***Arbeitsgedächtnis und Schulleistungen
in Mathematik und Schriftsprache
bei älteren Grundschulern***

Dissertation

zur Erlangung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Doktorgrades

„Doctor rerum naturalium“

der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Inga Schmid

aus Göttingen

Göttingen 2011

Referent: Prof. Dr. Marcus Hasselhorn

Korreferentin: Prof. Dr. Claudia Mähler

Betreuer: Prof. Dr. Dietmar Grube

Tag der mündlichen Prüfung: 29. August 2011

In Erinnerung an

meinen Großpapa Dr. jur. Hans Schmid

und

meine Oma Dr. med. dent. Christa-Margarete Joachim geb. Liebich

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Theoretischer und empirischer Hintergrund	9
2.1	Arbeitsgedächtnis	9
2.1.1	Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley	10
2.1.1.1	<i>Zentrale Exekutive</i>	13
2.1.1.2	<i>Phonologische Schleife</i>	16
2.1.1.3	<i>Visuell-räumlicher Notizblock</i>	20
2.1.2	Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern bis 12 Jahren	21
2.1.2.1	<i>Strukturentwicklung</i>	22
2.1.2.2	<i>Zentral-exekutive Entwicklung</i>	23
2.1.2.3	<i>Entwicklung der phonologischen Schleife</i>	25
2.1.2.4	<i>Entwicklung im visuell-räumlichen Notizblock</i>	26
2.2	Leistungsbereiche und ihr Zusammenhang mit dem Arbeitsgedächtnis	28
2.2.1	Intelligenz	28
2.2.1.1	<i>Intelligenzmodelle und -konstrukte</i>	28
2.2.1.2	<i>Intelligenz und Arbeitsgedächtnis</i>	32
2.2.2	Mathematik	36
2.2.2.1	<i>Mathematische Fähigkeiten und ihre Entwicklung</i>	36
2.2.2.2	<i>Mathematik und Arbeitsgedächtnis</i>	41
2.2.3	Schriftsprache	46
2.2.3.1	<i>Schriftsprachkompetenzen</i>	46
2.2.3.1	<i>Lesen</i>	50
2.2.3.2	<i>Schreiben</i>	51
2.2.3.3	<i>Schriftsprache und Arbeitsgedächtnis</i>	51
2.2.3.4	<i>Lesen und Arbeitsgedächtnis</i>	56
2.2.3.5	<i>Schreiben und Arbeitsgedächtnis</i>	59
3	Fragestellung	61
3.1	Theoriezusammenfassung und resultierende Fragen und Hypothesen	61
3.1.1	Fragestellung	63
3.1.2	Hypothesen und explorative Fragen	64
3.2	Hypothesenableitung	65

3.2.1	Psychologische Hypothesen	65
3.2.2	Psychologische Vorhersagen	65
3.2.3	Statistische Vorhersagen	66
3.2.4	Statistische Hypothesen	66
3.2.5	Explorative Fragen	67
4	Methode I: AGTB 5-12	68
4.1	Beschreibung und Entwicklung	68
4.2	Subtests	71
4.2.1	Zentral-exekutive Subtests	71
4.2.1.1	<i>Ziffern rückwärts (ZR)</i>	72
4.2.1.2	<i>Farben rückwärts (FR)</i>	72
4.2.1.3	<i>Zählspanne (ZS)</i>	73
4.2.1.4	<i>Objektspanne (OS)</i>	74
4.2.1.5	<i>Go/NoGo (GNG)</i>	75
4.2.1.6	<i>Stroop (SP)</i>	77
4.2.2	Phonologische Subtests	77
4.2.2.1	<i>Ziffernspanne (ZSV)</i>	78
4.2.2.2	<i>Wortspanne einsilbig (WS1)</i>	78
4.2.2.3	<i>Wortspanne dreisilbig (WS3)</i>	79
4.2.2.4	<i>Kunstwörter (KW)</i>	79
4.2.3	Visuell-räumliche Subtests	80
4.2.3.1	<i>Matrix (MX)</i>	81
4.2.3.2	<i>Corsi-Block (CB)</i>	81
5	Methode II: Leistungstests	83
5.1	Intelligenztest: CFT 20-R	83
5.2	Mathematiktest: DEMAT 3+	83
5.3	Lesetest: WLLP	84
5.4	Rechtschreibtest: DERET 3-4+	84
6	Methode III: Daten	86
6.1	Stichprobenbeschreibung und Datenbearbeitung	86
6.2	Variablenauswahl Leistungstests	88

6.3	Variablenauswahl AGTB-Subtests	90
6.4	Zusammengefasste Maße der Arbeitsgedächtniskomponenten	96
7	Ergebnisse	98
7.1	Korrelationsanalysen	98
7.2	Zusatzberechnungen	103
7.2.1	Mathematikbereiche	103
7.2.1.1	<i>Zusammenhänge mit Intelligenz</i>	104
7.2.1.2	<i>Deskriptive Analyse der Korrelationen mit den Mathematikbereichen</i>	105
7.2.2	Schriftsprache	110
7.2.3	Inhibitionssubtests	111
7.3	Regressionsanalysen	112
8	Diskussion und Ausblick	118
8.1	Diskussion der Ergebnisse für die Leistungsbereiche	118
8.1.1	Intelligenz-Ergebnisse	118
8.1.2	Mathematik-Ergebnisse	120
8.1.3	Schriftsprach-Ergebnisse	123
8.2	Diskussion weiterer Aspekte	126
8.2.1	Inhibitionssubtests	126
8.2.2	Korrelationshöhen	126
8.2.3	Arbeitsgedächtniskomponenten und Subtests	127
8.3	Fazit und Ausblick	128
9	Zusammenfassung	130
	Literaturverzeichnis	132
	Danksagung	154
	Lebenslauf	156

1 Einleitung

Schulleistungen nehmen in der heutigen Gesellschaft, die geprägt ist von Erfolg und Leistung, eine immer wichtigere Rolle ein. Sie entscheiden über Ausbildungsplätze und Karrierechancen, über Studienmöglichkeiten und berufliche Aussichten. Umso entscheidender ist es, die Grundlagen und Ursachen der schulischen Leistungsfähigkeit zu kennen, um sie beispielsweise gezielt fördern zu können. Wodurch wird Schulleistung beeinflusst? Welche kognitiven Funktionen spielen eine Rolle? Nehmen unterschiedliche Faktoren Einfluss auf verschiedene Schulleistungsbereiche? All diese Fragen gilt es zu beantworten.

