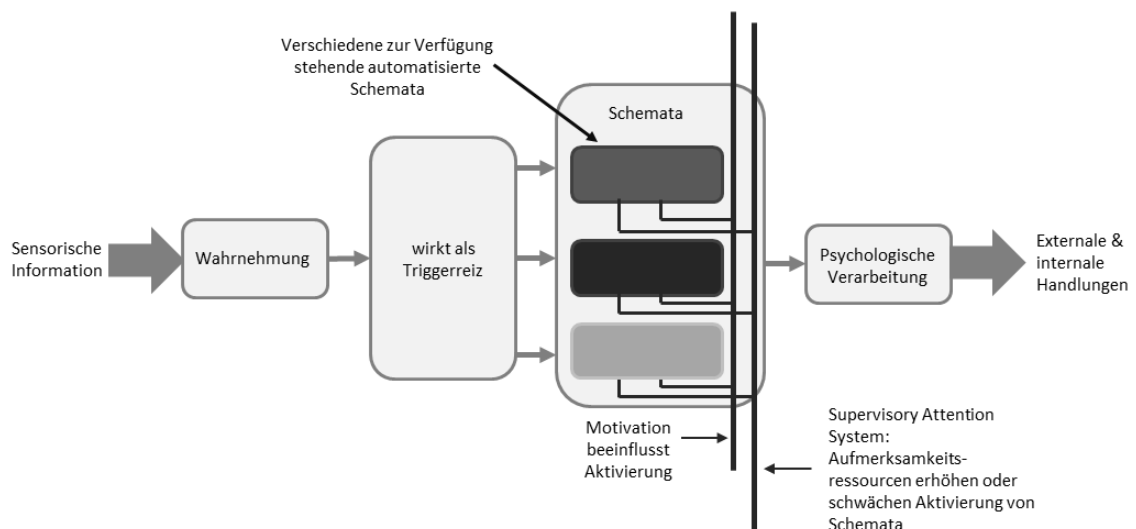


Abbildung 1. Automatisierte und bewusste Handlungskontrolle durch Contention Scheduling und das Supervisory Attention System (übersetzte Abbildung aus Norman & Shallice, 1986, S. 7)

Die Überlegungen Barkleys (2001) sollen im Folgenden die Theorien von Shiffrin und Schneider als auch Norman und Shallice zur aufmerksamkeitsgebundenen Wahrnehmungs- bzw. Handlungssteuerung zusammenfassend vertiefen und für Rückbezug auf das Konstrukt der exekutiven Funktionen sorgen. Während die automatisierte Aufmerksamkeitslenkung deutlich von bewusst eingesetzter exekutiver Kontrolle zu unterscheiden ist, so erscheint die durch das Supervisory Attention System induzierte bewusste Kontrolle dem Konstrukt exekutiver Funktionen sehr ähnlich, wenn nicht synonym. Barkley konstatiert bei dem Versuch der Abgrenzung von Aufmerksamkeit und exekutiven Funktionen allerdings mehrere Unterschiede zwischen beiden Konstrukten, wenn auch Aufmerksamkeit und exekutive Prozesse eng miteinander verknüpft sind und Übergänge fließend erscheinen.

Zunächst definiert Barkley (2001) den Begriff *Aufmerksamkeit*. Diese zeige sich funktional im (korrelativen) Zusammenhang eines Stimulus mit einer Reaktion. Die Eigenschaften von Stimuli und Reaktion können laut Barkley breit gefasst werden, Stimuli können Objekte in der Umwelt sein oder innerhalb eines Individuums liegen und Reaktionen können sowohl motorischer als auch kognitiver Art sein. Aufmerksamkeit bewirkt nun also, dass ein Stimulus mit einer bestimmten Reaktion bedacht wird. Ob diese Reiz-Reaktionsverbindung eine starke Verknüpfung wird, liegt an der zeitlichen Kopplung von Reaktion und Konsequenz und der Bedeutung der Konsequenz für das Individuum. Die durch Aufmerksamkeit hergestellte Korrelation zwischen Stimulus und Reaktion wird immer dann höher, wenn die Konsequenz der Reiz-Reaktions-Verbindung zeitlich unmittelbar folgt und positiv für das Individuum ist. Barkley schlägt für aufmerksamkeitsgelenkte Prozesse folgende Reiz-Reaktionskette vor (S. 308):

„Environmental event → Response → Consequence“

Zusammengefasst ist für Aufmerksamkeitsprozesse in Form der von Barkley dargestellten Reiz-Reaktions-Kette kennzeichnend, dass deren Bestandteile zwingend zeitlich eng miteinander verknüpft sein müssen, eine Reaktion direkt durch einen Reiz ausgelöst wird und die Reiz-Reaktionsverbindung dazu dient, die Wahrscheinlichkeit für unmittelbar erfolgende positive Konsequenzen zu erhöhen.

Exekutive Funktionen könne man als einen Sonderfall der Aufmerksamkeit betrachten, weil sie die Reiz-Reaktions-Verbindung erweitern und Wirkmechanismen verändern, so Barkley (2001). Zum einen verändere sich die Reiz-Reaktionskette insofern, als dass die Reaktion des Individuums nicht mehr direkt auf den Reiz aus der Umwelt erfolgt. Vielmehr erfolge auf den Stimulus zunächst eine exekutive Kontrollreaktion. Erst dieser exekutive Prozess löst in der Folge eine

Reaktion aus. Exekutive Kontrolle bewirkt demnach eine Veränderung des Verhaltens und ist schlussendlich (indirekt) zielgerichtet, da wiederum mit dem kontrollierten Verhalten eine positive Konsequenz für das Individuum herbeigeführt werden soll. Eine Reiz-Reaktionskette, die exekutive Kontrolle beinhaltet, müsse wie folgt aussehen (Barkley, 2001, S. 309):

“Environmental event → Executive act → Response → Consequence”

Im Unterschied zur Reiz-Reaktionskette im Aufmerksamkeitsprozess bewirke exekutive Kontrolle, dass eine Reaktion nicht direkt auf einen Stimulus, sondern verzögert auf die exekutive Handlung hin erfolgt. Exekutive Kontrolle wirkt demzufolge nicht direkt auf die Wahrscheinlichkeit einer Konsequenz, sondern verändert die Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Reaktion des Individuums. Alle exekutiven Funktionen sind aufgrund der Verknüpfung von exekutiver Kontrolle und Reaktion im Unterschied zum automatischen Aufmerksamkeitsprozess deshalb im engsten Sinne selbst-regulatorisch, da exekutives „Handeln“ das Verhalten beeinflusst. Der Einsatz exekutiver Funktionen sei immer zielgerichtet, weil die durch sie angepasste Reaktion zu positiver Konsequenz führen soll. Dabei sei exekutive Steuerung nicht wie der (automatische) Aufmerksamkeitsprozess an zeitliche Nähe zwischen Stimulus, Reaktion und Konsequenz gebunden. Im Gegenteil: Exekutive Funktionen sorgten dafür, dass Verhalten und Umwelt über längere Zeiteinheiten hinweg strukturiert werden können. Barkley betont zudem, dass ein Kernelement der exekutiv-kontrollierten Reiz-Reaktionsverbindung in der Inhibition einer präpotenten Reaktion auf einen Stimulus läge. Gäbe es kein Moment der Verzögerung, so könnten keine weiteren erforderlichen exekutiven Kontrollprozesse wirksam werden, um auf positive Konsequenzen ausgerichtete Reaktionen hervorzurufen.

Verbindet man Barkleys Gedanken (2001) mit den zu Beginn des Abschnitts genannten Modellen automatisierter und kontrollierter Wahrnehmungs- und Handlungssteuerung, so zeigen sich Abgrenzungen als auch Überlappungen von Aufmerksamkeit und exekutiven Funktionen. Aufmerksamkeit zeigt sich nach Barkley grundlegend in der Stärke von Reiz-Reaktionsverbindungen. Exekutive Kontrolle kommt immer dann ins Spiel, wenn von automatisierten Reiz-Reaktionsverbindungen abgewichen werden muss. Erst der absichtsvolle Einsatz exekutiver Funktionen unterbindet über längere Zeitabschnitte („delays“) hinweg vorschnelle präpotente situationsunangemessene Reaktionen bzw. aktiviert alternative Reaktionsmuster. Dies bewirkt somit indirekt über die Anpassung der Reaktion positive Konsequenzen für ein Individuum. Wie Barkley abschließend sagt, „...the executive system is, in one sense, a special case of a more general system of attention (responsiveness to the world) and, in another, a governor over it.“ (S. 323).

In der vorliegenden Untersuchung werden mit dem Lesen, Rechtschreiben und Rechnen kognitive Fertigkeiten betrachtet, die am Ende der ersten Klasse noch nicht gänzlich erworben sind und deshalb auch nicht den Prozess des automatisierten Contention Scheduling durchlaufen können. Bis das Lesen, Rechtschreiben und das Rechnen ausreichend automatisiert sind, bleibt die bewusste Aufmerksamkeitszuweisung und somit auch das Supervisory Attention System von Norman und Shallice für schriftsprachliche und numerische Fertigkeiten ein höchst bedeutsames Konstrukt. Das Supervisory Attention System als auch die Überlegungen Barkleys sind ein guter Ausgangspunkt für die Erfassung erforderlicher kognitiver Kontrolle für den Erwerb schulischer Fertigkeiten, aber noch recht wenig detailliert in Bezug auf die beteiligten Prozesse. Im folgenden Abschnitt wird deshalb dargestellt, wie Baddeley (1986) das Supervisory Attention System in seine Theorie des Arbeitsgedächtnisses integriert und verschiedene Prozesse herausarbeitet, die an der Kontrolle der Informationsverarbeitung beteiligt sind.

1.2 ABGRENZUNG: EXEKUTIVE FUNKTIONEN UND DIE ZENTRALE EXEKUTIVE DES ARBEITSGEDÄCHTNISSES

Im Jahr 1974 veröffentlichten Baddeley und Hitch erstmals ihr bis heute äußerst einflussreiches Modell des Arbeitsgedächtnisses, zunächst bestehend aus den drei Komponenten phonologische Schleife, räumlich-visueller Notizblock und zentrale Exekutive. Später erweiterte Baddeley das Drei-Komponenten-Modell um den episodischen Puffer, welcher mit Hilfe zentral-exekutiver Aufmerksamkeitssteuerung die Verknüpfung von Informationen verschiedener Modalitäten aus dem Langzeitgedächtnis, der phonologischen Schleife und dem visuell-räumlichen Notizblock zu einer komplexen einheitlichen „episodischen“ Repräsentation ermöglichen soll (Baddeley, 2000). Studien, die sich funktioneller Magnetresonanztomographie bedienen, wiesen die Aktivierung unterschiedlicher Gehirnareale bei Aufgaben zu phonologischer Schleife, visuell-räumlichen Notizblock und zentraler Exekutive nach und bestätigen die Komponenten von Baddeleys Arbeitsgedächtnismodell (1986) auf neuropsychologischer Ebene (Smith & Jonides, 1999). Smith und Jonides berichten u. a., dass bei verbalem kurz zu speicherndem Material das Broca-Areal sowie supplementäre und prämotorische links-hemisphärische Areale aktiv sind, die kurzzeitige Speicherung von räumlich-visuellem Material hingegen rechts-hemisphärisch den prämotorischen Cortex aktiviert. Bei zentral-exekutiven Aufgaben, wie selektiver Aufmerksamkeit und Aufgabenmanagement, zeigen sich Aktivierungen des vorderen Cingulum und des dorsolateralen präfrontalen Cortex, so die Autoren.

Die von Baddeley (2000) beschriebene Organisation des Arbeitsgedächtnisses und deren Funktionen sind nicht nur bei Erwachsenen anzunehmen, sondern finden sich auch bei Kindern. So konnten Alloway, Gathercole, Willis und Adams (2004) die Komponenten phonologische Schleife, visuell-räumlicher Notizblock, episodischer Puffer und zentrale Exekutive bei vier- und fünfjährigen Kindern nachweisen.

Die Funktion des Arbeitsgedächtnisses liegt im Aufrechterhalten und Manipulieren von Informationen während der Bearbeitung komplexer kognitiver Aufgaben. Während zunächst den beiden klar abgegrenzten und einfacher zu erfassenden phonologischen und visuell-räumlichen kapazitätsbegrenzten reinen Speichermaßen Aufmerksamkeit gewidmet wurde, blieben die genauen Aufgaben der zentralen Exekutive unklar. Baddeley selbst bezeichnete das Konstrukt als „Ragbag“ (1996, S. 6), in dem verschiedene exekutive Leistungen wie Strategiewahl, Planung und Überprüfung des Informationsabrufs noch recht unreflektiert Platz fanden. Das höchst komplexe Element des Arbeitsgedächtnisses sei „virtually a homunculus, a little man in the head, capable of doing all the clever things that were outside the competence of the two subsystems“ (Baddeley, 2012, S. 14). Baddeley versuchte erstmals 1986 die Funktionen der zentralen Exekutive zu beschreiben, indem er das „Supervisory Attention System“ von Norman und Shallice (1986) als Modell der zentralen Exekutive übernahm. Somit ließ sich die Aufgabe der zentralen Exekutive zunächst als aufmerksamkeitslenkende Kontrollinstanz von Verhalten beschreiben, welche durch Aktivierung bzw. Hemmung von im Langzeitgedächtnis gespeicherten Schemata indirekt zur Auswahl der passenden Reaktion beiträgt. Im Folgenden überlegte Baddeley, welche Prozesse eine solche Kontrollinstanz im Detail bewältigen müsse. Neben der Koordinierung der beiden Speichersysteme des Arbeitsgedächtnisses (phonologische Schleife und visuell-räumlicher Notizblock) und dem Abruf und der Manipulation von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis sah er die Kontrolle von selektiver und geteilter Aufmerksamkeit als auch den Aufmerksamkeitswechsel bei der Auswahl und Hemmung einströmender Informationen als Aufgaben der zentralen Exekutive (Baddeley, 1996). In einem Übersichtsartikel aus dem Jahr 2006 berichten Repovs und Baddeley, dass das gleichzeitige Ausführen einer Random-Generation-Aufgabe, welche die begrenzte Kapazität der zentralen Exekutive deutlich belastet, die Leistungen in kognitiven Aufgaben, die fokussierte Aufmerksamkeit erfordern, verschlechterte. Daraus wurde geschlossen, dass das Fokussieren der Aufmerksamkeit auf einen Stimulus und damit auch das Inhibieren irrelevanter Stimuli zu den Aufgaben der zentralen Exekutive gehören müsse. Des Weiteren zeigen sowohl Patienten mit Frontalhirnläsionen als auch Patienten mit Alzheimer bedingten Schwächen in der zentralen Exekutive keinerlei Schwierigkeiten bei Aufgaben, die sich nur eines der beiden Speicher-Subsysteme bedienen, wohl aber in Dual-Task-Aufgaben, die das

gleichzeitige Bearbeiten phonologischer und visuell-räumlicher Information erfordern. Daraus schlussfolgerten Repovs und Baddeley, dass auch die Fähigkeit zur geteilten Aufmerksamkeit den Funktionen der zentralen Exekutive zugeordnet werden kann. Untersuchungen, die sich mit dem Aufmerksamkeitswechsel als Facette der zentralen Exekutive beschäftigen, kamen zu widersprüchlichen Ergebnissen, was Repovs und Baddeley damit erklären, dass der Aufmerksamkeitswechsel aus verschiedenen Prozessen generiert wird und nicht einen singulären exekutiven Prozess darstellt. Einerseits müssten wechselrelevante Informationen im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden, was stärker der phonologischen Schleife als der zentralen Exekutive zuzuordnen sei. Das Wechseln des Aufmerksamkeitsfokus selbst hin zur relevant werdenden Information und das Initiieren der neuen Reaktion hingegen involviere andererseits die zentrale Exekutive.

Die von Repovs und Baddeley (2006) beschriebenen einzelnen zentral-exekutiven Prozesse lassen sich leicht mit den von Miyake und Kollegen (2000) beschriebenen exekutiven Funktionen Updating, Inhibition und Shifting assoziieren, zumal Miyake und Kollegen Baddeleys zentrale Exekutive (1986) als Rahmenmodell für exekutive Funktionen annahmen. Doch auch die allgemeine Funktion der zentralen Exekutive, die darin besteht Informationen aufrechtzuerhalten und zielgerichtet zu verarbeiten, zeigt Überschneidungen mit dem Konzept exekutiver Funktionen: Die Faktorenanalyse von St Clair-Thompson und Gathercole (2006) etwa zeigte auf Aufgabenebene deutliche Überschneidungen in zentral-exekutiven und Updating-Leistungen (z.B. in den Aufgaben Komplexe Spanne vs. Keep track). Es ist also davon auszugehen, dass die Operationalisierungen der Konstrukte zentrale Exekutive, synonym von St Clair-Thompson und Gathercole auch als Working memory bezeichnet, und Updating auf Messebene deutlich überlappend sind (vgl. Schmiedeck, Hildebrandt, Lövdén, Wilhelm & Lindenberger, 2009). Auf Prozessebene kann man hingegen Updating von komplexerer, zentral-exekutiver Anforderung unterscheiden. Updating beinhaltet selektives Aufrechterhalten und Ersetzen, zu den zentral-exekutiven Leistungen hingegen gehören Verarbeiten und Abruf (Bull & Lee, 2014). Somit könnte auf Prozess-Ebene Updating durch das Bereitstellen jeweils aktuell benötigter Information eine grundlegende Fertigkeit für die verarbeitenden Prozesse der zentralen Exekutive angesehen werden (St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Auf theoretischer Ebene ist der Begriff „zentrale Exekutive“ einerseits als Rahmen für die exekutiven Kontrollprozesse Inhibition, Shifting und Updating und weniger als ein eigenständiger separater Faktor zu sehen („Homunculus“; Baddeley, 2012). Andererseits können zentral-exekutive Leistungen aber aufgrund der beteiligten Prozesse als eine hierarchisch übergeordnete und durch Updating gespeiste separate Funktion angesehen

werden (s. Faktor „Working memory“ bei Diamond, 2013; s. Ergebnisse des Strukturgleichungsmodells bei Miyake et al., 2000).

McCabe, Roediger, McDaniel, Balota und Hambrick (2010) versuchten eine Brücke zwischen den Konzepten und Forschungstraditionen neuropsychologischer, kognitionspsychologischer und experimenteller Arbeiten zu schlagen. Die Arbeitsgruppe betrachtete die Zusammenhänge zwischen exekutiver Kontrolle und zentraler Exekutive auf der Ebene der Gemeinsamkeit („Unity“). Dabei stritten sie keineswegs ab, dass es separate exekutive Prozesse gibt. Von besonderem Interesse aber war für die Arbeitsgruppe, inwiefern der zentralen Exekutive und allgemeiner exekutiver Kontrolle eine gemeinsame Fähigkeit unterliegt. Dieses gemeinsame Moment sahen sie in der von Engle und Kane benannten „Executive attention“ (vgl. Engle & Kane, 2004; McCabe et al., 2010). McCabe und Kollegen nutzten analog zu Engle und Kane (2004) zur Erfassung der Kapazität der zentralen Exekutive, d.h. der Effizienz der Koordination verschiedener kognitiver Prozesse, komplexe Spannen-Aufgaben. Die exekutiven Funktionen wurden mit mehreren komplexen Aufgaben wie dem Wisconsin Card Sorting Test erfasst, um einen Gesamtwert exekutiver Kontrolle über alle einzelnen exekutiven Faktoren hinweg zu erhalten. Die Faktorenanalysen ergaben, dass die Maße der zentralen Exekutive und der exekutiven Kontrolle nahezu perfekt miteinander korrelierten und sich zu einem gemeinsamen Faktor, dem Konstrukt Executive attention, zusammenfassen ließen. Somit ergaben sich Hinweise, dass es deutliche Überschneidungen von Baddeleys Konzept der zentralen Exekutive (1996) und komplexen exekutiven Funktionen (vgl. Miyake et al., 2000) gibt. Diese Überschneidung von exekutiver Kontrolle und zentraler Exekutive läge in dem Executive attention genannten bewussten Aufmerksamkeitsprozess. Ähnlich zu Miyake und Friedman (2012) interpretierten McCabe und Kollegen einerseits das Aufrechterhalten des Aufgabenziels und aufgabenrelevanter Informationen und Nutzen dieser Informationen zur Steuerung hierarchisch niedriger angesiedelter Funktionen als den Prozess, der die Gemeinsamkeit von exekutiver Kontrolle und der zentralen Exekutive ausmacht. Zum anderen nannten McCabe und Kollegen aber auch wie Engle und Kane (2004) das Erkennen und Lösen von Konflikten während der Aufgabenbearbeitung mit Hilfe inhibitorischer Kontrolle als einen weiteren zentral-exekutiven und allgemeiner exekutiver Kontrolle zugrunde liegenden Prozess.

Die Studie von McCabe und Kollegen verdeutlicht, wie verbunden exekutive Funktionen und die zentrale Exekutive in ihrer Funktion sind, insbesondere wenn globale, komplexe Maße eingesetzt werden und keine Rückschlüsse auf einzelne zugrunde liegende Teilleistungen gezogen werden können. Doch auch auf der hierarchisch untergeordneten Ebene einzelner zentral-

exekutiver Prozesse, wie Repovs und Baddeley sie beschreiben, lassen sich Übereinstimmungen zwischen exekutiven Funktionen und zentral-exekutiven Prozessen finden, z.B. zwischen den Prozessen fokussierter Aufmerksamkeit und Inhibition. Baddeley selbst erkennt die Bemühungen anderer Forschungsrichtungen zur Klärung exekutiver Kontrolle wie beispielsweise durch die Arbeitsgruppe um Miyake als Alternative zu seinen Vorstellungen an (2012).

Da die vorliegende Studie zum Ziel hat, möglichst detaillierte Rückschlüsse auf den Einfluss kognitiver Kontrollprozesse auf das Lesen, Schreiben und Rechnen zu erhalten, sind die Forschungsarbeiten Baddeleys zu Suprozessen der zentralen Exekutive äußerst relevant. Noch dazu belegen sie aus kognitionspsychologischer Sicht, was beispielsweise Drechsler (2007) aus klinischer Sicht beschreibt: Zentral-exekutiv ausgeübte kognitive Kontrolle lässt sich in mehrere Subprozesse untergliedern. Sowohl Inhibition, der flexible Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus als auch die Aktualisierung und Verarbeitung von Informationen aus verschiedenen Gedächtnisspeichern erweisen sich als spezifische kognitive Kontrollprozesse, die komplexere geistige Anforderungen ermöglichen und somit auch grundlegende Voraussetzungen für den Erwerb schulischer Fertigkeiten darstellen sollten.

Ein weiterer, oben bereits genannter Ansatz, der sich mit der Gestaltung zentral-exekutiver Kontrolle beschäftigt und in seiner Herangehensweise einen Alternativentwurf zu Baddeleys Arbeitsgedächtnismodell darstellt, ist das Arbeitsgedächtnismodell aus der Arbeitsgruppe um Engle (z.B. Engle & Kane, 2004).

1.3 ABGRENZUNG: EXEKUTIVE FUNKTIONEN UND WORKING MEMORY CAPACITY

Die Forschergruppe um Engle (Engle & Kane, 2004; Engle, Tuholski, Laughlin & Conway, 1999) versuchte ebenfalls zu klären, aus welchen Komponenten das Arbeitsgedächtnis besteht und welche dieser Komponenten interindividuell unterschiedlichen Leistungen in komplexen kognitiven Fertigkeiten, wie beispielsweise dem schlussfolgernden Denken oder dem Sprachverständnis, zugrunde liegen. Die Autoren wichen von Baddeleys Arbeitsgedächtnismodell ab und definierten ein alternatives Modell. Dieses besteht aus einem Kurzzeitspeicher („Short-term memory“), der über Abruf- und Aufrechterhaltungsstrategien aktivierte Inhalte des Langzeitgedächtnisses enthält. Zu diesem Kurzzeitspeicher kommt ein exekutives Kontrollsystem als eine weitere Komponente des Arbeitsgedächtnisses hinzu. Das Kontrollsystem bezeichneten Engle und Kollegen mit den Synonymen „Central executive“, „Controlled attention“, „Supervisory Attention System“ als auch „Working memory capacity“. Dieses trägt zur ungestörten Aufrechterhaltung wichtiger Gedächtnisspuren bei, indem es beispielsweise die Abrufstrategien

koordiniert. Anders als z.B. Baddeley ging es den Autoren nicht darum, detaillierte Subfunktionen der exekutiven Kontrollinstanz oder inhaltspezifische Kurzspeichersysteme darzulegen, sondern die domänenübergreifende zentral-exekutive Leistung zu zeigen. Aus diesem Grunde verwendeten sie Komplexe-Spannen-Aufgaben, welche ihrer Ansicht nach mehrere unterschiedliche, an das Arbeitsgedächtnis gerichtete Anforderungen stellen: Da gleichzeitig Informationen gespeichert und verarbeitet werden müssten, seien sowohl der Kurzzeitspeicher als auch die zentrale Exekutive aktiv. Bei einer solchen Komplexen-Spannen-Aufgabe muss eine Person beispielsweise mehrere Sätze beurteilen und anschließend das letzte Wort eines jeden Satzes wiedergeben, was modalitätsbezogenes Wiederholen, Kodieren und Speichern als auch übergreifende exekutive Prozesse beinhaltet. Diese Testleistung stellt den Indikator für die Kapazität des exekutiven Kontrollsystems, die sogenannte Working memory capacity, dar. Inhaltlich definierten Engle und Kollegen die Working memory capacity als die Fähigkeit zum Aufrechterhalten eines schnellen Zugangs zu zielrelevanter Information bei gleichzeitiger Vermeidung der Zuwendung zu Distraktoren. Die zentral-exekutive Komponente des Arbeitsgedächtnisses besteht also aus zwei Mechanismen: Erstens dem Prozess der Aufrechterhaltung relevanter Informationen und zweitens der Inhibition von Störungen. Die Leistung des ebenfalls zum Arbeitsgedächtnis gehörenden Kurzzeitspeichers kann hingegen mit Aufgaben wie der Wiedergabe von Wortserien kontrolliert werden. Das Ausmaß exekutiver Kontrolle (Working memory capacity) wird nach Engle und Kollegen statistisch definiert als die Varianz der latenten Variable Arbeitsgedächtniskapazität, die nach Berücksichtigung der mit dem Kurzzeitgedächtnis geteilten Varianz und der Fehlervarianz verbleibt.

Zusammengefasst stellt die Working memory capacity im Arbeitsgedächtnismodell von Engle und Kollegen (1999) einerseits einen alternativen Entwurf zu Baddeleys zentraler Exekutive dar, wobei Engle und Kollegen eher an der Beschreibung des Kerns zentral-exekutiver Kontrolle und Baddeley eher an der Zergliederung der zentralen Exekutive interessiert war. Übereinstimmung zwischen beiden Modellen herrscht in der Annahme, dass sowohl Inhibition bzw. fokussierte Aufmerksamkeit als auch das Aufrechterhalten von Arbeitsgedächtnisrepräsentationen zentrale Bestandteile exekutiver Kontrolle darstellen. Die Working memory capacity kann zum anderen im Rahmen der exekutiven Funktionen als eine komplexe exekutive Funktion angesehen werden, welche sich wiederum aus den beiden basalen exekutiven Funktionen Inhibition und Aufrechterhalten von Arbeitsgedächtnisrepräsentationen zusammensetzt. Miyake und Kollegen (2000) konnten entsprechend zumindest Einflüsse des Updating-Faktors auf komplexe zentral-exekutive Prozesse in Form von Testleistungen in Komplexen-Spannen-Aufgaben nachweisen.

Engles Arbeitsgruppe zeigte in ihren Untersuchungen zusätzlich, dass exekutive Kontrolle in Form der Working memory capacity mit höheren kognitiven Leistungen wie der fluiden Intelligenz zusammenhängt. Den Zusammenhang von Intelligenz und exekutiven Funktionen zeigten auch weitere Untersuchungen (vgl. Friedman et al., 2006; Schmiedeck et al., 2009), weshalb eine Abgrenzung der beiden Konstrukte Inhalt des folgenden Kapitels ist.

1.4 ABGRENZUNG: EXEKUTIVE FUNKTIONEN UND INTELLIGENZ

Seit den Anfängen der Intelligenzforschung gibt es ähnlich zur Forschung bezüglich exekutiver Funktionen zwei Tendenzen, intelligente Leistungen zu kategorisieren. Die eine Forschungsrichtung betrachtet das, was allen kognitiven Leistungen zugrunde liegt, während die andere Richtung sich damit beschäftigt, einzelne Facetten aus dem Spektrum intelligenter Leistungen zu beschreiben. So fokussiert die Theorie von Spearman den allen Leistungen zugrundeliegenden Intelligenzfaktor g (Spearman, 1927). Cattell's Theorie hingegen ist ein Beispiel für einen „Diversity“-Ansatz und schlüsselt komplexe kognitive Leistungen in fluide und kristalline Intelligenz auf. Während die fluide Intelligenz eher das zu großen Teilen erbliche Potential eines Individuums darstellt, sich neuartigen Situationen anzupassen und unbekannte Problemstellungen zu lösen, erwächst die kristalline Intelligenz aus den Lernerfahrungen, die ein Individuum im Laufe des Lebens macht (Cattell, 1963). Aber nicht nur der Ansatz, Intelligenz aus der Unity - Diversity - Perspektive zu betrachten ähnelt sich in den Theorien zu den Konstrukten Intelligenz und exekutive Funktionen. Auch die Definition fluider Intelligenz als Fähigkeit, sich neuartigen Situationen anzupassen und unbekannte Probleme zu lösen, zeigt Ähnlichkeit zur Kernfunktion exekutiver Kontrolle.

Blair (2006) beschäftigt sich mit der Frage, ob fluide Kognition einen klärenden Gegenentwurf zum unspezifischen Konzept des allgemeinen Intelligenzfaktors g darstellen könnte. Unter diesen „fluid cognitive functions“ (Blair, 2006, S. 110) versteht Blair sowohl domänenunspezifische kognitive Verarbeitungsprozesse als auch das bewusste Aufrechterhalten zielrelevanter Informationen im Arbeitsgedächtnis, um zielgerichtet Planen und Handeln zu können. Zu den fluiden kognitiven Funktionen gehörten das Arbeitsgedächtnis, exekutive Funktionen und insbesondere die Gemeinsamkeit („Unity“) betonenden Konstrukte Executive attention und Working memory capacity sowie die fluide Intelligenz. Zwar ließen sich laut Blair (2006) Korrelationen zwischen diesen fluiden kognitiven Leistungen und der allgemeinen Intelligenz g finden, dennoch seien sie nicht das Gleiche, denn beide könnten prinzipiell auch unabhängig voneinander ausgeprägt sein. Blair gibt zu bedenken, dass exekutive Aufmerksamkeitskontrolle,

welche für ihn aus Arbeitsgedächtnis- und inhibitorischer Leistung bestehe, der von g unabhängige Schlüssel zu "real-world-competence" sei. Birney, Bowman und Pallier (2006) stimmten Blair insofern zu, als dass der allgemeine Intelligenzfaktor g kaum Erklärungswert für intellektuelle Leistungen biete, sehen aber fluide Intelligenz, exekutive Funktionen und Arbeitsgedächtnis weniger als gleichwertige Bestandteile unter dem Begriff der Fluid cognitive functions vereinbar an. Anstelle dessen versuchten Birney und Kollegen fluide Intelligenz aus Arbeitsgedächtnisleistungen vorherzusagen. Diese klärten allerdings gerade einmal die Hälfte der Varianz in Aufgaben zur fluiden Intelligenz. Letzteres bescheinigten auch Engle und Kollegen (1999), die zeigten, dass die Working memory capacity bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Kurzzeitspeicherleistungen zwar sowohl mit fluider als auch mit kristalliner Intelligenz zusammenhängt, dies aber nur in mittlerer Höhe. Die Unabhängigkeit von Intelligenz und exekutiven Funktionen zeigt sich auch an Kindern mit spezifischen Lernschwächen, die laut Definition einen durchschnittlichen Intelligenzquotienten, aber Defizite im Arbeitsgedächtnis oder der exekutiven Kontrolle aufweisen (Bull & Sherif, 2001).

Friedman und Kollegen (2006) versuchten ebenfalls bei gesunden Erwachsenen mit Hilfe von Strukturgleichungsmodellierung den Einfluss der drei exekutiven Funktionen Inhibition, Shifting und Updating auf die fluide und kristalline Intelligenz als auch auf einen Gesamt-IQ zu klären. Während Updating die deutlichsten Einflüsse auf die Leistung in allen drei Intelligenzvariablen nahm, ergaben weder Inhibition noch Shifting signifikante β -Gewichte. Die Kontrolle von Updating erniedrigte die Korrelation zwischen fluider und kristalliner Intelligenz von $r = .62$ auf $r = .17$, was zunächst bedeuten könnte, dass die Gemeinsamkeit der Leistungen in fluiden und kristallinen Intelligenztests zu großen Teilen auf Updatingleistungen zurückzuführen ist. Friedman und Kollegen gaben trotz der augenscheinlichen Klarheit der Befunde aber zwei Punkte zu bedenken: Erstens gab es zwar hohe Zusammenhänge zwischen Updating und Intelligenz, dennoch blieben rund 50% der Varianz in den Intelligenzvariablen ungeklärt. Zweitens gäbe es Diskrepanzen zwischen dem, was Intelligenztheorien besagen und dem, was psychometrisch mit einem Intelligenztest gemessen würde. Während beispielsweise Thurstone (1924) annahm, dass Inhibition erforderlich sei, um rationale Überlegungen treffen zu können, erfassen Intelligenztests vermutlich diese Fähigkeit kaum oder überhaupt nicht (Friedman et al., 2006). Friedman und Kollegen kommen deshalb zu dem Schluss, dass geringe und ausbleibende Zusammenhänge von psychometrischer Intelligenz und manchen exekutiven Funktionen wie Inhibition oder Shifting daher rühren, dass traditionelle Intelligenztests grundlegende überwachende Funktionen aussparen würden.

Auch Miyake und Kollegen (2000) untersuchten den Zusammenhang exekutiver Funktionen und Intelligenz. Sie sagten die Leistung in der komplexen Aufgabe Turm von Hanoi durch exekutive Funktionen vorher und stellten im Unterschied zu Friedman und Kollegen (2006) fest, dass einzig der Faktor Inhibition, nicht aber Updating, wie von Friedman und Kollegen angenommen, diese dem schlussfolgernden Denken nahestehende Leistung beeinflusste.

Den umgekehrten Weg ging Salthouse (2005), der in Strukturgleichungsmodellen die Testleistung Erwachsener in separaten exekutiven Aufgaben, wie z.B. Farb-Stroop, Keep track oder Wisconsin Card Sorting Test durch kognitive Fähigkeiten wie Wortschatz, schlussfolgerndes Denken, räumliches Vorstellungsvermögen/Space, Gedächtnis und Verarbeitungsgeschwindigkeit vorhersagte. Die Leistung in den einzelnen exekutiven Aufgaben wurde in sehr unterschiedlichen Maßen durch die kognitiven Fähigkeiten vorhergesagt, in einziger Regelmäßigkeit nahmen das schlussfolgernde Denken und die Verarbeitungsgeschwindigkeit Einfluss auf die Testleistungen in Aufgaben zur Erfassung des Updating (n-back, Keep track). Die statistische Methode, manifeste Variablen als abhängige Variablen einzusetzen, macht die Aussagen allerdings sehr abhängig von den Eigenschaften der Testaufgabe, wie beispielsweise der erforderlichen inhaltlichen Anforderung (Lesen, Rechnen) oder der Aufgabenpräsentation (visuell, auditiv) und schwächt damit die generelle Aussagekraft. Ein Beispiel für diese deutlichen Schwankungen ist beispielsweise, dass zwei komplexe Spannen-Aufgaben (Listening-Spanne vs. Rechenspanne) mit den extrem unterschiedlichen β -Gewichten von .00 bzw. $\beta = .95$ durch das schlussfolgernde Denken vorhergesagt wurden (Salthouse, 2005).

Die Studienlage zum Zusammenhang von Intelligenz und exekutiven Funktionen ist auch bei Kindern recht heterogen. Bei sechs- bis zwölfjährigen Kindern fanden sich bei Welsh und Kollegen (1991) bei zeitgleicher Erfassung kaum Zusammenhänge zwischen fluider sowie verbaler Intelligenz und den Leistungen in Testverfahren zur Erfassung exekutiver Funktionen (z.B. Turm von Hanoi, Wisconsin Card Sorting Test). Die Autoren schlossen daraus, dass Intelligenz und exekutive Funktionen in dieser Altersgruppe keinesfalls synonym zu verstehen sind. Arffa (2007) hingegen zeigte geringe Zusammenhänge zwischen der Intelligenz und exekutiven Funktionen an einer Gruppe von 6- bis 15-jährigen Kindern. In ihrer Studie erklärte der Gesamt-IQ-Wert 9 bis 12% der Varianz in exekutiven Leistungen wie in dem Wisconsin Card Sorting Test. Richland und Burchinal (2013) verstehen exekutive Funktionen wiederum als Prädiktor für schlussfolgerndes Denken. Sie zeigten in ihrer Langzeitstudie die Vorhersagekraft exekutiver Funktionen (Inhibition erfasst mit Tag-Nacht-Aufgabe und allgemeine exekutive Funktionen mit Turm von Hanoi) über einen Zeitraum von rund zehn Jahren auf verbales Schlussfolgern bei gleichzeitiger

Berücksichtigung von Wortschatz, verbaler Intelligenz und Bildungsstatus der Eltern. Brydges, Reid, Fox und Anderson (2012) untersuchten den Einfluss exekutiver Funktionen auf die fluide und kristalline Intelligenz bei Sieben- und Neunjährigen. In ihrer konfirmatorischen Faktorenanalyse entschieden sich die Autoren aus Gründen der Sparsamkeit für ein einfaktorielles Modell exekutiver Funktionen. Diese eine allgemeine exekutive Kontrolle widerspiegelnde latente Variable nahm im Strukturgleichungsmodell sehr hohen Einfluss auf die zeitgleich erfassten latenten Variablen fluide und kristalline Intelligenz ($\beta = .89$ und $\beta = .83$). Die Höhe der Varianzaufklärung lag deutlich höher als in Studien mit Erwachsenen, da lediglich 20% bzw. 31% der Varianz in den Intelligenztestleistungen der Kinder unaufgeklärt blieben. Wie bei Friedman und Kollegen (2006) reduzierte sich der Zusammenhang zwischen fluider und kristalliner Intelligenz nach Einbezug des exekutiven Faktors deutlich auf ein nichtsignifikantes Niveau, so dass auch bei Kindern davon ausgegangen werden kann, dass exekutive Prozesse zu großen Teilen die Gemeinsamkeit von fluider und kristalliner Intelligenz bewirken ($r = .69$ zu $r = -.23$). Brydges und Kollegen schlussfolgerten daraus, dass exekutive Funktionen bei Kindern einen wichtigen Mechanismus darstellen, um fluides Potential in Wissen, also kristalline Intelligenz, umzusetzen.

Aus den beschriebenen Studien heraus kann man den Schluss ziehen, dass es sich bei den Konstrukten Intelligenz und exekutive Funktionen um korrelierte Fähigkeiten handelt, die sich gegenseitig bei unklarer kausaler Richtung beeinflussen. Die unterschiedlichen Höhen der Zusammenhangsmaße sind vermutlich u.a. vom Generalisierungsgrad der verwendeten Aufgaben und vom Alter abhängig. Der Unterschied zwischen beiden Konstrukten lässt sich am besten an ihrer Funktion festmachen: Während fluide Intelligenz ähnlich z.B. zur Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit ein grundlegendes kognitives Potential darstellt, das der Lösung verschiedener Fragestellungen dient, könnte bei exekutiven Funktionen die selbstregulatorische Funktion auf dem Weg zur Lösung der Fragestellung überwiegen. So weit wie Blair (2006) zu gehen, fluide Intelligenz, Working memory capacity und exekutive Funktionen unter dem Begriff „Fluid cognitive functions“ nahezu synonym zu vereinen, zeigt sich zudem für das mittlere und späte Kindesalter nicht in allen Studien (Welsh et al., 1991), so dass in der vorliegenden Untersuchung Intelligenz als separates Konstrukt behandelt werden wird.

1.5 FAZIT: EXEKUTIVE FUNKTIONEN UNTER DEM GESICHTSPUNKT „UNITY-DIVERSITY“

Verschiedene Forschungsrichtungen befassen sich mit der bewussten Kontrolle von Denken und Verhalten. Aufgrund der Forschungstraditionen wurden und werden unterschiedliche Fragestellungen verfolgt. In der neuropsychologischen Forschung beispielsweise liegt ein hoher

Stellenwert auf der Zuordnung exekutiver Funktionen zu neuroanatomischen Strukturen, was nach sich zieht, dass exekutive Funktionen als Frontalhirnfunktionen definiert werden (z.B. Miyake et al., 2000, Rothbart & Posner, 2001). Ansätze der kognitiven Psychologie versuchen, die Prozesse exekutiver Kontrolle möglichst gut zu beschreiben (z.B. Baddeley, 1996). Pädagogische und Entwicklungspsychologen legen - möglicherweise unabhängig von Struktur und anatomischen Korrelaten - den größten Stellenwert auf die Beschreibung von Leistungsverbesserungen in verschiedenen Altersgruppen und die Prädiktivität exekutiver Funktionen für schulische Leistungen (z.B. Gathercole & Alloway, 2008).

Über diese unterschiedlichen Ansätze und Fragestellungen hinweg zeigen sich zwei Forschungslinien, die unter dem von Miyake und Kollegen (2000) geprägten Begriff „Unity and Diversity“ eingeordnet werden können und sich nicht gegenseitig ausschließen: Exekutive Funktionen sind einerseits sehr unterschiedliche basale und komplexe Funktionen, wie z.B. Updating als basale und Working memory (= Synonym für zentrale Exekutive bei St. Clair-Thompson & Gathercole, 2006) als komplexere Funktion. Man kann sich dem Konstrukt der exekutiven Funktionen deshalb aus dem „Diversity“-Blickwinkel nähern und die Besonderheiten jeder einzelnen Funktion betrachten. Andererseits richten manche Forschungstraditionen den Fokus nicht auf spezifische exekutive Funktionen, sondern stellen einen allgemeinen, allen exekutiven Funktionen zugrunde liegenden Prozess in den Mittelpunkt (= „Unity“). Bei Engle und Kane (2004) beispielsweise ist dies das Aufrechterhalten zielrelevanter Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis bei gleichzeitiger Inhibition. Baddeley ließ es 1996 noch offen, ob die zentrale Exekutive ein monolithes Element mit mehreren exekutiven Funktionsweisen ist („Unity“) oder einen losen Verbund mehrerer unabhängiger exekutiver Funktionen darstellt, die verschiedenartig Kontrolle und Regulation bewirken („Diversity“).

Über die Zeit und Arbeitsgruppen hinweg gesehen zeigen die Konzepte von kognitiver Kontrolle und Aufmerksamkeitssteuerung eine voranschreitende Ausdifferenzierung („Diversity“), angefangen bei den Überlegungen Schneider und Shiffrins (1977) zur Aufmerksamkeitssteuerung der Wahrnehmung, über die absichtsvolle Aufmerksamkeit involvierende Handlungssteuerung bei Norman und Shallice (1986) bis hin zur Annahme mehrerer Kontrollprozesse bei Baddeley (1986) und Miyake und Kollegen (2000). Letztere nannten Baddeleys Multi-Komponenten-Modell des Arbeitsgedächtnisses als Rahmenmodell, in welches die exekutiven Funktionen eingebettet werden können. Dass es eine uneinheitlich bezifferte Anzahl exekutiver Funktionen gibt, ist laut Baddeley (2012) unbestritten; er selbst verweist beispielsweise zurück auf die Arbeiten von Miyake und Kollegen (2000) als auch Engle und Kane (2004), die andere Vorschläge zu Struktur,

Anzahl und Art exekutiver Funktionen als er selbst vorgelegt haben. Einige Arbeitsgruppen sehen durchaus Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Konzepten und integrieren diese: Van der Sluis und Kollegen (2003) gehen soweit zu sagen, dass die von Baddeley (1996) genannten exekutiven Prozesse der fokussierten Aufmerksamkeit, des Aufmerksamkeitswechsels und der Manipulation von Inhalten des Langzeitgedächtnisses den von Miyake und Kollegen (2000) als Inhibition, Shifting und Updating bezeichneten exekutiven Funktionen entsprechen.

Untersuchungen, die sich mit der Gemeinsamkeit („Unity“) der exekutiven Funktionen beschäftigen, kommen zu dem Schluss, dass es wiederum eine übergeordnete Komponente geben muss, die für die gemeinsame Varianz unter den exekutiven Funktionen sorgt. Miyake und Friedman (2012) sprechen von einem allgemeinen Faktor, der für die Aufrechterhaltung von relevanten Zielen und Informationen sorgt, um Low-level-Prozesse zu steuern. McCabe und Kollegen (2010) kommen überein, dass exekutiver Kontrolle und zentraler Exekutive ein Prozess zugrunde liegt, der zum einen relevante Informationen aufrecht erhält, gleichzeitig aber auch für die Inhibition irrelevanter Informationen sorgt (vgl. Engle & Kane, 2004). Verschiedene Studien stellen aufgrund dieser Ergebnisse Gesamtwerte exekutiver Kontrolle in den Mittelpunkt ihrer Forschungsbemühungen. Friso-van den Bos, van der Ven, Kroesbergen und van Luit (2013) nutzten beispielsweise noch breitbandiger als andere Arbeitsgruppen den Ausdruck Working Memory als Sammelbegriff für Inhibition, Shifting und Updating als Komponenten der zentralen Exekutive und die zugehörigen beiden Speichersysteme phonologische Schleife und visuell-räumlicher Notizblock. Zwar benötigen z.B. komplexe Spannen-Aufgaben neben der Verarbeitung zweifelsohne auch das passive Aufrechterhalten der relevanten Informationen und aktivieren deshalb auch die Speicherkomponenten des Arbeitsgedächtnisses (vgl. St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Dennoch passt das derart stark generalisierende Konzept weniger zu der Annahme, dass exekutive Funktionen an sich bewusst und aufwendig sind (Blair & Razza, 2007). Es erscheint aufgrund dieser passiven, nicht verarbeitenden Qualität der Speichersysteme nicht angemessen, diese gemeinsam mit exekutiven Funktionen in ein einziges Konstrukt („Working memory“) zu integrieren. Vielmehr sollten die phonologische Schleife und der visuell-räumliche Notizblock separat erfasst und gemeinsame Varianz kontrolliert werden. Dennoch ist festzuhalten, dass eine breit gefasste allgemeine exekutive Kontrollleistung Einfluss auf akademische Fertigkeiten und deren Vorläufer nimmt und gute prädiktive Eigenschaften bereit hält (z.B. Neuenschwander et al., 2012; LeFevre et al., 2013).

Für die vorliegende Untersuchung wird nun ein Mehrwert darin gesehen, nicht die allgemeine exekutive Kontrolle in Form der Working memory capacity oder der zentralen Exekutive (Engle &

Kane, 2004; St. Clair-Thompson & Gathercole, 2006) zu untersuchen, da diese sich wiederum aus verschiedenen Fähigkeiten (Speicherung und Verarbeitung von Informationen, inhibitorische Kontrolle) zusammensetzen mag. Vielmehr sollten in der vorliegenden Untersuchung durch die Einnahme eines „Diversity“-Blickwinkels zusätzlich möglicherweise wertvolle detaillierte Rückschlüsse auf Wirkungen der separaten exekutiven Prozesse Shifting, Inhibition und Updating auf die Entwicklung schulischer Fertigkeiten möglich sein (vgl. van der Ven, Kroesbergen, Boom und Leseman, 2012). Für eine Betrachtung isolierter exekutiver Funktionen sind aber Kenntnisse über deren Entwicklung und ein Beleg über deren Distinktheit bei Kindern erforderlich. Im folgenden Kapitel soll deshalb beschrieben werden, wie sich exekutive Funktionen in der Kindheit entwickeln und ob bzw. ab welchem Alter von der bei Erwachsenen nachgewiesenen dreifaktoriellen Struktur (Miyake et al., 2000) ausgegangen werden kann.

2. ENTWICKLUNG UND FAKTORENSTRUKTUR VON EXEKUTIVEN FUNKTIONEN BEI KINDERN

2.1 ENTWICKLUNG

Basale Aufmerksamkeitsprozesse stellen nicht nur in der vorgenannten, mit Erwachsenen durchgeführten Studie von McCabe und Kollegen (2010) eine wesentliche Quelle gemeinsamer Varianz exekutiver Funktionen dar (vgl. 1.1.2). Auch Garon und Kollegen (2008) beschrieben in ihrer Übersichtsarbeit, dass Aufmerksamkeit auch bei Kindern eine Grundvoraussetzung für alle exekutive Leistungen ist. Zunehmende Aufmerksamkeitskontrolle lasse Kinder zunehmend besser steuern, welche Informationen durch den „Flaschenhals“ in das Arbeitsgedächtnis gelangen und verarbeitet werden. Beispielsweise erlangten Kinder bereits im ersten Lebensjahr die Fähigkeit, relevante Stimuli auszuwählen und die Aufmerksamkeit auf diese zu fokussieren, wobei Außenreize gerade in sehr jungem Alter die Aufmerksamkeitslenkung noch deutlich beeinflussten. Erst wenn Kinder ihre Aufmerksamkeit länger und bewusst an relevante Reize binden könnten, erfassbar beispielsweise mit einer Continuous Performance Task, welche Reaktion auf selten auftretende Zielreize erfordert, könnten anspruchsvollere kognitive Aufgaben gelöst werden. Einfache Aufmerksamkeitsleistungen wie das Fokussieren einzelner Informationen verbesserten sich deutlich bis zum dritten Lebensjahr. Große Fortschritte in der Dauer der Aufrechterhaltung fokussierter Aufmerksamkeit ergäben sich zwischen dem dritten und fünften Lebensjahr und Leistungsanstiege bei dem anspruchsvolleren Wechseln der Aufmerksamkeit und Konfliktlösen konkurrierender Informationen könnten zwischen dem dritten und sechsten Lebensjahr

beobachtet werden, so die Autoren. Diese Verbesserungen des Aufmerksamkeitssystems basierten auf neuronaler Ebene auf einer stärkeren Vernetzung der für Aufmerksamkeit und exekutive Kontrolle zuständigen Gehirnareale („Anterior attention system“; Posner & Rothbart, 1998). Zusammenfassend gehen Garon und Kollegen davon aus, dass Aufmerksamkeit die Basis für exekutive Funktionen darstellt. „Attention seems to play an integral role in the development of EF components, allowing children to increasingly control what information (internal and external) they process“ (Garon et al., 2008, S. 38).

Tatsächlich zeigt sich im Kindergartenalter und darüber hinaus auch ein deutlicher Anstieg in der exekutiven Kontrolle: Carlson (2005) beispielsweise wies deutliche Entwicklungssprünge zwischen dem dritten und fünften Lebensjahr in einer Vielzahl an Aufgaben zur Erfassung von verschiedenen exekutiven Funktionen (z.B. Rückwärtspannen-Aufgaben, Dimensional Change Card Sort, Handaufgabe) nach. Eine Fraktionierung in separate exekutive Funktionen schlug Carlson nicht vor, da keine differentiellen, vom Alter abhängenden Entwicklungsverläufe für Inhibition respektive Arbeitsgedächtnis erkennbar waren. Hingegen nahmen die Leistungen in allen exekutiven Funktionen gleichermaßen zu und Aufgaben, die Inhibitions- und zusätzlich Arbeitsgedächtnisleistungen erforderten, zeigten in allen Altersgruppen die geringsten Lösungswahrscheinlichkeiten.

Neben dem Befund, dass eine zunehmende Aufmerksamkeitssteuerung die Entwicklung exekutiver Funktionen ermöglicht, indem Konflikte während der Informationsverarbeitung durch Aufmerksamkeitslenkung gelöst werden können (Rothbart & Posner, 2001), gibt es verschiedene andere theoretische Ansätze, die nach den Ursachen für Entwicklungsfortschritte in der exekutiven Kontrolle suchen. So wird neben der reifungs- und erfahrungsbedingten zunehmenden Vernetzung des „Anterior attention system“ mit anderen Gehirnarealen weiterhin allgemein die Reifung der „Executive attention“ (Engle & Kane, 2004) und eine Kapazitätzunahme der Kurzzeitspeichersysteme, besonders der phonologischen Schleife (Zelazo et al., 2003), zur Erklärung herangezogen.

Zunehmende Aufrechterhaltung abstrakter zielrelevanter Informationen im Arbeitsgedächtnis. Munakata, Snyder und Chatham (2012) entnehmen ihren Erklärungsansatz zur zunehmenden kognitiven Kontrolle und reduziertem Perseverationsverhalten bei Kindern neurophysiologischen Netzwerk-Modellen. Ihre Überlegungen gehen von dem Befund aus, dass der präfrontale Kortex dann aktiv ist, wenn abstrakte Zielrepräsentationen trotz zwischenzeitlicher Intervalle und Störungen im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden sollen. Mit zunehmendem Alter entwickeln sich diese präfrontalen Areale und es gelänge Kindern deshalb zunehmend, flexible

abstrakte Repräsentationen ohne Vorhandensein greifbarer und sichtbarer Hinweise im Arbeitsgedächtnis aktiv zu halten. Im Speziellen wird zwischen Repräsentationen, die in latenter Form durch vorherige Übung im Langzeitgedächtnis (posterioren Kortex) abgespeichert sind und weitgehend automatisiert ablaufen und aktiven Repräsentationen, welche sich mit Aufmerksamkeit versehen im Arbeitsgedächtnis (präfrontalen Kortex) befinden, unterschieden (Morton & Munakata, 2002). Zur Überwindung einer latenten gewohnten, für die neue Situation und Zielerreichung aber ungeeigneten Repräsentation und damit der situationsangemessenen Lösung des Konflikts im Wege, erfordere es eine starke Aktivierung der neuen Repräsentation im Arbeitsgedächtnis. Seien die aktiven Zielrepräsentationen zu schwach, so reagiere das Kind perseverierend mit der alten und gewohnten latenten Reaktion. Ausreichend starke Aktivierungen von Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis hingegen ermöglichen kontrolliertes zielorientiertes Verhalten und es gelänge Kindern zunehmend der Wechsel von reaktiver zu proaktiver kognitiver Kontrolle und von exogener zu endogener Verhaltenssteuerung (Morton & Munakata, 2002; Munakata et al., 2012). Am Beispiel des Dimensional Change Card Sort kann man die Überlegungen Munakatas und Kollegen erläutern: Eine Zielrepräsentation ist z.B. die Regel „Sortiere nach Form“. Wird eine neue Regel eingeführt („Sortiere nach Farbe“) und es gibt einen Konflikt zwischen zwei sich auf der Karte befindlichen Informationen (z.B. roter Hase), dann muss die neue Regel („Sortiere nach Farbe“) stärker im Arbeitsgedächtnis aktiviert werden, um gegenüber der vorher gültigen und deshalb latenten Repräsentation im Langzeitgedächtnis („Sortiere nach Form“) beachtet werden zu können. Dieser Konflikt zwischen Repräsentationen im Langzeit- und Arbeitsgedächtnis kann z.B. auch die Befunde von Chevalier und Blaye (2008) erklären. Sie wiesen in verschiedenen Paradigmen bei dreijährigen Kindern nach, dass diese in anspruchsvollen Shifting-Aufgaben zu Perseverationsfehlern neigten, da es ihnen schwer falle, die vor der Shiftphase zu ignorierenden Repräsentationen in der Shiftphase angemessen zu aktivieren.

Die Theorie von Morton und Munakata (2002) und Munakata und Kollegen (2012) betont, dass die Entwicklung exekutiver Funktionen in dem Maß vorangetrieben wird, in dem die aktiven Arbeitsgedächtnisrepräsentationen an Stärke gewinnen. Die bestärkte Aktivierung von relevanten Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis bewirke in der Folge, dass beispielsweise neuronale Pfade von latenten Repräsentationen im Langzeitgedächtnis inhibiert werden (Munakata, et al., 2011). Die zunehmende Fähigkeit, zielrelevante Informationen aktiv aufrechtzuerhalten ist demnach sowohl antreibend für angemessen flexibles als auch für gezielt inhibiertes Verhalten (vgl. Miyake & Friedman, 2012): „... this specialization for actively representing and maintaining abstract

information in the PFC produces ... inhibitory effects on other brain regions.“ (Munakata et al., 2011, S. 454).

Zunahme inhibitorischer Fähigkeiten. Diamond (2006) hingegen stimmt nicht mit der Ansicht Munakatas und Kollegen (2011) überein, dass im Prinzip ausreichende Aktivierung relevanter Informationen allein genüge, um zielgerichtet und flexibel denken und handeln zu können und dass eine Stärkung der Arbeitsgedächtnisrepräsentationen die Entwicklung von Flexibilität und inhibitorischen Prozessen anstoße. Gemeinsam mit einer ausreichend starken Arbeitsgedächtnisrepräsentation seien vielmehr inhibitorische Prozesse erforderlich, um den Konflikt zwischen einer dominanten, automatisierten und einer neuen, angemessenen Reaktion zu lösen. So würden Kinder in der Flexibilität erfordernden Aufgabe Dimensional Change Card Sort perseverieren, weil sie trotz des eigentlich vorhandenen Wissens um die Regeln die Aufmerksamkeit auf die ursprünglich relevante Eigenschaft der Karte nicht inhibieren könnten. Eine Aufmerksamkeitsunterbrechung von vormals relevanten und Aufmerksamkeitslenkung zur aktuell relevanten Informationen könne deshalb nicht stattfinden (Kirkham, Cruess & Diamond, 2003). Kirkham und Kolleginnen nutzen den Begriff „attentional inertia“, zu deutsch etwa „Trägheit der Aufmerksamkeit“, wenn sie davon sprechen, dass fokussierte Aufmerksamkeit auf einem bestimmten Stimulus oder einer bestimmten Eigenschaft verbleibt und es Kindern äußerst große Schwierigkeiten bereitet, die Aufmerksamkeit auf etwas Neues zu richten. Auch Erwachsenen mache kognitive Flexibilität wegen der inhibitorischen Anforderung noch Mühe. Die kognitive Anstrengung, die durch das Unterdrücken der präpotenten Antwort erzeugt würde, zeige sich allerdings nicht in falschen Reaktionen wie bei Kindern, sondern in längeren Reaktionszeiten.

Zunahme komplexen Regelverständnisses. Zelazo und Kollegen (2003) stellten betreffend des Entwicklungsmotors hingegen die Theorie auf, dass sich exekutive Funktionen weiter entwickeln, weil Kinder zunehmend in der Lage sind, verschiedene inkompatible Regeln durch Regeln höherer Ordnung zu integrieren. Diese Theorie nannten sie *Cognitive Complexity and Control (CCC) - Theorie* aufgrund der Überlegung, dass das Aufstellen und Nutzen komplexer Regelsysteme kognitive Kontrolle im Prozess des Problemlösens bedeutet. Zelazo und Kollegen erklärten dies wiederum am Beispiel der Leistungen im Dimensional Change Card Sort. Zunächst gibt es einfache Regeln („Wenn Karte rot, dann auf diesen Stapel legen“ oder „Wenn auf der Karte ein Hase, dann auf diesen Stapel legen“). Wird immer nur eine dieser Regeln verwendet, gibt es keinerlei Probleme. Beide Regeln aber flexibel zu kombinieren, d.h. zwischen beiden zu wechseln, sei erst möglich, wenn das Kind verstanden hat, dass unterschiedliche Regeln für bestimmte Settings

gelten. Dieses Setting („Wir spielen das Farb- vs. Formspiel“) ist die hierarchisch höher angeordnete Regel und bestimmt, welche der beiden Subregeln eingesetzt werden muss, d.h. auf welche Eigenschaft der einzelnen Karte („rot“ oder „Hase“) das Kind achten muss. Je komplexer das Regelsystem, das ein Kind überblicken, d. h. je mehr Regeln es hierarchisch ordnen könne, desto flexibler könne ein Kind auf eine neue Situation mit möglicherweise gegensätzlichen Informationen und Regeln reagieren. Dies zeige sich, wenn man die Leistungen von drei-, vier- und fünfjährigen Kindern im Dimensional Change Card Sort ansieht. Während die jüngeren Kinder deutliche Schwierigkeiten haben, nach dem Farbspiel auf das Formspiel zu wechseln, scheinen die älteren Kinder auf die Flexibilität erfordernde Situation besser eingehen zu können, weil sie laut Zelazo und Kollegen aufgrund der Regel höherer Ordnung („Wenn Farbspiel, dann... / Wenn Formspiel, dann...“) die untergeordneten Regeln integrieren und anwenden können. Zelazo und Kollegen wiesen abschließend in ihrer Untersuchung zur Entwicklung exekutiver Funktionen auf eine Revision ihrer Theorie, der CCC-r-Theorie hin, die neben Repräsentation eines relevanten Regelsystems auch die Inhibition irrelevanter Regeln integriert und das dynamische Zusammenspiel beider Fähigkeiten für erfolgreiche exekutive Kontrolle betont (Zelazo et al., 2003).

Abschließend kann festgehalten werden, dass exekutive Funktionen bei Kindern zunächst eines Fundaments bedürfen, um sich entwickeln zu können. Dieses Fundament besteht nach Garon und Kollegen (2008) als auch Rothbart und Posner (2001) in einer zunehmend störungsfreien Aufmerksamkeitslenkung. Darauf aufbauend sorgt einerseits die ansteigende Fähigkeit zur abstrakten und stabilen Repräsentation zielrelevanter Informationen im Arbeitsgedächtnis für erleichterte exekutive Kontrolle (Morton & Munakata, 2002). Betrachtet man die Impulsivität im Verhalten von Kindern, so bestätigt dies die ebenso starke Rolle, die Inhibition für die Weiterentwicklung selbstregulatorischer Kompetenzen und exekutiver Kontrolle spielt (Diamond, 2006; Kirkham et al., 2003) und auch die Bedeutung des zunehmenden Verständnisses für komplexere Regelsysteme im Erklärungsmodell von Zelazo und Kollegen (2003).

2.1.1 Befunde zur Entwicklung exekutiver Funktionen

Im Folgenden sollen nun Entwicklung und empirische Nachweise einzelner exekutiver Funktionen („Diversity“) bei Kindern vorgestellt werden, um ein detaillierteres Bild exekutiver Kontrolle in der Kindheit zu erhalten. Die von den Autoren durchgeführten und exemplarisch genannten Testverfahren sind zur Übersicht in Tabelle 17 *Testverfahren zur Erfassung exekutiver Funktionen* im Anhang beschrieben.

Garon und Kollegen zufolge lassen sich die drei basalen exekutiven Funktionen Updating, Inhibition und Shifting bereits während des Kindergartenalters erfassen und zeigen deutliche Anstiege insbesondere zwischen dem dritten und fünften Lebensjahr (Garon et al., 2008). Auch über diese Altersspanne hinausgehend zeigen sich Anstiege im späten Vorschulalter (Röthlisberger et al., 2010) und zum Teil bis in das junge Erwachsenenalter hinein (Diamond, 2002). Huizinga und Mitarbeiter (2006) verglichen die Testleistungen 7-, 11-, 15-jähriger Kinder mit denen junger Erwachsener in drei exekutiven Funktionen. Das Niveau junger Erwachsener erreichen Kinder in diesen Funktionen in etwas unterschiedlichem Alter, was für unterschiedliche Entwicklungswege spricht: Die Shiftingleistungen 15-jähriger (erfasst z.B. mit Local-Global-Aufgabe), die Inhibitionsleistungen 11-jähriger (erfasst z.B. mit Stroop-Aufgabe) und die Leistungen im Updating, hier Arbeitsgedächtnis genannt (erfasst z.B. mit Running Memory-Aufgabe), von 15-jährigen entsprachen dem Leistungsniveau junger Erwachsener. Insbesondere Leistungen in komplexen Shifting- und Working memory-Aufgaben verbessern sich stetig über die Kindheit hinausgehend, während inhibitorische Leistungen die deutlichsten Anstiege in der Vor- und Grundschulzeit erzielen (Best et al., 2009).

Updating, also Aufrechterhaltung, Aktualisierung und Manipulation von Informationen im Arbeitsgedächtnis, zeigt sich als erste exekutive Funktion in einfacheren Aufgaben bereits im zweiten Lebensjahr und lässt sich mit komplexeren Aufgaben wie beispielsweise durch Rückwärtsspannenaufgaben ab dem dritten Lebensjahr erfassen. Bei derartigen Anforderungen zeigen sich signifikante Steigerungen vom dritten zum vierten (Schmid, Zoelch & Roebers, 2008) und zum fünften Lebensjahr (Carlson, 2005) als auch darüber hinaus bis in die spätere Kindheit (Gathercole, Pickering, Ambridge & Wearing, 2004). Röthlisberger und Kollegen (2010) zeigten für die rückwärtige Wiedergabe von Farben ansteigende Spannen bei Kindern zwischen fünf und sieben Jahren, Diamond (2002) berichtete für die Altersspanne von 6 bis 13 Jahren einen fünffachen Zuwachs in der rückwärtigen Wiedergabe von Zahlenspannen.

Inhibitionsleistungen, d. h. das Unterdrücken einer dominanten Reaktion bei Beachtung und Aufrechterhaltung einer bestimmten Regel, sind wie Updating-Leistungen ebenfalls bereits im Kindergartenalter erfassbar. Eingesetzt werden zum Beispiel Aufgaben, bei denen das Kind mit gegenteiliger Bewegung reagieren muss (Hand-Aufgabe) oder konträre Antworten geben muss (Tag-Nacht-Aufgabe), d.h. eine auf einen bestimmten Reiz hin erfolgende automatisierte, naheliegende, präpotente Reaktion unterdrücken muss. Ab dem zweiten Lebensjahr sind diese Art inhibitorische Leistungen von Kindern ausführbar (Garon et al., 2008). Deutliche Entwicklungsanstiege lassen sich zwischen dem dritten und fünften Lebensjahr erkennen, wobei

anspruchsvollere Inhibitionsaufgaben (z.B. Simon says) von der Hälfte der Fünfjährigen noch nicht bewältigt werden können (Carlson, 2005). Leistungsverbesserungen gibt es bei einfacheren Stroop-Aufgaben bei Kindern zwischen fünf und sieben Jahren (Röthlisberger et al., 2010). Bei anspruchsvollen Inhibitionsaufgaben lassen sich sogar lineare Anstiege vom 4. bis zum 26. Lebensjahr finden (Diamond, 2002).

Während das Inhibieren ein Unterdrücken eines automatisierten, bereits vor der Aufgabendurchführung vorhandenen Reiz-Reaktionsmusters erfordert, wird beim *Shifting* zunächst eine Reiz-Reaktion-Verbindung aufgebaut, um nach deren Etablierung zu einer neuen Reiz-Reaktionsverbindung wechseln zu können. Shiftingleistungen sind komplexer als Updating- oder Inhibitionsleistungen, da diese sowohl das Aufrechterhalten von Regeln im Arbeitsgedächtnis als auch das Inhibieren voriger Reiz-Reaktionsmuster erfordern (Garon et al., 2008). Die im Vorschulalter häufig eingesetzten Kartensortieraufgaben, welche von rund $\frac{3}{4}$ der Vierjährigen gelöst werden (Carlson, 2005), erfordern beispielsweise zunächst ein Sortieren nach Farbe und anschließend ein Wechseln zum Sortieren nach Form. Je stärker die erstgelernte Reiz-Reaktionsverbindung ist, im Beispiel Sortieren nach Farbe, und je ähnlicher diese zur zweitgelernten Reiz-Reaktionsverknüpfung ist, im Beispiel dem Sortieren nach Form, desto schwerer fällt Kindern das Shifting. So können Kinder bis zum Ende der Vorschulzeit mit entsprechenden Aufgaben Schwierigkeiten haben (Garon et al., 2008). In Shifting-Aufgaben wie dem Wisconsin Card Sorting Test oder Anti-Sakkaden-Aufgaben erreichen Kinder sogar erst mit einem Alter von zehn bis elf Jahren das Niveau Erwachsener bzw. in noch komplexeren Shifting-Aufgaben verbessert sich die Leistung kontinuierlich über das Jugendalter hinweg bis in das zweite Lebensjahrzehnt hinein (Davidson, Amso, Anderson & Diamond, 2006; Diamond, 2002).

Die Befunde von Carlson (2005) zeigen, dass es abgestufte Schwierigkeitsgrade in den Aufgaben zur Erfassung einer exekutiven Funktion gibt (z.B. innerhalb der Testverfahren zum Konstrukt Inhibition bei Vierjährigen: Grass-Snow-Aufgabe 84% und Simon Says-Aufgabe 25% Lösungswahrscheinlichkeit). Zudem erschwert eine Kombination von Anforderungen an Inhibition und Arbeitsgedächtnis die Lösung. Im Gegensatz zu Carlson konnten andere Untersuchungen differenzielle Entwicklungsverläufe in den einzelnen exekutiven Funktionen nachweisen: Diamond (2002) beispielsweise legte nicht nur dar, was der Entwicklung exekutiver Funktionen zugrunde liegt, sondern zeigte auch, dass Arbeitsgedächtnis und Inhibition zwei im Entwicklungsverlauf unterscheidbare exekutive Funktionen sind, welche empirisch betrachtet differentielle Entwicklungsverläufe nehmen. Garon und Kollegen (2008) berichten, dass sich schon im ersten Lebensjahr Updating als erste exekutive Funktion und kurz darauf auch Inhibition in ihren

grundlegenden Formen nachweisen lässt. Shifting scheint sich hingegen als komplexeste exekutive Funktion als letzte der drei exekutiven Funktionen auszubilden. Best und Kollegen (2009) schließen in ihrer Überblicksarbeit, dass jüngere Kinder in Problemlöseaufgaben eher von guten inhibitorischen Fertigkeiten profitieren würden, während bei älteren Kindern Arbeitsgedächtnisfertigkeiten bedeutsamer für komplexere kognitive Leistungen sind. Die Ursache dafür kann darin gesehen werden, dass Inhibition bereits frühzeitig in der Entwicklung in einem recht hohen Maß ausgeprägt sei. Arbeitsgedächtnisleistungen seien zwar ebenfalls bereits im Vorschulalter nachweisbar, die weitere Entwicklung strecke sich aber über einen deutlich längeren Zeitraum als die Entwicklung der Inhibition. Eine ausreichend ausgeprägte Inhibition von Störreizen ermögliche deshalb den gezielten Einsatz der sich entwickelnden Arbeitsgedächtnis- und Shifting-Fähigkeiten, so Best und Kollegen.

Über die Frage hinausgehend, wann welche exekutive Funktion erstmals erkennbar wird, zeigen Roebbers, Röthlisberger, Cimeli, Michel und Neuenschwander (2011) bei fünf- und sechsjährigen Kindern über den Zeitraum von einem Jahr hinweg hohe Stabilitäten in Updating, Inhibition und Shifting. Rund die Hälfte der Varianz in den Testleistungen im sechsten Lebensjahr konnte durch die Leistungen ein Jahr zuvor erklärt werden. Roebbers und Kolleginnen betonen deshalb, wie bedeutend es ist, eine verlangsamte Entwicklung exekutiver Funktionen bereits früh zu erkennen, um rechtzeitig Maßnahmen zu ergreifen.

Es bleibt zu beachten, dass altersabhängig unterschiedliche Entwicklungsverläufe nicht zwangsläufig ein Beleg dafür sind, dass es sich bei den drei beschriebenen exekutiven Funktionen um separate Fähigkeiten handelt. Möglich ist, dass zum Beispiel Shifting in Gänze aus zuvor entwickelten Arbeitsgedächtnis- und Inhibitionsleistungen besteht und keinerlei eigene Varianz besitzt oder dass sowohl Inhibitions- als auch Shiftingfähigkeiten derart von Arbeitsgedächtnisleistungen abhängig sind, dass anders als bei Erwachsenen keine Dreifachstruktur exekutiver Funktionen nachweisbar ist, sondern individuelle Leistungsunterschiede in Inhibition und Shifting allein auf Arbeitsgedächtnisunterschiede zurückzuführen sind. Würde man ohne eine Überprüfung der faktoriellen Struktur Aussagen über die Ausprägung von Inhibition oder Shifting treffen, so wären dies möglicherweise keine validen Feststellungen. Im Anschluss sollen deshalb Befunde für einen faktorenanalytischen Beleg der Struktur exekutiver Funktionen im Kindesalter dargestellt werden.

2.2 STRUKTUR EXEKUTIVER FUNKTIONEN

Über die betrachteten Studien hinweg zeigen sich bei Kindern in Abhängigkeit vom Alter unterschiedliche strukturelle Organisationen der exekutiven Funktionen. Im Folgenden werden verschiedene aktuelle Studienergebnisse vorgestellt, die abhängig vom Alter und Studiendesign ein-, zwei- und dreifaktorielle Strukturen nachweisen konnten. In Tabelle 18 *Übersicht: Strukturmodelle exekutiver Funktionen* im Anhang findet sich eine Übersicht über verschiedene Studien zu Strukturmodellen exekutiver Funktionen, die Alter der Kinder, Studiendesign und Ergebnisse kurz zusammenfasst.

2.2.1 Einfaktorielle Struktur

Wiebe, Espy und Charak (2008) untersuchten zwei- bis sechsjährige Kinder mit einer Vielzahl an Testverfahren zu Inhibition (erfasst z.B. mit den Tests Statue und Shape School) und Arbeitsgedächtnismaßen (erfasst z.B. mit Six Boxes), verwendeten aber keine Shifting-Maße. Den aus der konfirmatorischen Faktorenanalyse resultierenden allgemeinen Faktor „exekutive Kontrolle“ erklärte die Arbeitsgruppe mit der Fähigkeit, relevante Reiz-Reaktionsmuster aktiv zu halten, um zielführende exekutive Kontrolle ausüben zu können.

In einer weiteren Forschungsarbeit von Wiebe und Kollegen (2011) ergab sich bei ausschließlich dreijährigen Kindern in der Faktorenanalyse bei Einschluss von Arbeitsgedächtnis- (z.B. erfasst über Six boxes) und Inhibitionsmaßen (z.B. erfasst über Go/No-go-Aufgabe, Shape school) ein einfaktorielles Modell exekutiver Funktionen. Flexibilität-/Shiftingmaße zeigten Bodeneffekte und wurden nicht weiter berücksichtigt.

Auch die Arbeit von Hughes und Kollegen (2010) belegte in konfirmatorischen Faktorenanalysen für Vorschulkinder ein einfaktorielles Modell. Dazu setzten Hughes und Kollegen längsschnittlich an vier- bzw. sechsjährigen Kinder drei Aufgaben ein: Genutzt wurden die inhibitorische Tag-Nacht-Aufgabe, eine Aufgabe zur Erfassung visuell-räumlicher Gedächtnisfähigkeit und die Planning-Aufgabe Turm von London. Diese sehr unterschiedlichen Aufgaben (und insbesondere im Fall der komplexen Turm-Aufgabe durch multiple Fähigkeiten entstehende Leistung) luden sowohl im Alter von vier als auch im Alter von sechs Jahren auf einem singulären Faktor.

2.2.2 Zweifaktorielle Struktur

Senn, Espy und Kaufmann (2004) hingegen konnten in Pfadanalysen zwei separate exekutive Funktionen aufzeigen. Bei Kindern zwischen dem zweiten und sechsten Lebensjahr sagten die basalen, moderat miteinander korrelierten Prozesse Inhibition (erfasst mit dem Testverfahren Shape School) und Arbeitsgedächtnis/Updating (erfasst mit einer der Six Boxes-ähnlichen Aufgabe) komplexe exekutive Regulationsprozesse (Turm von Hanoi) vorher, wobei bei den jüngeren Kindern Inhibition und bei den älteren Kindern das Arbeitsgedächtnis mehr Einfluss auf die Leistung in komplexen kognitiven Aufgaben nahm. Shifting zeigte in dieser Studie keinen Einfluss, was entweder auf mangelhafte Operationalisierung der Aufgabe zurückgeführt werden kann oder eine noch nicht ausgeprägte Planungs- und Einsatzfähigkeit verschiedener Lösungsstrategien in dieser Altersgruppe zur Ursache haben kann (Senn et al., 2004).

Ähnlich zu dem vorgenannten Ergebnis konnten Miller, Müller, Giesbrecht, Carpendale und Kerns (2013) bei drei- bis fünfjährigen Kindern mit einer konfirmatorischen Faktorenanalyse die in mittlerer Höhe korrelierten Faktoren Arbeitsgedächtnis und Inhibition belegen. Sie verwendeten zur Erfassung von Inhibition beispielsweise eine Go/No-go-Aufgabe, aber auch die eigentlich zumeist zur Erfassung komplexer exekutiver Funktionen eingesetzte Aufgabe Turm von Hanoi. Zu den Aufgaben, die verschiedene Komponenten des Arbeitsgedächtnisses erfassen sollen, gehörte unter anderem die rückwärtige Wiedergabe von Zahlenfolgen. Die Autoren setzten zudem aber auch die Continuous Performance-Aufgabe, das heißt eine die dauerhafte Aufmerksamkeit erfassende Aufgabe, zur Erfassung des Arbeitsgedächtnisses ein. Die Breite der Testverfahren, mit denen Inhibition und das Arbeitsgedächtnis erfasst wurden und der Anforderungen, die diese Verfahren stellen, ist also recht groß und eher unspezifisch. Shifting erfassten die Autoren nicht.

Lee und Kollegen (2012) untersuchten die Struktur exekutiver Funktionen bei sechsjährigen Kindern. In Erweiterung zu der vorgenannten Studie zogen sie nicht nur Testverfahren zur Erfassung des Updating und der Inhibition, sondern auch Shifting-Maße heran. Updating wurde beispielsweise mit einer Listening Recall- und einer Pictoral Updating-Aufgabe erfasst. Zu den Inhibitions-Aufgaben gehörte unter anderem eine Flanker-Aufgabe und zu den Shifting-Aufgaben eine Aufgabe, bei der je nach Position eines Bildes und eines Symbols auf dem Bildschirm entweder das Bild oder das Symbol beachtet werden musste. Zum Teil wurden die Aufgaben erweitert, um in verschiedenen Bedingungen einerseits Inhibition und andererseits Shifting erfassen zu können. Die Studie kam zu dem Ergebnis, dass exekutive Funktionen in der Altersgruppe der Sechsjährigen durch zwei Faktoren widerspiegelt werden. Neben einem separaten Updating-Faktor fanden Lee und Kollegen Shifting und Inhibition auf einem Faktor

ladend. Als mögliche Ursachen diskutierten die Autoren einerseits die entwicklungsbedingte geringe Differenzierung von Shifting und andererseits methodische Ursachen, wie beispielsweise das Berechnen von Shifting- als auch Inhibitionsmaßen aus verschiedenen Konditionen der gleichen Aufgabe (Lee et al., 2012).

Die Forschergruppe van der Ven und Kollegen (2012) wiesen in einer konfirmatorischen Faktorenanalyse ebenfalls die beiden Faktoren Updating, sowie auf einem Faktor gemeinsam ladend Inhibition und Shifting bei Erst- und Zweitklässlern nach. Zu vier Messzeitpunkten wurden die teilnehmenden Kinder längsschnittlich in ihrer Entwicklung verfolgt. Eingesetzt wurden jeweils drei Testverfahren für jede der exekutiven Funktionen Updating, Shifting und Inhibition, wobei anders als bei Lee und Kollegen für Inhibition und Shifting separate Testverfahren verwendet wurden. Zur Erfassung von Inhibition wurde beispielsweise eine Local-Global-Aufgabe verwendet, Shifting wurde unter anderem mit einer Trail Making-Aufgabe erfasst und Updating mit einer rückwärtigen Zahlenspanne. Den zu allen vier Messzeitpunkten vorgefundenen hohen Zusammenhang zwischen Inhibition und Shifting erklären die Autoren damit, dass sowohl Inhibition als auch Shifting eine schnelle Wahl zwischen zwei konkurrierenden Reaktionen erfordern.

Eine zweifaktorielle Struktur fanden auch Huizinga und Kollegen (2006) in einem querschnittlichen Vergleich 7-, 11-, 15- und 21-jähriger Kinder und junger Erwachsener für alle Altersgruppen. Es konnten nach Kontrolle der Benennungsgeschwindigkeit die beiden latenten Konstrukte Arbeitsgedächtnis und Shifting nachgewiesen werden. Die drei Inhibitionsmaße (Stop-Signal-, Flanker- und Stroop-Aufgabe) verfügten nicht über genügend geteilte Varianz, als dass sie als Indikatoren eines gemeinsamen latenten Faktors gelten könnten. Ursächlich für diese geringen Zusammenhänge könnten beispielsweise unterschiedlich starke Speed-Komponenten in den drei Aufgaben gewesen sein, so Huizinga und Kollegen.

Die Arbeitsgruppe van der Sluis, de Jong und van der Leij (2007) fand bei Neun- bis Zwölfjährigen ebenfalls keinen Nachweis für die dreifaktorielle Struktur exekutiver Funktionen. Ihre konfirmatorische Faktorenanalyse ergab wie bei Huizinga und Kollegen (2006) die beiden Faktoren Shifting und Updating, aber keinen Inhibitionsfaktor. Die Benennungsgeschwindigkeit erklärte Varianz in allen exekutiven Leistungen und stellte in der Faktorenanalyse einen separaten Faktor dar. Für jede der exekutiven Funktionen verwendeten die Autoren vier Subtests, so dass beispielsweise das latente Konstrukt Shifting aus den Leistungen in den Testverfahren Making Trails sowie Shifting-Fertigkeiten in Aufgaben mit Objekten, Symbolen und räumlicher Anordnung gespeist wurde. Die Faktorladungen dieser Testverfahren schwankten allerdings deutlich von

niedrig bis zufriedenstellend, was Fragen an die Eindimensionalität der jeweiligen Anforderung aufwirft. Van der Sluis und Kollegen erklärten das Fehlen eines separaten Inhibitionsfaktors damit, dass Inhibition möglicherweise nicht reliabel zu messen sei, keine individuellen Unterschiede vorhanden seien oder Inhibition hoch mit anderen Konstrukten korreliere. Letzteres war in der Studie insofern der Fall, als dass Inhibition große Anteile an Varianz mit dem allgemeinen nicht-exekutiven Faktor Benennungsgeschwindigkeit teilte. Möglicherweise gäbe es auch eher in klinisch auffälligen Stichproben als in unausgewählten Stichproben individuelle Unterschiede in inhibitorischen Fähigkeiten, so van der Sluis und Kollegen (2007).

St Clair-Thompson und Gathercole (2006) untersuchten elf- und zwölfjährige Kinder. Sie kamen mit einer explorativen Faktorenanalyse zu dem Schluss, dass exekutive Funktionen in dieser Altersgruppe durch zwei Faktoren repräsentiert werden: Updating und Inhibition. Ein Shifting-Faktor konnte nicht nachgewiesen werden, was an einer wenig fortgeschrittenen Entwicklung der Fähigkeit in dieser Altersgruppe, mangelnder Operationalisierung des Konstrukts oder mangelnder Reliabilität gelegen haben könnte, so die Autorinnen. Interessanterweise untersuchten die beiden Wissenschaftlerinnen, inwieweit die in Tradition Baddeleys (1996) und Danemanns und Carpenters (1980) zur Erfassung der zentralen Exekutive verwendeten Komplexen-Spannen-Aufgaben mit traditionell zur Erfassung exekutiven Updatings eingesetzten Aufgaben zusammenhängen. Beiderlei Aufgabentypen, beispielsweise Listening Recall und rückwärtige Zahlenspanne auf Seiten der zentralen Exekutive/Working memory, als auch die Letter memory- und Keep track-Aufgabe auf Seiten des Updatings, luden auf ein und demselben Faktor, so dass laut St Clair-Thompson und Gathercole geschlossen werden kann, dass die Leistung in allen diesen Aufgaben von der Fähigkeit zum Überwachen und Aktualisieren von bereitgestellten Informationen im Arbeitsspeicher abhängt.

2.2.3 Dreifaktorielle Struktur

Lehto und Kollegen (2003) betrachteten Kinder von 8 bis 13 Jahren, die sie in fünf Altersgruppen unterteilten. Die Leistungsmaße unterzogen sie einer konfirmatorischen Faktorenanalyse, welche drei Faktoren ergab, die als Arbeitsgedächtnis, Inhibition und Shifting interpretiert wurden. Kritisch anzumerken ist, dass die Zuordnungen von Testmaßen zu den Faktoren in dieser Untersuchung nicht durchgängig verständlich erscheinen. So wurde die komplexe Aufgabe Turm von London nicht als ein aus verschiedenen Leistungen zusammengesetztes Maß betrachtet (vgl. Miyake et al., 2000), sondern der Inhibition zugeordnet. Dem latenten Konstrukt Arbeitsgedächtnis wurde trotz enthaltener Shifting-Anteile der Test

Auditory Attention and Response Set als auch trotz Assoziationen zu fluider Intelligenz ein Matrizenest zugeordnet.

Die Vielzahl der vorgestellten Studien zeigt im Wesentlichen eine sich verändernde Struktur exekutiver Funktionen. Je jünger Kinder, desto allgemeiner und unspezifischer erscheint der kognitive Regulationsprozess. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass in den berichteten Studien mit jungen Kindern selten Shifting-Leistungen Eingang fanden (z.B. Miller et al., 2013; Wiebe et al., 2008). Zwar entwickelt sich Shifting als letzte der drei basalen exekutiven Funktionen, eine Erfassung ist dennoch über weniger anspruchsvolle Testaufgaben mit wenigen klaren, sich deutlich unterscheidenden Regeln von Prä- zu Post-Shift-Durchgang möglich (Garon et al., 2008, Kirkham et al., 2003). Carlson berichtet zum Beispiel für die einfache Version der Kartensortieraufgabe Dimensional Change Card Sort nach Zelazo (2006) bei Vierjährigen eine Lösungswahrscheinlichkeit von 60%.

Mit ansteigendem Alter der Kinder nimmt die Zahl der nachgewiesenen Faktoren zu, was für eine zunehmende Differenzierung und Reifung der einzelnen Faktoren spricht. Bereits um die Einschulung herum können meist zwei exekutive Funktionen nachgewiesen werden, wobei die Befunde hierbei variieren. Manche Studien sprechen von Inhibition und Updating (Senn et al., 2004), manche Befunde von Updating und Shifting (Huizinga et al., 2006), andere wiederum von Updating und auf einem Faktor gemeinsam ladend Inhibition und Shifting (van der Ven et al., 2012). Eine dreifaktorielle Struktur exekutiver Funktionen analog zu den Befunden von Miyake und Kollegen (2000) wies schließlich nur eine der berichteten Untersuchungen für Kinder um das zehnte Lebensjahr herum nach.

3. ERFASSUNG EXEKUTIVER FUNKTIONEN

Die Forderung nach einer altersgerechten Erfassung exekutiver Funktionen beispielsweise für den Shifting-Faktor macht es erforderlich, sich mit den spezifischen Problematiken zu beschäftigen, die sich bei der Messung exekutiver Leistungen ergeben. Die Auflistung möglicher Testverfahren in Tabelle 17 im Anhang zeigt auf, wie vielfältig die Möglichkeiten zur Erfassung sind und lässt die Frage aufkommen, welche Vor- und Nachteile einzelne Verfahren mit sich bringen. Beachtet werden müssen dabei verschiedene Gesichtspunkte.

Begonnen werden soll mit dem Einwurf Miyakes und Kollegen (2000) zum Problem der Test-Unreinheit („Impurity“). Das Wesen exekutiver Funktionen liegt darin, dass sie kognitive Verarbeitungsprozesse steuern. Daraus folgt, dass exekutive Funktionen nicht allein und pur

erfasst werden können. Mit einer Aufgabe zur Erfassung exekutiver Funktionen werden immer auch andere für die Aufgabe erforderliche Leistungen gemessen und in der entstehenden Varianz bleibt die Höhe des eindeutig auf die exekutive Leistung zurückzuführenden Varianzanteils unklar. Eine 2-back-Aufgabe zur Erfassung des Updating beispielsweise erfordert nicht nur eine Item-entsprechende Anpassung der Arbeitsgedächtnisinhalte, sondern auch die Speicherung verbalen Materials in der phonologischen Schleife und eine schnelle Artikulation. Dies führt laut Miyake und Friedmann (2012) entsprechend dazu, dass nicht nur die exekutiven Prozesse selbst, sondern auch die für die spezifische Aufgabe notwendigen Fähigkeiten Varianz erzeugen und eine reine Erfassung der exekutiven Funktion verhindern. Aus diesem Grund verwendeten van der Sluis und Kollegen (2007) beispielsweise je eine Benennaufgabe als Kontrollaufgabe, um den Einfluss der Verarbeitungsgeschwindigkeit von dem der exekutiven Funktion trennen zu können und ein reineres Maß für die exekutive Leistung zu erzielen. Im Farb-Stroop wurde beispielsweise zunächst erfasst, wie schnell Kinder Farbnamen farbigen Flächen zuordnen können, bevor im Inhibitionsdurchgang die inkongruente Farbe eines geschriebenen Farbwortes (Wort „grün“ in roter Farbe geschrieben) benannt werden musste. Im Anschluss wurden beide Werte miteinander verrechnet und ergaben das von grundlegender Benennungsgeschwindigkeit bereinigte Maß für Inhibition. Friso-van den Bos und Kollegen (2013) schlugen vor, in Vorhersagen deshalb stets weitere Moderatoren aufzunehmen, um den Einfluss verschiedenster Prozesse zu kontrollieren. Miyake und Friedmann (2012) regten hingegen an, zur Umgehung des Task-Impurity-Problems einen Latent Variable Ansatz, wie er in konfirmatorischen Faktoranalysen und Strukturgleichungsmodellierungen gegeben ist, zu nutzen. Diese statistischen Verfahren setzen verschiedene Testverfahren, die auf möglichst unterschiedliche Art und Weise das jeweilige latente Zielkonstrukt messen, als Indikatoren eines latenten Konstrukts ein. Diese unterschiedlichen Testverfahren teilen in relativ geringem Umfang nicht-exekutive Varianz, so dass die gemeinsame Varianz nahezu vollständig der allen Testverfahren zugrunde liegenden exekutiven Funktion zuzuordnen ist.

Das Problem der unreinen Erfassung betrifft auch den Umstand, dass viele Studien komplexe Testverfahren wie z.B. die Aufgabe Turm zu London einsetzen und dies teilweise um einzelne exekutive Funktionen zu messen (z.B. Hughes et al., 2010). Wie Drechsler (2007) anmerkt, setzen sich komplexe kognitive Regulationsprozesse aus vielen einzelnen Fähigkeiten und basalen exekutiven Funktionen zusammen. Der komplexe exekutive Prozess des Monitorings beispielsweise erfordert die Aktivierung passender Strategien, die Überwachung des Fortschrittes, einen Abgleich mit dem Zielkriterium sowie die Hemmung irrelevanter Reaktionen. Man kann mit eingesetzten Monitoring-Aufgaben zwar einerseits eine alltagsnahe Fähigkeit erfassen,

andererseits können aber keine Rückschlüsse mehr auf die separaten Anteile zugrunde liegender Prozesse gezogen werden. Daraus folgt, dass je basaler die Prozesse sind, die erfasst werden sollen, und je spezifischer die Aufgaben, desto eher können exekutive Funktionen unverfälscht gemessen werden (Miyake et al., 2000).

Häufig werden Aufgaben aus Testverfahren für Erwachsene vereinfacht, um auch bei Kindern eingesetzt werden zu können. Hier kann wiederum der Stroop-Test als Beispiel herangezogen werden: Aufgrund mangelnder Lesefähigkeit bei jungen Kindern wirken die Farbwörter bei der Benennung der diskongruenten Schriftfarbe aber nicht als Distraktoren. Verwendet wird beispielsweise alternativ eine Stroop-Aufgabe, bei der Obst und Gemüse in falscher Farbe abgebildet ist und die richtigen Farbnamen genannt werden müssen (Jansen, Mannhaupt, Marx & Skowronek, 2002). Best und Kollegen (2009) merken dazu kritisch an, dass eine Adaptation nicht immer folgenlos für die Validität der Aufgabe bleiben könnte, da hierdurch möglicherweise Kernelemente exekutiver Kontrolle verloren gehen könnten.

Zu berücksichtigen ist ebenso, dass bei der ersten Bearbeitung einer neuen Aufgabe ein höherer Einsatz exekutiver Kontrolle notwendig ist als bei bekannten Aufgaben. Wie viel und ob exekutive Kontrolle eingesetzt werden muss, verändert sich erstens im Lauf der kindlichen Entwicklung, da sich Fähigkeiten sukzessive verbessern und dadurch viele Aufgaben leichter gelöst werden können. Je automatisierter Reaktionen werden, desto weniger ist noch ein Kontrollmechanismus notwendig (Drechsler, 2007). Zudem ist im Verlauf eines Tests selbst mit einem Lerneffekt zu rechnen, was zu einer Reduzierung der internen Konsistenz und zu geringer bis nicht zu berechnender Retest-Reliabilität führt (Miyake et al., 2000).

Sowohl Drechsler (2007) als auch Miyake und Kollegen (2000) sehen eine zusätzliche grundlegende Schwierigkeit darin, dass die Konstruktvalidität vieler exekutiver Aufgaben nicht genügend geklärt ist. Dies sei damit zu erklären, dass es bei der Testentwicklung und Testinterpretation keine einheitliche Theorie gibt, auf die zurückgegriffen wird. Stattdessen dienen unterschiedliche Sichtweisen als Ausgangspunkt. In der Folge könne es zu Interpretationsproblemen kommen, da Begriffe unklar genutzt, verschiedene Bezeichnungen für gleiche Prozesse verwendet oder gleiche Verfahren für verschiedene Konstrukte eingesetzt würden. Ein bereits erwähntes Beispiel hierfür ist die Ähnlichkeit der Konstrukte Updating und zentrale Exekutive/Working Memory. Auch wenn dem engen Begriff von Updating lediglich der Prozess des Aktualisierens beziehungsweise des Verwerfens von Arbeitsgedächtnisinhalten zugeordnet wird, der zentralen Exekutive hingegen zusätzlich die Verarbeitung dieser Informationen, so sind doch Leistungen in den eingesetzten Testverfahren hoch korreliert

(klassischerweise n-back- oder Letter-memory-Aufgaben vs. komplexe Spannen- oder Rückwärtsspannen-Aufgaben; Schmiedeck et al., 2009; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Dieser Befund gilt sowohl für Erwachsene als auch für ältere Kinder.

Hughes und Graham (2002) verglichen die Schwierigkeiten der Erfassung exekutiver Funktionen von Erwachsenen und Kindern. Sie kamen zu dem Schluss, dass die Testung von Kindern in mancherlei Hinsicht valider und reliabler als die von Erwachsenen sei. Vorteile lägen darin, dass Kinder aufgrund der noch nicht abgeschlossenen Entwicklung generell nur mit weniger komplexen Aufgaben getestet werden können und die Interpretation der ihren Leistungen zugrunde liegenden Fähigkeiten damit eindeutiger möglich sei. Zudem seien neuartige Anforderungen bei Kindern länger als bei Erwachsenen heraus- und somit exekutive Funktionen erfordernd (Hughes & Graham, 2002). Auch die höhere Transparenz im Reaktionsverhalten von Kindern durch lautes Denken oder offensichtliche Versuche, beispielsweise in der Handaufgabe die Handbewegung durch Festhalten der dominanten Hand mit der anderen Hand zu inhibieren, führe zu höherer Reliabilität und Validität. Neben dem Vorteil der möglicherweise reineren Erfassung exekutiver Funktionen bei Kindern wiesen Hughes und Graham (2002) aber darauf hin, dass sich hingegen das geringere Sprachverständnis, das Fehlen automatisierter Schriftsprachfertigkeiten und eine geringer ausgeprägte Leistung der phonologischen Schleife zum Aufrechterhalten wesentlicher auditiver Information nachteilig und erschwerend auf die Erfassung exekutiver Funktionen bei Kindern auswirken könne.

Dass es trotz dieser Schwierigkeiten möglich ist, exekutive Funktionen bei Kindern erfolgreich zu messen, zeigte sich zum Beispiel in der Untersuchung von Carlson (2005). Sie belegte mit ihrer Studie die Alterssensitivität verschiedenster Maße exekutiver Kontrolle, z.B. der Working memory-Aufgabe rückwärtige Zahlenspanne, und trägt damit zur leichten Erstellung einer altersgerechten Testbatterie zur Erfassung exekutiver Funktionen bei drei- bis fünfjährigen Kindern bei. Auch Garon und Kollegen (2008) beschreiben in ihrer Überblicksarbeit einige Testverfahren zu Inhibition, Updating und Shifting, die für Kinder im frühen Vorschulalter geeignet sind. Ebenso gibt es beispielsweise mit dem Developmental Neuropsychological Assessment (NEPSY; Korkman, Kirk & Kemp, 1998) ein normiertes Verfahren, um unter anderem Shifting und Inhibition altersadäquat zu erfassen und mit der Arbeitsgedächtnis-Testbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren (AGTB; Hasselhorn et al., 2012) eine Testbatterie, die zentral-exekutive und somit auch Updating-nahe Leistungen erfassen kann.

4. FRAGESTELLUNGEN

Gerade für den von großen Entwicklungsschritten gekennzeichneten Altersbereich kurz vor der Einschulung ist eine vollständige Erfassung aller drei basalen exekutiven Faktoren mit altersgerechten Testverfahren ein wünschenswertes Unterfangen. Zudem ist eine Überprüfung der Struktur durch konfirmatorische Faktorenanalysen notwendig, da dieser Altersbereich von großen Entwicklungsschritten geprägt und deshalb die Struktur nicht gänzlich durch vorhandene Studien geklärt ist. Tendenziell weisen die Studien auf eine einfaktorielles Lösung hin, doch im Zeitraum um die Grundschulzeit lassen sich in einigen Studien bereits zwei Faktoren nachweisen, weshalb die Struktur exekutiver Funktionen nochmals geprüft werden soll. Dies stellt einen kleinen Teil der vorliegenden Arbeit dar, welcher in Kapitel III untersucht werden soll. Der größere Teil soll sich mit den prädiktiven Qualitäten exekutiver Funktionen aus der „Diversity“-Perspektive beschäftigen. Da ein Erlernen neuer Fertigkeiten und der Umgang mit unbekanntem Fragestellungen verstärkt bewusste und absichtsvolle Verarbeitung erfordern, ist davon auszugehen, dass exekutive Kontrolle in den Erwerb schriftsprachlicher und mathematischer Kompetenzen eingebunden ist. Aus diesem Grund wird sich die Arbeit in Kapitel III mit den Zusammenhängen von Inhibition, Shifting und Updating mit mathematischen Leistungen beschäftigen und in Kapitel IV soll die Vorhersagekraft exekutiver Funktionen für das Lesen und Rechtschreiben als auch deren Vorläuferfertigkeiten untersucht werden. Abschließend sollen in Kapitel V diejenigen Kinder aus der Gesamtstichprobe untersucht werden, die Schwächen sowohl in ihrer schulischen Schriftsprach- als auch in ihrer Rechenleistung aufzeigen. Es stellt sich die Frage, ob für diese besondere Stichprobe ähnliche prädiktive Eigenschaften exekutiver Funktionen wie in der nicht ausgelesenen Gesamtstichprobe gelten oder ob sich ein anderes Muster innerhalb der Vorhersagevariablen findet. Zudem soll geklärt werden, ob einzelne exekutive Funktionen ähnlich beispielsweise den spezifischen Vorläuferfertigkeiten oder Leistungen der zentralen Exekutive sensitive und spezifische frühe Indikatoren für spätere Schulleistungen darstellen.

Die Leitfragen der vorliegenden Untersuchung lassen sich überblickend wie folgt zusammenfassen:

1. Welche Struktur exekutiver Funktionen zeigt sich ein Jahr vor Einschulung? Bestätigt sich das einfaktorielles Modell exekutiver Kontrolle oder lässt sich kurz vor Einschulung bereits eine differenziertere Struktur nachweisen?

2. Lassen sich entsprechend der gezeigten Struktur Einflüsse exekutiver Funktionen auf das spätere Zahlverständnis und die Rechenperformanz nachweisen? Sind diese Einflüsse auch bei gleichzeitiger Berücksichtigung relevanter Vorläuferfertigkeiten vorhanden?

3. Zeigen sich Einflüsse exekutiver Funktionen auf die spätere Lesegeschwindigkeit, das Leseverständnis und das Rechtschreiben? Tragen exekutive Funktionen auch bei Berücksichtigung wesentlicher schriftsprachlicher Prädiktoren zur Varianzaufklärung bei?

4. Spielen exekutive Funktionen bei Kindern mit schwachen Schulleistungen dieselbe Rolle wie bei Kindern einer nicht selektiven Stichprobe? Wie sensitiv und spezifisch sind exekutive Funktionen in der Vorhersage kombinierter Schwächen im Lesen, Rechtschreiben und Rechnen?

III. EINFLUSS EXEKUTIVER FUNKTIONEN AUF MATHEMATISCHE LEISTUNGEN VON ERSTKLÄSSLERN

1. EINLEITUNG

In der mathematischen Entwicklung von Kindern erwiesen sich numerische Vorläuferfertigkeiten als bedeutsame Prädiktoren für schulische mathematische Kompetenzen (z.B. Duncan et al., 2007; Krajewski & Schneider, 2009a). Neben diesen spielen aber auch weitere Fähigkeiten eine wichtige Rolle. In aktuellen zumeist englischsprachigen Publikationen werden den exekutiven Funktionen prädiktive Eigenschaften für numerische Vorläuferfertigkeiten und schulische mathematische Kompetenzen zugeschrieben (z.B. Bull, Espy & Wiebe, 2008; Clark, Pritchard & Woodward, 2010; LeFevre et al., 2013; Roebers et al., 2011). Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten sind in vielen Punkten heterogen und von einer Vielzahl an Variablen abhängig. Beispielsweise variieren sowohl die Operationalisierung der unabhängigen als auch der abhängigen Variablen beträchtlich; viele Untersuchungen haben querschnittliche, wenige längsschnittliche Designs und die schnelle Entwicklung sowohl in den exekutiven Funktionen als auch in den numerischen Kompetenzen im Vorschulalter erschweren den Vergleich über verschieden alte Stichproben. Je nach untersuchter Altersgruppe gehen die Autoren von einer unterschiedlichen Struktur exekutiver Funktionen aus, wobei es für die Übergangszeit zur Grundschule noch keine endgültige Übereinstimmung gibt (vgl. Kapitel 2 Entwicklung und Faktorenstruktur von exekutiven Funktionen bei Kindern). Es erscheint deshalb lohnenswert, die vorliegenden Befunde für Kinder im Vor- und Grundschulalter sowohl nach Operationalisierung der exekutiven Funktionen (ein- oder mehrfaktorielle exekutive Kontrolle) als auch nach Operationalisierung in der abhängigen Variable Mathematikleistung (Vorläuferfertigkeiten, numerisches Verständnis, curriculare Rechenleistung) zu ordnen und offene gebliebene Fragen herauszustellen. Zu diesen gehört zunächst die Frage nach der Struktur exekutiver Funktionen im späten Vorschulalter. Ist diese für die vorliegende Stichprobe geklärt, so soll darauf aufbauend untersucht werden, ob diese möglicherweise differentielle Einflüsse auf mathematische Kompetenzen nehmen. Im Unterschied zu einem Großteil vorhandener Studien wird ein Mehrwert darin gesehen, mathematische Kompetenzen detaillierter abzubilden, d.h. es soll die Bedeutung vorschulischer exekutiver Funktionen für numerische Vorläuferfertigkeiten, das Zahlverständnis und die Rechenperformanz in der ersten Klasse untersucht werden.

Bevor nun ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand zum Zusammenspiel exekutiver Funktionen und mathematischer Leistungen gegeben wird, soll zunächst in Kürze die Entwicklung mathematischer Kompetenzen das Vor- bis frühe Grundschulalter betreffend beschrieben werden.

1.1 ENTWICKLUNG MATHEMATISCHER FÄHIGKEITEN

Betrachtet man die mathematische Entwicklung von Kindern ausgehend vom mittleren Kindergartenalter bis zum Übergang in die Grundschule, so zeigen sich deutliche qualitative und quantitative Zuwächse. Kinder müssen den Schritt vom einfachen Aufsagen der Zahlwortfolge über die Verknüpfung von Zahlen mit Größen und deren Relationen bis hin zu den in der ersten Klasse zu lernenden mathematischen Operationen bewältigen. Das Modell der Zahl-Größen-Verknüpfung (ZGV-Modell) von Krajewski (2007, 2013) postuliert, dass Kinder mehrere Entwicklungsstufen durchlaufen, bis das Aufsagen der Zahlenfolge mit dem Verständnis für Mengen und Mengenrelationen verknüpft ist. So können Kinder bereits frühzeitig die *Zahlwortfolge* vorwärts und gegebenenfalls auch rückwärts aufsagen, und unabhängig davon können sie Größen unterscheiden, ohne dass diese beziffert werden (sog. mathematische Basisfertigkeiten, zugehörig zu den Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1). Erst in den folgenden Entwicklungsschritten verstehen Kinder, dass Zahlwörtern Mengen bzw. Größen zugeordnet sind und dass sie daher in Beziehung zueinander stehen (Anzahlkonzept, zugehörig zu den Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 2, und Zahlrelationen, zugehörig zu den Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 3). Dieses grundlegende *Zahlverständnis* ermöglicht den Kindern prinzipiell das Lösen verschiedenster arithmetischer Aufgaben. Im späten Vorschulalter und zu Beginn der Grundschule erlernen sie basale Rechenoperationen wie Addition und Subtraktion im ein- bis zweistelligen Zahlenraum. Diese werden im Grundschulalter zunehmend gefestigt und automatisiert, was sich in einer ansteigenden *Rechenperformanz*, d.h. in schnellem und korrektem Rechnen, niederschlägt. Insbesondere in kleineren Zahlenräumen spiegeln korrekte Rechenergebnisse jedoch nicht zwangsläufig auch ein tiefes Zahlverständnis wider, da Rechenaufgaben hier prinzipiell auch ohne Verständnis auswendig gelernt sein können.

Durch das Bestreben mathematische Schulleistungen und insbesondere -schwächen möglichst präzise und frühzeitig vorherzusagen, konnte gezeigt werden, dass mathematische Basiskompetenzen als bedeutsamste Prädiktoren für die schulischen Mathematikleistungen einzuordnen sind (Duncan et al., 2007; Krajewski & Schneider, 2006, 2009a; von Aster, Schweiter & Weinhold, 2007). Betrachtet man den Einfluss mathematischer Basiskompetenzen angelehnt an

das Modell der Zahl-Größen-Verknüpfung, so zeigte sich ein signifikanter Einfluss der Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1 auf die höheren Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebenen 2 und 3, welche wiederum bei gleichzeitiger Kontrolle des Arbeitsgedächtnisses und der phonologischen Bewusstheit etwa ein Viertel der Varianz in den schulischen Mathematikleistungen aufklärten und somit als wesentliche Kompetenz auf dem Weg zu erfolgreichem mathematischen Lernen angesehen werden können (Krajewski & Ennemoser, 2013; Krajewski & Schneider, 2009b). Die Rolle numerischer Basiskompetenzen als wesentlicher domänenspezifischer Prädiktor wird zudem durch erfolgreiche Präventionsmaßnahmen dieser Vorläuferfertigkeiten in der Vor- und Grundschule belegt (Krajewski, Nieding & Schneider, 2008; Sinner, 2011).

Neben den numerischen Basiskompetenzen tragen weitere Variablen zur Vorhersage mathematischer Schulleistungen bei, wie beispielsweise die bei Krajewski und Schneider (2009b) berücksichtigte phonologische Bewusstheit. Phonologische Bewusstheit als eine Komponente der phonologischen Informationsverarbeitung (Wagner & Torgesen, 1987) wurde lange Zeit als spezifischer Prädiktor für spätere Schriftspracheleistungen gesehen, lässt aber auch beachtliche Zusammenhänge mit mathematischen Fähigkeiten erkennen (z.B. Alloway et al., 2005; LeFevre et al., 2013; Marx & Weber, 2006). Wie die Ergebnisse einer Untersuchung von Krajewski, Schneider und Nieding (2008) sowie Krajewski und Schneider (2009a) nahelegen, beeinflusst die phonologische Bewusstheit speziell den Erwerb der Zahlwortfolge, zeigt darüber hinaus aber keinen direkten Einfluss auf höhere numerische und mathematische Kompetenzen wie etwa die Größenrepräsentation oder das Kardinal- und Relationalverständnis von Zahlen.

Die Geschwindigkeit des Abrufs von Wörtern aus dem Langzeitgedächtnis ist eine der Fähigkeiten, die ebenfalls im Zusammenhang mit akademischen Leistungen stehen. Krajewski und Schneider (2009b) zeigten einen signifikanten Einfluss des im Vorschulalter erfassten schnellen Abrufs numerischer Symbole (Würfel, Ziffern) aus dem Langzeitgedächtnis auf basale Zahl-Größen-Kompetenzen, schnelles Addieren in der 1. Klasse und auf die curriculare Mathematikleistung in der 1. und 4. Klasse. Auch Geary (2005) berichtete bei Kindern mit Dyskalkulie von Schwächen im Abruf von Zahlwörtern aus dem Langzeitgedächtnis, für die er zum einen eine defizitäre Fähigkeit zum Abruf aus dem Langzeitgedächtnis und zum anderen eine mangelnde Inhibition von irrelevanten Informationen aus dem Langzeitgedächtnis ursächlich sieht. Landerl, Bevan und Butterworth (2004) stellten in ihrer Studie fest, dass Kinder mit Rechenschwäche und Kinder mit komorbiden Lernschwächen Schwierigkeiten beim schnellen Benennen von zweistelligen Ziffern, weniger aber von Farben hatten. Sie schlussfolgerten daraus,

dass bei rechenschwachen Kindern nicht der Abruf aus dem Langzeitgedächtnis allgemein, sondern inhaltspezifisch der Abruf numerischen Materials erschwert ist.

Auch generelle Indikatoren der kognitiven Leistungsfähigkeit werden mit Schulleistungen assoziiert. Bei Stock, Desoete und Roeyers (2009) zeigte sich etwa die im Kindergarten erfasste fluide und kristalline Intelligenz neben spezifischen numerischen Vorläuferfertigkeiten wie Zählfertigkeiten und Klassifikation von Anzahlen als prädiktiv für schwächere mathematische Leistungen in der ersten und zweiten Klasse. Krajewski und Schneider (2009b) hingegen belegten in einem Strukturgleichungsmodell zwar einen Einfluss der Intelligenz auf Zahl-Größen-Kompetenzen im Kindergarten; ein direkter Pfad der Intelligenz auf schulische Mathematikleistungen ließ sich bei Berücksichtigung dieser Vorläuferfertigkeiten aber nicht absichern. Schließlich berichteten Kroesbergen, van Luit, Van Lieshout, Van Loosbroek und Van de Rijt und Kollegen (2009) in ihren regressionsanalytischen Berechnungen, dass der Einfluss der Intelligenz auf vorschulische Zählfertigkeiten verschwand, nachdem phonologische Bewusstheit, exekutive Funktionen und Subitizing als weitere Prädiktoren berücksichtigt wurden.

Es stellt sich nun die Frage, inwieweit die exekutiven Funktionen zusätzlich zu numerischen Basiskompetenzen und den vorgenannten Fähigkeiten bedeutsamen Einfluss auf die mathematische Entwicklung ausüben. Vorstellbar ist neben direkten Einflüssen auf die schulische Mathematikleistung auch ein An Schub der Entwicklung numerischer Vorläuferfertigkeiten durch die exekutiven Funktionen. Vorhandene Befunde zu dieser Leitfrage sollen im Folgenden dargestellt werden.

1.2 EINFLUSS EXEKUTIVER FUNKTIONEN AUF MATHEMATISCHE LEISTUNGEN

In einer aktuellen Meta-Analyse zu 111 einzelnen Studien fassten Friso-van den Bos und Kollegen (2013) die Korrelationen zwischen Inhibition, Shifting sowie verbalem und visuell-räumlichen Updating und Mathematik bei Grundschulern unter Berücksichtigung verschiedener Testverfahren für mathematische und exekutive Leistungen, unterschiedlicher Studiendesigns als auch Charakteristika der untersuchten Gruppen studienübergreifend zusammen. Die Meta-Analyse zeigte Zusammenhänge zwischen allen exekutiven Funktionen und Mathematikleistungen. Die Korrelationen zwischen den einzelnen exekutiven Funktionen und der mathematischen Leistung fielen unterschiedlich hoch aus: Die höchsten Zusammenhänge mit mathematischer Leistung ergaben sich studienübergreifend bei Aufgaben zum verbalen Updating, gefolgt von Aufgaben zu visuell-räumlichem Updating und deutlich schwächer und in der Korrelationshöhe gleichauf liegend bei Aufgaben zu Shifting und Inhibition.

Friso-van den Bos und Kollegen (2013) zeigten weiterhin, dass sich die Heterogenität der Ergebnisse in den berücksichtigten Studien reduziert, wenn verschiedene Moderatoren beachtet werden. Auf die Zusammenhangshöhe der einzelnen exekutiven Funktionen mit Mathematik wirkte das Maß, das für die mathematische Leistung verwendet wurde: Je allgemeiner das Testverfahren, bzw. je bereichsumfassender die Aufgaben, und je mehr logisches Schlussfolgern erforderlich ist, desto höher ist der Zusammenhang von der mathematischen Leistung und einer exekutiven Funktion (mit Ausnahme des verbalen Updating). Die Arbeitsgruppe erklärte dies zum einen damit, dass eine umfassende mathematische Testbatterie in erhöhtem Maß das Wechseln zwischen verschiedenen Operationen, Regeln, Wissensgebieten und ein ständiges Aufrechterhalten und Erneuern von Informationen, sowie ein Unterdrücken von jeweils irrelevanten Informationen und Regeln erfordere. Zum anderen würde durch die unterschiedlichen Anforderungen vorhandenes aufgabenspezifisches Wissen und Übung gemittelt, so dass der Einfluss von Vorwissen relational zum steigenden Einfluss der exekutiven Funktionen zurückgehe. In spezifischen Mathematiktests, wie beispielsweise einem reinen Rechentest, hingegen sei der Einfluss der exekutiven Funktionen geringer als der des spezifischen Vorwissens und des Abrufs aus dem Langzeitgedächtnis.

Zudem erwiesen sich Charakteristika der Testpersonen als wichtige Einflussfaktoren auf die Höhe des Zusammenhangs zwischen Mathematik und Shifting als auch Updating (nicht aber der Inhibition). Nichtselektive Stichproben zeigten geringere Zusammenhänge als Stichproben von Kindern mit mathematischen Lernschwächen. Ursächlich dafür könnte laut Autoren die adäquatere Strategiewahl bei durchschnittlich entwickelten Kindern sein, so dass die mathematische Leistung weniger von der Fähigkeit zum Aufmerksamkeitswechsel und Aktualisieren im Arbeitsgedächtnis abhängig ist.

Die Art des Maßes für Inhibition und Updating nahm weiterhin Einfluss auf die Höhe des Zusammenhangs von exekutiven Funktionen und Mathematikleistung. Aufgaben, die ein Ersetzen von Informationen erfordern (z.B. 2-back-Aufgaben) unterschieden sich in der Höhe der Korrelation von Aufgaben, die die Wiedergabe aller Informationen erfordern (z.B. Komplexe Spannen-Aufgaben), wobei Aufgaben zu verbalem Updating mit Informationsersetzung höhere Korrelationen mit Mathematik ergaben.

Das Alter als zuletzt berücksichtigte Moderatorvariable zeigte schwerer zu interpretierende Zusammenhänge. Es wirkte sich einerseits einflussnehmend auf den Zusammenhang visuell-räumlichen Updating und Mathematik – ältere Kinder zeigten höhere Zusammenhänge – und andererseits auf den Zusammenhang Shifting und Mathematik – geringere Zusammenhänge bei

älteren Kindern – aus. Keine Veränderung wurde für den Zusammenhang von Inhibition, verbalem Updating und Mathematik mit ansteigendem Alter festgestellt.

Überblickend zeigt die Meta-Analyse, dass exekutive Funktionen und insbesondere Updating mit mathematischen Leistungen in Beziehung stehen. Sie macht aber weiterhin auch deutlich, dass Unterschiede in der Komplexität und den Anforderungen von Testverfahren zur Erfassung exekutiver als auch mathematischer Leistung zu heterogener Einschätzung der Zusammenhänge führen. An die studienübergreifenden allgemeinen Belege von Friso-van den Bos und Kollegen (2013) für das gesamte Grundschulalter soll sich deshalb nun eine detailliertere Betrachtung der Altersgruppe Vor- bis beginnendes Grundschulalter im Hinblick auf die Vorhersagekraft allgemeiner exekutiver Kontrolle als auch spezifischer exekutiver Funktionen auf verschiedene abhängige Mathematikleistungen, getrennt berichtet für übergreifende Mathematikleistungen, numerische Vorläuferfertigkeiten, mathematisches Schlussfolgern und Rechenperformanz, anschließen. Die im Anhang zu findende Tabelle 19 verschafft einen schnellen Überblick über die berücksichtigten Studien zum Einfluss exekutiver Funktionen auf mathematische Kompetenzen.

1.2.1 Allgemeine exekutive Kontrolle und mathematische Leistungen

Nicht alle Studien unterscheiden einzelne exekutive Funktionen, sondern nutzen einen aus verschiedenen exekutiven Funktionen berechneten Summenwert. Teils geschieht dies theoriegeleitet wie bei LeFevre und Kollegen (2013), teils auf empirischer Grundlage durch Ergebnisse konfirmatorischer Faktoranalysen (vgl. Clark et al., 2010). Diese Studien kommen zu dem Schluss, dass exekutive Kontrolle mathematische Leistungen beeinflusst (z.B. LeFevre et al., 2013), können aber differenziertere Aussagen zum Einfluss einzelner exekutiver Funktionen nicht treffen.

Exekutive Funktionen im Allgemeinen und mathematisches Verständnis und Rechenperformanz

In ihrer längsschnittlichen Studie mit $N = 157$ Kindern im 2. und 3. Schuljahr fassten LeFevre und Kollegen (2013) drei Testverfahren, die Inhibition, Shifting und die zentrale Exekutive messen, zu dem latenten Konstrukt „Executive attention“ (vgl. Kap. 1.5, McCabe et al., 2010) zusammen. Sie unterschieden im Bereich Mathematik zwei Domänen: Das latente Konstrukt „Rechenflüssigkeit“ umfasste das schnelle Lösen von einfachen ein- bis zweistelligen Additions- und Subtraktionsaufgaben während das latente Konstrukt „mathematisches Wissen“ Rechenaufgaben und Aufgaben zum Verständnis von Anzahlkonzept im vier- und höherstelligen Zahlenraum umfasste. Im Strukturgleichungsmodell sagte der Faktor Executive attention das

gleichzeitig im ersten Schuljahr erhobene mathematische Wissen und die Rechenflüssigkeit als auch auf direktem Wege die Rechenflüssigkeit im zweiten Schuljahr vorher. In weitergehenden Regressionsanalysen bestanden diese Einflüsse auch bei Berücksichtigung von phonologischer Bewusstheit und Wortschatz fort. Die Autoren schlossen aus diesen Befunden, dass allgemeine exekutive Aufmerksamkeit sowohl Status als auch Zuwachs in der Rechenflüssigkeit vorhersagen kann, aber nur indirekt mit dem Zuwachs im mathematischen Wissen verbunden ist.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Clark und Kollegen (2010). Sie erfassten bei $N = 104$ vierjährigen Kindern Shifting, Inhibition und Planning sowohl mit Leistungstests als auch mit dem Fragebogenverfahren Behavior Rating Inventory of Executive Function für ErzieherInnen (BRIEF; Gioia, Isquith, Guy & Kenworthy, 2000). Diese Variablen luden in der explorativen Faktorenanalyse auf einem gemeinsamen Faktor, welcher bei Kontrolle von Leseverständnis und Intelligenz einen signifikanten Beitrag zur Varianzaufklärung in der mathematischen Performanz, erfasst mit Aufgaben zu Addition und Subtraktion, zum Ende der ersten Klasse beitrug. Es konnte gezeigt werden, dass Kinder, die im Alter von vier Jahren unterdurchschnittliche exekutive Leistungen gezeigt hatten, am Ende des ersten Schuljahres auch in ihrer Rechenflüssigkeit unterdurchschnittlich abschnitten. In einer anschließenden Regression versuchten Clark und Kollegen detaillierter zu betrachten, welches der verwendeten Testverfahren, bzw. welche damit assoziierte exekutive Komponente die Rechenflüssigkeit beeinflusst. Bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Intelligenz, Geschlecht, Leseverständnis, Sozio-ökonomischen Status (SÖS) und Einschätzung der Lesefertigkeit durch den Lehrer blieb einzig der Summenwert des BRIEF neben Leseverständnis und Intelligenz signifikanter Prädiktor. Einschränkend ist anzumerken, dass durch die Verwendung einzelner Subtests statt latenter Konstrukte zur Erfassung der separaten exekutiven Funktionen aufgabenspezifische Anforderungen die Validität der Ergebnisse einschränken könnten. Beispielsweise ist das zur Erfassung von Planning eingesetzte Verfahren Turm von Hanoi eine komplexe Aufgabe, die verschiedenste Anforderungen u.a. an visuell-räumliches Vorstellungsvermögen, vorausschauendes Denken, logisches Schlussfolgern und an die zentrale Exekutive stellt. Die Aufgabe Shape School zur Erfassung von Inhibition korrelierte mittelhoch mit Intelligenz ($r = .59, p < .01$), so dass diese Aufgabe möglicherweise durch die hohen geteilten Anteile an gemeinsamer Varianz wenig eigene zusätzliche Varianz in der Rechenflüssigkeit aufklären konnte. Die Shifting-Variante des Tests Shape School zeigte Bodeneffekte, was die Möglichkeit zur eigenständigen Varianzaufklärung unwahrscheinlicher werden lässt (Clark et al., 2010).

Mazocco und Kover (2007) untersuchten den Einfluss von exekutiven Funktionen quer- und längsschnittlich auf die mathematische Leistung bei $N = 178$ Kindern im ersten, dritten und fünften Schuljahr. Dabei verwendeten die Autoren einen Test für frühe mathematische Leistungen, der verschiedene Facetten erfasst, welche aber zu einem Wert verrechnet wurden (Zählen, Kopfrechnen, schriftliches Rechnen) sowie Rechenaufgaben mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad. Verschiedene exekutive Funktionen sollten mit dem Contingency Naming Test bei unterschiedlich hoher Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch Einführung von zusätzlichen Regeln erfasst werden. Mazocco und Kover berechneten aus diesem Test vier Werte, welche verschiedene exekutive Funktionen abbilden sollten: Verarbeitungsgeschwindigkeit (= Reaktionszeit), Shifting (= Anzahl Versuche, bis Shifting-Regel fehlerfrei angewendet wird), (Dis-) Inhibition (= Fehler und Selbstkorrekturen) sowie Effizienz (= Geschwindigkeit/Fehlerfreiheit). Es zeigte sich, dass Kinder, die den mit höchster Arbeitsgedächtnisbelastung versehenen Shifting-Testdurchgang in der ersten Klasse erfolgreich gemeistert hatten ($N = 52$) im Unterschied zu den Kindern, die die Aufgabe nicht lösen konnten ($N = 126$), die signifikant besseren Leistungen in frühen mathematischen Fertigkeiten in der ersten Klasse als auch in den komplexeren Rechenaufgaben in der fünften Klasse erzielten. Die Autoren schlussfolgerten daraus, dass frühzeitig stark ausgeprägte exekutive Kontrolle sowohl basale mathematische Leistungen im ersten Schuljahr als auch die spätere Anwendung komplexer und abstrakter mathematischer Konzepte im fünften Schuljahr erleichtern. Da es aber keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der exekutiven Leistung in der ersten Klasse und der mathematischen Leistung im dritten Schuljahr gab, schlossen die Autoren, dass gut ausgeprägte exekutive Kontrolle nicht unbedingt zu zeitlich stabilen herausragenden Mathematikleistungen führen müssen.

Im Gegensatz zu Mazocco und Kover (2007), die den Zusammenhang komplexer exekutiver Kontrolle auf eher allgemeine Mathematikleistungen berichten, lassen die Ergebnisse der Untersuchungen von LeFevre und Kollegen (2013) und Clark und Kollegen (2010) nun zwar Vorhersagen zweier separater mathematischer Leistungsbereiche, mathematisches Wissen und Rechenflüssigkeit, durch Leistungen in allgemeiner exekutiver Kontrolle zu; unklar bleibt aber weiterhin, ob eine bestimmte Facette der exekutiven Kontrolle spezifischen Einfluss nimmt. Passolunghi und Siegel (2004) beispielsweise schlugen vor, dass das Abrufdefizit rechenschwacher Kinder durch mangelnde Inhibition ähnlicher konkurrierender Informationen hervorgerufen wird, Kolkman, Hoijtink, Kroesbergen und Leseman (2013) hingegen betonten den Einfluss des Updatings auf numerische Vorläuferfertigkeiten. Diese differenziellen Einflusspfade vermögen die vorgenannten Studien aufgrund des komplexen Maßes exekutiver Funktionen nicht zu zeigen. Im Folgenden sollen deshalb nun Studien wie die von Kolkman und Kollegen (2013) beschrieben

werden, welche die differenzierte Vorhersagekraft von Updating, Inhibition und Shifting auf die mathematische Kompetenz untersuchten.

1.2.2 Updating und mathematische Leistungen

Die Facette des Updating, welche in den Forschungsarbeiten häufig mit dem etwas undifferenzierten Begriff der zentralen Exekutive/Working memory in der Tradition des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley (1986) gleichgesetzt wird (vgl. die gemeinsame Faktorladung von Komplexen Spannen-Aufgaben, die zur Erfassung der zentralen Exekutive eingesetzt werden und Updating-Aufgaben in der Faktoranalyse von St Clair-Thompson & Gathercole, 2006), ist die exekutive Funktion, deren Einfluss auf mathematische Leistungen recht unzweifelhaft belegt wurde. Dies betrifft sowohl den Einfluss auf numerische Vorläuferfertigkeiten (z.B. Miller et al., 2013; Roebers et al., 2011), als auch auf Mathematikleistungen in der Grundschule (z.B. Monette, Bigras & Guay, 2011; van der Ven et al., 2012) und die Vorhersage mathematischer Schwächen (z.B. Toll, van der Ven, Kroesbergen & van Luit, 2011).

Updating und allgemeine mathematische Leistung

Monette und Kollegen (2011) untersuchten in einer $N = 85$ Fünf- bis Sechsjährige umfassenden Mediatoranalyse, inwiefern Inhibition (Stroop-Aufgabe, Tag-Nacht-Aufgabe und Knock-and-Tap-Aufgabe), Shifting (Kartensortieraufgabe und Making trails) und Working memory (Corsiblock rückwärts, Wortspanne rückwärts) bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Erzieherurteils zu affektiver und sozialer Regulationskompetenz, Ziffernkenntnis und Zählfertigkeit die mathematische Leistung (mathematisches Schlussfolgern und numerisches Wissen im Summenwert) am Ende der ersten Klasse vorhersagen. Die Faktorenanalyse bestätigte die drei exekutive Faktoren Inhibition, Flexibilität und Working memory. Auf letzterem luden allerdings auch Aufgaben, die ursprünglich der Inhibition zugeordnet wurden (Stroop-Aufgabe und Summe der Fehler in der Tag-Nacht-Aufgabe). Dieser letzte Faktor zeigte sich als einzige exekutive Funktion mit einer geringen Varianzaufklärung von 5% signifikant prädiktiv.

Ähnlich Monette und Kollegen kamen auch Roebers und Kollegen (2011) zu dem Schluss, dass mit der Aufgabe Farbenspanne rückwärts wiederum eine Aufgabe zur Erfassung des Updating signifikant bedeutsam für die numerische Entwicklung, hier die numerischen Vorläuferfertigkeiten (Summe aus drei unterschiedliche numerische Domänen betreffende Testverfahren: Schnelles Benennen von Würfeln, Rückwärtszählen von 10 und 20, Schnelles Addition im Zahlenraum bis 12) ist. Bei Kontrolle von fluider und kristalliner Intelligenz, Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie

SÖS, Alter und Schulform zeigte sich allerdings auch hier ein schwaches Regressionsgewicht von $\beta = .16$ ($p < .01$).

Kroesbergen und Kollegen (2009) fassten die Leistungen von 115 sechsjährigen Vorschulkindern im Aufsagen der Zahlwortfolge, Abzählen von geordneten, ungeordneten, als auch nicht sichtbaren Objekten als auch einfache dem Alltag entnommene numerische Problemstellungen zu einem Summenwert früher mathematischer Kompetenz zusammen. Möchte man die Testverfahren in die Ebenen des Modells der Zahl-Größen-Verknüpfung von Krajewski (2013) einordnen, so entspräche das Aufsagen der Zahlwortfolge einer Leistung der Ebene 1, die anschließend beschriebenen Tests bereits Leistungen der Ebenen 2 und 3. Der von Kroesbergen und Kollegen berechnete Summenwert wurde in der schrittweisen Regression durch die phonologische Bewusstheit ($\beta = .24$), Updating (Zahlenspanne rückwärts, $\beta = .30$), Planning ($\beta = .21$), Inhibition ($\beta = .18$) und Subitizing ($\beta = .16$) vorhergesagt. Die fluide Intelligenz zeigte kein signifikantes β -Gewicht. Die Autoren erfassten kein Shifting, da sie davon ausgingen, dass diese Fähigkeit im Vorschulalter nicht genügend differenzierbar von inhibitorischen Fähigkeiten sei.

Auch in der Untersuchung von Miller und Kollegen (2013) an Drei- bis Fünfjährigen ($N = 129$) fanden Shifting-Fertigkeiten keine Berücksichtigung. Wohl aber untersuchten die Autoren den Einfluss von Working memory-Leistungen (Rückwärtsspannen von Wörtern und Ziffern, visuell-räumliche Suchaufgabe, Continuous Performance Test) und Inhibition (Go/No-Go-Aufgabe, Turm zu Hanoi, Fehlreaktionen im Continuous Performance Test, Stroop-Aufgabe) neben Theory of Mind-Aufgaben und Wortschatz auf mathematische Vorläuferfertigkeiten (Zahlwissen, Zählfertigkeit, Mengen- und Größenvergleich, Geometrie). Im Strukturgleichungsmodell zeigten sich hohe und signifikante β -Gewichte von Working memory ($\beta = .77$) und Wortschatz ($\beta = .74$) auf die mathematischen Vorläuferfertigkeiten.

Die Arbeitsgruppe von Bull und Kollegen (2008) untersuchte eine Gruppe von $N = 124$ Kindern vom vierten Lebensjahr bis in die dritte Klasse hinein. Neben einem umfassenden mathematischen Maß (im dreistelligen Zahlenraum: Zählfertigkeiten, Ziffernkenntnis, Addition, numerisches Verständnis, Textaufgaben, erfasst im Vorschulalter, zum Ende der 1. und 3. Klasse) wurden im Vorschulalter das phonologische und visuell-räumliche Kurzzeitgedächtnis, das Arbeitsgedächtnis mit phonologischen und visuell-räumlichen Rückwärtsspannenaufgaben sowie Inhibition, Planning und Shifting erfasst. Bei Kontrolle der Lesefähigkeit, welche hohe Varianzüberschneidung mit der mathematischen Leistung zeigte, klärten zum ersten Messzeitpunkt vor Einschulung die Ergebnisse in den Tests zu Inhibition (Shape School, $R^2 = 3.3\%$), Arbeitsgedächtnis (Zahlenspanne rückwärts, $R^2 = 7.1\%$) und Planning (Turm zu London, $R^2 = 5\%$)

geringe, aber signifikante Varianz in der Mathematikleistung auf. Diese Einflüsse zeigten sich nicht für die beiden folgenden Messzeitpunkten, lediglich im dritten Schuljahr hatte die Leistung in der visuell-räumlichen Rückwärtsspannen-Aufgabe einen signifikanten Einfluss auf die mathematische Leistung (Corsiblock rückwärts, $R^2 = 5.5\%$).

Lee und Kollegen (2012) hatten das Ziel, das logische Weiterführen von unvollständigen Zahlenfolgen (= numerische Pattern; ähnlich den in Intelligenztests verwendeten Mustern, die es zu vervollständigen gilt) und numerische Fähigkeiten (Zählfertigkeit, Eins-zu-Eins-Zuordnung, Ziffernkenntnis) mit Hilfe von exekutiven Funktionen und fluider Intelligenz bei $N = 163$ Sechsjährigen vorherzusagen. Anders als Kroesbergen und Kollegen (2009) setzten Lee und Mitarbeiter zu allen drei exekutiven Funktionen, also auch zu Shifting, Testverfahren ein, wobei Inhibition und Shifting aufgrund der sehr hohen Korrelation zu einem latenten Konstrukt zusammengefasst wurden, welches aber keinen signifikanten Varianzanteil erklären konnte. Updating, erfasst mit drei komplexen räumlichen und verbalen Aufgaben, sagte hingegen im Strukturgleichungsmodell die numerischen Fähigkeiten mit einem signifikanten hohen β -Gewicht von .70 voraus. Bei Aufnahme der fluiden Intelligenz als weitere exogene Variable in das Strukturgleichungsmodell ergab sich eine signifikante Korrelation zwischen dieser und der latenten Variable Updating ($r=.60$), der Einfluss des Updatings blieb dennoch weiterhin signifikant vorhanden.

Diesen Ergebnissen schließen sich die Befunde von van der Ven und Kollegen (2012) aus einer längsschnittlichen Studie (1. – 2. Schuljahr) mit $N = 211$ Kindern an. Auch hier klärten die aufgrund hoher gemeinsamer Faktorladungen zu einer Variablen zusammengefassten Maße für Inhibition und Shifting keine eigene Varianz auf. Einzig das gleichzeitig berücksichtigte Updating, erfasst über Ziffernsprünge rückwärts, Odd one out und Keep track, klärte eigenständige Varianz in der Mathematikleistung auf ($\beta = .44$ bis $.84$). Zusätzlich zur Korrelation des Intercepts korrelierten im Wachstumsmodell auch die Zuwächse in Updating und Mathematik zu jedem Messzeitpunkt, so dass die Autoren von einer starken und wechselseitigen Beziehung der beiden Leistungsbereiche ausgehen. Auch schlussfolgern sie aus ihren Ergebnissen, dass die zum Beispiel von Blair und Razza (2007) gezeigten Zusammenhänge von Inhibition und Mathematik – Updating wurde dort nicht berücksichtigt - durch die in Inhibitionsaufgaben enthaltenen Updating-Anforderungen zustande kommen könnten. Allerdings ist es ebenso wie in den beiden vorgenannten Studien nicht möglich, Aussagen auf den Zusammenhang von Updating und einzelnen Mathematik-Domänen zu treffen, da auch van der Ven und Kollegen (2012) ein breitgefächertes curricular valides Maß für die Abbildung der mathematischen Leistung nutzen.

Auf gleiche Weise wurde die Mathematikleistung in einer längsschnittlichen Untersuchung von Toll und Kollegen (2011) mit rund 200 Kindern in der ersten und zweiten Klasse untersucht. Ziel dieser Studie war es herauszufinden, welche der drei exekutiven Funktionen mathematische Schwächen am genauesten vorhersagen kann. Auch hier zeigten Shifting und Inhibition keine Vorhersagekraft, wohl aber steigerte die Hinzunahme von Updatingmaßen (Rückwärts- und komplexe Spannenaufgaben) zu den im Vorschulalter erfassten spezifischen numerischen Vorläuferfertigkeiten den prozentualen Anteil richtig klassifizierter mathematisch schwacher Kinder in der Diskriminanzanalyse. Nahezu alle Kinder (95,3%), die über das erste und zweite Schuljahr hinweg persistierend maximal einen Prozentrang von 50% in der Mathematikleistung erzielten, konnten korrekt zugeordnet werden.

Updating und mathematische Vorläuferfertigkeiten der Ebene 2

Kolkman und Kollegen (2013) untersuchten den Einfluss der exekutiven Funktionen Shifting, Inhibition und Updating auf drei der Ebene 2 des Zahl-Größen-Verknüpfungs-Modells (Krajewski, 2007, 2013) zuzuordnende mathematische Testverfahren (Zahlenstrahlen, Mächtigkeitsvergleich arabischer Ziffern und Kategorisierung von Ziffern in die Kategorien „sehr klein, klein, mittel, groß, sehr groß“). In der kleinen Stichprobe von $N = 47$ Vorschulkindern zeigte Updating, erfasst mit der Komplexen-Spannen-Aufgabe, höhere Zusammenhänge mit allen drei Testverfahren der Beurteilung und Einschätzung von numerischer Mächtigkeit als Inhibition und Shifting. Auch im anschließenden Training der Zahlenstrahlaufgaben zeigten Updating-starke Kinder die höheren Zuwächse. Die Autoren nannten jedoch einschränkend, dass für jede spezifische exekutive Funktion nur ein Testverfahren angewendet wurde, was das mit der Erfassung exekutiver Funktionen verbundene Problem der „Impurity“ ungelöst lässt und die Verallgemeinerung der Ergebnisse möglicherweise durch zu starke aufgabenspezifische Einflüsse verhindert.

Auch Navarro und Kollegen (2011) nutzten bei sechs- bis siebenjährigen Kindern nur ein Testverfahren, nämlich die Wiedergabe von Ziffernspannen in rückwärtiger Reihenfolge, um Working memory-Leistungen zu messen. Zwar klärte dieses Maß in der hierarchischen Regression gemeinsam mit Aufgaben zu phonologischer Bewusstheit und numerischer Inhibition rund 42% der Varianz in den Leistungen in einem Testverfahren zur Erfassung numerischer Vorläuferfertigkeiten (Summenwert für Aufgaben, die auf der Ebene 2 des Zahl-Größen-Modells [Krajewski, 2013] eingeordnet werden können) auf, jedoch ist wiederum aufgrund der Aufgabenspezifität einer einzelnen Aufgabe zur Erfassung einer exekutiven Funktion und des numerischen Inhaltes nicht eindeutig, ob Charakteristika der Aufgabe oder die Verarbeitung numerischen Materials zu diesem Zusammenhang geführt haben.

Updating und Performanz (Addition)

In der Studie von Simmons, Willis und Adams (2012) zeigte sich unter Kontrolle des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses und der phonologischen Schleife bei Erstklässlern ein signifikanter Einfluss der zentralen Exekutive, erhoben sowohl mit komplexen verbalen als auch räumlichen Aufgaben, auf verbal präsentierte einstellige Additionsaufgaben ($\beta=.70$). Dies erklärten die Autoren damit, dass aufgrund nicht ausreichender Automatisierung und Abspeicherung von Additionsaufgaben und deren Ergebnissen im Langzeitgedächtnis noch verstärkt Zählstrategien eingesetzt werden müssten, welche von der zentralen Exekutive koordiniert würden. Allerdings blieb in dieser Studie die Kontrolle spezifischen Vorwissens aus, so dass dessen Einfluss und dem folgend auch die Notwendigkeit des Einsatzes von Zählstrategien versus die Möglichkeit und Geschwindigkeit des Abrufs aus dem Langzeitgedächtnis nicht überprüft werden konnte, was möglicherweise zu einer Überschätzung des Einflusses der zentralen Exekutive führt.

Diese Überlegung wird gestützt durch die Befunde von van der Sluis und Kollegen (2007), die bei älteren Kindern (neun bis zwölf Jahre) Shifting, Inhibition und Updating sowie schnelles Addieren, Subtrahieren und Multiplizieren erfasst haben. Der Einfluss des Updating auf mathematische Performanz war zwar im Strukturgleichungsmodell nachweisbar, aber mit 2,6% aufgeklärte Varianz äußerst schwach. Hingegen klärte das latente modalitätsübergreifende Konstrukt „Naming Speed“, eingesetzt zur Kontrolle der nicht-exekutiven Anteile in den Aufgaben zur Erfassung exekutiver Funktionen und de facto varianzaufklärend in allen exekutiven Aufgaben, 30,1% der Varianz in der mathematischen Performanz auf. Aus diesem Ergebnis schlussfolgerten van der Sluis und Kollegen, dass Rechenperformanz, die in großen Teilen auf dem Abruf von Faktenwissen aus dem Langzeitgedächtnis beruht, weniger exekutiver Kontrolle bedarf, wohl aber schnelle Informationsverarbeitung und einen schnellen Abruf von Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis, wie hier erfasst über das schnelle Benennen von Formen, Farben, Ziffern, Buchstaben und Objekten.

1.2.3 Inhibition und mathematische Leistungen

Im Gegensatz zur Einschätzung des Einflusses von Updating/zentral exekutiven Maßen kommen Untersuchungen zum Zusammenhang von Inhibition und mathematischen Leistungen zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen. Dies kann verschiedene Ursachen haben. Erstens ist dies möglicherweise dadurch verursacht, dass vorhandene Studien nicht immer alle exekutiven Funktionen erfassen, so dass eigentlich gemeinsame Varianz einen zu starken Einfluss der

Inhibition suggerieren könnte (z.B. Blair & Razza, 2007; Bull et al., 2008). Zum zweiten kann auch die Wahl der Inhibitionsaufgaben zu unterschiedlich hoher Prädiktivität führen, da motorische und kognitive Inhibition möglicherweise unterschiedliche Anforderungen enthalten (vgl. Espy et al., 2004). Drittens ergeben sich je nach Wahl der abhängigen mathematischen Variablen und der damit häufig verbundenen unterschiedlichen Altersgruppen verschiedene Ergebnisse. So könnte z.B. Inhibition eher bei jüngeren Kindern und der Vorhersage von Vorläuferfertigkeiten zu den signifikanten Prädiktoren gehören (z.B. Bull et al., 2008; Navarro et al., 2011; Roebers et al., 2011).

Inhibition und allgemeine mathematische Leistung

Espy und Kollegen (2004) erfassten bei zwei- bis fünfjährigen Kindern querschnittlich frühe numerische Fähigkeiten wie Subitizing, Zählfertigkeiten sowie einfachste Addition und Subtraktion, welche zu einem Summenwert verrechnet wurden. Sowohl Inhibition, Shifting als auch das Arbeitsgedächtnis wurden jeweils mit mehreren Testverfahren erfasst, welche zu großen Teilen motorische Reaktionen erforderten (z.B. Statue-Test; Continuous Performance Task). Sowohl Inhibition als auch Maße des Arbeitsgedächtnisses nahmen in separaten Regressionen signifikanten Einfluss auf die Leistungen in den numerischen Fertigkeiten. Wurden in der Regression alle exekutiven Funktionen als auch Kovariaten wie Alter und kristalline Intelligenz berücksichtigt, so klärte nur Inhibition eigenständige Varianz in Höhe von 12% auf. Zu berücksichtigen bleibe an diesem Ergebnis, dass sich zum einen eine signifikante Korrelation zwischen den Faktoren Inhibition und Arbeitsgedächtnis gezeigt habe, welche darauf hinweisen könnte, dass im Vorschulalter die beiden Fertigkeiten noch nicht ausreichend differenziert seien und große Varianzanteile teilten. Zudem benötigten einfachste mathematische Aufgaben möglicherweise nur geringen Einsatz des Arbeitsgedächtnisses, so Espy und Kollegen. Des Weiteren stellten die Autoren die Frage, ob die hier erfasste motorische Inhibition ein Vorläufer der kognitiven Inhibition ist, welche erst bei etwas älteren Kindern zum Tragen kommt und erfasst werden kann.

Auch Blair und Razza (2007) untersuchten bei fünfjährigen Kindern ($N = 141$) motorische Inhibition (Peg-tap), Shifting (Item-Selection), fluide Intelligenz und Lehrerurteile zu selbstregulatorischen Fähigkeiten. Der Summenwert früher numerischer Fähigkeiten, gebildet aus Aufgaben zu z.B. Addition- und Subtraktion, Mengen, Relationen zwischen Größen und geometrisches Wissen, wurde in der Regression signifikant durch die inhibitorische Leistung im Kindergartenalter ($\beta = .20$), das Lehrerurteil ($\beta = .18$) und Intelligenz ($\beta = .16$) vorhergesagt. Auch diese Ergebnisse sind wiederum nur eingeschränkt verallgemeinerbar, da zum einen Updating

nicht erfasst wurde, was möglicherweise den Anteil erklärter Varianz durch die inhibitorische Komponente erhöht und zum anderen durch die Anwendung jeweils nur einer einzelnen Inhibitions- und Shifting-Aufgabe aufgabeninterne Charakteristika die Ergebnisse eventuell verzerrt haben könnte.

In der bereits oben angesprochenen Studie von Bull und Kollegen (2008) wurde neben der Vorhersage der allgemeinen mathematischen Leistung zu einzelnen Messzeitpunkten auch ein Wachstumsmodell berechnet, um die Einflüsse exekutiver Funktionen (Inhibition, Planning, Arbeitsgedächtnis mit phonologischen und visuell-räumlichen Rückwärtsspannungsaufgaben) auf den Zuwachs in der mathematischen Leistung bis zum Ende des dritten Schuljahres aufzuzeigen. In diesem Wachstumsmodell fanden aufgrund fehlender Werte die Arbeitsgedächtnisleistungen allerdings keine Berücksichtigung. Die im Vorschulalter erhobenen Leistungen in Inhibition, Planning sowie des ebenfalls erfassten visuell-räumlichen Kurzzeitgedächtnisses zeigten signifikanten Einfluss auf das Wachstum in der mathematischen Leistung. Bull und Kollegen schlussfolgerten deshalb, dass sich exekutive Funktionen, insbesondere Inhibition und komplexe Planning-Leistungen, unterstützend und nachhaltig auf die Entwicklung akademischer Fähigkeiten bis in die dritte Klasse hinein auswirken.

Doch auch wenn Updating bzw. Arbeitsgedächtnisfertigkeiten mit berücksichtigt werden, kann sich Inhibition als signifikanter Prädiktor erweisen. In der Studie von Roebers und Kollegen (2011) an fünf- bis siebenjährigen Kindern zeigte sich ein Einfluss der Inhibition auf numerische Vorläuferfertigkeiten (Summe aus schnellem Benennen von Würfeln, Rückwärtszählen von 10 und 20, möglichst schnelle Addition im Zahlenraum bis 12). Roebers und Kollegen erhoben Inhibition anders als zwei der vorgenannten Studien (Blair & Razza, 2007; Espy et al., 2004) mit einer Stroop-Aufgabe, also einer Aufgabe, die kognitive Inhibition erfordert. Zudem wurden auch die beiden anderen exekutiven Funktionen Updating und Shifting berücksichtigt, Updating mit der Aufgabe Farbenspanne rückwärts und Shifting mit einer computergestützten Aufgabe, die flexible kognitive Reaktionen erfordert, als auch mögliche Einflussfaktoren wie Wortschatz und schneller Zugang zum Langzeitgedächtnis. Die Regressionsanalyse von Roebers und Mitarbeitern ergab wie schon bei Blair und Razza (2007) signifikante β -Gewichte von Inhibition ($\beta = -.19$) sowie von den zusätzlich erfassten sprachlichen Fähigkeiten ($\beta = .16$), von Updating ($\beta = .15$) und Alter ($\beta = .36$) auf die numerischen Vorläuferfertigkeiten. Einschränkend ist dennoch auch hier anzumerken, dass nur eine Aufgabe zur Erfassung jeder exekutiven Funktion eingesetzt wurde, was zu dem mehrfach erwähnten „Impurity“-Problem geführt haben könnte.

In den gleichen Rahmen kann der bereits oben angesprochene Befund von Kroesbergen und Kollegen (2009) eingepasst werden: Frühe mathematische Kompetenzen, einzuordnen auf den Ebenen 1 und 2 des Zahl-Größen-Verknüpfungsmodells von Krajewski (2013), wurden unter anderem ebenfalls durch eine inhibitorische Leistungen erfordernde Stroop-Aufgabe ($\beta = .18$) vorhergesagt.

Inhibition und mathematische Vorläuferfertigkeiten der Ebene 1

Navarro und Kollegen (2011) zeigten in ihrer Studie mit Kindern im sechsten bis siebten Lebensjahr den signifikanten Einfluss einer Inhibitionsaufgabe, bei der die Mächtigere aus zwei abgebildeten Ziffern, deren physische Größe aber konträr zur Mächtigkeit war (Zahlen-Größen-Interferenz), möglichst schnell benannt werden sollte, auf Ziffernkenntnis und Zählfertigkeit. Keinen Einfluss hingegen zeigte eine Farb-Stroop-Aufgabe, so dass geschlussfolgert werden könnte, dass sich Inhibition nicht per se, sondern eher in Kombination mit numerischem Material, welches hier deutlich spezifisches Vorwissen beinhaltetete, auf die Zählfertigkeiten auswirken könnte.

Inhibition und numerische Vorläuferfertigkeiten der Ebene 2

Die oben erwähnte Studie von Kolkman und Kollegen (2013) mit Vorschulkindern ergab Hinweise auf den Einfluss von Updating auf Ebene 2 zugehörige Aufgaben zur Beurteilung und Einordnung der Mächtigkeit von Anzahlen; bei nur geringen Einflüssen blieb die Rolle von Inhibition respektive Shifting aber unklar. Möglicherweise liege die Ursache für die mangelnde Differenzierbarkeit der Einflusshöhe beider Variablen im unterschiedlichen Anspruchsniveau der verwendeten drei abhängigen numerischen Aufgaben (Zahlenstrahlen, Mächtigkeitsvergleich arabischer Ziffern und Kategorisierung von Ziffern in die Kategorien „sehr klein, klein, mittel, groß, sehr groß“), so die Autoren. Die Zahlenstrahlaufgabe beispielsweise erfordere neben dem Wechsel zwischen verschiedenen Zahl-Modalitäten auch das Fokussieren wesentlicher Information, so dass sowohl Shifting als auch Inhibition erforderlich seien. Hingegen erforderten Anzahlvergleiche zweier Ziffern weniger Inhibition irrelevanter Information, wohl aber das Wechseln zwischen verbalem Zahlwort und Ziffer, so die Autoren.

In der ebenfalls oben bereits angesprochenen Studie von Navarro und Kollegen (2011) zeigte sich der signifikante Einfluss einer Inhibitionsaufgabe mit numerischem Material auf Zählfertigkeiten, aber auch auf die Leistungen in numerischen Seriationen, Vergleichen und Klassifikationen, welche wiederum der Ebene 2 des Zahl-Größen-Modells zuzuordnen sind. Die Schlussfolgerung, dass sich Inhibition nicht per se, sondern materialspezifisch auf die Leistungen

in mathematischen Vorläuferfertigkeiten auswirkt, bleibt somit sowohl für basale als auch für höhere Vorläuferfertigkeiten bestehen. Aufgrund des querschnittlichen Designs dieser Studie und des Fehlens von Shiftingmaßen bleiben die Fragen nach kausalen Wirkzusammenhängen und den differenziellen Einflüssen von Inhibition versus Shifting unbeantwortet.

1.2.4 Shifting und mathematische Leistungen

Shifting ist der Literaturübersicht nach die Facette exekutiver Funktionen, die bezüglich des Einflusses auf mathematische Leistungen am heterogensten beurteilt wird. Van der Sluis und Kollegen (2007) argumentieren beispielsweise, dass bei komplexen mathematischen Problemstellungen gute Shifting-Fähigkeiten durch flexibles Wechseln von Rechenstrategien zur Lösung von Teilschritten bis hin zum Gesamtergebnis beitragen. So konnten van der Sluis und Kollegen (2007) als auch Bull und Sherif (2001) signifikante Zusammenhänge mathematischer Leistung mit komplexen Shifting-Maßen nachweisen. Verschiedene andere Autoren (Blair & Razza, 2007; Bull et al., 2008; Espy et al., 2004; Monette et al., 2011) hingegen kamen zu dem Schluss, dass Shifting für mathematische Leistungen nicht von Bedeutung ist bzw. bei gleichzeitiger Berücksichtigung weiterer exekutiver Funktionen an eigenständiger Varianz verliert und andere exekutive Funktionen deutlich einflussreicher sind. In wiederum anderen Studien konnte in Faktorenanalysen kein separater Shifting-Faktor nachgewiesen werden, sondern es zeigte sich lediglich ein allgemeiner Faktor exekutiver Funktionen (Clark et al., 2010) oder ein Faktor, auf dem Inhibition und Shifting gemeinsam laden (Lee et al., 2012; van der Ven et al., 2012), so dass Vorhersagen allein aus Shifting-Fertigkeiten nicht getroffen werden konnten. Zuletzt erfassen andere Autoren Shifting erst gar nicht, da sie davon ausgehen, dass diese Fähigkeit im Vorschulalter nicht genügend von inhibitorischen Fähigkeiten differenzierbar ist (Kroesbergen et al., 2009).

Die Meta-Analyse von Yeniad, Malda, Mesman, Van Ijzendoorn und Pieper (2013) versuchte, die unklare Befundlage zum Einfluss des Shiftings zu klären. Die Arbeitsgruppe konnte zeigen, dass in über 18 Studien mit $N = 2330$ Kindern Shifting signifikant mit mathematischer Leistung korrelierte ($r = .47$, $p > .01$). Es wurden mögliche Einflüsse von verschiedenen Moderatoren auf die Höhe dieses Zusammenhangs erwartet, welche aber ausblieben. So zeigten weder Charakteristika der Shifting-Aufgabe (unterschiedliche Komplexität, explizite vs. implizite Regelvermittlung), Arten des Scores (Reaktionszeit vs. Korrektheit der Lösung vs. verrechnete Werte, wie z.B. Differenzwerte), Eigenschaften der Stichprobe (Alter, Geschlecht) noch das Studiendesign (Längs- vs. Querschnitt) moderierende Wirkung. Limitierend merkten die Autoren an, dass es zu manchen der Moderatoren zu wenige Studien gab, so dass beispielsweise die

moderierenden Einflüsse des sozio-ökonomischen Status nicht berechnet werden konnten. Ein weiteres Resultat der Meta-Analyse war der Befund, dass zum einen Shifting und Intelligenz ($r = .30$) und zum anderen Intelligenz und die mathematische Leistung ($r = .47$) über alle Studien hinweg substantiell korrelierten. Studien, die aber beide Einflüsse simultan erfassen und damit die ausschließlich durch Shifting aufgeklärte Varianz aufzeigen könnten, seien bis auf eine Ausnahme nicht vorhanden gewesen.

Van der Sluis und Kollegen (2004) untersuchten 74 Viert- und Fünftklässlern mit Leserechtschreibschwäche, Rechenschwäche oder beidem sowie einer Gruppe von Kindern ohne Lernschwäche um herauszufinden, ob sich die Gruppen in Inhibition und Shifting unterscheiden. Es zeigte sich, dass Kinder mit einer Rechenschwäche (schwache Leistungen in Additions-, Subtraktions- und Multiplikationsaufgabe) in komplexen Shifting-Aufgaben wie z.B. Making Trails im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant mehr Zeit bis zur Lösung benötigten. Die Autoren versuchten mit mehreren Kontrollaufgaben (schnelles Benennen der Stimuli bei Variation der Ähnlichkeit der Stimuli) die enthaltenen Anforderungen an Inhibition und Shifting zu variieren und zu kontrollieren. Sie kamen zu dem Schluss, dass das Defizit der lernschwachen Kinder möglicherweise in der gleichzeitigen Koordination mehrerer exekutiver Funktionen liegen könnte: Kinder mit mathematischen Schwächen schnitten besonders in den komplexen Shifting-Aufgaben schlechter ab. Diese enthielten verstärkt Anforderungen an unterschiedliche exekutive Kontrollmechanismen, da z.B. die Shifting-Regel ständig bereit gehalten werden muss, Antworten überprüft, u.U. mit vorigen Antworten abgeglichen werden und falsche Reaktionen inhibiert werden müssen. Wiederum kontrollierte diese Untersuchung allerdings keine Updating-Fähigkeiten, so dass gemeinsame Varianzanteile nicht berücksichtigt werden konnten.

Bull und Sherif (2001) untersuchten an $N = 93$ im Mittel sieben Jahre alten Kindern, inwiefern Shifting, Inhibition, Arbeitsgedächtnis und geteilte Aufmerksamkeit bei Kontrolle von Intelligenz und Lesefertigkeiten die allgemeine mathematische Leistung vorhersagen können. Kinder mit niedrigen Mathematikleistungen zeigten in der Korrelationsanalyse Schwächen in der komplexen Shifting-Aufgabe Wisconsin Card Sorting Test, indem sie häufiger als gute Rechner perseverierend auf alten Sortierregeln beharrten. Jedoch zeigte sich in den über korrelative Betrachtungen hinausgehenden multiplen Regressionen, dass bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Inhibition, Shifting und Working memory, Intelligenz und Lesen als einzige exekutive Funktion eine Aufgabe zur Erfassung des Working memory (Komplexe Zählspanne) eigene Varianz aufklärte. Zudem führte wiederum die Berücksichtigung nur eines Testverfahrens für jede exekutive Funktion dazu, dass aufgabenspezifische Inhalte, beispielsweise das numerische Material der Working memory-

Aufgabe, den tatsächlichen Anteil einer exekutiven Funktion an der abhängigen mathematischen Leistung verzerren könnten (Bull & Scerif, 2001; Miyake et al., 2000).

1.3 ZUSAMMENFASSUNG

Mathematische Basiskompetenzen gelten als bedeutsamste Prädiktoren für schulische Mathematikleistungen (z.B. Duncan et al., 2007; Krajewski & Schneider, 2006). Neben diesen Kompetenzen nehmen aber auch weitere Fähigkeiten bedeutsamen Einfluss auf die mathematische Entwicklung. Vor allem in aktuellen englischsprachigen Publikationen wird dem Konstrukt der exekutiven Funktionen eine wichtige Rolle als Prädiktor für numerische Vorläuferfertigkeiten und schulische mathematische Kompetenzen eingeräumt (z.B. Bull et al., 2008; Clark, Pritchard & Woodward, 2010; LeFevre et al., 2010; Roebbers et al., 2011).

Exekutive Funktionen sind Regulations-, Koordinierungs- und Kontrollmechanismen, welche bei der Bearbeitung komplexer oder neuer Aufgaben aktiv werden, um Reaktionen und Handlungen situationsangemessen und zielführend einzusetzen (Drechsler, 2007). Miyake und Friedman (2012) beschreiben in ihrem auf Untersuchungen mit Erwachsenen basierenden Modell drei moderat miteinander korrelierte basale kognitive Regulationsprozesse: Inhibition, Shifting und Updating. Inhibition (*Hemmung*) ist die Fähigkeit zur Unterdrückung einer dominanten Reaktion, um stattdessen eine neue, nicht-dominierende Handlung zeigen zu können. Unter Shifting (*Wechseln*) ist die Fähigkeit zu verstehen, flexibel zwischen Anforderungen, Regeln und Vorgehensweisen wechseln zu können und Updating (*Aktualisieren*) umfasst nach Angaben der Autoren die Fähigkeit zum Überwachen und schnellen Löschen/Hinzufügen von Arbeitsgedächtnisinhalten.

Bei Untersuchungen mit Kindern zeigen sich unterschiedliche strukturelle Organisationen der exekutiven Funktionen. In den Arbeiten von Hughes und Kollegen (2010), Wiebe und Kollegen (2011) sowie Wiebe, Espy und Charak (2008) ergeben confirmatorische Faktorenanalysen für drei- bis sechsjährige Kinder statt der drei von Miyake und Kollegen (2000) postulierten Faktoren lediglich einen Faktor, den Wiebe und Kollegen (2008) als „exekutive Kontrolle“ bezeichnen. Je jünger die Kinder sind, desto allgemeiner und unspezifischer erscheint zudem der kognitive Regulationsprozess (Wiebe et al., 2011). Aufbauend auf früh im Vorschulalter ausgeprägten inhibitorischen Prozessen und Arbeitsgedächtnisleistungen (Garon et al., 2008), differenziert sich Shifting im späteren Vorschulalter und in der Grundschulzeit aus (Blair & Razza, 2007; Senn et al., 2004). Bei Kindern ab dem 7. bis 9. Lebensjahr lassen sich dann zumeist mehrere separate exekutive Regulationsprozesse zeigen, z.B. Shifting und Updating, etwa im

Strukturgleichungsmodell von Van der Sluis und Kollegen (2007), oder auch Updating sowie gemeinsam auf einem Faktor ladend Shifting und Inhibition in der konfirmatorischen Faktorenanalyse von Van der Ven und Mitarbeitern (2012).

In ihrer Studie mit Zweitklässlern fassen LeFevre und Kollegen (2013) Inhibitions-, Shifting- und Arbeitsgedächtnismaße zu dem allgemeinen Faktor „exekutive Aufmerksamkeit“ zusammen, welcher das gleichzeitig erhobene mathematische Wissen und die Flüssigkeit beim Lösen einfacher Additions- und Subtraktionsaufgaben sowie die ein Jahr später erfasste Rechenflüssigkeit vorhersagt. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Clark und Kollegen (2010). Sie erfassten bei 4-jährigen Kindern Shifting, Inhibition und Planning. Diese luden in der explorativen Faktorenanalyse auf einem gemeinsamen Faktor, welcher einen signifikanten Beitrag zur Varianzaufklärung in der mathematischen Flüssigkeit zum Ende der ersten Klasse beitrug.

Werden Vorhersagen mit einzelnen Komponenten exekutiver Funktionen getroffen, so zeigen sich hinsichtlich mathematischer Vorläuferfertigkeiten und schulischer Mathematikleistungen unterschiedliche Wirkmechanismen. Numerische Fertigkeiten im *Vorschulalter* scheinen stärker von Inhibition, etwa erfasst durch motorische Inhibitionsleistungen bei der Handaufgabe (Blair & Razza, 2007; Espy et al., 2004), bzw. von Inhibition und zentral-exekutiven Funktionen (erfasst durch eine Stroop-Aufgabe und Farbspanne rückwärts, Roebers et al., 2011) und bei Miller und Kollegen (2013) bei gleichzeitiger Berücksichtigung inhibitorischer Leistungen sogar ausschließlich von der zentralen Exekutive (erfasst beispielsweise durch Rückwärtsspannen-Aufgaben) beeinflusst zu sein. Im *frühen Grundschulalter* zeigt sich nach Monette und Kollegen (2011) ein starker Einfluss der zentralen Exekutive auf die schulische Mathematikleistung. Deren Mediatoranalyse ergibt, dass einzig die vorschulisch erfasste zentrale Exekutive (Aufgaben zur verbalen und visuell-räumlichen Rückwärtsspanne) bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Inhibition und Shifting signifikant zur Varianzaufklärung in der Mathematikleistung der 1. Klasse beiträgt. Bull und Kollegen (2008) schlussfolgern aus Wachstumsmodellen, dass im Vorschulalter gut ausgeprägte exekutive Funktionen (hier Inhibition und Planning) wie auch die Komponenten des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley (1986) ähnlich einem guten Grundgerüst Einfluss auf den Erwerb mathematischer Fähigkeiten im Alter von sieben bis acht Jahren nehmen. Shifting ist die Facette exekutiver Funktionen, welche bezüglich der Einschätzung des Einflusses auf mathematische Leistungen am heterogensten beurteilt wird. Van der Sluis und Kollegen (2007) argumentieren beispielsweise, dass bei komplexen mathematischen Problemstellungen gute Shifting-Fähigkeiten durch flexibles Wechseln von Rechenstrategien zur Lösung von Teilschritten bis hin zum Gesamtergebnis beitragen. Verschiedene andere Autoren (vgl. Blair & Razza, 2007;

Bull et al., 2008; Monette et al., 2011) hingegen kamen zu dem Schluss, dass Shifting für mathematische Leistungen nicht von Bedeutung ist bzw. bei gleichzeitiger Berücksichtigung weiterer exekutiver Funktionen an eigenständiger Varianz verliert. In weiteren Studien konnte in Faktorenanalysen kein separater Shifting-Faktor nachgewiesen werden, sondern es zeigte sich beispielsweise ein Faktor, auf dem Inhibition und Shifting gemeinsam laden (Van der Ven et al., 2012), so dass Vorhersagen allein aus Shifting-Fertigkeiten nicht getroffen werden konnten. Schließlich erfassten andere Autoren Shifting erst gar nicht, da sie davon ausgehen, dass diese Fähigkeit im Vorschulalter nicht genügend von inhibitorischen Fähigkeiten differenzierbar ist (Kroesbergen et al., 2009).

1.4 FRAGESTELLUNGEN UND HYPOTHESEN

Die vorliegende Untersuchung hat zunächst zum Ziel, die Struktur der exekutiven Funktionen vor Schuleintritt zu überprüfen. Auch wenn die oben genannten Studien meist Hinweise auf das Vorhandensein einer einfaktoriellen Struktur exekutiver Funktionen bei Vorschulkindern geben, so ist dies nicht zweifelsfrei belegt. Beispielsweise gehen in die Faktoranalysen von Wiebe und Kollegen (2008), Hughes und Kollegen (2010) und Miller und Kollegen (2013) zwar Aufgaben zur Inhibition und zum Updating, aber keine Aufgaben zur Erfassung des Shiftings ein. Für Vorschulkinder sind Shifting-Aufgaben zwar häufig noch recht komplex; Garon und Kollegen (2008) berichten allerdings, dass etwas weniger anspruchsvolle Shifting-Aufgaben wie etwa Kartensortiertests mit sich deutlich unterscheidenden Regeln und Objekten bereits von Vier- bis Fünfjährigen gelöst werden können. Deshalb soll in der vorliegenden Untersuchung überprüft werden, ob sich unter Einbezug altersgerechter Testverfahren das dreifaktorielle Modell in Anlehnung an Miyake und Kollegen (2000) für Vorschulkinder nachweisen lässt oder einer der Befunde mit einem oder zwei Faktoren (Hughes et al., 2010; van der Ven et al., 2012; Wiebe et al., 2008, 2011) für den deutschen Sprachraum repliziert wird.

Das zweite Ziel der Untersuchung besteht darin, die mathematischen Leistungen nach dem Übergang in die Grundschule vorherzusagen. Hierbei soll überprüft werden, inwieweit exekutive Funktionen (entsprechend der faktorenanalytisch belegten Struktur) einen zusätzlichen Beitrag zur Prädiktion leisten. Auffallend ist, dass in der Literatur die mathematische Leistung durch recht heterogene Maße abgebildet wird. Roebbers und Kollegen (2011) sagen beispielsweise mathematische Vorläuferfertigkeiten vorher und verwenden hierfür einen Summenwert aus dem schnellen Benennen von Würfelzahlen, dem Rückwärtszählen und einfachen, schnell zu lösenden Additionsaufgaben. Bei Van der Ven und Kollegen (2012) dient wiederum der Gesamtscore eines

Mathematiktests als abhängige Variable. Er beinhaltet u.a. einfache Aufgaben zu Zahlwissen, Zahlenstrahlen, Additions- und Subtraktionsfertigkeiten sowie komplexe mathematische Aufgaben. LeFevre und Kollegen (2013) hingegen trennen Rechenperformanz von mathematischem Wissen und finden hierbei unterschiedlich wirksame Prädiktoren. Betrachtet man die bisherigen Untersuchungen insgesamt, lässt sich festhalten, dass in einigen Studien zwar zwischen verschiedenen mathematischen Leistungen als Kriteriumsvariablen unterschieden wurde und andere Studien auch den Einfluss exekutiver Funktionen nicht global, sondern differenziert nach ihren einzelnen Komponenten analysierten. Studien, die einzelne Facetten exekutiver Funktionen auf einzelne Facetten (bzw. Entwicklungsbereiche) mathematischer Kompetenzen analysierten, fehlen jedoch bisher. In der vorliegenden Untersuchung wird daher in der Unterscheidung zwischen den drei Bereichen exekutiver Funktionen (Inhibition, Shifting, Updating) auf der Prädiktorseite und zwischen den drei Bereichen numerische Basisfertigkeiten (Beherrschen der Zahlwortfolge, Entwicklungsebene 1 im Zahl-Größen-Verknüpfungs-Modell [ZGV-Modell] nach Krajewski, 2007, 2013), Zahlverständnis (konzeptuelles Verständnis von Zahlen als Anzahlen, ZGV-Ebene 2) sowie Rechenperformanz (schnelles und korrektes Lösen von auswendig lernbaren Einspluseins-Aufgaben) auf der Kriteriumsseite ein Ansatz zur detaillierteren Betrachtung der Wirkmechanismen einzelner exekutiver Funktionen auf die mathematische Kompetenzentwicklung gesehen.

Im Einzelnen lauten die Hypothesen wie folgt: Der Erwerb der *Zahlwortfolge* erfordert, dass ein Kind die zu erkennenden (Zahl-)Wörter in ihrer richtigen Folge kurzfristig speichern und (etwa beim Rückwärtszählen die einzelnen Zahlwortabschnitte) immer wieder aktualisieren kann. Aufgaben zur Zahlwortfolge sollten demzufolge den Prozess des Updatings (Monitoring und Aktualisieren von Arbeitsgedächtnisinhalten) involvieren. Des Weiteren sollte sich zeigen, dass auch die Fähigkeit zum schnellen Zugriff auf das Langzeitgedächtnis Einfluss nimmt, da sie ein zügiges Einspeichern der exakten Zahlwortfolge im Langzeitgedächtnis ermöglicht. Zudem wird ein Effekt der phonologischen Bewusstheit auf die Zahlwortfolge erwartet, weil die Fähigkeit, Sprache in Wörter und Silben zu zerlegen, die Kinder beim Erwerb der Zahlwörter als einzelne, voneinander trennbare Einheiten unterstützt (Krajewski & Schneider, 2009b).

Der Erwerb des *Zahlverständnisses* hingegen beinhaltet zusätzliche Anforderungen, da nun die symbolische Repräsentationsform in Form von Zahlwort und Ziffer mit einer Größenvorstellung verknüpft werden muss. Es wird erwartet, dass diese Verknüpfung von - bis dahin nicht miteinander assoziierten - Inhalten neben dem Abrufen und Verfügbarhalten der Inhalte (= Updating) auch die flexible, neue Integration der unterschiedlich repräsentierten numerischen

Informationen (= Shifting) sowie das Unterdrücken falscher Zuordnungen bei Anzahlen in ähnlicher Höhe (= Inhibition) erfordert. Da die Kenntnis der exakten Zahlwortfolge (ZGV-Ebene 1) die Voraussetzung für die präzise Zuordnung von Zahlen zu Größen darstellt (ZGV-Ebene 2), wird erwartet, dass das Zahlverständnis auch durch die Beherrschung der Zahlwortfolge vorhergesagt wird (vgl. Krajewski, 2007). Schließlich sollte sich die fluide Intelligenz lediglich auf die Kenntnis der Zahlwortfolge und das Zahlverständnis (mathematische Vorläuferfertigkeiten), nicht aber auf die Rechenperformanz auswirken, da logisches Schlussfolgern als grundlegende Fähigkeit zwar das Erlernen numerischer Inhalte erleichtert, der spezifische Einfluss der mathematischen Vorläuferfertigkeiten aber die größere Vorhersagekraft für die schulischen Mathematikleistungen und damit die Rechenperformanz haben sollte (vgl. Grube, 2006; Krajewski & Schneider, 2009a).

Gute *Rechenperformanz* sollte zum einen durch ein gut ausgeprägtes Zahlverständnis beeinflusst werden, da dieses das Verständnis der Systematik von Rechenoperationen ermöglicht (Krajewski, 2013). Da das Lösen von Grundrechenaufgaben in kleinen Zahlenräumen aber auch durch bloßes Auswendiglernen möglich ist, sollte der Einfluss des Zahlverständnisses nur in mittlerer Höhe ausfallen. Zusätzlich sollte die Fähigkeit zum Verfügbarhalten von neuen Informationen im Arbeitsgedächtnis (= Updating) ein schnelles Lösen der Rechenaufgaben erleichtern, da Updating generell das Auswendiglernen von Fakten unterstützen sollte. Bei Kindern mit geringerem Automatisierungsgrad im Basisrechnen werden auch moderate Einflüsse weiterer exekutiver Funktionen erwartet, da diese Kinder möglicherweise verstärkt zwischen Abruf- und Rechenstrategien sowie Rechenprozeduren wechseln (= Shifting) und ähnliche, aber falsche Aufgaben-Ergebnis-Kombinationen unterdrücken müssen (= Hemmung). Schließlich sollte ein schneller Zugriff auf das Langzeitgedächtnis den Abruf der zumeist bereits automatisierten Aufgabenlösungen erleichtern.

2. METHODE

2.1 STICHPROBE UND UNTERSUCHUNGSDESIGN

Die Daten zur vorliegenden Untersuchung entstammen einer Längsschnittstudie, die Kinder vom Kindergarten bis zur ersten Klasse an insgesamt sechs Messzeitpunkten begleitete. Die teilnehmenden Kinder stammten aus 34 Kindergärten in städtischen und ländlichen Gebieten und verteilten sich nach der Einschulung auf 46 Schulen. Alle Kinder mit vorliegender Einverständniserklärung der Eltern wurden in die Studie aufgenommen. Zum ersten Messzeitpunkt im November/ Dezember 2010 nahmen 262 Kinder (140 Jungen, 122 Mädchen) teil, die im Mittel 4;8 Jahre alt waren ($SD = 3,5$ Monate, Range: 4;3–5;3 Jahre). Zwei weitere für die vorliegende Untersuchung berücksichtigte Messzeitpunkte fielen in das Vorschuljahr der Kinder (Oktober/ November 2011 [$M = 5;8$ Jahre] sowie Mai/Juni 2012 [$M = 6;3$ Jahre]). Der fünfte Messzeitpunkt folgte zu Beginn der ersten Klasse (Oktober/November 2012 [$M = 6;8$ Jahre]), der sechste Messzeitpunkt am Ende der ersten Klasse im Mai/Juni 2013. An diesem Messzeitpunkt nahmen noch 220 Kinder (119 Jungen, 101 Mädchen) im Alter von durchschnittlich 7;3 Jahren ($SD = 3,5$ Monate, Range: 6;8-7;8 Jahre) teil.

Informationen zum Bildungsstatus der Eltern liegen für 216 Kinder vor und dokumentieren beim Vergleich mit den Angaben des Statistischen Bundesamtes (2012: kein Abschluss/Hauptschulabschluss: 22%, Realschule: 35%, Gymnasium: 43%), dass die Stichprobe in Hinblick auf die Bildungsabschlüsse in etwa repräsentativ ist (Vater/Mutter: keinen Abschluss/ Hauptschulabschluss: 17,3/ 10,3%, Realschule: 26,8/ 37,1%, Allgemeine Hochschulreife/ Hochschulabschluss: 52,6/ 50,7%, sonstige, nicht den vorgenannten zuzuordnen: 3,3/ 1,9%). In 88% der Familien wird ausschließlich deutsch gesprochen, 93% der Mütter und 90% der Väter besitzen die deutsche Staatsbürgerschaft.

Die Erhebungen fanden jeweils vormittags statt und wurden bei standardisierter Abfolge der Testverfahren im Kindergarten als Einzeltests, in der Schule hingegen in Kleingruppen durchgeführt.

2.2 TESTVERFAHREN

Zur Erfassung der *Exekutiven Funktionen* wurden entsprechend einer Forderung von Miyake und Kollegen (2000) für die drei Komponenten Inhibition, Shifting und Updating je zwei Testverfahren eingesetzt (s. Tabelle 1).

Inhibition (Hemmung) wurde mit einer klassischen Stroop-Aufgabe, entnommen aus dem Bielefelder Screening zur Früherkennung von Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten (BISC; Jansen et al., 2002, Retestreliabilität laut Manual: $r_{12} = .60$), überprüft. Zudem wurde die an die Knock and Tap-Aufgabe aus der NEPSY (Korkman et al., 1998) angelehnte Hand-Aufgabe eingesetzt. Die interne Konsistenz der Hand-Aufgabe betrug in der vorliegenden Stichprobe $\alpha = .81$. Die *Shifting*-Komponente (Wechseln) wurde zum einen mit der Kartenshifting-Aufgabe (DCCS; Zelazo, 2006; Interne Konsistenz in eigener Stichprobe $\alpha = .58$) erfasst. Zum anderen wurde in Anlehnung an den Test Auditory Attention and Response Set aus der NEPSY (Korkman et al., 1998) der Test Farbshifting verwendet (Retest-Reliabilität laut Manual: $r_{12} = .80$). Zur Erfassung des *Updating* (Aktualisieren) wurde eine an Miyake und Kollegen (2000) angelehnte 2-back-Aufgabe Picture Memory Task verwendet. Die Berechnung der Messgenauigkeit ergab eine interne Konsistenz von $\alpha = .86$ in der vorliegenden Stichprobe. Als zweites Verfahren wurde die Aufgabe Komplexe Objektspanne aus der Arbeitsgedächtnis-Testbatterie (AGTB; Hasselhorn et al., 2012) eingesetzt, welche eine Split half-Reliabilität nach der Odd-even-Methode von $r_{12} = .65$ aufwies.

Tabelle 1:

Eingesetzte Testverfahren zur Erfassung exekutiver Funktionen

Konstrukt	Testverfahren	Aufgabenbeschreibung	Summenscore
Shifting	<i>Farbshifting</i> (Auditory Attention and Response Set; NEPSY; Korkman, Kirk & Kemp, 1998)	Ein Audiofile mit 180 einsilbigen Wörtern, darunter verschiedene Farbwörter, wird abgespielt. Auf einer Vorlage mit vier farbigen Punkten (rot, gelb, blau, schwarz) muss im Kontrolldurchgang zunächst möglichst schnell mit dem Finger auf den roten Punkt getippt werden, wenn das Wort „rot“ zu hören ist. Im darauf folgenden Shiftingdurchgang ändert sich diese Regel. Bei den gleichen, nochmals abgespielten 180 Wörtern soll nun schnell auf den roten Punkt getippt werden, wenn das Wort „gelb“ ertönt, beim Wort „rot“ wiederum auf den gelben Punkt und beim Wort „blau“ auf den blauen Punkt gezeigt werden. Auf das Wort „schwarz“ soll nie reagiert werden.	Summe richtiger Reaktionen

<i>Kartenshifting</i> (Dimensional Change Card Sort; DCCS; Zelazo, 2006)	Bildkarten, die einen „roten Hasen“ oder ein „blaues Boot“ zeigen, sollen hier zunächst entsprechend ihrer Farbe und anschließend ihrer Form zu Zielkarten zugeordnet werden. In der Testphase müssen beide Regeln in Abhängigkeit von einem dritten Merkmal (Karte mit/ohne schwarzen Rand) flexibel angewendet werden, wobei die Regel bei jedem Item vom Testleiter wiederholt wird.	Summenwert richtig zugeordneter Karten
---	---	---

Inhibition

<i>Stroop-Aufgabe</i> (BISC; Jansen et al. 2002)	Nach dem schnellen Benennen der Farben von 24 schwarz-weiß gestalteten Gemüse- und Obstbildern im Übungsdurchgang sind im Testdurchgang die gleichen Obst-/Gemüsebilder in falschen Farben dargestellt und es sollen schnellstmöglich die richtigen Farben genannt werden.	Anzahl richtiger Antworten geteilt durch die benötigte Zeit
<i>Handaufgabe</i> (Knock and tap; NEPSY; Korkman et al., 1998)	Auf die vom Testleiter vorgeführten Handbewegungen – Handkante, Handfläche, Faust – in 24 Durchgängen soll jeweils mit entgegengesetzter beziehungsweise komplett unterdrückter Antwort reagiert werden.	Anzahl richtiger Reaktionen

Updating

<i>Picture Memory Task</i> (angelehnt an Miyake et al., 2000)	Auf dem Computerbildschirm wird für die Dauer von 2 Sekunden eines von acht 5x5 cm großen schwarz-weißen einsilbigen Objekten (z.B. ein Haus) sichtbar, welches nach einer Präsentationspause von 7 Sekunden durch ein anderes Objekt (z.B. einen Ball) ersetzt wird. In jeder Präsentationspause ist das Kind aufgefordert, die beiden jeweils zuletzt gesehenen Objekte (z.B. Haus-Ball) zu nennen. In jedem der drei Testdurchgänge werden 8 Bilder gezeigt, d.h. es gibt 7 Aufforderungen zur Wiedergabe der letzten beiden Bilder.	Summe richtiger Wiedergaben
<i>Komplexe Objektspanne</i> (AGTB; Hasselhorn et al., 2012)	Das Kind bekommt in ansteigender Anzahl nacheinander zwei bis sechs Objekte, z.B. eine Kerze, eine Apfel oder ein Stück Käse, präsentiert. Jedes Objekt einer Präsentationsreihe muss zunächst in Hinblick auf Essbarkeit beurteilt werden, bevor nach Abschluss der Präsentationsreihe alle enthaltenen Objekte wiedergegeben werden sollen. Die Reihenlänge steigt von zwei auf acht Objekte an.	Summe vollständig korrekte Benennungen

Der *schnelle Abruf aus dem Langzeitgedächtnis* wurde zahlenunspezifisch mit dem schnellen Benennen von 18 einsilbigen Objekten erfasst (vgl. Goswami, Schneider & Scheurich, 1999).

Als Indikatoren der Sprachentwicklung wurde die *phonologische Bewusstheit* durch die Testverfahren Reimproduktion (= aktives Reimen) und Reimaufgabe (= Unterscheidung sich reimender vs. nicht-reimender einsilbiger Wörter) nach Bradley und Bryant (1985) erfasst.

Als Maß für die *fluide Intelligenz* wurde der Test Matrizen aus der Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence (WPPSI-III; Petermann und Lipsius, 2009) verwendet.

Die mathematischen Fähigkeiten wurden mit Hilfe des Testverfahrens zur Erfassung mathematischer Basiskompetenzen ab Schuleintritt (MBK 1; Ennemoser, Krajewski & Sinner, in Druck) erfasst. Hierbei wurden die basalen Zahl-Größen-Kompetenzen durch die Aufgabe Zahlenlücken erhoben. Die Aufgabe ist ein Indikator für die *Kenntnis der Zahlwortfolge* (Ebene 1) und erfordert das Eintragen von fehlenden Ziffern zwischen Vorgänger- und Nachfolgerzahlen. Die Ausprägung des *Zahlverständnisses* wurde über die Testverfahren Zahlenstrahl und Anzahlseriation, zugehörig zu den Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 2 (Zahl-Größen-Verknüpfung) erhoben. Zur Erfassung der *Rechenperformanz* wurde der MBK-1-Zusatztest Basisrechnen eingesetzt: Von zwanzig Additionsaufgaben im Zahlenraum bis zehn sollten so viele wie möglich in 80 Sekunden gelöst werden.

3. ERGEBNISSE

3.1 DESKRIPTIVE STATISTIK

Die deskriptiven Statistiken zu den erhobenen Variablen sind in Tabelle 2 dargestellt. Der Kolmogorov-Smirnov-Test bestätigte normalverteilte Daten für die Testverfahren Picture Memory Task ($D = .054$, $p = .200$), Stroop-Aufgabe ($D = .058$, $p = .200$) sowie Basisrechnen ($D = .060$, $p = .200$). Die Daten der anderen Testverfahren wichen zwar von der Normalverteilung ab ($p < .01$); die Kurtosis-Maße blieben mit Ausnahme des Koeffizienten der Hand-Aufgabe jedoch deutlich unter dem von West, Finch und Curran (1995) geforderten Wert von 7 und der Mardia-Koeffizient von 2.47 Punkten deutet auf multivariate Normalverteilung hin (vgl. Bentler, 2005), so dass eine Strukturgleichungsmodellierung vorgenommen werden kann.

Tabelle 2:

Exekutive Funktionen und Mathematik: Mittelwerte, Standardabweichungen und Minimum/Maximum der Testverfahren

Konstrukt	Testverfahren	N	M (SD)	min	max
Shifting	Farbshifting	237	23.3 (8.2)	0	36
	Kartenshifting	233	7.3 (2.2)	1	12
Inhibition	Stroop-Aufgabe (Zeit, sec)	232	.36 (.13)	.06	.73
	Handaufgabe	242	22.3 (3.2)	0	24
Updating	Picture Memory Task	238	11.1 (5.2)	0	21
	Komplexe Objektspanne	232	2.4 (1.2)	0	8
Abruf aus dem Langzeitgedächtnis	Schnelles Benennen von Objekten	235	0.83 (0.22)	0.28	1.65
Phonologische Bewusstheit	Reimproduktion	246	5.2 (3.9)	0	10
	Reimaufgabe	247	4.7 (2.8)	0	10
Fluide Intelligenz	Matrizentest	246	6.0 (2.8)	0	14
Basale Zahl-Größen-Kompetenzen (Ebene 1)	Zahlenlücken	225	4.4 (2.8)	0	8
Zahlverständnis (Höhere Zahl-Größen-Kompetenzen Ebene 2)	Zahlenstrahl	226	3.3 (1.5)	0	5
	Anzahlseriation	226	1.9 (1.1)	0	3
Rechenperformanz	Basisrechnen	220	11.6 (4.7)	0	20

3.2 FAKTORENANALYSE

Innerhalb der jeweiligen exekutiven Funktion (Inhibition, Shifting bzw. Updating) zeigten sich Korrelationen zwischen $r = .21$ und $.47$ ($p < .01$)¹. Im zweiten Schritt wurden mit AMOS 21 (Arbuckle, 2013) konfirmatorische Faktorenanalysen durchgeführt. Entsprechend der kontroversen Befunde zur Struktur bei 5-6jährigen Kindern wurden drei Modelle berechnet: (a) ein einfaktorielles Modell (vgl. Wiebe et al., 2011), (b) ein zweifaktorielles Modell, in dem Shifting- und Inhibitionsaufgaben gemeinsam auf dem ersten und Updating auf dem zweiten Faktor laden (vgl. Van der Ven et al., 2012) und (c) das dreifaktorielle Modell entsprechend dem Vorschlag von

¹ Für einen detaillierten Überblick siehe Tabelle 20: *Korrelationen innerhalb der Leistungsmaße exekutiver Funktionen* im Anhang.

Miyake und Kollegen (2000). Das einfaktorische Modell wies inakzeptable Fit-Maße auf und wurde dementsprechend abgelehnt ($\chi^2(9) = 33.215$; $\chi^2/df = 3.691$, $p = .000$; $CFI = .870$; $RMSEA = .101$). Das zweifaktorielle Modell hingegen zeigte außerordentlich gute Fit-Indizes ($\chi^2(8) = 7.913$; $\chi^2/df = .989$, $p = .442$; $CFI = 1.000$; $RMSEA = .000$). Auch das dreifaktorielle Modell ergab ein nicht signifikantes $\chi^2(6) = 7.864$; $\chi^2/df = 1.311$, $p = .248$ und sehr gute Fit-Indizes ($CFI = .990$; $RMSEA = .034$), so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Daten durch das Modell gut wiedergegeben werden können. Betrachtet man allerdings das in Abb. 2 (links) dargestellte dreifaktorielle Modell, so ist eine sehr hohe Korrelation von $r = .98$ ($p < .01$) zwischen Inhibition und Shifting ersichtlich. Für die weiteren Berechnungen wurde demzufolge davon ausgegangen, dass die exekutiven Funktionen aufgrund der sehr hohen Korrelationen zwischen Inhibition und Shifting adäquater durch zwei Faktoren (1. Faktor: Updating, 2. Faktor: Shifting und Inhibition) wie in Abbildung 2 rechts abgebildet dargestellt werden.

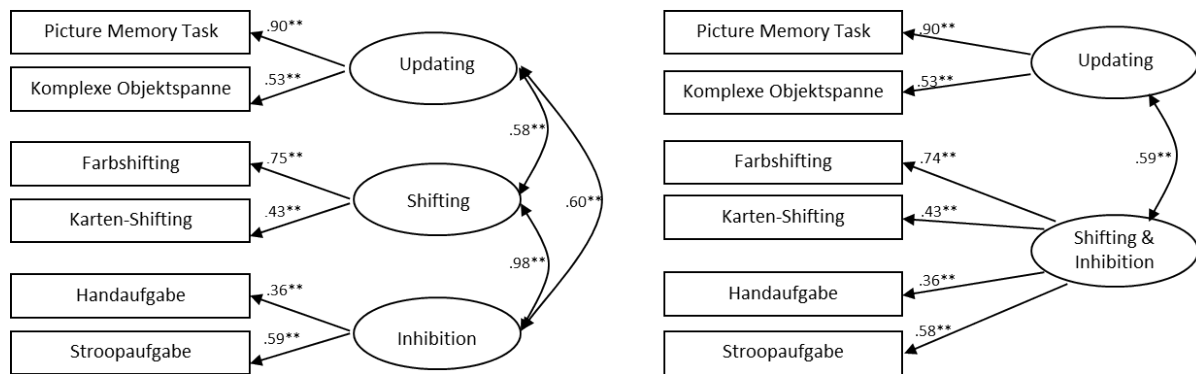


Abbildung 2. Drei- vs. zweifaktorielles Modell exekutiver Funktionen

3.3 KORRELATIONEN

Die Analyse der korrelativen Zusammenhänge ergab, dass das Zahlverständnis zu Beginn der ersten Klasse und die Rechenperformanz am Ende der ersten Klasse zu $r = .54$ ($p < .01$) korrelierten. Wie in Tabelle 3 ersichtlich zeigten alle Prädiktoren niedrige bis mittelhohe Zusammenhänge mit diesen beiden Kriteriumsmaßen. Die vergleichsweise höchsten Zusammenhänge ergaben sich erwartungsgemäß zwischen der Beherrschung der Zahlwortfolge mit dem Zahlverständnis ($r = .51$, $p < .01$) sowie der Rechenperformanz ($r = .57$, $p < .01$).