Eine mögliche Erklärung für die schulische Leistungsfähigkeit wird in der Funktionsfähigkeit des **Arbeitsgedächtnisses** vermutet. Das Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley (1986) bietet eine geeignete Grundlage zur empirischen Untersuchung dieses Zusammenhangs. In dem Modell werden drei *Arbeitsgedächtniskomponenten* postuliert, die unterschiedliche Funktionen wahrnehmen: Die modalitätsunspezifische *zentrale Exekutive* bildet eine übergeordnete Steuerungsfunktion, die ihr untergeordneten Komponenten – *phonologische Schleife* und *visuell-räumlicher Notizblock* – verarbeiten modalitätsspezifische Reize. Das gesamte Modell ist sehr gut empirisch nachgewiesen und abgesichert.

In der vorliegenden Arbeit soll gezielt untersucht werden, ob das Arbeitsgedächtnis einen Zusammenhang zu den **Schulleistungsbereichen** des *Lesens und Rechtschreibens*, der *Mathematik* und deren Unterbereichen sowie zur grundsätzlichen Leistungsfähigkeit, der *Intelligenz* haben. Dabei werden sowohl die einzelnen Arbeitskomponenten als auch ihre Teilfunktionen berücksichtigt.

Bisherige Untersuchungen bieten häufig nur eingeschränkte Erkenntnisse zum Zusammenhang von Schulleistungen und Arbeitsgedächtnis, da nicht alle drei genannten Schulleistungsbereiche und nicht alle Arbeitsgedächtniskomponenten berücksichtigt werden. Des Weiteren wurde bisher kaum darüber berichtet, wie einzelne Teilfunktionen der Komponenten einen Einfluss auf Schulleistungen nehmen könnten. Außerdem stehen ausführliche Ergebnisse zum Zusammenhang von Arbeitsgedächtnisfunktionen und den Unterbereichen der Mathematik weitgehend aus. Diesen Gebieten soll durch die vorliegende Arbeit besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

In Kapitel 2 wird zunächst der theoretische und empirische Hintergrund zum Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley (1986) und der Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses im Verlauf der Kindheit und Jugend vorgestellt. Außerdem werden theoretische und empirische Aspekte zu Intelligenz, Mathematik und Schriftsprache sowie deren Entwicklung und die bisher nachgewiesenen Zusammenhänge zum Arbeitsgedächtnis präsentiert. Die sich daraus ergebenden Fragen und zu untersuchenden Hypothesen werden im anschließenden Kapitel erläutert.

Die folgenden Kapitel beschäftigen sich mit den eingesetzten Untersuchungsmethoden. Eine ausführliche Darstellung der verwendeten **Arbeitsgedächtnistestbatterie** für Kinder im Alter von 5 bis 12 Jahren (AGTB 5-12) (Hasselhorn, Schumann-Hengsteler, Gronauer, Grube, Mähler, Schmid, Seitz-Stein & Zoelch, in Druck) sowie deren Entwicklung bildet das Kapitel 4. Im fünften Kapitel werden die Testverfahren zur Erfassung der Schulleistungen und der Intelligenz vorgestellt.

Im darauf folgenden Kapitel erfolgt zunächst die Erörterung der verwendeten Daten und deren Bearbeitung sowie die Auswahl der eingesetzten Variablen. Anschließend werden alle durchgeführten Berechnungen und deren Ergebnisse beschrieben. Die Diskussion der Ergebnisse mit inhaltlichen und methodischen Anmerkungen stellt das Kapitel 7 dar. Ein kurzer Ausblick auf weitere interessante Untersuchungsmöglichkeiten im nächsten Kapitel sowie die Zusammenfassung der wichtigsten Aussagen im letzten Kapitel bilden den Abschluss der vorliegenden Arbeit.

2 Theoretischer und empirischer Hintergrund

2.1 Arbeitsgedächtnis

Im Laufe des letzten Jahrhunderts hat sich die psychologische Gedächtnisforschung von Theorien zu Einspeichermodellen hin zu den ersten Mehrspeichermodellen entwickelt. Die ersten Informationsverarbeitungsmodelle, die mehrere unterschiedliche Gedächtniskomponenten annehmen und daher eine Aufteilung in Kurz- und Langzeitgedächtnis vornehmen, sind in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts entstanden (Atkinson & Shiffrin, 1968). Darin wurden Gedächtnisprozesse wie die Informationsverarbeitung durch einen Kurzzeitspeicher beschrieben, der Informationen, die mit Aufmerksamkeit bedacht wurden, aufrechterhält.

Atkinson und Shiffrin (1968) haben in ihrem Modell drei Komponenten unterschieden, die miteinander in Austausch treten können, und legen eine modalitätsunspezifische Verarbeitung zugrunde. Neben dem Langzeitgedächtnis, das für die langfristige Speicherung verarbeiteter Informationen zuständig ist, wird ein sensorischer Speicher angenommen, der Reize aus der Umwelt aufnimmt und für sehr kurze Zeit speichert. Das verbindende Element dieses Modells ist der Kurzzeitspeicher, in dem Informationen etwas länger aufrechterhalten und bearbeitet werden können. Die Kapazität des Kurzzeitspeichers ist jedoch geringer als die des sensorischen Speichers, so dass durch Aufmerksamkeitsprozesse die weitergeleitete Information selektiert wird. Dabei wird auch schon von Atkinson & Shiffrin von einem „Arbeitsgedächtnis“ gesprochen, da dieser Kurzzeitspeicher-Verbindung die Aufgabe zukommt, Informationen mit Aufmerksamkeit zu bedenken, aufrechtzuerhalten, zu bearbeiten und an das Langzeitgedächtnis weiterzugeben.