Tabelle 3:

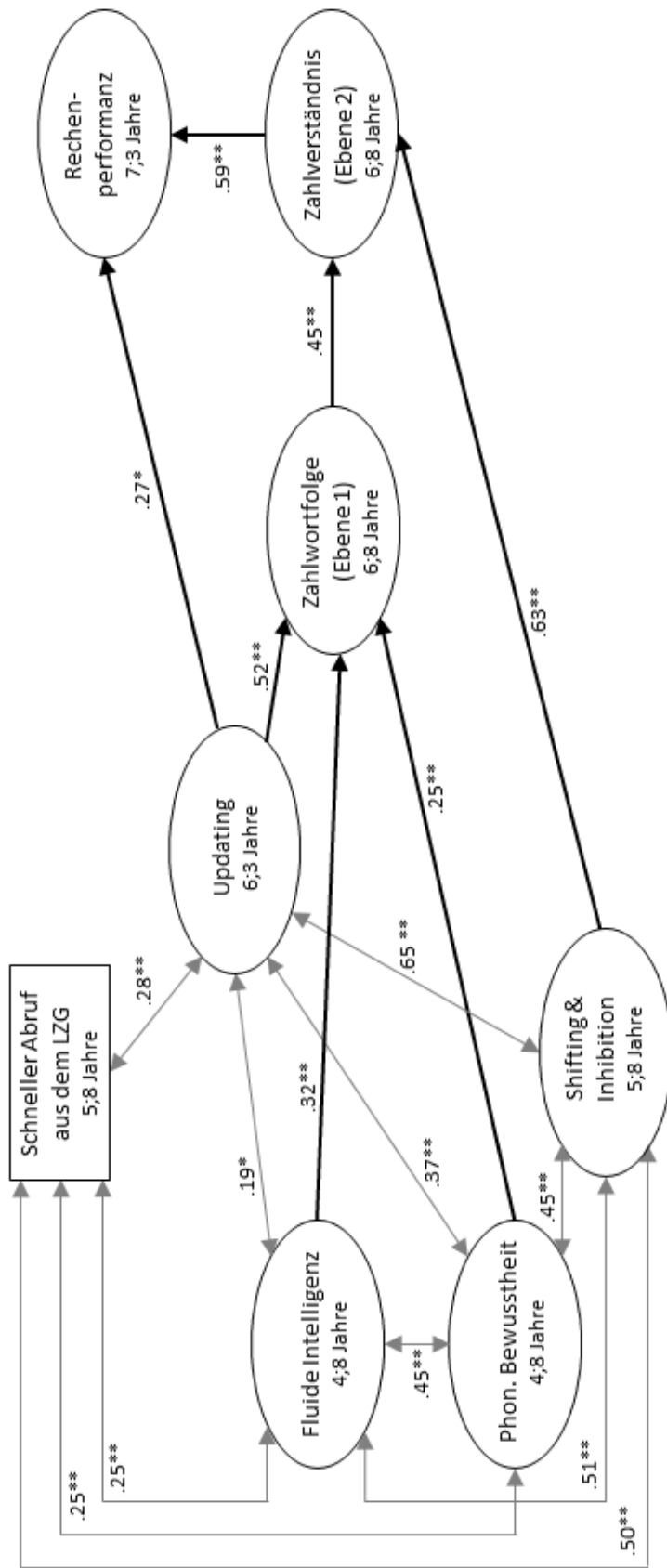
Korrelationen zwischen den im Kindergarten erfassten Prädiktoren, Zahlverständnis und Rechenperformanz in der ersten Klasse sowie Faktorladungen im Strukturgleichungsmodell

Konstrukt/ Faktor	Messzeitpunkt (Alter)	Zahl- verständnis	Rechen- performanz	Indikatoren	Faktorladungen im Messmodell
Shifting & Inhibition	3 (5;8 Jahre)	.37**	.35**	Farbshifting	.69
	3 (5;8 Jahre)	.30**	.26**	Karten-Shifting	.42
	3 (5;8 Jahre)	.36**	.42**	Stroop-Aufgabe	.68
	3 (5;8 Jahre)	.18**	.27**	Handaufgabe	.32
Updating	4 (6;3 Jahre)	.31**	.39**	Picture Memory Task	.80
	4 (6;3 Jahre)	.27**	.35**	Komplexe Objektspanne	.60
Abruf aus dem LZG	3 (5;8 Jahre)	.25**	.30**	Schnelles Benennen von Objekten	(manifest)
Phonolog. Bewusstheit	1 (4;8 Jahre)	.34**	.27**	Reimproduktion	.65
	1 (4;8 Jahre)	.41**	.42**	Reimaufgabe	.91
Intelligenz	1 (4;8 Jahre)	.32**	.32**	Matrizentest ^a	.69/ .93
Zahlwort- folge	5 (6;8 Jahre)	.51**	.57**	Zahlenlücken ^a	.95/ .92
Zahlver- ständnis	5 (6;8 Jahre)	1	.54**	ZGV-Ebene 2	.52- .74
Rechen- performanz	6 (7;3 Jahre)	.54**	1	Basisrechnen Addition ^a	.97/ .99

Anmerkungen. **Die Korrelation ist auf dem Niveau von $p < .01$ signifikant. ZGV-Ebene 2 = Summe aus Zahlenstrahl und Anzahlseriation geteilt durch zwei. ^a Da jeweils nur ein Maß für Intelligenz, Zahlwortfolge und Rechenperformanz vorlag, wurden für das Strukturgleichungsmodell aus ungeraden bzw. geraden Items zwei separate Summenwerte gebildet.

3.4 STRUKTURGLEICHUNGSMODELLIERUNG

Im Anschluss wurde das in Abbildung 3 ersichtliche Strukturgleichungsmodell erstellt, welches den Einfluss aller beschriebenen Prädiktoren auf die Rechenperformanz einerseits und die Zahlwortfolge und das Zahlverständnis andererseits überprüfen sollte. In das abgebildete Modell, das sehr gute Fit-Maße erzielte ($\chi^2(186) = 240.227$; $\chi^2/df = 1.292$, $p = .005$; CFI = .985; RMSEA = .023), sind lediglich die signifikanten Pfade eingezeichnet. Die Faktorladungen sind in Tabelle 3 aufgelistet und befanden sich im Bereich zwischen $\lambda = .32 - .99$.



Anmerkungen. Die Werte geben standardisierte Regressions- und Korrelationskoeffizienten an; ** β -Gewicht ist auf $p < .01$ signifikant; * β -Gewicht ist $p < .05$ signifikant; nicht signifikante Pfade sind nicht eingezeichnet.

Abbildung 3. Strukturgleichungsmodell zur Vorhersage von Zahlverständnis und Rechenperformanz in der 1. Klasse

Das Modell stellt zum einen die mathematische Entwicklung dar. So sagte die Kenntnis der Zahlwortfolge (Ebene 1 des ZGV-Modells) das Zahlverständnis (Ebene 2 des ZGV-Modells) vorher ($\beta = .45, p < .001$). Das Zahlverständnis wiederum war signifikant prädiktiv für die später erhobene Rechenperformanz ($\beta = .59, p < .001$). Zum anderen zeigten sich Einflüsse der exekutiven Funktionen: Updating nahm auf die Kenntnis der Zahlwortfolge ($\beta = .52, p < .001$) und auf die Rechenperformanz ($\beta = .27, p < .05$) Einfluss, zeigte darüber hinaus aber keinen direkten Effekt auf das Zahlverständnis ($\beta = -.16, p = .357$). Währenddessen beeinflussten Shifting und Inhibition das Zahlverständnis ($\beta = .63, p < .01$), weder aber die Zahlwortfolge ($\beta = -.19, p = .251$) noch die Rechenperformanz ($\beta = -.04, p = .821$). Die phonologische Bewusstheitklärte 6% der Varianz in der Kenntnis der Zahlwortfolge auf ($\beta = .25, p < .01$), hatte aber keinen direkten Einfluss auf das Zahlverständnis ($\beta = -.15, p = .158$) und die Rechenperformanz ($\beta = -.12, p = .186$). Die fluide Intelligenz nahm Einfluss auf die Kenntnis der Zahlwortfolge ($\beta = .19, p < .05$), nicht aber auf das Zahlverständnis ($\beta = .01, p = .893$) und die Rechenperformanz ($\beta = -.01, p = .957$). Der schnelle Abruf aus dem Langzeitgedächtnis zeigte bei Kontrolle der anderen Faktoren keine signifikanten direkten Einflüsse auf die mathematischen Leistungen ($\beta = .07$ bis $.14, p = .06$ bis $.36$).

4. DISKUSSION

Struktur exekutiver Funktionen

Zunächst stellte sich in der vorliegenden Untersuchung die Frage nach der Struktur exekutiver Funktionen bei Vorschulkindern. Anders als bei Wiebe und Kollegen (2008) oder Hughes und Kollegen (2010) wurden in diese Untersuchung neben Inhibition- und Updating- auch Shiftingaufgaben einbezogen. Hierbei ergab sich in der Faktorenanalyse eine *zweifaktorielle Struktur*. Korrelationen als auch Faktorladungen der konfirmatorischen Faktorenanalyse zeigten übereinstimmend mit Ergebnissen anderer Studien (z.B. van der Sluis et al., 2007) den mit anderen exekutiven Komponenten korrelierten, aber dennoch abgrenzbaren Faktor Updating. Demgegenüber korrelierten Inhibition und Shifting hoch miteinander, so dass nicht davon ausgegangen werden kann, dass diese Komponenten bei Vorschulkindern voneinander unabhängige Fähigkeiten darstellen. Dieser Befund korrespondiert mit den Ergebnissen von Van der Ven und Kollegen (2012), die eine Gemeinsamkeit der beiden Faktoren unter anderem in gemeinsamen Aufgabenanforderungen sehen. Garon und Kollegen (2008) betonen in ihrer Metaanalyse, dass Shifting-Aufgaben zudem von komplexerer Art seien, da zunächst die ursprüngliche als auch die zu wechselnde Regel im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten und angepasst sowie irrelevante Informationen inhibiert werden müssen, um erfolgreiches Shifting zu

ermöglichen. Bei den in der vorliegenden Studie verwendeten Shifting-Aufgaben wurden die Sortierregeln während der Shift-Phase regelmäßig wiederholt bzw. nur eine überschaubare Anzahl zu wechselnder Regeln eingesetzt, um mögliche Einflüsse des Updating gering zu halten. Jedoch scheinen inhibitorische Anteile in den Shifting-Aufgaben gemeinsame Varianz erzeugt zu haben. Ursächlich dafür könnten neben der oben genannten gemeinsamen Aufgabenanforderung und der Komplexität der Shiftingaufgaben auch Alter und Entwicklungsstand der Kinder sein. Da sich Inhibition bereits früh entfaltet und demzufolge in der Entwicklung als grundlegend für das komplexere Shifting gesehen wird (Garon et al., 2008), ist es möglich, dass Vorschulkinder von gut ausgeprägten inhibitorischen Fähigkeiten bei der Bearbeitung der Shifting-Aufgaben profitierten. Unterstrichen wird dies durch den deutlich geringeren Schwierigkeitsgrad der Inhibitions- im Vergleich zu den Shifting-Aufgaben.

Vorhersage von Zahlverständnis und Rechenperformanz

Die zweite Frage der vorliegenden Untersuchung betraf die Vorhersage von Zahlverständnis und Rechenperformanz sowie (auf sehr basaler numerischer Ebene) die Kenntnis der Zahlwortfolge. Die getrennte Erfassung dieser mathematischen Bereiche und der beiden aufgezeigten exekutiven Faktoren ließ einen detaillierteren Blick auf die Einflussfaktoren zu, als dies bisher vorhandene Studien erlaubten (z.B. LeFevre et al., 2013; Van der Ven et al., 2012).

Wiederholt zeigte sich, dass wesentliche Glieder in der mathematischen Entwicklung inhaltspezifisch die *mathematischen Kompetenzen* selbst sind (vgl. z.B. Duncan et al., 2007). Entsprechend dem Entwicklungsmodell der Zahl-Größen-Verknüpfung (Krajewski, 2007, 2013) beeinflussten basale Zahl-Größen-Kompetenzen (Zahlwortfolge) höhere Zahl-Größen-Kompetenzen (Zahlverständnis). Letztere wiederum wirkten sich signifikant auf die Rechenperformanz aus.

Der von verschiedenen Studien (z.B. Monette et al., 2011) gezeigte Einfluss des *Updating* auf die mathematische Leistung im Allgemeinen kann im vorliegenden Strukturgleichungsmodell genauer betrachtet werden. So zeigte sich bereits frühzeitig in der Entwicklung ein Zusammenhang von Updating und mathematischen Basisfertigkeiten (Kenntnis der Zahlwortfolge), wie dies auch Kroesbergen und Kollegen (2009) für basale numerische Fertigkeiten berichten. Allerdings wurde in der vorliegenden Untersuchung kein inhaltspezifisches, sondern zahlenunabhängiges Maß zur Erfassung des Updating verwendet, was die Bedeutung des berichteten Zusammenhangs noch unterstreicht. Van der Ven und Kollegen (2012) beschreiben, dass die mathematischen Prozeduren von Kindern mit geringen

Updating-Fähigkeiten langsamer und fehlerbehafteter sein können, was die numerische Entwicklung insgesamt verlangsamt. Die vorliegenden Befunde zeigen nun, dass der Updating-Prozess gerade auf frühester Ebene der numerischen Entwicklung, d.h. beim Erlernen der Zahlwortfolge, wirksam ist und hier entscheidenden Einfluss auf die mathematische Entwicklung nimmt.

Nur ein indirekter, durch die basalen Zahl-Größen-Kompetenzen vermittelter Einfluss der Updatingfähigkeit zeigte sich im Strukturgleichungsmodell hingegen auf höhere mathematische Fähigkeiten. Dies entspricht nicht der Erwartung, dass der höhere Komplexitätsgrad der Aufgaben zum Zahlverständnis erhöhte Anforderungen an die Informationsverarbeitung stellt und demzufolge Updating erfordern sollte. Damit liegt der Schluss nahe, dass Updating solange notwendig ist, wie grundlegende spezifische Inhalte, nämlich die Kenntnis der Zahlwortfolge, noch nicht beherrscht werden. Sind diese jedoch hoch automatisiert (quasi selbst „im Schlaf verfügbar“), stellt das Aufrechterhalten (also Updating) dieser Informationen während ihrer Weiterverarbeitung - und damit beim Verknüpfen der Inhalte zum Zahlverständnis - keine Anforderung mehr dar. Konform mit diesen Überlegungen nimmt Updating wiederum Einfluss auf die Rechenperformanz und unterstreicht damit, dass der Prozess des Aktualisierens eine wesentliche Rolle im Erwerb rein auswendig lernbarer Inhalte (nämlich von Zahlwortfolge und Einspluseinsaufgaben im kleinen Zahlenraum) spielt.

Demgegenüber zeigen sich *Inhibition* (vgl. Bull et al., 2008) und *Shifting* hoch bedeutsam für Lerninhalte, die ein tiefgehendes Verständnis erfordern, was sich im signifikanten Einfluss auf das zu Beginn der ersten Klasse erhobene Zahlverständnis zeigt. Das Verständnis von Zahlen erfordert also anders als die - prinzipiell auch ohne numerisches Verständnis auswendiglernbaren Zahlwortfolgen und Rechenfakten-Kenntnisse - ein Hin- und Herwechseln zwischen Informationen, einschließlich dem Hemmen aktuell irrelevanter Informationen. So sind Shifting- und Hemmprozesse etwa wichtig, wenn verschiedene numerische Präsentationsformen auf Entwicklungsebene 2 des ZGV-Modells miteinander kombiniert werden müssen oder wenn das numerische Verständnis für kleinere Zahlen auf größere Zahlenräume übertragen wird.

Dass das in dieser Studie verwendete inhaltsunspezifische Material zum schnellen Abruf aus dem Langzeitgedächtnis über die anderen Prädiktoren hinaus keinen Einfluss auf die mathematischen Leistungen ausübte, widerspricht der Hypothese, dass ein generell schneller Zugriff auf das Langzeitgedächtnis mathematisches Denken erleichtert. Das Ergebnis ist aber konform mit den Befunden von Landerl und Kollegen (2004), nach denen Kinder mit Rechenschwäche ausschließlich zweistellige Ziffernzahlen, nicht aber Farben langsamer benennen

als normal rechnende Kinder. Die Kenntnis der Zahlwortfolge und das Lösen einfacher Additionsaufgaben scheinen demnach nur durch die Abrufgeschwindigkeit von numerischem Material aus dem Langzeitgedächtnis beeinflusst zu werden (vgl. Krajewski & Schneider, 2009a).

Erwartungsgemäß zeigte sich, dass sprachliche Fähigkeiten Einfluss auf die mathematischen Leistungen nehmen. So konnte der Einfluss der phonologischen Bewusstheit auf das Erlernen der Zahlwortfolge repliziert werden. Auf sehr basaler Ebene unterstützt das Wissen um die Zergliederung der Sprache in Wörter und Silben demnach das Zertrennen von oftmals auswendig gelernten Zahlwort-Strings (z.B. „einszweidrei...“) in die separierten Zahlwörter („eins – zwei – drei...“), wodurch ein flexibler Umgang mit der Zahlwortfolge möglich wird (vgl. Krajewski & Schneider, 2009b).

Es zeigte sich hypothesenkonform ein Einfluss der fluiden Intelligenz auf basale Zahl-Größen-Kompetenzen (Zahlwortfolge), nicht aber auf das Zahlverständnis. Die relativ geringe Einflusshöhe der Intelligenz verweist auf den Stellenwert von inhaltspezifischen Vorläuferfertigkeiten sowie Inhibitions- und Updating-Prozessen bei der Vorhersage mathematischer Leistungen (z.B. Bull et al., 2008; Miller et al., 2013).

Fazit

Zusammenfassend hatte die vorliegende Studie zum Ziel differenzierter als vorangegangene Studien Wirkungsmuster exekutiver Funktionen auf verschiedene mathematische Bereiche zu untersuchen. Die wesentlichen Ergebnisse der Studie sind zum einen der Nachweis einer zweifaktoriellen Struktur der exekutiven Funktionen bei Kindergartenkindern. Zum anderen konnte erstmals aufgezeigt werden, dass (inhaltsunspezifisch erfasstes) Updating basale Zahl-Größen-Kompetenzen und Rechenperformanz, Inhibitions- und Shiftingprozesse hingegen höhere Zahl-Größen-Kompetenzen wie das Zahlverständnis beeinflussen. Begrenzungen dieser Studie liegen in der methodisch begründeten Unvollständigkeit des Modells. So sind wichtige Einflussgrößen wie das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis, der schnelle Abruf numerischer Informationen aus dem Langzeitgedächtnis und Maße der Aufmerksamkeit nicht im Modell integriert.

IV. EINFLUSS EXEKUTIVER FUNKTIONEN AUF SCHRIFTSPRACHLICHE LEISTUNGEN VON ERSTKLÄSSLERN

1. EINLEITUNG

Während die Entwicklung mathematischer Kompetenzen eher zu den jüngeren Forschungsgebieten gehört, ist die Vorhersage schriftsprachlicher Leistungen ein Bereich, in dem seit vielen Jahrzehnten intensive Forschung betrieben wird. Seit längerem gibt es weitgehende Übereinstimmung bezüglich der Entwicklung, Vorläuferfertigkeiten und vieler einflussnehmender Konstrukte. So herrscht Einigkeit darüber, dass insbesondere inhaltspezifische Fähigkeiten wie die phonologische Bewusstheit (z.B. Marx, 2007; Muter, Hulme, Snowling & Stevenson, 2004; Wagner & Torgesen, 1987) oder allgemeine Sprachfertigkeiten, wie der Wortschatz (Gathercole, Alloway, Willis & Adams, 2006) als auch domänenunspezifischere Fähigkeiten wie die dem Arbeitsgedächtnis zugehörige zentrale Exekutive (z.B. Bull et al., 2008; Alloway et al., 2005) in den Erwerb des Lesens und Schreibens involviert sind. Studien, die sich mit dem Einfluss exekutiver Funktionen auf schriftsprachliche Leistungen beschäftigen, sind eher in dem vergangenen Jahrzehnt entstanden und zumeist englischsprachig. Einige dieser Studien deuten darauf hin, dass in geringerem Umfang auch exekutive Funktionen am Erwerb von Lesen und Schreiben beteiligt sein könnten (z.B. Neuenschwander et al., 2012; Roebers, Cimeli, Röthlisberger & Neuenschwander, 2012). Betrachtet man einzelne exekutive Funktionen, so werden dabei der zentralen Exekutive (z.B. Gathercole et al., 2006; Monette et al., 2011) und tendenziell auch der Inhibition (z.B. Altemaier, Abbott & Berninger, 2008) besondere Rollen für den Schriftsprachbereich zugeschrieben. Die Metaanalyse von Booth, Boyle und Kelly (2010) beschäftigt sich mit der Ausprägung exekutiver Funktionen bei Kindern mit und ohne Leseschwäche. Dabei errechneten die Autoren eine mittlere Effektstärke von $d = 0.57$ für die unterschiedliche Ausprägung exekutiver Funktionen bei Kindern mit und ohne Leseschwäche. Dies bedeutet, dass Kinder mit einer Leseschwäche schlechtere Leistungen in Aufgaben zur Erfassung exekutiver Funktionen erbringen. Allerdings weisen Booth und Kollegen auch darauf hin, dass die Effektstärke in Abhängigkeit von den Aufgaben, die zur Erfassung der exekutiven Funktionen verwendet wurden, deutlichen Schwankungen unterlag ($d = -0.32$ bis $+1.83$). Aufgaben mit erforderlicher verbaler Reaktion erzielten beispielsweise höhere Effektstärken als Aufgaben mit nonverbaler Reaktion.

Wie aus der Studie von Booth und Kollegen (2010) hervorgeht, werden die Zusammenhänge exekutiver und schriftsprachlicher Leistungen insgesamt heterogen beurteilt und die Untersuchungsdichte zum Zusammenhang von exekutiven Funktionen und schriftsprachlichen Leistungen ist für ein traditionelles Forschungsfeld wie das der Schriftsprachentwicklung wider Erwarten gering. Auch im Vergleich zur Anzahl der Untersuchungen zu den Einflüssen von exekutiven Funktionen auf mathematische Kompetenzen fällt die Befundlage deutlich weniger umfangreich aus. Erklärungen dafür könnte zum einen sein, dass exekutive Funktionen deutlich weniger Vorhersagekraft für schriftsprachliche als für mathematische Leistungen haben und nicht-signifikante Befunde selten veröffentlicht werden. Zum anderen ist es möglich, dass die bekanntermaßen in die Schriftsprachentwicklung eingebundenen Maße wie z.B. die phonologische Informationsverarbeitung bereits große Anteile der Varianz in schriftsprachlichen Fertigkeiten aufklären. Ennemoser, Marx, Weber und Schneider (2012) berichten zum Beispiel, dass fluide Intelligenz, phonologische Bewusstheit, schnelles Benennen, phonologisches Kurzzeitgedächtnis und Sprachfertigkeiten in der ersten Klasse in Regressionen gemeinsam beträchtliche Varianzanteile aufklären (Lesegeschwindigkeit: 33 - 38%, Satzverständnis: 27%, Textverständnis: 20% und Rechtschreibleistung: 29%). Ebenso trugen bei Landerl und Wimmer (2008) fluide Intelligenz, Buchstabenkenntnis, phonologische Bewusstheit, phonologisches Kurzzeitgedächtnis und schnelles Benennen in der ersten Klasse in Regressionen zur Vorhersage der Lesegeschwindigkeit und des Rechtschreibens in der vierten Klasse zu rund einem Drittel Varianzaufklärung bei. Zudem sind manche der bekannten Prädiktoren, wie z.B. die phonologische Bewusstheit für Fördermaßnahmen geeignet, so dass wenig Anstrengung in die Aufklärung der übrigen Varianz investiert wird (z.B. Hören, lauschen, lernen; Küspert & Schneider, 2001). Möglicherweise ist zum Dritten auch eine Verbindung exekutiver Funktionen zu mathematischen Fertigkeiten augenscheinlicher, denn exekutive Kontrolle und mathematische Leistungen vereinen in höherem Maße Prozesse als auch neuroanatomische Korrelate, wie Blair und Razza (2007) zusammenfassend beschreiben. Stellt man sich aber nun den komplexen Prozess vor, den Leseanfänger durchlaufen, wenn sie beispielsweise versuchen, Abfolgen von Schriftzeichen mit ihren lautlichen Entsprechungen und die sich daraus ergebenden Lautfolgen mit einem Wortsinn zu versehen oder Wörter eines Satzes mit Hilfe grammatikalischer, semantischer und syntaktischer Informationen sinnbildend zueinander in Bezug zu setzen, so erscheinen Einflüsse exekutiver Kontrolle durchaus plausibel und notwendig. Nachdem im folgenden Abschnitt zunächst ein kurzer Überblick über die Phasen schriftsprachlicher Entwicklung, beteiligte Prozesse und „klassische“ Prädiktoren gegeben worden ist, sollen daran anschließend die vorhandenen Hinweise auf eine Beteiligung exekutiver Funktionen am Schriftspracherwerb geordnet werden,

um deutlich zu machen, von welchem Zusammenspiel bislang auszugehen ist und welche Facetten weiterhin der Klärung bedürfen.

1.1 ENTWICKLUNG SCHRIFTSPRACHLICHER FÄHIGKEITEN

Zu den schriftsprachlichen Fertigkeiten gehören die *Lesegenauigkeit* und die *Lesegeschwindigkeit*, die sich aus der Fähigkeit zum Dekodieren (=Lesegenauigkeit) ergibt, außerdem das *Leseverständnis* von Wörtern, Sätzen und Texten und das *Rechtschreiben* (vgl. Ennemoser et al., 2012). Diese Fertigkeiten umfassen verschiedene Prozesse. Um *Wörter schnell und genau lesen* zu können, sind je nach Geübtheitsgrad verschiedene Vorgehensweisen erforderlich. Ein Leseanfänger ist noch nicht in der Lage, einem visuell wahrgenommenen Wortbild direkt eine im Langzeitgedächtnis abgespeicherte Wortbedeutung zuzuordnen (= direkter Weg der Entschlüsselung der Wortbedeutung; ausgenommen sind Wörter, die der Leser spontan aufgrund des Aussehens erkennt, ohne dass tatsächlich Leseprozesse involviert wären, beispielsweise den eigenen Vornamen oder das Logo eines Supermarkts). Statt den direkten Weg der Worterkennung gehen zu können, steht der Erstleser zunächst vor der Aufgabe, den einzelnen Buchstaben visuell erkennen zu müssen. Zudem muss das Graphem, die visuelle Gestalt, mit dem Phonem, der lautlichen Entsprechung des Buchstabens, verbunden werden. Dies geschieht bei Lauttreue nacheinander für jedes Schriftzeichen eines Wortes. Die einzelnen erlesenen Laute werden zusammenschliffen und schlussendlich wird die Wortbedeutung erkannt (= indirekter Weg der Worterkennung). Diese beiden verschiedenen Zugangswege zur Dekodierung, also zur Erfassung der Wortbedeutung, sind Bestandteile des „Dual-route model“ von Coltheart (1978). Die in den indirekten Weg der Worterkennung involvierten Prozesse stellen zusätzlich Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis, indem zum einen die bereits entschlüsselten Phoneme lautlich aufrechterhalten werden müssen, solange die noch fehlenden Grapheme entschlüsselt werden und zum anderen der entschlüsselten Lautfolge durch den Abgleich mit den im Langzeitgedächtnis abgespeicherten Wörtern eine Wortbedeutung zugeordnet werden muss (Marx, 2007). Das Lesen und Verstehen von Texten erfordert neben Arbeitsgedächtniskapazitäten auch grammatikalische Kompetenzen; förderlich sind zudem Vorwissen und Wortschatz (Marx, 2007), insbesondere je umfangreicher die zu lesenden Textabschnitte sind. Für das *Rechtschreiben* ist es erforderlich, das auditive Gesamtbild eines Wortes in der phonologischen Schleife aufrechtzuerhalten und in seine Einzelsegmente, also die einzelnen Laute zu unterteilen, welchen dann die entsprechenden Grapheme zugeordnet werden müssen. Da in der ersten Klasse lautgetreues Schreiben zur Zeit an den Schulen der teilnehmenden Kinder die Lehrmethode der Wahl ist, spielt zunächst die Kenntnis und Anwendung von Rechtschreibregeln eine eher

untergeordnete Rolle. Sobald aber auf orthografisch korrektes Schreiben geachtet werden muss, gehört die Anwendung grammatikalischen Wissens zu den weiteren Anforderungen des Schreibens. In zweifacher Hinsicht stellt das Rechtschreiben eine anspruchsvollere Aufgabe als das Lesen dar, so Marx (2007). Erstens ist in der deutschen Sprache beim Lesen die Lauttreue höher als beim Schreiben (das Phonem /ks/ kann verschiedentlich verschriftlicht werden, „...was durch die Wörter „Dachs“, „Jux“, „Keks“, „Klecks“ und „sagst“ deutlich wird.“, Marx, 2007, S. 26). Zweitens erfordert das Lesen lediglich das Wiedererkennen eines Wortes, während beim Rechtschreiben ein Wort Phonem für Phonem in Grapheme umgesetzt werden muss, was deutlich höhere Ansprüche an das Arbeitsgedächtnis stellt.

Mit Hilfe von theoretischen Stufenmodellen wird versucht, die Entwicklung der schriftsprachlichen Prozesse zu verstehen und in eine Abfolge zu bringen. Frith (1985) geht in ihrem einflussreichen dreistufigen Modell davon aus, dass sich das Lesen und Schreiben durch die Verwendung phasentypischer Strategien sukzessive verbessert und beide Fertigkeiten sich wechselseitig beeinflussen. Auf der ersten Stufe nutzt das Kind eine logografische Strategie, um sich den Sinn eines Wortbildes zu erschließen, ohne dass es zwangsläufig über eine Einsicht in den Aufbau von Sprache oder über eine ausreichende Buchstabenkenntnis verfügt. Auf der zweiten Stufe beginnt das Kind bei ersten Schreibversuchen Korrespondenzen zwischen Buchstaben und Lauten herzustellen und lernt zunehmend, diese alphabetische Strategie auch beim Lesen von Wörtern zu nutzen. Mit Hilfe der alphabetischen Strategie kann ein Kind auch ihm unbekannte, lautgetreue Wörter erlesen. Auf der dritten Stufe ist wiederum das Lesen ein antreibender Faktor der Schriftsprachentwicklung, weil sich das lesende Kind zunehmend Wissen über orthografische Kennzeichen der Sprache aneignet. Je präziser die orthografischen Repräsentationen werden, desto eher kann das Kind diese auch beim Schreiben anwenden und auch nicht-lautgetreue Wörter korrekt schreiben. Auch das Stufenmodell der Rechtschreibentwicklung von Scheerer-Neumann (1987) enthält Verweise auf die aufeinander aufbauende Entfaltung logografischer, alphabetischer, orthografischer und morphematischer Strategien, bevor das Schreiben automatisiert über den Abruf von Wörtern und Wortbildern aus dem Langzeitgedächtnis abläuft. Für die Entwicklung des Leseverständnisses sei an dieser Stelle weniger auf ein Phasenmodell hingewiesen als auf das „Simple-View-of Reading“-Modell von Gough und Tunmer (1986). Diese gehen davon aus, dass es keinen Unterschied für das Verstehen von Informationen mache, ob Informationen gelesen oder gehört werden. Auch Marx (2007) verweist auf empirische Befunde, die zeigen, dass für das Leseverständnis neben der erforderlichen Dekodierfähigkeit auch das Hörverständnis eine wesentliche Voraussetzung darstellt. Abhängig vom Stadium des Lesererwerbs seien beide Faktoren in unterschiedlichem Maße relevant für das Leseverstehen.

Während das Leseverständnis in anfänglichen Stadien noch deutlich abhängig von der Dekodierfähigkeit und -geschwindigkeit ist, werden mit zunehmender Worterkennung auf dem direkten Wege sprachliche Fertigkeiten relevanter (Marx, 2007).

Die Lesegeschwindigkeit, das Leseverständnis und das Rechtschreiben summieren sich nun nicht zu *der* allgemeinen Schriftsprachfähigkeit auf, sondern bleiben trennbare Prozesse, die in mittlerer Höhe miteinander korreliert sind (z.B. Leseflüssigkeit und Rechtschreibung bei Erstklässlern: $r = .35, p < .01$ [Landerl & Wimmer, 2008]; Satzlesen und Rechtschreiben bei Achtjährigen: $r = .55, p < .01$ [von Goldammer, Mähler, Bockmann & Hasselhorn, 2010]) und die unabhängig voneinander unterschiedlich stark ausgeprägt sein können, beispielsweise bei Kindern mit isolierten Defiziten in der Rechtschreibung (Wimmer & Mayringer, 2002). Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass für unterschiedliche Schriftsprachfertigkeiten auch unterschiedliche Prädiktoren relevant sind (Ennemoser et al., 2012).

Zu den am häufigsten untersuchten *Prädiktoren des Lesens und Schreibens* gehören die phonologische Bewusstheit, das phonologische Kurzzeitgedächtnis und das schnelle Benennen bzw. der schnelle Abruf aus dem Langzeitgedächtnis (Wagner & Torgesen, 1987) als auch Wissensfacetten wie beispielsweise die Buchstabenkenntnis und sprachliche Fertigkeiten wie beispielsweise Grammatikkenntnisse, welche in unterschiedlichem Maß die Lese- und Rechtschreibleistungen vorhersagen.

Die *Lesegenauigkeit* entwickelt sich früh, zumeist innerhalb des ersten Schuljahres. Landerl und Wimmer (2008) berichten, dass selbst die langsamsten Leser im Verlauf des ersten Grundschuljahres ausreichende Fähigkeiten im phonologischen Dekodieren erwerben, was sich in Deckeneffekten beim Lesen von Wörtern und Pseudowörtern bei Erstklässlern in Orthografien mit konsistenten Graphem-Morphem-Zuordnungen wie der deutschen Orthografie zeigt. Wesentliche Voraussetzungen für die Lesegenauigkeit am Ende der ersten und auch der zweiten Klasse werden in Buchstabenkenntnissen, insbesondere dem schnellen Benennen von Buchstaben und der phonologischen Bewusstheit zum Ende des Kindergartenalters gesehen (Schatschneider, Fletcher, Francis, Carlson & Foorman, 2004). Für die *Lesegeschwindigkeit*, die sich bei guten Dekodierfähigkeiten ergibt, gelten primär die phonologische Bewusstheit und die Benennungsgeschwindigkeit sowie indirekt das phonologische Kurzzeitgedächtnis und fluide Intelligenz als wichtige Prädiktoren (Ennemoser et al., 2012). Durchgängig bis in die Sekundarstufe bleibt für das schnelle Lesen das schnelle Benennen von Objekten (Landerl & Wimmer, 2008) bzw. vom Kindergarten bis zur zweiten Klasse inhaltsspezifisch das schnelle Benennen von Buchstaben (Schatschneider et al., 2004) relevant. In der Studie von Schatschneider und Kollegen wirkte sich

erst nach den Anfängen des Lesenlernens auch die fluide Intelligenz positiv auf das flüssige Lesen aus. Von Goldammer und Kollegen (2010) hingegen zeigten, dass die Satzgedächtnisleistung von fünfjährigen Kindern in Regressionsgleichungen der einzige signifikante Prädiktor für die Geschwindigkeit beim Lesen von Wörtern von achtjährigen Kindern ist. In deren Untersuchung zeigte sich diese Variable als bedeutsamer als grammatikalische Kenntnisse, phonologische Bewusstheit und Leistungen der phonologischen Schleife. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass das Nachsprechen von Sätzen eine komplexe Aufgabe ist, die wiederum zu 50% durch die Kapazität des phonologischen Kurzzeitspeichers und durch den Wortschatz determiniert wird (von Goldammer et al., 2010) und deshalb zwar als Prädiktorvariable von großem Wert ist, jedoch wenig Hinweise auf die detaillierten Wirkmechanismen in der Schriftsprachentwicklung gibt.

Das *Leseverständnis* baut zum einen auf der Fähigkeit zum schnellen Dekodieren, erfasst durch die Lesegeschwindigkeit, auf. Langwierige Dekodierprozesse auf dem indirekten Weg (vgl. Coltheart, 1978) sind zu langsam, aufwendig und arbeitsgedächtnisbelastend, um Sätzen oder längeren Textabschnitten Sinn entnehmen zu können, so dass die Fähigkeit zur schnellen Worterkennung unbedingt erforderlich und deshalb prädiktiv ist (vgl. Ennemoser et al., 2012). Wie auch für die Lesegeschwindigkeit erwiesen sich zu Beginn der Grundschulzeit phonologische Gedächtnisleistungen als relevant für das Leseverständnis von Sätzen (von Goldammer et al., 2010). Mit zunehmender Geübtheit im Lesen und ansteigendem Leseverständnis nimmt der direkte Einfluss der phonologischen Informationsverarbeitung deutlich ab und der Einfluss sprachlicher Fähigkeiten, wie z.B. das Wissen um morphematische Bedeutung, die Größe des Wortschatzes sowie Vorwissen zu Inhalten des zu lesenden Textmaterials nimmt zu (Ennemoser et al., 2012).

Für das *Rechtschreiben* gelten sowohl in der Grundschule als auch in der weiterführenden Schule Fähigkeiten der phonologischen Bewusstheit, frühe Buchstabenkenntnisse und nonverbaler IQ als wesentliche Prädiktoren (Landerl & Wimmer, 2008). Zusätzlich erwiesen sich die vorschulische Benennungsgeschwindigkeit, der phonologische Kurzzeitspeicher und in etwas inkonsistenterem Maß sprachliche Fähigkeiten wie z.B. grammatikalische Kenntnisse (Ennemoser et al., 2012; von Goldammer et al., 2010) als relevant. Dabei muss ähnlich dem ansteigenden Leseverständnis aber unterschieden werden, ob frühe oder spätere Leistungen vorhergesagt werden sollen. Rechtschreibleistungen in den ersten beiden Klassen der Grundschule hängen deutlicher mit der phonologischen Informationsverarbeitung zusammen, während Rechtschreibleistungen in den späteren Grundschuljahren und darüber hinaus vermutlich stärker von sprachlichen Kompetenzen geprägt werden (Ennemoser et al., 2012).

Unabhängig von der Variabilität der Prädiktoren in verschiedenen Schriftsprachbereichen und Entwicklungsstufen zeigen sich für die Lesegeschwindigkeit und das Rechtschreiben hohe Stabilitäten in den Leistungen von der ersten Klasse bis in die Sekundarstufe. Langsam lesende Erstklässler gehören mit hoher Wahrscheinlichkeit in der achten Klasse zu den langsam lesenden Kindern mit geringerem Textverständnis und Kinder mit schwachen Rechtschreibleistungen zum Ende der ersten Klasse zeigen diese Schwierigkeiten ebenfalls noch in der achten Klasse (Landerl & Wimmer, 2008). Frühe Vorhersagen schriftsprachlicher Leistungen sind demzufolge relevant für eine früh ansetzende Förderung.

Zusammenfassend zeigen die Befunde, dass für den frühen Schriftspracherwerb zum einen basale, domänenübergreifende Fähigkeiten wie beispielsweise schnelles Zugreifen auf Inhalte des Langzeitgedächtnisses und die Speicherkapazität für phonologische Informationen relevant sind. Zum anderen sind inhaltspezifische Vorläuferfertigkeiten wie die phonologische Bewusstheit mit für den frühen ungestörten Schriftspracherwerb verantwortlich. Zudem zeigen sich auch Wissensaspekte in Form von Buchstabenkenntnis oder Wortschatz prädiktiv für den Erwerb des Lesens und Schreibens. Seit ungefähr einem Jahrzehnt werden nun unregelmäßig Untersuchungen veröffentlicht, die der Frage nachgehen, ob neben diesen beschriebenen „etablierten“ Prädiktoren die exekutive Kontrolle zusätzliche Vorhersagekraft für den Schriftspracherwerb besitzt. Wie im folgenden Abschnitt zu zeigen sein wird, fallen diese Befunde heterogen aus und erfordern weiterer Klärung, zu der im Folgenden beigetragen werden soll.

1.2 EINFLUSS EXEKUTIVER FUNKTIONEN AUF SCHRIFTSPRACHLICHE LEISTUNGEN

Ähnlich zu den Wirkmechanismen exekutiver Funktionen und Mathematik gibt es auch im Bereich exekutive Funktionen und Schriftsprache unterschiedliche Befunde in Abhängigkeit davon, welche Variablen auf der Seite der unabhängigen Variablen und welche Maße für die schriftsprachlichen Leistungen gewählt werden. Wiederum unterscheiden sich Studien bei der Operationalisierung des Konstrukts der exekutiven Funktionen: Während Neuenschwander und Kollegen (2012) die Gemeinsamkeit exekutiver Kontrolle betonen und einen Summenwert für exekutive Funktionen nutzen, versuchen beispielsweise Monette und Kollegen (2011) die separaten Varianzanteile der exekutiven Funktionen Inhibition, Shifting und Updating an den Schriftsprachleistungen zu bestimmen. Wiederum andere Arbeitsgruppen fokussieren nur die Einflüsse einer oder zweier exekutiver Funktionen (z.B. Blair & Razza, 2007). Ebenso unterscheidet sich die Detailliertheit der abhängigen Variablen. Auch hier finden sich allgemeine Summenwerte (vgl. Gathercole et al., 2006; Neuenschwander et al., 2012) als auch separate Variablen, beispielsweise Buchstabenkenntnis,

Rechtschreibung und/oder Leseverständnis (z.B. Nevo & Bretznitz, 2013). In den sich anschließenden Kapiteln soll deshalb die empirische Befundlage analog zu den in Kapitel III beschriebenen Zusammenhängen exekutiver Funktionen mit der Mathematikdomäne getrennt für einen Gesamtfaktor exekutiver Kontrolle sowie Updating, Inhibition und Shifting beschrieben werden². Berücksichtigt werden sollte auch die Muttersprache der untersuchten Kinder, da in Sprachen mit unterschiedlich konsistenten Orthografien (geringe Lauttreue im Englischen vs. relativ hohe Lauttreue im Deutschen) nicht von übereinstimmenden Wirkmustern und gleichen zeitlichen Abfolgen ausgegangen werden kann. Beispielsweise berichten Landerl und Wimmer (2008), dass die phonologische Bewusstheit im Englischen über einen größeren Zeitraum hinweg prädiktiv für Lesefähigkeiten bleibt, da es durch die inkonsistente englische Orthografie zwei bis drei Jahre länger dauert, bis Kinder ausreichende phonologische Dekodierungskompetenzen erworben haben. Aus diesem Grund könnten sich in der gleichen Altersgruppe auch die Einflüsse exekutiver Funktionen je nach Automatisierungsgrad der Schriftsprachfertigkeiten unterscheiden.

1.2.1 Exekutive Funktionen im Allgemeinen und schriftsprachliche Leistungen

Welsh und Kollegen (2010) nutzten für die Vorhersage der schriftsprachlichen Entwicklung von zu Beginn 4;9-jährigen englischsprachigen Kindern aus einkommensschwachen Haushalten einen Gesamtwert für Leistungen des Arbeitsgedächtnisses und der Aufmerksamkeitskontrolle (rückwärtige Wortspanne für Updating, Peg-tap für Inhibition und DCCS für Shifting). Dieser undifferenzierte Gesamtscore sagte die ein Jahr später erfassten Literacy-Fertigkeiten (Buchstabenkenntnis, Erkennen von Schrift, Zusammenfügen und Auftrennen von Wortbestandteilen) als auch die zum Ende der Kindergartenzeit erfassten Lesefertigkeiten (Lesen von Wörtern, Zusammenfassen von gehörten Geschichten, Lesegeschwindigkeit beim Lesen von Wörtern und Pseudowörtern) im Pfadmodell signifikant vorher ($\beta = .29$, $\beta = .36$). Auch die Literacy-Fähigkeiten nahmen erwartungsgemäß mit $\beta = .25$ signifikanten Einfluss auf das Lesen. Die Kontrolle allgemeiner Sprachfertigkeiten (Wortschatz, grammatikalisches Verständnis) änderte nichts an den Zusammenhängen.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgten Neuenschwander und Kollegen (2012) zur Erfassung des Einflusses exekutiver Funktionen auf schulische schriftsprachliche Leistungen. Dazu erfassten sie bei siebenjährigen deutschsprachigen Kindern mit jeweils einem Testverfahren Updating, Inhibition und Shifting und fassten diese Ergebnisse zu einer latenten Variable zusammen. Diese zeigte sich im Strukturgleichungsmodell bei gleichzeitiger Berücksichtigung des per Fragebogen

² Für einen schnellen Überblick wird auf Tabelle 21 *Übersicht: Einfluss exekutiver Funktionen auf schriftsprachliche Kompetenzen* im Anhang verwiesen.

erhobenen selbstregulatorischen Verhaltens („effortful control“) als äußerst prädiktiv für die ein Jahr später erhobene Leistung in den schriftsprachlichen Schulleistungstests (latente Variable aus Grammatik, Leseverständnis und Lesegeschwindigkeit, $\beta = .80$, $p < .001$). Auch unter Hinzunahme der fluiden Intelligenz veränderte sich dieser Zusammenhang nicht und das Intelligenzniveau konnte zudem keine zusätzliche eigene Varianz aufklären. Relevante Vorläuferfertigkeiten wie die phonologische Bewusstheit wurden allerdings nicht berücksichtigt.

Die beiden vorgestellten Studien weisen darauf hin, dass exekutive Kontrolle im Allgemeinen Einfluss auf schriftsprachliche Leistungen nimmt. Aufgrund der Methode, alle exekutiven Leistungen zu einem Faktor zusammenzufassen, welche mit der entwicklungsbedingt schwierigen Differenzierung einzelner exekutiver Funktionen begründet (aber nicht faktorenanalytisch geprüft) wird, ist es weiterhin nicht möglich, den Beitrag einzelner exekutiver Funktionen auf die schriftsprachlichen akademischen Leistungen zu bestimmen. Im Folgenden sollen deshalb Studien Eingang finden, die sich verstärkt mit den separaten Einflüssen einzelner exekutiver Funktionen auf die schriftsprachlichen Leistungen während der Grundschulzeit beschäftigt haben.

1.2.2 Updating und schriftsprachliche Leistungen

Die größte Anzahl der vorgefundenen Studien zur Vorhersage schriftsprachlicher Leistungen beschäftigt sich mit dem Faktor Updating bzw. in Tradition des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley (1996) mit der zentralen Exekutive. Da Leistungen in den Maßen, die klassischerweise für das jeweilige Konstrukt verwendet werden, zumindest bei älteren Kindern und Erwachsenen hoch miteinander korreliert sind (Schmiedeck et al., 2009; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006), finden sowohl Studien, die nach zentral-exekutiven Einflüssen suchen als auch solche, die Updating als Prädiktorvariable erfassen, Eingang in die folgende Übersicht. Die vorliegenden Untersuchungen deuten zumeist auf Zusammenhänge zwischen Leistungen im Updating, d.h. im Aktualisieren und Ersetzen von Arbeitsgedächtnisrepräsentationen, beziehungsweise zwischen Leistungen der zentralen Exekutive, d.h. der Aktivierung, Koordinierung und Verarbeitung von Arbeitsgedächtnisrepräsentationen und Leistungen im Lesen und Schreiben zu Beginn der Grundschule hin (Alloway et al., 2005; Monette et al., 2011; Nevo & Bretznitz, 2013). Auch im Verlauf der Grundschule bis zur Sekundarstufe wird der Einfluss des Updatings auf das Lesen von Wörtern, die Lesegeschwindigkeit und das Leseverständnis in nichtselektiven Stichproben (Christopher et al., 2012; van der Sluis et al., 2007) und auf das Leseverständnis und einen allgemeinen Wert für Schriftsprachfertigkeiten bei Kindern mit Leseschwäche (Locascio, Mahone, Eason, & Cutting, 2010; Wang & Gathercole, 2013) nachgewiesen. Die Studie von Monette und Kollegen (2011) ist allerdings die einzige, die für die Altersgruppe der Schuleingangsphase alle drei

exekutiven Funktionen berücksichtigt und somit Aufschluss über deren spezifische Beteiligung am Erwerb der Schriftsprachleistungen geben kann.

Updating und schulische Schriftsprachfertigkeiten

Nevo und Breznitz (2013) beschäftigten sich mit dem Zusammenhang des Arbeitsgedächtnisses, insbesondere der zentralen Exekutive, erfasst im letzten Kindergartenjahr und in der ersten Klasse, auf Dekodierfähigkeiten, Lesegeschwindigkeit und Leseverständnis bei hebräisch sprechenden Erstklässlern. Dabei belegten sie wiederholt den Einfluss zentral-exekutiver Fähigkeiten auf schriftsprachliche Leistungen (vgl. Alloway et al., 2005; Gathercole et al., 2006). Leistungen in Aufgaben zur Erfassung der zentralen Exekutive mit verbalem als auch visuell-räumlichen Material im Kindergarten und solche mit verbalem Material in der ersten Klasse sagten bei Nevo und Breznitz die Leistungen in allen drei Schriftsprachvariablen vorher. Die besonders hohen zeitgleichen Korrelationen zwischen Aufgaben zur zentralen Exekutive mit verbalem Material und den drei Schriftsprachvariablen am Ende der ersten Klasse deuten die Autoren dahingehend, dass mit dem Voranschreiten des Leselernprozesses spezifischere Komponenten des Arbeitsgedächtnisses, jene die der phonologischen Informationsverarbeitung dienen, relevanter als allgemeine Arbeitsgedächtnisleistungen werden. Begrenzend sind die Befunde insofern, als dass weitere exekutive Funktionen nicht geprüft wurden und die Aussagen sich ausschließlich auf Korrelationen begrenzen.

Nicht nur das Lesen, sondern auch das Schreiben scheint durch Leistungen der zentralen Exekutive beeinflusst zu werden. So konnten frühe Schreibfertigkeiten (Verwendung einfacher Grammatik, Schreiben einfacher Geschichten, jeweils eingeschätzt durch Lehrer) vier- und fünfjähriger britischer Vorschulkinder in der Studie von Alloway und Kollegen (2005) durch Leistungen der zentralen Exekutive (Komplexe Spannen, rückwärtige Ziffernspanne) und der phonologischen Bewusstheit (Reimerkennung, Benennung des Anfangslautes) vorhergesagt werden. Allerdings konzentrierte sich diese Arbeitsgruppe ebenfalls auf den Einfluss des Arbeitsgedächtnisses und erfassten keine weiteren exekutiven Funktionen.

Monette und Kollegen (2011) erfassten bei französischsprachigen fünfjährigen Kindern vor der Einschulung Inhibition, zentral-exekutive Leistungen (Rückwärtsspannen-Aufgaben) und Shifting jeweils mit mehreren Aufgaben, welche in einer exploratorischen Faktorenanalyse separate Faktoren ergaben. Zwar korrelierten die Faktoren zentrale Exekutive und Inhibition signifikant mit der allgemeinen schriftsprachlichen Leistung (Lesen von Wörtern, Leseverständnis und Rechtschreibung) am Ende der ersten Klasse ($r = .51$, $r = .24$), doch diese Zusammenhänge

reduzierten sich in einem Mediatormodell bei Berücksichtigung behavioral-affektiver Variablen deutlich. So wurde der zunächst vorhandene direkte Einfluss der zentralen Exekutive komplett durch die Fremdeinschätzung der kindlichen Ärger-/Aggressionsausprägung mediiert. Sowohl die zentrale Exekutive als auch Inhibition zeigten bei Berücksichtigung aller Variablen (Alter, Geschlecht, SÖS und Summenscore aus Zählfertigkeiten, Farb- und Form-, Buchstaben- und Schriftkenntnissen) nur noch schwache, aber signifikante indirekte Effekte über die Ärger-/Aggressionsausprägung auf die schriftsprachliche Leistung ($\beta = .11$ und $\beta = .09$). Relevant hingegen zeigte sich neben der Ärger-/Aggressionsausprägung der Umfang des vorschulischen Wissens über Zahlen, Buchstaben, Farben und Formen.

Christopher und Kollegen (2012) untersuchten in einer Gruppe englisch sprechender 8- bis 16-jähriger Kinder und Jugendlicher die Einflüsse von Arbeitsgedächtnis, Inhibition, allgemeiner Verarbeitungsgeschwindigkeit und dem schnellen Benennen auf das Lesen von Wörtern und das Leseverständnis. Es zeigte sich bei gleichzeitiger Berücksichtigung der vier Prädiktorvariablen im Strukturgleichungsmodell insbesondere die Arbeitsgedächtnisleistung, größtenteils zentral exekutiv erfasst mit komplexen Spannenaufgaben, als relevant für beide Bereiche des Lesens. Sowohl das Lesen einzelner Worte als auch das Lesen und Verstehen ganzer Textabschnitte erfordert somit Aufrechterhaltung und Verarbeitung der gelesenen Information bei gleichzeitiger Verknüpfung mit Inhalten des Langzeitgedächtnisses z.B. zu orthografischen Merkmalen von Wörtern, so die Autoren. Stärker als das Leseverständnis beeinflusste die allgemeine Verarbeitungsgeschwindigkeit, gemessen an der Geschwindigkeit des Mappings von visuellen Stimuli zu Zielreizen, das Lesen von Wörtern. Dieser Befund unterstützt die Annahme, dass die Fähigkeit, visuelle Stimuli schnell mit verbalen Informationen verknüpfen zu können, das Lesen von Wörtern erleichtert. Bezüglich des schnellen Benennens zeigten Christopher und Kollegen einen interessanten Befund: Es fand sich bei der Nutzung alphanumerischen Materials, also Ziffern und Buchstaben, Zusammenhänge zum Lesen von Wörtern, nicht aber bei der Verwendung non-alphanumerischen Materials, also Objekten und Farben. Die Autoren schließen daraus, dass nicht das schnelle Benennen an sich, sondern Kenntnis und Umgang mit Schriftzeichen für den Zusammenhang des schnellen Benennens von alphanumerischen Materials und der Lesefähigkeit sorgen. Entgegen aller Erwartungen und anderer Befunde spielte die Inhibitionsleistung keine signifikante Rolle bei der Vorhersage von Lesefertigkeiten. Die Autoren ziehen folgende Erklärung heran: Studien, die der Inhibition Relevanz zuschreiben, könnten Inhibitionsmaße verwendet haben, die deutlich Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis stellen, so dass vermeintlich der Inhibition zugeordnete Varianz im Kern durch unterschiedliche Arbeitsgedächtnisleistungen entstanden sein könnte. Christopher und Kollegen führten zur

Prüfung dieser Erklärung eine neuerliche Strukturgleichungsmodellierung durch, die lediglich Inhibition, nicht aber die drei weiteren kognitiven Variablen enthielt. In diesem Modell zeigte Inhibition einen deutlichen Einfluss auf das Lesen, welcher im Gesamtmodell aber aufgrund mit anderen kognitiven Variablen geteilter Varianz verschwindet. Dies verweist zurück auf die Untersuchungen von Miyake und Friedmann (2012), die auch im dortigen Strukturgleichungsmodell zeigten, dass nur Updating und Shifting, nicht aber Inhibition eigenständige Varianz behalten, wenn gleichzeitig die geteilte Varianz als Common factor berücksichtigt wird.

Die Altersgruppe der Neun- bis Zwölfjährigen wurde in der niederländischen Studie von van der Sluis und Kollegen (2007) im Hinblick auf die faktorielle Struktur exekutiver Funktionen und deren Zusammenhänge mit der Lesegeschwindigkeit untersucht. Die Arbeitsgruppe setzte für Inhibition, Shifting und Updating jeweils drei bis vier Testverfahren ein sowie zu jedem Verfahren einen Testdurchgang, der zur Kontrolle die Benennungsgeschwindigkeit ohne exekutive Komponente („Naming“) erfasste. Wie bereits im Kapitel zur Struktur exekutiver Funktionen berichtet, zeigten sich in der konfirmatorischen Faktorenanalyse zwei exekutive Faktoren, Shifting und Updating, sowie der Faktor Naming. Die Varianz in der abhängigen Variablen Lesegeschwindigkeit wurde zu 29% durch die Benennungsgeschwindigkeit und zu 4% durch die IQ-Leistung aufgeklärt, der Faktor Updating klärte 6%, Shifting lediglich rund 3% der Varianz auf. Den im Vergleich zu anderen Studien gering ausgeprägten Einfluss des Updating auf die Lesegeschwindigkeit erklären die Autoren damit, dass andere Untersuchungen zusätzlich zu reinen Updating-Aufgaben (z.B. n-back) Aufgaben zur Erfassung der Working memory capacity (z.B. Komplexe Spannen) eingesetzt haben. Der daraus resultierende zusätzliche Anspruch an die Informationsverarbeitung sorgte in der Folge möglicherweise für mehr geteilte Varianz mit schriftsprachlichen Leistungen als van der Sluis und Kollegen mit reineren Updating-Aufgaben zeigen konnten.

Die Arbeitsgruppe von Locascio und Kollegen (2010) hingegen fand keinen Einfluss des Arbeitsgedächtnisses (gemessen mit komplexen Spannaufgaben) bei englischsprachigen Kindern mit Schwierigkeiten im Lesen von Wörtern. Die zunächst vorgefundenen Schwächen im verbalen Arbeitsgedächtnis und der Inhibition wurde bei den 10- bis 14-jährigen Kindern nicht mehr signifikant, sobald die phonologische Informationsverarbeitung kontrolliert wurde. Kinder, denen das Lesen von Wörtern keine Schwierigkeiten bereitete, wohl aber das Leseverständnis, zeigten hingegen im Vergleich zu durchschnittlichen Lesern und Kindern mit Schwächen im Lesen von Wörtern schwache Leistungen in einem Faktor, den Locascio und Kollegen als Planning/Spatial Working Memory bezeichneten. Dieser Faktor enthält Leistungen in einer

räumlichen komplexen Spannenaufgabe, aber auch in der Turm- und der Trail Making-Aufgabe, so dass sich der Faktor aus sehr komplexen Leistungen, u.a. Shifting, Inhibition und Updating, zusammensetzt und wiederum einzelne Wirkmechanismen nicht mehr erkannt werden können.

Wang und Gathercole (2013) konzentrierten sich auf die Arbeitsgedächtnisprofile - phonologische Schleife, visuell-räumlicher Notizblock und zentrale Exekutive - von acht- bis zehnjährigen britischen Kindern mit Leseschwäche. Sie gingen der Frage nach, ob die berichteten Arbeitsgedächtnisdefizite von Kindern mit Leseschwäche durch mangelhafte phonologische Verarbeitungsprozesse oder durch ein Kerndefizit in der zentralen Exekutive verursacht werden. Wang und Gathercole konnten zeigen, dass erstens bei gleichzeitiger Berücksichtigung von phonologischer Schleife und zentraler Exekutive dennoch Defizite in der zentralen Exekutive bestehen blieben und diese Schwächen demzufolge nicht allein auf mangelnde Leistungen der phonologischen Schleife zurückzuführen waren. Gegen eine rein phonologisch verursachte Schwäche zentral exekutiver Leistungen sprach zweitens, dass Kinder mit Leseschwäche sowohl in phonologischen als auch visuell-räumlichen Aufgaben (rückwärtige Ziffernspanne und räumliche komplexe Spanne) zur Erfassung der zentralen Exekutive schlecht abschnitten. Drittens erzielten leseschwache Kinder im Vergleich zu Kindern mit durchschnittlicher Leseleistung eine schlechtere Leistung in Dual-task-Aufgaben. Das in solchen Aufgaben erforderliche Wechseln des Aufmerksamkeitsfokus gehört laut Baddeley (1996) ebenfalls zu den Aufgaben der zentralen Exekutive. Kinder mit schwachen Leseleistungen zeigen demzufolge ausgeprägte Schwächen in der zentral-exekutiven Kontrolle (Wang & Gathercole, 2013). Damit bestätigten die Autoren frühere Befunde, die ebenfalls den Einfluss der zentralen Exekutive in verbalen komplexen Aufgaben neben allgemeinen sprachlichen Leistungen bei 6- bis 11-jährigen leseschwachen Kindern auf die Leseleistung (Summenwert aus Buchstabenkenntnis, Lesen und Rechtschreiben von Wörtern, Leseverständnis) belegten (Gathercole et al., 2006).

1.2.3 Inhibition und schriftsprachliche Leistungen

Inhibitorische Leistungen im Vorschulalter zeigen äußerst heterogene Zusammenhänge mit frühen Buchstabenkenntnissen und dem Erkennen von einsilbigen Wörtern. Die Studien, die der (motorischen) Inhibition Relevanz bescheinigen, berücksichtigen in den statistischen Analysen mit wenigen Ausnahmen zumeist keine zentral-exekutiven/Updating-Leistungen (z.B. Blair & Razza, 2007), welche dem vorigen Abschnitt entsprechend aber als äußerst bedeutsam für schriftsprachliche Leistungen eingeschätzt werden können. Werden Variablen wie beispielsweise die Intelligenz oder eben die zentrale Exekutive berücksichtigt, so erweisen sich diese als bedeutsam, während Inhibitionsleistungen das Signifikanzniveau nicht mehr erreichen (z.B. Brock,

Rimm-Kaufman, Nathanson & Grimm, 2009). Im Grundschulalter findet sich ähnlich dazu der Einfluss von Inhibition auf weniger komplexe Schriftsprachleistungen, wie das Lesen von Wörtern, wenn Updating nicht berücksichtigt wird (Altemaier et al., 2008) bzw. geringe indirekte Einflüsse der Inhibition bei gleichzeitiger Berücksichtigung zentral-exekutiver Leistungen (Monette et al., 2011).

Inhibition und vorschulische Schriftsprachleistungen

McClelland und Kollegen (2007) beschäftigten sich mit dem Einfluss von Verhaltensregulation auf akademische Vorläuferfertigkeiten, darunter Literacy und Wortschatz. Die Arbeitsgruppe untersuchte längsschnittlich englisch sprechende Kinder im Alter von 4;5 Jahren und ein halbes Jahr danach. Sie verwendeten den Head-to-toes-Test, der ihres Erachtens neben der Inhibition des Nachahmens der Bewegung des Testleiters auch Aufmerksamkeit und das Behalten der Regel erfordert, als einziges Maß für die Verhaltensregulation der vierjährigen Kinder. Dieses sagte zum zweiten Messzeitpunkt mit geringer Effektstärke die zeitgleich erfassten Buchstabenkenntnisse und das flüssige Lesen einzelner Worte als auch die rezeptiven und expressiven Wortschatzkenntnisse vorher. Zudem erzielten Kinder, deren Verhaltensregulation deutliche Entwicklungsschübe aufzeigte, auch stärkere Zuwächse in Buchstabenkenntnis, Wortlesen und Wortschatz vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt.

Ähnlich der Studie von McClelland und Kollegen (2007) verwendeten Shaul und Swartz (2014) bei den hebräischen fünf- und sechsjährigen Kindern den Head-to-toes-Test und zusätzlich den Test Statue, um aus diesen beiden Leistungen einen Indikator allgemeiner exekutiver Kontrolle zu erhalten³. Shaul und Swartz interessierten sich für dessen Wirkung auf Schriftsprachvorläuferfertigkeiten, im Speziellen einerseits auf phonologische Bewusstheit und andererseits auf Literacy-Kenntnisse, nämlich Buchstabenkenntnis, Unterscheiden von Schrift von anderen Zeichen, Erkennen einsilbiger Wörter. Der Indikator exekutiver Kontrolle sagte in der Regressionsgleichung bei gleichzeitiger Berücksichtigung von schnellem Benennen, phonologischer Schleife und Wortschatz signifikant die Literacy-Kenntnisse vorher ($R^2 = 12 - 23\%$). Bei der Vorhersage der phonologischen Bewusstheit kam es darauf an, in welchem Schritt die exekutive Kontrolle in die Regression aufgenommen wurde: Ein signifikantes β -Gewicht ergab sich nur bei Aufnahme im ersten ($R^2 = 16\%$) und zweiten Schritt ($R^2 = 10\%$), ansonsten waren das schnelle Benennen und der Wortschatz signifikant. Shaul und Swartz interpretieren den Befund im Hinblick auf den Automatisierungsgrad von Aufgaben zu phonologischer Bewusstheit und

³ Die Studie wird aufgrund der hohen inhibitorischen Anforderungen in den Aufgaben Head-to-toes und Statue dem Abschnitt Inhibition zugeordnet.

Literacy. Während in den von ihnen besuchten Kindergärten die phonologische Bewusstheit häufig Bestandteil vorschulischen Lernens sei, gäbe es weniger Übung bezüglich Literacy-naher Inhalte. Letztere betreffende Fertigkeiten seien deshalb weniger automatisiert und erforderten höheren Einsatz exekutiver Kontrolle (Shaul & Swartz, 2014). Aufgrund der sehr kleinen Stichprobe ($N=54$) und der schmalen Datengrundlage zur Erfassung exekutiver Funktionen sind die Ergebnisse nicht von sehr großer Tragweite. Dennoch geben sie einen Hinweis auf eine moderate Beteiligung von Inhibition auf frühe Schriftsprachvorläufer.

Foy und Mann (2013) betrachten den Einfluss inhibitorischer Kontrolle bei englisch sprechenden fünfjährigen Kindern im Detail. Sie interessierten sich für die Frage, ob die Art des zu inhibierenden Materials - verbal vs. nonverbal - für unterschiedliche Prädiktivität der frühen Lesefertigkeiten sorgt. Die Autorinnen integrierten deshalb in eine Continuous Performance-Aufgabe als Stimuli einerseits Hundebellen versus Glockenklingen und andererseits die Silben /ba/ versus /pa/. Die Anzahl falscher Reaktionen in dieser Aufgabe galt als Maß der Inhibition, dessen Einfluss auf einen Summenwert der Lesefähigkeit, zusammengesetzt aus Buchstabenkenntnis, phonologischer Bewusstheit und dem Lesen von Wörtern und Kunstwörtern, geprüft werden sollte. Geringe Lesefertigkeiten gingen mit geringen Fähigkeiten in der Inhibition verbaler Distraktoren einher, aber auch mit hohen Inhibitionsleistungen bei nonverbalen Distraktoren. Letzteres kann auf den deutlich geringeren Schwierigkeitsgrad der Version mit nonverbalen Stimuli durch die bessere Unterscheidbarkeit von Stimuli und Distraktor zurückgeführt werden, so Foy und Mann. Betrachtet man das Korrelationsmuster von Inhibition und den separaten Variablen Buchstabenkenntnis, phonologische Bewusstheit und Lesen von Wörtern, bestanden die einzigen zusätzlichen signifikanten Korrelationen zwischen der nonverbalen und der verbalen Inhibitionsleistung und dem Lesen von Wörtern (nonverbal $r = .42$ vs. verbal $r = -.50$). Inhibition korrelierte weder mit der phonologischen Bewusstheit noch mit der Buchstabenkenntnis signifikant. Beachtenswert ist zudem, dass bei gleichzeitiger Kontrolle der phonologischen Schleife durch die Aufgabe Ziffernsparne vorwärts, nicht aber der zentralen Exekutive (rückwärtige Ziffernsparne), der Zusammenhang von Inhibition und Lesen verschwand (Foy & Mann, 2013).

Inhibition spielte auch bei Blair und Razza (2007) eine Rolle bei der Vorhersage phonologischer Bewusstheit und Buchstabenkenntnis bei englisch sprechenden Vorschulkindern aus unteren Einkommensschichten. Sie berücksichtigten mit der Aufgabe Peg-tapping ein Maß für motorische Inhibition. Die im Alter von 6;2 Jahren erhobene inhibitorische Leistung leistete in der Regression neben fluider Intelligenz einen signifikanten Beitrag zur Varianzaufklärung in der zeitgleich erfassten phonologischen Bewusstheit ($\beta = .27$). Auch auf die Buchstabenkenntnis nahm die

zeitgleich erhobene Inhibition neben Wortschatz, Erziehereinschätzung des kindlichen Verhaltens und Theory of mind signifikanten Einfluss ($\beta = .17$). Wichtige Einflussquellen, wie die des Updatings, wurden in der Untersuchung allerdings nicht berücksichtigt.

Keine Hinweise auf die Beteiligung inhibitorischer Leistungen hingegen fanden Lan, Legare, Ponitz, Li und Morrison (2011) in der vergleichenden Untersuchung der basalen Leseleistung amerikanischer und chinesischer Vorschulkinder. Zwar korrelierten das Inhibitionsmaß (Head-to-toes-Aufgabe) signifikant mit dem Lesen von Wörtern und der Buchstabenkenntnis in beiden Ländern und eine komplexe Spannaufgabe zur Erfassung des Arbeitsgedächtnisses mit der Leseleistung chinesischer Kinder, doch gingen diese Zusammenhänge in der Regression zurück. Während weiterhin die Arbeitsgedächtnisleistung und die ebenfalls erfasste Daueraufmerksamkeit die Leseleistung chinesischer Erstleser vorhersagte, war lediglich die Daueraufmerksamkeit ein Prädiktor mäßiger Höhe bei amerikanischen Kindern. Lan und Kollegen erklären den Befund damit, dass das Erkennen von Buchstaben und Wörtern in englischer Sprache durch den automatisierten Abruf aus dem Langzeitgedächtnis erfolgen konnte und somit keine zusätzliche exekutive Kontrolle erforderlich war. Das im Vergleich deutlich komplexere chinesische Schriftsystem hingegen erfordere deutlich mehr exekutive Kontrolle. Die Autoren verwendeten allerdings auch nur ein einzelnes, motorische Inhibition erforderndes Verfahren als Indikator inhibitorischer Leistung, was aufgrund der Antwortmodalität für den geringen Zusammenhang mit der kognitiven Leistung verantwortlich sein könnte.

Auch Brock und Kollegen (2009) konnten keinen Einfluss der motorischer Inhibition, erfasst durch Peg-tapping und Anpassung der Gehgeschwindigkeit, auf die Buchstabenkenntnis und das Lesen von Wörtern bei Vorschulkindern mit Englisch als Muttersprache erkennen. Einfluss nahmen in den Regressionsanalysen lediglich die ein halbes Jahr zuvor erhobene Buchstabenkenntnis und Wortlesefähigkeit als auch die allgemeine Intelligenz. Der gleiche Befund ergab sich bei Davidse, de Jong, Bus, Huijbregts und Swaab (2011) bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Home Literacy, Intelligenz, phonologischer Schleife und Daueraufmerksamkeit.

Offen bleibt, welche Zusammenhänge sich ergeben hätten, wenn anstelle der motorischen Reaktionen kognitive inhibitorische Reaktionen erfasst worden wären. Inhibitionsaufgaben mit motorischen Reaktionskomponenten sind zwar einerseits weniger durch sprachliche Fertigkeiten der Kinder konfundiert, zeigen aber eventuell aufgrund der unterschiedlichen Modalitäten geringere Zusammenhänge mit kognitiven Leistungen. Dieser Argumentation nach würden die vorliegenden Ergebnisse den Einfluss der Inhibition unterschätzen. Andererseits ist aber auch

denkbar, dass das ‚Lesen‘ von einsilbigen bekannten Wörtern weniger an einen anspruchsvollen Dekodierprozess geknüpft ist, sondern auf visuellem Wiedererkennen basiert. Während der Dekodierprozess eindeutig anspruchsvoll ist und kognitive Kontrolle erfordert, ist ein Wiedererkennen einsilbiger Wörter möglicherweise stärker an schnelle Abrufmöglichkeiten aus dem Langzeitgedächtnis geknüpft und erfordert entsprechend geringeren Einsatz inhibitorischer Kontrolle (vgl. Shaul & Swartz, 2014).

Inhibition und schulische Schriftsprachleistungen

In der Studie von Altemaier und Kollegen (2008) wurden wiederum englischsprachige Kinder längsschnittlich von der ersten bis zur vierten, bzw. der dritten bis sechsten Klasse zum Zweck der Vorhersage schriftsprachlicher Leistungen begleitet. Die Regressionen von zeitgleich erhobener Inhibition (Farb-Stroop) und Shifting auf die Lesegenauigkeit und die Lesegeschwindigkeit auf Wortebene, das textbezogene Leseverständnis, die Rechtschreibung und den schriftlichen Ausdruck ergaben, dass beide signifikant zur Vorhersage beitragen, nicht aber ein kombiniertes Maß aus beiden exekutiven Funktionen. Ebenso sagte das Wachstum in beiden exekutiven Funktionen, am stärksten das Wachstum in der Shifting-Aufgabe, die schriftsprachlichen Leistungen in der vierten Klasse vorher. Ein interessanter Befund der Studie ist, dass bei jüngeren Kindern exekutive Funktionen zeitunabhängige Lesefertigkeiten, bei älteren Kindern hingegen zeitabhängige Lesefertigkeiten beeinflussten. Die Autoren erklärten dieses Ergebnis damit, dass bei Leseanfängern das Dekodieren im Vordergrund steht, ein Prozess, der durch erfolgreiches Inhibieren von irrelevanten phonologischen Informationen und dem schnellen Wechsel zwischen Buchstabe und gesamtem Wort erleichtert wird. Je automatisierter dieser Prozess wird, desto größer wird laut Altemaier und Kollegen die Rolle exekutiver Funktionen in Bezug auf die Effizienz, welche sich in der Lesegeschwindigkeit zeigt. Den schwächsten Einfluss von Inhibition und Shifting fanden die Autoren für das Textverständnis. Daraus schlussfolgern sie, dass basale exekutive Funktionen schriftsprachliche Leistungen auf Wortebene beeinflussen, während für komplexere schriftsprachliche Leistungen auch komplexere exekutive Funktionen von größerer Prädiktivität sein könnten.

Anders als bei Altemaier und Kollegen (2008) wurde in der französischen Studie von Monette und Kollegen (2011) neben Inhibition auch die zentrale Exekutive, sowie Alter und Geschlecht, der sozioökonomische Status und ein Summenscore allgemeinen Wissens aus Zählfertigkeiten, Farb- und Form-, Buchstaben- und Schriftkenntnissen berücksichtigt. Dabei reduzierte sich der Einfluss der Inhibition auf schwache, aber signifikante indirekte Effekte auf die allgemeine schriftsprachliche Leistung ($\beta = .09$).

Van der Sluis und Kollegen (2004) fanden bei Kindern der vierten und fünften Klasse mit niederländischer Muttersprache keine Unterschiede in den verwendeten Inhibitions- und Shiftingmaßen zwischen Kindern mit einer Lese-Rechtschreibschwäche und Kindern aus einer alters- und IQ-gematchten Kontrollgruppe, wohl aber stellten sie fest, dass lese- und rechtschreibschwache Kinder langsamer als Gleichaltrige Buchstaben, Ziffern und Objekte benennen.

1.2.4 Shifting und schriftsprachliche Leistungen

Ähnlich der Untersuchungen im mathematischen Bereich ist auch in der Schriftsprachdomäne der Einfluss des Shiftings die Facette exekutiver Funktionen, die zum einen am seltensten untersucht wurde bzw. die zum anderen eher geringe Zusammenhänge mit Lese- und Rechtschreibleistungen zeigt (z.B. van der Sluis et al., 2007). Es fehlt insbesondere an Untersuchungen des Shiftings vor und zu Beginn der Grundschulzeit, was mit der entwicklungsabhängigen schwierigeren Erfassung des Shifting zusammenhängt, sowie an Untersuchungen, die neben dem Shifting weitere exekutive Funktionen und Kontrollvariablen berücksichtigen. Die wenigen vorhandenen Befunde werden im folgenden zusammengefasst.

Shifting und schulische Schriftsprachfertigkeiten

Der Einfluss von Shifting auf akademische Leistungen und somit auch auf das Lesen stand im Mittelpunkt der Metaanalyse von Yeniad und Kollegen (2013). Die Arbeitsgruppe konnte über eine Altersspanne von fünf bis zwölf Jahren hinweg eine signifikante Korrelation von $r = .21$ zwischen Shifting- und Leseleistungen nachweisen. Die Korrelationshöhe blieb deutlich unter der des Zusammenhangs von Intelligenz und Lesen ($r = .43$), sowie des Zusammenhangs von mathematischen Fertigkeiten und Lesen ($r = .56$). Shifting hat dieser Studie zufolge zwar Einfluss auf die Leseleistung im Allgemeinen, jedoch lediglich in eher moderater Höhe. Zudem ist das Ergebnis wenig belastbar, da nicht angegeben wird, inwiefern die zugrunde liegenden Studien weitere exekutive Funktionen mit berücksichtigt haben. Insofern bleibt unklar, welcher Anteil der geteilten Varianz tatsächlich auf die reine Shifting-Komponente und nicht auf mit anderen kognitiven Funktionen geteilte Varianz („Diversity“; s. Miyake et al., 2000; Yeniad et al., 2013) zurückgeht.

Die bereits oben angesprochene Studie von Altemaier und Kollegen (2008) berücksichtigte neben Shifting auch Inhibition, sodass zumindest die getrennten Varianzanteile dieser beiden exekutiven Funktionen erfasst werden konnten. Shifting wurde mit einer Aufgabe, die ein abwechselndes schnelles Benennen von Wörtern (Artikel, Präpositionen, Pronomen) und

zweistelligen Ziffern und einer Shifting-Version des Farb-Stroop, bei der zwischen dem Benennen der Schriftfarbe und des Farbwortes abgewechselt werden muss, erfasst. Dieses Maß trug in den Regressionen signifikant zur Vorhersage von Lesen und Schreiben auf Wortebene, aber nur schwach zur Vorhersage des Leseverständnisses bei. Das Wachstum in dieser exekutiven Funktion von der ersten bis zu vierten Klasse sagte deutlich die schriftsprachlichen Leistungen in der vierten Klasse englischsprachiger Schulkinder vorher. Es wurden allerdings keine Verfahren zur Erfassung des Updating und auch keine weiteren Kontrollvariablen, z.B. zur Kontrolle der Benennungsgeschwindigkeit, verwendet.

In der Studie von van der Sluis und Kollegen (2007) konnte der Shifting-Faktor lediglich rund 3% der Varianz in der Lesegeschwindigkeit bei neun- bis zwölfjährigen Kindern aufklären. Mit rund einem Drittel aufgeklärter Varianz zeigte sich die Benennungsgeschwindigkeit deutlich einflussreicher, während allerdings auch das Updating nur wenig Varianz erklären konnte (6%).

Bei Monette und Kollegen (2011) zeigte Shifting (Trail Making und Kartensortieraufgabe) bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Inhibition und Updating hingegen keine Zusammenhänge mit dem Lesen von Wörtern, Leseverständnis und der Rechtschreibleistung von Erstklässlern.

1.3 ZUSAMMENFASSUNG

Der Überblick über den Einfluss exekutiver Funktionen auf schriftsprachliche Leistungen zeigt, dass die Befundlage mit Ausnahme der Untersuchung zentral-exekutiver Einflüsse (z.B. Alloway et al., 2005) und allgemeiner exekutiver Kontrolle auf schriftsprachliche Leistungen (Neuenschwander et al., 2012) lückenhaft ist. Die wenigen vorhandenen Befunde zu Inhibition und Shifting (und zu reinem Updating) berichten in Abhängigkeit von berücksichtigten Kontrollvariablen heterogene Ergebnisse. Signifikante Einflüsse von Inhibition finden sich beispielsweise, wenn zentral-exekutive bzw. Updating-Leistungen nicht kontrolliert werden (Blair & Razza, 2007) und von einem Shifting-Maß, das vermutlich hauptsächlich durch die Speed- und nicht die Shifting-Komponente auf die Lesegeschwindigkeit wirkt (Altemaier et al., 2008). Zudem fehlt es an Studien, die den Einfluss exekutiver Funktionen auf frühe schriftsprachliche Leistungen inklusive spezifischer Vorläuferfertigkeiten untersuchen. Die Studie von Monette und Kollegen (2011) ist die einzige, die für die Altersgruppe rund um die Schuleingangsphase alle drei exekutiven Funktionen berücksichtigt, die aber nur auf eine recht kleine Stichprobe ($N = 85$) aufbaut. Des Weiteren ist der Anteil an deutschsprachigen Untersuchungen zu gering, als dass belastbare Aussagen über die möglicherweise differenten Einflüsse exekutiver Funktionen auf

schriftsprachliche Leistungen bei Berücksichtigung wichtiger Vorläuferfertigkeiten in einer Sprache mit konsistenter Orthografie getroffen werden können.

1.4 FRAGESTELLUNGEN UND HYPOTHESEN

Um diese offenen Fragen klären zu können, verfolgt die vorliegende Studie das Ziel, die separaten Einflüsse von Updating, Inhibition und Shifting bei gleichzeitiger Berücksichtigung wichtiger Kontrollvariablen wie beispielsweise der Benennungsgeschwindigkeit auf schriftsprachliche Vorläuferfertigkeiten und die Lesegeschwindigkeit, das Leseverständnis und die Rechtschreibung am Ende der ersten Klasse aufzuzeigen. Da das letzte Kindergartenjahr und der Übergang in die Grundschule von großen Lernfortschritten geprägt ist, wird erwartet, dass exekutive Funktionen ähnlich wie in der mathematischen Domäne (z.B. Bull et al., 2008) auch in den ersten Phasen des Schriftspracherwerbs von Bedeutung sind (vgl. Roebers et al., 2012; Welsh et al., 2010), weshalb es sinnvoll erscheint, aus vorschulisch erfassten exekutiven Funktionen Vorhersagen auf schriftsprachliche Leistungen in der Schuleingangsphase zu treffen.

Es wird zunächst davon ausgegangen, dass exekutive Funktionen die Lesegeschwindigkeit von Wörtern, das Leseverständnis und die Rechtschreibung am Ende der ersten Klasse bedeutsam beeinflussen. Dies könnte für das Leseverständnis und das Rechtschreiben stärker gelten als für die Dekodierfähigkeiten, da erstere sehr komplexe Prozesse sind, welche am Ende der ersten Klasse noch nicht automatisiert ablaufen und deshalb verstärkt exekutiver Kontrolle bedürfen.

Auf der Ebene einzelner exekutiver Funktionen werden leicht unterschiedliche Einflüsse auf die drei abhängigen Schriftsprachbereiche Lesegeschwindigkeit, Leseverständnis und Rechtschreiben erwartet. Entsprechend der in Kapitel III. *Einfluss exekutiver Funktionen auf mathematische Leistungen von Erstklässlern* faktorenanalytisch gezeigten zweifaktoriellen Struktur exekutiver Funktionen sollen die Zusammenhänge des Faktors Updating und des Faktors Shifting und Inhibition mit den schriftsprachlichen Leistungen geprüft werden.

Es wird davon ausgegangen, dass *Inhibition* (Hemmen der vorherrschenden/dominanten Reaktion) und *Shifting* (Wechseln des Aufmerksamkeitsfokus bzw. des Mental sets) sich hauptsächlich auf die beiden komplexeren abhängigen Variablen *Leseverständnis* und *Rechtschreiben* auswirken. Inhibition und Shifting sollten in diese Prozesse involviert sein, da sie beispielsweise den Wechsel zwischen verschiedenen Wortrepräsentationen (z.B. „Wal“/ „Wahl“), der angemessenen Strategie zur schriftlichen Umsetzung (alphabetische vs. orthografische Strategie) und das Wechseln zwischen unterschiedlichen bedeutungstragenden Sprachelementen

wie Lauten, Morphemen, ganzen Wörtern und Sätzen erleichtern. Möglicherweise ist bei den ersten Rechtschreibversuchen am Ende der ersten Klasse ein besonders reflexives Vorgehen erforderlich, da zum einen beim Schreiben gleich klingende Laute z. T. durch unterschiedliche Grapheme verschriftlicht werden und zum anderen aufgrund der lautgetreuen Lehrmethode in der Schuleingangsphase die bis dahin dominante lautgetreue zugunsten einer allmählich bekannten grammatikalisch korrekten Schreibweise unterdrückt werden muss.

Für den Faktor *Updating* werden Einflüsse auf alle drei schriftsprachlichen Leistungen erwartet. So sollte Updating (Überwachen, Kodieren und Prüfen der aktuellen Relevanz neu eingehender Informationen) je nach Automatisierungsgrad des Dekodierprozesses relevant für die *Lesegeschwindigkeit* sein, da beim Erlesen eines Wortes zum einen die bereits entschlüsselten Phoneme in der phonologischen Schleife bzw. die Grapheme im visuell-räumlichen Notizblock mit Informationen aus dem Langzeitgedächtnis verknüpft werden (Graphem-Phonem-Verknüpfung; bei orthografischer Strategie Verknüpfung mit grammatikalischem Wissen um Wortstamm, Vorsilben etc.) und zum anderen Lautfolgen aktualisiert werden müssen (Verwerfen von einzelnen Graphem-Phonem-Korrespondenzen, wenn diese zu größeren Einheiten zusammengefügt werden, z.B. bei Wort „Stuhl“: /s/ und /t/ muss zugunsten von /scht/ verworfen werden). Auf das *Leseverständnis* sollte sich Updating ebenfalls auswirken, indem das Aufrechterhalten relevanter Informationen in der phonologischen Schleife und das Verknüpfen mit Informationen aus dem Langzeitgedächtnis wie z.B. inhaltlichem Vorwissen oder Syntaxwissen, zur Sinnerschließung und Aufrechterhaltung wesentlicher Informationen beim weiteren Lesen dienen. Es lassen sich Übereinstimmungen zwischen dem Vorgang des Leseverstehens und der zur Erfassung der zentralen Exekutive eingesetzten Aufgabe Komplexe Satzspanne finden: Beides erfordert Sätze zu lesen, anschließend eine weitere kognitive Anforderung zu erfüllen, indem z.B. weiter gelesen wird, und im Anschluss dennoch wichtige Informationen aus allen gelesenen Sätzen zu erinnern. Auch auf das *Rechtschreiben* sollte sich Updating auswirken, denn auch dieses erfordert die Verknüpfung phonologischer Information mit im Langzeitgedächtnis abgespeichertem grammatikalischem Wissen und das Aktualisieren noch zu verschriftlichender Laute.

Exekutive Kontrolle als grundlegender Top-down-Prozess sollte aber nicht nur relevant für Lesen und Rechtschreiben selbst, sondern auch für die Ausprägung der Prädiktoren, d.h. phonologische Bewusstheit, Grammatik und Buchstabenkenntnis, sein.

Phonologische Bewusstheit zeigt sich in einem Verständnis für den Aufbau der Sprache aus einzelnen Bausteinen, wie Lauten und Silben. Vorstellbar ist, dass *Inhibition* und *Shifting* ein

Zergliedern der Sprache in diese Einzelsegmente erleichtert, indem es einerseits leichter fällt, sich auf einzelne Elemente zu fokussieren (z.B. bei Alliteration nur auf Anfangslaute zu achten, bei Restwortbestimmung den Anfangslaut zu inhibieren) und andererseits die auditive Information flexibel nach typischen Lautstrukturen abzusuchen (z.B. abwechselnd auf Anfangs-/Endlaut oder regelmäßige Lautgruppen zu achten). Der Abgleich von Wortähnlichkeiten erfordert ein beständiges Aktualisieren der Arbeitsgedächtnisinhalte durch Aufrechterhalten versus Verwerfen, so dass auch *Updating* eine Rolle in der phonologischen Bewusstheit spielen sollte (z.B. bei Reimaufgabe „Bass - Fass - Mann - Hass“: „Bass“, „Fass“ und „Hass“ vergleichen und aufrechterhalten, „Mann“ aufgrund der Unähnlichkeit verwerfen).

Auch für die *grammatikalische Entwicklung* sollten exekutive Funktionen bedeutsam sein. So müssen in deren Zuge verschiedene grammatikalische Gesetzmäßigkeiten auf Wort- und Satzebene verinnerlicht werden und Anwendung finden, wie beispielsweise der morphematische Aufbau (z.B. „Baum“ - „Bäume“) oder Syntax (z.B. „Wenn Du Deine Hausaufgaben gemacht hast, dann darfst Du spielen gehen.“). *Inhibition* und *Shifting* helfen möglicherweise bei der Fokussierung auf wesentliche Wort-/Satzelemente (Wortstamm „Baum“; „Wenn - dann“ - Bedeutung) und das flexible Anwenden verschiedener Regeln auf eine grammatikalisch korrekte Sprache (z.B. unterschiedliche Regeln bei der Bildung von Singular- und Pluralform: „Satz-Sätze“, „Suppe-Suppen“, „Sieger-Sieger“). *Updating* könnte sich positiv auf eine grammatikalisch korrekte aktive Sprache und grammatikalisches Verständnis in der passiven Sprachwahrnehmung auswirken, da es hilfreich ist, grammatikalisch relevante Bestandteile über den gesamten Verlauf eines Satzes aufrechtzuerhalten und irrelevante Aspekte zu verwerfen.

Für die *Kenntnis von Buchstaben* ist eventuell eine weniger tiefe Verarbeitung als für das grammatikalische Verständnis und das Verständnis für den Aufbau der Sprache notwendig. Dennoch sollte das Wechseln von visuellem Graphem zu auditivem Phonem und umgekehrt durch gute *Shifting*-Fähigkeiten erleichtert werden. Die Diskriminierung von visuell und phonologisch ähnlichen Buchstaben, wie beispielsweise /b/ versus /d/, könnte durch eine gute *Inhibition* positiv beeinflusst werden. Insbesondere wird aber erwartet, dass sich *Updating* als relevant für das Erlernen des Alphabets erweist, da ein schnelles Aktualisieren von Informationen es erleichtern sollte, eine festgelegte Abfolge von Informationen wie das Alphabet zu erlernen und sich in dieser zurechtzufinden, beispielsweise beim Aufsagen des Alphabets ab der Mitte und des Verknüpfens mit der entsprechenden Seriation von Graphemen.

Es wird des Weiteren erwartet, dass die direkten Einflüsse exekutiver Funktionen auf die schulischen Schriftsprachfertigkeiten zwar deutlich zurückgehen, aber weiterhin bestehen

bleiben, wenn gleichzeitig die Einflüsse der phonologischen Bewusstheit, Grammatik und Buchstabenkenntnis als auch von der Benennungsgeschwindigkeit von Objekten und der phonologischen Schleife auf die Lesegeschwindigkeit, das Leseverständnis und die Rechtschreibung berücksichtigt werden. Bezüglich dieser Prädiktoren wird davon ausgegangen, dass die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne als Vorläuferfertigkeit die phonologische Bewusstheit im engeren Sinne beeinflusst, welche wiederum die Lese- (Dekodier-) Geschwindigkeit und die Rechtschreibleistung beeinflussen sollte. Ein gut ausgeprägtes vorschulisches grammatikalisches Verständnis sollte sich auf das Verständnis größerer Einheiten, hier das Satzverständnis, und die Rechtschreibleistung übertragen. Buchstabenkenntnis sollte als proximale Variable auf alle drei schulischen Schriftspracheleistungen Einfluss nehmen, während die Benennungsgeschwindigkeit von Objekten sich als Maß der phonologischen Informationsverarbeitung (Torgesen, Wagner, Rashotte, Burgess & Hecht, 1997) eher auf die Lesegeschwindigkeit und das Leseverständnis auswirken sollte. Die phonologische Schleife dient der Aufrechterhaltung phonologischer Informationen und sollte deshalb sowohl auf die Lesegeschwindigkeit, das Leseverständnis und die Rechtschreibleistung Einfluss nehmen, da in allen drei Fertigkeiten ein ebensolches kurzzeitiges Speichern der relevanten phonologischen Information notwendig ist.

2. METHODE

2.1 STICHPROBE UND UNTERSUCHUNGSDESIGN

In die statistische Auswertung gehen analog zur Untersuchung in Kapitel III. *Einfluss exekutiver Funktionen auf mathematische Leistungen von Erstklässlern* Daten aus der Längsschnittstudie ein, die Kinder vom vorletzten Kindergartenjahr bis zum Ende der ersten Klasse begleitet hat. Es wurden alle Kinder in die Studie aufgenommen, deren Eltern ein Einverständnis zur Studienteilnahme abgaben. Die resultierenden $N = 262$ Kinder verteilten sich auf 34 städtische und ländliche Kindergärten und nach der Einschulung auf 46 Schulen. Von den insgesamt im Rahmen der Längsschnittstudie durchgeführten sechs Messzeitpunkten sind für die folgenden Auswertungen vier Messzeitpunkte relevant, die sich über das letzte Kindergartenjahr und die erste Klasse verteilen. Im Vorschuljahr wurden die Kinder im Oktober/November 2011 ($M = 5;8$ Jahre, $SD = 3.5$ Monate, Range: 5;2 bis 6;5 Jahre) und im Mai/Juni 2012 ($M = 6;3$ Jahre) untersucht. Der anschließende Messzeitpunkt fand zu Beginn der ersten Klasse statt (Oktober/November 2012 [$M = 6;8$ Jahre]) und der vorerst letzte Messzeitpunkt dieser Untersuchung am Ende der ersten Klasse im Mai/Juni 2013 ($M = 7;3$ Jahre, $SD = 3;5$ Monate, Range: 6;8 bis 7;8 Jahre). An diesem Messzeitpunkt nahmen noch 220 Kinder (119 Jungen, 101

Mädchen) teil. Informationen zum Bildungsstatus und der Familiensprache befinden sich ebenfalls in Kapitel III. *Einfluss exekutiver Funktionen auf mathematische Leistungen von Erstklässlern*.

Während die Erhebungen im Kindergarten in Einzeltestungen durchgeführt wurden, fanden die Untersuchungen in der Grundschule meist in Kleingruppen statt. Die Abfolge der Testverfahren war sowohl im Kindergarten als auch in der Schule standardisiert. Die Testverfahren wurden im Kindergarten auf vier halbstündige Sitzungen und in der Grundschule auf eine Doppel- und eine Einzelstunde aufgeteilt. Die Untersuchungen wurden von geschulten studentischen Hilfskräften, der Verfasserin sowie einer weiteren Projektmitarbeiterin durchgeführt.

2.2 TESTVERFAHREN

Zur Erfassung der *exekutiven Funktionen* wurden die aus Kapitel III. *Einfluss exekutiver Funktionen auf mathematische Leistungen von Erstklässlern* bekannten Testverfahren eingesetzt und werden wiederholend nur in Kürze genannt.

Zur Erfassung von *Inhibition* wurden die Stroop-Aufgabe aus dem BISC (Jansen et al., 2002) und die an die Knock-and-Tap-Aufgabe aus der NEPSY (Korkman et al., 1998) angelehnte Hand-Aufgabe durchgeführt. Die Stroop-Aufgabe erforderte die Nennung der korrekten Farbe von falschfarbigen Obst- und Gemüsebildern, während die Hand-Aufgabe motorische Reaktionen mit entgegengesetzter beziehungsweise komplett unterdrückter Handbewegung erforderte.

Shifting wurde durch die Leistung in der Kartenshifting-Aufgabe *DCCS* (Zelazo, 2006) abgebildet, bei der Kinder Bildkarten nach wechselnden Regeln sortieren mussten. Als zweites Verfahren zur Erfassung des Shiftings wurde der Test Auditory Attention and Response Set aus der NEPSY (Korkman et al., 1998) verwendet, der wechselnde Reaktionen auf auditive Stimuli erforderte.

Die *Updating*-Komponente wurde ebenfalls mit zwei Testverfahren abgebildet. Zum einen wurde die 2-back-Aufgabe Picture memory task in Anlehnung an Miyake und Kollegen (2000) verwendet, bei der Kinder in einer Sequenz von acht Bildern nach jedem Erscheinen eines neuen Bildes jeweils die aktuell letzten beiden Bilder benennen mussten. Bei der Aufgabe Komplexe Objektspanne aus der AGTB (Hasselhorn et al., 2012) mussten Kinder jedes Objekt einer Bildsequenz zunächst auf Essbarkeit beurteilen und anschließend alle Objekte einer Sequenz erinnern.

Des Weiteren wurden Testverfahren zur Erfassung von *phonologischer Bewusstheit* im weiteren und engeren Sinne, dem schnellen Abruf aus dem Langzeitgedächtnis, dem phonologischen Speicher, der Grammatik und der Buchstabenkenntnis eingesetzt, um wichtige *Prädiktoren* schriftsprachlicher Leistung kontrollieren zu können.

Phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne wurde mit den Aufgaben Reimproduktion und Reimaufgabe (angelehnt an Bradley und Bryant, 1985) erfasst. Erstere Aufgabe erforderte das aktive Reimen zu vorgegebenen Wörtern, wie beispielsweise dem Wort „See“. Bei der Reimaufgabe mussten die Kinder heraushören, welches der vier vorgegebenen Wörter sich nicht reimt (z.B. „Bass – Fass – Hass – Mann“).

Zur Erfassung der *phonologischen Bewusstheit im engeren Sinne* wurden die Testverfahren Anlautvergleich und Phonemsynthese (beides aus Roth, 1999) eingesetzt. Der Test Anlautvergleich erforderte den Vergleich der Anfangslaute von vier in Bildern dargestellten Wörtern mit dem Anfangslaut eines vom Testleiter genannten Zielwortes und das Ankreuzen des passenden Bildes. Bei dem Test Phonemsynthese mussten Kinder die vom Testleiter vorgesprochenen Laute (z.B. „/B/ - /U/ - /CH/“) zu einem Wort zusammensetzen und das entsprechende Bild in einer Auswahl von vier Bildern ankreuzen.

Der *schnelle Abruf aus dem Langzeitgedächtnis* wurde durch schnelles Benennen von 18 den Kindern wohlbekannten einsilbigen Objekten untersucht (angelehnt an Goswami et al., 1999). Da alle Objekte dem Kind bekannt sind, wurde die Bearbeitungszeit als Indikatorvariable genutzt.

Zur Erfassung der *phonologischen Schleife* wurden wiederum zwei Testverfahren eingesetzt. Der Test Kunstwörter nachsprechen (Grimm, Aktas & Kießig, 2003) erforderte die Wiedergabe von Wörtern mit ansteigender Silbenanzahl wie beispielsweise „Krapse-Listong“. Im Test Wortspanne vorwärts (Wortmaterial entnommen aus Hasselhorn et al., 2012) wurden den Kindern eine Wortsequenz mit einer ansteigenden Anzahl von zwei bis sieben einsilbigen Wörtern vorgesprochen, welche in der gleichen Reihenfolge wiederholt werden musste.

Mit dem Testverfahren Bildung von Ableitungsmorphemen aus dem Heidelberger Sprachentwicklungstest (H-SET; Grimm & Schöler, 1991) wurde die sprachliche Entwicklung der Kinder bezüglich ihrer *Grammatikkenntnisse* überprüft. In diesem Testverfahren mussten die Kinder aus einem vorgegebenen Verb Nomen (z.B. ‚backen‘ – ‚Bäcker‘) und aus einem gegebenen Nomen die Verkleinerungsform (z.B. ‚Brot‘ – ‚Brötchen‘) ableiten. Verwendung fanden neben realen Wörtern auch Kunstwörter (z.B. ‚wucken‘ - ‚Wucker‘), um auch unabhängig vom Wortschatz grammatikalische Fähigkeiten erfassen zu können.

Um die *Buchstabenkenntnis* der Kinder zu erfassen, wurden den Kindern alle Buchstaben des Alphabets in gemischter Reihenfolge als Großbuchstaben gezeigt und diese sollten benannt werden.

Zum Ende des ersten Schuljahres wurden zur Erfassung der *schulischen Lese- und Rechtschreibfähigkeiten* drei Testverfahren eingesetzt.

Die *Lesegeschwindigkeit* wurde mit der Würzburger Leise Leseprobe (WLLP-R; Schneider, Blanke, Faust & Küspert, 2011) erfasst. In diesem Testverfahren musste ein geschriebenes Wort gelesen und das entsprechende Bild aus einer Auswahl von vier Bildern angekreuzt werden. In der maximalen Bearbeitungszeit von fünf Minuten konnten insgesamt 140 Wörter erlesen und zugeordnet werden.

Das *Leseverständnis* wurde mit dem Satzverständnistest aus dem Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler (ELFE; Lenhard & Schneider, 2006) geprüft. In diesem Test ist an einer Stelle eines Satzes eine Auswahl von fünf Wörtern gegeben, aus der das den Satz logisch komplettierende Wort ausgewählt werden muss. Den Erstklässlern wurden drei Minuten Zeit gegeben, in denen von insgesamt 28 Sätzen so viele Sätze wie möglich gelesen und bearbeitet werden mussten.

Die *Rechtschreibung* der Kinder wurde mit dem Deutschen Rechtschreibtest für das erste und zweite Schuljahr (DERET 1-2+; Stock & Schneider, 2008) untersucht. Dieser besteht aus einem Lückentext-Diktat mit sechs fehlenden Wörtern und einem Textdiktat im Umfang von vier Sätzen, wobei die Wörter jeweils dem Grundwortschatz entstammen. Der Summenwert beider Subtests berechnet sich aus der Summe aller orthografisch inklusive Groß- und Kleinschreibung korrekt geschriebener Wörter.

3. ERGEBNISSE

3.1 DESKRIPTIVE STATISTIK

In Tabelle 4 finden sich die deskriptiven Statistiken zu den erhobenen Variablen. Eine Normalverteilung der Daten konnte mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test für die Testverfahren Stroop-Aufgabe, Picture memory task und WLLP-R nachgewiesen werden. Die restlichen Testverfahren wichen signifikant von der Normalverteilung ab ($p < .01$). Die Kurtosis und die Schiefe der Verteilungen blieben mit Ausnahme der Koeffizienten der Handaufgabe deutlich unter den Grenzwerten von 7 bzw. 2 (West et al., 1995), so dass davon ausgegangen wird, dass die

Voraussetzungen für Strukturgleichungsmodellierungen dennoch auch für diesen Untersuchungsteil erfüllt sind.

Neben den Deckeneffekten in der Handaufgabe erwiesen sich Aufgaben zur phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinne als auch im engeren Sinne als relativ einfach. In der Aufgabe Reimproduktion erzielten die Kinder im Mittel 8.1 Punkte und in der Reimaufgabe 7.2 Punkte von zehn möglichen Punkten. In der Aufgabe Anlautvergleich wurden im Mittel 6.6 Punkte und in der Aufgabe Phonemsynthese ein Mittel von 6.8 Punkten von insgesamt acht möglichen Punkten bei akzeptablen Streuungswerten ($SD = 2.6$, bzw. 2.4) erreicht. Im Vergleich mit Erstklässlern der Normstichprobe der Schulleistungstestverfahren zeigten die Kinder dieser Untersuchung im Testverfahren WLLP-R mit einem Mittel von 36.6 Punkten ($SD = 18.4$; 37 Punkte entsprechen einem T -Wert von 47) und im Satzverständnistest des ELFE mit einem Mittel von 5.8 Punkten (6 Punkte entsprechen einem T -Wert von 51) durchschnittliche Leistungen. Im DERET 1-2+ Textdiktat erzielten die Kinder eine mittlere Fehlerzahl⁴ von $M = 14.7$ ($SD = 7.5$), was einem im unteren durchschnittlichen Bereich liegenden Prozentrang von 27 entspricht. Für den Subtest DERET 1-2+ Wortdiktat liegen keine Normwerte vor, so dass hier keine vergleichende Einschätzung möglich ist.

⁴ Entsprechend der Anweisung im Manual werden bei Erstklässlern Fehler in der Groß-/ Kleinschreibung nicht in diesen Wert eingerechnet.

Tabelle 4:
Exekutive Funktionen und Schriftsprache: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum/Maximum und Verteilung der Testverfahren

Konstrukt	Testverfahren	N	M (SD)	min	max	Schiefe	Kurtosis (SD)	Prüfung NV (d)
Shifting	Farbshifting	237	23.3 (8.2)	0	36	-0.73 (.16)	-0.18 (.32)	.117***
	Kartenshifting	233	7.3 (2.2)	1	12	0.56 (.16)	0.03 (.32)	.224***
Inhibition	Stroop-Aufgabe (Zeit, sec)	232	.36 (.13)	.06	.73	0.24 (.16)	-0.10 (.32)	.041
	Handaufgabe	242	22.3 (3.2)	0	24	-3.61 (.16)	17.0 (.31)	.296***
Updating	Picture Memory Task	238	11.1 (5.2)	0	21	-0.07 (.16)	-0.58 (.31)	.052
	Komplexe Objektsparne	232	2.4 (1.2)	0	8	-0.33 (.16)	1.66 (.32)	.224***
Abruf aus dem Langzeitgedächtnis	Schnelles Benennen von Objekten (Richtige/Zeit)	235	0.83 (0.22)	0.28	1.65	0.11 (.16)	0.55 (.32)	.071**
	Wortspanne vorwärts	236	5.2 (1.2)	0	10	-0.10 (.16)	1.94 (.32)	.179***
Phonologische Schleife	Buchstaben benennen	243	9.1 (7.8)	0	26	0.71 (.16)	-0.69 (.31)	.148***
	Ableitungsmorpheme	238	17.5 (6.5)	0	32	-0.29 (.16)	-0.13 (.31)	.089***
Phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn	Reimproduktion	238	8.1 (2.6)	0	10	-1.65 (.16)	1.92 (.31)	.257***
	Reimaufgabe	238	7.2 (2.4)	1	10	-0.56 (.16)	-0.75 (.31)	.175***
Phonologische Bewusstheit im engeren Sinn	Anlautvergleich	223	6.6 (1.8)	0	8	-0.16 (.16)	1.83 (.32)	.280***
	Phonemsynthese	225	6.8 (1.5)	0	8	-1.59 (0.16)	2.56 (.32)	.256***
Lesegeschwindigkeit	WLLP-R	220	36.6 (18.4)	0	96	0.14 (.16)	-0.03 (.33)	.058
	ELFE	219	5.8 (4.6)	0	24	0.86 (.16)	0.64 (.33)	.138***
Rechtschreibung	DERET 1-2+ Text	219	10.8 (6.6)	0	29	-0.00 (.16)	-0.50 (.34)	.091***
	DERET 1-2+ Wort	210	1.1 (1.3)	0	6	1.43 (.17)	1.50 (.33)	.272***

Anmerkungen. Prüfung NV (d) = Prüfung der Normalverteilung mit Kolmogorov-Smirnov; ***Die Prüfgröße ist auf dem Niveau von $p < .001$ signifikant; **Die Prüfgröße ist auf dem Niveau von $p < .01$ signifikant.

3.2 KORRELATIONEN

Im Anschluss an die deskriptive Statistik wurden Korrelationen zwischen den verwendeten Testverfahren berechnet, um erste Hinweise auf die erwarteten Zusammenhänge zwischen Prädiktoren und den Schriftsprachvariablen zu betrachten. Aufgrund der größtenteils nicht vorhandenen univariaten Normalverteilung wurde auf die Berechnung von Spearman-Korrelationen zurückgegriffen. In Tabelle 5 werden die Korrelationen zwischen den exekutiven Funktionen und den weiteren Prädiktoren dargestellt und in Tabelle 6 sind die Zusammenhänge zwischen den Prädiktoren und den schulischen Schriftsprachleistungen ersichtlich.

Tabelle 5:

Exekutive Funktionen und Schriftsprache: Spearman-Korrelationen zwischen den Prädiktoren

Konstrukt/ Faktor	Indikatoren	Shifting		Inhibition		Updating	
		Farb- Shifting	Karten- Shifting	Stroop	Hand- Auf- gabe	PMT	Kompl. Objekt- spanne
Abruf aus dem LZG	Schnelles Benennen	.19**	.08	.44**	.05	.15*	.17*
Phonologische Schleife	Wortspanne vorwärts	.14*	.12	.14*	.00	.34**	.14*
Buchstaben- kenntnis	Buchstaben benennen	.32**	.21**	.36**	.10	.41**	.28**
Grammatik	Ableitungs- morpheme	.23**	.09	.18**	.06	.26**	.21**
Phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne	Reimproduktion	.19**	.07	.09	-.04	.22**	.11
	Reimaufgabe	.40**	.26**	.33**	-.05	.38**	.38**
Phonologische Bewusstheit im engerem Sinn	Anlautvergleich	.29**	.10	.23**	.12	.38**	.18**
	Phonemsynthese	.21**	.10	.18**	.02	.35**	.24**

Anmerkungen. PMT = Picture memory task. **Die Korrelation ist auf dem Niveau von $p < .01$ signifikant. *Die Korrelation ist auf dem Niveau von $p < .05$ signifikant.

Die höchsten Korrelationen ergaben sich zwischen den beiden Geschwindigkeitsmaßen Schnelles Benennen und der Stroop-Aufgabe mit $r = .44$ ($p < .01$) sowie zwischen Indikatoren der exekutiven Funktionen (mit Ausnahme der Handaufgabe) und den Leistungen in den Testverfahren Buchstabenkenntnis ($r = .21$ bis $.41$, $p < .01$) und der zur phonologischen Bewusstheit zugehörigen Reimaufgabe ($r = .26$ bis $.40$, $p < .01$). Jeweils ein Indikator jeder exekutiven Funktion (Stroop-Aufgabe für Inhibition [$r = .09$ bis $.44$], Farb-Shifting für Shifting [$r = .14$ bis $.40$] und Picture Memory Task [$r = .08$ bis $.41$] für das Updating) zeigte mehrheitlich höhere Korrelationen mit den anderen Prädiktorvariablen als der zweite Indikator (Hand-Aufgabe für Inhibition [$r = .00$ bis $.12$, n.s.], Karten-Shifting für Shifting [$r = .08$ - $.26$] und Komplexe Objektspanne für Updating [$r = .11$ - $.38$]). Die insgesamt niedrigsten und zumeist nicht signifikanten Korrelationen mit allen anderen Prädiktoren zeigte durchweg die Variable Hand-Aufgabe, aber auch in großen Teilen die Leistungen in den Aufgaben Kartenshifting und Reimproduktion ($r = -.04$ bis $.22$).

Betrachtet man nun die in Tabelle 6 dargestellten Zusammenhänge zwischen den Prädiktorvariablen und den schulischen Schriftsprachleistungen, so zeigt sich, dass die höchsten Korrelationen sich erwartungsgemäß innerhalb der Testverfahren zur Erfassung der schulischen Schriftsprachleistungen ergaben. Insbesondere zwischen der Lesegeschwindigkeit und dem Leseverständnis fand sich eine sehr hohe Korrelation von $r = .84$ ($p < .01$) sowie in leicht geringerer Höhe zwischen der Lesegeschwindigkeit und dem Rechtschreiben im Textdiktat ($r = .70$, $p < .01$) und dem Leseverständnis und dem Rechtschreiben im Textdiktat ($r = .76$, $p < .01$). Das Rechtschreiben im Wortdiktat zeigte im Vergleich signifikant geringere, aber gemessen an den absoluten Werten dennoch hohe Korrelationen mit der Lesegeschwindigkeit ($r = .52$, $p < .01$; $Z = 2.798$, $p < .01$) und dem Leseverständnis ($r = .54$, $p < .01$; $Z = 3.822$, $p < .01$) sowie mit der Rechtschreibung im Textdiktat ($r = .61$, $p < .01$). Auch die Korrelationen mit anderen Variablen fielen für das Rechtschreiben im Wortdiktat im Vergleich zum Rechtschreiben im Textdiktat tendenziell etwas niedriger aus.

Die Buchstabenkenntnis ($r = .42$ bis $.53$, $p < .01$), die phonologische Bewusstheit im engeren Sinne ($r = .32$ bis $.46$, $p < .01$) und die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne indizierende Reimaufgabe ($r = .36$ bis $.45$, $p < .01$) zeigten die höchsten Korrelationen zwischen den berücksichtigten Prädiktoren und der schulischen schriftsprachlichen Leistung. Etwas niedriger wengleich in mittlerer Höhe fielen die Korrelationen zwischen den schriftsprachlichen Leistungen und der Reimproduktion ($r = .32$ bis $.35$, $p < .01$), dem schnellen Benennen ($r = .18$ bis $.34$, $p < .01$) und der Grammatik ($r = .24$ bis $.36$, $p < .01$) aus.

Die Leistungen in den exekutiven Funktionen zeigten zumeist eher niedrigere Korrelationen als die anderen Prädiktorvariablen. Eine Ausnahme stellte die zum Faktor Updating zugehörige Picture Memory Task mit mittelhohen Korrelationen zwischen $r = .25$ bis $.38$ ($p < .01$) dar. Der zweite Updating-Test Komplexe Objektspanne korrelierte schwach bis moderat ($r = .24$ bis $.26$, $p < .01$) mit den Lese- und Rechtschreibvariablen, ebenso die Shifting-Indikatoren Farbshifting ($r = .18$ bis $.30$, $p < .01$) und Kartenshifting ($r = .17$ bis $.25$, $p < .05$). Deutliche und signifikante Unterschiede in den Zusammenhangsmustern zeigten sich im Faktor Inhibition. Während die Stroop-Aufgabe mit Ausnahme des signifikant schwächeren Zusammenhangs mit der Rechtschreibleistung im Wortdiktat ($r = .12$, n.s., $Z = 2.007$, $p < .05$) gleichmäßig mittelhohe Korrelationen (jeweils $r = .31$, $p < .01$) zeigte, erwies sich die Hand-Aufgabe als zusammenhangslos mit den schriftsprachlichen Schulleistungen ($r = .00 - .04$, n.s.).

Tabelle 6:

Spearman-Korrelationen zwischen den im Kindergarten erfassten Prädiktoren, Lesegeschwindigkeit, Leseverständnis und Rechtschreibung in der ersten Klasse

Konstrukt/ Faktor	Indikatoren	Messzeit- punkt (Alter)	Lesege- schwindig- keit	Lesever- ständnis	Recht- schreibung Textdiktat	Recht- schreibung Wortdiktat
Shifting	Farbshifting	3 (5;8 Jahre)	.18**	.28**	.30**	.24**
	Karten-Shifting	3 (5;8 Jahre)	.23**	.21**	.25**	.17*
Inhibition	Stroop-	3 (5;8 Jahre)	.31**	.31**	.31**	.12
	Hand-Aufgabe	3 (5;8 Jahre)	.00	.01	.04	.00
Updating	Picture	4 (6;3 Jahre)	.36**	.38**	.36**	.25**
	Komplexe Objektspanne	4 (6;3 Jahre)	.24**	.25**	.26**	.26**
Abruf aus dem LZG	Schnelles Benennen von Objekten	3 (5;8 Jahre)	.31**	.27**	.34**	.18**
Phonologische Schleife	Wortspanne vorwärts	3(5;8 Jahre)	.39**	.40**	.30**	.23**
Buchstaben- kenntnis	Buchstaben benennen	3 (5;8 Jahre)	.48**	.53**	.52**	.42**
Grammatik	Ableitungs- morpheme	4 (6;3 Jahre)	.31**	.32**	.36**	.24**
Phonologische Bewusstheit im	Reimpro- duktion	4 (6;3 Jahre)	.32**	.33**	.35**	.33**

weiteren Sinn	Reimaufgabe	4 (6;3 Jahre)	.39**	.43**	.45**	.36**
Phonologische Bewusstheit im engerem Sinn	Anlautver- gleich	5 (6;8 Jahre)	.42**	.45**	.42**	.35**
	Phonem- synthese	5 (6;8 Jahre)	.46**	.45**	.45**	.43**
Lesegeschwindigkeit	WLLP-R	6 (7;3 Jahre)	1	.84**	.70**	.52**
Leseverständnis	ELFE	6 (7;3 Jahre)	.84**	1	.76**	.54**
Rechtschreibung	DERET 1-2+ Text	6 (7;3 Jahre)	.70**	.76**	1	.61**
	DERET 1-2+ Wort	6 (7;3 Jahre)	.52**	.54**	.61**	1

Anmerkungen. **Die Korrelation ist auf dem Niveau von $p < .01$ signifikant. *Die Korrelation ist auf dem Niveau von $p < .05$ signifikant.

3.3 STRUKTURGLEICHUNGSMODELLIERUNG

Zur Berechnung der Einflüsse exekutiver Funktionen auf schriftsprachliche Leistungen wurden drei Strukturgleichungsmodelle mit ansteigender Komplexität modelliert. In Modell 1 sind lediglich die beiden Faktoren exekutiver Funktionen und deren Wirkung auf die schulische Leseflüssigkeit, das Leseverständnis und das Rechtschreiben berücksichtigt. Um den Einfluss exekutiver Funktionen auch auf relevante spezifische Vorläuferfertigkeiten berücksichtigen zu können, wurde zunächst in Modell 2 zusätzlich der Einfluss exekutiver Funktionen auf die phonologische Bewusstheit im weiteren und im engeren Sinne als auch auf die schriftsprachlichen Schulleistungen überprüft. In Modell 3 wurden bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Leistungen der phonologischen Schleife und dem schnellen Abruf aus dem Langzeitgedächtnis zusätzlich auch die Einflüsse exekutiver Funktionen auf zwei weitere wichtige Prädiktoren schriftsprachlicher Leistungen, nämlich auf grammatikalische Fertigkeiten und Buchstabenkenntnis, abgebildet.

Fit-Indizes

Tabelle 7 ist zu entnehmen, dass alle drei Modelle zufriedenstellende Fit-Indizes erzielten. Der χ^2 -Wert sollte die Anzahl der Freiheitsgrade (df) möglichst nicht überschreiten und das daraus folgende $CMIN/df$ -Verhältnis sollte somit im besten Fall um den Wert 1 liegen beziehungsweise keine Werte größer als 2,5 annehmen (Backhaus, Erichson, Plinke & Weiber, 2003), was hier gegeben war (Modell 1: $CMIN/df = 1.017$; Modell 2: $CMIN/df = 1.210$; Modell 3: $CMIN/df = 1.335$). Die χ^2 -Statistik reagiert allerdings laut Backhaus und Kollegen auf kleinere Stichprobenumfänge mit steigenden Wahrscheinlichkeiten, dass ein Modell angenommen wird. Da ein Stichprobenumfang von $N = 220$ für Strukturgleichungsmodellierungen einen eher kleinen

Umfang darstellt, sollten deshalb neben dieser Prüfgröße weitere Fit-Maße wie die im Folgenden beschriebenen berücksichtigt werden. Sowohl die *Comparative Fit Indices* (*CFI*; Modell 1: *CFI* = 1.000; Modell 2: *CFI* = .992; Modell 3: *CFI* = .981) als auch die *Root Mean Square Errors of Approximation* (*RMSEA*; Modell 1: *RMSAE* = .008; Modell 2: *RMSEA* = .028; Modell 3: *RMSEA* = .036) blieben innerhalb der von Hu und Bentler (1999) vorgeschlagenen Grenzen (*CFI* > .96, *RMSEA* < .06), sodass von einer recht guten Übereinstimmung zwischen der empirischen und der modellierten Varianz-Kovarianz-Matrix ausgegangen werden kann.

Tabelle 7:

Fit-Indizes der drei Strukturgleichungsmodelle zum Einfluss exekutiver Funktionen auf schriftsprachliche Leistungen

Modell	<i>df</i>	χ^2	<i>p</i>	<i>CMIN/df</i>	<i>CFI</i>	<i>RMSEA</i>
Modell 1 (EF - schriftsprachliche Schulleistung)	44	44.734	.441	1.017	1.000	.008
Modell 2 (EF - pB - schriftsprachliche Schulleistung)	86	104.030	.090	1.210	.992	.028
Modell 3 (Berücksichtigung weiterer Prädiktoren)	159	212.319	.003	1.335	.981	.036

Anmerkung. *df*= Degrees of freedom; *p* = Signifikanzniveau; *CFI* = Comparative Fit Index; *RMSEA* = Root mean square error of approximation; EF = Exekutive Funktionen; pB = phonologische Bewusstheit.

Faktorladungen

Aus Tabelle 8 lassen sich die Faktorladungen der Indikatoren in den drei modellierten Strukturgleichungsmodellen ablesen. Diese fielen nahezu durchgängig in zufriedenstellender Höhe aus, wenn auch zwei Indikatoren des Shifting- & Inhibitionsfaktors niedrige, aber signifikante Faktorladungen aufwiesen (Hand-Aufgabe: λ = .30 - .35; Karten-Shifting: λ = .42 - .44). Zwei Argumente sprechen dennoch für eine weitere Berücksichtigung der beiden Testverfahren. Einerseits sind Faktorladungen in dieser Höhe laut Kline (1997) noch akzeptabel und zum anderen fordern Miyake und Kollegen (2000), dass zwecks Reduktion aufgabenspezifischer Einflüsse mehrere Indikatoren für jede exekutive Funktion eingesetzt werden sollten, sodass an jeweils zwei Aufgaben für Inhibition und für Shifting entsprechend der faktorenanalytischen Lösung festgehalten wird.

Tabelle 8:

Exekutive Funktionen und Schriftsprache: Faktorladungen in den Strukturgleichungsmodellen

Konstrukt/ Faktor	Indikatoren	Faktorladungen		
		Modell 1	Modell 2	Modell 3
Inhibition & Shifting	Farbshifting	.73	.78	.72
	Karten-Shifting	.44	.43	.42
	Stroop-Aufgabe	.60	.57	.65
	Handaufgabe	.35	.32	.30
Updating	Picture Memory Task	.87	.85	.86
	Komplexe Objektspanne	.55	.56	.55
	Abruf aus dem LZG			manifest
Phonologische Schleife	Schnelles Benennen von Objekten			
	Wortspanne vorwärts ^a			.72/.68
Buchstabenkenntnis Grammatik	Buchstaben benennen			manifest
	Ableitungsmorpheme ^a			.66/.85
Phonolog. Bewusstheit im weiteren Sinn	Reimproduktion		.61	.66
	Reimaufgabe		.86	.81
Phonologische Bewusstheit im engerem Sinn	Anlautvergleich		.77	.76
	Phonemsynthese		.74	.75
Lesegeschwindigkeit	WLLP-R ^a	1.00/.98	1.00/.98	1.00/.98
Leseverständnis	ELFE Satzverständnis ^a	.98/.98	.98/.96	.97/.96
Rechtschreibung	DERET 1-2+ Text	.94	.95	.95
	DERET 1-2+ Wort	.69	.69	.70

Anmerkungen. Alle Faktorladungen sind auf dem Niveau von $p < .001$ signifikant. Modell 1: Vorhersage der Schulleistungen durch EF. Modell 2: Vorhersage der Schulleistungen durch EF über phonologische Bewusstheit. Modell 3: Vorhersage der Schulleistung durch EF unter Berücksichtigung weiterer Prädiktoren. ^a Da jeweils nur ein Maß für die phonologische Schleife, Grammatik, Lesegeschwindigkeit und Leseverständnis vorlag, wurden für das Strukturgleichungsmodell aus ungeraden bzw. geraden Items zwei separate Summenwerte gebildet.

Strukturgleichungsmodell 1: Einfluss exekutiver Funktionen auf schriftsprachliche Schulleistungen

Zunächst wurde das in Abbildung 4 ersichtliche und sehr sparsame Modell berechnet, um zu prüfen, ob vorschulische exekutive Funktionen ohne Berücksichtigung weiterer Prädiktoren generell Leseflüssigkeit, Leseverständnis und Rechtschreibleistungen zum Ende der ersten Klasse vorhersagen können.

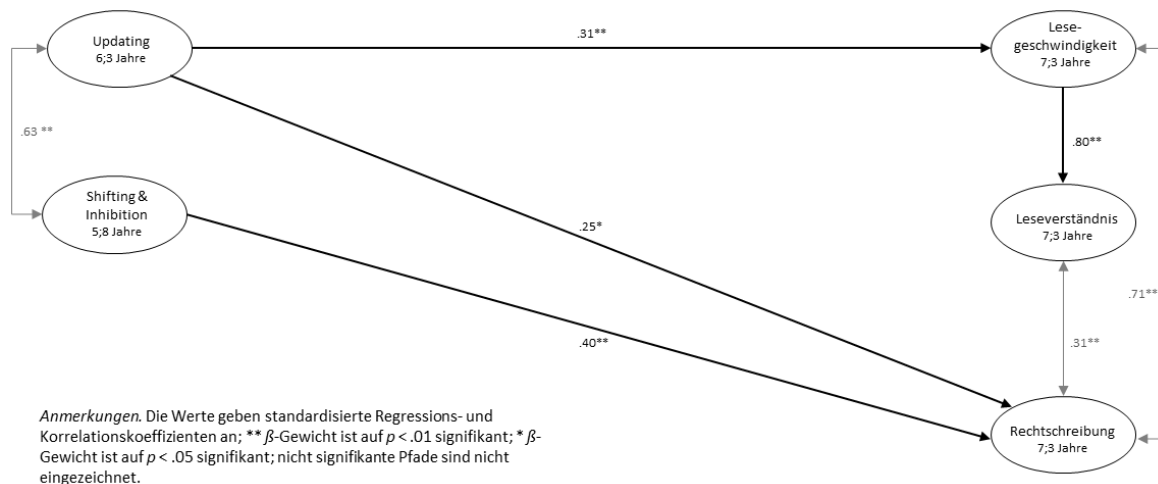


Abbildung 4. Strukturgleichungsmodell 1: Einfluss exekutiver Funktionen auf die Lesegeschwindigkeit, das Leseverständnis und die Rechtschreibleistung

Im Modell zeigten sich signifikante β -Gewichte in mittlerer Höhe von Updating mit der Lesegeschwindigkeit ($\beta = .31$, $p < .01$) und der Rechtschreibung ($\beta = .25$, $p < .05$). Der Faktor Shifting und Inhibition klärte 16% der Varianz in der Rechtschreibleistung auf ($\beta = .40$, $p < .01$). Die Lesegeschwindigkeit sagte mit 64% aufgeklärter Varianz einen Großteil der Varianz im Leseverständnis vorher ($\beta = .80$, $p < .01$). Zwischen den schriftsprachlichen Schulleistungen gab es beträchtliche Korrelationen. Die Lesegeschwindigkeit korrelierte mit der Rechtschreibung zu $r = .71$ ($p < .01$) und das Leseverständnis mit der Rechtschreibleistung zu $r = .31$ ($p < .01$). Ebenfalls hoch korrelierten, wie schon in der Faktorenanalyse in *Kapitel III* berichtet, die beiden exekutiven Faktoren miteinander ($r = .63$, $p < .01$).

Strukturgleichungsmodell 2: Einfluss exekutiver Funktionen auf phonologische Bewusstheit im weiteren und im engeren Sinne und schriftsprachliche Schulleistungen

Das im vorigen Absatz dargestellte Modell zur Vorhersage der schriftsprachlichen Schulleistungen wurde anschließend um die Variablen phonologische Bewusstheit im weiteren und im engeren Sinn erweitert (s. Abb. 5). Sowohl die direkten Einflüsse von Updating als auch die von Shifting und Inhibition auf die schulischen Leistungen wurden nun nicht mehr signifikant. Hingegen nahmen beide Faktoren Einfluss auf die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne, also auf eine wesentliche Vorläuferfertigkeit schriftsprachlicher Schulleistungen (Shifting und Inhibition: $\beta = .49$, $p < .001$; Updating: $\beta = .27$, $p < .05$). Der Faktor Shifting und Inhibition zeigte sich mit 25% aufgeklärter Varianz einflussreicher als Updating mit einer Varianzaufklärung von 7%. Die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne beeinflusste wiederum signifikant die phonologische Bewusstheit im engeren Sinne ($\beta = .62$, $p < .001$), aber ebenso wie die exekutiven Funktionen nicht direkt die Schulleistungen. Die phonologische Bewusstheit im engeren Sinne hingegen wirkte sich zum einen mit einer Varianzaufklärung von 35% bedeutsam auf die Lesegeschwindigkeit ($\beta = .59$, $p < .001$) und zum anderen mit einer aufgeklärten Varianz von 31% signifikant auf die Rechtschreibleistung aus ($\beta = .56$, $p < .001$). Das Leseverständnis wurde lediglich in hohem Maße von der Lesegeschwindigkeit beeinflusst ($\beta = .82$, $p < .001$). Wie auch in Modell 1 korrelierten sowohl die exekutiven Faktoren ($r = .62$, $p < .001$) und die schriftsprachlichen Schulleistungen ($r = .37$ und $r = .61$, $p < .001$) hoch miteinander.

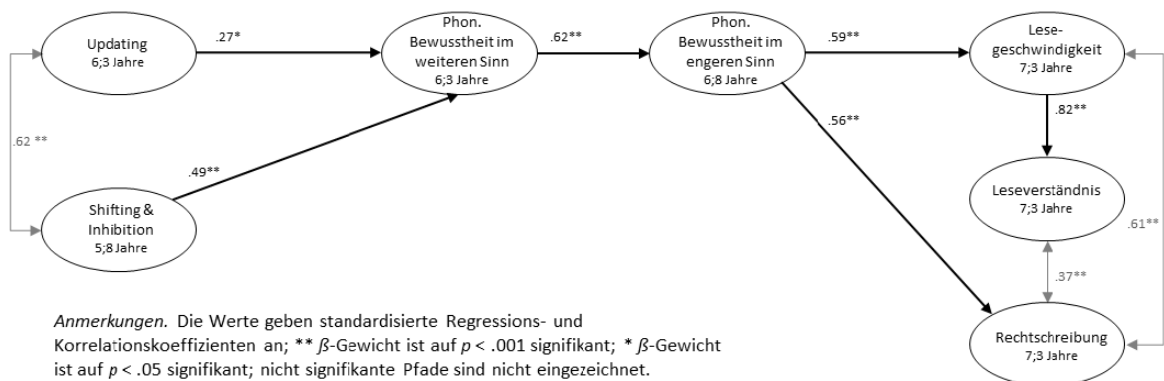
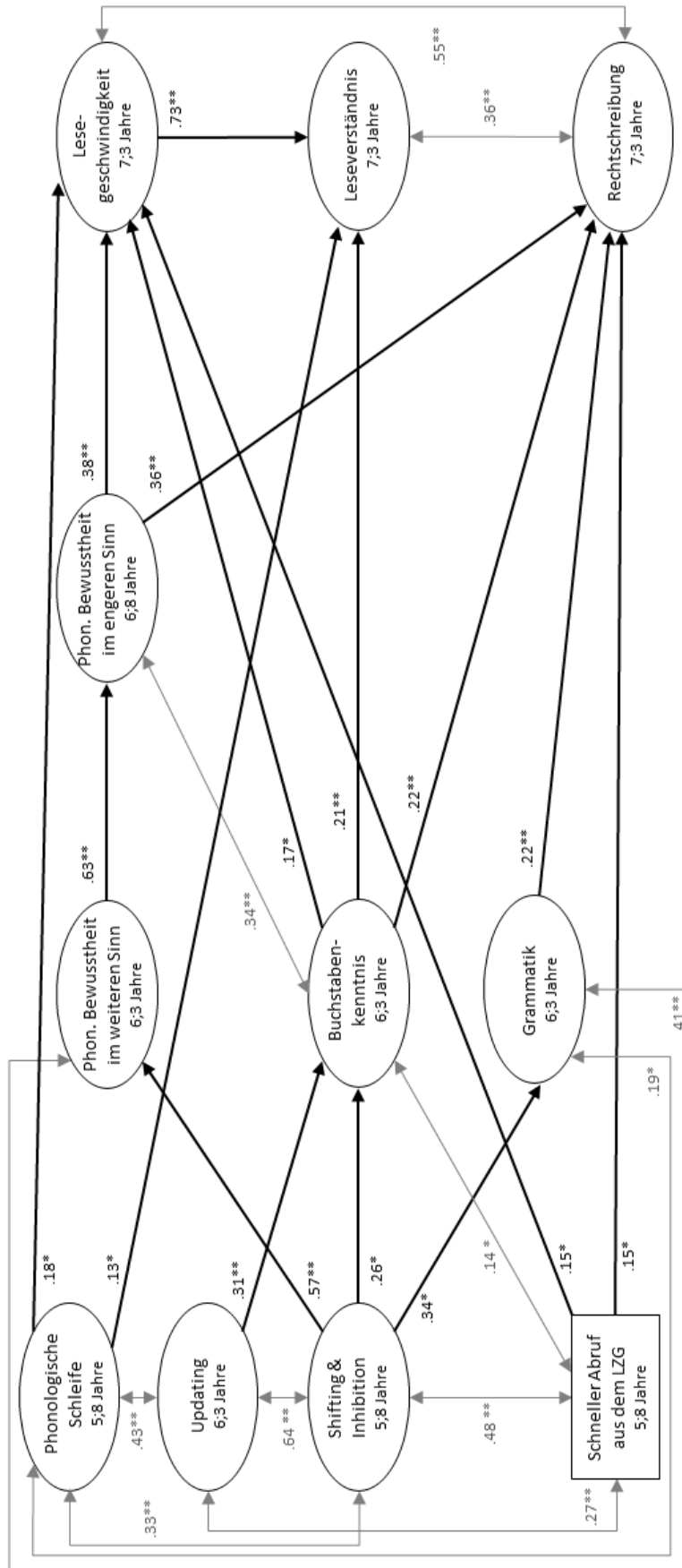


Abbildung 5. Strukturgleichungsmodell 2: Einfluss exekutiver Funktionen auf die phonologische Bewusstheit, die Lesegeschwindigkeit, das Leseverständnis und die Rechtschreibleistung.

Strukturgleichungsmodell 3: Einfluss exekutiver Funktionen auf schriftsprachliche Vorläuferfertigkeiten und Schulleistungen bei Kontrolle der phonologischen Schleife und des Abrufs aus dem Langzeitgedächtnis

In das dritte und letzte Modell wurden mit den Faktoren Grammatik, Buchstabenkenntnis, phonologische Schleife und schnellem Abruf aus dem Langzeitgedächtnis weitere relevante Prädiktoren schulischer Lese- und Rechtschreibfertigkeiten integriert. Dieses Modell ist zwar überaus komplex, hat aber den Vorteil, den Einfluss exekutiver Funktionen bei Kontrolle von phonologischen Kurzzeitgedächtniskapazitäten und Abrufgeschwindigkeiten auf die schriftsprachlichen Leistungen darstellen zu können. Zum einen wird in diesem Modell somit die möglicherweise in die exekutive Performanz eingehende Kurzzeitgedächtnisleistung und die Abrufgeschwindigkeit kontrolliert und dadurch die Varianz in den Faktoren Shifting und Inhibition und Updating bereinigt. Zum anderen kann nachgewiesen werden, inwiefern die exekutiven Kontrollfunktionen zusätzlich zu den „klassischen“ Prädiktoren zur Vorhersage schriftsprachlicher Leistungen beitragen.



Anmerkungen. Die Werte geben standardisierte Regressions- und Korrelationskoeffizienten an; ** β-Gewicht ist auf $p < .01$ signifikant; * β-Gewicht ist auf $p < .05$ signifikant; nicht signifikante Pfade sind nicht eingezeichnet.

Abbildung 6. Strukturgleichungsmodell 3: Einfluss exekutiver Funktionen und relevanter Prädiktoren auf schriftsprachliche Leistungen.

Nach Aufnahme der vier weiteren Prädiktoren veränderte sich der Einfluss exekutiver Funktionen insofern, als dass Updating die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne nicht mehr bedeutsam beeinflusste. Der Einfluss des Faktors Shifting und Inhibition auf die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne hingegen blieb bestehen und zeigte eine leichte Steigerung aufgeklärter Varianz auf 33% ($\beta = .57, p < .001$). Bedeutsamen Einfluss nahm der Faktor Shifting und Inhibition zudem auf grammatikalische Leistungen ($\beta = .34, p < .05$) und etwas geringer auf die Buchstabenkenntnis ($\beta = .26, p < .05$). Der Faktor Updating nahm ebenfalls signifikanten Einfluss auf die Buchstabenkenntnis ($\beta = .31, p < .01$).

Die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne beeinflusste in nahezu unveränderter Höhe die phonologische Bewusstheit im engeren Sinne ($\beta = .63, p < .001$), während sich der Einfluss der phonologischen Bewusstheit im engeren Sinne auf die Leseflüssigkeit ($\beta = .38, p < .01$) und auf die Rechtschreibleistung ($\beta = .36, p < .01$) deutlich reduzierte. Leicht erniedrigte sich auch der Einfluss der Lesegeschwindigkeit auf das Leseverständnis mit 53% aufgeklärter Varianz ($\beta = .73, p < .001$).

Von den neu aufgenommenen vier Prädiktoren stellte sich die Buchstabenkenntnis als bedeutsam für *die Lesegeschwindigkeit* ($\beta = .17, p < .05$), das Leseverständnis ($\beta = .21, p < .001$) und die Rechtschreibleistung ($\beta = .22, p < .01$) heraus. Grammatikalische Fertigkeiten waren allein für die Rechtschreibleistung bedeutsam ($\beta = .22, p < .001$). Die phonologische Schleife nahm auf die Lesegeschwindigkeit ($\beta = .18, p < .05$) und das Leseverständnis ($\beta = .13, p < .05$) geringe, aber signifikante Einflüsse. Ebenfalls geringe, aber dennoch signifikante Einflüsse zeigte der schnelle Abruf aus dem Langzeitgedächtnis auf die Lesegeschwindigkeit ($\beta = .15, p < .05$) und die Rechtschreibleistung ($\beta = .15, p < .05$).

Die betragsmäßig höchsten korrelativen Zusammenhänge fanden sich wiederum zwischen den beiden exekutiven Faktoren ($r = .64, p < .001$) und innerhalb der schriftsprachlichen Schulleistungen ($r = .36$ und $r = .55, p < .001$), sowie zwischen Shifting und Inhibition und dem schnellen Abruf aus dem Langzeitgedächtnis ($r = .48, p < .001$), Updating und der phonologischen Schleife ($r = .43, p < .001$) und den Faktoren Grammatik und phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne ($r = .41, p < .01$).

4. DISKUSSION

Vorhersage schriftsprachlicher Schulleistungen durch exekutive Funktionen und relevante Vorläuferfertigkeiten

Es wurde in den Hypothesen zunächst angenommen, dass die vorschulisch erfassten exekutiven Funktionen direkte Einflüsse auf schriftsprachliche Schulleistungen am Ende der ersten Klasse nehmen würden. Diese Annahme konnte nicht nachhaltig belegt werden, da sich direkte Einflüsse der beiden faktorenanalytisch bestimmten exekutiven Funktionen Shifting und Inhibition und Updating lediglich in Modell 1 zeigten, welches keine weiteren Prädiktoren berücksichtigte. Zudem erwiesen sich diese Einflüsse zwar als signifikant, der Anteil aufgeklärter Varianz an den einzelnen abhängigen Variablen war aber recht gering. In diesem ersten Modell beeinflussten die beiden exekutiven Faktoren in unterschiedlichem Maße zwei der abhängigen Variablen, nämlich die Lesegeschwindigkeit und die Rechtschreibleistung. Es wurde zunächst angenommen, dass der komplexere Prozess des Leseverständnisses mehr exekutive Kontrolle als die zum Ende der ersten Klasse stärker automatisiert erfolgende Lese- (Dekodier-) Geschwindigkeit erfordern sollte. Aufgrund der überaus hohen Zusammenhänge zwischen der Lesegeschwindigkeit und des Leseverständnisses ($r = .84$) ist es aber nicht erstaunlich, dass weder Shifting und Inhibition noch Updating zusätzlich direkte Varianz im Leseverständnis aufklären konnten.

Unter Hinzunahme wesentlicher Prädiktoren reduzierten sich die direkten Einflüsse der exekutiven Faktoren auf die Schulleistungen und begrenzten sich auf Vorläuferfertigkeiten und Prädiktoren (Modelle 2 und 3). Diese wiederum nahmen größtenteils hypothesenkonform und entsprechend den Ergebnissen anderer Studien Einfluss auf das Lesen und Schreiben in der Schule und werden im Folgenden in Kürze diskutiert.

Es zeigte sich entsprechend der von Skowronek und Marx (1989) vorgeschlagenen Unterscheidung von phonologischer Bewusstheit im weiteren und engeren Sinne die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne als prädiktiv für die phonologische Bewusstheit im engeren Sinne. Das Verständnis für einen Sprachaufbau auf Wort- und Silbenebene erleichterte somit das Erkennen der lautlichen Struktur der Sprache. Die Fähigkeit zur phonologischen Bewusstheit im engeren Sinne wiederum zeigte sich mit jeweils einem Drittel (Modell 2) beziehungsweise jeweils rund 13% aufgeklärter Varianz (Modell 3) bedeutsam für die Lesegeschwindigkeit (vgl. Wagner & Torgesen, 1987) als auch für die Rechtschreibleistung. Die Abschwächung des direkten Einflusses bei Berücksichtigung weiterer Prädiktoren zeigt, dass die phonologische Bewusstheit nicht der einzige relevante Schriftsprachvorläufer ist. Die beiden

anderen Komponenten der phonologischen Informationsverarbeitung, die phonologische Schleife und der schnelle Abruf aus dem Langzeitgedächtnis, als auch sprachliche Fertigkeiten, hier das grammatikalische Wissen, sowie spezifisches Wissen in Form der Buchstabenkenntnis wirkten sich ebenfalls auf den Schriftspracherwerb aus. Dennoch bleibt der Einfluss der phonologischen Bewusstheit eine wesentliche Einflussquelle für individuell unterschiedliche schriftsprachliche Leistungen und das sowohl für das Lesen als auch das Rechtschreiben (vgl. Ennemoser et al., 2012). Auch Landerl und Wimmer (2008) berichten, dass sich in konsistenten Orthografien ein Einfluss der phonologischen Bewusstheit auf das spätere Rechtschreiben zeigt. Dies begründen sie damit, dass es aufgrund der Lauttreue in der deutschen Sprache und der gängigen Lehrweise in den Schulen auch Kindern mit geringer phonologischer Bewusstheit zunächst gelingt, Wörter zu en- und dekodieren. Kämen aber nicht-lautgetreue Wörter hinzu, so zeigten Kinder mit schwach ausgeprägter phonologischer Bewusstheit auch Schwächen in der Rechtschreibung, möglicherweise dadurch verursacht, dass Kinder keine ausreichenden Assoziationen zwischen gesprochenen und geschriebenen Wörtern bilden. Diese Erklärung bietet sich für den Zusammenhang zwischen phonologischer Bewusstheit im engeren Sinne und der Leistung des DERET 1-2+ Wordiktat an, das Wörter enthält, deren lautgetreue Schriftweise nicht mehr durchgängig mit der orthografisch korrekten Schriftweise übereinstimmt (z.B. „gleich“). Die Wörter des DERET 1-2+ Textdiktat sind hingegen lautgetreuer, sodass Kinder direkt von guten phonologischen Kenntnissen profitieren.

Mit einem β -Gewicht von .22 zeigten sich grammatikalische Fertigkeiten als relevant für das Rechtschreiben, was ein erwartungsgerechter Befund ist, da beide Leistungen das Verstehen des morphematischen Aufbaus der deutschen Sprache beinhalten, auch wenn das Rechtschreiben am Ende der ersten Klasse durch den Großteils lautgetreuen Grundwortschatz stärker von der phonologischen Bewusstheit bestimmt werden sollte (vgl. Ennemoser et al., 2012). Es wurde aber zudem erwartet, dass die Kenntnis des morphematischen Aufbaus von Wörtern auch direkt das Leseverständnis beeinflussen könnte. Einzelne Wortbedeutungen könnten sich aufgrund des Rückgriffs beispielsweise auf den Wortstamm schneller erschließen lassen, was dazu beitragen würde, dass alle Satzbestandteile schneller erlesen und verstanden und somit der Satz in seiner Bedeutung besser verstanden werden würde. Möglicherweise zeigen sich diese Einflüsse auch erst auf Leseverständnisleistungen in höheren Klassen. Ennemoser und Kollegen (2012) beispielsweise integrierten neben dem Testverfahren Ableitungsmorpheme weitere Indikatoren für linguistische Kompetenzen und konnten Einflüsse auf das Textverständnis zum Ende der Grundschulzeit nachweisen, bemerkten aber auch kritisch, dass deren Operationalisierung linguistischer Kompetenzen kein einheitliches Konstrukt darstelle.

Ein ebenso erwartungsgetreues Ergebnis stellen die Zusammenhänge der Buchstabenkenntnis mit allen drei abhängigen Variablen dar (vgl. Schatschneider et al., 2004), da diese zur grundlegenden Wissensbasis für den Schriftspracherwerb gehört.

Die geringsten signifikanten Einflüsse zeigte einerseits die phonologische Schleife, die sich auf die Leseprozesse, also auf das schnelle Dekodieren von Wörtern und auf das Aufrechterhalten der gesamten phonologischen Information eines Satzes zur Sinnerschließung auswirkte. Erwartet wurden auch Einflüsse der phonologischen Schleife auf die Rechtschreibleistung (vgl. von Goldammer et al., 2010), da diese einerseits in Diktatform erhoben wurde und zum anderen angenommen wurde, dass während des Prozesses der Verschriftlichung eines Wortes die phonologische Klangspur aufrechterhalten werden muss. Ähnlich zu dieser Studie fanden auch Ennemoser und Kollegen (2012) keine direkten Einflüsse auf das Rechtschreiben (aber im Unterschied zu dieser Studie ebenso wenig auf die Leseflüssigkeit und das Leseverständnis). Möglicherweise erfordert das Rechtschreiben weniger eine reine Aufrechterhaltung von Klanginformationen in der phonologischen Schleife, sondern eher die Verarbeitung dieser Informationen - was in den Hypothesen der exekutiven Funktion Updating zugeschrieben wurde, mit der die Leistung in der phonologischen Schleife zu $r = .43$ signifikant korreliert.

Zum anderen beeinflusste das schnelle Benennen von Objekten die Leseflüssigkeit (vgl. Schatschneider et al., 2004) und die Rechtschreibleistung (vgl. Ennemoser et al., 2012), nicht aber das Leseverständnis. Letzteres mag an der deutlichen Nähe der beiden Konstrukte Leseflüssigkeit und Satzverständnis liegen und dem daraus folgenden äußerst hohen Maß an Varianzaufklärung im Leseverständnis durch die Dekodiergeschwindigkeit. Ein schneller Zugriff auf das Langzeitgedächtnis unterstützt demzufolge die Schnelligkeit des Worterkennens als auch den Zugriff auf Graphem-Phonem-Korrespondenzen und orthografische Informationen und könnte zudem eventuell auf die Nutzung eines bereits aufgebauten und schnell abrufbaren Sichtwortschatzes hinweisen.

Updating und schriftsprachliche Leistungen

Der Prozess des Aktualisierens und Überwachens von Arbeitsgedächtnisinhalten zeigte sich ähnlich der Befunde beispielsweise von Monette und Kollegen (2011) mit Varianzaufklärungen von maximal rund 10% wenig einflussreich für Schriftsprachkompetenzen. Ohne die Berücksichtigung weiterer Prädiktoren konnte Updating zwar Varianz in der Lesegeschwindigkeit und im Rechtschreiben aufklären (Modell 1), dieser Einfluss hielt sich allerdings bei Berücksichtigung der phonologischen Bewusstheit nicht. Hier reduzierte sich der direkte Einfluss

auf die Schulleistungen und Updating wirkte sich ausschließlich direkt auf die Vorläuferfertigkeit, phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne, aus (Modell 2). Wurden weitere Prädiktoren integriert, so verlor sich auch dieser Einfluss und Updating zeigte sich in dem komplexen Zusammenspiel lediglich bedeutsam für den Umfang der Buchstabenkenntnis, seinerseits Prädiktor aller drei abhängigen schriftsprachlichen Schulleistungen (Modell 3), als auch mittel bis hoch korreliert mit dem exekutiven Faktor Shifting und Inhibition, der phonologischen Schleife und dem schnellen Abruf aus dem Langzeitgedächtnis.

Der Prozess des Dekodierens und der daraus folgenden Lesegeschwindigkeit wurde in den Hypothesen aufgrund voraussichtlich höherer Automatisierung des Dekodierprozesses am Ende der ersten Klasse tendenziell weniger mit exekutiver Kontrolle in Verbindung gebracht. Es zeigte sich jedoch ein kleiner, signifikanter Einfluss mit 9%-iger Varianzaufklärung durch den Updating-Faktor (Modell 1). Möglicherweise kann dies mit den beiden Wegen, die bei der Worterkennung je nach Automatisierungsgrad gegangen werden können, in Verbindung gebracht werden. Die Worterkennung bekannter Wörter mag bei vielen Kindern am Ende der ersten Klasse bereits auf direktem Weg stattfinden und deshalb stärker von Faktoren wie beispielsweise der schnellen Abrufgeschwindigkeit als von exekutiver Kontrolle abhängig sein (siehe Modell 3, vgl. für ältere Kinder van der Sluis et al., 2007). Andererseits spricht der im Vergleich zur Normgruppe eher unterdurchschnittliche *T*-Wert in der WLLP-R und der zwar geringe, aber vorhandene Einfluss des Updating dafür, dass bei manchen Kindern Worterkennungsprozesse noch auf dem indirekten Weg ablaufen und bis zur direkt abrufbaren Verknüpfung von Schriftbild und Wortbedeutung exekutive Kontrolle notwendig ist. Updating könnte einerseits durch das Aufrechterhalten einzelner bereits dekodierter Laute und das allmähliche Hinzufügen weiterer Laute bis zum Zusammenschließen aller Laute zu einer Gesamtheit zum Dekodierprozess beitragen. Zusätzlich könnte Updating durch die Verbindung von visuellen Stimuli mit Informationen wie Graphem-Phonem-Zuordnungen oder Morphem-Bedeutungen zur Speicherung der Wortbedeutung im Langzeitgedächtnis beitragen und dadurch den schnellen und direkten Abruf derselben ermöglichen. Ist die Verknüpfung von Wortbild und Wortbedeutung gespeichert und die Worterkennung findet auf direktem Wege statt, könnte die Bedeutsamkeit des Aktualisierens und Überwachens von Arbeitsgedächtnisinhalten für das Dekodieren von Wörtern zurückgehen.

Dass Updating mit der Einspeicherung „auswendiglernbarer“ Inhalte verknüpft sein könnte und über diese Funktion indirekt auf die Lesefertigkeit wirkt, wird unterstrichen durch den Befund, dass Updating die vorschulisch erhobene Buchstabenkenntnis signifikant vorhersagt (siehe Modell 3). Möglicherweise trägt Updating durch die Verknüpfung von in alphabetischer

Reihenfolge vorliegenden lautlichen und visuellen Repräsentationen von Buchstaben und deren Einspeicherung im Langzeitgedächtnis dazu bei, dass Buchstaben zügig und fehlerfrei erkannt und benannt werden können, was ähnlich der Zahlwortfolge im mathematischen Bereich im Schriftsprachbereich eine Grundvoraussetzung für das Lesen und Schreiben darstellt.

In den Hypothesen wurde ferner erwartet, dass Updating die Rechtschreibleistung beeinflussen würde, da diese am Ende der ersten Klasse noch nicht ohne Aufmerksamkeitszuwendung automatisiert abläuft, zumal orthografische Regeln erst gegen Ende des ersten Schuljahres im Unterricht eingeführt werden. Der Zusammenhang zwischen den beiden Variablen stellte sich erwartungsgemäß, aber mit recht geringer Varianzaufklärung ein (siehe Modell 1). Der signifikante Einfluss des Updating auf die Rechtschreibleistung könnte zum einen daher rühren, dass phonologische Information aus dem Kurzzeitspeicher mit im Langzeitgedächtnis abgespeichertem grammatikalischem Wissen verbunden wird. Neben der Koordination und Verknüpfung von Informationen aus dem Kurz- und Langzeitspeicher dürfte zum anderen das Aktualisieren der relevanten und das Verwerfen überflüssig gewordener phonologischer Information während der Niederschrift die orthografisch korrekte Schreibweise fördern. Alloway und Kollegen (2005) berichten dazu, dass es Kindern mit geringen Leistungen in komplexen Spannen-Aufgaben schwer falle, die Aufgabenstruktur (Laut, Wort, Satz) präsent zu halten und zu aktualisieren, was zu Fehlern wie dem Auslassen oder Doppeln von Buchstaben und Wörtern führe.

Es wurde in den Hypothesen schließlich überlegt, dass Updating neben der Schulleistung auch spezifische Schriftsprachvorläufer beeinflussen könnte. Neben dem Einfluss auf die Buchstabenkenntnis (Modell 3) zeigte sich ohne Berücksichtigung weiterer (korrelierter) Prädiktoren ein kleiner signifikanter Einfluss des Updating auf die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne (Modell 2). Dieser Zusammenhang könnte wie auch bei der Dekodiergeschwindigkeit und der Rechtschreibleistung auf die Aktualisierung relevanter bzw. auf das Verwerfen nicht mehr benötigter phonologischer Information im Arbeitsspeicher zurückzuführen sein.

Zusammenfassend lässt sich der exekutiven Funktion Updating eine recht geringe Rolle für schriftsprachliche Leistungen bescheinigen, welche sich bei Berücksichtigung wichtiger Prädiktoren auf direkte Effekte auf die phonologische Bewusstheit (Modell 2) bzw. die Buchstabenkenntnis (Modell 3) beschränkt. Dass diese Effekte wiederum nur in moderater Höhe ausgefallen sind, bestätigt viele der oben berichteten Befunde aus anderen Studien zum Einfluss exekutiver Funktionen auf die schriftsprachliche Entwicklung (z.B. Lan et al., 2011). In diesen

finden sich vereinzelt zwar leicht höhere β -Gewichte als in der vorliegenden Untersuchung (z.B. Arbeitsgedächtnis auf Wortlesen $\beta = .59$ bei Christopher et al., 2012; Arbeitsgedächtnis auf Lesen $\beta = .37$ bei Gathercole et al., 2006), doch berücksichtigten diese Studien keine weiteren exekutiven Funktionen oder nur unvollständig weitere wichtige Prädiktoren der Schriftsprachentwicklung. Zudem untersuchten die beiden letztgenannten Studien jeweils eine andere Altersgruppe als die vorliegende Untersuchung. Da davon auszugehen ist, dass in unterschiedlichen Stadien des Schriftspracherwerbs unterschiedliche Prädiktoren relevant sind (vgl. Ennemoser et al., 2012), ist demzufolge ein Vergleich nur eingeschränkt möglich. Die Studie von Monette und Kollegen (2001) ging als einzige ähnlich wie die vorliegende Studie in einer vergleichbaren Altersgruppe vor und kam ebenfalls zu dem Schluss, dass bei Einführung von Kontrollvariablen (Schrift- und Buchstabenkenntnisse) der vormals direkte Einfluss des Updating/der zentralen Exekutive auf schriftsprachliche Schulleistungen nicht mehr signifikant wird. Ähnliches berichteten van der Sluis und Kollegen (2007) wiederum für etwas ältere Kinder, welche bei Kontrolle der Benennungsgeschwindigkeit und weiterer exekutiver Funktionen nur noch einen sehr geringen Einfluss des Updating auf die Lesegeschwindigkeit fanden. Dabei lässt sich zudem diskutieren, ob nun die Art der eingesetzten Aufgaben für das Konstrukt Updating, bzw. synonym benannt als zentrale Exekutive oder Working memory, sich auf die Höhe des Einflusses auswirkt. Van der Sluis und Kollegen bemerkten, dass reine Updating-Aufgaben, wie die in dieser Studie eingesetzte Picture Memory Task primär sehr spezifische Arbeitsgedächtnisleistungen (Aktualisieren der Informationen im Arbeitsspeicher durch Aufrechterhalten vs. Verwerfen von Informationen *ohne* weitere Verarbeitung) erfordern, während komplexe Spannen-Aufgaben wie sie häufig zur „klassischen“ Erfassung des Arbeitsgedächtnisses/der zentralen Exekutive und auch als zweiter Indikator in dieser Studie verwendet wurden, hingegen zusätzlich die Verarbeitung von Arbeitsgedächtnisinhalten erforderlich machen. Da erstere Aufgabe in den berechneten Strukturgleichungsmodellen höhere Faktorladungen aufwies, scheint der dieser Studie zugrunde liegende Faktor Updating eher spezifischer operationalisiert zu sein, was diese Untersuchung z.B. von der Untersuchung Gathercoles und Kollegen (2006) unterscheidet. Möglicherweise führt diese Spezifität zu insgesamt geringeren Überschneidungen mit den abhängigen Schriftsprachvariablen (van der Sluis et al., 2007), welche dann aber eingegrenzter als Anforderung an Aktualisierung von Arbeitsgedächtnisinhalten interpretiert werden können.

Shifting und Inhibition und schriftsprachliche Leistungen

Zunächst war in den Hypothesen davon ausgegangen worden, dass Shifting und Inhibition sich auf die beiden komplexeren abhängigen Variablen Leseverständnis und Rechtschreiben auswirken

würde. Wie oben beschrieben, ist davon auszugehen, dass in der vorliegenden Untersuchung aufgrund des hohen Zusammenhangs zwischen der Lesegeschwindigkeit und dem Leseverständnis kaum zusätzliche Varianz durch weitere Faktoren aufgeklärt werden konnte. Allerdings nahm Shifting und Inhibition hypothesenkonform Einfluss auf die Rechtschreibleistung und das in höherem Maße als der Faktor Updating (Modell 1). Gemeinsam erklärten die Faktoren exekutiver Kontrolle 22% der Varianz im Rechtschreiben, wobei der Faktor Shifting und Inhibition daran mit 16% aufgeklärter Varianz den weitaus größeren Anteil nahm. Dieser Befund bestätigt zunächst die Überlegung, dass Shifting und Inhibition dann wichtig werden, wenn es darum geht, verschiedene Informationen in Form lautgetreuer vs. orthografischer Gesetzmäßigkeiten zu berücksichtigen und flexibel einzusetzen und möglicherweise spontan eingesetztes lautgetreues Schreiben zu Gunsten der orthografisch korrekten Schreibweise zu unterdrücken.

Unter Einbezug weiterer Prädiktoren erwies sich der Faktor Shifting und Inhibition als nicht mehr relevant für die schulischen Schriftsprachleistungen, wirkte sich aber in bedeutendem Umfang (und im Vergleich zum Updating-Faktor auch deutlich vielfältiger) auf die Prädiktoren phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne, grammatikalisches Verständnis und Buchstabenkenntnis aus (Modell 2 und 3).

Shifting und Inhibition nahm Einfluss auf das grammatikalische Verständnis (Modell 3) in Form der Leistung im Testverfahren Ableitungsmorpheme, was darauf hinweist, dass es Kindern mit guten Shifting- und Inhibitionsleistungen besser gelingt, flexibel von Wortstämmen abzuleiten und passende Wortendungen zu wählen und dies sowohl bei realen als auch bei Kunstwörtern, also mit als auch ohne Rückgriff auf den Wortschatz, wobei besonders letzteres ein höheres Maß an Reflexivität und Hemmung spontaner Antworten erfordert. Möglicherweise wirkt sich Shifting und Inhibition über den Faktor Grammatik auch weiterhin indirekt auf die Rechtschreibleistung aus.

Die höchsten β -Gewichte zeigten Shifting und Inhibition bezogen auf die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne und dies sowohl in Modell 2 ohne Berücksichtigung weiterer Prädiktoren (24% Varianzaufklärung) als auch im komplexen Modell 3 (33% Varianzaufklärung). Somit zeigte sich der Faktor Shifting und Inhibition als sehr relevant für die Ausprägung einer wesentlichen Determinante frühen Schriftspracherwerbs. Mögliche Wirkmechanismen liegen zum einen im flexiblen Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus zwischen Wörter konstituierenden größeren Lautstrukturen. Aufgabenrelevante Sprachbestandteile können sich an verschiedenen Stellen eines Wortes befinden, wie z.B. Anfangs- oder Endsilben und erfordern entsprechend wechselnde Aufmerksamkeitszuwendung. Zum anderen erfordern das Zergliedern der Sprache

und das Richten des Augenmerks nur auf erforderliche Bestandteile wie zum Beispiel den Wortanfang das Ausblenden irrelevanter Wortbestandteile und auch der Wortbedeutungen.

In etwas geringerem Maße trug der Faktor Shifting & Inhibition auch zur Ausprägung der Buchstabenkenntnis bei. In den Hypothesen wurde vermutet, dass eine gute Fähigkeit zum Aufmerksamkeitswechsel den Wechsel von visuellem Graphem zu auditivem Phonem und umgekehrt erleichtert und das Hemmen spontaner präpotenter Reaktionen möglicherweise die Diskriminierung von visuell und phonologisch ähnlichen Buchstaben unterstützt. Diese Annahme scheint zumindest in Ansätzen angemessen zu sein, beachtet man das signifikante β -Gewicht von $\beta = .26$.

Im Überblick kann gesagt werden, dass der Faktor Shifting und Inhibition im Vergleich zum Faktor Updating tendenziell höhere Prädiktivität für Leistungen im Schriftsprachbereich und dies besonders für die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne zeigt. Möglicherweise liegt die Ursache für die deutlicheren und breiter gestreuten Zusammenhänge von Shifting und Inhibition im Vergleich zum Updating-Faktor darin, dass der Faktor Shifting und Inhibition ein breiteres Spektrum an Aufgaben und demzufolge auch an involvierten Prozessen enthält. Dies zeigt sich an den heterogenen Faktorladungen und Korrelationen der vier Indikatoren (s. Tabelle 8 sowie Tabelle 20 im Anhang), welche den faktorenanalytischen Ergebnissen zufolge aber andererseits zu einem Faktor zusammengefasst wurden. Entsprechend der Befunde Miyakes und Friedmans (2012) zur Gemeinsamkeit exekutiver Funktionen könnte alternativ überlegt werden, dass nicht nur der hoch auf dem Faktor Shifting und Inhibition ladenden Stroop-Aufgabe inhibitorische Leistungen zugrunde liegen, sondern auch der ebenfalls hoch ladenden, aber zunächst dem Shifting zugeordneten (und sicherlich auch Shifting-Leistungen erfordernde) Aufgabe Farbshifting. Diese erforderte neben dem Regelwechsel zusätzlich die Unterbindung der vormals korrekten und nun möglicherweise präpotent gewordenen Reaktion. Bezüglich der Interpretation des Zusammenhangs von Shifting und Inhibition und schriftsprachlichen Leistungen würde dies bedeuten, dass möglicherweise weniger das flexible Wechseln des Aufmerksamkeitsfokus auf unterschiedliche Sprachbestandteile wie Laute, Silben oder Morpheme oder das Wechseln zwischen phonologischer und orthografischer Strategie den Kern des Zusammenhangs ausmachen. Vielmehr wären eher grundlegende inhibitorische Prozesse für schriftsprachliche Leistungen durch das Unterdrücken irrelevanter Wortbestandteile bei Reimaufgaben, der Hemmung ähnlicher aber falscher Graphem-Phonem-Korrespondenzen oder einer vorschnellen lautgetreuen Schreibweise bei nicht-lautgetreuen Wörtern relevant.

Abschließend soll noch einmal auf die Untersuchung von Blair und Razza (2007) Bezug genommen werden. Diese zeigte ebenfalls Einflüsse von Inhibition (nicht aber von Shifting) auf die phonologische Bewusstheit und Buchstabenkenntnisse. Die Autoren zogen daraus den Schluss, dass exekutive Funktionen im schriftsprachlichen Bereich vor allen Dingen den Erwerb von Vorläuferfertigkeiten erleichtern, nicht aber mit dem Lesen selbst zusammenhängen würden. Lesen sei eine „crystallized cognitive ability, one that is composed of highly automatic letter and phoneme identification processes“, die durch den Automatisierungsgrad kaum noch exekutiver Kontrolle bedürfe (Blair & Razza, 2007, S.659). Blair und Razza untersuchten allerdings nur Vorschulkinder, so dass ihre Schlussfolgerung hypothetisch blieb. Die vorliegende Untersuchung erweiterte den untersuchten Altersbereich um die Schuleingangsphase und die Ergebnisse unterstützen die Annahme von Blair und Razza insofern, dass exekutive Funktionen die Vorläuferfertigkeiten des Lesens und Rechtschreibens signifikant beeinflussten und direkte Zusammenhänge mit schulischen Leistungen bei Berücksichtigung wichtiger Prädiktoren deutlich zurückgingen. Dass das Ausbleiben des direkten Zusammenhangs allerdings daraus resultiert, dass die Lesefertigkeit zum Ende des ersten Schuljahres bei einem Großteil der Schüler bereits einen hoch automatisierten, kristallisierten Prozess darstellt und die Schüler auf direktem Weg die Wortbedeutung abrufen können, ist allerdings fraglich und dürfte nicht auf alle Schüler zutreffen.

Fazit

In der vorliegenden Untersuchung erwiesen sich vorschulische exekutive Funktionen nur dann einflussreich für die Lesegeschwindigkeit und die Rechtschreibleistung am Ende der ersten Klasse, wenn keine weiteren Prädiktoren Berücksichtigung fanden. Die Einflüsse von Updating auf das schnelle Lesen und orthografisch korrekte Schreiben als auch von Shifting und Inhibition auf das Rechtschreiben ließen sich bei Kontrolle weiterer Prädiktoren nicht mehr aufzeigen. Updating sagte je nach Komplexität des Modells geringe Varianzanteile der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinne (7%) bzw. der Buchstabenkenntnis (9%) vorher. Der Faktor Shifting und Inhibition erwies sich als einflussreicher, insbesondere in Bezug auf die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne (33%) sowie etwas geringer auf die Buchstabenkenntnis (7%) und das grammatikalische Verständnis (12%).

Ebenso wie in Studien, die neben exekutiven Funktionen domänenspezifische Vorläuferfertigkeiten berücksichtigten und deren Einflüsse auf das Lesen und Schreiben aufzeigten (z.B. Buchstabenkenntnis bei Brock et al., 2009; Sprachverständnis bei Gathercole et al., 2006) zeigten sich auch in dieser Studie deutliche Einflüsse von Prädiktoren und domänenspezifischen Vorläuferfertigkeiten auf das schulische Lesen und Schreiben. Während

beispielsweise im Strukturgleichungsmodell 2 beide exekutiven Faktoren gemeinsam rund 32% der Varianz in der Vorläuferfertigkeit phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne aufklärten, konnte die phonologische Bewusstheit im engeren Sinne allein rund 35% der Varianz in der Lesegeschwindigkeit und 31% der Varianz in der Rechtschreibleistung erklären. Hingegen erschien der Einfluss des schnellen Abrufs aus dem Langzeitgedächtnis entgegen der Befunde aus anderen Studien eher gering (Christopher et al., 2012; van der Sluis et al., 2007), was möglicherweise daran lag, dass in dieser Studie nicht inhaltspezifisch Buchstaben, sondern Objekte benannt werden mussten. Ebenso zeigte die phonologische Schleife nur geringe Wirkung für die schriftsprachlichen Schulleistungen, was vermutlich daran lag, dass gleichzeitig schriftsprachlich bedeutsame Verständnis-, Wissens- und Abrufaspekte (phonologische Bewusstheit, Buchstabenkenntnis und Abruf aus dem Langzeitgedächtnis) berücksichtigt wurden, welche insgesamt von höherer Bedeutsamkeit sind.

Der Einfluss exekutiver Funktionen ist trotz eher geringer Varianzaufklärung nicht zu vernachlässigen, da erstens zu berücksichtigen ist, dass die beiden exekutiven Faktoren trotz gleichzeitiger Kontrolle einer großen Bandbreite an relevanten Einflussfaktoren eigene Varianz erklären konnten. Zum zweiten kann argumentiert werden, dass zusätzlich zu den niedrigen bis moderaten direkten Einflüssen exekutiver Funktionen auf Schriftsprachprädiktoren und -vorläufer indirekte Einflüsse auf die schriftsprachlichen Schulleistungen selbst (Updating über Buchstabenkenntnis auf Schulleistungen; Shifting und Inhibition über Grammatik auf Rechtschreiben, jeweils in Modell 3) hinzukommen.

Insbesondere ist der in zwei Modellen bestätigte Einfluss von Shifting und Inhibition auf die phonologische Bewusstheit, den einflussreichsten direkten Prädiktor schriftsprachlicher Schulleistungen, zu betonen. Die Fähigkeit, den Aufmerksamkeitsfokus zielorientiert flexibel zwischen verschiedenen Repräsentationen zu wechseln und - möglicherweise noch bedeutsamer - die Fähigkeit, Reaktionen auf irrelevante Stimuli zu hemmen, scheint deutlich dazu beizutragen, dass Kinder ein Verständnis für den strukturellen Aufbau der Sprache aus zunächst größeren Bestandteilen wie Silben und Wörtern erwerben. Dies könnte durch eine gezielte Zuwendung zu einzelnen Bestandteilen der Sprache unter Ausblendung der Gesamtinformation geschehen. Beispielsweise muss bei der Reimaufgabe die Wortbedeutung ausgeblendet werden und stattdessen die Aufmerksamkeit auf die phonologische Information am Wortende gelenkt werden („Bass - Fass - Hass - Mann“). Auf diesem Weg könnten die exekutiven Komponenten Shifting und Inhibition dazu beitragen, dass der Sprachfluss in seine Bestandteile zerlegt werden kann, was

wiederum von höchster Relevanz für den beginnenden Lese- und Schriftspracherwerb in lautgetreuen Orthografien ist.

Die vorliegende Untersuchung konnte zur Erweiterung der aktuellen Forschungslage beitragen, da sie zu den seltenen Untersuchungen zählt, die den Einfluss exekutiver Funktionen auf schriftsprachliche Vorläuferfertigkeiten untersucht. Zudem gibt es aktuell keine weitere Studie, die die separaten Einflüsse zweier vorschulisch erfasster exekutiver Funktionen bei gleichzeitiger Berücksichtigung wichtiger Prädiktoren auf Schriftsprachvorläuferfertigkeiten und die schulische Lesegeschwindigkeit, das Leseverständnis und die Rechtschreibleistung prüft. In kommenden Studien sollte die Operationalisierung exekutiver Funktionen weiter vorangetrieben werden, da es trotz sorgfältiger Auswahl und Verwendung von größtenteils etablierten Testverfahren zu Deckeneffekten in einer Inhibitionsaufgabe und heterogenen Faktorladungen kam. Dennoch weisen die Ergebnisse auf eine Beteiligung exekutiver Funktionen und insbesondere der Facette Shifting und Inhibition an der frühen schriftsprachlichen Entwicklung hin und es scheint ein lohnenswertes Ziel zu sein, weiterhin die Einflüsse einzelner exekutiver Funktionen auf den Schriftsprachbereich beispielsweise für Subgruppen wie Kinder mit einem Risiko für Lese-Rechtschreibschwächen zu verfolgen.

V. EINFLUSS EXEKUTIVER FUNKTIONEN BEI KINDERN MIT KOMBINIERTEN LERNSCHWÄCHEN

1. EINLEITUNG

Lernschwierigkeiten stellen kein vereinzelt auftretendes Problem dar, denn rund ein Viertel aller Kinder hat trotz durchschnittlicher Intelligenz Schwierigkeiten im Lesen, Schreiben und/oder Rechnen (Fischbach et al., 2013). Dies betrifft im Rechnen eher Mädchen, im Schriftsprachbereich eher Jungen und bei kombinierten Lernschwächen im Rechnen, Lesen und Schreiben beide Geschlechter gleichermaßen (Fischbach et al., 2013; Landerl & Moll, 2010). Lange Zeit wurde allerdings nur den isolierten Lernschwächen Aufmerksamkeit zuteil. Erst in den 1990er und 2000er Jahren wurde damit begonnen, empirisch und statistisch zu belegen, dass es eine Gruppe von Kindern gibt, die kombinierte Defizite aufweist (Schwenck & Schneider, 2003). Bis dahin blieb unklar, inwiefern sich das kognitive Profil kombiniert leistungsschwacher Schüler von den Profilen von Kindern mit isolierten Lernschwächen unterscheidet (van der Sluis, de Jong & van der Leij, 2004). Dementsprechend wurde beispielsweise von Schwenck und Schneider gefordert, spezifische Vorläuferfertigkeiten und allgemeine kognitive Funktionen im Hinblick auf deren Beteiligung an der Entstehung kombinierter Lernstörungen zu untersuchen. Obgleich mittlerweile deutlich mehr Forschungsarbeiten existieren, die sich mit den Charakteristika kombinierter Lernschwächen beschäftigen, steht ein umfassendes Bild von Ursachenfaktoren, kognitiven Eigenschaften und Abgrenzung von bzw. Zusammenhang mit isolierten Lernschwächen weiterhin aus. Büttner und Hasselhorn sehen beispielsweise auch noch 2011 unbeantwortet, inwiefern eine kombinierte Lernschwäche eine separat zu kategorisierende Lernschwäche mit eigenen, von isolierten Schwächen abgrenzbaren Ursachenfaktoren darstellt und ob sich die Stärken und Schwächen von Kindern mit isolierten und Kindern mit kombinierten Lernschwächen unterscheiden.

Die darauf folgenden Untersuchungen zeigten, dass Kinder mit kombinierten Lernschwächen neben den für die isolierten Lernschwächen charakteristischen Defiziten in den spezifischen Vorläuferfertigkeiten auch durch eine langsame Verarbeitungsgeschwindigkeit, ein geringes Sprachverständnis und geringere Arbeitsgedächtnisleistungen auffallen (Knievel, Petermann & Daseking, 2011; Willcut et al., 2013). Untersuchungen, die sich mit der Beteiligung exekutiver Funktionen an der Entstehung einer kombinierten Lernschwäche beschäftigen, sind jedoch bis

heute sehr selten, obwohl ein Zusammenhang naheliegend erscheint. Die vorangegangenen Untersuchungen dieser Arbeit in den Kapiteln III und IV beschäftigten sich mit den Einflüssen exekutiver Funktionen auf die schriftsprachliche und numerische Entwicklung in einer nicht-selektiven Stichprobe und kamen zu dem Ergebnis, dass die beiden faktorenanalytisch ermittelten Faktoren Updating sowie Shifting und Inhibition differenziert auf Zählfertigkeiten und das Zahlverständnis als auch auf die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne, das grammatikalische Verständnis und die Buchstabenkenntnis wirken. Der Erwerb akademischer Fertigkeiten könnte nun Kindern mit sehr schwach ausgeprägten exekutiven Funktionen besonders schwer fallen, da dieser erfordert, Aufgabenstellungen und Regeln aufrechtzuerhalten und zu beachten, Aufgaben durch inhibitorische Kontrolle fokussiert zu bewältigen, den Fortgang der Aufgabenbearbeitung und die Zielerreichung zu beobachten und zu bewerten, als auch zwischen erforderlichen Strategien zu wechseln (Bull & Kerry, 2014). Dies würde wie in den vorigen Kapiteln beschrieben sowohl den schriftsprachlichen als auch den mathematischen Bereich betreffen und könnte deshalb zur Entstehung von kombinierten Lernschwächen beitragen. In Anbetracht der Prävalenz von kombinierten Lernschwächen von rund 4% und den Bemühungen, diese möglichst frühzeitig zu erkennen und ihnen entgegenzuwirken, stellt sich nun die Frage, ob die exekutiven Funktionen frühzeitige Indikatoren einer sich anbahnenden kombinierten Lernschwäche darstellen könnten.

1.1 DEFINITION UND PRÄVALENZ KOMORBIDER LERNSCHWÄCHEN

Zunächst besteht die Notwendigkeit, den Begriff der Lernschwäche zu klären. Von einer *Lernschwäche* wird gesprochen, wenn mindestens durchschnittlich begabte Kinder Lernergebnisse zeigen, die deutlich unter dem Durchschnitt Gleichaltriger und von Kindern der gleichen Klassenstufe liegen. Soll anstelle einer Lernschwäche eine *Lernstörung* diagnostiziert werden, wird zusätzlich zu diesem einfachen Diskrepanzkriterium (= deutliche Abweichung zur Klassen-/Altersnorm) ein weiteres Diskrepanzkriterium vorausgesetzt. So fordert die World Health Organization WHO in der ICD-10 für die Diagnose einer „Umschriebenen Entwicklungsstörung schulischer Fertigkeiten“ (Kapitel V, F81) zusätzlich zur unterdurchschnittlichen schulischen Leistung eine Diskrepanz zwischen der Intelligenz und der Schulleistung von mindestens zwei Standardabweichungen. Viele Untersuchungen mildern dieses strenge Diskrepanzkriterium ab und fordern lediglich Diskrepanzen zwischen Intelligenz und Schulleistung von 1.0 bis 1.5 Standardabweichungen (vgl. Fischbach et al., 2013). Die Anwendung des doppelten Diskrepanzkriteriums zur Unterscheidung von Lernschwäche und -störung ist aus mehreren Gründen umstritten. Weder zeigen Kinder mit einer Lernstörung im Vergleich zu Kindern mit einer

Lernschwäche stärkere Symptome (Fischbach et al., 2013), noch scheinen sie unterschiedliche Defizite in kognitiven Leistungen wie dem Arbeitsgedächtnis zu haben (Mähler & Schuchhardt, 2011). Zudem gibt es widersprüchliche Hinweise, ob Kinder mit versus ohne IQ-Diskrepanz verschieden auf Interventionen ansprechen (Büttner & Hasselhorn, 2011). Eine Untergliederung in die beiden Kategorien Lernschwäche und Lernstörung erscheint somit nicht gerechtfertigt (Büttner & Hasselhorn, 2011).

Eine *komorbide* oder *kombinierte Lernschwäche* liegt dann vor, wenn ein Kind im Lesen und/oder Rechtschreiben und Rechnen Leistungen erbringt, die trotz mindestens durchschnittlicher Intelligenz ($IQ > 85$) deutlich unter dem Leistungsniveau von Kindern gleichen Alters oder der gleichen Klassenstufe liegen. Die kombinierte Lernschwäche tritt eher seltener als eine isolierte Leseschwäche, Rechtschreibschwäche oder Rechenschwäche auf (z.B. Dirks, Spyer, van Lieshout & de Sonnevile, 2008; Fischbach et al., 2013), die Höhe der Prävalenz variiert jedoch in unterschiedlichen Studien. Fischbach und Kollegen (2013) errechneten für Zweit- und Drittklässler Prävalenzen für eine kombinierte Lernschwäche im schriftsprachlichen und mathematischen Bereich von 2% - 4.2%. Dies passt recht genau zu der Prävalenzrate von 4.2% in der Untersuchung von von Aster und Kolleginnen (2007) an Zweitklässlern. Dirks und Kollegen (2008) hingegen zeigten in ihrer Untersuchung von Viert- und Fünftklässlern Prävalenzen von 1% bis 7.6% für komorbide Lernschwächen.

Die Höhe der Prävalenzen schwankt zum einen in Abhängigkeit von der Anwendung des doppelten Diskrepanzkriteriums. In Forschungsarbeiten finden sich zudem andere Vorgehensweisen als in der ICD-10 vorgeschlagen, beispielsweise ist die Orientierung an Diskrepanzen in Höhe von 1,2 bis 1,5 Standardabweichungen zwischen Intelligenz- und Schulleistungstestwert üblich. Fischbach und Kollegen (2013) verwendeten in ihrer Untersuchung einerseits das doppelte Diskrepanzkriterium mit einem Unterschied von 1.2 Standardabweichungen zwischen Intelligenz- und Schulleistungen, was zu dem niedrigeren Prävalenzwert von 2% führte. Vergleichend berechneten sie die Prävalenz ohne die Berücksichtigung eines im Vergleich zur Schulleistung deutlich besseren Intelligenzquotienten, was den leicht höheren Prävalenzwert von 4% ergab.

Zum anderen schwankt die Prävalenzquote in Abhängigkeit der Höhe des Cut-off-Wertes im Schulleistungstest, der für die Feststellung einer Schulleistungsschwäche unterschritten werden muss. Dirks und Kollegen kamen beispielsweise zu den oben angesprochenen deutlich unterschiedlichen Prävalenzraten, indem sie unterschiedlich strenge Cut-off-Kriterien zugrunde legten. Bei Schulleistungstestergebnissen mit einem Prozentrang kleiner als 10 ergab sich für

kombinierte Lernschwächen eine Prävalenz von 1%, während das Cut-off-Kriterium von einem Prozentrang kleiner als 25 in beiden Schulleistungstests die Prävalenz von 7.6% für komorbide Lernschwächen ergab. Nach Landerl und Moll (2010) sind möglicherweise bei den beiden Gruppen von Kindern, die sich durch die unterschiedlichen Cut-off-Werte ergeben, verschiedene Faktoren für die Entstehung einer kombinierten Lernschwäche ursächlich. Einerseits würden kombinierte Lernschwächen durch geteilte genetische Grundlagen hervorgerufen, zum anderen würden aber auch Umweltfaktoren zur Ausprägung genereller Lernschwächen beitragen. Sie führen an, dass gleiche genetische ätiologische Risikofaktoren zur Ausprägung unterschiedlicher Defizite im „kognitiven Phänotyp“, also dem kognitiven Erscheinungsbild, führen können (vgl. die sogenannte Pleiotropy-Hypothese; Pennington, 2006) und Kinder mit kombinierten Lernschwächen in der Folge mehrere mögliche Phänotypen gleichzeitig zeigen können. Zudem besagt die Severity-Hypothese, dass das Auftreten nur einer isolierten oder einer kombinierten Lernschwäche ein Kontinuum des Schweregrades einer Lernschwäche darstellt. Je deutlicher ein Risikofaktor ausgeprägt sei, desto eher würden weitere Schwächen gleicher Ätiologie ausgeprägt (Pennington, 2006). Bei Kindern, die auch bei strengem Cut-off-Kriterium die Diagnose einer kombinierten Lernschwäche erhielten, seien deshalb eher geteilte genetische Risikofaktoren für die Entwicklung der Schwächen verantwortlich als bei Kindern, die nur bei einem liberaleren Cut-off-Wert als lerngestört diagnostiziert würden. Letztere Gruppe sei heterogener und enthalte nicht nur die Kinder mit neurobiologischer Ätiologie, sondern auch Kinder, für deren Ausprägung der generellen Lernschwäche eher Umweltfaktoren wie z.B. eine geringe elterliche Unterstützung sorgen würden.

Auch die Wahl der Aufgaben (und der diesen zugrunde liegenden Konstrukten) im Schulleistungstest spielt neben der Berücksichtigung des doppelten Diskrepanzkriteriums und variierender Cut-off-Kriterien für die Berechnung der Prävalenz möglicherweise eine Rolle. Landerl und Moll (2010) untersuchten bei Kindern der 2. - 4. Klasse zum einen das gemeinsame Auftreten von schwachen Rechtschreib- und schwachen Mathematikleistungen als auch von schwachen Leseverständnis- und Mathematikleistungen. Bei Anwendung eines strengen Cut-off-Kriteriums reduzierte sich die Prävalenz von Lese- und Rechenschwierigkeiten, hingegen blieb die Häufigkeit des gemeinsamen Auftretens von schwachen Rechtschreib- und schwachen Mathematikleistungen gleich. Landerl und Moll schlussfolgerten daraus, dass dem gemeinsamen Auftreten von Rechtschreib- und Rechenschwäche eine andere, vermutlich genetische, Ursache zugrunde liegt als der Komorbidität von schwachem Leseverständnis und Rechnen und plädieren für die separate Untersuchung von Rechtschreib- und Leseleistung bei Kindern mit kombinierten Lernschwächen.

Dirks und Kollegen (2008) untersuchten ebenfalls, ob sich die Prävalenzrate kombinierter Störungen bei einem Cut-off-Wert von $PR < 25$ verändert, wenn für das Lesen entweder die Worterkennungsleistung oder das Leseverständnis oder ähnlich wie bei Landerl und Moll das Rechtschreiben als Maß für die schriftsprachliche Leistung herangezogen wird. Ihre Untersuchung an Viert- und Fünftklässlern ergab allerdings keine nennenswerten Veränderungen in der Höhe der Prävalenz für kombiniertes Auftreten von Schwächen im schriftsprachlichen und mathematischen Bereich (gemeinsame Schwächen in Rechnen und Worterkennung/Lese Flüssigkeit: 7.6%, Rechnen und Leseverständnis: 6.9%, Rechnen und Rechtschreiben: 8.1%). Dies ließe sich darauf zurückführen, dass 80% der Kinder mit kombinierten Lernschwächen in allen schriftsprachlichen Bereichen, also der Worterkennung, dem Leseverständnis und dem Rechtschreiben, unterdurchschnittliche Leistungen erzielen und deshalb bei jedem Leistungsmaß die gleichen Kinder als kombiniert lernschwach klassifiziert werden würden. Kinder mit einer isolierten Schwäche in der Worterkennung oder dem Leseverständnis oder dem Rechtschreiben hingegen zeigten nur zu einem geringeren Anteil Defizite in den anderen schriftsprachlichen Leistungsmaßen. Somit scheinen laut Dirks und Kollegen die Defizite von Kindern mit kombinierten Lernschwächen breitbandiger und genereller als die von Kindern mit isolierten Lernschwächen zu sein.

1.2 ERKLÄRUNGSANSÄTZE FÜR DAS AUFTRETEN KOMBINierter LERNschwächen

Doch was ruft nun das Erscheinungsbild der kombinierten Lernschwäche hervor? Ashkenazi und Kollegen (2013) entwarfen die in Abb. 7 dargestellten drei Szenarien neurobiologischer Ursachen für die Komorbidität: A) könnten Störungen in den jeweiligen bereichsspezifischen Grundvoraussetzungen für das Erlernen von Lesen, Schreiben und Rechnen in reiner Additivität vorliegen und die kombinierten Symptome der Leserechtschreib- und Rechenstörung bewirken. B) sei es möglich, dass Defizite in der phonologischen Informationsverarbeitung, assoziiert mit Schwächen in der schriftsprachlichen Schulleistungsdomäne allein die Ausprägung der kombinierten Störung bewirkt und C) sei vorstellbar, dass eine nicht spezifisch einer der beiden Schulleistungsdomänen zuzuordnende defizitäre Fähigkeit die normale Entwicklung im Lesen als auch Rechnen verhindere. Kandidaten hierfür stellen die Konstrukte Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis und Kontrollprozesse des präfrontalen Kortex dar (Ashkenazi, Black, Abrams, Hoelt & Menon, 2013).

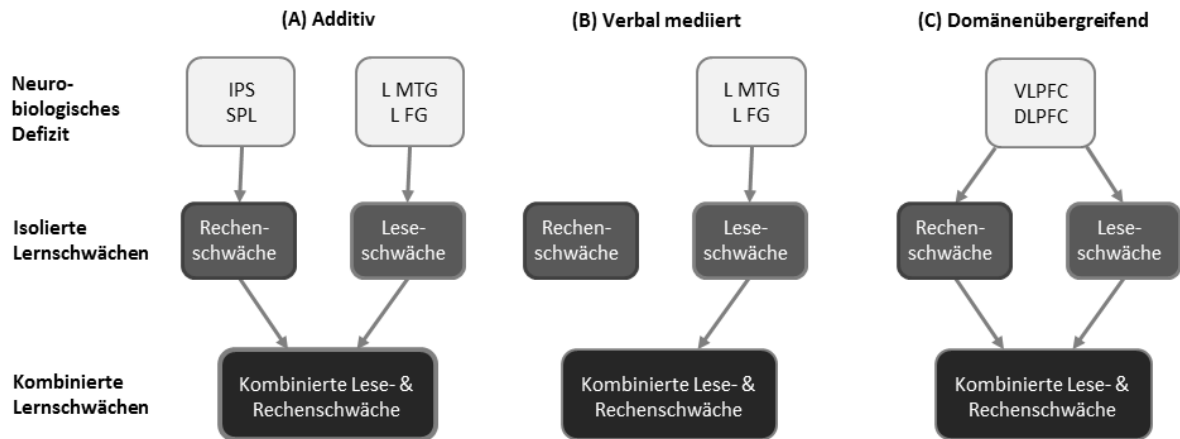


Abbildung 7. Mögliche kombinierter Lese- und Rechenschwäche zugrunde liegende neurobiologische Pfade. IPS = Intraparietaler Sulcus; SPL = Superiorer Parietallappen; LMTG = linker mittlerer temporaler Gyrus; L FG = linker Gyrus fusiformis; VLPFC = ventrolateraler präfrontaler Kortex; DLPFC = dorsolateraler präfrontaler Kortex; Abbildung übersetzt aus Ashkenazi et al. (2013, S. 550).

Viele der im Folgenden zu beschreibenden Befunde verweisen auf Ansatz A von Ashkenazi und Kollegen (2013) und zeigen, dass die kognitiven Profile von Kindern mit kombinierten Lernschwächen häufig durch das Vorliegen der aufaddierten Schwächen isolierter Lernschwächen gekennzeichnet sind. Dies weist darauf hin, dass es getrennte Verarbeitungswege für phonologische und numerische Informationen gibt, welche im Fall einer nicht altersgerechten Entwicklung additiv zum Entstehen von Schwächen im Lesen, Rechtschreiben und Rechnen beitragen (z.B. Schuchardt, Mähler & Hasselhorn, 2008).

Eine weitere Ursache zur Entstehung der kombinierten Lernschwäche scheint aber auch in der defizitären phonologischen Informationsverarbeitung, also einer zunächst als bereichsspezifisch eingeordneten Fertigkeit, zu liegen (vgl. Ansatz B von Ashkenazi et al., 2013; Hecht, Torgesen, Wagner & Rashotte, 2001). Die Komponenten der phonologischen Informationsverarbeitung sind an vielen Stellen in die Verarbeitung numerischen Materials involviert, beispielsweise wenn Ziffern mit der zugehörigen phonologischen Kodierung beim Zählvorgang verbunden werden. De Smedt, Taylor, Archibald & Ansari (2010) wiesen für die Komponente der phonologischen Bewusstheit auch bei unbeeinträchtigten Kindern nach, dass Schwierigkeiten in dieser Fähigkeit mit erschwertem Abruf numerischen Faktenwissens im Langzeitgedächtnis einhergehen. Dies führen die Autoren darauf zurück, dass arithmetisches Faktenwissen in phonologischer Form im Langzeitgedächtnis abgespeichert ist und generell gefestigte phonologische Repräsentationen auch den Abruf mathematischer Langzeitgedächtnisinhalte verbessern und beschleunigen. Diese Assoziationen lassen sich wiederum auch in neurologischen Netzwerken finden. So berichten De

Smedt und Kollegen (2010), dass das Lesen und das Bearbeiten von Aufgaben zur phonologischen Bewusstheit genauso wie das Lösen von wenig komplexen Rechen- als auch Multiplikationsaufgaben Aktivierung in den gleichen Gehirnarealen bewirkt. Krajewski und Schneider (2009b) belegten bezüglich des Zusammenhangs phonologischer Bewusstheit und numerischer Fertigkeiten die Hypothese, dass das Wissen um die Zerlegbarkeit der Sprache in einzelne Bestandteile auch das Zerlegen der zunächst als String gelernten Zahlwortfolge in die einzelnen Zahlwörter erleichtere. In ihrer Untersuchung nahm dementsprechend die phonologische Bewusstheit direkten Einfluss auf die Zählfertigkeiten der Kinder und stellt somit einen Verknüpfungspunkt der beiden Domänen in frühen Entwicklungsstadien dar.

Auch Untersuchungen an der der vorliegenden Arbeit zugrunde liegenden Stichprobe ergaben Wechselwirkungen zwischen schriftsprachlichen und numerischen Kompetenzen und weisen auf sprachliche Grundlagen für mathematische Leistungen hin: Die im mittleren Kindergartenalter erfasste phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne nahm nicht nur domänenspezifisch Einfluss auf die weitere schriftsprachliche Entwicklung, sondern beeinflusste ebenso basale Zahl-Größen-Kompetenzen, welche sich ihrerseits auf die anschließende mathematische Entwicklung auswirkten (Simanowski, Greiner & Krajewski, 2011). Demnach stellt ein Defizit in der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinne möglicherweise nicht nur eine Ursache für eine isolierte Lese-Rechtschreibschwäche, sondern auch einen frühzeitigen Indikator für das Risiko einer kombinierten Lernschwäche dar (Krajewski & Schneider, 2009b). Risiko-Klassifikationsanalysen ergaben zudem, dass die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne im mittleren Kindergartenalter einen sensitiven und spezifischen Marker für kombinierte schriftsprachliche und numerische Entwicklungsschwächen zu Beginn der ersten Klasse darstellt (Krajewski et al., 2013).