In der aktuellen Gedächtnisforschung wird vor allem mit dem Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley (1986, 1990, 1996, 1998, 2000, 2006) gearbeitet, das dieser Arbeit zugrunde liegt und in den folgenden Abschnitten ausführlich vorgestellt wird. Der Vollständigkeit halber sei aber erwähnt, dass neben dem Baddeleyschen Modell auch andere Arbeitsgedächtnismodelle existieren, so zum Beispiel das im amerikanischen Bereich häufig verwendete Arbeitsgedächtnismodell nach Cowan (1988; Cowan, Towse, Hamilton, Sauls, Elliot, Lacy, Moreno & Hitch 2003). Auf eine genauere Darstellung anderer Modelle wird an

dieser Stelle allerdings verzichtet, da keine weitere Relevanz für die durchgeführte Untersuchung vorliegt.

2.1.1 Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley

Besonders in der Pädagogischen und Entwicklungspsychologie hat sich das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley in zahlreichen Studien als besonders hilfreich und zutreffend für verschiedene Forschungsfragen erwiesen (Alloway & Gathercole, 2006; Pickering, 2006a). Daher soll es auch in dieser Arbeit zur Verwendung kommen und im Folgenden detailliert dargestellt werden.

Erste Ansätze eines Arbeitsgedächtnismodells entstanden 1974 in einer Konzeption von Baddeley und Hitch. Sie konnten sich nach eigenen Untersuchungen nicht der Annahme des Modells von Atkinson & Shiffrin (1968) anschließen, das von einer modalitätsunspezifischen Verarbeitung durch einen globalen, einheitlichen Kurzzeitspeicher ausgeht. Eine Gliederung in drei verschiedene Subsysteme liegt allerdings auch ihrem Modell zugrunde. Im Gegensatz zum Vorläufermodell wird aber deren dynamische, komplexe Interaktion angenommen. In weiteren Ausarbeitungen des Modells (Baddeley, 1986, 1996, 1998) werden schließlich drei Komponenten detaillierter beschrieben, die sich in zwei modalitätsspezifische Hilfssysteme zur kurzzeitigen Speicherung von Informationen und in ein übergeordnetes modalitätsunspezifisches Leitsystem aufteilen. Für die sprachlich-akustische Informationsverarbeitung wie zum Beispiel Worte und Klänge ist die *phonologische Schleife* zuständig. Visuell-statische Informationen wie zum Beispiel Farben und Textur sowie räumlich-dynamische Informationen wie zum Beispiel die Lage im Raum oder Bewegungsrichtung werden vom *visuell-räumlichen Notizblock* verarbeitet. Für die Zusammenarbeit beider Hilfssysteme und die Koordination verschiedener Anforderungen sowie die Lenkung der Aufmerksamkeit ist die *zentrale Exekutive* zuständig. Für alle drei Systeme gilt eine begrenzte Kapazität.

Die folgende Abbildung veranschaulicht alle drei Subsysteme im Modell von Baddeley. Eine detailliertere Beschreibung der einzelnen Systeme sowie empirische Ergebnisse dazu erfolgt in den nächsten drei Abschnitten.

Abbildung 2.1.1: Das Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley (1986, 1996, 1998) (aus Schmid, 2007).

Ergänzend zu diesen drei Subsystemen postuliert Baddeley in neueren Studien (2000, 2001, 2006), dass eine weitere Komponente im Arbeitsgedächtnis eine Rolle spielt: der **episodische Puffer**. Da sich in empirischen Studien gezeigt hat, dass nicht alle Ergebnisse mit dem bisherigen Modell von Baddeley zu erklären sind (Zoelch, 2005), hat Baddeley (2000) den episodischen Puffer als ein Subsystem mit multimodaler und episodischer Integrationsfunktion ergänzt.

Von einzelnen Items wie Wörtern oder Zahlen können Erwachsene durchschnittlich etwa fünf behalten. Baddeley, Vallar und Wilson (1987) fanden aber heraus, dass diese Gedächtnisspanne bis zu 16 Items umfassen kann, wenn die einzelnen Items in einem Zusammenhang stehen, wie zum Beispiel Wörter in einem Satz. Das Langzeitgedächtnis galt lange Zeit als Erklärung dafür. Untersuchungen von Baddeley und Wilson (2002) an Patienten mit entweder funktionsfähigem Langzeitgedächtnis und geschädigtem Kurzzeitgedächtnis oder umgekehrt zeigten aber, dass nicht das Langzeitgedächtnis sondern vielmehr das Kurzzeitgedächtnis für die erweiterte Gedächtnisspanne bei Items mit Sinnzusammenhang verantwortlich ist.

Aufgrund dieser Ergebnisse sowie einiger anderer Problembereiche (Baddeley & Wilson, 2002) wurde der episodische Puffer in das Baddeleysche Modell (2000, 2001, 2006) aufgenommen. Er bildet ein drittes Hilfssystem, das als temporärer Speicher mit begrenzter

Kapazität für multimodale Reize dient. Stimuli sowohl visueller als auch phonologischer Art können hier zu einem multimodalen Code verarbeitet werden. Informationen aus beiden anderen Hilffsystemen sowie aus der zentralen Exekutive bzw. aus dem Langzeitgedächtnis werden in eine einheitliche episodische Repräsentation umgewandelt und können mit Hilfe von Aufmerksamkeitsprozessen der aktuellen Verarbeitung zur Verfügung gestellt werden (Baddeley, 2000).