Zudem könnte laut Ansatz C von Ashkenazi und Kollegen (2013) eine komorbide Lernschwäche durch Defizite in weiteren Ressourcen, die unspezifisch sowohl für den Schriftsprach- als auch den Rechenerwerb notwendig sind, hervorgerufen werden. Sowohl Arbeitsgedächtniskapazitäten, aber auch Güte und Zugänglichkeit zu Repräsentationen im Langzeitgedächtnis, Aufmerksamkeitsleistungen und möglicherweise exekutive Funktionen spielen für das Lesen, Rechtschreiben und Rechnen eine Rolle und könnten das domänenübergreifende Bindeglied zwischen beiden isolierten Störungen darstellen. Geary (1993) geht davon aus, dass der kombinierten Lernschwäche Aktivierungs- und Abrufdefizite von Informationen aus dem semantischen Gedächtnis zugrunde liegen, die dazu führen, dass sowohl arithmetisches Faktenwissen als auch Wörter und phonologische Elemente der Sprache beim Lesevorgang nicht

abgerufen werden könnten. Die Arbeitsgruppen um Geary (Geary, Hamson & Hoard, 2000; Geary, Hoard, Byrd-Craven, Nugent & Numtee, 2007) zeigten für rechenschwache Kinder und für Kinder mit kombinierter Lernschwäche, dass diese in Mathematikaufgaben, die durch Faktenabruf gelöst werden können, durch wenige korrekte Antworten und viele Fehler auffielen. Ursächlich dafür könnte insbesondere für Kinder mit kombinierter Lernschwäche neben einem umfassenderem Gedächtnisdefizit auch eine unzureichende Inhibition von irrelevanten Assoziationen im Arbeitsgedächtnis sein (Geary et al., 2000, siehe auch Teil II Kapitel 1.3: Working memory capacity nach Engle et al, 1999).

Die ebenfalls kürzlich veröffentlichte Studie von Willcutt und Kollegen (2013) untersuchte eine große Stichprobe von Kindern mit isolierter und komorbider Lernschwäche (rund 200 Kinder je Gruppe). Auch hier betraf eine Fragestellung die Erklärung für das kombinierte Auftreten von Lernschwächen. Vorstellbar seien vier Erklärungsmodelle: Das „Alternate forms model“ (ähnlich der Pleiotropy-Hypothese von Pennington, 2006) enthält folgende Überlegung: Sowohl die isolierten als auch die komorbide Lernschwäche weisen gleiche Ursachenfaktoren auf und lediglich zufällige Faktoren bestimmen, welches Erscheinungsbild einer Lernschwäche ausgeprägt wird.

Modell 2, das „Phenocopy model“, sagt aus, dass die Ursache einer isolierten Lernschwäche ausreiche, um die zweite isolierte Lernschwäche zu bewirken, ohne dass deren spezifische Ursachen vorlägen. Dieser Ansatz entspräche in groben Zügen Ansatz B von Ashkenazi und Kollegen, der besagt, dass unzureichende phonologische Informationsverarbeitung unabhängig vom Vorliegen spezifischer numerischer Defizite auch zu einer Rechenschwäche führen kann. Verschiedene Ursachen könnten also zur Ausprägung des Erscheinungsbildes beispielsweise der Rechenschwäche führen.

Eine weitere Möglichkeit sei Modell 3, das „Three independent disorders model“: Die kombinierte Lernschwäche sei eine separate Lernschwäche mit einem kognitiven Profil, dass sich in einigen Punkten qualitativ von den Profilen isolierter Lernschwächen unterscheidet.

Als vierte Möglichkeit stellen Willcutt und Kollegen das „Correlated liabilities model“ vor. In diesem teilen beide isolierten Lernschwächen einige ätiologische Faktoren, was zu komorbidem Auftreten führt. Am Auftreten einer isolierten Lernschwäche sind hingegen jeweils ungeteilte störungsspezifische ätiologische Defizite beteiligt. In dieses letzte Modell von Willcutt und Kollegen lassen sich alle drei Erklärungsansätze für kombinierte Lernschwächen nach Ashkenazi und Kollegen integrieren: Plausibel ist, dass defizitäre domänenspezifische, aber auch

bereichsübergreifende Voraussetzungen auf die Entwicklung kombinierter Lernschwächen Einfluss nehmen. Die Studienergebnisse von Willcutt und Kollegen sprechen nun auch dafür, dass multiple Defizite additiv zur Entstehung einer kombinierten Lernschwäche beitragen. Weder stelle die kombinierte Störung eine von den isolierten Störungen abgrenzbare separate dritte Störung mit differentem kognitivem Profil dar, noch reichen die Ursachenfaktoren eines Bereichs, also z.B. der phonologischen Bewusstheit, allein aus, um auch die andere isolierte Schwäche, z.B. eine Rechenschwäche, hervorzurufen. Anstelle dessen sei die Annahme des „Correlational liabilities models“ angemessen (Willcutt et al., 2013). Die Studienbefunde zeigten dem Modell entsprechend, dass Kinder mit kombinierter Lernschwäche Defizite in geteilten Risikofaktoren aus Anlage und Umwelt in den Bereichen Sprachverständnis, Verarbeitungsgeschwindigkeit und Arbeitsgedächtnis (Komplexe Spannen-Aufgaben) zeigten. Die Lese-Rechtschreibschwäche führe als zusätzliche differenzierende Kernmerkmale Schwächen in der phonologischen Bewusstheit und der Benennungsgeschwindigkeit mit sich, während die Rechenschwäche zusätzlich zu den drei gemeinsamen Schwächen im Sprachverständnis, in der Verarbeitungsgeschwindigkeit und im Arbeitsgedächtnis durch Schwierigkeiten im Set-Shifting charakterisiert würde. Numerische Vorläuferfertigkeiten wurden in der Studie nicht erhoben, Willcutt und Kollegen sprechen diesen aber dennoch ähnlich der phonologischen Bewusstheit für die Lese-Rechtschreibschwäche spezifische Vorhersagekraft für die isolierte Rechenschwäche zu.

Zusammenfassend bleibt zunächst festzuhalten, dass das „Correlated liabilities model“ Willcuts und Kollegen und die darin bestens integrierbaren Szenarien A und C von Ashkenazi und Kollegen für ein additives Zusammenwirken von inhaltspezifischen als auch domänenübergreifenden kognitiven Schwierigkeiten als Ursache kombinierter Lernschwächen sprechen. Zwar nehmen auch ähnlich des Ansatzes B von Ashkenazi (2013) schwach ausgeprägte inhaltspezifische Vorläuferfertigkeiten wie z.B. die phonologische Bewusstheit negativen Einfluss auf die andere Leistungsdomäne. Diese Schwäche allein reicht jedoch nicht aus, um ebenfalls die zweite Lernschwäche auszulösen, da jede der beiden isolierten Lernschwächen durch das Vorliegen multipler sowohl gemeinsamer als auch distinkter schwach ausgeprägter Faktoren verursacht wird (Pennington, 2006).

1.3 KOGNITIVE PROFILE BEI KOMBINIERTEN LERNSCHWÄCHEN

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit dem Erscheinungsbild von Lernschwächen und betrachtet zunächst die Auffälligkeiten von Kindern mit isolierten Rechen- bzw. Lese-Rechtschreibschwächen in relevanten Komponenten der Informationsverarbeitung und vergleicht diese anschließend mit den Auffälligkeiten von Kindern mit kombinierten Lernschwächen. Im mathematischen Bereich stehen spezifische Vorläuferfertigkeiten in Form numerischer Basiskompetenzen, aber auch von Arbeitsgedächtniskapazitäten, schnellen Zugriffsmöglichkeiten auf das Langzeitgedächtnis, bzw. einer ausreichend zügigen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit im Mittelpunkt der Vorhersage mathematischer Schulleistungen (z.B. Geary et al., 2007; Krajewski & Schneider, 2009a, 2009b). Für den schriftsprachlichen Bereich konzentrieren sich Vorhersagen schulischer Leistungen zumeist auf Komponenten der phonologischen Informationsverarbeitung, auf Arbeitsgedächtniskapazitäten und linguistische Fertigkeiten (z.B. Ennemoser et al., 2012).

Den isolierten Störungen schulischer Fähigkeiten wird dementsprechend im Fall der Lese-Rechtschreibstörung ein Kerndefizit in der phonologischen Verarbeitung unterstellt (z.B. Wagner & Torgesen, 1987), während angenommen wird, dass der Rechenschwäche ein Defizit in der Verarbeitung numerischer Informationen zugrunde liegt (z.B. von Aster et al., 2007). Den oben beschriebenen Überlegungen und Befunden Ashkenazis und Kollegen (2013) und Willcutts und Kollegen (2013) zufolge ist davon auszugehen, dass der kombinierten Schulleistungsschwäche die aufsummierten kognitiven Defizite der beiden isolierten Schulleistungsschwächen zugrunde liegen. Somit resultieren die breitbandigen Defizite bei kombinierter Lernschwäche aus der Summe der jeweiligen bereichsspezifischen und den bereichsübergreifenden schwachen kognitiven Voraussetzungen (Landerl, Fussenegger, Moll & Willburger, 2009). Kinder mit kombinierter Lernschwäche sollten demnach Schwächen in der phonologischen Informationsverarbeitung, in basalen numerischen Kompetenzen und im Arbeitsgedächtnis, der Informationsverarbeitungs- und Abrufgeschwindigkeit und möglicherweise in den sprachlichen Fähigkeiten aufweisen. Zudem scheinen die kognitiven Profile von Kindern mit kombinierter Schulleistungsschwäche im Vergleich zu Kindern mit isolierten Lernschwächen besonders defizitär ausgeprägt zu sein (Mähler & Schuchardt, 2011).

1.3.1 Arbeitsgedächtnisleistungen bei kombinierten Lernschwächen

Einen wesentlichen Prädiktor für erfolgreiches Lernen stellt das Arbeitsgedächtnis dar (Alloway et al., 2005), wobei für Lernschwächen in den Domänen Schriftsprache und Mathematik

unterschiedliche Bestandteile von besonderer Relevanz sind. Schuchardt und Mähler (2010) beispielsweise berichten für Zweit- bis Viertklässler mit einer isolierten Rechenstörung im Vergleich zu gleichaltrigen Kontrollkindern von signifikant schwächeren Leistungen in Aufgaben zur Erfassung des visuell-räumlichen Notizblocks. Die Leistungen in der phonologischen Schleife fallen in den meisten Studien nur tendenziell geringer oder ähnlich den Leistungen unbeeinträchtigter Kinder aus (Schuchardt et al., 2008; Schuchardt & Mähler, 2010). Mähler und Schuchardt (2011) hingegen fanden schlechtere Leistungen in Aufgaben zur phonologischen Schleife auch bei dyskalkulischen Kindern. Die Rolle der dritten Komponente des Arbeitsgedächtnisses, der zentralen Exekutive, wird ebenfalls etwas heterogen beschrieben. Während beispielsweise Schuchardt und Kollegen (2008) keine Unterschiede in zentral-exekutiven Leistungen zwischen rechengestörten und unbeeinträchtigten Kindern fanden, berichten andere Untersuchungen durchaus von auffällig schlechteren Ergebnissen in Aufgaben zur Erfassung der zentralen Exekutive bei rechengestörten Kindern (z.B. Gathercole et al., 2006; Geary et al., 2007, Mähler & Schuchardt, 2011). Möglicherweise sind besonders jene Kinder von schlechten zentral-exekutiven Fähigkeiten betroffen, die besonders schwache Rechenleistungen aufweisen, während Kinder mit moderaten Rechenschwächen weniger auffällige Schwächen in der zentralen Exekutive zeigen (Geary et al., 2007).

Kinder mit isolierter Lese-Rechtschreibstörung hingegen erbringen in der Regel reduzierte Leistungen in der phonologischen Schleife, z.B. wenn Kunstwörter wiedergegeben werden sollen (Landerl et al., 2009; Schuchardt, Kunze, Grube & Hasselhorn, 2006; Swanson, Zheng & Jerman, 2009). Aber auch in zentral-exekutiven Aufgaben erzielen lese-rechtschreibschwache Kinder in vielen Untersuchungen schlechtere Resultate als Kinder mit durchschnittlichen Lese-Rechtschreibleistungen (Mähler & Schuchardt, 2011; Schuchardt et al., 2006; Swanson et al., 2009; Wang & Gathercole, 2013). Unterschieden werden sollte möglicherweise die isolierte Rechtschreibleistung von der reinen Leseschwäche, da bei Kindern mit einer Rechtschreibstörung verstärkt Defizite in der phonologische Schleife ursächlich zu sein scheinen, während mangelnde Leseleistungen eher mit geringeren zentral-exekutiven Leistungen einhergehen (Brandenburg et al., 2014). Das visuell-räumliche Kurzzeitgedächtnis erweist sich bei Kindern mit Lese-Rechtschreibschwächen zumeist als unauffällig im Vergleich zu Kindern mit durchschnittlicher Schriftsprachleistung (z.B. Brandenburg et al., 2014; Jeffries & Everatt, 2004, Landerl et al., 2009).

Hingegen zeigten Kinder mit kombinierter Störung in allen drei Komponenten des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley (1986) signifikant schlechtere Leistungen als Kinder mit einer isolierten Rechenstörung (Schuchardt & Mähler, 2010). Studien, die sowohl Kinder mit isolierten

Rechen- und Lese-Rechtschreibschwächen als auch komorbiden Lernschwächen untersuchten, wiesen die jeweils für eine isolierte Lernschwäche spezifischen Arbeitsgedächtnisschwächen auch bei Kindern mit kombinierter Rechen- und Lese-Rechtschreibschwäche nach (Schuchardt et al., 2008) und dies häufig in noch stärkerer Ausprägung (Landerl et al., 2009; nur für Maße der zentralen Exekutive: van der Sluis et al., 2005).

1.3.2 Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit bei kombinierten Lernschwächen

Zu den Defiziten in den Arbeitsgedächtniskomponenten kommt sowohl bei leserechtschreib- als auch rechenschwachen Kindern eine herabgesetzte Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit hinzu (z.B. Censabella & Noel, 2005). Die Untersuchung von Geary (2007) ergab beispielsweise bei Kindern mit Rechenschwäche eine langsamere Geschwindigkeit beim schnellen Benennen von Buchstaben und Ziffern als bei Kindern mit durchschnittlicher Mathematikleistung. Eine reduzierte Benennungsgeschwindigkeit belegten Landerl und Kolleginnen (2009) hingegen nicht für dyskalkulische, wohl aber für leseschwache Kinder. Zudem erwiesen sich in deren Untersuchung Kinder mit kombinierter Lernstörung als deutlich langsamer im schnellen Benennen von Ziffern als die unbeeinträchtigten und isoliert rechenschwachen Kinder. Pauly und Kollegen (2011) verwendeten systematisch sowohl schriftsprachliches (Buchstaben und Objekte) als auch numerisches Material (Würfel und Ziffern) in den Benennaufgaben. Dabei benannten Kinder mit einem Risiko für Dyskalkulie Würfel als auch Ziffern, Kinder mit Dyslexie-Risiko hingegen Objekte und Buchstaben langsamer als die jeweilige andere Störungs- und die Kontrollgruppe. Bei Kindern mit kombinierten Störungen seien diese Schwächen additiv, so dass Pauly und Kollegen von einer Beteiligung zweier unterschiedlicher neuronaler Netzwerke beim schnellen Benennen von unterschiedlichem Material ausgehen. Willburger, Fussenegger, Moll, Wood und Landerl (2008) hingegen fanden für Kinder mit Rechenschwäche lediglich inhaltsspezifisch ein langsames Benennen von Mengen, was sie mit einem Defizit in der Verarbeitung numerischer Informationen erklärten. Kinder mit Dyslexie erwiesen sich generell verlangsamt im Benennen von Objekten, Ziffern und Buchstaben. Wie bei Pauly und Kollegen zeigten auch in der Studie von Willburger und Kollegen Kinder mit kombinierter Störung die aufaddierten Defizite von Kindern mit isolierten Lernschwächen im schnellen Benennen. Neben der Hypothese, dass bei Kindern mit komorbider Lernschwäche sowohl das Netzwerk zur Verarbeitung numerischer Informationen als auch das Netzwerk zur lexikalischen Repräsentation sprachlicher Informationen schwach ausgeprägt sein könnte, besteht alternativ die Überlegung, dass Kinder mit komorbiden Lernschwächen ein generelles Automatisierungsdefizit unabhängig von Inhalten haben könnten (Pauly et al., 2011).

1.3.3 Domänenspezifische Vorläuferfertigkeiten bei kombinierten Lernschwächen

Zu den bedeutsamsten Prädiktoren schulischer Fertigkeiten gehören domänenspezifische Vorläuferfertigkeiten, im Bereich Mathematik die basalen Zahl-Größen-Kompetenzen und im Bereich Schriftsprache die Komponenten der phonologischen Informationsverarbeitung. Kinder mit Schwächen in der mathematischen bzw. schriftsprachlichen Entwicklung weisen in diesen Fertigkeiten Entwicklungsdefizite auf (z.B. Krajewski & Schneider, 2009b; Torgesen et al., 1997).

Sowohl Kinder mit isolierter Rechenschwäche als auch mit kombinierter Lernschwäche verfügen über ein geringeres Maß an leicht abrufbarem arithmetischem Faktenwissen als unauffällige Kinder (Schuchardt & Mähler, 2010). Geringe Leistungen in Aufgaben zu Zählfertigkeiten und Mengenvergleichen zeugen von spezifischen Defiziten in numerischen Basiskompetenzen und im basalen Zahlverständnis bei rechenschwachen Kindern und Kindern mit kombinierter Schulleistungsschwäche (Landerl et al., 2009). So schnitten Kindergartenkinder mit einer späteren isolierten Rechenstörung und mit kombinierten Lernschwächen in numerischen Aufgaben, die numerische Kernkompetenzen erfassen, schlechter ab als Kinder ohne Lernschwächen oder Kinder mit Lese-Rechtschreibschwächen (von Aster et al., 2007). Von Aster und Kollegen (2007) verweisen in einzelnen numerischen Vorläuferfertigkeiten zusätzlich auf ansatzweise differenzierte Profile bei Kindern mit isolierter versus kombinierter Rechenstörung. Kinder mit isolierter Rechenschwäche zeigten tendenziell größere Schwierigkeiten als Kinder mit kombinierten Lernschwächen in der perzeptiven Mengenbeurteilung und der Symbol-Mengen-Zuordnung. Kindergartenkinder mit späterer kombinierter Leserechtschreib- und Rechenstörung hingegen hatten zum Teil signifikant größere Schwierigkeiten als Kinder mit isolierter Rechenschwäche Schwierigkeiten in Aufgaben, die zusätzlich Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis und Aufmerksamkeit stellen, wie z.B. Additions- und Subtraktionsaufgaben (von Aster et al., 2007). Von Aster und Kollegen schlossen aus diesem Befund, dass bei Kindern mit isolierter Rechenstörung Defizite in vorschulischen numerischen Kernkompetenzen für mangelnde Schulleistungen ursächlich sind, während bei Kindern mit kombinierter Lernstörung Schwierigkeiten in Arbeitsgedächtnis und Aufmerksamkeit deutlich am Ausbleiben einer altersgerechten numerischen Entwicklung beteiligt sein könnten. Dieses Ergebnis steht zunächst im Widerspruch zu der Annahme der Additivität isolierter Schwächen von Willcutt und Kollegen (2013), allerdings fehlte in deren Untersuchung die Überprüfung numerischer Vorläuferfertigkeiten.

Bei Kindern mit isolierter Lese-Rechtschreibschwäche als auch mit kombinierter Rechen- und Lese-Rechtschreibschwäche findet sich eine schwach ausgeprägte phonologische Bewusstheit

(Landerl et al., 2009), welche meist als das Kerndefizit der isolierten Lese-Rechtschreibleistung angenommen wird. So sorgt eine unzureichende phonologische Bewusstheit für Schwierigkeiten beim Lesen von Wörtern (z.B. Schatschneider & Torgesen, 2004; Willcut et al., 2013), orthografischen Kenntnissen und Leseverständnis (Torgesen et al., 1997). Kinder mit komorbiden Schulleistungsschwächen zeigen in der spezifischen Vorläuferfertigkeit phonologische Bewusstheit kein qualitativ unterschiedliches Profil zu Kindern mit isolierter Lese-Rechtschreibstörung, wohl aber signifikant schwächere Leistungen als Kinder mit durchschnittlichen Leistungen im Lesen, Schreiben und Rechnen (Landerl et al., 2009). In Klassifikationsanalysen an der vorliegenden Stichprobe zeigte sich wie oben erwähnt die prädiktive Kraft von Maßen der phonologischen Bewusstheit für spätere kombinierte Lernschwächen: Schwache Leistungen in Aufgaben zur phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinne im Kindergarten indizierten 78% der Kindern mit kombinierten Lernschwierigkeiten zu Beginn der ersten Klasse (Krajewski et al., 2013).

Fasst man die bisherigen Ausführungen zu den kognitiven Profilen isoliert und kombiniert lernschwacher Kinder in wichtigen Prädiktorvariablen zusammen, so zeigt sich beinahe in allen Untersuchungen das Bild addierter Schwierigkeiten bei Kindern mit kombinierten Lernschwächen. Eine Ausnahme bildet der Befund von von Aster und Kollegen (2007) zur Bedeutsamkeit von Aufmerksamkeits- und Arbeitsgedächtnisleistung bei Kindern mit kombinierter Lernschwäche. Diesem entsprechend könnte den beiden Konstrukten die Qualität spezifischer Marker für das Risiko einer kombinierten Lernschwäche zumindest im Vergleich zur isolierten Rechenstörung zuzuweisen sein, welche gleichzeitig Störungen in der Entwicklung numerischer und schriftsprachlicher Fertigkeiten verursachen und frühzeitig auf eine drohende defizitäre Entwicklung im Schriftsprach- als auch Mathematikbereich hinweisen.

1.4 EINFLUSS EXEKUTIVER FUNKTIONEN AUF SCHULLEISTUNGEN BEI KINDERN MIT KOMBINIERTEN LERNSCHWÄCHEN

Nur sehr wenige Untersuchungen beschäftigen sich explizit mit dem Konstrukt der exekutiven Funktionen als Ursache kombinierter Lernschwächen. Werden exekutive Funktionen mit Lernschwächen in Verbindung gebracht, so werden entweder mehrere exekutive Funktionen erhoben, aber nur zur Vorhersage einer isolierten Lernschwäche genutzt (z.B. Booth et al., 2010; Reiter, Tucha & Lange, 2005, Toll et al., 2011) oder nur einzelne exekutive Funktionen erhoben und mit einer kombinierten Leserechtschreib- und Rechenschwäche (z.B. De Werdt, Desoete & Roeyers, 2013) in Verbindung gesetzt. Von den vorgefundenen Untersuchungen erfasste keine

Studie den Wert des Updating im Sinne reinen Aktualisierens von Arbeitsgedächtnisinhalten als Prädiktor kombinierter Lernschwächen. Hingegen beinhalten die meisten Untersuchungen Maße zur Erfassung der globaleren Fähigkeit der zentralen Exekutive, d.h. des Aufrechterhaltens, Aktualisierens, Koordinierens und Verarbeitens von Informationen, häufig in Form komplexer Spannen-Aufgaben.

In manchen der in Abschnitt 1.2 genannten Untersuchungen wurde bereits indirekt auf Aspekte hingewiesen, die mit dem Konstrukt der exekutiven Funktionen in Verbindung stehen. Zum einen zeigten von Aster und Kollegen (2007), dass Kinder mit kombinierten Lernstörungen in Mathematikaufgaben schlechter abschnitten, wenn zu deren Lösung verstärkt Aufmerksamkeitsressourcen erforderlich waren. Zudem wurden in ihrer Untersuchung Kinder mit kombinierten Lernstörungen von Lehrkräften als stärker von Aufmerksamkeitsdefiziten und Hyperaktivität betroffen beschrieben als Kinder ohne Lernstörung. Willcutt und Kollegen (2013) zeigten, dass kombiniert schwache Leistungen im Lesen und Rechnen durch ein geringes Maß an Vigilanz und Set-Shifting-Fertigkeiten, erfasst mit dem recht komplexen Wisconsin Card Sorting Test, vorhergesagt werden können. Im Hinblick auf die kombinierte Lernschwäche überlegten Geary und Kollegen (2000), ob der schlechteren Abrufleistung von Kindern mit Lese-Rechtschreib- und Rechenschwäche u.a. eine unzureichende Inhibition irrelevanter Informationen zugrunde liegen könnte.

Diese Befunde weisen darauf hin, dass exekutive Funktionen möglicherweise in die Entstehung kombinierter Lernschwächen involviert sind und demzufolge in moderaten Anteilen einen Beitrag zur Vorhersage leisten könnten. Im folgenden Abschnitt soll deshalb die vorhandene aktuelle Befundlage zu den Zusammenhängen einzelner exekutiver Funktionen und Schwächen im Lesen, Schreiben und Rechnen dargelegt werden⁵.

1.4.1 Updating (Working memory/Zentrale Exekutive) und kombinierte Lernschwächen

Sehr viele Studien beschäftigen sich in der Tradition Baddeleys (1996) mit dem Einfluss zentral-exekutiver Leistungen auf Schulleistungsschwächen im Gegensatz zu den eher selteneren Studien, die Zusammenhänge zwischen einzelnen Subprozessen zentral-exekutiver Kontrolle und Schulleistungsschwächen im Rahmen des Modells von Miyake und Kollegen (2000) fokussieren. Abschnitt 1.2.1 dieser Untersuchung stellte Untersuchungsergebnisse dar, die in der Regel zeigen, dass Leistungen in klassischen Aufgaben zur Erfassung der zentralen Exekutive, wie dem Aufsagen

⁵ Wiederum findet sich für einen kurzen Überblick über die berücksichtigten Studien im Anhang Tabelle 22 *Exekutive Funktionen und Lernschwächen*.

der rückwärtigen Zahlen- oder Wortfolge, rückwärtigen Corsiblock-Aufgabe oder auch komplexer Spannen-Aufgaben sich mit Unterschieden in den Schulleistungen in Verbindung bringen lassen. Kritisch anzumerken ist, dass die verwendeten Aufgaben zentral-exekutive Verarbeitung in sehr unterschiedlicher Komplexität erfassen. Es muss aber auch festgestellt werden, dass sowohl Studien, die eher klassische Aufgaben einsetzen (z.B. Ziffern- und Wortspanne rückwärts, Zählspanne bei Zweit- bis Viertklässlern bei Schuchardt & Mähler, 2010), als auch Studien, die eher dem Updating zugeordnete Aufgaben verwenden (z.B. Keep track, Odd one out, Ziffernspanne rückwärts bei Erst- und Zweitklässlern bei Toll et al., 2011) zu ähnlichen Ergebnissen kommen und auf einen Zusammenhang schwacher zentral-exekutiver Kontrolle und schriftsprachlichen, mathematischen und kombinierten Schulleistungsschwächen hinweisen.

Neben bereits genannten Untersuchungen berichten beispielsweise Gathercole und Kollegen (2006) als auch Wang und Gathercole (2013) für leseschwache Grundschüler schwache Leistungen sowohl in Rückwärts-, Komplexen Spannen- als auch Dual-task-Aufgaben. Bull und Sherif (2001) zeigen Zusammenhänge zwischen schwachen Rechenleistungen und schwachen Leistungen in komplexen Spannen-Aufgaben mit numerischem Material von Drittklässlern. Anderson (2010) hingegen fand keinerlei Unterschiede zwischen neun bis zwölf-jährigen Kindern mit kombinierter und isolierter Lernschwäche und Kindern mit unauffälligen Schulleistungen in komplexen Spannen-Aufgaben, nutzte aber auch ein verbales non-numerisches Maß. Dennoch scheint nicht per se die Modalität des Materials eine Rolle zu spielen, da unter anderen auch Toll und Kollegen (2010) als auch Chiappe & Siegel (2008) modalitätsübergreifend zentral-exekutive Schwächen bei Kindern mit Rechenschwächen aufzeigen konnten.

1.4.2 Inhibition und kombinierte Lernschwächen

Der exekutiven Funktion Inhibition wird in einigen Studien Relevanz bezüglich isolierter Lernschwächen zugeschrieben, während andere Studien hingegen inhibitorische Kontrolle als weniger bedeutsam für die Entwicklung von Schwächen im Lesen, Schreiben und Rechnen bewerten. Bezüglich der isolierten Lese- und Rechtschreibschwäche fand beispielsweise die Studie von de Jong und Kollegen (2009) bei Kindern mit einer Lese-Rechtschreibschwäche - Kinder mit schwachen Rechenleistungen wurden erfasst und ausgeschlossen - im Vergleich zu Kindern mit unauffälligen Schriftsprachleistungen verlängerte Reaktionszeiten bei inhibitorischen Stop-Signal-Aufgaben. Reiter, Tucha und Lange (2005) zeigten bei dyslektischen Kindern Schwächen sowohl in der Bearbeitungsgeschwindigkeit als auch in der Fehleranzahl in der Stroop- und der Flexibility-Aufgabe, nicht aber in der ebenfalls Inhibition messenden Aufgabe Go/No-go. Diesen inkonsistenten Befund erklärten sie sich mit dem geringen Schwierigkeitsgrad der letzteren

Aufgabe und schlossen, dass Kinder mit Dyslexie moderate Schwierigkeiten in der Inhibition präpotenter Reaktionen aufweisen. Chiappe, Hasher und Siegel (2000) untersuchten im Detail, welche Fehler Leseschwache Kinder und Erwachsene in der Aufgabe Listening Span machen. Eine Fehleranalyse könne darüber Aufschluss geben, inwiefern inhibitorische Defizite die Leistung des Arbeitsgedächtnisses bei Leseschwäche einschränken. Die Listening Span-Aufgabe erfordert es, ein am Satzende fehlendes Wort zu ergänzen und nach zwei bis vier in dieser Art bearbeiteten Sätzen alle ergänzten Wörter zu wiederholen. Tatsächlich nannten Kinder mit Leseschwäche in der Listening Span-Aufgabe häufiger falsche, aber der aktuellen Aufgabe zugehörige Wörter. Chiappe und Kolleginnen schlossen daraus, dass neben schwachen Arbeitsgedächtnis-Leistungen auch eine schwache inhibitorische Kontrolle kennzeichnend für Kinder mit Leseschwäche ist. Laut den Autorinnen könne die mangelnde Inhibition dazu führen, dass irrelevante Informationen in Form von Intrusionsfehlern, d.h. statt der aufgabenzugehörigen Informationen werden ähnliche, aber irrelevante Informationen erinnert, in das Arbeitsgedächtnis eingehen. Dies könne beim Lesen durch das Anwenden von ähnlicher, aber falscher Graphem-Phonem-Korrespondenz geschehen. In der Studie von Schmid, Labuhn und Hasselhorn (2011) zeigten sich zunächst scheinbar keine Unterschiede in der Inhibitionsleistung einer Stop-Signal-Aufgabe von Kindern mit und ohne Dyslexie. Wurde aber die Leistung des in diesem Fall eher hinderlichen, weil reaktionsverlangsamenden phonologischen Kurzzeitgedächtnisses kontrolliert, traten Schwächen in Form verlangsamter inhibitorischer Prozesse bei dyslektischen Kindern zu Tage. Im umgekehrten Fall verschwand bei Locascio und Kollegen (2010) der Zusammenhang zwischen Inhibition und Leseschwäche, nachdem die für die Worterkennung zwingend erforderliche phonologische Informationsverarbeitungsfähigkeit kontrolliert wurde. Die Befunde zum Zusammenhang zwischen Inhibition und Leseschwäche bleiben demnach weiter uneinheitlich, zumal nur die Studie von de Jong kontrollierte, ob sich unter den dyslektischen Kindern auch Kinder mit Rechenschwäche befanden. Somit bleibt ungeklärt, ob inhibitorische Defizite spezifische Schwächen von Kindern mit Leseschwäche darstellen oder eher charakteristisch für Kinder mit kombinierten Lernschwächen sind.

Ähnlich heterogen sieht es im Bereich der Dyskalkulie aus. Während Bull und Sherif (2001) Hinweise auf Zusammenhänge schwacher Rechenleistungen und inhibitorischer Kontrolle in der Stroop-Aufgabe mit numerischem Material fanden, fehlen diese Zusammenhänge beispielsweise bei van der Sluis und Kollegen (2004), obwohl diese ebenfalls eine Stroop-Aufgabe mit numerischem Material, allerdings im Unterschied zu Bull und Sherif bei älteren Kindern, getrennt in isolierte Rechen- und Leseschwäche, einsetzten. Die vermehrt auftretenden Intrusionsfehler in Aufgaben zur Erfassung der zentral-exekutiven Leistung wiederum könnten laut Passolunghi und

Siegel (2001) als Hinweis gelten, dass es Kindern mit Schwierigkeiten beim Lösen von mathematischen Textaufgaben schlechter gelingt, vormals relevante, aber im Verlauf der Aufgabenbewältigung irrelevant gewordene Informationen zu inhibieren. Diese Interpretation lässt zum einen Schwächen im Konstrukt der Working memory capacity (Engle & Kane, 2004) erkennen, welche bewirkt, dass unter Inhibition irrelevanter Aspekte bedeutsame Informationen im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden. Man kann den Befund von Chiappe und Siegel zur Häufigkeit an Intrusionsfehlern aber auch als Indikator mangelhafter kognitiver Inhibition (vgl. die Taxonomie von Nigg, 2000) einordnen.

Nur sehr wenige Studien untersuchten die Bedeutsamkeit von Auffälligkeiten in der inhibitorischen Kontrolle für kombinierte Schulleistungsschwächen. Zudem verfolgte ein Teil dieser Studien nur einzelne Aspekte der Inhibition. In Kapitel II wurde bereits auf die Vorschläge von Nigg (2000) zur Unterteilung des Konstruktes Inhibition u.a. in Interferenzkontrolle, Inhibition von präpotenten Reaktionen und kognitiver Inhibition von irrelevanten Aspekten im Arbeitsgedächtnis hingewiesen. De Werdt und Kollegen (2013) beispielsweise beschäftigten sich ausschließlich mit dem Einfluss behavioraler Inhibition auf Lernschwächen. Sie gingen der Frage nach, ob das Inhibieren von präpotenten Reaktionen, erfasst durch ein Go/No-go-Paradigma mit alphanumerischen und figuralem Material, einen kognitiven Risikofaktor sowohl für den Erwerb einer Rechenschwäche als auch einer Lese-Rechtschreibschwäche darstellt. Zwar reagierten Kinder mit kombinierten Lernschwächen modalitätsübergreifend erwartungsgemäß langsamer als die Kontrollgruppe, zeigten aber entgegen der Erwartung nicht die gleichen Schwierigkeiten wie Kinder mit einer isolierten Lese-Rechtschreibschwäche oder Kinder mit einer isolierten Rechenschwäche. Beispielsweise begingen Kinder mit isolierter Lese-Rechtschreibschwäche deutlich mehr Fehler in der Go/No-go-Aufgabe bei alphanumerischem Material als Kinder mit kombinierten Lernschwächen. Wenn sowohl der Lese-Rechtschreibschwäche als auch der Rechenschwäche ein identisches inhibitorisches Defizit zugrunde liegen und eine schlechte Inhibitionsleistung einen gemeinsamen Indikator beider Schwächen darstellen würde, wäre ein identisches Profil zu erwarten gewesen.

Geary und Kollegen (2000) setzten kein separates Testverfahren zur Erfassung von Inhibition ein, sondern beobachteten, dass Kinder mit kombinierten Lernschwächen deutlich mehr Fehler in Rechenaufgaben machten, die durch den Abruf aus dem Langzeitgedächtnis gelöst werden können, als Kinder mit durchschnittlichen Rechenleistungen. Neben der Schwierigkeit, Informationen aus dem Langzeitgedächtnis zu aktivieren und abzurufen, könnte es diesen Kindern

besonders schwer fallen, irrelevante, aber der relevanten Zielinformation ähnliche Informationen zu hemmen (Geary et al., 2000).

In der Untersuchung von van der Sluis und Kollegen (2004) zeigten Kinder mit kombinierten Lernschwächen im Vergleich zu unauffälligen Kindern zwar ebenfalls verlangsamte Reaktionen in den Stroop-ähnlichen Aufgaben Quantity-Inhibition und Objects-Inhibition, was aber größtenteils an ihrer im Vergleich zu unauffälligen Kindern signifikant langsameren generellen Benennungsgeschwindigkeit gelegen haben dürfte, so die Autoren. Bei Anwendung des gleichen Paradigmas zeigten auch Willburger und Kollegen (2008) keine Unterschiede in den Inhibitionsleistungen von Kindern mit isolierter und komorbider Lernschwäche im Vergleich zur Kontrollgruppe. Allerdings diskutierte die Arbeitsgruppe auch die Begrenzung der Studie durch die Berücksichtigung lediglich zweier exekutiver Funktionen in einem einzelnen Paradigma. Censabella und Noel (2005) beschäftigten sich ebenfalls mit den Zusammenhängen von Inhibition präpotenter Reaktionen, Interferenzkontrolle und kombinierter Lernschwäche. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass sich die inhibitorischen Leistungen von Kindern mit kombinierter Lernschwäche in der Stroop- und Flanker-Aufgabe nicht von denen unauffälliger Kinder unterschieden. Es machte zudem keinen Unterschied, ob in diesen Aufgaben das Material aus Buchstaben oder Ziffern bestand.

Ob inhibitorische Schwächen zu den Charakteristika isolierter als auch kombinierter Lernschwächen gehören, bleibt nach Durchsicht bisheriger Untersuchungen demnach unklar, auch wenn eine Beteiligung inhibitorischer Prozesse an zielgerichtetem und störungsfreiem Abruf aus dem Langzeitgedächtnis plausibel klingen mag (Geary et al., 2000).

1.4.3 Shifting und kombinierte Lernschwächen

Einige Studien berichten von Zusammenhängen des Shifting-Faktors mit isolierten Lernstörungen. Reiter und Kollegen (2005) untersuchten Kinder mit isolierter Lese-Rechtschreibstörung und kamen zu dem Ergebnis, dass diese im Vergleich zu Kindern mit unauffälligen Lese-Rechtschreibleistungen in der Shifting-Aufgabe Making Trails langsamer arbeiteten. Locascio und Kollegen (2010) befanden, dass Kinder mit einem im unteren Quartil befindlichen Leseverständnis Schwierigkeiten in einem faktorenanalytisch bestimmten Planning-Faktor aufwiesen. Auf diesem sehr breiten Faktor luden u.a. auch derselbe Making Trails-Test, den Reiter und Kollegen (2005) allerdings zur Erfassung von Shifting eingesetzt hatten sowie eine komplexe Turm-Aufgabe und die rückwärtige Zahlenspanne. Aufgrund der Komplexität und Verschiedenheit dieser Testverfahren lässt sich aus diesem Befund allerdings lediglich der Schluss

ziehen, dass Kinder leichter verstehen, was sie lesen, wenn sie eine gut ausgeprägte allgemeine exekutive Kontrolle und kognitive Leistungsfähigkeit vorweisen können.

Während Bull und Sherif (2001) konstatierten, dass schwache Mathematikleistungen stärker mit Perseveration im Wisconsin Card Sorting Test einhergehen, zeigten Toll und Kollegen (2011) hingegen, dass sich die Shifting-Leistungen im Dimensional Change Card Sort und Animal Shifting von Kindern mit persistierend schwachen Mathematikleistungen während der ersten und zweiten Klasse nicht von den Leistungen durchschnittlicher Rechner unterschieden. Genauso wenig ließen sich die Gruppen der schwachen Rechner versus unauffälligen Rechner am Ende der zweiten Klasse in Diskriminanzanalysen durch die Shifting-Leistung trennen.

Van der Sluis und Kollegen (2004) untersuchten nicht nur die inhibitorische Leistung von Kindern mit kombinierten Lernschwächen, sondern auch deren Shifting-Fähigkeiten. Ähnlich der verlangsamten Leistung in Aufgaben mit inhibitorischen Ansprüchen bearbeiteten Kinder mit kombinierter Lernschwäche Aufgaben mit Shifting-Anforderungen langsamer als unauffällige Kinder. Die Verlangsamung in der Objects-Shifting-Aufgabe erklärten van der Sluis und Kollegen dennoch wiederum mit der generell langsameren Benennungsgeschwindigkeit von kombiniert schwachen Kindern, so dass weniger ein reines Shifting-Defizit als Ursachenfaktor für das Entstehen einer kombinierten Lernschwäche angenommen wurde. Diese Annahme teilen wiederum auch Willburger und Kolleginnen (2008), die ähnliche Leistungen von Kindern mit isolierter und komorbider Lernschwäche und Kontrollgruppe in der Objects-Shifting-Aufgabe belegten. Van der Sluis und Kollegen (2004) setzten allerdings zusätzlich wie auch Reiter und Kollegen (2005) den Making Trails-Test ein, ein Verfahren, das zwar häufig, so auch zunächst in deren Untersuchung, als Indikator für Shifting-Leistungen herangezogen wird. Bei genauerem Betrachten diskutierten die Autoren allerdings, dass dieser Test zusätzlich auch Inhibition, Updating und Ziffern- und Buchstabenwissen erfordere. Kinder mit kombinierter Störung zeigten in dieser Aufgabe deutlich schwächere Leistungen als Kinder mit durchschnittlichen Schulleistungen. Diesen Befund bestätigte auch Anderson (2010) an einer verhältnismäßig großen Stichprobe von 80 Kindern mit kombinierter Lese- und Rechenschwäche. Der gleiche Befund wiederholte sich bei van der Sluis und Kollegen (2004) im Rahmen der Objects-Inhibition-Shifting-Aufgabe. Diese stellt ebenfalls gleichzeitige Anforderungen an Inhibitions- und Shifting-Prozesse. Diese Koordination erwies sich als signifikant schwieriger für Kinder mit kombinierter Lernschwäche als für Kinder ohne Lernschwäche.

Die beschriebenen Untersuchungen zeigen zum einen die Schwierigkeit auf, den Shifting-Faktor möglichst rein und über Studien hinweg mit vergleichbarer Methode zu erfassen. Ein

zusammenfassendes Fazit zum Anteil schwacher Shifting-Leistungen an der Entstehung von kombinierten Lernschwächen ist deshalb nicht möglich. Aufgrund der im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Befunde entsteht zum anderen der Eindruck, dass nicht eine exekutive Funktion allein bei Kindern mit komorbider Lernschwäche unterdurchschnittlich ausgeprägt ist, sondern die betroffenen Kinder Schwierigkeiten haben, mehrere exekutive Prozesse gleichzeitig zu steuern. Diese Schwierigkeiten ließen sich wiederum dem von Engle und Kane (2004) geprägtem und in Kapitel II, Abschnitt 1.1.3 beschriebenen Konstrukt der „Working memory capacity“ zuordnen, dessen Aufgabe darin liegt, Ziele bei gleichzeitiger Inhibition von Distraktoren im Arbeitsgedächtnis aufrechtzuerhalten (van der Sluis et al., 2004).

1.5 ZUSAMMENFASSUNG UND FRAGESTELLUNGEN

Prävalenzen von Lernschwächen

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass kombinierte Lernschwächen in Abhängigkeit von der Wahl des einfachen oder doppelten Diskrepanzkriteriums, des Cut-off-Wertes und der Indikatoren der Schulleistung bei rund 1-8% aller Kinder auftreten. Da sich Kinder mit der auf Basis des doppelten Diskrepanzkriteriums diagnostizierten Lernstörung hinsichtlich Art und Schweregrad der Symptome als auch vermutlich bezüglich des Ansprechens auf Förderung nicht von Kindern mit einer Lernschwäche unterscheiden, wird in der folgenden Untersuchung auf eine Unterscheidung dieser beiden Begriffe verzichtet. Es soll deshalb von einer *Lernschwäche* gesprochen werden, ohne eine Diskrepanz zwischen (durchschnittlich ausgeprägter) Intelligenz und Schulleistung zu fordern. Die in vorhandenen Studien verwendeten Cut-off-Werte schwanken stark zwischen Werten unterhalb des ersten Perzentils, der Zugehörigkeit zum untersten Verteilungsviertel (beides bei Dirks et al., 2008; Geary et al., 2007), Werten unterhalb einer Standardabweichung ($PR < 16$; Fischbach et al., 2013) oder unterhalb einer Standardabweichung von 1.25 (Willcut et al., 2013) und Prozenträngen kleiner als 35 (Geary et al., 2000; Geary, 2005). Übereinstimmend mit der Forderung, dass die Leistung von Kindern unter dem Durchschnitt Gleichaltriger liegen sollte, soll *im ersten Schritt* für die *Bestimmung der Prävalenz* der verschiedenen Lernschwächen in der vorliegenden Stichprobe in den Schulleistungstestverfahren ein Cut-off-Wert von $PR < 16$, d.h. bei einer Leistung unterhalb einer Standardabweichung vom Mittel, gesetzt werden.

Kognitive Profile von Kindern mit isolierten und kombinierten Lernschwächen

Da zum Ende der ersten Klasse schwerlich zuverlässige Aussagen zu überdauernden Lernschwächen getroffen werden können, scheint es für die weiteren Fragestellungen allerdings ratsamer, den Cut-off von $PR < 16$ durch ein weicheres Cut-off-Kriterium zu ersetzen, um möglichst alle potentiell von einer überdauernden Lernschwäche betroffenen Kinder erfassen zu können. Somit soll ähnlich dem Vorgehen von Geary (2005) und für den Erhalt einer ausreichend großen Stichprobe für die weiteren Untersuchungen von einem Cut-off-Wert von $PR < 35$ in den Schulleistungstestverfahren ausgegangen werden. Für dieserart festgestellte lernschwache Gruppen soll *im zweiten Schritt* ausgewertet werden, inwiefern es unterschiedliche *kognitive Profile bei Kindern mit verschiedenen Lernschwächen* in relevanten vorschulischen Prädiktoren gibt, wobei aufgrund der bisherigen unbefriedigenden Befundlage besonderes Augenmerk auf den Leistungsvergleichen exekutiver Kontrolle liegt.

Da *basale Zahl-Größen-Kompetenzen*, d.h. eine ausreichende Kenntnis der Zahlwortfolge und ein Verständnis für die Korrespondenz einer bestimmten Zahl zu einer bestimmten Menge, welche wiederum in Beziehung zu anderen Mengen steht, eine unmittelbare Voraussetzung für Rechenkompetenz darstellt, wird erwartet, dass Kinder mit einer *Rechenschwäche* bereits frühzeitig durch mangelnde Zählfertigkeiten und ein unzureichendes Zahlverständnis auffallen (Krajewski & Schneider, 2006).

Ausreichend schnelles Lesen, Leseverständnis und Schreiben erfordert, dass *phonologisch kodierte Informationen im Arbeitsgedächtnis* aufrecht erhalten werden, Sprache aufgrund *phonologischer Bewusstheit* in ihre Einzelbestandteile zerlegt und *phonologisch kodierte Information* zuverlässig und zügig *aus dem Langzeitgedächtnis* abgerufen werden kann. Schwächen in diesen Variablen sollten typischerweise im Profil von Kindern mit *Lese- und/oder Rechtschreibschwäche* vorzufinden sein (Hecht et al., 2001).

Die Bewusstheit für die Zerlegbarkeit der Sprache in grobe Bestandteile, die *phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn*, erleichtert aber auch das Zerlegen des Zahlwörter-Strings in einzelne Zahlwörter, die anschließend mit Bedeutung, d.h. ihrem Bezug zur Menge, versehen werden können (Krajewski, Schneider & Nieding, 2008). Ein frühes Ausbleiben altersangemessener phonologischer Bewusstheit im weiteren Sinn kann deshalb zur Entwicklung einer kombinierten Lernschwäche führen und sollte im Profil von Kindern mit *kombinierter Lernschwäche* vorzufinden sein. *Phonologische Bewusstheit im engeren Sinne* hingegen bedeutet, dass Sprache in ihre kleinsten Bestandteile zerlegt werden kann, was wiederum für den Erwerb

mathematischer Kompetenzen unerheblich sein sollte und deshalb nur eine spezifische Schwäche von Kindern mit *Lese- und/oder Rechtschreibschwächen* darstellen sollte (vgl. Krajewski, Schneider & Nieding, 2008).

Schwächen im Aufrechterhalten phonologisch kodierter Information in der *phonologischen Schleife* hingegen sollte nicht nur den Lese- und Schreibvorgang behindern, sondern auch das Aufrechterhalten phonologisch enkodierter Ziffern und Operationen während des Lösens von Rechenaufgaben erschweren. Somit sollte sich zwar insbesondere für *Lese- und/oder Rechtschreibschwächen*, aber auch für Kinder mit *Rechenschwäche* im kognitiven Profil eine Schwäche im phonologischen Kurzzeitspeicher ergeben (Schuchhardt, Kunze, Grube & Hasselhorn, 2006).

Der schnelle Abruf phonologisch kodierter Information ist prinzipiell für alle Performanzmaße notwendig, sei es der direkte Abruf von Wörtern für die Lesegeschwindigkeit oder die Zuordnung eines Zahlwortes zu einer Ziffer für die Rechenperformanz. Da in der vorliegenden Studie der Abruf durch das *schnelle Benennen von Objekten* und nicht von numerischem Material erfasst wurde, wird aber erwartet, dass Kinder mit *isolierten schriftsprachlichen und kombinierten Lernschwächen*, nicht aber Kinder mit isoliert schwachen Rechenleistungen hier eine Schwäche im kognitiven Profil aufweisen (Willburger et al., 2008).

Numerische Informationen beinhalten neben dem phonologisch kodierten Zahlwort und der visuell kodierten Ziffer zusätzlich auch eine zu jedem Zahlwort spezifische räumliche Menge und Position im Zahlenraum. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass bei *rechenschwachen Kindern* neben dem phonologischen Kurzzeitspeicher auch das *visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis* in Mitleidenschaft gezogen sein könnte und eine spezifische Auffälligkeit im Profil eines rechenschwachen Kindes darstellen sollte (Schuchhardt, Mähler & Hasselhorn, 2008).

Es ist davon auszugehen, dass es ein additives Zusammenwirken der Schwächen von Kindern mit isolierten Lernschwächen bei Kindern mit kombinierten Lernschwächen gibt (De Weerd et al., 2013; Schuchardt et al., 2008; van der Sluis et al., 2004). Die kognitiven Profile kombiniert lernschwacher Kinder sollten demzufolge die Summe der Profile von isoliert lernschwachen Kinder widerspiegeln. Dies betrifft sowohl domänenspezifische Vorläuferfertigkeiten wie numerische Basiskompetenzen und die phonologische Bewusstheit, als auch bereichsübergreifende Variablen wie die allgemeine Abrufgeschwindigkeit aus dem Langzeitgedächtnis und die Arbeitsgedächtniskomponenten.

Die Befunde zur Additivität der bei isolierten Lernschwächen vorliegenden Defizite lassen vermuten, dass sich bei Kindern mit kombinierten Lernschwächen auch die Auffälligkeiten in den exekutiven Funktionen aufsummieren (z.B. De Weerd, 2013). Allerdings sind explizite Befunde zur Bedeutsamkeit ungenügend ausgeprägter exekutiver Funktionen für die Entwicklung von isolierten, aber auch kombinierten Lernschwächen im Vergleich zu den obigen Prädiktoren zum einen selten und zum anderen uneinheitlich. Es wird aber davon ausgegangen, dass nicht ausreichend entwickelte exekutive Kontrolle den Erwerb von Lesen, Schreiben und Rechnen deutlich erschweren dürfte und eine Automatisierung der Fertigkeiten behindert. Möglicherweise stellen deshalb schwach ausgeprägte exekutive Funktionen ein charakteristisches Merkmal im kognitiven Profil von Kindern mit Lernschwächen dar. Für die Leseschwäche berichten die aufgeführten Studien Auffälligkeiten in zentral-exekutiven Leistungen sowie in der inhibitorischen Kontrolle und möglicherweise im Shifting als der komplexesten betrachteten exekutiven Funktion, für die Rechenschwäche wird auf deutliche Zusammenhänge mit zentral-exekutiven, aber möglicherweise auch moderater mit inhibitorischen Defiziten geschlossen. In den Ergebnissen der Kapitel III und IV dieser Untersuchung zeigte sich Updating relevant in abruflastigen Aufgaben (Zahlwortfolge, Rechenperformanz und Buchstabenkenntnis) und der Faktor Shifting und Inhibition bedeutsam für Aufgaben, die ein tieferes Verständnis und eine tiefere Verarbeitung erfordern (Zahlverständnis, phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn, Grammatik). Aufgrund der Ergebnisse der Kapitel III und IV ist vorstellbar, dass die Bedeutung des Updatings für die Entwicklung einer Rechenschwäche aufgrund des direkten Zusammenhangs mit der Rechenperformanz möglicherweise größer ist als der Einfluss des Updatings auf schriftsprachliche Schwächen.

Im Detail wird für die Kinder mit Lernschwächen erwartet, dass schwaches *Updating* in Form unzureichenden Überwachens von Verarbeitungsprozessen und Aktualisierens von Informationen im Arbeitsgedächtnis all die Leistungen erschwert, die eine Auswahl und Koordination und Verarbeitung von Informationen aus verschiedenen Speichern erfordern. Muss das Kind sich ein Wort noch Laut für Laut erlesen statt es auf direktem Weg zu erkennen, so ist ein Aktualisieren von Lautfolgen genauso notwendig wie das Verbinden von Graphem zu Phonem. Das sinnentnehmende Lesen ist erschwert, wenn wesentliche Informationen nicht aufrechterhalten und sukzessive um neu hinzukommende Informationen als auch Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis ergänzt werden können. Das orthografisch korrekte Schreiben von Wörtern bleibt unzulänglich, wenn der stetige Abgleich von bereits geschriebenen Lauten mit noch zu verschriftlichenden Lauten nicht ausreichend stattfindet und es keine Koordination zwischen im Langzeitgedächtnis abgespeicherten Rechtschreibregeln und der lautgetreuen Schreibweise gibt.

Bereits frühzeitig im Schriftspracherwerb wirken sich schwache Updatingleistungen auf geringe Buchstabenkenntnisse aus, möglicherweise weil die Buchstabenfolge des Alphabets während des Lernprozesses nicht ausreichend aktualisiert wird und deshalb nur unzureichend gefestigt in das Langzeitgedächtnis eingeht (s. Kapitel IV). Schwache Updatingleistungen erschweren auch den Erwerb der Zahlwortfolge, da ähnlich zum Erwerb der Buchstabenkenntnis die Zahlwortfolge unzureichend aktualisiert wird, beispielsweise beim Rückwärtszählen, Weiterzählen ab einer bestimmten Zahl oder beim Zählen in Zweierschritten. Somit sind schwache Updating-Leistungen bereits frühzeitig für die mathematische Entwicklung hinderlich. Aber auch für die spätere Rechenperformanz ist es notwendig, wichtige Inhalte verfügbar zu halten. Zudem sollte sich zeigen, dass die Aktualisierungsfunktion des Updating-Faktors umso wichtiger wird, je anspruchsvoller die Rechenaufgaben für das Kind werden und je mehr Rechenschritte erforderlich sind.

Shifting und Inhibition tragen dazu bei, dass kognitive Aufgaben tiefer und ungestört bearbeitet werden können. Inhibitorische Prozesse helfen, dass ausschließlich relevante und zielführende Informationen verfügbar sind und die Arbeitsgedächtniskapazität nicht unnötig durch irrelevante Reize belastet wird. Shifting ermöglicht zum anderen durch den flexiblen Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus das Beachten von Informationen unterschiedlicher Repräsentationsformen und Gliederungsebenen als auch die Nutzung verschiedener möglicher Strategien zur Problemlösung. Schwache Inhibitions- und Shifting-Leistungen sollten das Lesen behindern, da beispielsweise die Bedeutung eines ähnlich aussehenden Wortes nicht inhibiert wird und weniger flexibel zwischen verschiedenen bedeutungstragenden Sprachelementen gewechselt werden kann. Das Rechtschreiben fällt schwerer, da die Hemmung ähnlich klingender Phoneme unzureichend sein könnte und nicht zwischen lautlicher und orthografischer Strategie gewechselt wird. Aber auch Vorläuferfertigkeiten des Schriftspracherwerbs wie die phonologische Bewusstheit und das grammatikalische Verständnis sind von unterdurchschnittlichen Inhibitions- und Shifting-Fertigkeiten betroffen (s. Kapitel IV): Weder fällt es leicht, nur bestimmte Elemente der Sprache zu fokussieren (z.B. Endlaute), noch kann flexibel zwischen verschiedenen Sprachbestandteilen (Laute, Silben, Morpheme, Wörter) gewechselt werden. Möglicherweise fällt es diesen Kindern schwerer, abseits des sprachlichen Inhalts generelle grammatikalische Regeln in den Fokus zu stellen und je nach Anwendbarkeit zwischen verschiedenen grammatikalischen Regeln zu wechseln. Auch für mathematische Schwächen sollten schwache Shifting- und Inhibitionsleistungen charakteristische Marker darstellen, denn mangelnde Flexibilität in der Verknüpfung verschiedener numerischer Repräsentationsformen und fehlendes Unterdrücken falscher Zuordnungen bei Anzahlen in ähnlicher Höhe, beispielsweise bei der Vorstellung von

Anzahlen auf dem Zahlenstrahl, führt zu einem fragilen Zahlverständnis. Zudem erfordern Rechenoperationen, wie sie am Ende der ersten Klasse allmählich gefordert werden, flexibleres Wechseln zwischen möglichen Lösungswegen und Rechenprozeduren.

Prognostische Validität exekutiver Funktionen für kombinierte Lernschwächen

Im dritten Schritt stellt sich die Frage, ob Schwächen in den exekutiven Funktionen im Kindergartenalter Risikomarker darstellen, die in *Klassifikationsanalysen* Kinder mit schwachen Schulleistungen im Lesen, Schreiben und Rechnen treffsicher von Kindern mit unauffälligen Schulleistungen unterscheiden können. Toll und Kollegen (2010) unternahmen einen solchen Versuch allerdings nur für den Bereich der Rechenschwäche und wiesen in Diskriminanzanalysen die Eignung von zentral-exekutiven Maßen (Keep track, Odd one out, Ziffernspanne rückwärts) als klassifikatorische Indikatoren der Entwicklung einer Rechenschwäche nach. Diese Ergebnisse schränkt allerdings ein, dass die Autoren numerisches Testmaterial zur Erfassung exekutiver Funktionen nutzten und somit die Updating-Leistungen durch Zahl-Größen-Kompetenzen konfundiert waren. In Erweiterung der Untersuchung von Toll und Kollegen (2010) soll deshalb im Folgenden geprüft werden, inwieweit die domänenunspezifisch erfassten Leistungen in den exekutiven Funktionen sensitive und spezifische Risikofaktoren für die Ausprägung einer kombinierten Schulleistungsschwäche darstellen und zur Unterscheidung von Kindern mit kombinierten Lernschwächen und unauffälligen Kindern beitragen können. Der größte Stellenwert liegt dabei auf einer Maximierung der Sensitivität, was bedeutet, dass möglichst alle valid-positiven Kinder, also die Kinder, die eine kombinierte Lernschwäche entwickeln, durch den Prädiktor erkannt werden sollten. Das Risiko, einige nicht von einer Lernschwäche betroffenen Kinder fälschlicherweise als Risikokinder (Falsch-Positive = mangelnde Spezifität) zu bezeichnen, kann im Hinblick auf die Bedeutsamkeit der frühzeitigen Prävention von Lernschwächen zunächst eher in Kauf genommen werden.

Aufgrund der angenommenen kognitiven Profile von lernschwachen Kindern wird erwartet, dass sich Schwächen in den exekutiven Funktionen und insbesondere ein schwach ausgeprägter Updating-Faktor ($PR < 35$) als Risikofaktoren für eine kombinierte Lernschwäche mit befriedigender Sensitivität und Spezifität erweisen. Zusätzlich wird aber davon ausgegangen, dass die domänenspezifischen Vorläuferfertigkeiten wie die phonologische Bewusstheit und die Zahl-Größen-Kompetenzen im Vergleich zu den exekutiven Funktionen Risikoklassifikationen höherer Sensitivität und Spezifität ermöglichen, da diese weitaus höhere, z.T. auch direkte Zusammenhänge mit den Schulleistungen aufweisen (s. Kapitel III, Abb. 3 und Kapitel IV, Abb. 6; vgl. auch Krajewski & Schneider, 2009a; Marx, Jansen & Skowronek, 2000). Da Kinder mit

kombinierten Lernschwächen neben schwachen inhaltspezifischen Schwierigkeiten auch in inhaltsübergreifenden Kompetenzen die addierten Schwächen isolierter Lernschwächen aufweisen sollten, werden auch für die phonologische Schleife und den visuell-räumlichen Notizblock als Bestandteile des Arbeitsgedächtnisses und den Abruf aus dem Langzeitgedächtnis ausreichende gute klassifikatorische Eigenschaften erwartet.

2. METHODE

2.1 STICHPROBE

Wie bereits in den Kapiteln III und IV berichtet, nahmen von den 262 Kindergartenkindern der ursprünglichen Stichprobe am Ende der ersten Klasse noch 220 Kinder (119 Jungen, 101 Mädchen) an der Untersuchung teil. Um sicherzustellen, dass die Untersuchung der Leistungsprofile von Kindern mit unterschiedlichen Lernschwächen nicht durch Verhaltensauffälligkeiten oder ein geringes kognitives Leistungsvermögen beeinflusst wird, wurden zwei Ausschlusskriterien verwendet. Zum einen wurden die Kinder ausgeschlossen, die im CFT 1 (Cattell, Weiß & Osterland, 1997) einen Prozentrang < 16 erzielten und damit eine allgemeine kognitive Beeinträchtigung aufwiesen. Dies betraf 18 Kinder. Zum anderen wurden alle Kinder ausgeschlossen, die in Fragebögen von Eltern, ErzieherInnen und/oder LehrerInnen mindestens einmal als unaufmerksam und/oder hyperaktiv beschrieben wurden. Als Hinweis auf auffällige Aufmerksamkeits- und Hyperaktivitätsdefizite galt entweder eine Bestätigung der Diagnose ADHS durch die Eltern im letzten Kindergartenjahr und/oder das Erzielen eines Scores von mindestens 1.6 im ErzieherInnen-Rating im FBB-ADHS-V (Döpfner, Görtz-Dorten, Lehmkuhl, Breuer & Goletz, 2008) ebenfalls im letzten Kindergartenjahr und/oder ein durch die KlassenlehrerInnen zu Beginn der zweiten Klasse berichtetes auffälliges Maß an ADHS-Symptomen (Mädchen mind. 1.8, Jungen mind. 2.1) im FBB-ADHS (Döpfner et al., 2008). Unter dieses Kriterium fielen 18 Kinder, d.h. 6% der Stichprobe.

Die nach Ausschluss verbleibende Stichprobe umfasst $N = 184$ Kinder, davon 83 Mädchen und 101 Jungen, die am Ende der ersten Klasse durchschnittlich 88 Monate (entspricht 7;3 Jahre, $SD = 3.5$ Monate) alt waren.

2.2 TESTVERFAHREN

Zur Erstellung des Profils lernschwacher und unauffälliger Kinder und der Erfassung sensitiver und spezifischer Indikatoren für Lernschwächen wurde auf die in den vorangestellten Untersuchungen III und IV verwendeten Prädiktoren für mathematische und schriftsprachliche Leistungen zurückgegriffen. Für eine detailliertere Beschreibung der Testverfahren wird auf die beiden vorangegangenen Untersuchungen verwiesen. Da im Gegensatz zu diesen beiden Untersuchungen die Daten im Folgenden nicht auf der Basis latenter Konstrukte ausgewertet werden können, wurde für die Bereiche phonologische Bewusstheit im weiteren und engeren Sinne, für die Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebenen 1 und 2 als auch die exekutiven Funktionen ein Summenwert aus jeweils zwei Subtests gebildet. Da die maximal zu erreichenden Summenwerte in den Subtests der exekutiven Funktionen deutlich unterschiedlich sind, wurden diese vor der Verrechnung zu einem Gesamtwert z-standardisiert.

Für den *Updating*-Faktor wurde wie in den vorangegangenen Untersuchungen auf die Testverfahren Komplexe Objektspanne aus der AGTB (Hasselhorn et al., 2012) und Picture memory task (in Anlehnung an Miyake et al., 2000) zurückgegriffen, diese aufsummiert und durch zwei geteilt. *Shifting* wurde wiederum durch die Summe aus den Summenwerten im Kartenshifting (DCCS, Zelazo, 2006) und Farbshifting (Auditory Attention and Response Set; NEPSY, Korkman et al., 1998) gebildet. Die Summenwerte in der Knock-and-Tap-Aufgabe (NEPSY, Korkman et al., 1998) und der Stroop-Aufgabe (BISC, Jansen et al., 2002) wurden aufsummiert und durch zwei geteilt zum Faktor *Inhibition* verrechnet. Zusätzlich wurden die Subtests zu Inhibition und Shifting aufgrund der faktorenanalytisch gezeigten Struktur in Teil III zu dem gemeinsamen Faktor Shifting und Inhibition addiert und ebenfalls durch die Anzahl beteiligter Subtests geteilt.

Für den mathematischen Bereich sind, wie aus Untersuchung in Teil III bekannt, die Zahl-Größen-Kompetenzen relevante Vorläuferfertigkeiten. Als Kennwerte für die Zahl-Größen-Kompetenzen wurde für Ebene 1 und Ebene 2 jeweils ein Summenwert berechnet. Der Summenwert für *Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1* besteht aus den Summen der Subtests Zahlwortfolge und Ziffernkenntnis, geteilt durch die Anzahl der aufsummierten Tests. Die Leistungen in den Subtests Anzahlkonzept und Anzahlseriation wurden zu einem Summenscore für die Variable *Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 2* addiert und ebenfalls durch die Anzahl der aufsummierten Tests geteilt. Die vier Testverfahren entstammen dem MBK-0 (Krajewski, in Druck).

Inhaltsspezifische Vorläuferfertigkeiten des schriftsprachlichen Bereichs stellen wiederum wie in Untersuchung IV die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn und die phonologische Bewusstheit im engeren Sinn dar. Die Subtests Reimproduktion und Reimaufgabe wurden aufsummiert und durch die Anzahl der aufsummierten Tests geteilt und stellen den Indikator für *phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn* dar. Durch die Anpassung der Testbatterie an die ansteigenden Fähigkeiten der Kinder unterscheidet sich die Bildung des Summenwertes in der Variable *phonologische Bewusstheit im engeren Sinn* zwischen dem ersten und den folgenden drei Messzeitpunkten. Während die phonologische Bewusstheit im engeren Sinn zu Messzeitpunkt 1 allein durch die Summe im Testverfahren Phonemsynthese indiziert wird, errechnet sich die Testleistung für die Messzeitpunkte 2-4 durch die aufsummierten und ebenfalls durch zwei geteilten Werte in den Testverfahren Phonemsynthese und Anlautbenennung (Küspert, 1998).

Des Weiteren wurde die *Buchstabenkenntnis* der Kinder zu Messzeitpunkt 3 und 4 und die *grammatikalische Leistung* der Kinder zu Messzeitpunkt 4 mit dem Testverfahren Bildung von Ableitungsmorphemen aus dem Heidelberger Sprachentwicklungstest (H-SET, Grimm & Schöler, 1991) erfasst.

Als bereichsübergreifender Prädiktor wurde die *phonologische Schleife* mit Hilfe der *Wortspanne vorwärts* (Wortmaterial aus Hasselhorn et al., 2012) eingesetzt. Als Prädiktor für Rechenschwäche wurde der *visuell-räumliche Notizblock* als weiterer Bestandteil des Arbeitsgedächtnisses durch die Aufgabe Corsiblock (Milner, 1971) erfasst. Zudem wurde der *schnelle Abruf aus dem Langzeitgedächtnis von Objekten* (angelehnt an Goswami et al., 1999) wie auch die beiden vorgenannten Testverfahren zu allen vier Messzeitpunkten eingesetzt.

Zur Erfassung der *Schulleistungen im Lesen, Rechtschreiben und Rechnen* zum Ende des ersten Schuljahres wurden standardisierte Schulleistungstestverfahren eingesetzt. Die Lesegeschwindigkeit, das Leseverständnis und die Rechtschreibleistung wurden mit den bereits in Teil IV dargestellten Testverfahren erfasst. Zur Anwendung kam demnach die Würzburger Leise-Leseprobe (WLLP-R; Schneider, Blanke, Faust, Küspert, 2011), der Subtest *Satzverständnis* aus dem Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler (ELFE; Lenhard & Schneider, 2006) und der Deutsche Rechtschreibtest für das erste und zweite Schuljahr (DERET 1-2+; Stock & Schneider, 2008). Zur Erfassung der Rechenleistung wurde auf den Deutschen Mathematiktest für erste Klassen (DEMAT 1+; Krajewski, Küspert & Schneider, 2002) zurückgegriffen. Dieses curricular valide Testverfahren erfasst in neun Subtests u.a. das Verständnis für den Zusammenhang von Zahlwörtern, Ziffern und Mengen, der Zerlegbarkeit von Anzahlen, Rechenfertigkeiten im Addieren und Subtrahieren, sowie Anwendung mathematischer Fähigkeiten in Textaufgaben.

Um die *Intelligenz* der Kinder bestimmen zu können, wurden zu Beginn der ersten Klasse die Subtests Klassifikationen, Ähnlichkeiten und Matrizen aus dem Culture Fair Test CFT 1 (Cattell et al., 1997) entnommen und aufsummiert.

Während der Erhebungsphase wurden im Vorschuljahr, bzw. im zweiten Schuljahr Fragebögen an Eltern, Erzieherinnen und Lehrerinnen ausgegeben. Der Elternfragebogen wurde zu Beginn des Vorschuljahres ausgefüllt und enthielt u.a. Fragen zu Ausbildungs- und Berufsstatus, Migrationshintergrund und Lernschwächen in der Familie als auch die Frage, ob das Kind eine ADHS-Symptomatik zeige. Der ErzieherInnenfragebogen wurde zeitgleich ausgegeben und bestand neben dem Strength and Difficulties Questionnaire (SDQ; Goodman, 1997), dem FBB-ADHS-V (Döpfner, et al., 2008) auch aus der Skala Frustrationsanfälligkeit des Inventars zur integrativen Erfassung des Kind-Temperaments IKT (Zentner, 2011). Den LehrerInnen wurde der Fremdbeurteilungsbogen für Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörungen für Schulkinder (ADHS-FBB; Döpfner et al., 2008) als auch die Lehrereinschätzliste für Sozial- und Lernverhalten (LSL; Petermann & Petermann, 2013) vorgelegt.

3. ERGEBNISSE

3.1 PRÄVALENZEN VON LERNSCHWÄCHEN

Zunächst wurden die Auftretenshäufigkeiten schwacher Schulleistungen geprüft. Um einschätzen zu können, ob die vorliegende Stichprobe repräsentativ ist, d.h. Mittelwerte und Standardabweichungen mit der Normierungsstichprobe in den Schulleistungstests übereinstimmen und Vergleiche mit dieser zur validen Einschätzung der Prävalenzrate führen, wurden zunächst die Mittelwerte der $N = 184$ Kinder in den Schulleistungstests bestimmt. Es konnte festgestellt werden, dass die Mittelwerte und Standardabweichungen im ELFE ($M = 6.4$, $SD = 4.6$; Normstichprobe: $M = 6.5$, $SD = 4.1$) und in der WLLP-R ($M = 44.9$, $SD = 16.2$, Normstichprobe: $M = 46.2$, $SD = 16.3$) recht gut übereinstimmten. Mit einer durchschnittlichen Fehleranzahl von $M = 13.4$ ($SD = 6.8$) im DERET 1-2+ fiel die Rechtschreibleistung der vorliegenden Stichprobe bei vergleichbarer Standardabweichung etwas schlechter aus als die der Normstichprobe ($M = 11.8$, $SD = 6.6$). Hingegen wurden im DEMAT 1+ in der vorliegenden Stichprobe im Vergleich zur Normstichprobe leicht erhöhte Mittelwerte festgestellt ($M = 27.2$, $SD = 7.1$; Normstichprobe: $M = 25.1$; $SD = 7.2$).

Als Kriterien für eine Lernschwäche wurde anschließend neben einem durchschnittlichen IQ in den entsprechenden Schulleistungstests ein unterdurchschnittliches Ergebnis ($PR < 16$) bzw. ein Abschneiden unterhalb eines Prozentrangs von 35 (vgl. Geary, 2005) als moderateres Kriterium jeweils im Vergleich mit der Normierungsstichprobe gefordert. Einer unterdurchschnittlichen Leistung ($PR < 16$) in der WLLP-R entsprachen maximal 25 Punkte und einen Prozentrang < 35 erzielten Kinder bei einem maximalen Summenwert von 35 Punkten. Im ELFE Satzverständnis wurden Kinder als unterdurchschnittlich ($PR < 16$) klassifiziert, wenn sie maximal einen Punkt erzielten, während ein Score von max. drei Punkten einem Prozentrang < 35 entsprach. Eine unterdurchschnittliche Leistung mindestens in einem der Lesetests bedeutete die Zuordnung zur Gruppe der leseschwachen Kinder. Beging ein Kind 19 und mehr Fehler im Textdiktat des DERET 1-2+, so entsprach dies einem $PR < 16$, für die Zuordnung eines $PR < 35$ waren bereits 14 Fehler ausreichend. Schwache Leistungen im DERET 1-2+ und in einem der beiden Lesetests führte zur Zuordnung zur Gruppe Lese-Rechtschreibschwäche. Erzielten Kinder im DEMAT 1+ max. 16 Punkte, so wurden sie einem Prozentrang < 16 , bzw. mit maximal 22 Punkten und einem Prozentrang < 35 als rechenschwach eingeordnet. Von kombinierten Lernschwächen wird in den folgenden Auswertungen gesprochen, wenn im DEMAT 1+ und mindestens in einem schriftsprachlichen Schulleistungstest schwache Leistungen festgestellt wurden. In Tabelle 9 finden sich getrennt nach den beiden unterschiedlich streng angesetzten Kriterien die Häufigkeiten der in der vorliegenden Stichprobe vorgefundenen Lernschwächen.

Tabelle 9:

Häufigkeitsverteilung verschiedener schwacher Schulleistungen in der ersten Klasse unter Ausschluss von Kindern mit unterdurchschnittlicher Intelligenz und ADHS-Symptomatik (N=184)

	<i>PR < 16</i>			<i>PR < 35</i>		
	Gesamt	Mädchen	Jungen	Gesamt	Mädchen	Jungen
Keine Lernschwäche	121 (65.8%)	57 (31.0%)	64 (34.8%)	74 (40.2%)	32 (17.4%)	42 (22.8%)
Isolierte Leseschwäche	20 (10.9%)	6 (3.3%)	14 (7.6%)	23 (12.5%)	10 (5.4%)	13 (7.1%)
Isolierte Rechtschreibschwäche	11 (6.0%)	6 (3.3%)	5 (2.7%)	16 (8.7%)	8 (4.3%)	8 (4.3%)
Lese-Rechtschreibschwäche	19 (10.3%)	7 (3.8%)	12 (6.5%)	26 (14.1%)	8 (4.3%)	18 (9.8%)
Isolierte Rechenschwäche	4 (2.2%)	2 (1.1%)	2 (1.1%)	8 (4.3%)	6 (3.3%)	2 (1.1%)
kombinierte Lese-Rechtschreib- und Rechenschwäche	9 (4.9%)	5 (2.7%)	4 (2.2%)	37 (20.1%)	19 (10.3%)	18 (9.8%)
Gesamt	184 (100%)	83 (45.1%)	101 (54.9%)	184 (100%)	83 (45.1%)	101 (54.9%)

Anmerkungen. %-Angabe = prozentualer Anteil an Gesamtstichprobe.

Bei Verwendung des liberaleren Kriteriums von $PR < 35$ wiesen über die Hälfte der 184 Kinder so definierte Schwächen in verschiedenen Schulleistungstestverfahren auf. Die größten Anteile nahmen dabei die Lese-, Lese-Rechtschreibschwäche und kombinierte Schwächen ein, während weniger Kinder isolierte Rechtschreib- und nur sehr wenige Kinder isolierte Rechenschwächen aufwiesen (s. Tabelle 9).

Im Geschlechtervergleich (Mädchen: n=83 [100%]; Jungen: n=101 [100%]) zeigte sich, dass sich Jungen und Mädchen nicht wesentlich in der Häufigkeit der Rechtschreibschwäche (7.9% vs. 9.6%) und der Leseschwäche (12.9% vs. 12.0%) unterschieden. Jungen zeigten deutlich häufiger Lese-Rechtschreibschwächen als Mädchen (17.8% vs. 9.6%). Hingegen waren Jungen erwartungskonform

seltener von Rechenschwächen betroffen (2.0% vs. 7.2%). Etwas weniger Jungen als Mädchen zeigten Schwächen im Rechnen als auch in mindestens einer Schriftsprachleistung (17.8% vs. 22.9%).

Bei Wahl des strengeren Kriteriums von $PR < 16$ reduzierten sich insbesondere die Häufigkeiten einer Lese-Rechtschreibschwäche und der kombinierten Lernschwäche deutlich und insgesamt betrug der Anteil an Schulleistungsschwächen an der Gesamtstichprobe noch rund ein Drittel (s. Tabelle 9). Betrachtet man nun zusätzlich zu den absoluten Häufigkeiten die Häufigkeiten innerhalb der Geschlechter (Mädchen: $n=83$ [100%]; Jungen: $n=101$ [100%]), so zeigten Jungen tendenziell häufiger als Mädchen eine Leseschwäche (13.9% vs. 7.2%) und eine Lese-Rechtschreibschwäche (11.9% vs. 8.4%). Isolierte Rechenschwächen waren bei Mädchen und Jungen gleichverteilt (2.0% vs. 2.4%). Ein nur leicht geringerer Anteil von Jungen zeigte kombinierte Schwächen im Rechnen und mindestens einer schriftsprachlichen Leistung (4.0% vs. 6.0%) und im Rechtschreiben (5.0% vs. 7.2%).

Wie Tabelle 9 zeigt, gestalteten sich die Stichprobenumfänge bei Anwendung des strengen Kriteriums von $PR < 16$ insbesondere im Fall der Rechenschwäche und der Rechtschreibschwäche äußerst gering. Für alle folgenden Berechnungen wird für den Erhalt ausreichend großer Stichproben und für die Berücksichtigung aller potentiell mit einem Risiko versehenen Kinder für die Zuordnung zur Gruppe einer Lernschwäche das liberalere Kriterium, also ein Schulleistungstestergebnis von $PR < 35$, zugrunde gelegt.

Da die Daten wie in Kapitel III und IV bereits berichtet zum Teil nicht normalverteilt waren, sich in der Levene-Teststatistik zur Prüfung der Varianzhomogenität der Lernschwäche-Gruppen bei verschiedenen Variablen heterogene Varianzen zeigten⁶ und zudem kleine Stichproben mit ungleichen Umfängen vorliegen, wurden für die multiplen Mittelwertvergleiche der verschiedenen Lernschwäche-Gruppen und der Gruppe der Kinder ohne Lernschwäche das non-parametrische Kruskal-Wallis-Verfahren und anschließende Mann-Whitney-Tests mit adjustiertem Alpha verwendet.

Die fünf Gruppen mit Kindern unterschiedlicher Lernschwächen und die Gruppe mit Kindern ohne Lernschwächen zeigten erwartungsgemäß, wie in Tabelle 10 ersichtlich, signifikante Mittelwertunterschiede in der WLLP-R [$H(5) = 126.8, p < .000$], im ELFE [$H(5) = 109.3, p = .000$], im DERET 1-2+ [$H(5) = 135.4, p = .000$] als auch im DEMAT 1+ [$H(5) = 112.9, p = .000$]. Betrachtet man die Mittelwerte in Tabelle 10, so erzielten Kinder mit isolierten Lernschwächen in den jeweiligen spezifischen Testverfahren entsprechend des Kriteriums niedrigere Mittelwerte als in unspezifischen Schulleistungstests. Im DERET 1+ schnitten zum Beispiel Kinder mit schwachen Rechtschreibleistungen

⁶ Mittelwerte, Standardabweichungen, Verteilungsmaße und -prüfung und Cut-off-Werte der in diesem Untersuchungsteil verwendeten Prädiktoren und Schulleistungstests können Tabelle 23 im Anhang entnommen werden.

mit einem vergleichsweise geringen Mittelwert ab, nicht aber Kinder mit einer Leseschwäche ($M = 16.4, SD = 2.5$ vs. $M = 10.8, SD = 2.3$). Die Gruppe der Kinder mit kombinierten Lernschwächen wiesen durchgängig in allen Schulleistungstests und insbesondere im Vergleich zu Kindern ohne Lernschwächen die geringsten absoluten Mittelwerte auf. Beispielsweise erzielten sie im ELFE Satzverständnis den insgesamt niedrigsten Mittelwert im Vergleich zu allen Gruppen und tendenziell auch einen noch geringeren Mittelwert als die Kinder mit einer isolierten Leseschwäche ($M = 2.4, SD = 2.2$ vs. $M = 4.6, SD = 3.0$).

Tabelle 10:

Mittelwerte, Standardabweichungen und Prüfgrößen der Kruskal-Wallis-Teststatistik der Schulleistungstests bei Klassifikation durch Leistungen $PR < 35$

	Keine Lernschwäche		Lese-schwäche		Rechtschreib-schwäche		Lese-Rechtschreib-schwäche		Rechen-schwäche		Kombinierte Lernschwäche		df	p	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD			
WLLP-R	56.8	12.8	33.9	9.4	48.9	7.5	35.0	11.2	50.9	10.5	32.2	13.6	126.8	5	.000
ELFE	9.9	4.0	4.6	3.0	7.3	2.5	2.5	1.9	8.4	4.7	2.4	2.2	109.3	5	.000
Satzverständnis															
DERET 1-2+	8.3	3.6	10.8	2.3	16.4	2.5	19.5	4.7	7.8	3.5	20.6	5.9	135.4	5	.000
DEMAT 1+	31.7	3.4	28.5	3.7	29.8	3.6	29.2	3.3	19.4	2.0	16.6	6.0	112.9	5	.000

Anmerkungen. H = Prüfgröße des Kruskal-Wallis-Test zur Erfassung von Unterschieden bei mehreren unabhängigen Gruppen; df = Freiheitsgrade; p = Signifikanzniveau; Kombinierte Lernschwäche = schwache Leistung im DEMAT 1+ und in mind. einem schriftsprachlichen Schulleistungstest; DERET 1-2+: mittlere Fehleranzahl.

Die Post-hoc-Vergleiche, ersichtlich in der im Anhang befindlichen Tabelle 24, zeigten, dass die Gruppe der Kinder mit kombinierten Lernschwächen im Vergleich zu Kindern ohne Schulleistungsschwächen durchgängig die geringsten Resultate in den Schulleistungstests erzielen. In der WLLP-R erlasen Kinder mit kombinierten Lernschwächen mit einem $M = 32.2$ ($SD = 13.6$) versus einem Mittel von $M = 56.8$ ($SD = 12.8$) bei Kindern ohne Lernschwächen signifikant weniger Wörter ($Z = 8.827$, $p = .000$, Effektstärke $r = .84$). Auch das Mittel der kombiniert lernschwachen Kinder von 2.4 ($SD = 2.2$) im ELFE unterschied sich signifikant vom Mittel $M = 9.9$ ($SD = 4.0$) der Kinder ohne Lernschwäche ($Z = 8.727$, $p = .000$, Effektstärke $r = .83$), genauso wie die Mittel der Grammatikfehler der beiden Gruppen im DERET 1-2+ ($M = 20.6$, $SD = 5.9$ vs. $M = 8.3$, $SD = 3.6$; $Z = -9.203$, $p = .000$, Effektstärke $r = -.87$). Im DEMAT 1+ schnitten kombiniert lernschwache Kinder mit einem $M = 16.6$ ($SD = 6.0$) und somit einer Differenz von rund 15 Punkten/ca. 2 Standardabweichungen ebenfalls signifikant schlechter als die Kontrollgruppe der Kinder ohne Lernschwäche ab ($Z = 9.938$, $p = .000$, Effektstärke $r = .94$).

Keine signifikanten Mittelwertunterschiede hingegen fanden sich zwischen der kombinierten Lernschwäche und der Rechenschwäche im DEMAT 1+ ($Z = .165$, $p = 1.000$, $r = .02$), der kombinierten Lernschwäche und der Rechtschreibschwäche im DERET 1-2+ ($Z = -.935$, $p = 1.000$, $r = -.13$), der kombinierten Lernschwäche und der Leseschwäche in der WLLP-R ($Z = .820$, $p = 1.000$, $r = .11$), mit geringer Effektstärke hingegen im ELFE ($Z = 2.263$, $p = .355$, $r = .29$). Die Mittelwerte der Kinder mit kombinierten Lernschwächen und Lese-Rechtschreibschwächen in DERET 1-2+, WLLP-R und ELFE unterschieden sich wiederum nicht signifikant. Kinder mit kombinierten Lernschwächen erzielten demzufolge keine signifikant schlechteren Leistungen als Kinder mit der isolierten Lernschwäche im betreffenden Schulleistungstest.

Kinder mit isolierten Lernschwächen schnitten erwartungs- und definitionsgemäß in dem jeweiligen spezifischen Verfahren schlechter ab als Kinder ohne Lernschwächen (WLLP-R: Leseschwäche vs. keine Lernschwäche: $Z = 6.533$, $p = .000$, $r = .66$; Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwäche: $Z = 7.799$, $p = .000$, $r = .78$; ELFE: Leseschwäche vs. keine Lernschwäche: $Z = 4.844$, $p = .000$, $r = .49$; Lese-Rechtschreibschwäche: $Z = 7.501$, $p = .000$, $r = .75$; DERET : keine Lernschwäche vs. Rechtschreibschwäche: $Z = -5.706$, $p = .000$, $r = -.60$; Keine Lernschwäche vs. Lese-Rechtschreibschwäche: $Z = -8.012$, $p = .000$, $r = -.80$; DEMAT 1+: Rechenschwäche vs. keine Lernschwäche: $Z = 5.203$, $p = .000$, $r = .58$).

Zudem ließ sich beobachten, dass sich Kinder mit einer reinen Leseschwäche von den Kindern mit einer reinen Rechtschreibschwäche unterschieden und dies sowohl in der WLLP-R ($Z = 3.899$, $p = .001$, $r = .62$) als auch im DERET 1-2+ ($Z = 3.528$, $p = .006$, $r = .57$).

3.2 KOGNITIVE PROFILE VON KINDERN MIT ISOLIERTEN UND KOMBINIERTEN LERNSCHWÄCHEN

Nach Einteilung der Kinder anhand der Schulleistungstestergebnisse in sechs verschiedene Gruppen – ohne Lernschwäche, Leseschwäche, Rechtschreibschwäche, Lese-Rechtschreibschwäche, Rechenschwäche und kombinierte Lernschwächen – wurden deren kognitive Profile geprüft. Ausgehend von den in Kapitel III und IV untersuchten Prädiktoren mathematischer und schriftsprachlicher Leistungen wurden wiederum unter Anwendung des nicht-parametrischen Kruskal-Wallis-Verfahrens zum Vergleich von Mittelwerten mehrerer Gruppen mögliche Unterschiede der sechs Gruppen in den exekutiven Funktionen Shifting und Inhibition, Updating, der phonologischen Bewusstheit im weiten und im engen Sinne, Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebenen 1 und 2, dem Abruf aus dem Langzeitgedächtnis, der phonologischen Schleife und dem visuell-räumlichen Notizblock, der Buchstabenkenntnis und Grammatikleistung als auch in der Intelligenz geprüft. Da die Maße der exekutiven Funktionen lediglich zum dritten und vierten Messzeitpunkt erhoben wurden, wurde auch für die weiteren Prädiktoren auf diese Messzeitpunkte bzw. den jeweils frühest möglichen Messzeitpunkt zurückgegriffen. Es zeigten sich in allen für die Berechnung von Summenwerten z-standardisierten Variablen Mittelwertunterschiede (s. Tabelle 11).

Tabelle 11:

Mittelwerte, Standardabweichungen und Prüfgrößen der Kruskal-Wallis-Teststatistik für Schulleistungsprädiktoren (z-transformierte Werte)

	Keine Lernschwäche		Lese-schwäche		Rechtschreib-schwäche		Lese-Rechtschreib-schwäche		Rechen-schwäche		Kombinierte Lernschwächen		df	p	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD			
Shifting &	.281	.536	.108	.433	.234	.745	-.070	.564	.210	.392	-.129	.467	20.2	5	.001
Inhibition ¹	.501	.835	.278	.665	.221	.549	.097	.589	-.039	.345	-.622	.746	42.8	5	.000
Updating ²	.441	.564	.207	.538	.209	.540	.030	.560	.375	.626	-.466	.700	39.0	5	.000
pB weit ¹	.418	.736	.193	.784	.326	.868	.005	.679	.414	.518	-.268	.805	20.8	5	.000
ZGK Ebene 1 ¹	.608	.625	.356	.647	.302	.625	.078	.811	.256	.716	-.738	.823	55.3	5	.000
ZGK Ebene 2 ¹	.330	.545	.252	.707	.398	.323	.215	.420	.131	.702	-.234	.804	24.1	5	.000
Abruf LZG ¹	.479	.911	-.123	1.190	.038	.810	-.157	.816	.366	.915	-.305	1.071	20.3	5	.001
phon. Schleife ¹	.376	.891	-.103	.900	.717	1.257	-.245	.797	.073	1.193	-.285	.859	19.4	5	.002
Vis.-räuml.	.462	.688	.250	.640	.146	.926	.248	.734	-.378	1.263	-.360	1.106	17.8	5	.003
Notizblock ¹	.509	.976	.368	.896	.146	.991	-.215	.853	.960	.455	-.693	.639	44.8	5	.000
Buchstaben-kennntnis ²	.384	.844	.027	.947	.103	.802	-.409	.963	.361	.819	-.315	1.129	17.6	5	.003
Grammatik ²	.536	.837	.210	.773	.534	.840	-.178	.778	.042	.717	-.257	.670	29.8	5	.000
IQ ³															

Anmerkungen. H = Prüfgröße des Kruskal-Wallis-Test zur Erfassung von Unterschieden bei mehreren unabhängigen Gruppen; df = Freiheitsgrade; p = Signifikanzniveau; pB weit = phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne; pB eng = phonologische Bewusstheit im engeren Sinne; ZGK = Zahl-Größen-Kompetenzen; ¹erfasst zu Messzeitpunkt 3; ² erfasst zu Messzeitpunkt 4; ³ erfasst zu Messzeitpunkt 5.

Betrachtet man die Resultate der Post-hoc-Vergleiche, ersichtlich in der umfangreichen Tabelle 25 im Anhang, so fällt wiederum auf, dass die Kinder mit kombinierten Lernschwächen in allen Prädiktorvariablen signifikant niedrigere Leistungen erzielten als Kinder ohne Lernschwächen. Alle diese Mittelwertunterschiede zeigten mittlere bis hohe Effektstärken von $r = .30$ (Grammatik: $M = -.315$, $SD = 1.129$ vs. $M = .384$, $SD = .844$, $Z = 3.134$, $p = .026$) bis $r = .70$ (ZGV Ebene 1: $M = -.234$, $SD = .804$ vs. $M = .330$, $SD = .545$, $Z = 7.383$, $p = .000$). Zusätzlich zur Prädiktorvariable Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1 zeigten sich auch die Mittelwertunterschiede zwischen Kindern mit kombinierter Lernschwäche und unbeeinträchtigten Kindern im Updating ($M = -.622$, $SD = .746$ vs. $M = .501$, $SD = .835$, $Z = 6.328$, $p = .000$, $r = .60$), in der Buchstabenkenntnis ($M = -.693$, $SD = .639$ vs. $M = .509$, $SD = .976$, $Z = 5.881$, $p = .000$, $r = .59$) und in der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinn ($M = -.466$, $SD = .700$ vs. $M = .441$, $SD = .564$, $Z = 6.044$, $p = .000$, $r = .57$) ebenfalls besonders effektstark.

In einigen Variablen schnitten Kinder mit kombinierten Lernschwächen zudem auch schlechter ab als Kinder mit isolierten Lernschwächen. So zeigten Kinder mit kombinierten Schulleistungsschwächen geringere Fertigkeiten als Kinder mit isolierter Leseschwäche im Updating ($Z = 4.196$, $p = .000$, $r = .54$), in der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinne ($Z = .3.155$, $p = .024$, $r = .41$), in den Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1 ($Z = 4.053$, $p = .001$, $r = .52$) und Ebene 2 ($Z = 3.456$, $p = .008$, $r = .45$) und in der Buchstabenkenntnis ($Z = 3.914$, $p = .001$, $r = .51$). Im Vergleich zu Kindern mit einer isolierten Rechtschreibschwäche verfügten Kinder mit kombinierter Schulleistungsschwäche durchschnittlich über signifikant geringere Fähigkeiten im Updating ($Z = 3.284$, $p = .015$, $r = .45$), in der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinn ($Z = 3.111$, $p = .024$, $r = .41$), in der Zahl-Größen-Verknüpfung Ebene 1 ($Z = 3.361$, $p = .012$, $r = .46$) und der Ebene 2 ($Z = 3.055$, $p = .034$, $r = .42$), in der phonologischen Schleife ($Z = 3.318$, $p = .014$, $r = .45$) und in der Intelligenz ($Z = 3.072$, $p = .032$, $r = .39$). Zudem schnitten Kinder mit kombinierten Lernschwächen in zwei Variablen schlechter ab als Kinder mit Lese-Rechtschreibschwächen. Dies betraf das Updating ($Z = 3.106$, $p = .028$, $r = .39$) und die Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1 ($Z = 3.209$, $p = .020$, $r = .40$). Auch im Vergleich zu Kindern mit einer isolierten Rechenschwäche zeigten Kinder mit kombinierten Lernschwächen in zwei Variablen schwächere Leistungen, so in der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinn ($Z = 3.211$, $p = .020$, $r = .48$) und in der Buchstabenkenntnis ($Z = 4.307$, $p = .000$, $r = .74$).

Von den Gruppen der Kinder mit isolierten Lernschwächen zeigten einzig die lese-rechtschreibschwachen Kinder in drei Variablen signifikant schwächere Leistungen als die Gruppe der Kinder ohne Lernschwächen. Dies betraf die Buchstabenkenntnis ($Z = 3.144$, $p = .025$, $r = .31$),

die grammatikalische Leistung ($Z = 3.548, p = .006, r = .36$) und den IQ ($Z = 3.686, p = .003, r = .37$). Die Buchstabenkenntnis der Kinder mit Lese-Rechtschreibschwäche war zudem geringer ausgeprägt als die von Kindern mit einer Rechenschwäche ($Z = -2.970, p = .045, r = -.51$).

Mehrere Post-hoc-Vergleiche erreichten aufgrund der geringen Gruppengröße keine statistische Signifikanz. Die Berechnung der Effektstärke⁷ berücksichtigt hingegen Gruppenumfänge und wies bei weiteren Variablen auf Mittelwertunterschiede mit geringen bis mittelhohen Effektstärken hin (z.B. Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1: Kombinierte Lernschwäche vs. Rechenschwäche: $M = -.738, SD = .823$ vs. $M = .256, SD = .716, r = .38$). Für den detaillierten Überblick wird nochmals auf Tabelle 25 im Anhang verwiesen.

Abbildung 8 lässt eine schnelle Übersicht über die Profile von Kindern mit Lernschwächen zu und zeigt deutlich die auffällig schwachen Leistungen von Kindern mit kombinierten Lernschwächen.