In Abbildung 2.1.2 ist das aktuelle, vollständige Modell nach Baddeley (2000, 2001, 2006) mit allen Interaktionsmöglichkeiten der Systeme dargestellt. In der vorliegenden Studie wird der episodische Puffer allerdings vernachlässigt, da einerseits zum Zeitpunkt der Entstehung des Untersuchungsmittels dieser Arbeit (Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren – AGTB 5-12) (Hasselhorn, Schumann-Hengsteler, Gronauer, Grube, Mähler, Schmid, Seitz-Stein & Zoelch, in Druck) und dessen Vorläufern eine Berücksichtigung des neuen Systems noch nicht möglich war. Andererseits aber auch die Existenz und Funktionsweise des episodischen Puffers aktuell noch nicht abschließend empirisch geklärt ist (Zoelch, 2005).

Abbildung 2.1.2: Das erweiterte Arbeitsgedächtnissmodell nach Baddeley (2000, 2001, 2006) (aus Schmid, 2007)

2.1.1.1 Zentrale Exekutive

Von allen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses ist die zentrale Exekutive die komplexeste. Sie dient als Leitzentrale, also übergeordnetes Steuerungssystem und ist somit als der wichtigste Teil des Arbeitsgedächtnisses zu betrachten. Dennoch wurde die zentrale Exekutive bisher von der Forschung am wenigsten untersucht. Dies mag zum Teil an ihrer Komplexität liegen, die empirisch nicht einfach erfassbar und somit Untersuchungen schwer zugänglich ist (Grube, 2006b).

Zu Beginn der Modellentwicklung von Baddeley wurde ihr die Funktion eines „Lumpensacks“ zugeschrieben, in dem alle Eigenschaften gesammelt wurden, die mit den beiden Hilfssystemen nicht zu erklären waren (Baddeley, 1986). In späteren Ausarbeitungen entwickelte Baddeley (1996) dann aber eine klarere Funktionszuordnung und postulierte vier Funktionsbereiche der zentralen Exekutive, die im Verlauf dieses Abschnittes ausführlicher vorgestellt werden. Dabei berücksichtigt er das Konzept des „supervisory attentional systems“ (SAS) aus dem Modell zur Aufmerksamkeitskontrolle von Norman und Shallice (1986), das für die Aufmerksamkeit, Kontrolle und Steuerung von Handlungen sowie die Umsetzung, Entwicklung und Überwachung von Handlungsplänen zuständig ist.

In Baddeleys Modell ist die zentrale Exekutive im Gegensatz zu den beiden Hilfssystemen kein Speicher, sondern dient vor allem der Koordination und Nutzung der Hilfssysteme. Außerdem ist sie zuständig für die Kontrolle, Überwachung, Anpassung und Steuerung der Gedächtnisprozesse. Ihr wird weiterhin das Problemlösen, das schlussfolgernde Denken und die Aufmerksamkeitslenkung zugeschrieben. Damit weist die zentrale Exekutive eine deutliche Nähe zum Konstrukt der Intelligenz auf (s. Abschnitt 2.2.1). Eine der wichtigsten Aufgaben der zentralen Exekutiven ist die Bewusstmachung von Inhalten zur weiteren Informationsverarbeitung. Neuroanatomisch wird von einer Lokalisierung der zentral-exekutiven Prozesse im Frontallappen ausgegangen (Hasselhorn et al., in Druck). Ob der vielfältigen Funktionen der zentralen Exekutiven ist eine eindeutige Zuordnung allerdings bisher nicht möglich (Zoelch, 2005).

Baddeley konkretisiert die Funktionsbereiche der zentralen Exekutiven in seinen Ausführungen von 1996. Er schlägt vier Bereiche vor, die von der zentralen Exekutiven ausgeführt werden. Zunächst besteht die Aufgabe der zentralen Exekutiven darin, die

Hilfssysteme zu steuern und miteinander zu koordinieren, verschiedene Anforderungen an die Informationsverarbeitung gleichzeitig zu bewältigen und die begrenzte Arbeitsgedächtniskapazität sinnvoll aufzuteilen. Diese Funktion wird als **Koordinationskapazität** bezeichnet. Empirisch erfassbar wird die Koordinationskapazität durch sogenannte „*dual-task*“-Aufgaben gemacht. Während einer Hauptaufgabe wird eine Zweitanforderung gestellt. Die dadurch entstehenden Leistungseinbußen in der Hauptaufgabe wird der erforderlichen Koordination der beiden Anforderungen zugeschrieben und kann daher als zentral-exekutives Maß verwendet werden (Baddeley, 1996; Guttentag, 1989, 1997).

Die zweite Funktion der zentralen Exekutiven besteht in der **selektiven Aufmerksamkeit**, also darin, relevanten Reizen Aufmerksamkeit zukommen zu lassen und irrelevante Reize zu ignorieren (Baddeley, 1996). Mit Hilfe von „*Go/NoGo*“-Aufgaben kann die selektive Aufmerksamkeit erfasst werden (Mähler & Hasselhorn, 2001). Bei diesen Aufgaben müssen irrelevante Reize unterdrückt werden und es darf nur auf die vorher bekanntgemachten Zielreize reagiert werden. Hierbei spielt sowohl die Aufmerksamkeitsfokussierung als auch die Reaktionsinhibition eine Rolle. Ein weiteres Maß für die selektive Aufmerksamkeit mit besonderem Schwerpunkt auf der Reaktionsinhibition bietet die „*Stroop*“-Aufgabe (Stroop, 1935). In der klassischen Version muss beispielsweise das Lesen einer Farbe als Wort unterdrückt werden, um die Schriftfarbe des Wortes zu nennen (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki & Howerter, 2000).

Den **Abruf und die Aufbereitung von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis** stellt eine weitere Funktion der zentralen Exekutiven dar. Dabei werden ausgewählte Wissensinhalte aus der Wissensbasis aktiviert, bewusst und der aktuellen Verarbeitung zugänglich gemacht bzw. neues Wissen erhalten und der Wissensbasis zugeführt (Baddeley, 1996). Diese Funktion bildet also die Verbindung zwischen Arbeits- und Langzeitgedächtnis. Der Langzeitgedächtnisabruf kann durch den Einsatz von „*memory-span*“-Aufgaben gemessen werden (Daneman & Carpenter, 1980). Serien von Items müssen nach kurzer Präsentation wiedergegeben werden, wobei die Serienlänge sukzessive ansteigt. Häufig verwendet werden *Zahlen- und Wortspannen-Aufgaben*, die als zentral-exekutives Maß auch als Rückwärtsaufgaben verwendet werden können, wenn die Wiedergabe in umgekehrter Reihenfolge gefordert wird (Gathercole & Pickering, 2000; Hasselhorn & Schumann-Hengsteler, 2001). Außerdem dient die *Zählspanne* als komplexe Spanne und empirische

Operationalisierung des Abrufs aus dem Langzeitgedächtnis (Case, Kurland & Goldberg, 1982). Eine bestimmte Anzahl von Kreisen erscheint gemischt mit anderen geometrischen Formen, z. B. Quadraten. Die Probanden sollen die Kreise leise für sich zählen – und damit verarbeiten –, sie sich dann merken – also in das Langzeitgedächtnis überführen – und nach der Präsentation mehrerer Zählvorlagen alle gezählten Zahlen laut wiedergeben – bzw. aus dem Langzeitgedächtnis wieder abrufen. Ein ähnliches Vorgehen findet man auch bei Satzspannen-Aufgaben (Daneman & Carpenter, 1980), „listening-span“-Aufgaben (Gathercole & Pickering, 2000), Lesespannen-Aufgaben (Case et al., 1982) und „operation-span“-Aufgaben (Turner & Engle, 1989), die alle als *komplexe Spannenaufgaben* bezeichnet werden können.

Die vierte Funktion der zentralen Exekutiven besteht laut Baddeley (1996) in **Abrufstrategiewechsel und -auswahl** beim Problemlösen, um zielorientierte Handlungen zu planen und durchzuführen. Darunter fallen die Aufgaben der Handlungskontrolle durch Unterdrücken von Handlungsimpulsen sowie die Unterbrechung von automatisch ablaufenden Handlungen durch Lenkung von Aufmerksamkeit. Die „*random-generation*“-Aufgabe wird zur empirischen Erfassung des Strategiewechsels eingesetzt. Dazu sollen zufällige Folgen von Einzelitems wie z. B. Buchstaben oder Zahlen generiert werden, ohne dabei typische Reihenfolgen wie z. B. Alphabet oder aufsteigende Zahlenreihen zu verwenden. Dadurch wird ein ständiger Wechsel in den Abrufstrategien provoziert und automatisiertes Verhalten muss unterdrückt werden.

Obwohl Baddeley in seinem Modell die vorgestellten vier Funktionsbereiche detailliert beschrieben und ausgeführt hat, ist bis heute umstritten, ob eine solche Aufteilung gerechtfertigt ist (Baddeley & Logie, 1999). Towse und Houston-Price (2001) gehen vielmehr von einer Vielzahl unabhängiger, sehr spezialisierter Funktionen aus, die in der zentralen Exekutive zusammengefasst werden. In verschiedenen Studien (z. B. Miyake et al., 2000; Fournier, Larigauderie & Gaonac'h, 2004) wurde untersucht, inwieweit zentral-exekutive Funktionen voneinander abgrenzbar sind oder sich überschneiden. Dabei konnten keine eindeutigen, das Baddeleysche Modell bestätigenden Ergebnisse gewonnen werden. Daher wird nach wie vor diskutiert, ob bei der zentralen Exekutive von einem einheitlichen System auszugehen ist (Grube, 2006b). So wie am Anfang der Modellentwicklung von einem „Lumpensack“ für alle nicht mit den beiden Hilffsystemen erklärbaren Phänomene

gesprochen wurde, scheint auch heute noch die zentrale Exekutive eine Art „ragbag“ zu sein, in dem sämtliche Arbeitsgedächtnisprozesse lokalisiert werden, die nicht einem Speicher zuzuordnen sind (Zoelch, 2005).

2.1.1.2 Phonologische Schleife

In der phonologischen Schleife nach Baddeley (1986) werden alle sprachlichen, klanglichen, akustischen und auditiven Reize direkt aufgenommen, gespeichert und verarbeitet, darunter auch Musik (Berz, 1995), Rhythmus (Saito, 2001) und akustisch dargebotene Zeitintervalle (Grube, 1996). Vor allem seriell strukturierte Informationen werden hier erfasst. Visuelle Reize werden durch Rekodierung in einen phonologischen Code umgesetzt, um weiter bearbeitet werden zu können. Eine wichtige Funktion der phonologischen Schleife ist das Aufrechterhalten von Informationen zur weiteren Verarbeitung. Die phonologische Schleife ist von allen Arbeitsgedächtniskomponenten bisher am gründlichsten untersucht worden und kann daher am detailliertesten beschrieben werden. Sie besteht aus zwei Funktionsbereichen, dem **subvokalen artikulatorischen Kontrollprozess („Rehearsal“)** und dem **phonetischen Speicher**. Diese Aufteilung kann als empirisch gut nachgewiesen angesehen werden (Grube, 2005). Die Leistungsfähigkeit der phonologischen Schleife hängt sowohl vom Funktionslevel des phonetischen Speichers sowie des Rehearsalprozess als auch von deren Zusammenwirken ab (Hasselhorn, Grube & Mähler, 2000).