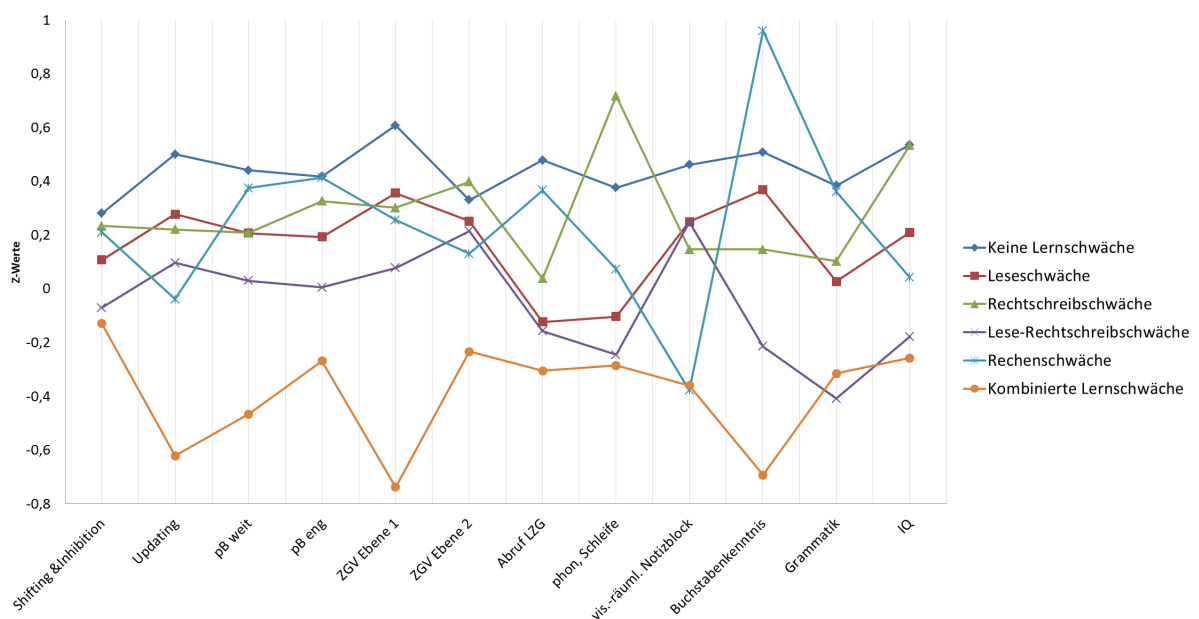


Abbildung 8. Kognitive Profile von Kindern mit verschiedenen Lernschwächen

3.3 CHARAKTERISTIKA VON KINDERN MIT KOMBINIERTEN LERNSCHWÄCHEN

Da sich Kinder mit kombinierten Lernschwächen in allen Prädiktoren signifikant von Kindern ohne Lernschwäche unterscheiden, sollen weitere Analysen diese Gruppe detaillierter beleuchten.

⁷ Berechnung der Effektstärke nach folgender Formel: $r = Z / \sqrt{N}$; $r > .3$ = mittlere Effektstärke, $r > .5$ = hohe Effektstärke (Field, 2009, S. 550)

In den obigen Auswertungen wurden Kinder immer dann der Gruppe der kombinierten schwachen Schulleistungen zugeordnet, wenn sie im Rechnen und in wenigstens einem der schriftsprachlichen Testverfahren eine unterhalb des Prozentrangs von 35 liegende Leistung gezeigt hatten. Dies führte dazu, dass sowohl Kinder mit einer Lese- und Rechenschwäche (WLLP-R und/oder ELFE 1-6 und DEMAT 1+), Kinder mit einer Rechtschreib- und Rechenschwäche (DERET 1-2+ und DEMAT 1+) als auch Kinder mit schwachen Leistungen im Lesen, Rechtschreiben und Rechnen (WLLP-R und/oder ELFE 1-6 und DERET 1-2+ und DEMAT 1+) der gleichen Gruppe ($N = 37$) zugeordnet wurden. Tabelle 12 zeigt die Häufigkeiten dieser drei unterschiedlichen Kombinationen von schwachen Schulleistungen. Während das gemeinsame Auftreten von Schwächen im Lesen und Rechnen bei fünf Kindern zu beobachten war und gleichzeitige Schwächen im Rechtschreiben und Rechnen bei sechs Kindern auftraten, nahmen den größten Anteil an den insgesamt 37 Kindern mit kombinierten Lernschwächen mit $n = 26$ die Gruppe der Kinder ein, die im Lesen und Rechtschreiben und Rechnen schwache Leistungen erbracht haben.

Tabelle 12:

Häufigkeiten unterschiedlich kombinierter Lernschwächen

Schwächen	Jungen	Mädchen	n (%- Anteil an $N = 37$)
Lese- und Rechenschwäche	3 (8.1%)	2 (5.4%)	5 (13.5%)
Rechtschreib- und Rechenschwäche	1 (2.7%)	5 (13.5%)	6 (16.2%)
Schwächen in mind. einem Lesetest, im Rechtschreiben und Rechnen	14 (37.8%)	12 (32.4%)	26 (70.3%)

Anmerkungen. Stichprobenumfänge unter Ausschluss von Kindern mit unterdurchschnittlichem IQ und ADHS-Symptomatik.

Um zu entscheiden, ob eine Binnendifferenzierung der Kinder mit unterschiedlich kombinierten Lernschwächen entsprechend Tabelle 12 für die folgenden Analysen ratsam ist, wurde trotz extrem kleiner Gruppen geprüft, ob diese Kinder tendenziell unterschiedliche Profile in den bekannten Prädiktoren schulischer Fertigkeiten aufweisen. Die Mittelwertvergleiche der Kruskal-Wallis-Tests mit anschließenden Post-hoc-Vergleichen ergaben für zwei der insgesamt zwölf Prädiktoren signifikante Unterschiede in den Mittelwerten. In der phonologischen Bewusstheit im engeren Sinn [$H(2) = 9.010, p = .011$] erzielten die Kinder mit einer kombinierten Lese- und Rechenschwäche einen signifikant höheren Mittelwert als Kinder mit einer kombinierten Rechtschreib- und Rechenschwäche ($M = 7.2, SD = .57$ vs. $M = 3.6, SD = 2.1$; $Z = 2.436, p = .045, r = .74$) und als Kinder

mit Schwächen im Lesen, Rechtschreiben und Rechnen ($M = 3.7$, $SD = 1.9$; $Z = 2.938$, $p = .010$, $r = .53$). Außerdem zeigten Kinder mit einer kombinierten Lese- und Rechenschwäche ein signifikant besseres grammatikalisches Verständnis als Kinder mit Schwächen im Lesen, Rechtschreiben und Rechnen [$H(2) = 7.412$, $p = .025$; $M = 12.0$, $SD = 1.6$ vs. $M = 7.2$, $SD = 3.7$; $Z = 2.465$, $p = .041$, $r = .44$].

Verschiedene Gründe sprachen nun dafür, die folgenden Untersuchungen nur mit der Gruppe von Kindern mit Schwächen im Lesen *und* Rechtschreiben *und* Rechnen weiter zu führen. Zum einen sind die Stichprobenumfänge der Kinder mit einer Rechtschreib- und Rechenschwäche sowie mit einer Lese- und Rechenschwäche zu gering, als dass sie belastbare Untersuchungen unterschiedlicher Profile zuließen. Zwei der Mittelwertvergleiche wiesen außerdem darauf hin, dass es unterschiedliche Profile geben könnte, so dass eine Zusammenfassung zur gleichen Gruppe nicht ratsam erschien. Außerdem sollte - trotz der Wahl eines liberaleren Cut-off-Kriteriums von $PR < 35$ zwecks Erhöhung von Selektionsrate und Sensitivität - der Fokus auf die Kinder eingegrenzt werden, die möglichst breitbandige Schwächen und damit möglicherweise ein besonders erhöhtes Risiko für eine überdauernde kombinierte Schulleistungsschwäche aufweisen. Die folgenden Analysen zur Vorhersage kombinierter Lernschwächen stützen sich deshalb auf die $n = 26$ Kinder mit *schwachen Leistungen im Lesen und Schreiben und Rechnen*, welche als die Gruppe der Kinder mit *kombinierten Lernschwächen* bezeichnet wird.

Diese Gruppe setzte sich aus 14 Jungen und 12 Mädchen zusammen, welche mit den Kindern ohne Lernschwächen ($PR > 35$ in allen vier Schulleistungstests, $n = 74$, davon 42 Jungen, 32 Mädchen) verglichen wurden. Beide Geschlechter waren mit rund einem Viertel auffälliger Kinder gleichermaßen von kombinierten Lernschwächen betroffen. Die Kinder mit kombinierter Lernschwäche ($M = 87$ Monate, $SD = 3.6$) unterschieden sich nicht signifikant im Alter von den Kindern ohne Lernschwächen ($M = 88$ Monate, $SD = 3.7$ Monate; $U = 730.5$, $z = -1.746$, $p = .081$). Hingegen erreichten die Kinder mit kombinierten Lernschwächen mit einem $M = 21.6$ ($SD = 4.3$) ein signifikant niedrigeres Ergebnis im Intelligenztest als die Kinder ohne Lernschwächen ($M = 26.7$, $SD = 4.9$; $U = 448.5$, $z = -4.043$, $p = .000$, $r = -.40$).

Für 18 der insgesamt 26 Kinder mit kombinierten Schwächen und 71 der 74 Kinder ohne Lernschwächen lagen Informationen aus einem in der Mitte des Vorschuljahres beantworteten Elternfragebogens zum häuslichen Umfeld, der Familiensprache und der elterlichen Bildung vor.

Während 9.9% der Kinder ohne Lernschwächen Familienmitglieder mit einer diagnostizierten Lese-Rechtschreibschwäche haben, waren es bei den Kindern mit kombinierter Schwäche 16.7%. Rechenschwächen kamen hingegen in den Familien der befragten Kinder mit kombinierten

Schwächen nicht vor und auch in den Familien der unauffälligen Kinder waren Rechenschwächen selten (4.2%).

In 4 von 18 Familien der Kinder mit kombinierten Schulleistungsschwächen wird neben Deutsch eine weitere Sprache gesprochen (22.2%), während dies nur bei 3 von 70 Familien der Kinder ohne Lernschwächen der Fall ist (4.2%). 14.3% der Mütter und 15.7% Väter von Kindern ohne Lernschwächen haben einen Migrationshintergrund. Ebensolches traf auf 16.7% der Mütter und 27.8% der Väter der Kinder mit kombinierter Lernschwäche zu. Bis auf ein Kind aus der Gruppe der Kinder mit unauffälligen Schulleistungen wurden alle Kinder, deren Eltern befragt wurden, in Deutschland geboren. Der prozentuale Anteil alleinerziehender Mütter war in der Gruppe der Kinder mit kombinierter Schulleistungsschwäche mit 23.5% ($n = 4$) etwas höher als bei Kindern ohne Lernschwäche (12.7%, $n = 9$).

Tendenziell haben die Mütter von Kindern mit schwachen Schulleistungen häufiger einen Hauptschulabschluss als Mütter von Kindern ohne Schulleistungsschwächen (16.7% vs. 7.0%). Realschulabschlüsse (44.4% vs. 33.8%) sind bei Müttern von Kindern mit kombinierten Lernschwächen etwas häufiger; Hochschulabschlüsse (22.2% vs. 29.6 %) weisen Mütter beider Gruppen ähnlich häufig vor. Hingegen haben Mütter von Kindern mit kombinierten Schulleistungsschwächen eher seltener das Abitur als Mütter von Kindern ohne Lernschwächen (11.1% vs. 26.8%).

10.1% der Väter von Kindern ohne Lernschwäche berichten einen Hauptschulabschluss, während dies auf 25% der Väter von Kindern mit kombinierten Lernschwächen zutrifft. Der größte Anteil der Väter von Kindern mit kombinierten Lernschwächen hat einen Realschulabschluss (50% vs. 18.8% der Väter von Kindern ohne Lernschwäche), während die meisten Väter von Kindern ohne Lernschwächen über einen Hochschulabschluss verfügen (40.9% vs. 6.3% der Väter von Kindern mit kombinierten Lernschwächen). Die Anteile der Väter mit Abitur sind wiederum ähnlicher verteilt (20.3% vs. 12.5% der Väter von Kindern mit kombinierten Lernschwächen).

In der Mitte des zweiten Schuljahres beurteilten die KlassenlehrerInnen in einem Fragebogen das Arbeits- und Sozialverhalten der teilnehmenden Kinder. Dabei wurden 11 der 26 kombiniert lernschwachen Kinder und 40 der 74 Kinder ohne Lernschwäche mit der Lehrer- Einschätzliste (LSL; Petermann & Petermann, 2013) beurteilt. Die kombiniert lernschwachen Kinder wurden als signifikant weniger anstrengungsbereit und ausdauernd ($M = 9.4$, $SD = 3.4$ vs. $M = 13.2$, $SD = 1.7$; $Z = -3.817$, $p = .000$, $r = -.53$), weniger konzentriert ($M = 8.7$, $SD = 2.5$ vs. $M = 12.0$, $SD = 2.3$;

$Z = -3.410, p = .001, r = -.47$) und weniger selbstständig im Lernen ($M = 10.0, SD = 3.0$ vs. $M = 13.3, SD = 2.4; Z = -3.459, p = .001, r = -.48$) beschrieben.

Neben den LehrerInnen und Eltern wurden die ErzieherInnen bereits im Vorschuljahr zu Stärken und Schwächen der Kinder befragt (SDQ; Goodman, 1997). Für 24 der 26 Kinder mit kombinierten Lernschwächen und 70 der 74 Kinder ohne Lernschwäche liegen diese Zusatzinformationen vor. Während sich keine Unterschiede in den SDQ-Skalen Prosoziales Verhalten, Verhaltensauffälligkeiten und Probleme mit Gleichaltrigen zeigten, unterschieden sich trotz Ausschluss aller Kinder mit deutlicher ADHS-Symptomatik Kinder mit kombinierter Lernschwäche und ohne Lernschwäche mit niedriger Effektstärke in der Skala Hyperaktivität ($M = 8.3, SD = 2.6$ vs. $M = 5.5, SD = 12.0; Z = 2.563, p = .010, r = .26$). Auch sehen Erzieherinnen bei Kindern mit kombinierten Lernschwächen häufiger als bei unauffällig entwickelten Kindern emotionale Probleme ($M = 6.9, SD = 2.1$ vs. $M = 6.1, SD = 1.7; Z = 2.045, p = .041, r = .21$). Zudem wurden Kinder mit kombinierter Lernschwäche im letzten Kindergartenjahr in der Skala Frustrationsanfälligkeit des IKT (Zentner, 2012) im Vergleich zu Kindern ohne Lernschwäche als auffälliger beschrieben ($M = 6.7, SD = 4.9$ vs. $M = 4.6, SD = 4.5; Z = 2.213, p = .027, r = .23$).

Im Folgenden soll nun noch einmal der Fokus detaillierter auf die *kognitiven* Eigenschaften der Kinder mit Schwächen im Lesen und Schreiben und Rechnen, den $n = 26$ Kindern mit kombinierten Lernschwächen, im Vergleich zu der Gruppe der 74 Kinder ohne Lernschwäche gelegt werden. Um Hinweise auf die möglicherweise unterschiedlich hohe prognostische Kraft der Variablen bei deren Erfassung zu unterschiedlichen Messzeitpunkten zu bekommen, wurden die Mittelwertvergleiche auf alle vorschulischen Messzeitpunkte ausgeweitet (s. Tabelle 13).

Tabelle 13:

Mittelwerte, Standardabweichungen und Prüfgrößen der Mann-Whitney-Teststatistik für schriftsprachliche und mathematische Schulleistungsprädiktoren bei Kindern mit kombinierten und Kindern ohne Lernschwächen

Prädiktor	Keine Lernschwächen		kombinierte Lernschwäche		N	U	p	r
	M	SD	M	SD				
Phonologische Bewusstheit								
pB weit MZP1	6.7	2.5	3.2	2.4	94	-4.708	.000	-.49
pB weit MZP 2	7.8	2.2	4.4	2.8	100	-5.024	.000	-.50
pB weit MZP 3	7.0	1.4	4.4	2.0	95	-5.121	.000	-.53
pB weit MZP 4	8.9	1.1	5.8	2.6	97	-5.680	.000	-.58
pB eng MZP 1	5.0	2.1	3.7	2.4	95	-2.327	.020	-.24
pB eng MZP 2	5.3	2.2	2.7	1.3	100	-4.934	.000	-.49
pB eng MZP 3	6.0	2.0	3.7	1.9	98	-4.406	.000	-.45
pB eng MZP 4	7.2	1.2	4.5	1.9	97	-5.876	.000	-.60
Zahl-Größen-Kompetenzen								
ZGK Ebene 1 MZP 1	9.9	4.1	4.1	3.4	94	-5.171	.000	-.53
ZGK Ebene 1 MZP 2	12.5	3.6	6.4	4.1	100	-5.475	.000	-.55
ZGK Ebene 1 MZP 3	13.6	2.9	7.9	4.0	100	-5.727	.000	-.57
ZGK Ebene 1 MZP 4	14.7	2.0	10.4	4.0	97	-5.074	.000	-.52
ZGK Ebene 2 MZP 1	4.4	1.6	2.4	1.5	94	-4.659	.000	-.48
ZGK Ebene 2 MZP 2	5.3	1.0	3.7	1.6	99	-4.688	.000	-.47
ZGK Ebene 2 MZP 3	5.6	0.8	4.7	1.3	100	-4.086	.000	-.41
ZGK Ebene 2 MZP 4	5.8	0.4	5.2	1.1	97	-3.191	.001	-.32
Abruf aus dem Langzeitgedächtnis								
Abruf LZG MZP1	.73	.15	.61	.17	94	-2.960	.003	-.31

Prädiktor	Keine Lernschwächen		kombinierte Lernschwäche		<i>N</i>	<i>U</i>	<i>p</i>	<i>r</i>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>				
Abruf LZG MZP 2	.82	.17	.64	.20	100	-3.689	.000	-.37
Abruf LZG MZP 3	.94	.20	.80	.27	96	-2.348	.019	-.24
Abruf LZG MZP 4	.89	.23	.75	.23	97	-2.643	.008	-.27
Arbeitsgedächtnis								
Phon. Schleife MZP 1	5.1	1.1	3.4	1.5	94	-4.584	.000	-.47
Phon. Schleife MZP 2	5.5	1.1	4.0	1.2	100	-4.783	.000	-.48
Phon. Schleife MZP 3	5.6	1.0	4.6	1.0	98	-3.611	.000	-.37
Phon. Schleife MZP 4	6.0	1.2	4.6	1.2	97	-4.842	.000	-.49
Vis.-räuml. Notizbl. MZP 1	10.7	3.1	7.0	3.2	94	-4.482	.000	-.46
Vis.-räuml. Notizbl. MZP 2	11.8	2.2	8.9	2.8	99	-4.484	.000	-.45
Vis.-räuml. Notizbl. MZP 3	12.7	1.8	10.5	2.9	93	-3.368	.001	-.35
Vis.-räuml. Notizbl. MZP 4	13.5	1.6	11.2	2.5	97	-4.242	.000	-.43
(Schrift-) sprachliche Kompetenzen								
Buchstabenkenntnis MZP3	13.2	8.1	4.0	4.3	100	-5.027	.000	-.50
Buchstabenkenntnis MZP4	17.3	8.0	7.1	5.2	96	-5.010	.000	-.51
Grammatik MZP 4	20.0	5.5	13.5	7.4	97	-3.911	.000	-.40

Anmerkungen. *U* = standardisierte Prüfgröße des Mann-Whitney-U-Test; *df* = Freiheitsgrade; *p* = Signifikanzniveau; *r* = Effektstärke, pB weit = phon. Bewusstheit im weiteren Sinn; pB eng = phon. Bewusstheit im engeren Sinn; MZP = Messzeitpunkt; ZGK = Zahl-Größen-Kompetenzen; Vis.-räuml. Notizbl. = Visuell-räumlicher Notizblock; *U* = Prüfgröße des Mann-Whitney-U-Test; *p* = Signifikanzniveau; *r* = Effektstärke.

Insbesondere die Mittelwerte von Kindern mit kombinierten Lernschwächen und den Kindern ohne Lernschwächen in der phonologischen Bewusstheit im weiteren ($U = -5.680$, $p = .000$, $r = -.58$) und engeren Sinn ($U = -5.876$, $p = .000$, $r = -.60$) unterschieden sich kurz vor Einschulung an Messzeitpunkt 4 deutlich und könnten deshalb möglicherweise die treffsicherste Vorhersage ermöglichen. Die Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1 von Kindern mit kombinierten

Lernschwächen und Kindern ohne Lernschwächen unterschieden sich zu allen Messzeitpunkten effektstark voneinander ($r = -.52$ bis $r = -.57$), so dass der Zeitpunkt der genauesten Vorhersage aus diesen Berechnungen nicht absehbar ist. Die Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 2 zeigten zu den ersten beiden Messzeitpunkten effektstärkere Mittelwertunterschiede ($r = -.47$ und $r = .48$) als den beiden Messzeitpunkten im Vorschuljahr. Zwar unterschieden sich kombiniert lernschwache Kinder gegenüber Kindern ohne Lernschwächen weiterhin signifikant, jedoch nur noch mit mittlerer Effektstärke ($r = -.32$ und $r = -.41$). Der Abruf aus dem Langzeitgedächtnis, erfasst über das schnelle Benennen von Objekten, zeigte zu allen Messzeitpunkten Mittelwertunterschiede von nur geringer bis mittlerer Effektstärke (max. $r = -.37$ zu Messzeitpunkt 2). Die Leistungen von Kindern mit kombinierten Lernschwächen und Kindern ohne Lernschwächen in der phonologischen Schleife hingegen unterschieden sich zu allen Messzeitpunkten signifikant mit mittlerer Effektstärke ($r = -.37$ bis $r = -.49$). Ebenso unterschieden sich die Mittelwerte von Kindern mit kombinierten versus ohne Lernschwächen im visuell-räumlichen Notizblock zu allen Messzeitpunkten signifikant. Mit Ausnahme der etwas geringeren Effektstärke zum dritten Messzeitpunkt ($r = -.35$) fielen die Mittelwertunterschiede zu den Messzeitpunkten 1, 2 und 4 mit vergleichbaren mittleren Effektstärken um $r = -.43$ bis $-.46$ aus. Die Buchstabenkenntnisse beider Gruppen unterschieden sich an beiden Messzeitpunkten im Vorschuljahr deutlich jeweils mit einer Effektstärke von $r = -.50$ bzw. $r = .51$. Zwar gab es auch signifikante Mittelwertunterschiede in der Grammatikleistung, dies jedoch wiederum mit moderater Effektstärke ($r = -.40$).

Für die weitere detaillierte Betrachtung möglicherweise geeigneter Variablen zur frühzeitigen Risikoerkennung einer kombinierten Lernschwäche wurden die Mittelwertunterschiede in den zusammengefassten Faktoren Shifting und Inhibition und Updating, aber auch Mittelwertunterschiede in den einzelnen Testverfahren zur Erfassung exekutiver Funktionen überprüft (s. Tabelle 14).

Tabelle 14:

Mittelwerte, Standardabweichungen und Prüfgrößen der Mann-Whitney-Teststatistik für die exekutiven Funktionen bei Kindern mit kombinierten Lernschwächen und Kindern ohne Lernschwächen

Prädiktor	Keine Lernschwächen		kombinierte Lernschwächen		N	U	p	r
	M	SD	M	SD				
Shifting und Inhibition								
Farbshifting	26.2	6.8	19.3	7.1	98	-3.988	.000	-.40
Kartenshifting	8.0	2.4	6.4	1.4	96	-3.302	.001	-.34
Handaufgabe	22.6	2.1	22.9	1.4	100	.029	.977	.00
Stroop-Aufgabe	.41	.12	.29	.14	96	-3.627	.000	-.37
Faktor Shifting & Inhibition (z-transformiert)	.28	.54	-.26	.44	93	-4.231	.000	-.44
Updating								
Picture Memory Task	13.7	5.3	7.1	4.3	97	-4.953	.000	-.50
Komplexe Objektspanne	2.9	1.3	1.7	1.3	93	-3.800	.000	-.39
Faktor Updating (z-transformiert)	.50	.83	-.66	.79	93	-5.018	.000	-.52

Anmerkungen. U = Prüfgröße des Mann-Whitney-U-Test; df = Freiheitsgrade; p = Signifikanzniveau; r = Effektstärke.

Die effektstärksten Mittelwertunterschiede zwischen Kindern mit kombinierten und Kindern ohne Lernschwächen fanden sich im Bereich Updating: Zum einen schnitten Kinder mit kombinierten Lernschwächen in der Picture Memory Task ($U = -4.953$, $p = .000$, $r = -.50$) und zum anderen im Faktor Updating ($U = -5.018$, $p = .000$, $r = -.52$) signifikant schlechter ab. Die effektstärksten Mittelwertunterschiede im Bereich Shifting und Inhibition ergaben sich für den Faktor Shifting und Inhibition ($U = -4.231$, $p = .000$, $r = -.44$) sowie im Farbshifting ($U = -3.988$, $p = .000$, $r = -.40$). Die Mittelwerte im Kartenshifting unterschieden sich signifikant, aber mit geringerer Effektstärke ($U = -3.302$, $p = .001$, $r = -.34$), ebenso wie die Mittelwerte in der Stroop-Aufgabe ($U = -3.627$, $p = .000$, $r = -.37$). In der Handaufgabe unterschieden sich Kinder mit kombinierten Lernschwächen nicht von Kindern ohne Lernschwächen, was vermutlich der eingeschränkten Varianz durch den Deckeneffekt geschuldet ist (s. Kapitel III, Tabelle 2). Aufgrund der gezeigten Effektstärken der Mittelwertvergleiche ist zu vermuten, dass der Faktor Updating bzw. die zugehörige Picture Memory Task möglicherweise bessere diskriminante Eigenschaften als der Shifting- und Inhibition-Faktor und die dem Bereich Shifting und Inhibition zugehörigen Aufgabe Farbshifting besitzen.

3.4 PROGNOTISCHE VALIDITÄT EXEKUTIVER FUNKTIONEN FÜR KOMBINIERTE LERNSCHWÄCHEN

Anschließend wurden alle potentiell relevanten vorschulischen Prädiktoren, in schwacher Ausprägung nun als Risikofaktoren bezeichnet, nach Bestimmung des Wertes, der einem Prozentrang $PR < 35$ in der Gesamtstichprobe entspricht, dichotomisiert (s. Tabelle 23 im Anhang). Die Leistung der Kinder der betrachteten Teilstichprobe [kombinierte Lernschwächen im Lesen, Rechtschreiben und Rechnen ($n = 26$) und Kinder ohne Lernschwächen ($n = 74$)] wurde bei einem kleineren als dem einem $PR < 35$ entsprechenden Wert mit 1 (= Risiko) kodiert. Entsprechend die Leistung einem Wert, der einem $PR > 35$ zuzuordnen war, so wurde die Leistung mit 0 (= kein Risiko) kodiert. In Kreuztabellen wurden die Häufigkeiten des Zusammentreffens von Risikofaktor mit Lernschwäche am Ende des ersten Schuljahres (0 = keine Lernschwäche, 1 = kombinierte Lernschwächen) festgestellt. Abbildung 9 gibt u.a. die vier möglichen Klassifikationsergebnisse wieder: Eine valid-negative Klassifikation (VN) bedeutet, dass das Fehlen eines Risikofaktors mit unauffälligen Schulleistungen einherging, während eine falsch-negative Klassifikation (FN) dann vorliegt, wenn trotz fehlendem Risikofaktor eine kombinierte Lernschwäche entstand. Ein Kind war dann falsch-positiv (FP) klassifiziert, wenn es zwar den Risikofaktor aufwies, aber dennoch keine kombinierte Lernschwäche entwickelte. Zeigte ein Kind sowohl den Risikofaktor als auch kombinierte Lernschwächen, so wurde es als valid-positiv (VP) eingeordnet.

		Lernschwäche	
		ja	nein
Risiko	ja	VP valid-positiv	FP falsch-positiv
	nein	FN falsch-negativ	VN valid-negativ

Abbildung 9. Vierfelderschema (vgl. H. Marx, 1992)

Aus den Häufigkeiten dieser vier möglichen Klassifikationsergebnisse wurden Sensitivität, Spezifität, Prädiktortreffer- und Prädiktorzurückweisungsquote, als auch die maximale, Gesamt- und Zufallstrefferquote, sowie der *RATZ* (Relativer Anstieg der Trefferquote gegenüber der Zufallstrefferquote)-Index nach den folgenden Formeln berechnet (P. Marx & Lenhardt, 2010; vgl. auch H. Marx, 1992).

$$\text{Sensitivität} = \frac{VP}{(VP+FN)} * 100 \quad (\text{Formel 1: Berechnung der Sensitivität})$$

$$\text{Spezifität} = \frac{VN}{(VN+FP)} * 100 \quad (\text{Formel 2: Berechnung der Spezifität})$$

$$\text{Prädiktortrefferquote} = \frac{VP}{(VP+FP)} * 100 \quad (\text{Formel 3: Berechnung der Prädiktortrefferquote})$$

$$\text{Prädiktorzurückweisungsquote} = \frac{FN}{(FN+VN)} * 100 \quad (\text{Formel 4: Berechnung der Prädiktorzurückweisungsquote})$$

$$\text{Max. Trefferquote} = 100 - (\text{Selektionsrate-Grundrate}) \quad (\text{Formel 5: Berechnung der maximalen Trefferquote})$$

$$\text{Ges. Trefferquote} = \frac{VP+VN}{(VP+VN+FN+FP)} * 100 \quad (\text{Formel 6: Berechnung der Gesamtrefferquote})$$

$$\text{Zufallstrefferquote} = \frac{[(FP*VP)*(FN+VP)/(VP+VN+FN+FP)] + [(FN+VN)*(FP+VN)/(VP+VN+FN+FP)]}{(VP+VN+FN+FP)} * 100 \quad (\text{Formel 7: Berechnung der Zufallstrefferquote})$$

$$\text{RATZ} = \frac{(\text{Gesamttrefferquote} - \text{Zufallstrefferquote})}{(\text{Maximale Trefferquote} - \text{Zufallstrefferquote})} * 100 \quad (\text{Formel 8: Berechnung des RATZ-Index})$$

Tabelle 15 enthält die Häufigkeiten richtiger und falscher Zuordnungen sowie Angaben zu Sensitivität, Spezifität, Prädiktortrefferquote, Prädiktorzurückweisungsquote und *RATZ*-Index zu allen untersuchten Risikofaktoren. In der Tabelle sind die Werte hervorgehoben, die gleichermaßen eine hohe Sensitivität (mindestens 60%) und eine möglichst hohe Prädiktortrefferquote aufwiesen sowie zusätzlich mindestens einen zufriedenstellenden *RATZ*-Index größer 34% erzielten (vgl. H. Marx, 1992).

Tabelle 15:

Klassifikationsgüte von Risikofaktoren für kombinierte Lernschwächen vs. keine Lernschwächen

Risikofaktoren (<i>PR</i> < 35)	<i>VP</i>	<i>FP</i>	<i>FN</i>	<i>VN</i>	Sensitivität	Spezifität	Prädiktor- treffer- quote	Prädiktor- zurück- weisungs- quote	RATZ- Index
Shifting und Inhibition									
Farbshifting	18	20	8	53	18 von 26 (69%)	53 von 73 (73%)	18 von 38 (47%)	8 von 61 (13%)	50%
Karten-Shifting	7	7	19	67	7 von 26 (27%)	67 von 74 (91%)	7 von 14 (50%)	19 von 86 (22%)	32%
Stroop-Aufgabe	14	17	9	52	14 von 23 (61%)	52 von 69 (75%)	14 von 31 (45%)	9 von 61 (15%)	41%
Handaufgabe	9	26	17	48	9 von 26 (35%)	48 von 74 (65%)	9 von 35 (26%)	17 von 65 (26%)	1%
Shifting & Inhibition	15	16	7	54	15 von 22 (68%)	54 von 70 (77%)	15 von 31 (48%)	7 von 61 (12%)	52%
Updating									
Picture Memory Task	19	19	7	55	19 von 26 (73%)	55 von 74 (74%)	19 von 38 (50%)	7 von 62 (11%)	57%
Komplexe Objektspanne	9	9	16	59	9 von 25 (36%)	59 von 68 (87%)	9 von 18 (50%)	16 von 75 (21%)	32%
Updating	18	19	7	49	18 von 25 (72%)	49 von 68 (72%)	18 von 37 (49%)	7 von 56 (13%)	54%
Phonologische Bewusstheit									
pB weit MZP 1	16	15	7	56	16 von 23 (70%)	56 von 71 (79%)	16 von 31 (52%)	7 von 63 (11%)	55%
pB weit MZP 2	16	10	10	64	16 von 26 (62%)	64 von 74 (87%)	16 von 26 (62%)	10 von 74 (14%)	48%
pB weit MZP 3	17	11	7	60	17 von 24 (71%)	60 von 71 (85%)	17 von 28 (61%)	7 von 60 (10%)	59%
pB weit MZP 4	17	10	9	61	17 von 26 (65%)	61 von 71 (86%)	17 von 27 (63%)	9 von 70 (13%)	52%

Risikofaktoren (<i>PR</i> < 35)	<i>VP</i>	<i>FP</i>	<i>FN</i>	<i>VN</i>	Sensitivität	Spezifität	Prädiktor- treffer- quote	Prädiktor- zurück- weisungs- quote	<i>RATZ</i> - Index
pB eng MZP 1	7	7	16	65	7 von 23 (30%)	65 von 72 (90%)	7 von 14 (50%)	16 von 81 (20%)	34%
pB eng MZP 2	14	13	12	61	14 von 26 (54%)	61 von 74 (82%)	14 von 27 (52%)	12 von 73 (16%)	37%
pB eng MZP 3	16	9	10	55	15 von 25 (60%)	55 von 64 (75%)	16 von 25 (46%)	10 von 65 (15%)	40%
pB eng MZP 4	16	9	10	62	16 von 26 (62%)	62 von 71 (87%)	16 von 25 (64%)	10 von 72 (14%)	51%
Zahl-Größen-Kompetenzen									
ZGK Ebene 1 MZP 1	17	12	6	59	17 von 23 (74%)	59 von 71 (83%)	17 von 29 (59%)	6 von 65 (9%)	63%
ZGK Ebene 1 MZP 2	19	10	7	64	19 von 26 (73%)	64 von 74 (87%)	19 von 29 (66%)	7 von 71 (10%)	62%
ZGK Ebene 1 MZP 3	17	13	9	61	17 von 26 (65%)	61 von 74 (82%)	17 von 30 (57%)	9 von 70 (13%)	51%
ZGK Ebene 1 MZP 4	17	12	9	59	17 von 26 (65%)	59 von 71 (83%)	17 von 29 (59%)	9 von 68 (13%)	51%
ZGK Ebene 2 MZP 1	17	13	6	58	17 von 23 (74%)	58 von 71 (82%)	17 von 30 (57%)	6 von 64 (9%)	62%
ZGK Ebene 2 MZP 2	19	17	7	56	19 von 26 (73%)	56 von 73 (77%)	19 von 36 (53%)	7 von 63 (11%)	58%
ZGK Ebene 2 MZP 3	15	15	11	59	15 von 26 (58%)	59 von 74 (80%)	15 von 30 (50%)	11 von 70 (16%)	40%
ZGK Ebene 2 MZP 4	14	17	12	54	14 von 26 (54%)	54 von 71 (76%)	14 von 31 (45%)	12 von 66 (18%)	32%
Abruf aus dem Langzeitgedächtnis									
Abruf LZG MZP 1	14	15	9	55	14 von 23 (61%)	54 von 68 (79%)	14 von 29 (48%)	9 von 64 (14%)	43%
Abruf LZG MZP 2	14	13	12	61	14 von 26 (54%)	58 von 71 (82%)	14 von 27 (52%)	12 von 73 (16%)	37%

Risikofaktoren (<i>PR</i> < 35)	<i>VP</i>	<i>FP</i>	<i>FN</i>	<i>VN</i>	Sensitivität	Spezifität	Prädiktor- treffer- quote	Prädiktor- zurück- weisungs- quote	RATZ- Index
Abruf LZG MZP 3	11	14	12	59	11 von 23 (48%)	56 von 70 (80%)	11 von 25 (44%)	12 von 71 (17%)	30%
Abruf LZG MZP 4	12	18	13	52	12 von 25 (48%)	49 von 67 (73%)	12 von 30 (40%)	13 von 65 (20%)	24%
Arbeitsgedächtnis									
Phon. Schleife MZP 1	15	7	11	67	15 von 26 (58%)	67 von 74 (91%)	15 von 22 (68%)	11 von 78 (14%)	57%
Phon. Schleife MZP 2	18	14	8	60	18 von 26 (69%)	60 von 74 (81%)	18 von 32 (56%)	8 von 68 (12%)	55%
Phon. Schleife MZP 3	14	11	12	63	14 von 26 (54%)	63 von 74 (85%)	14 von 25 (56%)	12 von 75 (16%)	41%
Phon. Schleife MZP 4	12	7	14	67	12 von 26 (46%)	67 von 74 (91%)	12 von 19 (63%)	14 von 81 (17%)	50%
Vis.-räuml. Notizblock MZP 1	18	17	8	57	18 von 26 (69%)	57 von 74 (77%)	18 von 35 (51%)	8 von 65 (12%)	49%
Vis.-räuml. Notizblock MZP 2	16	12	10	62	16 von 26 (62%)	62 von 74 (84%)	16 von 28 (57%)	10 von 72 (14%)	47%
Vis.-räuml. Notizblock MZP 3	15	11	11	63	15 von 26 (58%)	63 von 74 (85%)	15 von 26 (58%)	11 von 64 (15%)	42%
Vis.-räuml. Notizblock MZP 4	13	11	13	63	13 von 26 (50%)	63 von 74 (85%)	13 von 24 (54%)	13 von 76 (17%)	37%
(Schrift-) sprachliche Kompetenzen									
Buchstabenkenntnis MZP 3	18	16	8	58	18 von 26 (69%)	58 von 74 (78%)	18 von 34 (53%)	8 von 66 (12%)	53%
Buchstabenkenntnis MZP 4	19	17	7	57	19 von 26 (73%)	57 von 74 (77%)	19 von 36 (53%)	7 von 64 (11%)	58%
Grammatik	14	16	12	58	14 von 26 (54%)	58 von 74 (78%)	14 von 30 (53%)	12 von 70 (17%)	34%

Anmerkungen. *VN* = Valid-negativ, *FN* = Falsch-negativ, *FP* = Falsch-positiv, *VP* = Valid-positiv; *RATZ* = Maß für Klassifikationsgüte: relativer Anstieg der Trefferquote gegenüber der Zufallstrefferquote; *pB* = phonologische Bewusstheit; *ZGK* = Zahl-Größen-Kompetenzen; Abruf LZG = schneller Abruf aus dem Langzeitgedächtnis.

Entsprechend der Auftretenswahrscheinlichkeit von kombinierten Lernschwächen bei dem festgelegten Cut-off von $PR < 35$ fällt die Gruppe der als valid-negativ klassifizierten Kinder verhältnismäßig groß aus, was zu der hohen Spezifität, also einem geringen Anteil an fälschlicherweise als Risikokinder bezeichneten Kindern, beiträgt. Durch nahezu alle Risikofaktoren wurden deshalb mindestens $\frac{3}{4}$ aller Kinder ohne Lernschwäche auch als solche erkannt. Die Spezifität der exekutiven Funktionen fiel im Vergleich zu den anderen Risikofaktoren tendenziell niedriger aus, betrug mit Ausnahme der Handaufgabe dennoch aber mindestens 72%.

Die *Sensitivität* der erfassten Risikofaktoren erwies sich als etwas geringer als die Spezifität, dennoch wurden in der Mehrheit der Risikovariablen zwischen $\frac{2}{3}$ bis rund $\frac{3}{4}$ der Kinder mit einer kombinierten Lernschwäche als solche erkannt. Ausnahmen bildeten drei Aufgaben zu den exekutiven Funktionen (Karten-Shifting, Handaufgabe, komplexe Objektspanne), die phonologische Bewusstheit im engeren Sinn zum ersten Messzeitpunkt, der Abruf aus dem Langzeitgedächtnis im Vorschuljahr, die phonologische Schleife und der visuell-räumliche Notizblock jeweils zum Ende des Vorschuljahres. Die Sensitivität dieser Risikofaktoren betrug lediglich zwischen 27% und 50%, was bedeutet, dass mindestens die Hälfte aller Kinder mit kombinierten Lernschwächen in diesen Variablen kein Risiko aufwies (= falsch-negative Zuordnung). Sensitivitätswerte über 70% zeigen, dass Kinder mit kombinierten Lernschwächen besonders gut als solche erkannt werden konnten, wenn sie ein Risiko in der Picture Memory Task und dem Updating-Faktor, der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinne zum ersten und dritten Messzeitpunkt, in den Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebenen 1 und 2 zu den ersten beiden Messzeitpunkten und in der Buchstabenkenntnis kurz vor der Einschulung aufwiesen.

Zu beachten ist neben der Sensitivität und der Spezifität die *Prädiktortrefferquote*, also der Wert, der den Anteil der Kinder mit tatsächlicher Lernschwäche an allen als Risikokindern bezeichneten Kindern angibt. Diese lag für viele Variablen nur bei rund 50%, was bedeutet, dass Kinder mit vorhandenem Risiko ebenso häufig später durchschnittliche Leistungen (= falsch-positive Zuordnung) wie auch kombinierte Lernschwächen zeigten. Die geringsten falsch-positiven Zuordnungen produzierten die Risikofaktoren phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn zu Messzeitpunkt 2 bis 4 (61 bis 63%), phonologische Bewusstheit im engeren Sinn ebenfalls zum Messzeitpunkt 4 (64%), sowie die Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebenen 1 zu Messzeitpunkt 2 (66%). Ein ähnliches Verhältnis von valid-positiven Kindern zur gesamten Risikogruppe (valid-positive und falsch-negative Kinder) ergab sich für den Risikofaktor phonologische Schleife zu den Messzeitpunkten 1 und 2 (68% bzw. 63%).

Zudem ist die *Prädiktorzurückweisungsquote* zu berücksichtigen, die aussagt, inwieweit sich unter den Kindern, die kein Risiko zeigten, tatsächlich auch keine Lernschwächen entwickelten. In allen Variablen ergaben sich nur geringe Anteile an Kindern, die bei nicht vorhandenem Risiko kombinierte Lernschwächen aufwiesen. Hervorzuheben sind die Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebenen 1 und 2 zu den beiden frühesten Messzeitpunkten: Nur ein Zehntel der Kinder, die Leistungen größer einem Prozentrang von 35 erzielten, zeigten dennoch kombinierte Lernschwächen. Ähnliches trifft auf die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn über beinahe alle Messzeitpunkte zu (10% bis 14%), als auch auf den phonologischen und visuell-räumlichen Kurzzeitspeicher zu den beiden ersten Messzeitpunkten (12% bis 14%) und die Buchstabenkenntnis zu beiden Messzeitpunkten im Vorschuljahr (11% und 12%) zu. Ebenso vorteilhaft schnitten die exekutiven Funktionen ab (11% bis 13%): Auch hier führte fehlendes Risiko mit einer Wahrscheinlichkeit von fast 90% zum Ausbleiben von kombinierten Schulleistungsschwächen - mit Ausnahme des Karten-Shifting, der Handaufgabe und der komplexen Objektspanne.

Eine weitere Prüfgröße der Klassifikationsgüte neben Sensitivität, Spezifität und Prädiktortrefferquote stellt der *RATZ-Index* dar, welcher angibt, inwiefern die Klassifikation durch eine Risikovariablen im Vergleich zur zufälligen Klassifikation zur Erhöhung valid-positiv und valid-negativ eingruppierter Kinder beiträgt (H. Marx, 1992). Die *RATZ-Indizes* befanden sich mit wenigen Ausnahmen (Karten-Shifting, Handaufgabe, Komplexe Objektspanne, Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 2 kurz vor Einschulung, Abruf aus dem Langzeitgedächtnis zu beiden Messzeitpunkten im Vorschuljahr) für alle Risikofaktoren zwischen 34% und 66% und sprechen somit laut H. Marx (1992) für eine gute Klassifikation. Aus der Gesamtheit der untersuchten Risikofaktoren erreichten zwei Faktoren einen *RATZ-Index* von über 60% und ermöglichen demzufolge eine nahezu sehr gute Klassifikation: Erstens die Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1, erfasst zum ersten (63%) bzw. zweiten Messzeitpunkt (62%) und zweitens die Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 2 (62%), ebenfalls erfasst zum ersten Messzeitpunkt.

Da ein hoher *RATZ-Index* nicht zwangsläufig bedeutet, dass sich die vorgefundene Zuordnung in der Vier-Felder-Tafel signifikant von einer zufälligen Zuordnung unterscheidet, wurden zur Prüfung der Klassifikation wie von P. Marx & Lenhard (2010) vorgeschlagen zusätzlich χ^2 -Tests berechnet, um die Zusammenhänge zwischen den beiden dichotomen Variablen, kombinierte Lernschwäche (ja/nein) und Risikofaktor (vorhanden/nicht vorhanden), zu bestätigen. Tabelle 16 kann entnommen werden, dass sämtliche χ^2 - Werte auf einem Niveau von $p < .05$ signifikant waren, d.h. dass von signifikanten und nicht zufälligen Zusammenhängen zwischen dem

Vorhandensein eines jeden Risikofaktors und der Ausprägung einer kombinierten Lernschwäche auszugehen ist. Die Stärke dieses Zusammenhangs wurde durch das Berechnen des *Odds ratios* mit Hilfe der folgenden Formel bestimmt (Field, 2009, S. 700):

$$\text{Odds ratio} = \text{Odds}_{\text{kombinierte Lernschwäche bei Risiko=1}} / \text{Odds}_{\text{kombinierte Lernschwäche bei Risiko=0}}$$

$$= \frac{\frac{\text{Anzahl kombinierte Schwäche bei Risiko=1 (VP)}}{\text{Anzahl ohne Lernschwäche bei Risiko=1 (FP)}}}{\frac{\text{Anzahl kombinierte Lernschwäche bei Risiko=0 (FN)}}{\text{Anzahl ohne Lernschwäche bei Risiko=0 (VN)}}$$

(Formel 9: Berechnung des Odds ratio)

Der *Odds ratio* gibt an, um wieviel sich die Wahrscheinlichkeit für die Ausprägung einer kombinierten Lernschwäche erhöht, wenn ein Risikofaktor vorliegt. Tabelle 16 ist zu entnehmen, dass das Vorliegen einer schwachen Leistung in der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinn und in der phonologischen Bewusstheit im engeren Sinn jeweils gegen Ende der Kindergartenzeit, schwache Leistungen in den Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1 und der Ebene 2 hingegen zwei Jahre vor Schuleintritt ein erhöhtes Risiko einer kombinierten Lernschwäche anzeigen. Im Detail erhöhte das Vorliegen einer schwachen phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinn zu Beginn des Vorschuljahres die Wahrscheinlichkeit für kombinierte Lernschwächen um das rund 15-fache und Schwächen in der phonologischen Bewusstheit im engeren Sinn kurz vor Einschulung führten zu einer 11-fach erhöhten Wahrscheinlichkeit für kombinierte Lernschwächen. Ebenso deutlich erhöhte sich die Wahrscheinlichkeit für kombinierte Lernschwächen zum einen um das 17-fache, wenn die Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1 in der Mitte des zweiten Kindergartenjahres schwach ausgeprägt waren und zum anderen um das rund 13-fache, wenn die Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 2 zwei Jahre vor Einschulung schwach ausfielen. Ebenso erhöhten Schwächen in der phonologischen Schleife zwei Jahre vor Schuleintritt die Wahrscheinlichkeit für eine kombinierte Lernschwäche um das rund 13-fache; Schwächen in der phonologischen Schleife zu anderen Messzeitpunkten zeigten ebenso wie Schwächen im visuell-räumlichen Notizblock etwas weniger starke Zusammenhänge (rund 6- bis 10-fache Steigerung der Wahrscheinlichkeit). Geringe Buchstabenkenntnisse kurz vor Einschulung erhöhten ebenfalls das Risiko für eine kombinierte Lernschwäche um rund das 9-fache. Die Wahrscheinlichkeit für kombinierte Lernschwächen erhöhte sich etwas geringer nur um das rund 3- bis 8-fache bei dem Vorliegen von Schwächen im Abruf aus dem Langzeitgedächtnis und im visuell-räumlichen Notizblock. Zwar stieg das Risiko für die kombinierte Lernschwäche auch bei

vorhandenen schwachen Leistungen in den exekutiven Funktionen an, doch dies ebenfalls etwas geringer um das rund 6- bis 9-fache.

Alternativ zu den Odds ratios kann die Stärke des Zusammenhangs schwacher kognitiver Voraussetzungen und kombinierter Lernschwächen auch mit dem Koeffizienten *Cramers-V* ausgedrückt werden. Dieser berücksichtigt aufbauend auf der χ^2 -Teststatistik Stichprobengröße und Freiheitsgrade und kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Für den Zusammenhang von Shifting und Inhibition und dem Auftreten einer kombinierten Lernschwäche beträgt dieser beispielsweise $V = .41$ ($p = .000$) und für Updating mit kombinierten Lernschwächen $V = .40$ ($p = .000$), für den Zusammenhang von phonologischer Bewusstheit im weiteren Sinne direkt vor Schuleintritt und dem Entstehen kombinierter Lernschwächen $V = .53$ ($p = .000$) und für den Zusammenhang schwacher Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1 zu den beiden Messzeitpunkten im mittleren Kindergartenjahr mit kombinierten Lernschwächen $V = .53$ und $V = .58$ ($p = .000$) sowie für schwache Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 2 mit kombinierten Lernschwächen zwei Jahre vor Schuleintritt $V = .51$ ($p = .000$). Somit ist der Zusammenhang zwischen den beiden exekutiven Faktoren und dem Entstehen kombinierter Lernschwächen in mittlerer Höhe ausgeprägt, während die Höhe der Zusammenhänge zwischen spezifischen Vorläuferfertigkeiten und dem Entstehen kombinierter Lernschwächen tendenziell etwas stärker ausgeprägt zu sein scheinen.

Tabelle 16:

χ^2 - Teststatistik zur Prüfung des Zusammenhangs kombinierter Lernschwächen (ja/nein) und Risikofaktor (vorhanden/nicht vorhanden) und deren Effektstärke

Risikofaktoren $PR < 35$	χ^2	df	p	Odds-Ratio	Cramer's V (p)
Shifting und Inhibition					
Farbshifting	14.186	1	.000	5.96	.38 (.000)
Karten-Shifting	4.874	1	.027	3.53	.22 (.027)
Stroop-Aufgabe	10.136	1	.001	4.76	.33 (.001)
Handaufgabe	.002	1	.962	1.00	.01 (.962)
Shifting & Inhibition MZP 3	15.392	1	.000	7.23	.41 (.000)
Updating					
Picture Memory Task	18.349	1	.000	7.86	.43(.000)
Komplexe Objektspanne	5.594	1	.018	3.69	.24 (.018)
Updating MZP 3	14.812	1	.000	6.63	.40 (.000)
Phonologische Bewusstheit					
pB weit MZP 1	18.441	1	.000	8.53	.44 (.000)
pB weit MZP 2	23.064	1	.000	10.24	.48 (.000)
pB weit MZP 3	26.427	1	.000	14.57	.53 (.000)
pB weit MZP 4	24.933	1	.000	11.53	.51 (.000)
pB eng MZP 1	5.952	1	.015	4.06	.25 (.015)
pB eng MZP 2	12.848	1	.000	5.48	.36 (.000)
pB eng MZP 3	10.415	1	.001	9.78	.33 (.001)
pB eng MZP 4	23.751	1	.000	11.02	.50 (.000)
Zahl-Größen-Kompetenzen					
ZGK Ebene 1 MZP 1	26.469	1	.000	13.93	.53 (.000)
ZGK Ebene 1 MZP 2	33.152	1	.000	17.37	.58 (.000)
ZGK Ebene 1 MZP 3	20.948	1	.000	8.87	.46 (.000)
ZGK Ebene 1 MZP 4	21.344	1	.000	9.29	.47 (.000)

ZGK Ebene 2 MZP 1	24.718	1	.000	12.64	.51 (.000)
ZGK Ebene 2 MZP 2	20.538	1	.000	8.94	.46 (.000)
ZGK Ebene 2 MZP 3	12.830	1	.000	5.37	.36 (.000)
ZGK Ebene 2 MZP 4	7.826	1	.000	3.71	.28 (.000)
Abruf aus dem Langzeitgedächtnis					
Abruf LZG MZP 1	12.550	1	.000	5.71	.37 (.000)
Abruf LZG MZP 2	12.848	1	.000	5.48	.36 (.000)
Abruf LZG MZP 3	7.453	1	.006	3.86	.28 (.006)
Abruf LZG MZP 4	4.234	1	.040	2.67	.21 (.040)
Arbeitsgedächtnis					
Phon. Schleife MZP 1	26.084	1	.000	13.05	.51 (.000)
Phon. Schleife MZP 2	22.381	1	.000	9.65	.47 (.000)
Phon. Schleife MZP 3	15.593	1	.000	6.68	.40 (.000)
Risikofaktoren $PR < 35$	χ^2	df	p	<i>Odds-Ratio</i>	<i>Cramer's V (p)</i>
Phon. Schleife MZP 4	16.833	1	.000	8.20	.41 (.000)
Vis.-räuml. Notizblock MZP 1	18.096	1	.000	7.54	.43 (.000)
Vis.-räuml. Notizblock MZP 2	19.604	1	.000	8.27	.44 (.000)
Vis.-räuml. Notizblock MZP 3	18.342	1	.000	7.81	.43 (.000)
Vis.-räuml. Notizblock MZP 4	12.022	1	.000	5.73	.36 (.000)
(Schrift-) sprachliche Kompetenzen					
Buchstabenkenntnis MZP 3	19.434	1	.000	8.16	.44 (.000)
Buchstabenkenntnis MZP 4	20.964	1	.000	9.10	.46 (.000)
Grammatik MZP 4	9.514	1	.002	4.23	.31 (.002)

Anmerkungen. VN = Valid-negativ, FN = Falsch-negativ, FP = Falsch-positiv, VP = Valid-positiv; χ^2 = Teststatistik zur Prüfung des Zusammenhangs zwischen zwei kategorialen Variablen; df = Freiheitsgrade; p = Signifikanzniveau; *Odds ratio* = Maß der Effektstärke des χ^2 - Tests; Koeffizient *Cramer's V* = Maß für die Höhe des Zusammenhangs zweier dichotomer Variablen; MZP = Messzeitpunkt.

Fasst man die vorliegenden Ergebnisse zusammen, so erwiesen sich schwache Leistungen in den Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1 zum Ende des mittleren Kindergartenjahres im Alter von durchschnittlich 5;3 Jahren und Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 2 bereits im Alter von durchschnittlich 4;8 Jahren sowie Schwächen in der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinn im Vorschuljahr im Alter von rund 5;8 Jahren und in der phonologischen Bewusstheit im engeren Sinn im Alter von durchschnittlich 6;3 Jahren in Bezug auf Sensitivität, Prädiktortreffer- und Zurückweisungsquote, *RATZ*-Index und *Odds ratio* als frühzeitige Marker eines Risikos für kombinierte Lernschwächen am Ende der ersten Klasse besonders geeignet. Schwächen in Komponenten des Arbeitsgedächtnisses, d.h. in der phonologischen Schleife und dem visuell-räumlichen Notizblock im mittleren Kindergartenjahr, aber auch Schwächen im Abruf aus dem Langzeitgedächtnis und in der Buchstabenkenntnis zeigten einzelne gute Klassifikationseigenschaften, beispielsweise eine Sensitivität von 61% für den Abruf aus dem Langzeitgedächtnis. Andere Gütemerkmale der Klassifikationseignung erwiesen sich hingegen als schwächer, z.B. die Prädiktortrefferquote des Abrufs aus dem Langzeitgedächtnis zum ersten Messzeitpunkt von 48%. Die exekutiven Funktionen, hervorzuheben ist das Farbshifting und der Faktor Shifting und Inhibition als auch die Picture memory task und der Updating-Faktor, zeigten ungefähr vergleichbare Sensitivitätswerte um rund 70%, jedoch betrug die Prädiktortrefferquote nur rund 50%, was bedeutet, dass ungefähr die Hälfte aller Kinder, die eine schwache Leistung, also ein Risiko, in den exekutiven Funktionen aufwiesen, dennoch keine kombinierte Lernschwäche entwickelten. Für die Klassifikationsgüte exekutiver Funktionen spricht wiederum, dass nur neun von zehn Kindern ohne Risiko auch keine kombinierten Lernschwächen entwickelten. Der *Odds ratio* zeigte einen etwas moderateren Einfluss exekutiver Funktionen auf das Entstehen einer kombinierten Lernschwäche: Vorhandene Schwächen steigerten das Risiko für kombinierte Lernschwächen „nur“ um das 6 bis 8-fache, während beispielsweise geringe Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1 im mittleren Kindergartenjahr das Risiko für kombinierte Lernschwächen um das 14- bis 17-fache erhöhten.

4. DISKUSSION

Prävalenzen von Lernschwächen

Die erste Frage der vorliegenden Untersuchung betraf die Bestimmung von Prävalenzraten verschiedener Lernschwächen in der vorliegenden Stichprobe. Wurde als Kriterium eine unter dem Prozentrang von 16 liegende Leistung im Schulleistungstestverfahren gewählt, ergab sich in der vorliegenden Studie im Vergleich zur Untersuchung von Fischbach und Kollegen (2013) bei

gleichem Kriterium an einer repräsentativen Stichprobe von Zweit- und Drittklässlern ein 10% höherer Anteil an Kindern mit verschiedenen Lernschwächen. Die in der vorliegenden Untersuchung vorgefundene hohe Prävalenz von 34% für die Gesamtheit verschiedener isolierter und kombinierter Lernschwächen (vgl. Fischbach et al.: 23.3%) lässt sich möglicherweise mit dem Messzeitpunkt zum Ende der ersten Klasse erklären. Kinder werden zum einen mit sehr unterschiedlichen Voraussetzungen eingeschult und holen Rückstände unterschiedlich schnell auf, so dass die Schulleistungen am Ende der ersten Klasse noch variabel sein können. Zum anderen könnten sich die Lehrmethoden und Ziele einzelner Schulen in der Schuleingangsphase voneinander unterscheiden und eventuell werden erst im zweiten und dritten Schuljahr curriculare Zielsetzungen strenger verfolgt. Ob sich anfängliche Schulleistungsschwächen in einzelnen Bereichen festigen, sich auf mehrere Leistungsbereiche ausdehnen oder ob Rückstände durch die andauernde Beschulung oder zusätzliche Förderung aufgeholt werden können, zeigt sich erst im Verlauf der folgenden beiden Schuljahre (vgl. Jacobs & Petermann, 2005).

Der im Vergleich zur Normstichprobe höhere Fehleranteil im Rechtschreibtest DERET 1-2+ in der vorliegenden Untersuchung könnte zu der höheren Prävalenz von 10.3% für Lese-Rechtschreibschwächen im Vergleich zu Fischbach und Kollegen (2013), die 3.8% errechneten, geführt haben. Ursächlich für die geringere Rechtschreibleistung der vorliegenden Stichprobe ist möglicherweise der Ansatz des lautgetreuen Schreibens, der in den meisten Klassen der beteiligten Grundschulen im Deutschunterricht eingesetzt wird. Erst gegen Ende der ersten Klasse werden erste Rechtschreibregeln unterrichtet. Ein weiterer deutlicher Unterschied zur Untersuchung Fischbachs und Kollegen betrifft die Prävalenz der isolierten Leseschwäche: Während deren Untersuchung eine Prävalenzrate von 4.6% ergab, zeigten in der vorliegenden Untersuchung 10.9% der Kinder ausschließlich unterdurchschnittliche Leseleistungen, was möglicherweise an dem leicht niedrigeren Mittelwert der vorliegenden Stichprobe in der WLLP-R im Vergleich zur Normstichprobe lag. Möglicherweise sind aber auch unterschiedliche Messzeitpunkte (Ende der ersten Klasse vs. Ende der zweiten und Anfang der dritten Klasse bei Fischbach und Kollegen) und die genutzten Testverfahren für die erhöhten Prävalenzen ursächlich. So setzte die vorliegende Untersuchung anders als Fischbach und Kollegen zusätzlich zum Satzverständnistest des ELFE die WLLP-R zur Erfassung der Dekodiergeschwindigkeit ein und definierte als Kriterium für die Leseschwäche eine unterdurchschnittliche Leistung in mindestens einem der Testverfahren bzw. als Kriterium für die Lese-Rechtschreibschwäche eine Minderleistung in mindestens einem der Lesetests als auch eine Minderleistung im Rechtschreibtest. Für die Überlegung, dass unterschiedliche Messinstrumente unterschiedliche Prävalenzraten hervorrufen, spricht die ebenfalls hohe Prävalenz von 19.9% für Leseschwäche, die

Dirks und Kollegen (2008) unter Verwendung eines etwas höheren Cut-offs von $PR < 25$ an Viert- und Fünftklässlern aufgrund der Ergebnisse in einem Lesegeschwindigkeitstest ohne gleichzeitige Kontrolle der Rechtschreibleistung vorfanden. Der Rückgriff auf die Leistungen in einem Leseverständnistest hingegen reduzierte die Prävalenz auf 9.6% (Dirks et al., 2008). Mittelwerte der Gesamtstichprobe wurden in der Studie von Dirks und Kollegen nicht berichtet, so dass eine Abweichung der Stichprobe von der Normgruppe neben der fehlenden Kontrolle der Rechtschreibleistung ebenfalls eine Ursache für die hohe Prävalenz gewesen sein könnte.

Die mit 2.2% in der vorliegenden Stichprobe versus 5.0% bei Fischbach und Kollegen (2013) vergleichsweise sehr gering ausgefallene Prävalenzrate der isolierten Rechenschwäche lässt sich vermutlich ebenfalls auf Eigenschaften der vorliegenden Stichprobe zurückführen. Die Mittelwerte lagen rund 2 Punkte über dem Mittel der Normierungsstichprobe, so dass bei vergleichbarer Standardabweichung in der vorliegenden Stichprobe eher weniger Kinder als rechenschwach eingeordnet wurden. Vermutlich kommen im mathematischen Bereich aufgrund der längsschnittlichen Untersuchung und der damit verbundenen regelmäßigen Bearbeitung von Aufgaben zu Zahl-Größen-Kompetenzen und den ähnlichen Aufgabenformaten im DEMAT 1+ Übungseffekte zum Tragen.

Die Prävalenz für kombinierte Lernschwächen in der vorliegenden Studie befand sich mit 4.9% zwischen der von Fischbach und Kollegen (2009) berichteten Rate von 4.2% und der Angabe von 6.9% (schwaches Leseverständnis und Rechnen) bis 7.6% (schwache Lesegeschwindigkeit und Rechnen) bei Dirks und Kollegen (2008) und ist somit in erwartungskonformer Höhe.

Ähnlich erwartungsgetreu zeigte sich das Geschlechterverhältnis in Bezug auf isolierte Leseschwierigkeiten. Es bestätigte sich deskriptiv die bei Fischbach und Kollegen gezeigte Mehrheit von Jungen mit isolierten Leseschwierigkeiten und Lese-Rechtschreibschwierigkeiten. Hingegen zeigten sich vergleichbare Geschlechtsanteile in der isolierten Rechtschreibschwäche, was im Gegensatz zu vorliegenden Befunden steht, die schwächere Leistungen von Jungen in allen Schriftsprachbereichen berichten (z.B. Fischbach et al., 2013; Landerl & Moll, 2010). Aufgrund der kleinen Stichprobe von nur vier isoliert rechenschwachen Kindern ist nur tendenziell ersichtlich, dass Mädchen ebenso häufig isolierte Schwächen im Rechnen haben könnten wie Jungen, was sich von den bisherigen Befunden von Fischbach und Kollegen als auch Landerl und Moll unterscheidet.

Charakteristika von Kindern mit isolierten und kombinierten Lernschwächen

Da sich die Gruppenumfänge bei Wahl eines Cut-off-Kriteriums von $PR < 16$ bei der vorliegenden Stichprobengröße als zu klein für weitere statistische Analysen erwiesen und beispielsweise Geary (2005) argumentierte, einen moderaten Cut-off-Punkt von $PR < 35$ zu wählen, um alle Risikokinder zu erfassen, wurde für die folgenden Fragestellungen dieses liberalere Cut-off-Kriterium präferiert. Die entsprechend dem moderaten Cut-off-Punkt definierte umfangreichere Stichprobe von lernschwachen Kindern sollte nicht im Rahmen einer Prävalenz-Bestimmung gesehen werden. Hingegen ermöglichten die nun etwas größeren Subgruppen von Kindern mit verschiedenen isolierten und kombinierten Schulleistungen die Beantwortung der weiteren Fragen zu den kognitiven Profilen. Es zeigte sich, dass insbesondere die Anteile von Kindern mit kombinierten Lernschwächen durch das moderatere Kriterium anstiegen. Bei dieser Gruppe von Kindern mit kombinierten Lernschwächen waren insbesondere im DEMAT 1+ und im DERET 1-2+ vergleichsweise hohe Standardabweichungen zu beobachten, was darauf hinweist, dass diese Gruppe besonders heterogen ist und zugehörige Kinder interindividuell sehr variabel ausgeprägte Schwächen aufweisen.

Entsprechend der Bildung der Gruppen durch den Cut-off-Wert zeigten Kinder mit einer isolierten Störung im zugehörigen spezifischen Schulleistungstest schwächere Leistungen als Kinder ohne Lernschwächen und auch teilweise schwächere Leistungen als Kinder mit einer anderen isolierten Lernschwäche. Isolierte Lese- bzw. Rechtschreibschwächen stellen separate Störungsbilder dar und weisen möglicherweise unterschiedliche kognitive Profile auf. Während sich Kinder mit kombinierten Lernschwierigkeiten in allen Schulleistungstests signifikant und hochgradig effektstark von der Kontrollgruppe unterschieden, traf dies nicht auf den Vergleich mit den isolierten Lernschwächen zu. Dies bedeutet, dass Kinder mit kombinierten Lernschwächen im Schulleistungstest eines Bereichs eine ungefähr gleich ausgeprägte Schwäche aufwiesen wie Kinder mit isolierter Schwäche (z.B. WLLP-R: Kombinierte Lernschwäche $M = 32.2$ vs. isolierte Leseschwäche $M = 33.9$), so dass sich deren isolierte Defizite aufzusummieren scheinen.

Neben der Bestimmung von Prävalenzraten betraf nun die zweite, prominentere Fragestellung der vorliegenden Untersuchung die kognitiven Eigenschaften von Kindern mit verschiedenen Lernschwächen. Zurückgreifend auf die bereits in den vorangegangenen Untersuchungen berücksichtigten relevanten Prädiktoren sollte geklärt werden, ob sich mit deren Hilfe diskriminante Profile in den Lernschwächen zeigen lassen. Dabei interessierte besonders, ob exekutive Funktionen in den Gruppen verschiedener Lernschwächen unterschiedlich schwach ausgeprägt sind, aber auch ob es Unterschiede in basalen Zahl-Größen-Kompetenzen, der

phonologischen Bewusstheit, dem phonologischen und visuell-räumlichen Kurzzeitgedächtnis und dem schnellen Abruf aus dem Langzeitgedächtnis als auch in Buchstaben- und grammatikalischen Kenntnissen gibt. Erwartet wurden aufgrund der berichteten Studien Einflüsse schwacher Updating-Leistungen auf alle Schulleistungsschwächen, nicht ausgeschlossen wurde aber aufgrund der in Kapitel IV berichteten eigenen Ergebnisse ein geringerer Updating-Einfluss auf schriftsprachliche als auf mathematische Leistungen. Einflüsse von schwacher Inhibition und schwachem Shifting sollte es gemäß der berichteten Befunde eher auf schriftsprachliche Lernschwächen geben, entsprechend der eigenen Untersuchungen in Kapitel III aber auch auf den mathematischen Bereich. Zudem sollten geringe Fähigkeiten in spezifischen Vorläuferfertigkeiten mit spezifischen Schulleistungsschwächen einhergehen und sich im Fall der kombinierten Schwäche aufsummieren.

Es zeigten sich in den multiplen Mittelwertvergleichen allerdings nahezu keine signifikanten Unterschiede in den Profilen von Kindern mit isolierten Lernschwächen im Vergleich zu Kindern ohne Lernschwäche. Dies ist ein erwartungskonträrer Befund, da die vorangegangenen Untersuchungen in Kapitel III und IV die Bedeutsamkeit der Prädiktoren für die späteren Leistungen im schriftsprachlichen und mathematischen Bereich bestätigten. Möglicherweise lag dies an der reduzierten Power der non-parametrischen Testverfahren, auf die wegen zum Teil fehlender Normalverteilung, Varianzheterogenität und kleiner Stichprobengröße zurückgegriffen werden musste, an den vielfach an der gleichen Stichprobe durchgeführten Mittelwertvergleichen und der resultierenden α -Adjustierung und an den geringen Stichprobenumfängen. Der gewählte moderate Cut-off-Punkt zur Bestimmung der Lernschwäche könnte auch dazu beigetragen haben, dass sich Kinder mit Leistungen rund um den Prozentrang 35 zu ähnlich und Kategorisierungen nicht eindeutig sind. Diese Überlegung betreffend lässt sich zudem diskutieren, ob die Einschränkung der Varianz durch willkürliches Schaffen kategorialer Merkmale im Gegensatz zur vorigen Nutzung einer kontinuierlichen Verteilung ursächlich für die ausbleibenden Mittelwertunterschiede sein könnte. Die Berücksichtigung der Effektstärken der Post-hoc-Vergleiche gibt dennoch ein tendenzielles Bild zu differentiellen Stärken und Schwächen isolierter Lernschwächen. In Abbildung 8 erkennt man beispielsweise, dass lediglich die Gruppe der Kinder mit Rechenschwäche einen ähnlich hohen Mittelwert wie die Gruppe von Kindern ohne Lernschwächen im schnellen Abruf aus dem Langzeitgedächtnis erzielt hat. Die geringen Effektstärken um $r = .20$ in den betreffenden Post-hoc-Vergleichen (Tabelle 25 im Anhang) deuten an, dass tendenziell, wenn auch nicht signifikant, die Kinder mit isolierter Rechenschwäche besser als Kinder mit isolierten schriftsprachlichen und Kinder mit kombinierten Lernschwächen abschnitten. Somit könnte eine Verlangsamung des schnellen Benennens von Objekten ein eher

bereichsspezifischer Prädiktor von schriftsprachlichen Lernschwächen sein (vgl. Willcut et al., 2013); gleiches gilt für die schwächeren Grammatikleistungen insbesondere bei Kindern mit Lese-Rechtschreibschwäche. Auch der visuell-räumliche Notizblock kann tendenziell einer Leistungsdomäne zugeordnet werden: Kinder mit einer isolierten Rechenschwäche erzielten hierbei ebenso schwache Leistungen wie Kinder mit kombinierten Lernschwächen; ihre Leistungen waren aber (wenn auch nicht signifikant) mit Effektstärken von $r = .21$ bis $r = .26$ schlechter ausgeprägt als die Leistungen von Kindern ohne Lernschwächen und Kindern mit isolierten schriftsprachlichen Schwächen. Aufgrund ausgebliebener signifikanter Mittelwertunterschiede zwischen den isolierten Lernschwächen bleibt die Annahme der ausreichend diskriminanten Prädiktorleistung des schnellen Abrufs aus dem Langzeitgedächtnis von Objekten, der Grammatik und des visuell-räumlichen Notizblocks für isolierte Lernschwächen allerdings weiterhin hypothetisch.

Was sich jedoch annähernd durchgängig zeigte, ist das schlechtere Abschneiden von Kindern, die von mehreren Schulleistungsschwächen betroffen sind, gegenüber der Kontrollgruppe. Kinder mit sehr breit gefassten Schulleistungsschwächen scheinen demzufolge in besonders ausgeprägtem Maß eingeschränkte Lernvoraussetzungen zu besitzen. Je breiter die Symptomatik, d.h. die Häufung von mehreren Schulleistungsschwächen, desto defizitärer fiel das kognitive Profil aus. Während das Kriterium $PR < 35$ für isolierte Lernschwächen möglicherweise nicht genügend zwischen starken und schwachen Kindern differenzierte und in nicht signifikanten Mittelwertunterschieden resultierte, war dies für Kinder mit kombinierten Lernschwächen als auch bei einem Teil der Prädiktoren für Kinder mit Lese-Rechtschreibschwächen gegenüber den Kindern ohne Lernschwächen der Fall. Im Speziellen stellten sich besonders schwache Leistungen in den spezifischen Vorläuferfertigkeiten, den Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1 und der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinn, als auch in einer spezifischen Voraussetzung des Schriftspracherwerbs, der Buchstabenkenntnis, bei Kindern mit kombinierten Lernschwächen ein. Dies weist darauf hin, dass sich die Schwächen in den domänenspezifischen Verarbeitungswegen jeder isolierten Schwäche aufsummieren, um das Erscheinungsbild einer kombinierten Lernschwäche hervorzurufen. Ashkenazi und Kollegen (2013) beschrieben dies mit dem Begriff der Additivität.

Das Modell der Additivität domänenspezifischer Defizite stellt aber nicht das einzige Modell zur Erklärung von Ursachen kombinierter Lernschwächen dar. Sowohl Ashkenazis Arbeitsgruppe als auch Willcut und Kollegen (2013) schlugen mit Modell C, dem *Domain-general-model* bzw. im Rahmen des *Correlated liabilities model* weitere plausible Ursachen kombinierter Lernschwächen

vor. Die beiden Modelle stimmen in dem Punkt überein, dass schwach ausgeprägte domänenübergreifende kognitive Funktionen gleichermaßen in die Entstehung von schriftsprachlichen und mathematischen Lernschwächen involviert seien. Ashkenazi und Kollegen nannten auf neuropsychologischer Ebene Areale des präfrontalen Kortex, die mit exekutiven Funktionen assoziiert werden und bereichsübergreifenden Einfluss auf akademische Leistungen nehmen können (vgl. Miyake et al., 2000). In der vorliegenden Untersuchung ließ sich nun im Faktor Shifting und Inhibition zwischen Kindern mit kombinierten Lernschwächen und den Kindern ohne Lernschwächen ein signifikanter Mittelwertunterschied herausstellen. Shifting- und Inhibitionsleistungen wiesen aber keine differentiellen Ausprägungen innerhalb der isolierten Schulleistungsschwächen auf, so dass man annehmen kann, dass sich ein schwacher Shifting- und Inhibitions-Faktor „domain-general“, also domänenübergreifend sowohl auf den schriftsprachlichen als auch auf den numerischen Bereich auswirkt. Diese Ergebnisse unterstreichen die Annahme des *Domain-general models* (Ashkenazi et al., 2013) bzw. lassen sich in das *Correlated liabilities model* (Willcutt et al., 2013) integrieren.

Noch schwächer ausgeprägt als der Faktor Shifting und Inhibition zeigte sich in der vorliegenden Untersuchung der Updating-Faktor bei Kindern mit kombinierten Schulleistungsschwächen und dies signifikant im Vergleich zu Kindern ohne Lernschwächen, aber auch zu den Gruppen der isoliert leseschwachen und der isoliert rechtschreibschwachen Kinder sowie zu der Gruppe der lese-rechtschreibschwachen Kinder. In Abbildung 8 ist erkennbar, dass von allen Kindern mit isolierten Lernschwächen die Kinder mit einer isolierten Rechenschwäche die geringsten Updating-Leistungen erzielt hatten. Allerdings unterschieden sich die Kinder mit einer Rechenschwäche nicht signifikant und lediglich mit geringen Effektstärken von den Kindern mit anderen isolierten Lernschwächen, insbesondere äußerst geringfügig von den Kindern mit einer Lese-Rechtschreibschwäche. Ob schwaches Updating eine größere Rolle für die Entwicklung von Schwächen im mathematischen als im schriftsprachlichen Bereich spielt, müsste in weiteren Untersuchungen mit größeren Stichproben geklärt werden. Würde sich diese Überlegung in einer weiteren Untersuchung allerdings zeigen, so könnten Schwächen des Updating-Faktors (ebenfalls im Rahmen des *Correlational liabilities model* von Willcutt und Kollegen, 2013) ein störungsspezifisches Defizit anstelle eines allgemeinen domänenübergreifenden Defizits darstellen.

Zwei Befunde sind zu nennen, die sich entgegen der Erwartung verhielten. Erstens zeigten Kinder mit einer Leseschwäche eine verhältnismäßig gute Buchstabenkenntnis. Marx und Kollegen (2000) wiesen allerdings auch in ihrer Studie zur prognostischen Validität des BISC darauf

hin, dass klassifikatorische Vorhersagen durch die Buchstabenkenntnis nicht zufriedenstellend möglich seien. Dies kann damit begründet werden, dass Buchstabenkenntnisse im Kindergartenalter in sehr variablem Maß vorhanden sind und außerdem nur eine von mehreren Voraussetzungen für den Leseerwerb darstellen. Andere Vorläuferfertigkeiten, wie die phonologische Bewusstheit sind aber von höherer Relevanz, was sich auch in den Ergebnissen des Strukturgleichungsmodells in Abb. 6 in Kapitel IV zeigte. Der zweite auffällige Befund ist, dass Kinder mit einer Rechtschreibschwäche die höchsten Kapazitäten in der phonologischen Schleife aufwiesen. Die nachträgliche Entfernung eines Ausreißers (Wert $> 3 SD$) in der Gruppe der Kinder mit Rechtschreibschwäche würde zwar das Mittel von $M = .717$ ($SD = 1.257$) auf $M = .631$ ($SD = .854$) reduzieren, der Mittelwert der Kinder mit Rechtschreibschwäche überschreite aber weiterhin signifikant den der Kinder mit kombinierten Lernschwächen als auch der Kinder mit isolierten Leseschwächen, so dass dieser unerwartete Befund weiterhin bestehen bleibt. Dies steht klar im Gegensatz zur Untersuchung von Brandenburg und Kollegen (2014), die Schwächen in der phonologischen Schleife als diskriminantes Merkmal gegenüber den Schwächen leseschwacher Kinder herausstellten und dies mit der hohen Anforderung an das phonologische Arbeitsgedächtnis beim lautlichen Erschließen der Schreibweise in konsistenten Orthografien begründen. Möglicherweise besteht die Gruppe der rechtschreibschwachen Kinder in der vorliegenden Untersuchung zum einen aus Kindern mit tatsächlicher Rechtschreibschwäche und der zugehörigen reduzierten Kapazität in der phonologischen Schleife, zum anderen aber auch aus Kindern, die aufgrund der lautgetreuen Lehrmethode in der ersten Klasse bislang nicht orthografisch korrekt schreiben. Letztere würden nun in einem Rechtschreibtest schlecht abschneiden, aber nicht zwangsläufig die für rechtschreibschwache Kinder typischen Schwächen in der phonologischen Schleife zeigen.

Charakteristika von Kindern mit kombinierten Lernschwächen

Die dritte und Kernfragestellung der vorliegenden Untersuchung versuchte mit Hilfe von Klassifikationsanalysen herauszufinden, ob frühe Schwächen in den exekutiven Funktionen valide Prädiktoren späterer kombinierter Leistungsschwächen darstellen. Für diese Analysen wurden aus methodischen Gründen aus der gesamten Gruppe von Kindern mit verschiedenartig kombinierten Lernschwächen (Lesen und Rechnen; Rechtschreiben und Rechnen, Lesen, Rechtschreiben und Rechnen) nur die Kinder ausgewählt, die im *Lesen und Rechtschreiben und Rechnen* Leistungen unter einem Prozentrang von 35 erzielten. Es zeigte sich, dass sich diese Gruppe von Kindern mit kombinierten Lernschwächen in mehreren Punkten von der Gruppe der Kinder ohne Lernschwächen unterschied. Trotz des Ausschlusses von Kindern mit unterdurchschnittlicher

Intelligenz und unaufmerksam- hyperaktivem Verhalten, wiesen die Kinder mit kombinierten Lernschwächen einen signifikant geringeren IQ auf und wurden von ihren ErzieherInnen zwar mit geringer Effektstärke, aber dennoch signifikant stärker als Kinder ohne Lernschwäche als hyperaktiv, frustrationsanfällig und von emotionalen Problemen belastet sowie von den KlassenlehrerInnen mit hoher Effektstärke als weniger ausdauernd, konzentriert und selbstständig im Lernen beschrieben. Verhaltensauffälligkeiten im Bereich von Aufmerksamkeit und Hyperaktivität fanden auch von Aster und Kollegen (2007) in der Untersuchung kombiniert lernschwacher Kinder am Ende der zweiten Klasse. Diese Merkmale unterschieden in deren Untersuchung Kinder mit kombinierten Schwächen sowohl von Kindern ohne Lernschwäche als auch von Kindern mit isolierten Lernschwächen. Da die Beschreibungen in der vorliegenden Untersuchung von den Erzieherinnen bereits ein Jahr vor Schuleintritt eingeholt wurden, sind die Auffälligkeiten nicht erst *Folge* von Lernschwierigkeiten, sondern gehören zu den beeinträchtigenden *Lernvoraussetzungen*, die Kinder mit späteren kombinierten schwachen Schulleistungen bereits frühzeitig im Kindergarten aufweisen und mit denen sie dem Vorschul- und Schulalltag begegnen. Die besonderen subklinischen Eigenschaften dieser Teilstichprobe weisen darauf hin, dass die schwachen kognitiven Prädiktorleistungen von Auffälligkeiten in der Emotionsregulation und im Verhalten begleitet werden, welche wiederum die Ausprägung der kombinierten Lernschwächen verstärken könnten (vgl. Büttner & Hasselhorn, 2011). Neben der Abfrage der ADHS-Symptomatik und allgemeinen Fragen nach Stärken und Schwächen wurden allerdings keine Zusatzinformationen über klinische Auffälligkeiten, wie z.B. Entwicklungsstörungen, erhoben, so dass die Frage nach nicht-kognitiven komorbiden Schwierigkeiten nicht detaillierter geklärt werden kann.

Zudem ließ sich, allerdings nur mit den von 11 der 26 Kinder mit kombinierten Lernschwächen vorliegenden Daten, feststellen, dass sich das familiäre Umfeld in manchen Punkten von dem Umfeld von Kindern ohne Lernschwächen unterscheidet. So wies die etwas höhere Rate von Leserechtschreibschwächen in Familien von kombiniert schwachen Schülern auf erbliche Anteile einer Schulleistungsschwäche hin. Tendenziell kommen Kinder mit kombinierten Lernschwächen eher aus mehrsprachigen Familien mit Migrationshintergrund; zudem waren höhere elterliche Bildungsabschlüsse seltener vertreten als bei Kindern ohne Lernschwäche, was an die Befunde zu Migrationshintergrund und sozialer Disparität der PISA-Studien von 2000-2009 erinnert (Ehmke & Jude, 2010; Stanat, Rauch & Segeritz, 2010). Diese zeigten, dass es in Deutschland für Kinder und Jugendliche aus zugewanderten Familien bzw. aus einem Elternhaus mit geringem sozio-ökonomischen Status besonders schwer ist, ausreichende Kompetenzen im Lesen, in der Mathematik und in den Naturwissenschaften aufzubauen.

Die anschließenden Mittelwertvergleiche in den bekannten kognitiven Prädiktoren (phonologische Bewusstheit im weiteren und engeren Sinn, Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebenen 1 und 2, die Arbeitsgedächtnisbestandteile phonologische Schleife und visuell-räumlicher Notizblock, der schnelle Abruf aus dem Langzeitgedächtnis sowie die Buchstabenkenntnis) wurden auf die Leistungen zu verschiedenen Messzeitpunkten ausgeweitet. Außerdem wurden im Bereich der exekutiven Funktionen nicht nur die Faktorwerte von Updating bzw. Shifting und Inhibition, sondern auch die Leistungen in den separaten Testverfahren berücksichtigt. Dies hatte zum Ziel herauszufinden, in welchen vorschulischen kognitiven Leistungen und in welchem Alter sich kombiniert schwache Kinder mit höchster Effektstärke von unauffällig lernenden Kindern unterscheiden. Nahezu alle Prädiktoren zeigten Mittelwertunterschiede mit mindestens mittlerer Effektstärke, so dass davon ausgegangen werden kann, dass Kinder mit kombinierten Lernschwächen nicht nur in den spezifischen Vorläuferfertigkeiten die für isolierte Lernschwächen typischen Defizite aufweisen, sondern auch breite Defizite in den domänenübergreifenden Bereichen Arbeitsgedächtnis (phonologische Schleife und visuell-räumlicher Notizblock), im Abruf aus dem Langzeitgedächtnis und in den spezifischen schriftsprachlichen Kompetenzen (Buchstabenkenntnis und Grammatik) haben. Dieser Befund unterstreicht, dass Lernschwächen durch multiple Defizite verursacht werden (vgl. Correlational liabilities model nach Willcut et al., 2013). Keine signifikanten Mittelwertunterschiede zeigten sich in der nicht differenzierenden Handaufgabe sowie in geringerer Effektstärke im Abruf aus dem Langzeitgedächtnis im Vorschuljahr, was möglicherweise an dem früheren Erreichen schnellstmöglicher Artikulationsgeschwindigkeit in der Gruppe der Kinder ohne Lernschwächen liegt, sowie in der phonologischen Bewusstheit im engeren Sinn zum ersten Messzeitpunkt. Letzteres hat vermutlich Bodeneffekte zur Ursache, da die phonologische Bewusstheit im engeren Sinn verstärkt erst im Vorschulalter und der Schuleingangsphase ausgebildet wird.

Prognostische Validität exekutiver Funktionen für kombinierte Lernschwächen

Anschließend wurde bestimmt, welche der signifikant unterschiedlich ausgeprägten Variablen zu welchem Messzeitpunkt spezifische und sensitive Zuordnungen zu den beiden Gruppen von Kindern mit kombinierten Lernschwächen bzw. Kindern ohne Lernschwächen ermöglichen. Es zeigten sich sowohl bei der Berechnung der Sensitivität und Spezifität als auch der Wahrscheinlichkeit, mit der eine vorschulische Schwäche mit einer kombinierten Schulleistungsschwäche einhergeht, die vergleichsweise höchste prädiktive Kraft für die bereichsspezifischen Vorläuferfertigkeiten. Bereits im mittleren Kindergartenjahr, d.h. rund zwei Jahre vor Schuleintritt, schwach ausgeprägte spezifische Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebenen 1

und 2 als auch eine im Vorschuljahr schwache phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn zeigten beste prädiktive Eigenschaften.

Betrachtet man Spezifität und Sensitivität, so wiesen auch die exekutiven Funktionen Updating als auch der Faktor Shifting und Inhibition sowie die zugehörigen Einzeltestverfahren Farbshifting, Stroop-Aufgabe und Picture Memory Task ähnliche gute Eigenschaften auf. Aufgrund höherer Korrelationen der spezifischen Vorläuferfertigkeiten mit schulischen Leistungen war erwartet worden, dass diese eine höhere Sensitivität und Spezifität als die exekutiven Funktionen in der Vorhersage erzielen. Somit schnitten die exekutiven Funktionen durch vergleichbar hohe Sensitivitäten besser ab als erwartet. Dieses Ergebnis relativierte sich allerdings etwas bei Betrachtung der Prädiktortrefferquote, also dem Anteil korrekt identifizierter Kinder unter allen als Risikokinder klassifizierten Kindern. Der Anteil betrug bei allen verwendeten Maßen exekutiver Funktionen nur rund 50% und ist somit zu niedrig. Obwohl das Ziel der Untersuchung auch unter präventiven Gesichtspunkten auf einer möglichst hohen Sensitivität, also der Erkennung aller Risikokinder liegt, so muss dennoch konstatiert werden, dass eine derart zufallsbestimmte hohe Quote der Fehlklassifikation vermeintlicher Risikokinder durch schwache Leistungen in den exekutiven Funktionen zum einen eine ökonomisch kaum umsetzbare Förderung entsprechend vieler Kinder und zum anderen bei sehr vielen Kindern unnötige psychische Belastung durch die vorläufige Risikodiagnose bedeuten könnte. Hingegen zeigte sich ähnlich den domänenspezifischen Vorläuferfertigkeiten zu den ausgewählten Messzeitpunkten, dass Kinder ohne Schwächen in den exekutiven Funktionen zu 90% keine kombinierten Lernschwächen entwickeln (= hohe Spezifität). Eine unauffällige Leistung in den exekutiven Funktionen ist demzufolge einer von mehreren Hinweisen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit keine kombinierten Lernschwächen zu erwarten sind.

Schwach ausgeprägte exekutive Funktionen gingen in geringerem Maß mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für kombinierte Lernschwächen einher als defizitäre Leistungen in den domänenspezifischen Vorläuferfertigkeiten, der phonologischen Schleife und der Buchstabenkenntnis im Kindergartenalter. Zwar wurden geringere Odds-ratios der exekutiven Funktionen im Vergleich zu höheren Odds-ratios spezifischer Vorläuferfertigkeiten und Arbeitsgedächtniskomponenten, hier der phonologischen Schleife, durchaus erwartet, doch wurde ähnlich zur geringen Prädiktortrefferquote nicht damit gerechnet, dass der Zusammenhang von schwachen exekutiven Funktionen und kombinierten Lernschwächen in nahezu halbiertes Höhe ausfallen würde. Aus theoretischer Sicht scheint es plausibel, dass exekutive Funktionen als ein Konstrukt grundlegender kognitiver Kontrolle in die Entwicklung akademischer Fähigkeiten

involviert sind und bei mangelhafter Ausprägung diese Entwicklung deutlich behindern. Insbesondere für den Faktor Updating war durch die konzeptuelle Nähe zum Konstrukt der zentralen Exekutive bzw. Working memory und den Zusammenhängen mit schriftsprachlichen und mathematischen Kompetenzen (vgl. Toll et al., 2011; van der Sluis et al., 2005; Willcutt et al., 2013) eine zuverlässigere Prädiktortrefferquote und eine höhere Effektstärke erwartet worden. Updating sollte dazu beitragen, dass während des Bearbeitens numerischer Aufgaben passgenaue Informationen abgerufen und aufrecht erhalten werden können, während irrelevant gewordene Informationen nicht weiter mit Aufmerksamkeit versehen werden und somit die Verarbeitung relevanter Informationen nicht weiter behindern (vgl. Toll et al., 2011). Ähnlich sollte Updating im schriftsprachlichen Bereich wirken: Sowohl beim Erlesen von Wörtern und Erkennen der Buchstaben-Lautkombination, dem Erschließen eines Satzinhaltes als auch dem orthografisch korrekten Schreiben ist Updating durch den Abgleich der phonologischen Information im Kurzzeitspeicher mit im Langzeitgedächtnis verankerten visuellen und phonologischen Repräsentationen von Wörtern und dem Aufrechterhalten versus Verwerfen benötigter Informationen involviert (vgl. Alloway et al., 2005). Trotz der prominenteren Stellung des Updating-Faktors wurde auch erwartet, dass Shifting- und Inhibitionsleistungen Kinder mit und ohne kombinierten Lernschwächen unterscheiden können: Diese sollten das Lösen mathematischer Problemstellungen erleichtern, weil sie zum einen einen flexiblen Nutzen verschiedener Strategien als auch einen flexiblen Wechsel zwischen verschiedenen repräsentierten numerischen Informationen ermöglichen, während irrelevante Informationen und falsche Strategien unterdrückt werden (z.B. Bull et al., 2008; van der Sluis et al., 2007). Zum anderen sollten Shifting und Inhibition auch für den Schriftspracherwerb eine Rolle spielen, weil Lesen und Rechtschreiben beispielsweise zur sicheren Worterkennung je nach Wortkenntnissen einen Wechsel zwischen einer direkten Abrufstrategie versus dem indirekten Erschließen geschriebener Wörter erfordern und laut Chiappe und Kollegen (2000) falsche Graphem-Phonem-Korrespondenzen unterdrückt werden müssen. Bei der Ursachensuche für kombinierte Lernschwächen schlugen Ashkenazi und Kollegen (2013) in diesem Sinne vor, dass defizitär ausgeprägte neuronale Ressourcen im präfrontalen Kortex zu nicht ausreichender exekutiver Kontrolle führen, was sich in Schwächen im Lesen und Rechnen bemerkbar mache.

Warum stellen aber exekutive Funktionen nun trotz der theoretisch und empirisch gezeigten Beteiligung an schriftsprachlichen und mathematischen Leistungen nur mäßig zuverlässige Klassifikationsmerkmale bezüglich der Prädiktortrefferquote dar? Mehrere Antworten auf diese Frage sind denkbar.

Die vorangegangenen Untersuchungen in den Kapiteln III und IV zeigten, dass vorschulisch erfasste exekutive Funktionen Einfluss auf Vorläuferfertigkeiten und nicht direkt auf die schulischen Schriftsprach- und Mathematikleistungen nehmen. Updating wirkte auf die (zeitgleich erfasste) Zahlwortfolge und nicht direkt auf die Rechenperformanz, also das Maß, das einer mathematischen Schulleistung am ähnlichsten ist. Genauso wirkte Updating im Schriftsprachbereich lediglich auf die Buchstabenkenntnis und nicht direkt auf Lese- und Rechtschreibfertigkeiten. Shifting und Inhibition wirkten ebenfalls auf die Vorläuferfertigkeiten, nicht aber direkt auf schulische Leistungen: Im numerischen Bereich auf das Zahlverständnis und im schriftsprachlichen Bereich auf die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn, auf Buchstabenkenntnisse und auf Grammatikleistungen. Diese Vorläuferfertigkeiten, zumindest die den Schriftsprachbereich betreffenden, stehen wiederum „nur“ in mittelhohem Zusammenhang mit Schulleistungen, so dass auch der indirekte Zusammenhang von exekutiven Funktionen über die Vorläuferfertigkeiten mit den Schulleistungen begrenzt ist (vgl. Knievel et al., 2011, s. auch Abb. 6). Ursächlich für die höhere Prädiktivität der domänenspezifischen numerischen und schriftsprachlichen Vorläuferfertigkeiten im Vergleich zu den exekutiven Funktionen könnte sein, dass sich in ihnen neben bereichsspezifischer Fertigkeit auch das Niveau bereichsspezifischer exekutiver Kontrolle kumuliert. Möglicherweise sind die domänenspezifischen Vorläufer ähnlich der Satzgedächtnisleistung in der Vorhersage von Lesen und Rechtschreiben (von Goldammer et al., 2010) aus verschiedenen basaleren Fertigkeiten zusammengesetzte komplexe Prädiktoren und deshalb am aufklärungsstärksten.