Im passiven, phonetischen Speicher können Informationen für 1,5 bis 2 Sekunden aufrechterhalten werden, bevor sie zerfallen. Um sich den Anfang eines gesprochenen Satzes zu merken, ist dieser Zeitraum häufig zu kurz und man hätte den Satzbeginn am Ende bereits vergessen. Daher wird durch den aktiven artikulatorischen Kontrollprozess akustische Information ständig erneut aufgefrischt und aktiv wiederholt, ähnlich wie beim inneren Wiederholen beispielsweise einer Telefonnummer auf dem Weg zum Telefon. Durch diesen Prozess lässt sich auch die *phonologische Rekodierung* visueller Informationen erklären, die innerlich benannt und dadurch verbal kodiert werden (Gathercole & Baddeley, 1993). Ebenfalls nach diesem Prinzip erfolgt das Dekodieren von Graphemen beim Leise-Lesen (Daneman & Stainton, 1991).

In Abbildung 2.1.2 ist die Funktionsweise der phonologischen Schleife graphisch dargestellt.

Abbildung 2.1.3 : Die phonologische Schleife nach Baddeley (1986, 1990).

Beide Funktionsbereiche der phonologischen Schleife können nach Hasselhorn et al. (2000) in jeweils zwei Funktionsmerkmale unterteilt werden. Der artikulatorische Kontrollprozess lässt sich demnach in die klar voneinander unterscheidbaren Funktionsmerkmale der **Geschwindigkeit des Kontrollprozesses** sowie den **Automatisierungsgrad der Aktivierung** aufteilen. Im phonetischen Speicher kann man **Speichergröße** und **Verarbeitungspräzision** voneinander abgrenzen.

Im Folgenden werden empirisch nachgewiesene Effekte vorgestellt, die die Funktionsweise der phonologischen Schleife und ihrer Teilfunktionen belegen.

Der **Wortlängeneffekt** ist auf die Speicherdauer des phonetischen Speichers von 1,5 bis 2 Sekunden zurückzuführen. Kurze Wörter können demnach besser behalten werden als lange. Baddeley, Thomson und Buchanan (1975) konnten zeigen, dass Probanden sich etwa so viele Wörter einer Serie merken und wiedergeben konnten, wie sie in ca. 2 Sekunden aussprechen konnten. Man geht davon aus, dass das innere Artikulieren etwa der Sprechrate entspricht. Also füllen längere Wörter mehr zeitliche Kapazität im phonetischen Speicher aus als kurze und können daher nur in geringerer Anzahl erinnert werden.

Ebenfalls durch den subvokalen Kontrollprozess bedingt ist der **Effekt der artikulatorischen Unterdrückung**. Lässt man Probanden während der Durchführung einer Gedächtnisspannenaufgabe irrelevante sprachliche Laute oder Silben wie z. B. da-da-da laut sagen, verschlechtert sich die Gedächtnisleistung. Das innere Artikulieren wird durch das laute Artikulieren gestört, so dass der Rehearsalprozess die zu Erinnernden sprachlichen

Informationen nicht aufrechterhalten und dem phonetischen Speicher zuführen kann. Der artikulatorische Kontrollprozess wird also durch die laute Artikulation unterdrückt (Gathercole & Baddeley, 1993).

Ganz ähnlich lässt sich der **Effekt irrelevanter Sprache bzw. Musik** erklären. Spielt man bei der Bearbeitung einer Gedächtnisspannenaufgabe im Hintergrund verbale Reize wie z. B. Sprache (auch unbekannte Fremdsprachen) oder musikalische Reize wie melodische Töne ab, so verschlechtert sich ebenfalls die Gedächtnisleistung. Durch ein gleichbleibendes Rauschen entsteht jedoch keine Leistungsminderung. Obwohl die Reize von den Probanden nicht mit Aufmerksamkeit bedacht werden, scheinen sie den Rehearsalprozess zu beeinträchtigen und werden als irrelevante klangliche Informationen in den phonetischen Speicher eingebracht (Salamé & Baddeley, 1982, 1989; Jones, 1993).

Der **phonologische bzw. akustische Ähnlichkeitseffekt** beschreibt, dass sprachlich ähnlich klingende Informationen wie z. B. Haus-Maus-Laus bei der seriellen Reproduktion der Gedächtnisspannenaufgaben schlechter erinnert werden als unähnlich klingende Items wie Haus-Ball-Stern. Klanglich ähnliche Items werden bei der Reproduktion eher miteinander verwechselt, weil die langsam verblassende Information im phonetischen Speicher schlechter voneinander zu unterscheiden ist als bei klanglich unähnlichen Informationen (Schweickert, Chen & Poirier, 1999; Hasselhorn & Grube, 2003b).

Diese vier vorgestellten und empirisch belegten Phänomene können als Absicherung für die theoretisch beschriebene Funktionsweise der phonologischen Schleife und ihrer beiden Teilbereiche – dem phonetischen Speicher und dem subvokalen artikulatorischen Kontrollprozess – angesehen werden. Die Verarbeitungspräzision des phonetischen Speichers lässt sich anhand des akustischen Ähnlichkeitseffekts und des Effekts irrelevanter Sprache sowie einer im Folgenden beschriebenen Aufgabe zur Modulation von Kunstwörtern belegen (Schuchardt, 2008). Nach Hasselhorn, Grube und Mähler (2000) kann der Wortlängeneffekt als Maß für den Automatisierungsgrad des Rehearsalprozesses dienen.

Um die Funktionsfähigkeit der phonologischen Schleife nachweisen zu können, bedarf es diagnostischer Aufgaben, die alle Teilfunktionen berücksichtigen können. Die wichtigsten Methoden zur Erfassung der Leistungsfähigkeit der phonologischen Schleife werden nachfolgend vorgestellt.

Die wichtigste, typische und bereits mehrfach erwähnte Aufgabenart ist die **Gedächtnisspannenaufgabe**. Reihen von sprachlichen Reizen wie z. B. Wörter, Zahlen oder Buchstaben werden mit einer Rate von etwa einer Sekunde pro Item dargeboten und sollen anschließend in korrekter Reihenfolge erinnert und unmittelbar wiedergegeben werden (Jacobs, 1887). Bei korrekter Reproduktion wird die Anzahl der Items pro Reihe erhöht, bis die Gedächtnisspanne des Probanden durch die längste korrekt wiedergegebene Reihe ermittelt werden kann. Bei langer Aufrechterhaltung von Informationen im phonetischen Speicher und bei hoher Rehearsalgeschwindigkeit ist die anzunehmende Kapazität der phonologischen Schleife besonders hoch und damit auch die messbare Gedächtnisspanne (Hasselhorn, 1988).

Eine weitere Möglichkeit zur Messung der Funktionsfähigkeit der phonologischen Schleife und besonders des phonetischen Speichers ist das **Nachsprechen von Kunstwörtern** (Gathercole, 1995; Baddeley, Gathercole & Papagno, 1998). Als Kunstwörter gelten dabei künstliche aber nach sprachlichen Regeln erstellte Wörter ohne inhaltliche Bedeutung. Ähnlich wie bei den Spannenaufgaben werden zunächst Kunstwörter mit geringer Silbenzahl vorgesprochen und sollen direkt anschließend reproduziert werden. Bei korrekter Wiedergabe erhöht sich die Silbenzahl so lange, bis keine richtige Reproduktion mehr möglich ist. Aus der Silbenzahl des längsten richtig wiedergegebenen Wortes lässt sich die Verarbeitungspräzision des phonetischen Speichers ableiten. Moduliert man die Darbietungsqualität der Kunstwörter so, dass sie nur verzerrt wahrgenommen werden können, bietet sich nach Hasselhorn und Körner (1997) eine weitere Interpretationsmöglichkeit zur differenzierteren Beurteilung der Funktionsfähigkeit der phonologischen Schleife.

Um die Rehearsalgeschwindigkeit messbar zu machen, wird die **Sprech- oder Artikulationsrate bzw. Sprechgeschwindigkeit** erfasst. Gathercole, Adams und Hitch (1994) verwenden dazu Wort-Tripel (auf Deutsch z. B. Topf-Schuh-Baum), die von den Probanden so schnell wie möglich fehlerfrei mehrfach hintereinander nachgesprochen werden müssen. Die dazu benötigte Zeit gilt als Referenzwert für die Geschwindigkeit des inneren Wiederholens beim Rehearsal.

2.1.1.3 Visuell-räumlicher Notizblock

Im Gegensatz zu den anderen Arbeitsgedächtniskomponenten ist der visuell-räumliche Notizblock bisher deutlich seltener und weniger intensiv erforscht worden. Er ist nach Baddeley und Hitch (1974) innerhalb des Arbeitsgedächtnisses für die Verarbeitung, Speicherung und Aktivierung von visuell-statischen sowie räumlich-dynamischen Informationen verantwortlich. Ähnlich wie bei der phonologischen Schleife werden auch hier zwei Teilfunktionen angenommen. Der passive **visuelle Speicher („visual cache“)** ist für die Aufnahme und Speicherung visuell-statischer Informationen wie z. B. die Farbe, Textur oder Form eines Objekts zuständig. Räumlich-dynamische Reize wie Lage und Anordnung im Raum, Bewegungsrichtungen, räumliche Veränderungen und Abläufe werden durch einen aktiven **innerer Schreibprozess („inner scribe“)** verarbeitet. Vergleichbar mit dem Rehearsalprozess der phonologischen Schleife findet auch durch den inneren Schreibprozess eine Auffrischung und damit längere Behaltensdauer der Informationen im visuellen Speicher statt, indem durch ein mentales Abschreiben die Informationen innerlich wiederholt werden (Logie, 1995; Pickering, 2001; Schumann-Hengsteler, Strobl & Zoelch, 2004).

Zur Messung der beiden Teilfunktionen des visuell-räumlichen Notizblocks werden typischerweise zwei verschiedene Aufgabenarten herangezogen. Die statische Funktion wird mit Hilfe der **Matrix-Aufgabe** untersucht (Brooks, 1967; Logie & Pearson, 1997). Bei dieser Musterrekonstruktionsaufgabe werden dem Probanden quadratische 4x4- oder 5x5-Matrizen gezeigt, in denen unterschiedlich viele der Felder schwarz ausgefüllt sind. Im Anschluss an die Präsentation müssen die Probanden in einer leeren Matrix anzeigen, welche der Felder schwarz waren. Diese Aufgabe kann auch als Gedächtnisspannenaufgabe verwendet werden, indem man die Anzahl der schwarzen Felder und damit die Schwierigkeit so lange steigert, bis keine korrekte Reproduktion mehr möglich ist (Hasselhorn, Grube, Mähler, Zoelch, Gaupp & Schumann-Hengsteler, 2003).

Mit der **Corsi-Block-Aufgabe** (Corsi, 1972; Isaacs & Vargha-Khadem, 1989) lässt sich die räumlich-dynamische Teilfunktion des visuell-räumlichen Notizblocks messen. Neun quadratische Blöcke sind unsystematisch auf einem Brett angeordnet und werden in einer bestimmten Reihenfolge vom Testleiter angetippt. Der Proband soll dies anschließend reproduzieren, also die Blöcke in der gleichen Reihenfolge anzeigen. Um die Corsi-Block-

Aufgabe als Gedächtnisspannenaufgabe zu verwenden, steigert man die Anzahl der Blöcke pro Durchgang nach und nach so lange, bis keine korrekte Reproduktion mehr möglich ist (Zoelch, Pohl & Schumann-Hengsteler, 1998; Hasselhorn et al., 2003).