Die niedrige Prädiktortrefferquote, also die falsch-positive Zuordnung zur Gruppe der Kinder mit kombinierten Lernschwächen durch die Leistungen in den exekutiven Funktionen, könnte durch den zeitlichen Abstand zwischen der Erfassung der exekutiven Kontrolle und der Schulleistung verursacht worden sein. Mit diesem Abstand ist verbunden, dass sich exekutive Funktionen in dieser Zeit deutlich weiterentwickeln. Wie die in Kapitel II dargelegten Befunde von Carlson (2005) zeigen, erweist sich die Vorschulzeit als eine Phase, in der deutliche Entwicklungsschritte stattfinden. Dies geschieht aber möglicherweise nicht für alle Kinder gleichermaßen. Zum einen könnte der Altersrange der vorliegenden Stichprobe ($SD = 3.5$ Monate) insbesondere in dieser altersabhängig entwicklungsreichen Zeit Einfluss auf die Zuordnung genommen haben. Garon und Kollegen (2008) gehen zum anderen davon aus, dass exekutive Funktionen ein vulnerables System darstellen, das durch Einwirkungen des Umfeldes beeinflussbar ist. Das Umfeld kann demnach positiv auf die Entwicklung exekutiver Funktionen einwirken (Garon et al., 2008). So könnte der Eintritt in das Schulsystem mit dessen festen Regeln, vorbestimmten Tagesabläufen und Anforderungen an die SchülerInnen unter Umständen

unterschiedlich starke Entwicklungszuwächse in den exekutiven Funktionen bei verschiedenen Kindern bewirken. Kinder aus Kindergärten und Elternhäusern mit vergleichsweise geringer Förderung exekutiver Kontrolle, vorstellbar bei fehlendem vorschulischem Förderkonzept oder zu offenen unverbindlichen Rahmenbedingungen im Kindergarten, könnten bei Einschulung mit vergleichsweise schwacher exekutiver Kontrolle beginnen, ihren Rückstand durch den systematischeren Schulalltag allerdings auch schnell aufholen. Von diesem Aufholen würde auch der Erwerb des Lesens, Schreibens und Rechnens profitieren. Zudem könnten besonders klar geordnete, systematische Tagesabläufe von außen regulierend auf Kinder mit schwacher exekutiver Kontrolle wirken und so deren vorhandene Schwächen in Ansätzen auffangen. In der Folge könnten sich die Zuordnungen vertauschen, so dass ein Teil der Kinder mit (ursprünglich) schwachen exekutiven Funktionen keine kombinierten Lernschwächen entwickelt. Roebbers und Kolleginnen (2011) zeigten, dass exekutive Leistungen zwar über den Zeitraum von einem Jahr gesehen relativ stabil sind, doch stellten sie gleichermaßen fest, dass bei den Kindern, die innerhalb desselben Jahres einen institutionellen Wechsel von Kindergarten zur Schule hinnahmen, der Zusammenhang von individueller vorschulischer und schulischer Leistung in den exekutiven Funktionen deutlich zurückging: Weder die Korrelationen der Updating- noch die der Inhibitionsleistung der Kinder vor und nach Einschulung wurden signifikant. Zudem unterschieden sich gleichaltrige Kinder tendenziell je nach Kontext, d.h. der Zugehörigkeit zu einer klassenstufenübergreifenden Klasse versus der klassischen reinen ersten Klasse, was darauf hinweist, dass das Umfeld Einfluss auf die Ausprägung exekutiver Kontrolle nimmt. Um intra- und interindividuelle Veränderungen in den exekutiven Funktionen in der vorliegenden Studie prüfen zu können, wäre eine wiederholte Erfassung der exekutiven Funktionen im ersten Schuljahr notwendig gewesen. Dies war allerdings aufgrund des nicht vorhandenen finanziellen Spielraums für notwendige Einzeltestungen bzw. der fehlenden Testverfahren zur Erfassung exekutiver Funktionen in der Gruppe und der Belastung der teilnehmenden Kinder bereits durch die schulischen Gruppentestungen leider nicht möglich.

Nicht nur die Prädiktorvariablen sollten zu mehreren Messzeitpunkten erhoben werden, um Zuwächse, Änderungen in der Rangfolge und möglicherweise unterschiedliche prädiktive Kraft zu verschiedenen Messzeitpunkten bestimmen zu können. Das Gleiche gilt für die Schulleistungsmaße. Toll und Kollegen (2010) zeigten, dass eine Diskriminanzanalyse unterschiedliche Ergebnisse mit sich bringen kann, wenn das Kriterium, in deren Fall die schwache Mathematikleistung, zu einem oder zu mehreren Messzeitpunkten erfasst wird. Bei Kindern mit einmalig bestimmter Mathematikschwäche zum Ende der zweiten Klasse trug die Hinzunahme der Working memory-Leistung zu den numerischen Vorläuferfertigkeiten in der Diskriminanzfunktion

nicht zu einer Verbesserung der Klassifikationsgüte bei. Bei Kindern, die im Lauf des ersten und zweiten Schuljahres viermalig in Folge als rechenschwach aufgefallen waren, also eine dauerhafte Lernschwäche zeigten, erhöhte sich die Klassifikationsgüte bei Berücksichtigung der Working-memory-Leistungen zusätzlich zu den numerischen Vorläuferfertigkeiten. Schwache Working-memory-Leistungen könnten demzufolge eher mit einer überdauernden Rechenschwäche zusammenhängen (Toll et al., 2010), zumal zu Beginn des ersten Schuljahres, wie in der vorliegenden Untersuchung gegeben, noch von einer hohen Variabilität der Schulleistungen in beide Richtungen ausgegangen werden kann.

Weiterhin bleibt zu beachten, dass das Umwandeln von kontinuierlich verteilten Merkmalen in Kategorien zu einer artifiziellen Gruppeneinteilung führt. Es gibt verschiedene Stimmen, die deutliche Zweifel an der Methode der Klassifikation anhand von Cut-off-Werten äußern und Einschränkungen in Reliabilität und Power zu bedenken geben (MacCallum, Zhang, Preacher & Rucker, 2002). Alternative Auswertungsverfahren, die Gruppenbildungen überflüssig machen, da sie innerhalb kontinuierlich verteilter Variablen Subpopulationen abbilden, wären Wachstumsmodelle oder auch Latent class-Modelle (Branum-Martin, Fletcher & Stuebing, 2012). Für diese Arten der statistischen Auswertung sind allerdings zum einen Messwiederholungen aller Testvariablen zu jedem Messzeitpunkt bzw. sehr große Stichprobenumfänge notwendig. Beides ist in der vorliegenden Untersuchung nicht ausreichend gegeben, sodass auf die Klassifikation der Gruppen anhand eines gewählten Kriteriums zurückgegriffen werden musste. Für diese Klassifikation werden individuelle Informationen zugunsten einer Gruppenperspektive aufgegeben, woraus folgt, dass immer die Möglichkeit der Fehlzuordnung besteht (z.B. Branum-Martin et al., 2012; Büttner & Hasselhorn, 2011). Insbesondere in dem Leistungsspektrum nahe des arbiträren Cut-off-Wertes sind aufgrund des Messfehlers Fehlzuordnungen nicht auszuschließen. Aber selbst bei perfekter Reliabilität ist kaum zu vertreten, warum ein Schüler mit einer dem Prozentrang von 16 entsprechenden Leistung zur Gruppe der durchschnittlichen Schüler gehören soll, während der Schüler mit einem Prozentrang von 15 als Risikokind gilt (vgl. Marx & Lenhard, 2010). Zudem sind Klassifikationen nicht studienübergreifend vergleichbar, weil der Konsens fehlt, ab welchem Prozentrang, bzw. welcher qualitativen und quantitativen Minderleistung, von einer Lernschwäche zu sprechen ist. So sind auch die Ergebnisse dieser Untersuchung nur begrenzt vergleichbar mit Untersuchungen, die strengere Cut-off-Werte gewählt haben und deren Ergebnisse möglicherweise durch eine homogenere Gruppe bestimmt wurden. Dennoch hatte die Wahl des moderateren Cut-off-Kriteriums von $PR < 35$ für die vorliegende Studie den Vorteil, dass mit der Auswahl des untersten Leistungsdrittels vermutlich all die Kinder berücksichtigt wurden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit Schulleistungsschwächen

aufweisen, was zur Steigerung der Sensitivität beitrug. Die Wahl des moderaten Kriteriums hing zudem mit dem Alter der vorliegenden Stichprobe zusammen. Im Unterschied zu anderen Untersuchungen lag der bislang letzte Messzeitpunkt der vorliegenden Längsschnittstudie am Ende der ersten Klasse. Anders als bei Studien, die Kinder im Verlauf der Grundschule und nach Übergang in die weiterführende Schule auf Lernschwächen hin untersuchten, ist damit zu rechnen, dass es noch Veränderungen in der Rangreihenfolge der Schüler geben wird. Für den mathematischen Bereich gilt beispielsweise, dass erst nach einer Beschulung von zwei Jahren und dem erfolgten Ausgleich der Heterogenität in Vorwissen und prozeduraler Fähigkeit die sichere Diagnose einer Rechenschwäche möglich ist (Jacobs & Petermann, 2005). Möglicherweise bietet das moderatere Kriterium den Vorteil, dass auch die Kinder erfasst werden, die noch kein tiefes Zahlverständnis erworben haben, aber beispielsweise durch Abzählstrategien Defizite im kleinen Zahlenraum in Anteilen kompensieren können. Diese Kinder würden bei einem strengen Kriterium möglicherweise nicht auffallen. Für eine sichere Klassifikation tatsächlich bestehender Lernschwächen sollte die vorliegende Untersuchung allerdings auf einen späteren Messzeitpunkt ausgedehnt werden.

Fazit

Die Kernfrage der vorliegenden Untersuchung beschäftigte sich mit dem Einfluss exekutiver Funktionen auf Lernschwächen und insbesondere auf die Gruppe der Kinder, die im Lesen und Rechtschreiben und Rechnen schwache Leistungen erzielten. Es sollte festgestellt werden, ob sich Kinder mit verschiedenen Lernschwächen in der Ausprägung exekutiver Kontrolle unterscheiden und ob diese Unterschiede in der Ausprägung deutlich genug sind, damit sie sensitive, spezifische und positiv-prädiktive Klassifikationen schwacher Schulleistungen ermöglichen. Gleichzeitig sollten auch die Klassifikationseigenschaften der in Kapitel III und IV verwendeten theoretisch naheliegenden und in vielen Studien empirisch belegten Prädiktoren untersucht werden.

Die jeweils schwächsten Prädiktorleistungen erzielten die Kinder mit der größten Breite an schwachen Schulleistungen, d.h. es fanden sich in allen Prädiktorvariablen Mittelwertunterschiede zwischen Kindern ohne Lernschwächen und den Kindern mit kombinierten Lernschwächen im Lesen und Schreiben und Rechnen und z.T. von Kindern mit einer Lese-Rechtschreibschwäche. Entgegen den Erwartungen zeigten sich keine signifikanten Mittelwertunterschiede in den Prädiktorvariablen zwischen Kindern mit isolierten Schwächen und unauffälligen Kindern. Aufgrund der ausgebliebenen Unterschiede im Profil der Kinder mit isolierten Lernschwächen wurde nur die auffälligste Gruppe, also die der Kinder mit kombinierten Lernschwächen, im Vergleich zu den Kindern ohne Lernschwäche weiter untersucht.

Die Zahl-Größen-Kompetenzen, die phonologische Bewusstheit und die phonologische Schleife erwiesen sich als besonders sensitiv und spezifisch. Zudem steigerten Schwächen in den Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebenen 1 und 2 im zweiten Kindergartenjahr die Wahrscheinlichkeit für kombinierte Lernschwächen um das 13- bis 17-fache, eine schwache phonologische Bewusstheit im weiteren und engeren Sinne im Vorschuljahr um das rund 11- bis 15-fache und auch Schwächen in der phonologischen Schleife zu Beginn des zweiten Kindergartenjahres erhöhten das Risiko für kombinierte Lernschwächen um das 13-fache. Domänenspezifische Prädiktoren erwiesen sich somit bereits im Kindergartenalter als äußerst relevant zur Aufdeckung des Risikos kombinierter Schulleistungsschwächen und bieten die Möglichkeit zur frühzeitigen Prävention. Als bereicherspezifische Prädiktoren war den exekutiven Funktionen vorab einerseits etwas geringere Prädiktivität zugeschrieben worden, dennoch wurde erwartet, dass sie aufgrund der Notwendigkeit kognitiver Kontrolle für das Lerngeschehen ausreichende Güte zur Risikoklassifikation aufweisen würden. Dies zeigte sich in guter Sensitivität und Spezifität und einer maximal 8-fachen Erhöhung der Wahrscheinlichkeit für kombinierte Schwächen bei unzureichender Prädiktortrefferquote. Anders als erwartet zeigte sich der Faktor Updating dem Faktor Shifting und Inhibition nicht überlegen, so dass beide exekutive Faktoren neben den domänenspezifischen Vorläuferfertigkeiten und der phonologischen Schleife wichtige Prädiktoren kombinierter Lernschwächen darstellen.

Grenzen der Untersuchung dieses Kapitels liegen darin, dass die Vorhersage einer Lernschwäche zum Ende der ersten Klasse nur eingeschränkt möglich ist, mit einem Prozentrang von 35 ein sehr moderates Kriterium gewählt wurde, das auch Kinder einschließt, die durchschnittliche Leistungen erbracht haben sowie die damit verbundene Tatsache, dass mit einem klassifikatorischen Ansatz immer das Risiko einer Fehlklassifikation eingegangen wird.

VI. ZUSAMMENSCHAU UND AUSBLICK

Exekutive Funktionen gehören zu den Konstrukten, auf die sich viele aktuelle Forschungsbemühungen konzentrieren, da exekutive Funktionen wie Updating, Shifting und Inhibition relevant für viele höhere geistige Fertigkeiten wie zum Beispiel das Planen und Überwachen von komplexen mehrschrittigen Handlungen und Problemlöseschritten sind (z.B. Miyake et al., 2000) und deshalb auch mit komplexen Lernprozessen wie dem Erwerb des Lesens, Schreibens und des Rechnens assoziiert werden (z.B. Best et al., 2011; Bull & Sherif, 2001). Zwar liegen zum heutigen Datum viele Untersuchungen zum Einfluss exekutiver Funktionen auf akademische Vorläuferfertigkeiten und Schulleistungen vor, doch ist der Forschungsstand noch heterogen und nicht abschließend. Beispielsweise basieren die Untersuchungsdesigns häufig auf unterschiedlichen Definitionen exekutiver Funktionen: Ein Teil der Studien orientiert sich am Unity-Diversity-Modell von Miyake und Kollegen (2000), das vom Vorhandensein dreier basaler exekutiver Funktionen, Updating, Inhibition und Shifting, ausgeht, welche über einen gemeinsamen Varianzanteil verfügen (z.B. Monette et al., 2011). Andere Studien hingegen sehen exekutive Kontrolle durch das Konstrukt der Working memory capacity vermittelt (Engle & Kane, 2004), so dass komplexere Aufgaben verwendet werden, die neben der Aufrechterhaltung von Arbeitsgedächtnisrepräsentationen auch inhibitorische Leistungen erfordern (z.B. McCabe et al., 2010). Wiederum andere orientieren sich an der Theorie des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley (1986, 2000) und operationalisieren zentral-exekutive Kontrolle über Aufgaben, die die Verarbeitung und Koordination von Informationen aus dem Langzeit- und den Kurzzeitspeichern erfordern (z.B. St Clair-Thompson und Gathercole, 2006).

Die vorliegende Untersuchung gründet sich auf eine längsschnittliche Studie, die Kinder bereits sehr frühzeitig, nämlich zwei Jahre vor Schuleintritt bis zum Ende der ersten Klasse untersuchte. Insbesondere die komplexeren Funktionen exekutiver Kontrolle, wie beispielsweise Planning oder aber auch die Kombination mehrerer exekutiver Funktionen wie beispielsweise Inhibition und Aufrechterhaltung relevanter Informationen im Konstrukt der Working memory capacity, befinden sich in dieser Altersgruppe noch deutlich in der Entwicklung (z.B. Best et al., 2011) und deren Ausführung stellt Kinder vor hohe Anforderungen. Aus diesem Grund wurde für die vorliegende Untersuchung ein erhöhter Nutzen darin gesehen, basierend auf der Diversity-Hypothese von Miyake und Kollegen (2000) und den Hinweisen auf Entwicklungsverläufe exekutiver Kontrolle bei Kindern (z.B. Garon et al., 2008) ausschließlich die grundlegenden exekutiven Funktionen Updating, Inhibition und Shifting zu betrachten. Dies ließ einerseits eine

altergerechte Erhebung zu und zum anderen konnten so spezifische Wirkwege einzelner exekutiver Funktionen auf die Entwicklung akademischer Vorläuferfertigkeiten und Schulleistungen betrachtet werden. Die vorliegende Untersuchung legte zudem Wert darauf, neben der Erfassung separater exekutiver Funktionen auch die abhängigen Variablen, d.h. die jeweils domänenspezifischen Vorläuferfertigkeiten und Schulleistungen möglichst im Detail und nicht als Summenwert zu erfassen. Diese Betrachtungen ergaben deshalb erweiternd zu vorangegangenen Untersuchungen dezidierte Einblicke in die Zusammenhänge von exekutiven Funktionen mit frühen akademischen Leistungen. Ein Kernergebnis der Untersuchungen ist der Befund, dass Updating mehrheitlich von Relevanz für numerische und schriftsprachliche Leistungen ist, die auf automatisiertem Abruf beruhen, nämlich der Zahlwortfolge und der Buchstabenkenntnis. Shifting und Inhibition ergaben in der Faktorenanalyse nicht zwei separate Faktoren, sondern luden auf einem gemeinsamen Faktor, welcher sowohl im numerischen als auch schriftsprachlichen Bereich besonders starken Einfluss auf Inhalte nahm, die ein tieferes Verständnis erfordern, wie das Verständnis für die Verknüpfung von Zahlen mit Größen und dem Verständnis für die Sprachstruktur in Form phonologischer Bewusstheit. Bei Berücksichtigung weiterer Prädiktoren nahmen die exekutiven Funktionen keine direkten Einflüsse auf schulische Leistungen. Hingegen erwiesen sich sowohl das im Vorschulalter erfasste Updating als auch der Faktor Shifting und Inhibition als spezifische und sensitive Prädiktoren für kombinierte Schwächen in Lesen und Schreiben und Rechnen am Ende der ersten Klasse. Rund 50% der Kinder mit schwachen exekutiven Funktionen im Vorschulalter entwickelten allerdings keine kombinierten Lernschwächen, so dass nicht davon auszugehen ist, dass schwache exekutive Kontrolle im Vorschulalter per se zu Lernschwierigkeiten führt. Dass sich die Wahrscheinlichkeit, kombinierte Lernschwächen zu entwickeln beim Vorliegen schwacher Updating- als auch Shifting- und Inhibitionsleistungen um das rund 7-fache erhöht, spricht dennoch für eine bedeutsame Beteiligung exekutiver Kontrolle an der Entwicklung schulischer Fertigkeiten.

Allgemein zu diskutieren bleibt im Bereich der exekutiven Funktionen allerdings bis heute, dass diese nicht valide und messgenau erfasst sein könnten (vgl. Miyake et al., 2000). De facto wiesen die Aufgaben zur Erfassung der exekutiven Funktionen nur niedrige bis mittelhohe Faktorladungen auf (s. Kap. III, Abb. 2) und die Verteilung der Hand-Aufgabe zeigte einen Deckeneffekt. Dennoch konnten in der Risikoklassifikation auch die separat berücksichtigte Stroop-Aufgabe, das Farbshifting und die Picture Memory Task, die im teststatistischen Sinne durch höhere Faktorladungen und Korrelationen in angemessener Höhe mit Prädiktoren und abhängigen Variablen positiv auffielen, keine bessere Klassifikation als die beiden Faktoren Updating sowie Shifting und Inhibition unter Einschluss der möglicherweise weniger belastbaren Aufgaben erwirken.

Abgesehen von eventuell diskutablen rein testtheoretischen Gesichtspunkten bleibt zu überlegen, inwiefern die eingesetzten Testverfahren „alltagsvalide“ sind. Alltägliches kognitives Inhibieren von beispielsweise ähnlichen, aber falschen Phonem-Graphem-Korrespondenzen beim Schreiben eines Wortes erfordert möglicherweise anspruchsvollere kognitive Kontrolle, während die verwendeten Hand- und Stroop-Aufgaben weniger komplexer Koordination bedürfen. Zudem ist bei Lese-, Rechtschreib- und Rechenprozessen kognitive Inhibition erforderlich, während die Handaufgabe motorische Inhibition einer dominanten Reaktion und die Stroop-Aufgabe Interferenzkontrolle erfordert. Bereits Nigg (2000) verwies auf diese verschiedenen Arten der Inhibition und auch Diamond (2013) schlussfolgert, dass die beispielsweise in Go/No-Go-Aufgaben erfasste Inhibition dominanter Reaktionen weniger mit der Inhibition bei der Bearbeitung kognitiver Anforderungen in Verbindung stünde. Wünschenswert wäre deshalb für folgende Untersuchungen die Testbatterie exekutiver Funktionen zumindest um diese Aspekte inhibitorischer Kontrolle zu erweitern.

Zudem besteht die Notwendigkeit, exekutive Kontrolle nicht nur einmalig, sondern wiederholt zu erfassen, ebenso wie die Entwicklung schulischer Leistungen weiter verfolgt werden sollte. Nur dann kann auf eine möglicherweise altersabhängige unterschiedlich hohe Bedeutsamkeit von exekutiven Funktionen für Schulleistungen geschlossen werden. Bereits die Definition exekutiver Funktionen sagt aus, dass exekutive Kontrolle immer dann notwendig ist, wenn nicht auf automatisierte Schemata zurückgegriffen werden kann (z.B. Garon et al., 2008). Unterschiedliche Automatisierungsgrade im Lesen, Rechtschreiben und Rechnen sollten demzufolge auch ein unterschiedliches Maß an exekutiver Kontrolle erfordern (vgl. Bull & Sherif, 2001). Zudem ist erst im Verlauf der folgenden Schuljahre eine abschließende Diagnose persistierender schulischer Lernschwächen möglich, welche wiederum mit einer erhöhten Relevanz einzelner exekutiver Funktionen einhergehen könnte (z.B. Toll et al., 2011) als die einmalige und frühzeitige Feststellung einer Lernschwäche wie in der vorliegenden Studie. In praktischer Hinsicht sollten exekutive Funktionen zu verschiedenen Messzeitpunkten erfasst werden, um wie in Kapitel V für die weiteren Prädiktoren untersucht, den Messzeitpunkt mit der höchsten Prädiktivität für spätere Lernschwächen herauszufinden und ein entsprechendes Screening zu einem einzelnen Messzeitpunkt zusammenstellen zu können. In der vorliegenden Studie ist die Datengrundlage auf Leistungen in den exekutiven Funktionen im Vorschuljahr begrenzt. Vorstellbar ist, dass die Erfassung exekutiver Kontrolle gemeinsam mit der Erfassung der Zahl-Größen-Kompetenzen, welche sich in Kapitel V als äußerst gute Prädiktoren gezeigt haben, bereits zwei Jahre vor Schuleintritt ein zuverlässiges, sensitives und spezifisches Erkennen von Kindern mit dem Risiko kombinierter Lernschwächen ermöglichen könnte.

Abschließend ist festzuhalten, dass es eine reizvolle und theoretisch begründete sowie in Ansätzen empirisch geprüfte Annahme darstellt, dass exekutive Funktionen den schulischen Lernerfolg erheblich mitbestimmen. Dennoch ergab die vorliegende Untersuchung in Kapitel V, dass die spezifischen Vorläuferfertigkeiten phonologische Bewusstheit und Zahl-Größen-Kompetenzen sowie auch domänenunspezifisch die phonologische Schleife eine vergleichsweise höhere prädiktive Kraft für die Vorhersage kombinierter Lernschwächen besitzen. Dies zeigte sich außer in den Klassifikationsanalysen auch in den in Strukturgleichungsmodellen erwiesenen direkten Einflüssen auf die schulleistungsnahere Rechenperformanz in Kapitel III sowie auf das Lesen und Rechtschreiben in Kapitel IV. Der Einfluss exekutiver Funktionen hingegen wirkte sich auf die schriftsprachlichen und numerischen Vorläuferfertigkeiten aus und trug dort signifikant zur Varianzaufklärung bei. Vergleichbar sind die Einflüsse exekutiver Funktionen auf Schulleistungen möglicherweise mit dem Einfluss der Intelligenz, die als grundlegende kognitive Kapazität zwar unumstritten von Bedeutung für akademische Leistungen ist, deren direkter Einfluss aber unter Berücksichtigung bereichsspezifischer Prädiktoren deutlich zurückgeht (z.B. Krajewski & Schneider, 2009a). Exekutive Funktionen stellen demzufolge ein domänenübergreifendes Gerüst dar, welches mit gut ausgebildeten Vorläuferfertigkeiten einhergeht, eher allgemein für gute Lernbedingungen sorgt (Best et al., 2011; Bull et al., 2008; Neuenschwander et al., 2012) und somit einen fruchtbaren Boden für die Entwicklung schulischer Fertigkeiten bietet.

VII. ZUSAMMENFASSUNG

Eine Vielzahl aktueller Studien an Grundschulkindern weist dem Konstrukt der exekutiven Funktionen Prädiktivität für akademische Leistungen zu (z.B. Blair & Razza, 2007; Bull et al., 2008; LeFevre et al., 2013). Zudem sind exekutive Funktionen bereits für die Entwicklung vorschulischer numerischer und schriftsprachlicher Fertigkeiten von Bedeutung (z.B. Roethlisberger, Neuenschwander, Michel & Roebbers, 2010). Allerdings führen unterschiedliche theoretische Konzeptionen der exekutiven Funktionen und unterschiedliche Operationalisierungen sowie die voranschreitende Entwicklung in der Kindheit zu differierenden Faktorenstrukturen und uneinheitlichen Einschätzungen der Bedeutsamkeit einzelner exekutiver Funktionen für numerische und schriftsprachliche Kompetenzen.

Aber auch unter dem Begriff „numerische Kompetenzen“ werden in der Literatur verschiedene Fertigungsbereiche und Entwicklungsebenen vermischt, so dass bisherige Studien kaum detaillierte Aussagen über die Vorhersagbarkeit einzelner numerischer Bereiche liefern. Vor diesem Hintergrund und ausgehend von der einflussreichen Theorie von Miyake und Kollegen (2000) hatte die in Kapitel III vorliegende Untersuchung erstens zum Ziel, die Faktorenstruktur exekutiver Funktionen von Vorschulkindern zu prüfen und zweitens deren spezifische Einflüsse auf basale numerische Fertigkeiten (Kenntnis der Zahlwortfolge), das Zahlverständnis und die Rechenperformanz aufzuzeigen.

Die Daten basieren auf fünf von insgesamt sechs Messzeitpunkten einer längsschnittlichen Studie, welche sich vom zweiten Kindergartenjahr bis zum Ende des ersten Schuljahres erstreckte und die zum letzten Messzeitpunkt $N = 220$ Kinder umfasste. Es zeigte sich in der Faktorenanalyse eine zweifaktorielle Struktur exekutiver Funktionen mit Updating als erstem, alleinigem Faktor sowie Shifting und Inhibition gemeinsam auf einem zweiten Faktor ladend. Im Strukturgleichungsmodell zur Vorhersage numerischer Kompetenzen wurden zusätzlich zu den exekutiven Funktionen auch der schnelle Abruf aus dem Langzeitgedächtnis, die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn und die fluide Intelligenz berücksichtigt. Es zeigte sich ein bedeutsamer Einfluss des Updatings auf die Kenntnis der Zahlwortfolge und die Rechenperformanz. Updating ist demnach von besonderer Relevanz für rein auswendig lernbare Inhalte. Shifting und Inhibition hingegen nahmen signifikanten Einfluss auf das Zahlverständnis, was darauf hindeutet, dass diese immer dann wichtig sind, wenn ein Auswendiglernen nicht mehr ausreicht, sondern ein tieferes Verständnis der numerischen Lerninhalte erforderlich ist.

Die in Kapitel IV vorliegende Untersuchung hatte zum Ziel, ebenfalls möglichst detailliert die Einflüsse der beiden Faktoren exekutiver Kontrolle, Updating als auch Shifting und Inhibition, auf schriftsprachliche Fertigkeiten nachzuweisen. Zu diesem Zweck wurden neben der Buchstabenkenntnis, der Grammatikleistung, der phonologischen Schleife und der phonologischen Bewusstheit im weiteren und engeren Sinn die Lesegeschwindigkeit, das Leseverständnis und die Rechtschreibleistung erfasst. Die Datengrundlage umfasst vier Messzeitpunkte, beginnend mit dem Vorschuljahr bis in die erste Klasse, an der gleichen Stichprobe von $N = 220$ Kindern.

Solange keine weiteren Prädiktoren schriftsprachlicher Leistungen im Strukturgleichungsmodell Berücksichtigung fanden, erwies sich Updating als bedeutsam für die Lesegeschwindigkeit und gleichsam zum Faktor Shifting und Inhibition zusätzlich relevant für die Rechtschreibleistung am Ende der ersten Klasse. Nach Aufnahme aller Prädiktoren in das Strukturgleichungsmodell nahmen die exekutiven Funktionen allerdings nicht länger direkten Einfluss auf die Schulleistungen. Während sich nun die domänenspezifische Vorläuferfertigkeit phonologische Bewusstheit im engeren Sinn als äußerst bedeutsam für die Lesegeschwindigkeit und das Rechtschreiben zeigte, beschränkte sich der Einfluss des Updating auf geringere Anteile aufgeklärter Varianz in der Buchstabenkenntnis. Der Faktor Shifting und Inhibition hingegen erwies sich als einflussreicher, insbesondere in Bezug auf die phonologische Bewusstheit im weiteren Sinne sowie etwas geringer auf die Buchstabenkenntnis und das grammatikalische Verständnis. Diese Befunde zeigen Parallelen zum Einfluss exekutiver Funktionen auf mathematische Kompetenzen: Updating scheint auch im schriftsprachlichen Bereich Einfluss auf Fertigkeiten zu nehmen, die durch Auswendiglernen erworben und automatisiert werden können, während Shifting und Inhibition unterstützen, dass ein Verständnis für den strukturellen Aufbau der Sprache erworben wird, welches wiederum äußerst bedeutsam für die Entwicklung des Lesens und Schreibens ist.

Die abschließende Untersuchung in Kapitel V hatte neben der Prävalenzschätzung zum Ziel, die kognitiven Profile von Kindern mit isolierten und kombinierten Lernschwächen auf Unterschiede zu prüfen und mit dem Profil von Kindern ohne Lernschwächen zu vergleichen. Nach Ausschluss der Kinder mit unterdurchschnittlicher Intelligenz und ADHS-Symptomatik aus der ursprünglichen Stichprobe wurden die verbleibenden 184 Kindern zunächst mit Hilfe zweier Cut-off-Kriterien von $PR < 16$ und $PR < 35$ aufgrund ihrer Ergebnisse in den Schulleistungstestverfahren einer der Lernschwächegruppen (Lese-, Rechtschreib-, Lese-Rechtschreib-, Rechenschwäche und kombinierte sowie keine Lernschwächen) zugeteilt. Die Prävalenzschätzung anhand des strengen Kriteriums $PR < 16$ ergab erhöhte Prävalenzraten für die isolierte Lese- (10.9%) als auch für die

Lese-Rechtschreibschwäche (10.3%) sowie einen vergleichsweise geringen Umfang von Kindern mit Rechenschwäche (2.2%) im Vergleich zu vorliegenden epidemiologischen Studien. Für die mit Hilfe des moderateren Cut-off-Kriteriums von $PR < 35$ gebildeten umfangreicheren Lernschwächegruppen wurden die Stärken und Schwächen jeder Gruppe in den Variablen phonologische Bewusstheit und Zahl-Größen-Kompetenzen, aber auch im Abruf aus dem Langzeitgedächtnis, dem phonologischen und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis, der Buchstabenkenntnis, dem grammatikalischen Verständnis und der Intelligenz sowie in den exekutiven Funktionen im Vorschulalter bestimmt. Da sich keine deutlich abgrenzbaren Profile von Kindern mit isolierten Lernschwächen zu Kindern ohne Lernschwächen aufzeigen ließen, wurden für die weiteren Untersuchungen die Gruppe der $n = 26$ Kinder mit kombinierten Lernschwächen, welche in nahezu allen Variablen signifikant schwächer als die Gruppe von Kindern ohne Lernschwächen abgeschnitten hatte, in den Mittelpunkt gestellt. Die folgende Fragestellung bestand darin, die Sensitivität und Spezifität exekutiver Funktionen für die Vorhersage von kombinierten Lernschwächen im Vergleich zu den theoretisch und empirisch belegten Schulleistungsprädiktoren zu verschiedenen Messzeitpunkten zu bestimmen. Schwächen im Updating als auch im Faktor Shifting und Inhibition ermöglichten eine zufriedenstellende sensitive und spezifische Risikoklassifikation. Jedoch zeigten Schwächen in der phonologische Bewusstheit im weiteren und im engeren Sinn im Vorschuljahr und in den Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebenen 1 und 2 bereits im zweiten Kindergartenjahr als auch in der phonologischen Schleife zwei Jahre vor Einschulung bessere Prädiktortrefferquoten und eine höhere Wahrscheinlichkeit für das gemeinsame Auftreten von kombinierten Lernschwächen. Die Befunde zeigen somit, dass schwach ausgeprägte exekutive Funktionen charakteristisch für das Profil von Kindern mit kombinierten Lernschwächen sind, eine etwas zuverlässigere Klassifikation aber durch domänenspezifische Vorläuferfertigkeiten zu bestimmten Zeitpunkten im Vorschulalter möglich ist.

LITERATURVERZEICHNIS

- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Adams, A.-M., Willis, C., Eaglen, R. & Lamont, E. (2005). Working memory and phonological awareness as predictors of progress towards early learning goals at school entry. *British Journal of Developmental Psychology*, 23, 417 – 426.
- 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, 85-106.
- Altemaier, L. E., Abbott, R. D. & Berninger, V. W. (2008). Executive functions for reading and writing in typical literacy development and dyslexia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 30(5), 588-606.
- Anderson, P. J. (2008). Towards a developmental model of executive function. In V. Anderson, R. Jacobs & P.J. Anderson (Hrsg.), *Executive functions and the frontal lobes: A lifespan perspective*. (S. 3-21). New York: Taylor & Francis.
- Anderson, U. (2010). Skill development in different components of arithmetic and basic cognitive functions: Findings from a 3-year longitudinal study of children with different types of learning difficulties. *Journal of Educational Psychology*, 102(1), 115-134.
- Arffa, S. (2007). The relationship of intelligence to executive function and non-executive function measures in a sample of average, above average, and gifted youth. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22, 969-978.
- Ashkenazi, S., Black, J. M., Abrams, D. A., Hoeft, F. & Menon, V. (2013). Neurobiological underpinnings of math and reading learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 46(6), 549-569.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2003). *Multivariate Datenanalysen*. Berlin: Springer-Verlag.
- Baddeley, A.D. & Hitch, G.J. (1974). Working memory. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, Vol. 8 (S. 47-89). New York: Academic Press
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49(1), 5-28.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2012). Working memory, theories models and controversy. *The Annual Review of Psychology*, 63, 1-29.
- Barkley, R. A. (2001). Linkage between attention and executive functions. In G.R. Lyon & N.A. Krasnegor (Hrsg.), *Attention, memory, and executive function* (S. 307-325). Baltimore, US: Paul Brookes Publishing.
- Bentler, P. M. (2005). *EQS 6 Structural equations program manual*. Encino, CA: Multivariate Software.

- Benton, A. L. (1968). Differential behavioral effects in frontal lobe disease. *Neuropsychologia*, 6, 53-60.
- Best, J. R., Miller, P. H. & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review*, (29), 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 and Individual Differences*, 21, 327-336.
- Birney, D. P., Bowman, D. B., & Pallier, G. (2006). Prior to paradigm integration, the task is to resolve construct definitions of gF and WM. Commentary on Blair, C. (2006). How similar are fluid cognition and general intelligence? A developmental neuroscience perspective on fluid cognition as an aspect of human cognitive ability. *Behavioral and Brain Sciences*, 29, 109-125.
- Blair, C. (2006). How similar are fluid cognition and general intelligence? A developmental neuroscience perspective on fluid cognition as an aspect of human cognitive ability. *Behavioral and Brain Sciences*, 29, 109-125.
- Blair, C. & Razza, R. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647-663.
- Booth, J. N., Boyle, J. M. E. & Kelly, S. W. (2010). Do tasks make a difference? Accounting for heterogeneity of performance of children with reading difficulties on tasks of executive function: Findings from a meta-analysis. *British Journal of Developmental Psychology*, 28, 133-176.
- Blair, C. & Willoughby, M. (2013). Rethinking executive functions: Commentary on „The contribution of executive function and social understanding to preschoolers’ letter and math skills“. *Cognitive Development*, 28(4), 331-400.
- Bradley, L. & Bryant, P. (1985). *Rhyme and reason in reading and spelling*. Ann Arbor: The University of Michigan Press.
- Brandenburg, J., Kleszczewski, J., Fischbach, A., Schuchardt, K., Büttner, G. & Hasselhorn, M. (2014). Working memory in children with learning disabilities in reading versus spelling: searching for overlapping and specific factors. *Journal of learning disabilities*, <http://ldx.sagepub.com/content/early/2014/02/13/0022219414521665>.
- Branum-Martin, L., Fletcher, J. M. & Stuebing, K. K. (2012). Classification and identification of reading and math disabilities: The special case of comorbidity. *Journal of Learning Disabilities*, 46(6), 490-499.
- Brock, L. L., Rimm-Kaufman, S. E., Nathanson, L. & Grimm, K. J. (2009). The contributions of ‚hot‘ and ‚cool‘ executive functions to children’s academic achievement, learning-relates behaviors, and engagement in kindergarten. *Early Childhood Research Quarterly*, 24, 337-349.
- Brydges, C. R., Reid, C. L., Fox, A. M. & Anderson, M. (2012). A unitary executive function predicts intelligence in children. *Intelligence*, 40, 458-469.

- Büttner, G. & Hasselhorn, M. (2011). Learning disabilities: Debates on definitions, causes, subtypes, and responses. *International Journal of Disability, Development and Education*, 58(1), 75-87.
- 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. & Lee, K. (2014). Executive functioning and mathematics achievement. *Child Development Perspectives*, 8(1), 36-41.
- Bull, R. & Sherif, G. (2001). Executive functioning as predictor of childrens' mathematical ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 273-293.
- Carlson, S. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 28(2), 595-616.
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Experimental Educational Psychology*, 54, 1-22.
- Cattell, R. B., Weiss, R. H. & Osterland, J. (1997). *Grundintelligenztest Skala 1 (CFT 1)*, 5. Aufl. Göttingen: Hogrefe.
- Censabella, S. & Noel, M. P. (2005). The inhibition of exogenous distracting information in children with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 38(5), 400-410.
- Chevalier, N. & Blaye, A. (2008). Cognitive flexibility in preschoolers: the role of representation activation and maintenance. *Developmental Science*, 11(3), 339-353.
- Chiappe, P., Hasher, L. & Siegel, L. S. (2000). Working memory, inhibitory control, and reading disability. *Memory & Cognition*, 28(1), 8-17.
- Chiappe, M. C. & Siegel, L. S. (2000). Working memory, inhibitory control, and reading disability. *Memory & Cognition*, 28, 8-17.
- Christopher, M. E., Miyake, A., Keenan, J. M., Pennington, B., DeFries, J. C., Wadsworth, S. J. et al. (2012). Predicting word reading and comprehension with executive function and speed measures across development: A latent variable analysis. *Journal of Experimental Psychology*, 141(3), 470-488.
- Clark, C. A. C., Pritchard, V. E. & Woodward, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Developmental Psychology*, 46(5), 1176-1191.
- Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. In G. Underwood (Hrsg.), *Strategies of Information Processing* (S. 151-216). London: Academic Press.
- Danemann, M. & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 19, 450-466.
- Davidse, N. J., de Jong, M., Bus, A. G., Huijbregts, S. C. J. & Swaab, H. (2011). Cognitive and environmental predictors of early literacy skills. *Reading and Writing*, 24(4), 395-412.
- 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.

- de Jong, C. G. W., van de Voorde, S., Roeyers, H., Raymakers, R., Oosterlaan, J. & Sergeant, J. A. (2009). How distinctive are Adhs and RD? Results of a double dissociation study. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 37(7), 1007-1017.
- de Werdt, F., Desoete, A. & Roeyers, H. (2013). Behavioral inhibition in children with learning disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, 24, 1998-2007.
- de Smedt, B., Taylor, J., Archibald, L. & Ansari, D. (2010). How is phonological processing related to individual differences in children's arithmetic skills? *Developmental Science*, 13(3), 508-520.
- Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Hrsg.), *Principles of Frontal Lobe Function* (S. 466 - 503). London: Oxford University Press.
- Diamond, A. (2006). The early development of executive functions. In E. Bialystock & F.I.M. Craik (Hrsg.), *The early development of executive functions. Lifespan cognition: Mechanism of change* (S.70-95). Oxford, England: Oxford University Press.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *The Annual Review of Psychology*, 64(1), 35-68.
- Dirks, E., Spyer, G., van Lieshout, E. C. D. M. & de Sonnevill, L. (2008). Prevalence of combined reading and arithmetic disabilities. *Journal of learning disabilities*, 41(5), 460-473.
- Döpfner, M., Görtz-Dorten, A., Lehmkuhl, G., Breuer, D. & Goletz, H. (2008). *Diagnostik-System für psychische Störungen nach ICD-10 und DSM-IV für Kinder und Jugendliche - II (DISYPS)*. Göttingen: Verlag Hans Huber.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P. et al. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428-1446.
- Drechsler, R. (2007). Exekutive Funktionen. Übersicht und Taxonomie. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 18(3), 233-248.
- Ehmke, T. & Jude, N. (2010). Soziale Herkunft und Kompetenzerwerb. In E. Klieme, C. Artelt, J. Hartig, N. Jude, O. Köller, M. Prenzel, W. Schneider & P. Stanat (Hrsg.), *PISA 2009. Bilanz nach einem Jahrzehnt* (S.231-25). Münster: Waxmann.
- Engle, R. W. & Kane, M. J. (2004). Executive attention, working memory capacity, and a two-factor theory of cognitive control. In B. Ross (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation, Vol. 44* (S. 145-199). New York: Elsevier.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E. & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term-memory and general fluid intelligence: A latent variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128, 309-331.
- Ennemoser, M., Krajewski, K. & Sinner, D. (in Druck). *Testverfahren zur Erfassung mathematischer Basiskompetenzen ab Schuleintritt (MBK 1)*. Göttingen: Hogrefe.
- Ennemoser, M., Marx, P., Weber, J. & Schneider, W. (2012). Spezifische Vorläuferfertigkeiten der Lesegeschwindigkeit, des Leseverständnisses und des Rechtschreibens. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 44(2), 53-67.

- Espy, K. A., McDiarmid, M. M., Cwik, M. F., Meade Stalets, M., Hamby, A. & Senn, T. E. (2004). The contribution of executive functions to emergent mathematic skills in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 26(1), 465–486.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS (3rd ed.)*. London: Sage.
- Fischbach, A., Schuchardt, K., Brandenburg, J., Kleszczewski, J., Balke-Melcher, C., Schmidt, C. et al. (2013). Prävalenz von Lernschwächen und Lernstörungen: Zur Bedeutung der Diagnosekriterien. *Lernen und Lernstörungen*, 2(2), 65-76.
- Foy, J. G. & Mann, V. A. (2013). Executive function and early reading skills. *Reading and Writing*, 26, 453-472.
- 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.
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. Are comparisons between developmental and acquired disorders meaningful? In K. E. Patterson, J. C. Marshall & M. Coltheart (Hrsg.), *Surface dyslexia* (S.301-330). London: Lawrence Erlbaum.
- Garon, N., Bryson, S. E. & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31-60.
- Gathercole, S. E. & Alloway, T. P. (2008). *Working Memory and Learning: A Practical Guide*. London: Sage.
- Gathercole, S. E., Alloway, T.P., Willis, C. & Adams, A.-M. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93, 265-281.
- Gathercole, S., Pickering, S., Ambridge, B. & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40, 177-190.
- Geary, D. C. (1993). Mathematical disabilities: Cognitive, Neuropsychological, and genetic components. *Psychological Bulletin*, 114(2), 345-362.
- Geary, D. C. (2005). Role of cognitive theory in the study of learning disability in mathematics. *Journal of Learning Disabilities*, 38, 305-307.
- Geary, D. C., Hamson, C. O. & Hoard, M. K. (2000). Numerical and arithmetical cognition: A longitudinal study of process and concet deficits in children with learning disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77, 236-263.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., Nugent, L. & Numtee, C. (2007). Cognitive mechanisms underlying achievement deficits in children with mathematical learning disability. *Child Development*, 78(4), 1343-1359.
- Gioia, G.A., Isquith, P. K., Guy, S. C. & Kenworthy, L. (2000). *Behavior Rating of Executive Function (BRIEF)*. Lutz, FL: Psychological Assessment Ressources.
- Goswami, U., Schneider, W. & Scheurich, B. (1999). Picture naming deficits in developmental dyslexia in german. *Developmental Science*, 2, 53-58.
- Goodman, R. (1997). The strengths and difficulties questionnaire: A research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 38, 581-586.

- Gough, P. B. & Tunmer, W. E. (1986). Decoding, reading, and reading disability. *Remedial and Special Education, 7*, 6-10.
- Grimm, H., Aktas, M. & Kießig, U. (2003). *Sprachscreening für das Vorschulalter: Kurzform des SETK 3-5 (SSV)*. Göttingen: Hogrefe.
- Grimm, H. & Schöler, H. (1991). *Heidelberger Sprachentwicklungstest (H-SET)*. Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M., Schumann-Hengsteler, R., Gronauer, J., Grube, D., Mähler, C., Schmid, I. et al. (2012). *Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren (AGTB 5-12)*. Göttingen: Hogrefe.
- 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 grade. *Journal of Experimental Child Psychology, 79*, 192-227.
- Hu, L. & Bentler, P. M. (1999). Cutoff-criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 6*(1), 1-55.
- Hughes, C., Ensor, R., Wilson, A. & Graham, A. (2010). Tracking executive function across transition to school: A latent variable approach. *Developmental Neuropsychology, 35*, 20-36.
- Hughes, C. & Graham, A. (2002). Measuring executive functions in childhood: Problems and solutions? *Child and Adolescents Mental Health, 7*(3), 131-142.
- 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*, 2017-2036.
- IBM/International Business Machines Corporation (2013). *IBM SPSS AMOS 21 [Computer Software]*. Armonk, NY.
- Isquith, P.K., Gioia, G.A. & Espy, K.A. (2004). Executive function in preschool children: Examination through everyday behavior. *Developmental Neuropsychology, 26*(1), 403-422.
- Jacobs, C. & Petermann, F. (2005). *Diagnostik von Rechenstörungen*. Göttingen: Hogrefe.
- Jansen, H., Mannhaupt, G., Marx, H. & Skowronek, H. (2002). *Bielefelder Screening zur Früherkennung von Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten (BISC)*. Göttingen: Hogrefe.
- Jeffries, S. & Everatt, J. (2004). Working memory: Its role in dyslexia and other specific learning difficulties. *Dyslexia, 10*, 196-214.
- Kirkham, N. Z., Cruess, L. & Diamond, A. (2003). Helping Children apply their knowledge to their behavior on a dimension-switching task. *Developmental Science, 6*(5), 449-476.
- Kline, P. (1997). *An easy guide to factor analysis*. London: Routledge.
- Knievel, J., Daseking, M. & Petermann, F. (2010). Kognitive Basiskompetenzen und ihr Einfluss auf die Rechtschreib- und Rechenleistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 42* (1), 15-25.

- Kolkman, M. E., Hoijsink, H. J. A., Kroesbergen, E. H. & Leseman, P. P. M. (2013). The role of executive functions in numerical magnitude skills. *Learning and Individual Differences, 24*, 145-151.
- Korkman, M., Kirk, U. & Kemp, S. (1998). *A Developmental Neuropsychological Assessment (NEPSY II)*. Administrative Manual. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
- Krajewski, K. (2003). *Vorhersage von Rechenschwäche in der Grundschule*. Hamburg: Kovač.
- Krajewski, K. (2007). Entwicklung und Förderung der vorschulischen Mengen-Zahlen-Kompetenz und ihre Bedeutung für die mathematischen Schulleistungen. In: G. Schulte-Körne (Hrsg.), *Legasthenie und Dyskalkulie: Aktuelle Entwicklungen in Wissenschaft, Schule und Gesellschaft* (S. 325-332). Bochum: Winkler.
- Krajewski, K. (2013). Wie bekommen Zahlen einen Sinn: Ein entwicklungspsychologisches Modell der zunehmenden Verknüpfung von Zahlen und Größen. In M. von Aster & J. H. Lorenz (Hrsg.), *Rechenstörungen bei Kindern: Neurowissenschaft, Psychologie, Pädagogik, 2.* überarb. Auflage (S. 155-179). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Krajewski, K. (in Druck). *Mathematische Basiskompetenzen im Kindergartenalter (MBK- 0)*. Göttingen: Hogrefe.
- Krajewski, K. & Ennemoser, M. (2013). Entwicklung und Diagnostik der Zahl-Größen-Verknüpfung zwischen 3 und 8 Jahren. In M. Hasselhorn, A. Heinze, W. Schneider & U. Trautwein (Hrsg.), *Diagnostik mathematischer Kompetenzen. Tests & Trends N.F. 11* (S.41-65). Göttingen: Hogrefe.
- Krajewski, K., Küspert, P. & Schneider, W. (2002). *Deutscher Mathematiktest für erste Klassen (DEMAT 1+)*. Göttingen: Beltz.
- Krajewski, K., Nieding, G. & Schneider, W. (2008). Kurz- und langfristige Effekte mathematischer Frühförderung im Kindergarten durch das Programm „Mengen, zählen, Zahlen“. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 40(3)*, 135-146.
- Krajewski, K. & Schneider, W. (2006). Mathematische Vorläuferfertigkeiten im Vorschulalter und ihre Vorhersagekraft für die Mathematikleistungen bis zum Ende der Grundschulzeit. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 53*, 246-262.
- Krajewski, K. & Schneider, W. (2009a). Early development of quantity to number-word linkage as a precursor of mathematical school achievement and mathematical difficulties: Findings from a four-year longitudinal study. *Learning and Instruction, 19*, 513-526.
- Krajewski, K. & Schneider, W. (2009b). Exploring the impact of phonological awareness, visual-spatial working memory, and preschool quantity-number competencies on mathematics achievement in elementary school: Findings from a 3-year-longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology, 103*, 516 – 531.
- Krajewski, K., Schneider, W. & Nieding, G. (2008). Zur Bedeutung von Arbeitsgedächtnis, Intelligenz, phonologischer Bewusstheit und früher Mengen-Zahlen-Kompetenz beim Übergang vom Kindergarten in die Grundschule. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 55*, 100-113.

- Krajewski, K. Simanowski, S. & Greiner, N. (2013). *Impact of phonological awareness for larger versus smaller units of spoken language on numerical development*. Poster auf der Tagung der Society for Research in Child Development vom 18. bis 20. April 2014 in Seattle.
- Kroesbergen, E. H., van Luit, J. E. H., van Lieshout, E. C. D. M., van Loosbroek, E. & van de Rijt, B. A. M. (2009). Individual differences in early numeracy: The role of executive functions and subitizing. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 27(3), 226-236
- Küspert, P. (1998). *Phonologische Bewusstheit und Schriftspracherwerb: Zu den Effekten vorschulischer Förderung der phonologischen Bewusstheit auf den Erwerb des Lesens und Rechtschreibens*. Frankfurt: Lang.
- Küspert, P. & Schneider, W. (2001). *Hören, lauschen. lernen. Sprachspiele für Kinder im Vorschulalter. Würzburger Trainingsprogramm zur Vorbereitung auf den Erwerb der Schriftsprache*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- 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, 677-692.
- Landerl, K., Bevan, A. & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9-year-old students. *Cognition*, 93, 99-125.
- Landerl, K., Fussenegger, B., Moll, K. & Willburger, E. (2009). Dyslexia and dyscalculia: Two learning disorders with different cognitive profiles. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 309-324.
- Landerl, K. & Moll, K. (2010). Comorbidity of learning disorders: prevalence and familial transmission. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 51(3), 287-294.
- Landerl, K. & Wimmer, H. (2008). Development of word reading fluency and spelling in a consistent orthography: An 8-year follow-up. *Journal of Educational Psychology*, 100(1), 150-161.
- Lee, K., Ng, S. F., Lee Pe, M., 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, 82-99.
- LeFevre, J.-A., Berrigan, L., Vendetti, C., Kamawar, D., Bisanz, J., Skwarchuk, S.-L. et al. (2013). The role of executive attention in the acquisition of mathematical skills for children in grades 2 through 4. *Journal of Experimental Child Psychology*, 114, 243-261.
- Lehto, E., Juujärvi, P., Kooistra, L. & Piikinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21, 59-80.
- Lenhard, W. & Schneider, W. (2006). *Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler (ELFE)*. Göttingen: Hogrefe.
- Locascio, G., Mahone, E. M., Eason, S. H. & Cutting, L. E. (2010). Executive dysfunction among children with Reading Comprehension Deficits. *Journal of Learning Disabilities*, 43(5), 441-454.
- MacCallum, R. C., Zhang, S., Preacher, K. J. & Rucker, D. D. (2002). On the practice of dichotomization of quantitative variables. *Psychological Methods*, 7(1), 19-40.

- Mähler, C. & Schuchardt, K. (2011). Working memory in children with learning disabilities: Rethinking the criterion of discrepancy. *International Journal of Disability, Development, and Education*, 58, 5-17.
- Marx, H. (1992). *Vorhersage von Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten in Theorie und Anwendung*. Universität Bielefeld: Unveröffentlichte Habilitationsschrift.
- Marx, P. (2007). *Lese- und Rechtschreiberwerb*. Weinheim: UTB.
- Marx, H., Jansen, H. & Skowronek, H. (2000). Prognostische, differentielle und konkurrente Validität des Bielefelder Screenings zur Früherkennung von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten (BISC). In M. Hasselhorn, W. Schneider & H. Marx (Hrsg.), *Tests und Trends, N.F. Band 1, Diagnostik von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten* (S. 9-34). Göttingen: Hogrefe.
- Marx, P. & Lenhard, W. (2010). Diagnostische Merkmale von Screeningverfahren. In M. Hasselhorn & W. Schneider (Hrsg.), *Frühprognose schulischer Kompetenzen*. Göttingen: Hogrefe.
- Marx, H. & Weber, J. (2006). Vorschulische Vorhersage von Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten: Neue Befunde zur prognostischen Validität des Bielefelder Screenings (BISC). *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20, 251-259.
- Mazocco, M. M. M. & Kover, S. T. (2007). A longitudinal assessment of executive function skills and their association with math performance. *Child Neuropsychology*, 13, 18-45.
- McCabe, D.P., Roediger, H. L., McDaniel, M. A., Balota, D. A. & Hambrick, D. Z. (2010). The relationship between working memory capacity and executive functioning: Evidence for a common executive attention construct. *Neuropsychology*, 24 (2), 222-243.
- McClelland, M. M., Cameron, C. E., McDonald Connor, C., Farris, C. L., Jewkes, A. M. & Morrison, F. J. (2007). Links between behavioral regulation and preschoolers' literacy, vocabulary, and math skills. *Developmental Psychology*, 42(4), 947-959.
- Miller, M. R., Müller, U., Giesbrecht, G. F., Carpendale, J. I. M. & Kerns, K. A. (2013). The contribution of executive function and social understanding to preschoolers' letter and math skills. *Cognitive Development*, 28(4). 331-400.
- Milner, B. (1971). Interhemisphere differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin*, 27, 272-277.
- Milner, B. (1982). Some cognitive effects of frontal-lobe lesions in man. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 298 (1089), 211-226.
- 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 lobes" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- 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, 158-173.

- Morris, R. D. (2001). Relationships and distinctions among the concepts of attention, memory, and executive function. In G.R. Lyon & N.A. Krasnegor (Hrsg.), *Attention, memory, and executive function* (S.11-16). Baltimore, US: Paul Brookes Publishing.
- Morton, J. B. & Munakata, Y. (2002). Active versus latent representations: A neural network of perseveration, dissociation, and decalage. *Developmental Psychobiology*, *40*(3), 197-343.
- Munakata, Y., Herd, S. A., Chatham, C. H., Depue, B. E., Banich, M. T. & O'Reilly, R. C. (2011). A unified framework for inhibitory control. *Trends in Cognitive Sciences*, *15*(10), 453-459.
- Munakata, Y., Snyder, H. R. & Chatham, C. H. (2012). Developing cognitive control. *Current Directions in Psychological Science*, *21*(2), 71-77.
- Muter, V., Hulme, C., Snowling, M. J. & Stevenson, J. (2004). Phonemes, rimes and language skills as foundations of early reading development: Evidence from a longitudinal study. *Developmental Psychology*, *40*, 663-681.
- 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*, 580-588.
- Neuenschwander, R., Röthlisberger, M., Cimeli, P. & Roebbers, C.M. (2012). How do different aspects of self-regulation predict successful adaptation to school? *Journal of Experimental Child Psychology*, *113*, 353-371.
- Nevo, E. & Breznitz, Z. (2013). The development of working memory from kindergarten to first grade in children with different decoding skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, *114*, 217-228.
- Nigg, J.T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, *126*(2), 220-246.
- Norman, D. & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz & D. Shapiro (Hrsg.), *Consciousness and self-regulation, Vol. 4* (S. 1-18). New York: Plenum Press.
- 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.
- Passolunghi, M. C. & Siegel, L. S. (2004). Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology*, *88*, 348-367.
- Pauly, H., Linkersdörfer, J., Lindberg, S., Woerner, W., Hasselhorn, M. & Lonnemann, J. (2011). Domain-specific rapid automatized naming deficits in children at risk for learning deficits. *Journal of Neurolinguistics*, *24*, 602-610.
- Pennington, B. F. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, *101*, 385-413.
- Petermann, F. & Lipsius, M. (2009). *Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence - III, deutsche Version (WPPSI-III)*. Frankfurt: Pearson Assessment.

- Petermann, U. & Petermann, F. (2013). *Lehrereinschätzliste (LSL)*. Göttingen: Hogrefe.
- Posner, M. & Rothbart, M. (1998). Attention, self-regulation and consciousness. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 353, 1915-1927.
- Reiter, A., Tucha, O., & Lange, K. W. (2005). Executive functions in children with dyslexia. *Dyslexia*, 11(2), 116-131.
- Repovs, G. & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139, 5-21.
- Richland, L. E. & Burchinal, M. R. (2013). Early executive function predicts reasoning development. *Psychological Science*, 24(1), 87-92.
- Roebers, C. M., Cimeli, P., Röthlisberger, M. & Neuenschwander, R. (2012). Executive functioning, metacognition, and self-perceived competence in elementary school children: An explorative study on their interrelations and their role for school achievement. *Metacognition & Learning*, 7, 151-173.
- Roebers, C. M., Röthlisberger, M., Cimeli, P., Michel, E. & Neuenschwander, R. (2011). School enrolment and executive functioning: A longitudinal perspective on developmental changes, the influence of learning context and the prediction of pre-academic skills. *European Journal of Developmental Psychology*, 8(5), 526-540.
- Röthlisberger, M., Neuenschwander, R., Michel, E. & Roebers, C.M. (2010). Exekutive Funktionen: Zugrunde liegende kognitive Prozesse und deren Korrelate bei Kindern im späten Vorschulalter. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 42(2), 99-110.
- Roth, E. (1999). *Prävention von Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten*. Frankfurt: Lang.
- Rothbart, M. & Posner, M. (2001). Mechanism and variation in the development of attentional networks. In C. Nelson & M. Luciana (Hrsg.), *Handbook of Developmental Cognitive Neuroscience* (S. 353-363), Cambridge, MA: MIT Press.
- Salthouse, T.A. (2005). Relations between cognitive abilities and measures of executive functioning. *Neuropsychology*, 19, 532-545.
- Schatschneider, C., Fletcher, J. M., Francis, D. J., Carlson, C. D. & Foorman, B. R. (2004). Kindergarten prediction of reading skills: A longitudinal comparative analysis. *Journal of Educational Psychology*, 96(2), 265-282.
- Schatschneider, C. & Torgesen, J.K. (2004). Using our current understanding of dyslexia to support early identification and intervention. *Journal of Child Neurology*, 19, 759-765.
- Scheerer-Neumann, G. (1987). Ein Entwicklungsmodell zur Analyse der Rechtschreibschwäche. In L. Dummer-Smoch (Hrsg.), *Legasthenie - Bericht über den Fachkongreß 1986* (S. 205-223). Hannover: Bundesverband Legasthenie.
- Schmid, J. M., Labuhn, A. S. & Hasselhorn, M. (2011). Response inhibition and its relationship to phonological processing in children with and without dyslexia. *International Journal of Disability Development and Education*, 58, 19-32.
- Schmid, C., Zoelch, C. & Roebers, C. M. (2008). Das Arbeitsgedächtnis von 4- bis 5-jährigen Kindern. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 40(1), 2-12.

- Schmiedeck, F., Hildebrandt, A., Lövdén, M., Wilhelm, O. & Lindenberger, U. (2009). Complex span versus updating tasks of working memory: The gap is not that deep. *Journal of Experimental Psychology*, 35(4), 1089-1096.
- Schneider, W., Blanke, I., Faust, V. & Küspert, P. (2011). *Würzburger Leise Leseprobe - Revision (WLLP-R)*. Göttingen: Hogrefe.
- Schneider, W. & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing I: Detection, search & attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- Schuchardt, K., Kunze, J., Grube, D. & Hasselhorn, M. (2006). Arbeitsgedächtnisdefizite bei Kindern mit schwachen Rechen- und Schriftsprachleistungen. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 20(4), 261-268.
- Schuchardt, K. & Mähler, C. (2010). Unterscheiden sich Subgruppen rechengestörter Kinder in ihrer Arbeitsgedächtniskapazität, im basalen arithmetischen Faktenwissen und in den numerischen Basiskompetenzen? *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 42(4), 217-225.
- Schuchardt, K., Mähler, C. & Hasselhorn, M. (2008). Working memory deficits in children with different learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 41, 514-523.
- Schwenck, C. & Schneider, W. (2003). Der Zusammenhang von Rechen- und Schriftsprachkompetenz im frühen Grundschulalter. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie*, 17(3/4), 261-267.
- 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.
- Shaul, S. & Swartz, M. (2014). The role of executive functions in school readiness among preschool-age children. *Reading and Writing*, 27, 749-768.
- Simanowski, S., Greiner, N. & Krajewski, K. (2011). *Der Einfluss der phonologischen Bewusstheit im weiteren Sinne auf frühe Mengen-Zahlen-Kompetenzen*. Poster auf der 20. Tagung der Fachgruppe Entwicklungspsychologie vom 12.-14. September in Erfurt.
- Simmons, F. R., Willis, C. & Adams, A. M. (2012). Different components of working memory have different relationships with different mathematical skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111, 139-155.
- Sinner, D. (2011). *Prävention von Rechenschwäche durch ein Training mathematischer Basiskompetenzen in der ersten Klasse*. Unveröffentlichte Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen. <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2011/8198/>
- Skowronek, H. & Marks, H. (1989). The Bielefeld longitudinal study on early identification of risks in learning to write and read: Theoretical background and first results. In M. Brambring, F. Lösel & H. Skowronek (Eds.), *Children at risk: Assessment, longitudinal research, and intervention* (pp. 268-294). New York: De Gruyter.
- Smith, E.E. & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283, 1657-1661.
- Spearman, Ch. (1927). *The abilities of man*. London: MacMillan.

- Stanat, P., Rauch, D. & Segeritz, M. (2010). Schülerinnen und Schüler mit Migrationshintergrund. In E. Klieme, C. Artelt, J. Hartig, N. Jude, O. Köller, M. Prenzel, W. Schneider & P. Stanat (Hrsg.), *PISA 2009. Bilanz nach einem Jahrzehnt* (S. 199-230). Münster: Waxmann.
- 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.
- Stock, C. & Schneider, W. (2008). *Deutscher Rechtschreibtest für das erste und zweite Schuljahr (DERET 1-2+)*. Göttingen: Hogrefe.
- Stock, P., Desoete, A. & Roeyers, H. (2009). Predicting arithmetic abilities. The role of preparatory arithmetic markers and intelligence. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 27(3), 237-251.
- Swanson, H. L., Zheng, X. & Jerman, O. (2009). Working memory, short-term memory, and reading disabilities. A selective meta-analysis of the literature. *Journal of Learning Disabilities*, 42(3), 260-287.
- Thurstone, L.L. (1924). *The nature of intelligence*. London: Kegan Paul, Trench, Trubner & Co.
- Toll, S. W. M., van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H. & van Luit, J. E. H. (2011). Executive functions as predictors of math learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 44(6), 521-532.
- Torgesen, J.K., Wagner, R.K., Rashotte, C.A., Burgess, S. & Hecht, S. (1997). Contributions of phonological awareness and rapid automatized naming ability to growth of word-reading skills in second- to fifth-grade children. *Scientific Studies of Reading*, 1, 161-185.
- 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, 239-266.
- van der Sluis, S., van der Leij, A. & de Jong, P.F. (2005). Working memory in dutch children with reading- and arithmetic-related LD. *Journal of Learning Disabilities*, 38(3), 207-221.
- 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, 427-449.
- van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., Boom, J. & Leseman, P. P. M. (2012). The development of executive functions and early mathematics: A dynamic relationship. *British Journal of Educational Psychology*, 82, 100-119.
- von Aster, M., Schweiter, M. & Weinhold Zulauf, M. (2007). Rechenstörungen bei Kindern. Vorläufer, Prävalenz und psychische Symptome. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 39(2), 85-96.
- von Goldammer, A., Mähler, C., Bockmann, A.-K. & Hasselhorn, M. (2010). Vorhersage früher Schriftsprachleistungen aus vorschulischen Kompetenzen der Sprache und der phonologischen Informationsverarbeitung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 42(1), 48-56.
- Wagner, R. & Torgesen, J. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 101, 192-212.

- 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), 43-53.
- Welsh, M.C., Pennington, B.F. & Groisser, D.B. (1991). A normative-developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology, 7*, 131-149.
- West, S. G., Finch, J. F. & Curran, P. J. (1995). Structural equations models with nonnormal variables: Problems and remedies. In R.H. Hoyle (Ed.), *Structural equation modeling: Concepts, issues, and applications*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Wiebe, S. A., Espy, K. & Charak, D. (2008). Using confirmatory factor analysis to understand executive control in preschool children: I. Latent structure. *Developmental Psychology, 44*(2), 575-589.
- Wiebe, S. A., Sheffield, T., Mize Nelson, J., Clark, C. A. C., Chevalier, N. & Espy, K. A. (2011). The structure of executive functions in 3-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology, 108*, 436-452.
- Wilhem, O., Hildebrandt, A. & Oberauer, K. (2013). What is working memory capacity, and how can we measure it? *Frontiers in Psychology, 4*, 1-22.
- Willburger, E., Fussenegger, B., Moll, K., Wood, G. & Landerl, K. (2008). Naming speed in dyslexia and dyscalculia. *Learning and Individual Differences, 18*, 224-236.
- Wimmer, H. & Mayringer, H. (2002). Dysfluent reading in the absence of spelling difficulties: A specific disability in regular orthographies. *Journal of Educational Psychology, 94*, 272-277.
- Yeniad, N., Malda, M., Mesman, J., Van Ijzendoorn, M. H. & Pieper, S. (2013). Shifting ability predicts math and reading performance in children: A meta-analytical study. *Learning and Individual Differences, 23*, 1-9.
- Zelazo, P. D. (2006). The dimensional change card sort (DCCS): A method of assessing executive function in children. *Nature Protocols, 1*, 297-301.
- Zelazo, P. D. & Müller, U. (2002). Executive function in typical and atypical development. In U. Goswami (Ed.), *Handbook of childhood cognitive development* (S. 445-469). Oxford, England: Blackwell.
- Zelazo, P.D., Muller, U., Frye, D. & Marcowitch, S. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 68*(3), Serial No. 274
- Zentner, M. (2011). *Inventar zur integrativen Erfassung des Kind-Temperaments (IKT)*. Bern: Verlag Hans Huber.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1. Automatisierte und bewusste Handlungskontrolle durch Contention Scheduling und das Supervisory Attention System	13
Abbildung 2. Drei- vs. zweifaktorielles Modell exekutiver Funktionen.....	74
Abbildung 3. Strukturgleichungsmodell zur Vorhersage von Zahlverständnis und Rechenperformanz in der 1. Klasse	76
Abbildung 4. Strukturgleichungsmodell 1: Einfluss exekutiver Funktionen auf die Lesegeschwindigkeit, das Leseverständnis und die Rechtschreibleistung.....	116
Abbildung 5. Strukturgleichungsmodell 2: Einfluss exekutiver Funktionen auf die phonologische Bewusstheit, die Lesegeschwindigkeit, das Leseverständnis und die Rechtschreibleistung.....	117
Abbildung 6. Strukturgleichungsmodell 3: Einfluss exekutiver Funktionen und relevanter Prädiktoren auf schriftsprachliche Leistungen	119
Abbildung 7. Mögliche kombinierter Lese- und Rechenschwäche zugrunde liegende neurobiologische Pfade	137
Abbildung 8. Kognitive Profile von Kindern mit verschiedenen Lernschwächen	171
Abbildung 9. Vierfelderschema	181

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: <i>Eingesetzte Testverfahren zur Erfassung exekutiver Funktionen</i>	70
Tabelle 2: <i>Exekutive Funktionen und Mathematik: Mittelwerte, Standardabweichungen und Minimum/Maximum der Testverfahren</i>	73
Tabelle 3: <i>Korrelationen zwischen den im Kindergarten erfassten Prädiktoren, Zahlverständnis und Rechenperformanz in der ersten Klasse sowie Faktorladungen im Strukturgleichungsmodell</i>	75
Tabelle 4: <i>Exekutive Funktionen und Schriftsprache: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minimum/Maximum und Verteilung der Testverfahren</i>	109
Tabelle 5: <i>Exekutive Funktionen und Schriftsprache: Spearman-Korrelationen zwischen den Prädiktoren</i>	110
Tabelle 6: <i>Spearman-Korrelationen zwischen den im Kindergarten erfassten Prädiktoren, Lesegeschwindigkeit, Leseverständnis und Rechtschreibung in der ersten Klasse</i>	112
Tabelle 7: <i>Fit-Indizes der drei Strukturgleichungsmodelle zum Einfluss exekutiver Funktionen auf schrift-sprachliche Leistungen</i>	114
Tabelle 8: <i>Exekutive Funktionen und Schriftsprache: Faktorladungen in den Strukturgleichungsmodellen</i>	115
Tabelle 9: <i>Häufigkeitsverteilung verschiedener schwacher Schulleistungen in der ersten Klasse unter Ausschluss von Kindern mit unterdurchschnittlicher Intelligenz und ADHS-Symptomatik (N=184)</i>	163
Tabelle 10: <i>Mittelwerte, Standardabweichungen und Prüfgrößen der Kruskal-Wallis-Teststatistik der Schulleistungstests bei Klassifikation durch Leistungen $PR < 35$</i>	166
Tabelle 11: <i>Mittelwerte, Standardabweichungen und Prüfgrößen der Kruskal-Wallis-Teststatistik für Schulleistungsprädiktoren (z-transformierte Werte)</i>	169
Tabelle 12: <i>Häufigkeiten unterschiedlich kombinierter Lernschwächen</i>	172

Tabelle 13: <i>Mittelwerte, Standardabweichungen und Prüfgrößen der Mann-Whitney-Teststatistik für schriftsprachliche und mathematische Schulleistungsprädiktoren bei Kindern mit kombinierten und Kindern ohne Lernschwächen</i>	176
Tabelle 14: <i>Mittelwerte, Standardabweichungen und Prüfgrößen der Mann-Whitney-Teststatistik für die exekutiven Funktionen bei Kindern mit kombinierten Lernschwächen und Kindern ohne Lernschwächen</i>	179
Tabelle 15: <i>Klassifikationsgüte von Risikofaktoren für kombinierte Lernschwächen vs. keine Lernschwächen</i>	182
Tabelle 16: χ^2 - <i>Teststatistik zur Prüfung des Zusammenhangs kombinierter Lernschwächen (ja/nein) und Risikofaktor (vorhanden/nicht vorhanden) und deren Effektstärke</i>	189

ANHANG

Tabelle 17: *Testverfahren zur Erfassung exekutiver Funktionen*

Tabelle 18: *Strukturmodelle exekutiver Funktionen*

Tabelle 19: *Übersicht: Einfluss exekutiver Funktionen auf numerische Kompetenzen*

Tabelle 20: *Korrelationen innerhalb der Leistungsmaße exekutiver Funktionen*

Tabelle 21: *Übersicht: Einfluss exekutiver Funktionen auf schriftsprachliche Kompetenzen*

Tabelle 22: *Übersicht: Exekutive Funktionen und Lernschwächen*

Tabelle 23: *Mittelwerte, Standardabweichungen, Verteilungsmaße und -prüfung und Cut-off-Werte der Prädiktoren und Schulleistungstests (ausgeschlossen wurden Kinder mit einer Intelligenztestleistung $PR < 16$ und bei Vorliegen einer ADHS-Symptomatik).*

Tabelle 24: *Post-hoc-Analysen der Mittelwertunterschiede in den Schulleistungstests (Klassifikationskriterium $PR < 35$)*

Tabelle 25: *Post-hoc-Analysen der Mittelwertunterschiede in den Schulleistungsprädiktoren*

Tabelle 17:

Testverfahren zur Erfassung exekutiver Funktionen

Name des Testverfahrens	Zur Erfassung welcher exekutiven Funktion eingesetzt?	Beschreibung des Testverfahrens	In welcher Altersgruppe wird das Verfahren eingesetzt?	Eingesetzt z.B. in der Studie von:
Inhibition				
Anti-Sakkaden-Aufgabe	Inhibition	Der Proband muss den Reflex, zu einem auftauchenden Stimulus in der Peripherie zu schauen, unterdrücken und stattdessen in die Gegenrichtung schauen.	8-25	Diamond (2002)
Directed forgetting Paradigma	Inhibition	Proband muss Wörterliste lesen. Anschließend soll diese Liste vergessen werden → inhibieren („Diente nur der Übung.“) und ein zweite Liste wird gelesen. Anschließend sollen die Wörter der ersten Liste wiedergegeben werden. Die Probanden sollten sich kaum aktiv erinnern, da die Wörter aus dem Arbeitsgedächtnis gelöscht wurden, können aber in der zweiten Liste Wörter der ersten wiedererkennen.	k.A.	Nigg (2000)
Farb-Stroop	Inhibition	Inkongruente Farbe eines Farbwortes (Wort „Grün“ mit roter Farbe geschrieben, richtige Antwort = „Rot“)	9-12	Van der Sluis et al. (2007)
Flanker-Aufgabe	Inhibition	Die Blickrichtung eines auf dem Bildschirm erscheinenden Fisches muss mit Tastendrucke (rechts, links) angegeben werden. Als Distraktoren dienen zwei weitere Fische, die in eine andere Richtung schauen.	6	Lee et al. (2012)
Go-No-Go	Inhibition	Testperson muss immer auf abgebildeten Fisch mit Tastendruck reagieren. Diese gelernte Reaktion muss im Inhibitionsdurchgang bei Erscheinen eines Hais aber unterdrückt werden.	3	Wiebe et al. (2011)
Grass-Snow	Inhibition	Bei dem Wort „Gras“ soll auf ein weißes Feld, bei dem Wort „Schnee“ auf ein grünes Feldedeutet werden.	3-5	Carlson (2005)
Handaufgabe/ Knock-and-tap	Inhibition	Kind muss nach Handbewegung des Testleiters mit entgegengesetzter Handbewegung reagieren (Testleiter: Faust → Kind: Finger zeigen und umgekehrt)	3-5	Carlson (2005)
Head-to-toes/ Head-toes-knees-shoulders	Inhibition	Der Testleiter macht eine Bewegung vor (z.B. an den Kopf tippen) und das Kind muss das Nachahmen inhibieren und stattdessen eine andere Bewegung (z.B. an die Zehen tippen) machen.	4	McClelland et al. (2007)

Objects-Inhibition	Inhibition	Kleine geometrische Form ist in größerer geometrischer Form integriert. Nur die kleine Form soll benannt werden.	4. & 5. Klasse	van der Sluis et al. (2004)
Peg-tapping	Inhibition	Testleiter klopft mit Stab 2x auf den Tisch, Kind darf als Reaktion nur 1x klopfen und umgekehrt	3-5	Blair & Razza (2007)
Quantity-Inhibition	Inhibition	Ein bis vier identische Ziffern erscheinen in einer Reihe. Diese Ziffer stimmt nicht mit der Anzahl der Ziffern in der Reihe überein. Statt der Ziffer muss die Anzahl der Ziffern genannt werden. Z.B. „222“ → richtige Antwort ist 3.	4. & 5. Klasse	van der Sluis et al. (2004)
Shape School	Inhibition	Die Farbe einer Cartoon-Figur muss benannt werden. Im Inhibitionsdurchgang jedoch nur noch, wenn die Figur ein glückliches Gesicht, nicht aber, wenn sie ein unglückliches Gesicht hat.	3	Wiebe et al. (2011)
Simon Says	Inhibition	Während der Testleiter alle Bewegungen ausführt, darf das Kind die vorgemachte Körperbewegung nur bei dem Zusatzkommando „Simon says“ durchführen, ansonsten muss die präpotente Bewegung unterdrückt werden	3-5	Carlson (2005)
Stop-Signal	Inhibition	Probanden müssen Wörter (z.B. Hund, Auto,...) schnellstmöglich als Tier oder Nicht-Tier kategorisieren. Nach einer ausreichend langen Übungsphase muss diese dann präpotente Reaktion bei einem hin und wieder erklingenden Summton unterlassen werden.	Erwachsene	Miyake et al. (2000)
Statue	Inhibition	Kinder müssen einer Statue gleich 75 Sekunden still stehen und nicht auf Distraktoren wie z.B. Geräusche oder ablenkendes Verhalten des Testleiters reagieren.	2-6	Wiebe, Espy & Charak (2008)
Stroop-Aufgabe (einfach)	Inhibition	Früchte und Gemüse werden falschfarbig dargeboten (z.B. blauer Salat) und die richtige Farbe (bei Salatbild: grün) muss genannt werden.	5-7	Röthlisberger et al. (2010)
Stroop-Aufgabe (komplexer)	Inhibition	Auf dem Bildschirm werden rote und blaue Smileys oben oder unten präsentiert; zunächst soll zunächst immer auf eine Farbe, bzw. anschließend auf eine Position auf dem Bildschirm reagiert werden. Im Inhibitionsdurchgang hingegen muss nur auf eine bestimmten Farbe aber nur bei gleichzeitiger Berücksichtigung einer bestimmten Position reagiert werden.	7-21	Huizinga, Dolan & van der Molen (2006)
Tag-Nacht-Aufgabe	Inhibition	Auf Präsentation einer Karte mit abgebildeter Sonne muss das Kind „Nacht“ sagen, auf die Karte mit abgebildetem Mond und Sternen „Tag“.	3-5	Carlson (2005)

Local-Global-Aufgabe	Shifting	Großes Vier- o. Dreieck (→Global) besteht aus vielen kleinen Vier- o. Dreiecken (→Local). Auf Hinweisziffer hin muss unregelmäßig abwechselnd entweder auf das Global- oder das Local-Merkmal reagiert werden	7-21	Huizinga, Dolan & van der Molen (2006)
Objects-Shifting	Shifting	In einer Form (Kreis, Dreieck, Viereck, Raute) erscheint eine Ziffer. Ist die Form gelb, muss die Ziffer benannt, ist die Form blau, so muss die Form benannt werden.	4. & 5. Klasse	van der Sluis et al. (2004)
Plus-Minus-Rechenaufgaben	Shifting	Zunächst muss der Proband auf einer Liste mit zweistelligen Zahlen zu jeder zweistelligen Zahl +3 rechnen, auf der anschließenden Liste -3 und auf der dritten Liste abwechselnd +3/-3.	Erwachsene	Miyake et al. (2000)
Trail Making/ Making Trails	Shifting	Ziffern und Buchstaben müssen in der Reihenfolge der Zahlwortfolge, bzw. des Alphabets verbunden werden, wobei sich Ziffer und Buchstabe abwechseln sollen (1-A-2-B -...)	1.-2. Klasse	Van der Ven et al. (2012), van der Sluis et al. (2007)
Shape School	Shifting	Nach Durchführung des Inhibition-Durchgangs: Bei Cartoon-Figuren mit Hut wird die Form des Umrisses, bei einer Figur ohne Hut die Farbe benannt.	4	Clark, Pritchard & Woodward (2010)
Updating/ Zentrale Exekutive/Working memory				
Corsiblock rückwärts	Arbeitsgedächtnis/Updating	Der Testleiter bewegt eine Figur auf einem Weg mit ansteigender Länge durch eine 9x9-Felder-Tafel. Das Kind muss den Weg in umgekehrter Reihenfolge nachgehen.	5-6	Monette, Bigras & Guay (2011)
Farbspanne rückwärts	Arbeitsgedächtnis/Updating	Sequenz von farbigen Kreisen wird präsentiert und Farbnamen müssen anschließend in umgekehrter Reihenfolge wiedergegeben werden.	5-7	Röthlisberger et al. (2010)
Keep track	Updating	Je drei Wörter aus verschiedenen Kategorien (hier Tiere, Farben, Kleidung, Länder, Sport) werden vermischt dargeboten (Serienlänge gesamt= 15 Wörter) und anschließend soll das jeweils letzte Wort jeder Kategorie genannt werden.	11-12	St Clair-Thompson und Gathercole (2006)
Komplexe Spanne	Zentrale Exekutive/Updating	Komplexe Spannen-Aufgaben erfordern Überwachen und Aktualisieren von Informationen im Arbeitsgedächtnis. Es gibt sie in verschiedenen Designs, beispielsweise als Listening Recall, s.u.	6-12	Lee et al. (2012)/ St Clair-Thompson und Gathercole (2006)/Miyake et al.(2000)

Letter Memory	Updating	Eine unterschiedlich lange Buchstaben-Sequenz (5, 7, 9 oder 11 Buchstaben lang im Wechsel) wird präsentiert und anschließend müssen die letzten vier Buchstaben erinnert und genannt werden.	11-12	St Clair-Thompson und Gathercole (2006)
Listening Recall	Updating/Arbeitsgedächtnis/Zentrale Exekutive	Kinder hören mehrere Sätze nacheinander und müssen nach jedem Satz entscheiden, ob der Inhalt wahr oder falsch ist. Am Ende der Serie muss das jeweils letzte Wort aller gehörten Sätze wiedergegeben werden.	6	Lee et al. (2012)
Mr. X	Zentrale Exekutive/Arbeitsgedächtnis	Zwei Figuren, davon ist eine die Zielfigur, halten jeweils einen Ball in einer Hand, wobei die zweite Figur in manchen Durchgängen rotiert ist. Das Kind muss entscheiden, ob die Zielfigur den Ball in derselben Hand hält, wie die andere Figur. Anschließend verschwinden beide Figuren vom Bildschirm und ein Kompass erscheint, auf dem das Kind anzeigen muss, wo der Ball war, den die Zielfigur gehalten hat.	5-6	Nevo & Bretznitz (2013)
n-back	Updating	Achtung: Unsere 2-back genannte Updating Aufgabe entspricht eher der Letter Memory/Pictoral Updating-Aufgabe! Klassischerweise sieht eine 2-back-Aufgabe wie folgt aus: Der Proband muss feststellen, ob das vorletzte gesehene Objekt (= 2-back) dem aktuellen Objekt entspricht. Gibt es auch in n-back.	Grundschule	Friso-van den Bos et al. (2013)
Odd-one-out	Zentrale Exekutive/Arbeitsgedächtnis	Non-verbale komplexe Spanne: Drei Objekte werden gezeigt, zwei davon haben eine Gemeinsamkeit, eines nicht („odd shape“), dieses muss schnell gezeigt werden. Im Anschluss an eine Sequenz solcher Darbietungen muss der Proband sich in korrekter Reihenfolge erinnern, wo sich die jeweiligen „odds“ befunden haben.	5-6	Nevo & Bretznitz (2013)
Pictorial Updating	Updating	Eine variierende Anzahl an Tierbildern wird nacheinander präsentiert (3-11 Tiere). Im Anschluss an die Präsentation müssen die letzten beiden/ die letzten vier Tiere der Serie genannt werden.	6	Lee et al. (2012)
Random-Generation	Updating/Inhibition	Der Proband muss z.B. Zahlen/Buchstaben in zufälliger Reihenfolge nennen, also nicht in der Zahlwortfolge oder rückwärts oder mehrfach die gleichen Zahlen/Buchstaben nacheinander.	Grundschule	Friso-van den Bos et al. (2013)
Rückwärtsspanne	Arbeitsgedächtnis/Updating	Sequenzen in ansteigender Länge von Zahlwörtern oder Farben sollen in rückwärtiger Reihenfolge erinnert werden.	3-5	Schmid, Zoelch & Roebbers, 2008

Running Memory	Arbeitsgedächtnis/ Updating	Verschiedene Bildpaare (Tier und Frucht) werden präsentiert. Nach verschieden vielen Bildpaaren muss die Testperson über Tastendruck entscheiden, ob das aktuelle Bildpaar (z.B. Apfel-Affe) schon einmal so vorgekommen ist oder nicht (z.B. Apfel-Katze).	7-21	Huizinga, Dolan & van der Molen (2006)
Six Boxes	Arbeitsgedächtnis/ Updating	Sechs Kästchen in unterschiedlicher Farbe werden teilweise mit Figuren gefüllt. Das Kind muss die Figuren finden, darf pro Versuch aber nur ein Kästchen öffnen, nach jedem Versuch werden die Kästchen neu vermischt.	2-6	Wiebe, Espy & Charak (2008)
Wortspanne rückwärts	Arbeitsgedächtnis/ Updating	Eine ansteigende Sequenz an Wörtern wird genannt und muss anschließend in umgekehrter Reihenfolge wiedergegeben werden.	5-6	Monette, Bigras & Guay (2011)
Zahlenspanne rückwärts	Arbeitsgedächtnis/ Updating	Eine ansteigende Sequenz an Zahlen wird genannt und muss anschließend in umgekehrter Reihenfolge wiedergegeben werden.	3-5	Carlson (2005)
Komplexe Aufgaben/ als Indikator für verschiedene exekutive Funktionen verwendet				
Auditory Attention and Response Set B	Eingesetzt zur Erfassung von Arbeitsgedächtnis; in anderen Untersuchungen aber auch als Shifting-Maß	Beim Anhören einer gesprochenen Wortliste muss der Proband im Teil 1 immer auf das Wort „rot“ reagieren und ein rotes Plättchen vom Tisch aufnehmen. In Teil 2 muss das Kind bei „rot“ ein gelbes Plättchen, bei „gelb“ ein rotes und bei „blau“ ein blaues Plättchen aufnehmen.	8-13	Lehto et al. (2003)
Continuous Performance	Eingesetzt zur Erfassung des Arbeitsgedächtnisses, in anderen Studien aber zur Erfassung dauerhafter Aufmerksamkeit	Die Testperson muss über die Dauer von 5 Minuten auf einen selten auftretenden Zielreiz mit Knopfdruck reagieren. Beispielsweise werden verschiedene Tiere (Pferd, Kuh, Katze) gezeigt, aber nur auf ein Zieltier (z.B. Hund) muss reagiert werden.	3-5	Miller, Müller, Giesbrecht, Carpendale & Kerns (2013)
Dual-task	Zentrale Exekutive	Gleichzeitig zur Wiederholung von vorwärtigen Zahlenspanne muss mit unterschiedlichem Tastendruck schnellstmöglich auf am Bildschirm visuell dargebotener Pfeilrichtungen reagiert werden	8-10	Wang & Gathercole (2013)

Objects-Inhibition-Shifting	Inhibition & Shifting	Kleine geometrische Form ist in größerer geometrischer Form integriert. (Da nur eine der beiden Formen benannt wird, muss das Benennen der anderen Form, besonders im Fall der Großen, inhibiert werden). Ist die Form gelb, muss die innere kleine Form benannt, ist die Form blau, muss die äußere große Form benannt werden.	4. & 5. Klasse	van der Sluis et al. (2004)
Turm von Hanoi	Planning	Drei unterschiedlich große Scheiben müssen von einer Start- zu einer Zielposition gebracht werden. Dabei darf a) immer nur eine Scheibe bewegt und b) keine größere auf eine kleinere Scheibe gesetzt werden.	3-5	Miller, Müller, Giesbrecht, Carpendale & Kerns (2013)
Turm von London	Eingesetzt zur Erfassung von Inhibition; in anderen Untersuchungen aber auch als Indikator komplexer EF	Ähnlich der Tower of Hanoi-Aufgabe: Allerdings wird zusätzlich vorgegeben, in wie vielen Zügen ein Zielzustand/-position erreicht sein muss.	8-13	Lehto et al. (2003)

Tabelle 18:

Strukturmodelle exekutiver Funktionen

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	Erfasste Variablen	Auswertungsmethode	Ergebnisse	Bemerkungen
Wiebe et al. (2011)	3	228	Q (Start eines L)	- Arbeitsgedächtnis (Nine Boxes, Nebraska Barnyard, Delayed Alternation) - Inhibition (Go/No-go, Stroop, Shape School Inhibition, Snack Delay) - Shifting zwar erfasst, ging aber nicht in die Auswertung ein, weil Bodeneffekte	CFA, Nested models (SES)	1 Faktor	- Shifting kann laut Autoren noch nicht erfasst werden
Wiebe, Espy & Charak (2008)	2-6	243	Q	- 7 Aufgaben für Inhibition (Delayed Response, Whisper Task (ausgeschlossen, weil Deckeneffekt), Statue, Visual Attention (nur Zielobjekt, nicht Distraktor einkreisen), Shape School Inhibition, Turm zu Hanoi, Continuous Performance Task), - 3 Aufgaben für Working Memory (Delayed Alternation, Six Boxes, Zahlenspanne (→ loop!))	CFA, Nested models (SES, Geschlecht)	1 Faktor („exekutive Kontrolle“)	- Inhibitionsaufgaben z.T. komplex (Turm von Hanoi!) - Shifting geht nicht ein - Keine Unterschiede im Modell bei Berücksichtigung von Geschlecht und SES
Miller, Müller, Giesbrecht, Carpendale & Kerns (2013)	3-5	129	Q	- Inhibition (Go/No-go, Tower of Hanoi, Falsche Antworten bei Continuous Performance Task CPT) - Working memory/ZE (Ziffern und Wortspanne rückwärts, visuell-räuml. Six-Boxes-Aufgabe, CPT)	CFA, SGM	- CFA ergibt 2 Faktoren: WM und Inhibition, die mit r = .56 korrelieren	- kein Shifting erfasst!
Senn, Espy & Kaufmann (2004)	2;8-6;0	117	Q	- Working Memory (Delayed Alternation) - Inhibition (Shape School Inhibition) - Shifting (Spatial Reversal - Belohnung wird abwechselnd in versch. Schachteln versteckt, Suche muss variiert werden) - Tower of Hanoi = komplexe EF	Pfadanalyse, nested models	- 2 Faktoren: AG und Inhibition sagen ToH vorher, AG und Inhibition korrelieren (.27) -<4 Jahre ist die Inhibition der stärkere Prädiktor für Turm zu Hanoi ->4 Jahre AG Prädiktor für Turm zu Hanoi -Shifting noch unwichtig für Turm zu Hanoi	- nur ein Maß pro EF → starker Einfluss des Messfehlers - kleine Gruppe für Altersvergleich
Hughes, Ensor, Wilson & Graham (2010)	4. L1-1. Klasse	191	L (2 MZP)	Inhibition (Tag-Nacht-Aufgabe), Arbeitsgedächtnis/vis.-räuml. Notizblock (Perlenkette nachfädeln), Planning (Tower of London) Kontrolle von SES, Geschlecht, Wortschatz	CFA Growth Curve Analysis	1 Faktor	- nur 1 Aufgabe pro EF - kein Shifting -AG-Aufgabe nur räumlich-visueller Notizblock, keine zentrale Exekutive/Updating - komplexe Aufgabe Turm von London vermischt versch. Fähigkeiten

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	Erfasste Variablen	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Lee, Ng, Pe, Ang, Hasshim, & Bull (2012)	6 Jahre	163	Q	- 3 Tests zu Updating (Listening Recall Span, Mister X, Sequenz mit Tierbildern) - 3 Tests zu Inhibition und Shifting: wurden mit demselben Aufgabenmaterial, aber veränderter Aufgabestellung erfasst	CFA	- CFA ergibt zweifaktorielle Struktur: Inhibition + Shifting und Updating	- Zweifaktorielle EF-Struktur
Van der Ven, Kroesbergen, Boom & Lesemann (2012)	1.-2. Klasse	211	L (4 MZP)	- Inhibition (Animal Stroop, Local-global, Simon says) - Shifting (Animal Shifting, Making Trails, Karten sortieren) - Updating (Zahlenspanne rückwärts, Odd one out, Keep track)	CFA	2 Faktoren (Updating & gemeinsam auf einem Faktor ladend Inhibition & Shifting)	- gut: recht umfangreiche Testbatterie - niedrige Korrelationen innerhalb der einzelnen EF (z.B. Updating $r = .22-.33$)
Lehto, Juujärvi, Kooistra & Pulkkinen (2003)	8-13	108	Q	Trail Making, Auditory Attention and Response Set, räumliche Spanne wie Corsi block, Komplexe Spanne: Räumliche Suche mit Unterlassen der Suche an bereits getätigten Suchorten, Turm zu London, Matching Familiar Figures - identische Zielfigur unter sechs Antwortmöglichkeiten finden, Wortflüssigkeit, Labyrinth → keine vorige Zuordnung, welcher Test, welche EF messen soll! - Kontrolle Alter, IQ fluid & kristallin	EFA, CFA	- 3 separate Faktoren, die aber recht hoch miteinander korrelieren ($r = .63$): AG, Inhibition, Shifting - IQ korreliert signifikant mit allen EF	- Tests werden nicht unterschieden in basale/komplexe EF - Testzuordnung nicht einleuchtend (Inhibition: Tower of London, Matching Familiar Figures; WM: Auditory Attention and Response Set, Räumliche Spanne, Komplexe Spanne, Labyrinth; Shifting: Wortflüssigkeit, Trail Making) - kleine Gruppen für Altersvergleich
Van der Sluis, de Jong & van der Leij (2007)	9-12	172	Q	Mehrere Aufgaben je EF + jeweilige Kontrollversion (ohne EF-Anspruch → Naming): Inhibition (Inhibition von Mengen, Objekten, Zifferngröße, Farb-Stroop) - Shifting (Wechseln zwischen Ziffer-/Ziffernbenennung, Wechseln zwischen Ziffer-/Buchstabenbenennung, Benennen von Ziffer/Buchstabe je nach räumlicher Position) - Updating (Keep track, Letter/Digit Memory) - IQ	CFA	- 2 Faktoren (Updating & Shifting), kein Inhibitionsfaktor, aber ein starker Kontrollfaktor „Naming-Schnelles Benennen“) klärt bei weitem die meiste Varianz auf - Die Korr. zwischen Shifting und Updating geht zurück, wenn Naming mit berücksichtigt wird, d.h. gemeinsame Varianz kann durch Schnelles Benennen erklärt werden	- Vielfalt interessanter Testverfahren für - Schlechte Faktorladungen für Updating & Shifting (.15 - .70)
Huizinga, Dolan & van der Molen (2006)	7-21 (4 Gruppen: 7-11-, 15-21-jährig)	384	Q	3 Test pro EF: Inhibition (Stop-Signal, Farb-Stroop, Flanker), Working memory (Tic Tac Toe - ähnlich Matrixspanne, Mental Counter (je nach Position einer Zahl +1/-1 rechnen, Running memory)), Shifting (Local-global, Menge beurteilen je nach Position auf Bildschirm, Geschlecht vs. Gesichtsausdruck eines Gesichts benennen je nach position auf Bildschirm) - komplexe EF (Turm zu London, Wisconsin Card Sorting) - Kontrolle von Alter, Basic Speed (Stroop Kontrollvariante), IQ	CFA, SEM, Multi Group Analysis	- 2 Faktoren (Shifting & AG) - Inhibitionstests bleiben 3 separate manifeste Variablen - ein Faktor Benennungsgeschwindigkeit	- Mit 11. U in den meisten EF-Aufgaben Erwachseneniveau erreicht

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	Erfasste Variablen	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
St Clair-Thompson & Gathercole (2006)	11-12 Jahre	51	Q	- Je zwei Aufgaben zu Shifting (Plus-Minus, Local-Global), Updating (Letter Memory, Keep track) und Inhibition (Stop-Signal, Stroop) - 4 Aufgaben zu zentraler Exekutive (Ziffernspanne rückwärts, Odd one out, komplexe räumliche Spanne, Listening Recall - komplexe Spanne)	EFA	- 2 Faktoren: Inhibition und Updating als separate exekutive Funktionen Shifting kann nicht als separater Faktor nachgewiesen werden - Updating und ZE-Aufgaben laden auf einem gemeinsamen Faktor	- Sehr kleine Stichprobe - Klassische Working Memory-Maße bilden mit klassischen Updating-Maßen einen gemeinsamen Faktor - Verknüpfung Working Memory mit EF
Miyake et al. (2000)	>18 Jahre	137	Q	UV: Shifting (Plus-Minus, Ziffer-Buchstabe, Local-Global), Inhibition (Antisakkaden, Stop-Signal, Stroop), Updating (Keep track, Tone Monitoring, Letter Memory) AV: 5 Aufgaben für komplexe EF (z.B. Wisconsin Card Sorting, Turm von Hanoi, Dual Task)	CFA, SGM	- 3 Faktoren (Inhibition, Shifting, Updating, aber gemeinsame Varianz (=allgemeine Inhibition o. Aufrechterhaltung der Zielsetzung im AG) - Basale EF sagen komplexe EF vorher	- Erwachsene haben möglicherweise andere Struktur als Kinder!

Anmerkungen. L/Q = Längs- vs. Querschnittliches Design; UV = unabhängige Variablen; AV = abhängige Variablen; EF = exekutive Funktionen; ZE = zentrale Exekutive; AG = Arbeitsgedächtnis; SGM = Strukturgleichungsmodellierung; EFA = Exploratorische Faktorenanalyse; CFA = Konfirmatorische Faktorenanalyse

Tabelle 19:

Übersicht: Einfluss exekutiver Funktionen auf numerische Kompetenzen

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Vorhersage von numerischen Vorläuferfertigkeiten							
Blair & Razza (2007)	5;1-6;2	141	L (2 MZP)	UV: Je eine Aufgabe zu Shifting (Item Selection) und Inhibition (Peg-tap), Selbstregulations-FB Eltern & Erzieher AV: Vorläufer-Mathe (basales Zahlenwissen & geometrische Figuren, Mengen, relative Größen, Addition & Subtraktion, einfache grafische Relationen)	Regression	- Inhibition, IQ, Lehrerurteil effortful control → Vorläufermathe - Shifting n.s.	- gemischter Summenscore für AV Mathevorläufer - nur eine Aufgabe je EF, KEIN Updating! - keine Kontrolle von verbaler Fähigkeit - nur Low-income-Familien
Espy et al. (2004)	2 - 5 Jahre (M = 4;2)	96	Q	UV: Mehrere Test pro EF (z.B. Belohnungsaufschub, Six Boxes, Continuous Performance, Statue), IQ, Wortschatz, SES, Alter AV: Vorläufermathe (Subitizing, Zählfertigkeit, Zählen relevanter Gegenstände unter einer Vielzahl irrelevanter Gegenstände, einfache Subtraktion und Addition)	EFA, Regressionsanalyse n	- EFA ergibt drei Faktoren (Inhibition, Shifting, Updating/AG) - AG (17%), Alter, Bildung Mutter und IQ (14%) → Mathe - Inhibition (32%), Alter, Bildung Mutter und IQ (0,3%) → Mathe - Gehen alle anderen EF ebenfalls als UV mit in die Regression ein (deren Einfluss wird also abgezogen), so bleibt allein Inhibition als signifikante UV (12%) übrig.	- hier wurden viele Aufgaben zu motorischer Inhibition angewendet, fraglich, ob dies genauso gut vorhersagt wie kognitive Inhibition
Kolkman, Hoijtink, Kroesbergen & Leseman (2013)	5. LJ	47	Q	UV: Updating: Komplexe Satzspanne (ansteigend viele Sätze müssen auf Richtigkeit der Präposition beurteilt und dann das jeweils erste Wort des Satzes wiederholt werden) Shifting: DCCS Inhibition: Tag-Nacht-Aufgabe AV: Aufgaben zu Größenordnung: Zahlenstrahl, Vergleich Großer-Kleiner, Einsortieren von Anzahlenkarten in die Kategorien „sehr klein, klein, mittel, groß, sehr groß“	Confirmatory Bayesian Approach ANCOVA	- Updating wichtiger als Shifting oder Inhibition - gutes Updating bewirkt mehr Zuwachs in Zahlenstrahl - keine EF involviert in Zunahme Einsortier-Aufgabe und Tag-Nacht - Inhibition und Shifting zeigen nur geringe/unklare Zusammenhänge: möglicherweise erfordern manche Aufgaben beides gleichermaßen, oder manche Matheaufgaben nichts von beiden, d.h. sehr abhängig von Matheaufgabe	- geringes N - nur eine Aufgabe pro EF - Deckeneffekt bei Vergleichsaufgabe Großer-Kleiner und Tag-Nacht - gut: Ebene 2 ohne Vermischung mit Zählfertigkeit und Rechenperformanz!

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Kroesbergen, Van Luit, Van Lieshout, Van Loosbroek & Van de Rijt (2009)	5 - 6 Jahre	115	Q	UV: Subitizing, fluid IQ (Ravens Matrizen) pB (weit + eng) Planning (ToL) ZE (Zahlenspanne rück) Inhibition (Stroop-Aufgabe) AV: Zählfertigkeiten (Ebene1), z.T. Verknüpfung Zahl-Menge = Ebene 2!	Hierarchische Regression	- signifikant sind alle Prädiktoren außer IQ, höchstes β -Gewic ht für ZE-Aufgabe. - pB sagt Zählfertigkeit (Ebene1) vorher $\beta=.24!$ Aber auch Ebene 2 (Zuordnung Anzahl zu Menge)	- Nur Q - nur eine Aufgabe pro EF - Updating höchstes β -Gewicht, aber mit Zahlenspanne rückwärts inhaltsspezifisch!
Lan, Legare, Ponitz, Li & Morrison (2011)	3;1 - 6;0 M = 5 Jahre	119 (geteilt in 2 Gruppen)	Q	UV: Je 1. Aufgabe pro EF (motor. Inhibition, Komplexe Spanne für ZE), Daueraufmerksamkeit (Attentional Control) AV: Zählfertigkeit und Rechenfertigkeit	Regression	- Hauptfrage: Vergleich chinesische und amerikanische Kinder: Haben erstere mehr Inhibition und Daueraufmerksamkeit? - ZE-Aufgabe in beiden Nationen signifikanter Prädiktor für Rechenfertigkeit, in den USA auch Inhibition, in China nicht	- Nur Q - kleine Subgruppen - nur 1 Test pro EF - unterschiedlich alte Kinder - keine weiteren Kontrollvariablen außer Alter
Miller, Müller, Giesbrecht, Carpendale & Kerns (2013)	3 - 5 Jahre	129	Q	UV: Inhibition (Go-no-go und Tower of Hanoi, Falsche Antworten bei CPT,); ZE (Ziffern und Wortspanne rückwärts, visuell-räuml. Boxes-Aufgabe, Continuous Performance Test), Social understanding, Alter, passiver Wortschatz AV: School readiness test (Mathe wird erfasst mit Summenscore von Zahlwissen, Zählfertigkeit, Mengen-/ Größenvergleich, Geometrie)	CFA, SGM	CFA ergibt 2 Faktoren: ZE und Inhibition, die mit $r=.56$ korrelieren; SGM zeigt, dass ZE ($\beta=.77, p<.01$) und Wortschatz ($\beta=.74, p<.01$) Mathe beeinflussen	- kein Shifting! - Mathescore ist zwar basal, aber recht gemischt
Roebers, Roethlisberger, Cimeli, Michel & Neunschwander (2011)	5 - 7 Jahre	264	L (2 MZP)	UV: Je eine Aufgabe pro EF (Farbspanne rückwärts, Stroop, Cognitive Flexibility) als Summenscore, Wortschatz, Verarbeitungsgeschwindigkeit, IQ, fluid, SES; AV: Mathevorläufer (Schnelles Benennen von Würfeln, Rückwärtszählen von 10 und 20, einfache, möglichst schnelle Addition)	ANOVA zu Entwicklung EF Regression	Alter ($\beta=.36$), Inhibition ($\beta=-.19$), Wortschatz ($\beta=-.16$), Updating ($\beta=-.15$) \rightarrow Mathe	- AV Mathe sehr gemischt (Wissen und fluency), - EF Flexibilität sehr komplex

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Vorhersage schulischer Mathematikleistungen							
Bull, Espy & Wiebe (2008)	4,6;5,6;7-8 Jahre	124	L (3MZP)	UV: KZG (loop & sketchpad), ZE (Corsi block rückwärts), Inhibition (Shape School), Shifting (Shape School), Planning (Tower of London) AV: (Inhibition, Shifting, Planning); Mathe (Mathematische Konzepte (größer, meiste etc.), Zählfertigkeit, einfache Addition, Ziffernerkenntnis, Formen, komplexere Aufgaben (z.B. was ist 3 weniger als 7) alles im Zahlenraum bis Hunderte)	Korrelationen und Regressionen, Growth Curve Models	-EF (Inhibition und Planning) und Loop sind generell (für Mathe und Schrift) förderlich für frühe akademische Fähigkeiten bei Kindern zw. 5 und 7-8 Jahren, weil sie sign. Wachstum in Mathe beeinflussen - Für Mathe auch vis.-räuml. Spanne. - Regression Mathe separat zu jedem MZP bei Kontrolle von Lesen: - zu allen MZP erklärt Lesen 36-53% der Varianz! Zusätzlich: - MZP1: Corsi vor, Zahlenspanne rück, Inhibition und Planning (Tol) - MZP2: nur Corsi vor signifikant - MZP3: nur Corsi rück signifikant	- IQ nicht kontrolliert, - Vorläufer nicht berücksichtigt - ZE geht nicht ins Growth Model ein
Bull & Scerif (2001)	3. Klasse engl. System, (M= 7,4 Jahre)	93	Q	UV: -Shifting: WCST -Inhibition: Stroop-Test (Farbe vs. Wort (Rot in blau geschrieben), Ziffer vs. Menge (222=inkongruent, 22 kongruent) -Geteilte Aufmerksamkeit: Dual-Task-Performance (Vergleich der Leistung von loop und sketchpad separat mit Leistung, wenn beides zusammen koordiniert werden muss (Wörterketten wiederholen, während man einen 2D-Pfad nachzeichnen soll) -Updating/Working Memory: Zählspanne (Punkte auf zwei Karten sollen nacheinander gezählt werden und dann sollen bei den beiden nun verdeckten Karten die Anzahl der Punkte erinnert werden AV: Rechnen, nicht genauer beschrieben weitere Mathefertigkeiten	Regression	Korrelationen: -Kinder mit höheren Mathefertigkeiten machen weniger Perseverationsfehler im WCST, bessere Inhibition in Ziffer vs. Menge, Zählspanne auch bei Kontrolle von Lesen und IQ Korrelationen zw. Inhibition und WCST (Inhibition hilft irrelevante alte Regel zu hemmen; $r = .41, p < .01$) & Zählspanne (auch in WM-Aufgaben ist Inhibition und Strategienutzung erforderlich) multiple Regressionsanalyse: 1. Vorhersage durch einzelne EF, IQ und Lesen: Updating 3% Varianzaufklärung, Shifting 2%, Inhibition 3% 2. Vorhersage durch alle EF gleichzeitig: WM 10%, Shifting 4%, Inhibition 6% 3. Vorhersage durch alle EF, IQ und Lesen: nur WM behält eigene aufgeklärte Varianz, Shifting und Inhibitionsanforderungen in den zugehörigen Aufgaben überlappen zu stark, so dass damit keine separaten Fähigkeiten gemessen werden können d.h. viel überlappende Varianz von IQ und Lesen!	- keine weiteren EF

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Clark, Pritchard & Woodward (2010)	4.LJ-Ende 1. Klasse	104	L (2 MZP)	UV: Planning (Turm zu Hanoi), Shifting (Flexible Item Selection, Shape School), Inhibition (Shape School), BRIEF-Erzieher, IQ AV: Leseverständnis, Matheflüssigkeit	EFA, Diskriminanzanalyse, Regression	- EFA: 1 Faktor aus allen EF und BRIEF-Gesamtscore (48% Varianzaufklärung) - Diskriminanzanalyse: 80% der Kinder aufgrund EF-Leistung richtig in Mathe klassifiziert - Regression: EF-Gesamtfaktor (3%), IQ & Leseverständnis → Matheflüssigkeit - Regression mit einzelnen EF-Komponenten: BRIEF, Leseverständnis & IQ → Matheflüssigkeit (einzelne Komponenten sagen nichts vorher) - Kontrollvariante Shape School = Schnelles Benennen trägt nichts bei!	- wichtige UV (Updating/AG/Abrufen aus LZG) nicht berücksichtigt - nur ein Maß für jede EF und AV - Bodeneffekte bei Shifting-Variante
Lee et al. (2012)	6 Jahre	163	Q	EF: -3 Tests zu Updating: Listening Recall Span - Mister X - Sequenz mit Tierbilder wird gezeigt, es wechselt, wieviele der zuletzt gesehenen das Kind wiedergeben muss -3 Tests zu Inhibition und Shifting: wurden mit demselben Aufgabenmaterial, aber veränderter Aufgabestellung erfasst: - zunächst typische Inhibitionsaufgabe (nicht auf Distraktor reagieren, z.B. es wird immer eine Zahl und ein Tierbild gezeigt und wenn das ganz oben auf Bildschirm ist, dann soll die Zahl genannt werden), dann Wechsel der Regel (abwechselnd ob Zahl und Tier oben oder unten gezeigt wird, muss das Kind entweder Zahl oder Tier benennen) AV: Subtest Numerical Operations aus Wechsler IQ-Test (Zählfertigkeit, Eins-zu-Eins-Zuordnung, Zifferkenntnis, ansteigende Schwierigkeit → mehr Rechnen erforderlich bei schweren Aufgaben) -Pattern (wie logisches Schlussfolgern mit Rechnen	CFA, SGM	- CFA ergibt 2 Faktorstruktur: Inhibition+Shift und Updating - Korrelationen: Updating höhere Korr zu Mathe als Shift+Inhib - Updating → Wechsler Mathetest ($\beta = .70$ im Gesamt-Modell), Inhib+Shift hat weder mit Mathetest noch mit Pattern zu tun - Berücksichtigung fluiden Intelligenz (mit Korrelation zu Updating und als Prädiktor für Mathe und Pattern) → zwar $r = .60$ mit Updating, aber Updating bleibt signifikanter Prädiktor für Mathe und Pattern	- keine weiteren Kontrollvariablen berücksichtigt

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Lefevre et al. (2013)	2./3. Klasse	157	L (2 MZP)	UV: „Executive attention“: latentes Konstrukt aus Zahlenspanne vor und rück, Matrixspanne, Color Trailtest; pB, Wortschatz, Verarbeitungsgeschwindigkeit AV: Mathewissen & -flüssigkeit	Regression SGM	- EF → beeinflusst gleichzeitig erhobenes fluency und knowledge, aber nicht den Wachstum in knowledge, wohl aber Wachstum in fluency - Mathewissen 2. Klasse (Querschnitt) ← EF, pB ← Mathewissen 3. Klasse (Längsschnitt) - Mathewissen 2. Klasse, pB, Wortschatz - Matheflüssigkeit 2. Klasse ← EF, pB - Matheflüssigkeit 3. Klasse ← Matheflüssigkeit 2. Klasse, EF	- Gut: Trennung in Mathewissen und Flüssigkeit - EF werden gemischt gut: Kontrollvariablen!
Mazocco & Kover (2007)	6-, 8-, 10- jährige	178	L	UV: EF: Contingency Naming Test mit a) nach Farbe, bzw. nach Form (Basic Naming =Verarbeitungsgeschwindigkeit) b) einfacher Shift: je nach Übereinstimmung mit äußerer Form muss entweder Farbe oder Form benannt werden c) doppelter Shift: je nach Vorhandensein eines Pfeils wieder andere Benennregel → d.h. Working-Memory- load wird erhöht; IQ fluid und kristallin, phonologisches Dekodieren AV: -Rechenaufgaben (Woodcock Johnson) und frühe Mathefertigkeiten (Zählen, Kopfrechnen, schriftliches Rechnen)	ANOVA Vergleich von „normalen“ Rechnern und Rechnern mit Matheschwäche (Vergleich mit den 178 Kindern)	- Die versch. CNT-Maße überlappen in ihrer Varianz, d.h. nicht wirklich verschiedene Faktoren erkennbar. - unterschiedliche Entwicklung über die 3 MZP je nach Anspruch an AG (doppelter Shift deutlich anspruchsvoller als einfacher Shift) → Korrelation von konkurrenz guten frühen Matheleistungen (6./7. LJ), schneller Verarbeitungsgeschwindigkeit und Leistung in schwerer doppelter Shift-Aufgabe (N=52) → Kinder, die doppelten Shift konnten, waren besser in Basic-Mathe und späteren Rechenaufgaben als Kinder die doppelten Shift nicht konnten → d.h. sehr gute EF erleichtert sowohl basales als auch komplexeres Mathelernen, dies aber nicht stabil (z. B. gab es keine Gruppenunterschiede in der 3. Klasse)!	- Testverfahren misst eigentlich keine unterschiedlichen EF, sondern alle Maße korrelieren miteinander. D.h. eher nur eine allgemeine Aussage möglich zu EF Wirkung auf allgemeines Mathe
Monette, Bigras & Guay (2011)	5;10 – Ende 1. Klasse	85	L (2 MZP)	UV: Je mehrere Testverfahren zu Inhibition (Tag-Nacht- Aufgabe, Stroop, Knock and tap), ZE (Wortspanne rückwärts, Corsi rück), Shifting (Trails Making, Kartensortieraufgabe), Vorläuferfertigkeiten (Wissen um Farben, Formen etc.), affektive und familiäre Variablen AV: Schulleistung Mathe/Lesen/Schreiben	EFA Mediatoranalyse	- EF ergeben in EFA drei Faktoren - nur AG trägt bei gleichzeitiger Berücksichtigung aller Kontrollvariablen signifikant zur Varianzaufklärung in der Matheleistung 1. Klasse bei (5% aufgeklärte Varianz)	-geringes N

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Navarro, Aguilar, Alcalde, Ruiz, Marchena & Menacho (2011)	4-7 Jahre	je ca. 100/J B.	Q	UV: -Inhibition: Farb-Stroop-Test Zahlspezifische inhibition: Anzahlvergleich mit unterschiedlich großen Ziffern -ZE: Ziffernsparne rückwärts -Schnelles Benennen von Buchstaben, Ziffern, Farben, Bildern pB (Laut-/Silbenerkennung, -weglassen, -dazunehmen) AV: zwei Mathevariablen aus dem Utrecht Early Numeracy Test (1. Zahlrelationen, dem Namen nach Ebene 2 & 3, 2. Zifferkenntnis/Zählen)	Regression über 6./7. LJ hinweg	- Gesamt-UENT-Score und Zahlrelationen werden beeinflusst von Zahlinterferenz (Test, bei dem Zahlen verglichen werden müssen: die weniger mächtige Zahl ist größer gedruckt, die mächtigere soll aber benannt werden), ZE und pB - Zifferkenntnis und Zählen wird vorhergesagt durch Zahlinterferenz und ZE; d.h. nur zahlsspezifische und nicht allgemeine Inhibition ist wichtig.	- Schnelles Benennen: signifikante Korrelationen in allen Altersgruppen nicht nur zw. Benennen von Ziffern, sondern mehr noch von Benennen von Farben und Bildern - nur Q - kein Shifting erhoben - Problem: nur 1 Maß für ZE und das enthält Zahlmateriale - Nur inhaltspezifische Inhibition wichtig (Farbstroop egal) für beide Ebenen
Simmons, Willis & Adams (2012)	1. (5.-6. LJ) und 3. Schuljahr (7.-8. LJ)	1. Kl. 90, 3. Kl. 49	Q	UV: -Sketchpad: Weg durch Labyrinth, Matrixspanne -Loop: Wortspanne vorwärts -ZE visuell-räumlich: Komplexe Spannen: Odd-one-out spatial recall (ähnlich oben) -ZE verbal: Listening Recall, Wortspanne rückwärts AV: je mit separate Summenwert: Zahldiktat; Anzahlvergleich (bis 1000); einstellige Addition, bei 3. Klasse Multiplikation → verbale Aufgabenstellung und mündliche Antwort!!	Regressionsanalyse Sketchpad → Zahldiktat und Zahlvergleich ZE → Addition (keine Signifikanz von AG auf Multiplikation bei 3. Klasse)	- Gut: Trennung in versch. Themaße - Erfasst sonst nur querschnittlich das AG (ZE, loop, Sketchpad), keine weiteren EF - Addition rein verbal → erfordert bestimmt mehr KZG/loop - kein spezifisches Mathewissen/Vorläufer kontrolliert! - mischen 1. & 3. Klasse zusammen bei der Vorhersage vor Zahldiktat und Zahlvergleich, dabei könnte man hier schon Unterschiede aufgrund unterschiedlich gut abgespeicherter/automatisierter Inhalte erwarten	- Gut: Trennung in versch. Themaße - Erfasst sonst nur querschnittlich das AG (ZE, loop, Sketchpad), keine weiteren EF - Addition rein verbal → erfordert bestimmt mehr KZG/loop - kein spezifisches Mathewissen/Vorläufer kontrolliert! - mischen 1. & 3. Klasse zusammen bei der Vorhersage vor Zahldiktat und Zahlvergleich, dabei könnte man hier schon Unterschiede aufgrund unterschiedlich gut abgespeicherter/automatisierter Inhalte erwarten
Toll, van der Ven, Kroesbergen & van Luit (2011)	Ende Kiga, 1.-2. Klasse	209	L (5MZP)	UV: Shifting (DCCS, Animal Shifting), Inhibition (Animal Stroop, Simon task, Local global), Working Memory (Keep track, Odd one out, Ziffernsparne rückwärts); AV: Vorläufermathe, Schulmathe	- ANOVA, Diskriminationsanalysen (Unterscheiden sich permanente (= über 4 MZP kontinuierlich vs. einmalig schlechte Rechner), <PR25, <PR50 und gute Lerner in den EF voneinander)	- Vorläufermathe und ZE (über die ersten 3 MZP hinweg gemittelt) beste Prädiktoren für spätere persistierende Matheschwäche (95,3% korrekt vorhergesagter Kinder mit Rechenschwäche) - bei nur einem MZP für Rechenleistung hat ZE aber keine zusätzliche diskriminierende Eigenschaft neben Vorläuferfertigkeiten, d.h. Einfluss ZE alterabhängig - nur Animal Stroop unterschied Lernschwache von unauffälligen Kindern, die anderen Inhibitionstests nicht - Shifting-Leistung diskriminiert keine der Gruppen	- AV: sehr breitbandig, keine Unterscheidung in einzelne Bereiche möglich - keine Kontrollvariablen

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
van den Bos, van der Ven, Kroesbergen, van Luit (2013)	4 - 12 Jahre		Metaanalyse		- Hierarchisch Linear Modeling (je EF immer 2 Modelle: 1. Alle Korrelationen zw. einer EF und Mathe → gesamte Moderatorvariable n gleichzeitig hinein und sukzessives entfernen von n.s. Variablen, bis das sparsamste Modell gefunden ist) - AV=Korrelation zw. EF und Mathe	a) Inhibition-Mathe: $r=.27$, wichtige Prädiktoren der Korrelation: je allgemeiner das Mathemaß, desto höhere Korrelation, Random-Generation-Inhibitionstest erzeugte die höchsten Korrelationen b) Shifting-Mathe: $r=.28$, korrelieren mehr bei schlussfolgernden Matheaufgaben, weniger bei reiner Performanz, jüngere Kinder und Kinder mit Rechenschwächen brauchen mehr Shifting c) Updating visuell-räumliches Material – Mathe: $r=.34$, niedrigere Korrelationen wenn Aufgaben zu Zählen, Rechnen und Konzept, ältere Kinder und Kinder mit Rechenschwäche erzielen höhere Korrelation d) Updating verbales Material – Mathe: $r=.38$, allgemeine Mathemaße korrelieren höher als z.B. Performanz allein, Aufgaben ähnlich 2-back erzeugen höhere Korrelationen e) visuell-räuml. Sketchpad: allgemeine Mathemaße korrelieren höher, Corsi erzeugt hohe Korr./loop: allgemeines Mathemaß erzeugt höhere Korrelation → Korrelationshöhe mit Mathe: verbales Updating>sketchpad=vis.-räuml. Updating>loop>inhibition=shifting	- Unterschiedliche Mathemaße erzeugen unterschiedlich hohe Korrelationen bei allen EF! → je genereller, desto höher der EF-Einfluss. Evtl. liegt das daran, dass der Einfluss mathespezifischen Wissens sich reduziert oder auch Matheaufgaben wie z.B. nur Rechnen stellt. -klassisches 2-back-ähnliches Updating ergibt andere Korrelationshöhe als die Wiedergabe alles präsentierten Materials (Komplexe Objektspanne)! D.h. die Autoren nehmen an, dass man die beiden Tests nicht in einen Topf werfen kann (Gegenmeinung: St. Clair-Thompson & Gathercole) - Numerisches und Non-numerisches EF-Testmaterial haben gleich hohe Einflüsse auf Korrelation Loop – Mathe, ebenso verändert es keine Korrelationshöhe, wenn man numerisches statt non-numerisches Material nimmt → EF-Prozess ist domänenübergreifend. Bei jüngeren Kindern ist Sketchpad wichtiger, bei älteren Kindern vis.-räuml. Updating (d.h. versch. Lösungswege) -gleiches Resultat bei Reaktionszeit und richtigen Antworten als AV

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
van der Sluis, de Jong & van der Leij (2004)	Klasse 4 und 5	74 Kinder mit Lernstörungen	Q	UV: Inhibition: Stroop-Aufgaben mit Ziffern und geometrischen Formen Shifting: je nach Farbe eines Stimulus müssen verschiedene Objekte benannt werden (bei blau geometrische Form, bei gelb Ziffer; Making Trail komplexere Objektbenennungsaufgabe, die Inhib und Shift misst Kontrollaufgaben zu allem (nur schnelles Benennen) AV: schnelles Addieren, Subtrahieren und Multiplizieren	MANOVA, inkl. Angabe von Effektstärken	- In komplexen Aufgaben, die Inhibition und Shifting und vielleicht auch noch Updating gleichzeitig erfordern (Making Trail und Komplexe Objektbenennungsaufgabe), erzielen Kinder schwächere Ergebnisse als Kontrollkinder.	- kein Updating erfasst
Van der Sluis, de Jong & van der Leij(2007)	9-12 Jahre	172	Q	UV: 3-4 Aufgaben je EF + jeweilige Kontrollversion ohne EF-Anspruch: Inhibition (Quantity Inhibition, Object Inhibition, Numerical Size Inhibition, Stroop), Shifting (Objects, Symbol, Place Shifting, Making Trail), Updating (Keep track, Letter Memory, Digit Memory), IQ AV: Mathe	CFA, SEM	-Fluency-Mathe wird vorhergesagt durch "Naming" (30%) und Updating (2,6%), sowie den einzelnen Subtest „Making Trail Test“ (misst komplexe vermischte EF) und einen Inhibitionstest (mit Zahlenmaterial, also auch methodenspezifisch)	- Schlechte Faktorladungen für Updating & Shifting - AV sparsam operationalisiert
Van der Ven, Kroesbergen, Boom & Leseman (2012)	1.-2. Klasse	211	L (4 MZP)	UV: Je 3 Subtests/EF: Inhibition (Animal Stroop, Local global, Simon says), Shifting (Animal Shifting, Trail Making, Kartensortieraufgabe), Updating (Zahlenspanne rückwärts, Odd one out, Keep track) AV: Mathe-Gesamtscore	CFA, Latent Growth Model	- 2 Faktoren (Inhibition & Shifting; Updating) - in der einzelnen Regression sagt sowohl Updating → Mathe als auch Shifting&Inhibition → Mathe voraus. Sobald aber Updating mit in die Rechnung eingeht, wird Inhib./Shift nicht mehr signifikant. - Wachstumsmodelle mit Inhib/Shift funktionieren nicht (weil ungleichmäßiges Wachstum)	- AV: sehr breitbandig, keine Unterscheidung in einzelne Bereiche möglich, sagen die Autoren selbst, dass es möglich sein könnte, dass sich Updating unterschiedlich auf untersch. Mathe-Domänen auswirken könnte. - keine Kontrollvariablen

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Yeniad, Malda, Mesman, Van Ijzendoorn & Pieper (2013)	5 - 12 Jahre	18 Studien (N=2330)	Metaanalyse	→ Einfluss Shifting bei Kontrolle von IQ auf Mathe und Schriftsprache	Metaanalyse	<ul style="list-style-type: none"> - Shifting und Mathe korrelieren über alle Studien hinweg signifikant ($r = -.26$, $p < .01$) - keine moderierenden Effekte von a)-c) gefunden, was aber an der zu geringen Anzahl an Studien, die das berücksichtigen, gelegen haben könnte (betrifft SES, Regelpräsentation, Score-Art, Berücksichtigung einer Kovariaten) - Intelligenz und Mathe korrelieren signifikant über alle Studien hinweg ($r = .47$) - Shifting und Intelligenz korrelieren über alle Studien hinweg substantiell ($r = .30$) - es gibt zu wenige Studien, die Mathe durch Shifting vorhersagen und dabei IQ berücksichtigen, so dass der verbleibende Einfluss von Shifting in dieser Meta-Analyse nicht auf Signifikanz geprüft werden konnte. Die hohe Korr. zwischen IQ und Shifting zeigt aber die Notwendigkeit dafür. 	Sehr allgemeiner Artikel, der nicht ins Detail gehen kann und auch nicht prüfen kann, ob die hohe Korrelation zw. Shifting und Math evtl. bei gleichzeitiger Berücksichtigung zu verschwindendem Einfluss des Shiftings führt

Anmerkungen. L/Q = Längs- vs. Querschnittliches Design; UV = unabhängige Variablen; AV = abhängige Variablen; EF = exekutive Funktionen; ZE = zentrale Exekutive; AG = Arbeitsgedächtnis; SGM = Strukturgleichungsmodellierung; EFA = Exploratorische Faktorenanalyse; CFA = Konfirmatorische Faktorenanalyse

Tabelle 20:

Korrelationen innerhalb der Leistungsmaße exekutiver Funktionen

Konstrukt	Variable	Shifting		Inhibition		Updating	
		1.	2.	3.	4.	5.	6.
Shifting	1. Farbshifting	1					
	2. Karten-Shifting	.31**	1				
Inhibition	3. Stroop-Aufgabe	.39**	.27**	1			
	4. Hand-Aufgabe	.32**	.06	.21**	1		
Updating	5. Picture Memory Task	.39**	.21**	.33**	.16**	1	
	6. Komplexe Objektspanne	.20**	.19**	.18*	.10	.47**	1

Anmerkungen. Shifting und Inhibition erfasst zu Messzeitpunkt 3 (5;8 Jahre), Updating erfasst zu Messzeitpunkt 4 (6;3 Jahre). **Die Korrelation ist auf dem Niveau von $p < .01$ signifikant. *Die Korrelation ist auf dem Niveau von $p < .05$ signifikant.

Tabelle 21:

Übersicht: Einfluss exekutiver Funktionen auf schriftsprachliche Kompetenzen

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Alloway, Gathercole, Adams, Willis, Eaglen & Lamont (2005)	4 - 5 Jahre	194 (Muttersprache: englisch)	Q	UV: ZE (rückwärtige Zahlenspanne, Counting Recall, Listening Recall), phon. Schleife (Zahlen, Wörter, Kunstwörter nachsprechen), Episodischer Puffer (Sätze nachsprechen); phon. Bewusstheit (Reimerkennung); Anfangslaut erkennen); fluid IQ; AV: Einschätzung des Lesens und Schreibens durch Lehrer	Korrelation, Regression	-Loop → Lesen -ZE und pb → Schreiben	-keine anderen EF berücksichtigt -keine Schulleistungstests
Altemaier, Abbott & Berninger (2008)	Erstklassler- 4. Klasse; Drittklässler- 6. Klasse	N = 113; 99 (Muttersprache: englisch)	L	UV: EF: Inhibition (Farbwort-Stroop), Inhibition/Shifting (Wechseln zw. Benennung Farbe und zu lesendem Wort im Strooptest), Rapid automatic switching=Shifting (Wechseln zwischen Benennen eines Wortes und einer zweistelligen Ziffer) AV: Wörter und Pseudowörter lesen, Lesegeschwindigkeit, Leseverständnis; Rechtschreibung	Hierarchical Linear Modeling Multiple Regressionen	Inhibition und Shifting als low-level exekutive Funktionen beeinflussen Verarbeitung auf Wortebene. Für Textverständnis sind vermutlich komplexere EF wie Planning präaktiver. Konkurrent tragen sowohl Inhibition als auch Shifting, weniger das kombinierte Maß zur Vorhersage der AVs bei. Zeitunabhängige AVs werden bei jüngeren Kindern deutlicher durch EF vorhergesagt (EF → unterdrücken irrelevanter Infos beim Abruf phonologischer Information, Wechseln zw. Buchstabe und laut), zeitabhängige AVs bei älteren Kindern (EF → Effizienz) Wachstum in allen drei EF (separat) sagt alle AVs in Klasse 4 vorher, stärkste Varianzaufklärung durch Shifting.	-nur ein Testverfahren für Inhibition und Shifting -kein Updating/Working Memory -keine Kontrollvariablen
Blair & Razza (2007)	5;1-6;2 Jahre	N = 141 (Muttersprache: englisch)	L (2 MZP)	UV: Je eine Aufgabe zu Shifting (Item-selection) und Inhibition (Peg-tapping), Selbstregulations-FB Eltern & Erzieher IQ fluid und kristallin AV: Phonologische Bewusstheit (Wörter segmentieren, Silben weglassen), Buchstabenkenntnis	Regression	-Inhibition konkurrent, IQ → phon. Bewusstheit -Inhibition konkurrent, Selbstregulations-FB, Wortschatz, Theory of mind → Buchstabenkenntnis -Shifting n.s.	-nur eine Aufgabe je EF, KEIN Updating -nur low-income-Familien

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Booth, Boyle & Kelly (2010)	6 - 14 Jahre	48 Studien			Metaanalyse	<p>Frage: Studien kommen zu sehr unterschiedlichen Einschätzungen, ob sich EF bei Kindern mit und ohne Leseschwäche unterscheiden. Ursache? (Messmethode, Diskrepanzkriterium, Geschlecht, Alter, Art der Leseschwäche - schwach in Leseverständnis vs. Lesen)?</p> <p>- mittlere Effektstärke von $d = 0.57 \rightarrow$ EF bei Kinder ohne LRS $>$ LRS (Range d: $-0.32 - +1.83$)</p> <p>- verantwortlich dafür sind die unterschiedlichen Aufgaben</p> <p>- LRS-Kinder mit/ohne Diskrepanzkriterium unterscheiden sich nicht (außer in EF-Aufgaben, die deutlich fluide Intelligenz erfordern), ebenso wenig wie Kinder mit Leseverständnis-/Leseschwierigkeiten/Alter/Geschlecht</p>	
Brock, Rimm- Kaufman, Nathanson & Grimm (2009)	Kindergarten	N = 173 (Muttersprache: englisch)	L (2 MZP Herbst und Frühling)	UV: EF: motorische Inhibition und Shifting (?) (Pencil-tapping und Geschwindigkeitsanpassung beim Gehen auf markierter Linie IQ-Gesamtscore Buchstabenkenntnis und Wörter lesen (halbes Jahr zuvor) Hot EF (Verhaltensregulation) über Leistungstest und FB AV: Buchstabenkenntnis und Lesen von Wörtern	Regression	<p>EF nicht relevant für Lesen/Buchstabenkenntnis, sondern nur Vorwissen aus Vortest und IQ</p>	<p>- nur motorische EF-Aufgaben \rightarrow höhere Zusammenhänge könnte man mit kognitiver Inhibition und Lesen erwarten - Aufgabe mit Geschwindigkeitsanpassung findet sich in nahezu keiner anderen EF-Studie, ungewöhnliches Maß - Validität zweifelhaft</p>
Christopher et al. (2012)	8 - 16 Jahre	N = 483 (Muttersprache: englisch)	Q	UV: Inhibition (Continuous Performance Task, Stop-Signal-Reaktionszeit), AG (Loop: Zahlenspanne vor, ZE: Zahlenspanne rück, Satzspanne, Zählsparne), allgemeine Verarbeitungsgeschwindigkeit (2 Aufgaben zum schnellen Matchen von Stimuli zu Zielreiz), schnelles Benennen (von Objekten und Farben vs. Buchstaben und Ziffern), IQ (Wechsler Intelligence Scale) AV: Lesen von Wörtern (Sorgfalt und Geschwindigkeit); Leseverständnis	CFA SGM	<p>- Arbeitsgedächtnis (ZE) und allgemeine Verarbeitungsgeschwindigkeit \rightarrow Lesen, nicht aber Inhibition und schnelles Benennen von non-alphanumerischen (also nicht Buchstaben/Ziffern sondern Objekte und Farben) Stimuli - allgemeine Verarbeitungsgeschwindigkeit besonders relevant für das Lesen von Wörtern - Schnelles Benennen von Buchstaben/Ziffern ist prädiktiv für Wortlesen. - IQ wichtiger für Leseverständnis als Wortlesen, ist aber neben den vier anderen Variablen kein signifikanter Prädiktor.</p>	<p>- Shifting wird nicht berücksichtigt - keine fluide Intelligenz, sondern Gesamttest, der selbst Leseverständnis und Wortschatz erfasst, also aus Gründen der Operationalisierung allein schon mit dem Leseverständnis zusammenhängen muss</p>

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Davidse, de Jong, Bus, Huijbregts & Swaab (2011)	Kindergarten ca. 5 Jahre	N = 228 (Muttersprache: niederländisch)	Q	UV: Home Literacy Eltern-FB; Buchtitel- Erkennung durch Kinder; IQ; Inhibition (Peg-tapping), Daueraufmerksamkeit, phon. Schleife (Zahlenspanne vorwärts) AV: Wortschatz, Buchstabenkenntnis	Regression	Buchtitelerkennung und IQ sagen Buchstabenkenntnis vorher, Inhibition nichts	-EF-Schriftsprache steht hier nicht im Vordergrund -nur eine Aufgabe für Inhibition und die ist motorisch -Varianzaufklärung für Buchstabenkenntnis sehr gering ($R^2 = .24$)
Foy & Mann (2013)	5 Jahre	N = 41 (Muttersprache: englisch)	Q	UV: EF: Continuous Performance Test (falsche Reaktionen=Inhibition) inkl. Shifting- Erweiterung, a) mit Geräuschen (Hundegebell/Glocke) und b) mit Silben (/ba/ und pa/) Kontrolle: Ziffernspanne vorwärts und rückwärts, expressiver Wortschatz (Bildbenennung) AV: Summenwert aus: Buchstabenkenntnis Phonologische Bewusstheit (Silben und Phoneme ersetzen, aus oder einblenden; Phoneme in Wort erkennen) Lesen von Wörtern und Pseudowörtern	Korrelationen und schrittweise Regression	Sind EF-Aufgaben mit verbalen statt nonverbalen Anforderungen die besseren Prädiktoren für schriftsprachliche Leistungen? -Inhibition (falsche Reaktionen in CPT) korreliert mit Summenscore Lesen; schwache Leistungen in CPT mit verbalen Stimuli (pa/ba) gehen mit schwachen Leseleistungen einher; die allgemeine Reaktionszeit ist signifikanter Prädiktor für die Lesefähigkeit	-sehr kleine Stichprobe -Querschnitt -Updating/Zentrale Exekutive nicht als Prädiktor aufgenommen
Gathercole, Alloway, Willis & Adams (2006)	6 - 11 Jahre	N= 46 mit Leseschwäche (Muttersprache: englisch)	Q	UV: Sprache (Hörverstehen, sprachlicher Ausdruck), ZE (Zahlenspanne rückwärts, komplexe Spannen), phon. Schleife, vis.-räuml. Notizblock, phon.Bewusstheit (Reimerkennung, Lauterlegung, Alliteration erkennen, vergleichen und ersetzen) IQ AV: Lesen: Summenwert aus Buchstabenkenntnis, Lesen von Wörtern, Rechtschreiben von Wörtern, Leseverständnis	multiple Regression	-Sprache (9.4%) und zentrale Exekutive (7.4%) bei gleichzeitiger Berücksichtigung von IQ, Sprache und phon. Bewusstheit → Lesen gesamt	-nur ein Summenwert für unterschiedliche Lesebereiche

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Lan, Legare, Pontitz & Li (2011)	3;1 – 6;0 M = 5 Jahre	N = 119 (geteilt in 2 Gruppen: Muttersprache: englisch und chinesisch)	2 Q	UV: Je 1 Aufgabe pro EF (motor. Inhibition → Head-toes-knees), Komplexe Spanne für WM (Sentence Completion), Daueraufmerksamkeit (Attentional Control) AV: Buchstabenkenntnis und Wörter lesen	Regression	-Unterschiede bei chin. und amerik. Kindern? -Inhibition in beiden Nationen signifikant mit Lesefertigkeit korreliert, ZI auch in China, in den USA nicht! Daueraufmerksamkeit ebenfalls korreliert -Regression: China: WM + Daueraufmerksamkeit → Lesen; USA: Daueraufmerksamkeit → Lesen	Nur Q, kleine Subgruppen, nur 1 Test pro EF, sehr unterschiedlich alte Kinder, keine weiteren Kontrollvariablen außer Alter! Evtl. zu leichte AV, keine exekutive Kontrolle notwendig?
Locascio, Mahone, Eason & Cutting (2010)	10 - 14 Jahre	Word Reading Disabilities N = 44, Reading Comprehension Disabilities N = 18, Kontrolle N = 24 (Muttersprache: englisch)	Q	UV: EF: Working Memory (Satzspanne, Räumliche Spanne, Zahlenfolge rückwärts), Planning (Mazes, Trail Making, Turm-Aufgabe), Inhibition (Handaufgabe; motorische Inhibition: rechte Hand wird berührt → linke Hand heben u.u.); phon. Bewusstheit AV: Wörter lesen, Leseverständnis	ANOVA; ANCOVA; EFA	-Kinder mit Schwächen im Wort (WRD) lesen haben basale phonologische Informationsverarbeitungsschwäche (nur ohne dessen Kontrolle ist verbales WM und Inhibition schlecht); -Kinder, die nur Schwächen im Leseverständnis (S-RCD) haben, Wörter aber durchschnittlich gut lesen können, haben über phon. Informationsverarbeitungsschwächen hinaus signifikante Schwierigkeiten mit Planning/vis.-räuml. WM (im Vergleich zu WRD und Kontrollgruppe)	-EFA ergibt ungewöhnliche EF-Faktoren: verbales WM, Planning/vis.-räuml. WM und Inhibition -für diese Altersgruppe müssten die Inhibitionsaufgaben viel zu leicht gewesen sein, M wird leider nicht berichtet! -Beachte dass im voranschreitenden Lesewerb in früheren Stadien andere Zusammenhänge vorherrschen können als bei diesen älteren Kindern (Automatisierungsgrad bestimmter Teilprozesse)
McClelland, Cameron, Connor, Farris, Jewkes & Morrison (2007)	4;5 – 4;9 Jahre	N = 310 (Muttersprache: englisch)	L (2 MZP)	UV: EF: Head-to-toes = gegenteilige Bewegung zum Testleiter machen → misst laut Autoren Aufmerksamkeit (dem Testleiter zuhören), AG (Regel im Kopf behalten) und Inhibition (Nachahmen unterbinden) SES, Alter, AV: Early literacy: Buchstabenkenntnis und flüssiges Lesen von Wörtern; Wortschatz: rezeptiver und expressiver Wortschatz	Hierarchical Linear Modeling (Ebene Kindergartenklasse, Individuum)	Kinder mit höherer Verhaltensregulation erzielen höhere Werte in den AVs. Wird die spezifische Vorleistung vom 1. MZP beim 2. MZP berücksichtigt, hat nur die zeitgleiche Verhaltensregulation Einfluss auf die AV. Die Effektstärken sind klein, was möglicherweise an der Kontrolle vieler Variablen gelegen hat. Mehr Zuwachs an Verhaltensregulation von MZP1 zu MZP2 führt zu mehr Zuwachs in den AVs von MZP1 zu 2.	-Datengrundlage schmal: nur ein Maß für Verhaltensregulation -Maß für Verhaltensregulation enthält am stärksten inhibitorische Elemente -Shifting wird nicht erfasst

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Müller, Müller, Giesbrecht, Carpendale & Kerns (2013)	3 - 5 Jahre	N = 129 (Muttersprache: englisch)	Q	UV: 4 Aufgaben je zu Inhibition (Go-no-go und Tower of Hanoi, Falsche Antworten bei CPT,) und zu ZE (Ziffern und Wortspanne rückwärts, visuell-räuml. Boxes-Aufgabe, CPT - misst Dauerhafte Aufmerksamkeit, da immer auf einen selten auftauchenden Reiz reagiert werden muss?!); Social understanding (=Theory of Mind); Wortschatz AV: Buchstabenkenntnis	CFA, SGM	- CFA: 2-faktorielles Modell: Inhibition & Arbeitsgedächtnis - SGM: Working Memory → Buchstabenkenntnis (bei Kontrolle von Inhibition, Social Understanding, Alter und Wortschatz (52% aufgeklärte Varianz	-kein Shifting! -recht kleine Gruppen in jeder der drei Altersklassen -eine der wenigen Untersuchungen, die für diese junge Altersgruppe 2 EF-Faktoren findet (s. Kommentar auf diesen Artikel durch C. Blair)
Monette, Bigras & Guay (2011)	5;10 – Ende 1. Klasse	N = 85 (Muttersprache: französisch)	L (2 MZP)	UV: je mehrere Testverfahren zu Inhibition (Tag-Nacht, Stroop, Hand-Aufgabe), ZE hier WM genannt (Rückwärtsspannen) Shifting (Trailmaking und Card Sorting) → ergeben in EFA drei Faktoren; Vorläuferfertigkeiten, (Buchstaben- und Schriftkenntnisse); affektive und familiäre Variablen, AV: Schulleistung Lesen von Wörtern, Leseverständnis, Rechtschreibung jeweils aus Wechsler-Test als Summenscore	EFA Mediatoranalyse	-Korrelation zw. WM und Lesen/Schreiben $r = .51$ und Inhibition – Lesen/Schreiben $r = .24$ ($p < .05$) -Im Mediatormodell hat WM zunächst direkten Effekt auf Lesen/Schreiben, bei Integration sozio-affektiver Variablen verschwindet dieser aber. Der korrelative Zusammenhang von Inhibition und Lesen/Schreiben verkleinert sich im Mediatormodell zu einem geringen aber noch signifikanten indirekten Effekt (über die mit Lehrerfragebogen erfasste affektive Variable Ärger/Aggression	-geringes N
Neuenschwander, Röthlisberger, Cimeli & Roebbers (2012)	7;4 & 8;1 Jahre	MZP 2: N = 446 (Muttersprache: deutsch)	L (2 MZP)	UV (MZP1): Summenscore aus Updating (Farbspanne rückwärts), Inhibition (Obststrop), Shifting (Cognitive Flexibility-Aufgabe), Effortful control-FB fluide Intelligenz AV (MZP2): HSP (Rechtschreibung), WLLP (Lesegeschwindigkeit), SLS (Leseverständnis) (Schulmathe wurde ebenfalls erhoben)	Strukturgleichungs- modelle	-EF-Gesamtscore sagt Schriftsprache in ähnlicher Höhe wie Mathe vorher ($\beta = .80$ vs. $\beta = .95$) bei gleichzeitiger Kontrolle der Fremdeinschätzung „effortful control“; auch Hinzunahme des fluiden IQ änderte nichts an den Zusammenhängen und konnte zudem keine zusätzliche eigene Varianz aufklären	-nur ein breiter Wert für EF („Unity“), keine Aussage über einzelne EF möglich - Gesamtscore für Schriftsprache, keine Vorhersage im Detail für Lesen vs. Schreiben möglich

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Nevo und Breznitz (2013)	Ende Kindergarten - Ende 1. Klasse	N = 97 (davon 24 Kinder mit schlechter Dekodierfähigkeit; Muttersprache: hebräisch)	L	UV: phon. Schleife (Ziffern-, Wort-, Pseudowortspanne vorwärts), vis.-räuml. Sketchpad (Matrixspannen); zentrale Exekutive (a)verbales Material: Ziffernspanne rückwärts, Komplexe Spanne, b) visuell-räuml. Material: Odd-one-out, Mir X), episodischer Puffer (Satzspannen) AV: Dekodieren, Leseverständnis, Lesegeschwindigkeit	Korrelationen	-Arbeitsgedächtnis (Komponenten nach Baddeley), insbesondere die zentrale Exekutive → Lesen im Anfangsstadium (beachte aber: hier hebräische Sprache, die einfacher als die englische aufgebaut ist) -im Detail für Gesamtgruppe: sowohl vis.-räuml. als auch verbales Material bei ZE im Kindergarten sagte alle drei Schriftsprachbereiche vorher; zeitgleich drei ZE-Maße unabhängig vom Material und phon. Schleife -im Detail für Kinder mit schlechten Dekodierleistungen: sowohl vis.-räuml. als auch verbales Material bei ZE im Kindergarten sagte alle drei Schriftsprachbereiche vorher; zeitgleich sagte nur noch verbales Material für ZE die drei Schriftsprachbereiche vorher	-nur Korrelationen, keine Berücksichtigung von Kovariaten -keine Berücksichtigung weiterer EF
Shaul & Schwartz (2014)	5-6 Jahre	N = 54 (Muttersprache: hebräisch)	Q	UV: EF als Summenwert (Head-Toes-Knees-Shoulders, Statue) Wortschatz Naming von Farben und Objekten, phon. Schleife (Wort- und Ziffernspanne vorwärts) AV: pB weit und eng Orthografisches Wissen (Buchstabenkenntnis, Erkennen von Schriftzeichen, Erkennen einsilbiger Wörter)	schriftweise multiple Regressionen	EF → pB nur bei Eingang in Regression als erste/zweite Variable, gingen zuerst: Wortschatz und Naming ein, dann kein Einfluss mehr! An jeder Stelle des Eingangs signifikant: phon. Schleife -EF → Orthografisches Wissen immer signifikant, egal mit welchem Schritt in die Regression aufgenommen -Interpretation der Autoren: pB wird in den Kindergärten sehr trainiert (=automatisiert – weniger EF), orthografische Kenntnisse weniger (nicht automatisiert – mehr EF)	- in den meisten Untersuchungen werden die EF-Testverfahren eher der Inhibition zugeordnet! sehr kleine Stichprobe!
van der Sluis, de Jong & van der Leij (2004)	Klasse 4 und 5	N = 74 Kinder mit spezifischen und komorbiden Lernstörungen und Kontrollgruppe (Muttersprache: niederländisch)	Q	Inhibition: Stroop-Aufgaben mit Ziffern und geometrischen Formen Shifting: je nach Farbe eines Stimulus müssen verschiedene Objekte benannt werden (bei blau - geometrische Form, bei gelb - Ziffer; Making Trail (Ziffern, Buchstaben dem Alphabet nach, dann gemischt) komplexere Objektbenennungsaufgabe, die Inhib und Shift misst Kontrollaufgaben zu allem (nur schnelles Benennen) AV: Lesegeschwindigkeit	MANOVA	- Unterscheiden sich inhibitions- und Shiftingleistungen bei Kindern mit und ohne Lernbehinderung? -Komorbide Störung: schwach in Making Trails-Aufgabe (Shifting) -Leseschwäche: keine Unterschiede in EF im Vergleich zu alters- und IQ-gleicher Kontrollgruppe - Leseschwache Kinder aber langsamer in der Benennungsgeschwindigkeit (Buchstaben, Ziffern und Objekte)	- kein Updating/Arbeitsgedächtnis erfasst

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Van der Sluis, de Jong & van der Leij (2007)	9-12 Jahre	N=172 (Muttersprache: niederländisch)	Q	UV: 3-4 Aufgaben je EF + jeweilige Kontrollversion (schnelles Benennen ohne EF-Anspruch), verbales und nonverbales schlussfolgerndes Denken UV: Lesegeschwindigkeit	CFA, SEM	-2 EF-Faktoren: Shifting und Updating und 1 Faktor „schnelles Benennen“ (gespeist aus allen Subtests) SEM: -Naming → Reading $\beta = .54$, 29,3% aufgeklärte Varianz -IQ → Reading $\beta = .21$ -Updating/WM → Reading $\beta = .25$, 6.1% aufgeklärte Varianz -Shifting → Reading $\beta = -.17$, nur 2.7% aufgeklärte Varianz und da entgegen der angenommenen Richtung	Schlechte Faktorladungen für Updating & Shifting AV nur Lesegeschwindigkeit, evtl. andere Zusammenhänge bei nicht zeitgebundenen sondern den Verständnisaspekt betreffenden Schriftsprachleistungen
Wang & Gathercole (2013)	8-10 Jahre	N=689 (45 Kinder mit Leseschwäche, Muttersprache: englisch)	Q	AV: Automated Working Memory Assessment (von Alloway, 2007; Ziffernspanne vor- und rückwärts, Matrixspanne, räumliche Spanne), Dual-task (z.B. bei Ziffernspanne gleichzeitig auf Pfeilrichtung mit versch. tasten reagieren)	ANOVA, ANCOVA	Was liegt den Arbeitsgedächtnisdefiziten von Kindern mit Leseschwäche zugrunde (a) mangelhafter phonologischer Prozess oder (b) Kerndefizit der ZE? -Kerndefizit ZE, weil diese bei Kontrolle des Loop vorhanden bleibt und weil Kinder nicht nur bei phon., sondern auch bei vis.-räuml. Material für ZE-Aufgaben schlechter abschneiden & weil Kinder mit Leseschwäche in Dual-task-Aufgaben (flexibles Wechseln des Aufmerksamkeitsfokus, ebenfalls laut Baddeley eine der ZE-Aufgaben) schlechter abschneiden. -EF zu 1. MZP → Literacy (2. MZP) und Lesen (3. MZP) -Literacy → Lesen -beides bei Kontrolle von Sprachfertigkeiten	-keine Berücksichtigung von anderen EF außer ZE
Welsh, Nix, Blair, Bierman & Nelson (2010)	4;9 Jahre	N = 164 (nur low-income; Muttersprache: englisch)	L (3 MZP: Anfang, Ende, Prekinder- garten, Ende Kindergarten)	UV: Literacy-Summenwert aus: Buchstabenkenntnis, Schrift erkennen, Zusammenfügen von Wortteilen („hot“, „dog“ zu „hotdog“), Weglassen von Wortteilen („hotdog“ ohne „hot“ zu „dog“) EF: Gesamtscore aus: ZE (Wortspanne rückwärts), Inhibition (Peg-tap), Shifting (DCCS); Sprachentwicklung (Wortschatz, Syntaxverständnis, Sätze nachsprechen) AV: Summenwert aus: Wörter lesen, Inhalt einer Geschichte zusammenfassen, Lesegeschwindigkeit (Wörter und Pseudowörter)	Pfadmodell	-EF sowohl auf Vorläufer als auf Reading gerichtet, aber nicht umgekehrt (Literacy skills verbessern nicht EF; vermutlich weil sie kristallisiertes Wissen sind, welches nicht in fluide kognitive Leistung investiert werden kann)	-nur Gesamtscore, keine Trennung in einzelne EF (begründet mit Unity in der Altersklasse)

Autoren (Jahr)	Alter	N	L/Q	UV/AV	Auswertungs- methode	Ergebnisse	Bemerkungen
Yeniad, Malda, Mesman, Van Ijzendoorn & Pieper. (2013)	5-12 Jahre	16 Studien (N=2266)			Metaanalyse	<ul style="list-style-type: none"> - Vorhersage Lesen durch Shifting und Intelligenz, Kontrolle von Alter, SES, Geschlecht, Art der Aufgabe, Längs-/Querschnitt) - Shifting und Intelligenz korrelieren über alle Studien hinweg substantiell ($r = .30$) - Intelligenz und Lesen ($r = .43$) - Shifting und Lesen ($r = .21$) 	<ul style="list-style-type: none"> - Sehr allgemeiner Artikel, der nicht ins Detail gehen kann - es wird nicht mitgeteilt, inwiefern weitere EF (Updating und Inhibition) in den verwendeten Studien berücksichtigt wurden!

Anmerkungen: UV = unabhängige Variablen; AV = abhängige Variablen; EF = exekutive Funktionen; ZE = zentrale Exekutive; SGM = Strukturgleichungsmodellierung; EFA = Exploratorische Faktorenanalyse; CFA = Konfirmatorische Faktorenanalyse

Tabelle 22:

Übersicht: Exekutive Funktionen und Lernschwächen

Autoren (Jahr)	Alter	N	Variablen:	Kriterium für LS & Auswertungsmethode	Fragen & Ergebnisse	Bemerkungen
Kombinierte Lernschwächen						
Anderson (2010)	9 - 13 Jahre	N = 36 (LS), 39 (RS), 80 (LS+RS), 94 (Kontrolle)	u.a. - Shifting (Trail Making) - Working memory (Listening Span) - Verarbeitungsgeschwindigkeit	- Kriterium: Lese- und Rechenleistung <1.5 SD - Regression, Kovarianzanalyse	u.a. Zeigen Kinder mit isolierter und kombinierter Rechenstörung dauerhaft Schwächen in basalen kognitiven Funktionen wie z.B. EF? - LS+RS: Schwächen in Trail Making und verlangsamt Verarbeitungsgeschwindigkeit, am deutlichsten aber sind Defizite in domänenspezifischen Wissen und Rechenprozeduren	- Keine Rechtschreibung erfasst
Censabella & Noel (2005)	11 (5. Klasse)	N = 15 (LS+RS), 15 (Kontrolle), (Muttersprache: französisch)	- phonologische Schleife (Zahlenspanne rückwärts), zentrale Exekutive (Zahlenspanne rückwärts) - Inhibition (Flanker-Aufgabe mit Buchstaben und Ziffern & Farb-Stroop Original mit Farbwörtern und mit Ziffern (z.B. 222; Antwort = 3) - IQ (Subtests aus WISC) - standardisierter Mathematiktest und Leseverständnistest	- Kriterium: Q>85 + Schulleistung <3. Schuljahr - ANOVA: LS+RS vs. Kontrolle = Between-subjects-Faktor, Aufgabenart (numerisch vs. sprachlich) = Within-subjects-Faktor	Ist die Inhibition von exogenen Reizen genauso wie die Inhibition von endogenen Reizen bei LS defizitär? Ist das Defizit abhängig vom Material (numerisch vs. sprachlich)? - Loop und ZE schlechter bei LRS+RS - generell langsamere Verarbeitung bei LRS+RS - vergleichbare Leistungen in Inhibition - präpotenter Reaktion und Interferenz bei LRS+RS und Kontrollgruppe! D.h. keine Probleme von Inhibition exogener Distraktoren und vermutlich nur Defizite in Inhibition endogener Störungen. - keine Unterschiede durch Material	- kein Rechtschreiben erfasst - Inhibition endogener Informationen (=kognitive Inhibition nach Nigg, 2000) wird nicht erfasst - kaum aktuelle Quellen
De Werd, Desoete & Royers (2013)	8 - 12 Jahre	N = 17 (LRS), 22 (RS), 28 (LRS+RS), 45 (Kontrolle), (Muttersprache: niederländisch)	- Inhibition (Go/No-go-Aufgabe mit alphanumerischen und nicht-sprachlichen Material) → braucht wenige ZE-Ressourcen - standardisierte Lese-, Rechtschreib- und Rechentest - IQ (WISC-III)	- Kriterium: IQ>85, kein ADHS, Schulleistung PR<10 - Multivariate Varianzanalysen (2x2x3 = LRS ja/nein x RS ja/nein x Modalität, bzw. 2x2 = RS, LRS, LRS+RS, Kontrolle)	Ist behaviorale Inhibition ein gemeinsamer Risikofaktor für die kombinierte Lernstörung? Hängt die Inhibitionsleistung von der Modalität des zu inhibierenden Materials ab? Ist behaviorale Inhibition ein gemeinsamer Risikofaktor für LRS+RS (→ Underadditivity)? - Kinder mit komorbider Lernstörung machten weniger Fehler bei alphanumerischem Material als die Kinder mit der Lese-Rechtschreibschwäche, was gegen die Hypothese spricht, dass das gleiche Defizit beiden gemeinsam auftretenden Störungen zugrunde liegt. Anscheinend summieren sich eher verschiedene Aspekte auf	- nur eine Aufgabe, nur Inhibition

<p>van der Sluis, de Jong & van der Leij (2004)</p>	<p>4. & 5. Klasse</p>	<p>N = 18 (RS), 21 (LS), 16 (LS+RS), 19 (Kontrolle) (Muttersprache niederländisch)</p>	<p>- Benennungsgeschwindigkeit (Buchstaben, Ziffern, Formen, Anzahl) - Inhibition (Quantity-Inhibition; Objects-Inhibition; Indikator für Inhibitionsleistung ist Differenz der Zeit Quantity-Inhibition bzw Objects-Inhibition - schnelles Benennen des gleichen Materials) - Shifting (Objects-Shifting - schnelles Benennen von Objekten; Making Trail-Baseline) - Inhibition+ Shifting (Objects-Inhibition-Shifting) - standardisierte Speed-Test zu Lese- und Rechenfertigkeit</p>	<p>- Kriterium: Rückstand in Schulleistung von 1.5 Jahren, IQ>85, grobe Kontrolle von Verhaltensschwierigkeit en durch Schulform - Multivariate Varianzanalysen, Effektstärken (2x2 = LRS ja/nein x RS ja/nein x exekutive Kontrolle erforderlich ja/nein)</p>	<p>Sind Shifting und Inhibition und deren gleichzeitige Koordination zentrale Schwächen bei LRS, RS und LRS+RS? - Kinder mit komorbider Lernschwäche zeigen eine langsamere Benennungsgeschwindigkeit in allen Modalitäten - LRS: keine Defizite in Inhibition, Shifting & Inhib+Shift - RS: zwar langsamer in Inhibition, ursächl. aber eher generell langsames Verarbeiten von Ziffern; langsamer in komplexer Inhib+Shift-Aufgabe - LRS+RS: langsamer in Inhibition, ursächl. aber eher generell langsames Verarbeiten von Ziffern; langsamer in Shifting, ursächl. aber eher generell langsames Verarbeiten von Objekten; schlechter als alle anderen Gruppen in Making Trails (erfordert komplex Inhibition, Shifting, Updating) - Profil kombinierter Lernstörung = adiertes Profil von Kindern mit isolierter Lernstörung</p>	<p>- kein Rechtschreiben - kein Updating - Material eher mathe-nah (Ziffern und Formen), deshalb keine Zusammenhänge von LRS - EF?</p>
<p>Willburger, Fussenegger, Moll, Wood & Landerl (2008)</p>	<p>8 - 10 Jahre</p>	<p>N = 18 (LS), 19 (RS), 20 (LS+RS)</p>	<p>- Aufmerksamkeit (KITAP - Flexibilität, Daueraufmerksamkeit, Wachsamkeit) - Schnelles Benennen von Ziffern, Buchstaben, Anzahlen - Inhibition (Objects-I, Quantity-I,) - Shifting (Objects-Shifting) - gemischt: Objects-Shifting-Inhibition (EF-Score ist jeweils die Differenz der richtigen Antworten in schnellerem Benennen - richtige Antworten im EF-Teil) - Leseflüssigkeit (Salzburger Lese-Screening), Rechnen (Heidelberger Rechentest) - IQ (Subtests fluide IQ aus WISC III) - Verhaltensauffälligkeiten (CBCL)</p>	<p>- Kriterium: Schulleistung < 1SD, IQ>85, CBCL unauffällig MANOVA</p>	<p>u.a.: Gibt es charakteristische EF-Defizite bei der Rechenstörung (LS & LS+RS)? - RS schlechter bei KITAP Daueraufmerksamkeit - LS schlechter bei KITAP Flexibilität → Kinder mit Lernschwächen haben leichte Aufmerksamkeitsprobleme - generell langsames Benennen bei allen Modalitäten - keine Unterschiede zwischen Kontroll- und Störungsgruppen in EF-Leistungen</p>	<p>- kein Rechtschreiben erfasst - kein Updating erfasst - nur ein Paradigma zur Erfassung der EF - unklar, ob EF aus Summe richtiger Antworten oder aus Bearbeitungszeit gebildet wird (van der Sluis et al., 2004, nutzten Zeitvariable, s.o.)</p>
<p>Isolierte Lernschwächen (beispielhaft)</p>						
<p>Reiter, Tucha & Lange (2005)</p>	<p>11 Jahre</p>	<p>N=42 (LRS), 42 (Kontrolle) (Muttersprache: deutsch)</p>	<p>- Phonologische Schleife (Zahlenspanne vorwärts) - Zentrale Exekutive (Zahlenspanne rückwärts) - vis.-räuml. AG - Inhibition (Flexibility-Aufgabe, Go/No-go, Stroop) - Problem lösen (Tower of London) - Shifting (Trail Making) - Verarbeitungsgeschwindigkeit (Trail Making Baseline)</p>	<p>- Kriterium: IQ>90, Leseschreibleistung <1SD - Mittelwertvergleich inkl. Effektstärken</p>	<p>-geringeres verbales und figurales AG, geringere ZE bei LRS - in Stroop und Flexibility schnitten Kindern mit LRS schlechter ab, nicht aber in Go/No-go → erklären die Autoren mit geringem Schwierigkeitsgrad der Go/No-go-Aufgabe - etwas langsamer in Shifting-Aufgabe Trail Making</p>	<p>- nur LRS - kein Updating, nur ZE (Zahlenspanne rückwärts)</p>

Autoren (Jahr)	Alter	N	Variablen:	Kriterium für LS & Auswertungsmethode	Fragen & Ergebnisse	Bemerkungen
Chiappe, Hasher & Siegel (2000)	6-9 (&ältere Kinder und Erwachsene)	N=98 (LS), 108 (Kontrolle)	- Working memory (Listening Span) - Wortlesetest	- Kriterium: Wort-Lesetest PR<26, IQ>79 - ANOVA	Leseschwäche hängt mit schwachem Working memory zusammen. Inhibitorische Kontrolle könnte auf WM-Leistung wirken, indem Zugang irrelevanter Info gestoppt wird, irrelevante Info aus AG gelöscht und starke Repräsentationen irrelevanter Infos abgeschwächt werden. Trifft diese Annahme für Leseschwäche vs. Kontrollkinder zu? - Leseschwäche: mehr Intrusionsfehler bei Listening Span Aufgabe, d.h. weniger Inhibition - beim Lesen zeigen sich inhibitorische Schwächen z.B. durch fehlende Inhibition falscher Graphem-Morphem-Zuordnung oder falscher Betonung von Wörtern beim Lesen → erschwert Worterkennung	- nur Lesen von Wörtern
Chiappe & Siegel (2001)	4. Klasse	N = 23 (Schwächen in Textaufgaben), 26 (Kontrolle)	- ZE (Listening span, Animal dual task, Listening span completion, Counting span) - phonologische Schleife (Wortspanne vor und rück) - Wortschatz, Mathematik-Test mit Textaufgaben	- Kriterium: PR<30 im Mathematiktest - ANOVA	- In allen ZE-Aufgaben schlechtere Leistungen, also modalitätsunabhängig - Mehr Intrusionsfehler bei Listening Span → könnte an mangelnder Hemmung bzw. Aufrechterhalten zu vieler irrelevanter Informationen liegen, → Indikator für Hemmung endogener Distraktoren im Unterschied zur Hemmung präpotenter Reaktionen!	- sehr spezifische Mathevariable
Locascio, Mahone, Eason & Cutting (2010)	10 - 14 Jahre	N = 44 (Worterkennungsdefizit = WRD), 18 (Leseverständnisdefizit = LVD), 24 (Muttersprache: englisch)	- BRIEF - Phonologische Informationsverarbeitung, Lesen von Wörtern, Leseverständnis jeweils mit mehreren Testverfahren - Working Memory (Satzspanne, Zahlenspanne rückwärts, räuml. Spanne rückwärts) - Planning (Weg durch Labyrinth finden, Trail Making, Turm-Aufgabe) - Inhibition (Hand-Aufgabe, mit geschlossenen Augen das zur Berührung kontralaterale Körperteil bewegen)	- Kriterium: Lesen und Leseverständnis <PR 25, IQ>80, ADHS kein Ausschlusskriterium! - EFA, ANCOVA	Haben WRD-Kinder mehr Schwierigkeiten in der phonologischen Informationsverarbeitung und Kinder mit LVD besondere Schwächen in den EF (Planning/Organisieren und anderen EF)? - Faktorenanalyse ergab andere Testzuordnungen als angenommen (visuell-räuml./planning & verbaler AG-Faktor; Inhibition) - Kinder mit WRD: Schwächen in verbalem AG und Inhibition, dies ist aber verursacht durch schwache phon. Informationsverarbeitung - Kinder mit LVD: Schwächen in Planning-Faktor, besonders in Subtest Turm-Aufgabe	- Nur Worterkennungs-schwierigkeiten und Leseverständnis - Faktorenlösung ungewöhnlich

Anmerkungen: UV = unabhängige Variablen; AV = abhängige Variablen; EF = exekutive Funktionen; ZE = zentrale Exekutive; AG = Arbeitsgedächtnis; LRS = Leseschwäche; RS = Rechenschwäche; LRS+RS = Kombinierte Lernschwäche; PR = Prozentrang.

Tabelle 23: Mittelwerte, Standardabweichungen, Verteilungsmaße und -prüfung und Cut-off-Werte der Prädiktoren und Schulleistungstests (ausgeschlossen wurden Kinder mit einer Intelligenztestleistung $PR < 16$ und bei Vorliegen einer ADHS-Symptomatik).

Variable	N	M (SD) ¹	Schief ¹	Kurtosis ¹	D (p) ¹	Levene-Test (p) ²	Cut-off PR<35 ¹	Cut-off PR<16 ¹
Shifting und Inhibition								
Farbshifting	186	24.6 (7.1)	-0.811	0.351	.132 (.000)	0.517 (.763)	≤ 22	
Kartenshifting	183	7.5 (2.3)	0.517	-0.432	.239 (.000)	1.342 (.249)	≤ 5	
Stroop-Aufgabe	183	0.38 (.13)	0.223	-0.204	.055 (.200)	0.355 (.879)	≤ .30	
Handaufgabe	188	22.6 (2.2)	-2.704	8.697	.265 (.000)	2.324 (.045)	≤ 22	
Shifting & Inhibition (z-Wert)	179	0.13 (.57)	-0.201	0.239	.031 (.200)	0.711 (.616)	≤ -.11	
Updating								
Komplexe Objektspanne	182	2.5 (1.2)	-0.239	2.549	.212 (.000)	3.199 (.009)	≤ 1	
Picture Memory Task	187	12.0 (5.0)	-0.051	-0.612	.051 (.200)	3.082 (.011)	≤ 9	
Updating (z-Wert)	182	0.14 (.81)	-0.130	0.536	.074 (.017)	2.701 (.022)	≤ -.12	
Phonologische Bewusstheit								
pB weit MZP 1	180	5.45 (2.9)	-0.170	-1.297	.122 (.000)	1.572 (.171)	≤ 4.0	
pB weit MZP 2	190	6.5 (2.6)	-0.731	-0.379	.122 (.000)	2.946 (.014)	≤ 5.5	
pB weit MZP 3	181	6.3 (1.8)	-0.901	1.041	.167 (.000)	2.916 (.015)	≤ 5.5	
pB weit MZP 4	187	8.0 (1.9)	-1.426	1.905	.179 (.000)	7.332 (.000)	≤ 7.5	
pB eng MZP 1	181	4.5 (2.1)	0.042	-0.892	.138 (.000)	0.714 (.614)	≤ 2.0	
pB eng MZP 2	190	4.5 (2.2)	0.058	-1.162	.098 (.000)	3.350 (.006)	≤ 3.0	

Variable	N	M (SD) ¹	Schiefe ¹	Kurtosis ¹	D (p) ¹	Levene-Test (p) ²	Cut-off PR<35 ¹	Cut-off PR<16 ¹
pB eng MZP 3	187	5.4 (2.1)	-0.353	-1.170	.142 (.000)	0.891 (.488)	≤ 4.0	
pB eng MZP 4	187	6.4 (1.7)	-1.131	0.377	.179 (.000)	4.571 (.001)	≤ 5.5	
Zahl-Größen-Kompetenzen								
ZGK Ebene 1 MZP 1	179	7.9 (4.4)	0.180	-1.037	.083 (.004)	2.813 (.018)	≤ 5.0	
ZGK Ebene 1 MZP 2	190	10.35 (4.4)	-0.194	-1.286	.141 (.000)	1.566 (.172)	≤ 7.0	
ZGK Ebene 1 MZP 3	187	11.8 (3.8)	-0.574	-0.781	.151 (.000)	0.697 (.627)	≤ 10	
ZGV Ebene 1 MZP 4	187	13.5 (3.1)	-1.293	0.611	.227 (.000)	8.111 (.000)	≤ 13.5	
ZGK Ebene 2 MZP 1	179	4.0 (1.8)	-0.482	-0.993	.173 (.000)	0.388 (.856)	≤ 3.0	
ZGK Ebene 2 MZP 2	189	4.8 (1.4)	-1.309	1.112	.202 (.000)	2.441 (.036)	≤ 4.0	
ZGK Ebene 2 MZP 3	187	5.4 (.96)	-1.747	2.870	.291 (.000)	4.065 (.002)	≤ 5.0	
ZGK Ebene 2 MZP 4	187	5.7 (.63)	-3.392	17.188	.366 (.000)	5.445 (.000)	≤ 5.5	
Abruf aus dem Langzeitgedächtnis								
Abruf aus LZG MZP 1	179	0.69 (.17)	0.418	0.368	.057 (.200)	0.884 (.493)	≤ .622	
Abruf aus LZG MZP 2	190	0.75 (.21)	0.109	0.990	.050 (.200)	1.797 (.116)	≤ .670	
Abruf aus LZG MZP 3	183	0.86 (.22)	0.083	0.799	.068 (.038)	0.691 (.361)	≤ .790	
Abruf aus LZG MZP 4	187	0.83 (.23)	0.361	-0.085	.064 (.058)	0.650 (.662)	≤ .711	
Arbeitsgedächtnis								
Phon. Schleife MZP 1	179	4.6 (1.4)	0.061	1.766	.160 (.000)	1.961 (.087)	≤ 3.0	
Phon. Schleife MZP 2	190	5.1 (1.2)	0.050	0.290	.164 (.000)	0.416 (.837)	≤ 4.0	
Phon. Schleife MZP 3	185	5.3 (1.1)	0.284	0.942	.200 (.000)	0.301 (.912)	≤ 4.0	

Variable	N	M (SD) ¹	Schiefte ¹	Kurtosis ¹	D (p) ¹	Levene-Test (p) ²	Cut-off PR<35 ¹	Cut-off PR<16 ¹
Phon. Schleife MZP 4	187	5.5 (1.3)	0.760	3.914	.197 (.000)	1.814 (.112)	≤ 4.0	
Vis.-räuml. Notizblock MZP 1	178	9.54 (3.3)	-0.515	.182	.099 (.000)	0.298 (.913)	≤ 8	
Vis.-räuml. Notizblock MZP 2	178	12.0 (2.3)	-0.986	1.888	.115 (.000)	1.246 (.289)	≤ 9	
Vis.-räuml. Notizblock MZP 3	178	12.0 (2.3)	-0.986	1.888	.143 (.000)	2.453 (.036)	≤ 10	
Vis.-räuml. Notizblock MZP 4	187	12.7 (2.1)	-0.754	-0.541	.153 (.000)	2.867 (.016)	≤ 11	
(Schrift-) sprachliche Kompetenzen								
Buchstabenkenntnis MZP 3	189	10.2 (8.0)	0.538	-0.968	.132 (.000)	6.377 (.000)	≤ 4	
Buchstabenkenntnis MZP 4	186	14.2 (8.1)	0.026	-1.355	.122 (.000)	4.085 (.002)	≤ 9	
Grammatik MZP 4	187	18.0 (6.4)	-0.305	-0.034	.193 (.000)	1.974 (.085)	≤ 15	
Intelligenz								
IQ MZP 5	190	24.6 (5.2)	0.040	-1.051	.094 (.000)	1.092 (.366)	≤ 18	
Schulleistungstests								
WLLP-R	186	39.2 (17.2)	0.233	0.228	.068 (.037)	4.832 (.000)	≤ 35	≤ 25
ELFE	186	6.4 (4.6)	0.795	0.646	.095 (.000)	4.624 (.001)	≤ 3	≤ 1
DERET 1-2+	184	13.4 (6.8)	0.537	-0.010	.119 (.000)	11.320 (.000)	≥ 14	≥ 19
DEMAT 1+	186	27.3 (7.1)	-1.166	1.324	.130 (.000)	5.665 (.000)	≤ 22	≤ 16

Anmerkungen. ¹ durchgeführt an Gesamtstichprobe; ² Vergleich der Varianzen der fünf Lernschwächegruppen und der Gruppe der Kinder ohne Lernschwächen basierend auf dem Mittelwert; D = Prüfgröße des Kolmogorov-Smirnov-Anpassungs-Test; Cut-off-Werte für Dichotomisierung der Risikofaktoren.

Tabelle 24:

Post-hoc-Analysen der Mittelwertunterschiede in den Schulleistungstests (Klassifikationskriterium $PR < 35$)

	<i>N</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Effektstärke <i>r</i>
WLLP-R				
Leseschwäche vs. Rechtschreibschwäche	39	3.899	.001	.62
Leseschwäche vs. Rechenschwäche	31	-3.097	.029	-.56
Leseschwäche vs. keine Lernschwäche	97	6.533	.000	.66
Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	24	-.004	1.000	.00
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwäche	90	1.052	1.000	.11
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	.763	1.000	.11
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	4.682	.000	.72
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	34	-3.684	.003	.63
Lese-Rechtschreibschwäche vs. kombinierte Lernschwächen	63	-.003	1.000	.00
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwäche	100	7.799	.000	.78
Rechenschwäche vs. keine Lernschwäche	82	.775	1.000	.09
kombinierte Lernschwächen vs. Leseschwäche	60	.820	1.000	.11
kombinierte Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	53	4.970	.000	.68
kombinierte Lernschwächen vs. Rechenschwäche	45	3.818	.002	.60
kombinierte Lernschwächen vs. keine Lernschwäche	111	8.827	.000	.84
ELFE 1-6				
Leseschwäche vs. Rechtschreibschwäche	39	2.180	.439	.35
Leseschwäche vs. Rechenschwäche	31	-1.955	.758	-.35
Leseschwäche vs. keine Lernschwäche	97	4.844	.000	.49
Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	24	-.215	1.000	-.04
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwäche	90	1.620	1.000	.17
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	1.934	.796	.28

	<i>N</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Effektstärke <i>r</i>
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	3.976	.001	.61
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	34	-3.355	.012	-.58
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwäche	100	7.501	.000	.75
Rechenschwäche vs. keine Lernschwäche	82	.950	1.000	.11
Kombinierte Lernschwäche vs. Leseschwäche	60	2.263	.355	.29
Kombinierte Lernschwäche vs. Rechtschreibschwäche	53	4.380	.000	.60
Kombinierte Lernschwäche vs. Lese-Rechtschreibschwäche	63	.184	1.000	.02
Kombinierte Lernschwäche vs. Rechenschwäche	45	3.599	.005	.54
Kombinierte Lernschwäche vs. keine Lernschwäche	111	8.727	.000	.83
DERET 1-2+				
Leseschwäche vs. Rechtschreibschwäche	39	3.528	.006	.57
Leseschwäche vs. Lese-Rechtschreibschwäche	49	-4.898	.000	-.70
Leseschwäche vs. kombinierte Lernschwäche	60	-5.379	.000	-.69
Rechtschreibschwäche vs. Lese-Rechtschreibschwäche	42	-.798	1.000	-.12
Rechtschreibschwäche vs. kombinierte Lernschwäche	53	-.935	1.000	-.13
Lese-Rechtschreibschwäche vs. kombinierte Lernschwäche	63	-.103	1.000	-.13
Rechenschwäche vs. Leseschwäche	31	1.345	1.000	.24
Rechenschwäche vs. Rechtschreibschwäche	24	3.928	.001	.80
Rechenschwäche vs. Lese-Rechtschreibschwäche	34	4.834	.000	.83
Rechenschwäche vs. kombinierte Lernschwäche	45	-5.080	.000	-.76
Rechenschwäche vs. keine Lernschwäche	82	.343	1.000	.04
Keine Lernschwäche vs. Leseschwäche	97	-1.779	1.000	-.18
Keine Lernschwäche vs. Rechtschreibschwäche	90	-5.706	.000	-.60
Keine Lernschwäche vs. Lese-Rechtschreibschwäche	100	-8.012	.000	-.80

	<i>N</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Effektstärke <i>r</i>
Keine Lernschwäche vs. kombinierte Lernschwäche	111	-9.203	.000	-.87
DEMAT 1+				
Leseschwäche vs. Rechtschreibschwäche	39	.700	1.000	.11
Leseschwäche vs. Lese-Rechtschreibschwäche	49	-.326	1.000	-.05
Leseschwäche vs. keine Lernschwäche	97	2.712	.100	.28
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwäche	90	1.522	1.000	.16
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche.700/	42	.424	1.000	.07
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwäche	100	2.431	.226	.24
Rechenschwäche vs. Leseschwäche	31	3.140	.025	.56
Rechenschwäche vs. Rechtschreibschwäche	24	3.503	.007	.72
Rechenschwäche vs. Lese-Rechtschreibschwäche	34	3.419	.009	.59
Rechenschwäche vs. keine Lernschwäche	82	5.203	.000	.58
Kombinierte Lernschwächen vs. Leseschwäche	60	5.097	.000	.66
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	53	5.285	.000	.73
Kombinierte Lernschwächen vs. Lese-Rechtschreibschwäche	63	5.653	.000	.71
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechenschwäche	45	.165	1.000	.02
Kombinierte Lernschwächen vs. keine Lernschwäche	111	9.938	.000	.94

Anmerkungen. *Z* = Prüfgröße der Mann-Whitney-Post-hoc-Vergleiche; *p* = adjustiertes Signifikanzniveau; Effektstärkenberechnung: $r = \frac{Z}{\sqrt{N}}$ (Field, 2009, S. 550); DERET 1-2+: umgekehrt gepolt: Summenwert = Anzahl Fehler.

Tabelle 25:

Post-hoc-Analysen der Mittelwertunterschiede in den Schulleistungsprädiktoren

	<i>N</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Effektstärke <i>r</i>
Shifting & Inhibition				
Leseschwäche vs. Rechtschreibschwäche	39	.884	1.000	.14
Leseschwäche vs. Rechenschwäche	31	-.519	1.000	-.09
Leseschwäche vs. keine Lernschwächen	97	1.445	1.000	.15
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	90	.199	1.000	.02
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	1.073	1.000	.15
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	1.861	.941	.29
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	34	-1.300	1.000	-.22
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	100	1.861	.941	.19
Rechenschwäche vs. Rechtschreibschwäche	24	.187	1.000	.04
Rechenschwäche vs. keine Lernschwäche	82	.371	1.000	.04
Kombinierte Lernschwächen vs. Leseschwäche	60	1.751	1.000	.23
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	53	2.498	.187	.34
Kombinierte Lernschwächen vs. Lese-Rechtschreibschwäche	63	.616	1.000	.08
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechenschwäche	45	1.766	1.000	.26
Kombinierte Lernschwäche vs. keine Lernschwächen	111	3.961	.001	.38
Updating				
Leseschwäche vs. keine Lernschwächen	97	.688	1.000	.07
Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	39	.253	1.000	.03
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	90	.688	1.000	.11
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	1.161	1.000	.17
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	.590	1.000	.09
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	100	2.190	.428	.22
Rechenschwäche vs. Leseschwäche	31	1.444	1.000	.26
Rechenschwäche vs. Rechtschreibschwäche	24	1.033	1.000	.21

	<i>N</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Effektstärke <i>r</i>
Rechenschwäche vs. Lese- Rechtschreibschwäche	34	.642	1.000	.11
Rechenschwäche vs. keine Lernschwächen	82	2.046	.612	.23
Kombinierte Lernschwäche vs. Leseschwäche	60	4.196	.000	.54
Kombinierte Lernschwäche vs. Rechtschreibschwäche	53	3.284	.015	.45
Kombinierte Lernschwäche vs. Lese- Rechtschreibschwäche	63	3.106	.028	.39
Kombinierte Lernschwäche vs. Rechenschwäche	45	1.380	1.000	.21
Kombinierte Lernschwäche vs. keine Lernschwächen	111	6.328	.000	.60
Phonologische Bewusstheit im weiteren Sinn				
Leseschwäche vs. Rechtschreibschwäche	39	.304	1.000	.05
Leseschwäche vs. Rechenschwäche	31	-.969	1.000	-.17
Leseschwäche vs. keine Lernschwächen	97	1.598	1.000	.16
Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	24	-.681	1.000	-.14
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	90	1.014	1.000	.11
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	.700	1.000	.01
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	.937	1.000	.15
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	34	-1.486	1.000	-.26
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	100	2.526	.173	.25
Kombinierte Lernschwächen vs. Leseschwäche	60	3.155	.024	.41
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	53	3.111	.028	.43
Kombinierte Lernschwächen vs. Lese- Rechtschreibschwäche	63	2.460	.209	.31
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechenschwäche	45	3.211	.020	.48
Kombinierte Lernschwächen vs. keine Lernschwächen	111	6.044	.000	.57
Keine Lernschwächen vs. Rechenschwäche	82	-.027	1.000	-.00

	<i>N</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Effektstärke <i>r</i>
Phonologische Bewusstheit im engeren Sinn				
Leseschwäche vs. Rechtschreibschwäche	39	.641	1.000	.10
Leseschwäche vs. Rechenschwäche	31	-.543	1.000	-.10
Leseschwäche vs. keine Lernschwächen	97	1.229	1.000	.13
Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	24	-.033	1.000	-.01
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	90	.308	1.000	.03
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	.982	1.000	.14
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	1.538	1.000	.24
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	34	-1.248	1.000	-.21
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	100	2.493	.190	.25
Rechenschwäche vs. keine Lernschwächen	82	.190	1.000	.02
Kombinierte Lernschwächen vs. Leseschwäche	60	2.105	.529	.27
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	53	2.105	.529	.29
Kombinierte Lernschwächen vs. Lese- Rechtschreibschwäche	63	1.068	1.000	.13
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechenschwäche	45	2.008	.669	.30
Kombinierte Lernschwächen vs. keine Lernschwächen	111	4.202	.000	.40
Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 1				
Leseschwäche vs. keine Lernschwäche	97	1.629	1.000	.17
Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	39	-.260	1.000	-.04
Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	24	.000	1.000	.00
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	90	1.744	1.000	.18
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	.847	1.000	.12
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	.509	1.000	.08
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	34	-.403	1.000	-.07
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	100	2.747	.090	.28

	<i>N</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Effektstärke <i>r</i>
Rechenschwäche vs. Leseschwäche	31	.207	1.000	.04
Rechenschwäche vs. keine Lernschwächen	82	1.292	1.000	.14
Kombinierte Lernschwächen vs. Leseschwäche	60	4.053	.001	.52
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	53	3.361	.012	.46
Kombinierte Lernschwäche vs. Lese- Rechtschreibschwäche	63	3.209	.020	.40
Kombinierte Lernschwäche vs. Rechenschwäche	45	2.579	.149	.38
Kombinierte Lernschwäche vs. keine Lernschwächen	111	7.383	.000	.70
Zahl-Größen-Kompetenzen der Ebene 2				
Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	39	-.050	1.000	-.01
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	1.472	1.000	.21
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	1.292	1.000	.20
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	34	-.267	1.000	-.05
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	100	1.773	1.000	.18
Rechenschwäche vs. Leseschwäche	31	.729	1.000	.13
Rechenschwäche vs. Rechtschreibschwäche	24	.661	1.000	.14
Rechenschwäche vs. keine Lernschwäche	82	.749	1.000	.08
Kombinierte Lernschwächen vs. Leseschwäche	60	3.456	.008	.45
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	53	3.055	.034	.42
Kombinierte Lernschwächen vs. Lese- Rechtschreibschwäche	63	1.932	.800	.24
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechenschwäche	45	1.490	1.000	.22
Kombinierte Lernschwächen vs. keine Lernschwächen	111	4.521	.000	.43
Keine Lernschwächen vs. Leseschwäche	97	-.083	1.000	-.01
Keine Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	90	-.013	1.000	-.00
Abruf aus dem Langzeitgedächtnis				
Leseschwäche vs. Rechtschreibschwäche	39	.474	1.000	.08
Leseschwäche vs. Rechenschwäche	31	-1.339	1.000	-.24

	<i>N</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Effektstärke <i>r</i>
Leseschwäche vs. keine Lernschwächen	97	2.543	.165	.26
Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	24	-.900	1.000	.18
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	90	1.621	1.000	.17
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	.043	1.000	.01
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	.525	1.000	.08
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	34	-1.392	1.000	-.24
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	100	2.723	.097	.27
Rechenschwäche vs. keine Lernschwächen	82	.176	1.000	.02
Kombinierte Lernschwächen vs. Leseschwäche	60	.672	1.000	.09
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	53	1.106	1.000	.15
Kombinierte Lernschwächen vs. Lese- Rechtschreibschwäche	63	.650	1.000	.08
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechenschwäche	45	1.875	.912	.28
Kombinierte Lernschwächen vs. keine Lernschwächen	111	3.864	.002	.37
Phonologische Schleife				
Leseschwäche vs. Rechtschreibschwäche	39	1.950	.767	.31
Leseschwäche vs. Rechenschwäche	31	-.453	1.000	.08
Leseschwäche vs. keine Lernschwächen	97	2.058	.594	.21
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	.578	1.000	.08
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	2.517	.178	.36
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	34	-.876	1.000	-.15
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	100	2.888	.058	.29
Rechenschwäche vs. Rechtschreibschwäche	24	1.065	1.000	.22
Rechenschwäche vs. keine Lernschwächen	82	.842	1.000	.09
Kombinierte Lernschwächen vs. Leseschwäche	60	.696	1.000	.09

	<i>N</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Effektstärke <i>r</i>
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	53	2.737	.093.008	.38
Kombinierte Lernschwächen vs. Lese-Rechtschreibschwäche	63	.074	1.000	.01
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechenschwäche	45	.960	1.000	.14
Kombinierte Lernschwächen vs. keine Lernschwächen	111	3.382	.011	.32
Keine Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	90	-.538	1.000	-.06
Visuell-räumlicher Notizblock				
Leseschwäche vs. keine Lernschwächen	97	1.082	1.000	.11
Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	39	-.038	1.000	.01
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	90	.974	1.000	.10
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	.305	1.000	.04
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	.235	1.000	.04
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	100	1.479	1.000	.15
Rechenschwäche vs. Leseschwäche	31	1.423	1.000	.26
Rechenschwäche vs. Rechtschreibschwäche	24	1.313	1.000	.24
Rechenschwäche vs. Lese-Rechtschreibschwäche	34	1.210	1.000	.21
Rechenschwäche vs. kombinierte Lernschwächen	45	-.086	1.000	-.01
Rechenschwäche vs. keine Lernschwächen	82	2.283	.337	.25
Kombinierte Lernschwäche vs. Leseschwäche	60	2.011	.665	.26
Kombinierte Lernschwäche vs. Rechtschreibschwäche	53	1.736	1.000	.24
Kombinierte Lernschwäche vs. Lese-Rechtschreibschwäche	63	1.703	1.000	.22
Kombinierte Lernschwäche vs. keine Lernschwächen	111	3.880	.002	.37
Buchstabenkenntnis				
Leseschwäche vs. Rechenschwäche	31	-1.555	1.000	.28
Leseschwäche vs. keine Lernschwächen	97	.660	1.000	.07
Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	31	-.516	1.000	-.09

	<i>N</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Effektstärke <i>r</i>
Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	24	-1.863	.938	-.38
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	90	1.180	1.000	.12
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	1.965	.742	.28
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	1.241	1.000	.19
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	34	-2.970	.045	-.51
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	100	3.144	.025	.31
Kombinierte Lernschwächen vs. Leseschwäche	60	3.914	.001	.51
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	53	2.917	.053	.40
Kombinierte Lernschwächen vs. Lese- Rechtschreibschwäche	63	1.875	.913	.24
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechenschwäche	34	4.307	.000	.74
Kombinierte Lernschwächen vs. keine Lernschwächen	111	5.881	.000	.56
Keine Lernschwächen vs. Rechenschwäche	82	-1.287	1.000	.14
Grammatik				
Leseschwäche vs. Rechtschreibschwäche	39	.111	1.000	.02
Leseschwäche vs. Rechenschwäche	31	-.571	1.000	-.10
Leseschwäche vs. keine Lernschwächen	97	1.462	1.000	.15
Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	24	-.458	1.000	-.09
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	90	1.137	1.000	.12
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	1.616	1.000	.23
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	1.569	1.000	.24
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	34	-1.724	1.000	-.30
Lese-Rechtschreibschwäche vs. kombinierte Lernschwächen	63	-.695	1.000	-.09
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	100	3.548	.006	.36

	<i>N</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	Effektstärke <i>r</i>
Rechenschwäche vs. keine Lernschwächen	82	.312	1.000	.03
Kombinierte Lernschwächen vs. Leseschwäche	60	1.072	1.000	.14
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechtschreibschwäche	63	1.072	1.000	.14
Kombinierte Lernschwächen vs. Rechenschwäche	34	1.331	1.000	.23
Kombinierte Lernschwächen vs. keine Lernschwächen	111	3.134	.026	.30
IQ				
Leseschwäche vs. Rechtschreibschwäche	39	1.102	1.000	.18
Leseschwäche vs. keine Lernschwächen	97	1.547	1.000	.16
Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	90	.039	1.000	.00
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Leseschwäche	49	1.645	1.000	.24
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechtschreibschwäche	42	2.611	.136	.40
Lese-Rechtschreibschwäche vs. Rechenschwäche	34	-.741	1.000	-.13
Lese-Rechtschreibschwäche vs. keine Lernschwächen	100	3.686	.003	.37
Rechenschwäche vs. Leseschwäche	31	.418	1.000	.08
Rechenschwäche vs. Rechtschreibschwäche	24	1.224	1.000	.25
Rechenschwäche vs. keine Lernschwächen	82	1.453	1.000	.16
Kombinierte Lernschwäche vs. Leseschwäche	60	2.111	.522	.27
Kombinierte Lernschwäche vs. Rechtschreibschwäche	63	3.072	.032	.39
Kombinierte Lernschwäche vs. Lese-Rechtschreibschwäche	63	.350	1.000	.04
Kombinierte Lernschwäche vs. Rechenschwäche	34	.998	1.000	.17
Kombinierte Lernschwäche vs. keine Lernschwächen	111	4.618	.000	.44

Anmerkungen. *Z* = Prüfgröße des Mann-Whitney-Test; *p* = adjustiertes Signifikanzniveau; Effektstärkenberechnung: $r = Z / \sqrt{N}$ (Field, 2009, S. 550).

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG:

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Zitate kenntlich gemacht habe.

Stefanie Simanowski-Schulz

Gießen, Juli 2014