Neben diesen beiden typischen Methoden zur Erfassung der beiden Teilfunktionen des visuell-räumlichen Notizblocks gibt es die Möglichkeit, eine „**dual-task**“-Aufgabe zu verwenden. Wie bereits beschrieben (s. Abschnitt 2.1.1.1) wird dabei eine Hauptaufgabe von einer Zweitaufgabe gestört, so dass Leistungseinbußen entstehen. Logie konnte in einigen Studien (Logie, 1986; Logie, Zucco & Baddeley, 1990; Logie & Marchetti, 1991) zeigen, dass die Leistungseinbußen besonders hoch sind, wenn eine räumliche Erstaufgabe von einer ebenfalls räumlichen Zweitaufgabe (z. B. Armbewegung ausführen) bzw. eine visuelle Hauptaufgabe von einer ebenso visuellen Interferenzaufgabe (z. B. irrelevante Zusatzinformationen ausblenden) beeinträchtigt wird. Dagegen ist die Beeinträchtigung geringer, wenn die beiden Aufgaben verschiedener Art räumlich-visueller Anforderung sind.

Nachdem nun das Baddeleysche Arbeitsgedächtnismodell ausführlich vorgestellt wurde, soll im nächsten Abschnitt das Augenmerk auf der Entwicklung der verschiedenen Arbeitsgedächtniskomponenten im Altersbereich von fünf bis zwölf Jahren liegen. Zunächst wird aber die Entwicklung der Struktur des Arbeitsgedächtnisses und deren Ausdifferenzieren mit zunehmendem Alter dargestellt.

2.1.2 Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern bis 12 Jahren¹

Die Leistungsfähigkeit des gesamten Arbeitsgedächtnisses und seiner einzelnen Komponenten mit ihren Funktionen steigert sich bei Kindern im Verlauf des Heranwachsens bis ins Erwachsenenalter. Allerdings gibt es dabei deutliche Unterschiede zwischen den Komponenten und Funktionen, auf die in den später folgenden Abschnitten näher eingegangen wird. Einige empirische Belege werden ohne Anspruch auf Vollständigkeit exemplarisch herangezogen, um zu verdeutlichen, welche besonderen Bedingungen in einzelnen Altersgruppen zu berücksichtigen sind. Zunächst soll aber ein Blick auf die gesamte

¹ Für diesen Abschnitt gilt Alexandra Hinz, Anna Rychlik und Maria Worgt besonderer Dank für sehr hilfreiche und umfassende Vorarbeit in ihren Diplomarbeiten (Hinz, 2010; Rychlik, 2010; Worgt, 2010).

Organisationsstruktur des Arbeitsgedächtnisses, dessen Entwicklung und Ausdifferenzierung geworfen werden.

2.1.2.1 Strukturentwicklung

Im Gegensatz zu anderen Ansätzen wie beispielsweise von Case (1985), bei denen das Arbeitsgedächtnis als ein unitäres System gesehen wird, das hauptsächlich zur Erklärung entwicklungsbedingter Veränderungen dienen soll, geht das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley – wie bereits ausführlich beschrieben sowie bei Vernachlässigung des episodischen Puffers – von einer dreigliedrigen Struktur aus. Diese zeigt sich relativ altersinvariant und ist über verschiedene Altersgruppen hinweg ab fünf Jahren bis ins hohe Erwachsenenalter nachweisbar. Bereits sehr früh können die drei Subsysteme funktionell voneinander unterschieden und separat erfasst werden und gelten ab einem Alter von sechs Jahren als unabhängig voneinander. Alle drei durchlaufen ab der frühen Kindheit eine Entwicklung, die mit einer Leistungssteigerung der Funktionsfähigkeit sowie steigender Kapazität bis ins frühe Erwachsenenalter einhergeht. Es ist eine Entwicklung der Arbeitsgedächtnisstruktur selbst und eine stärkere Ausdifferenzierung mit zunehmendem Alter zu verzeichnen (Gathercole & Pickering, 2000; Pickering & Gathercole, 2001; Gathercole et al., 2004; Roebbers & Zoelch, 2005; Alloway, Gathercole & Pickering, 2006; Schuchardt, Roick, Mähler & Hasselhorn, 2008; Schmid, Zoelch & Roebbers, 2008).

Die empirische Überprüfung, ob die modulare Struktur des Arbeitsgedächtnismodells nach Baddeley – die auf Daten von Erwachsenen basiert – auch bei Kindern zu finden ist oder ob eher eine bereichsübergreifende Struktur mit zunehmender Ausdifferenzierung angenommen werden muss, wurde in einigen Untersuchungen vorgenommen. Von Alloway, Gathercole, Willis und Adams (2004), Gathercole und Pickering (2000) sowie Hale, Bronik und Fry (1997) wird eine Trennung des phonologischen und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses bei älteren Kindern im Grundschulalter angenommen. Roebbers und Zoelch (2005) fanden dagegen bereits bei Vierjährigen eine eindeutige Trennung der beiden Komponenten. Ebenfalls im sehr frühen Alter von vier bis fünf Jahren konnten Schmid et al. (2008) mit einer explorativen Faktorenanalyse die beiden deutlich getrennte Subkomponenten nachweisen, ein dritter Faktor entsprechend der zentralen Exekutive wurde allerdings nicht festgestellt.

Weitere Erkenntnisse zur strukturellen Entwicklung liefern die Ergebnisse einer konfirmatorischen Faktorenanalyse über Daten von vier- bis fünfzehnjährigen Kindern von Gathercole et al. (2004). Die Passung eines dreigliedrigen Faktorenmodells zeigte sich der eines zweigliedrigen überlegen. Des Weiteren werden die vollständige Ausdifferenzierung aller Strukturen des Arbeitsgedächtnisses mit sechs Jahren sowie ein stetiger Anstieg der Kapazitäten aller Komponenten zwischen vier Jahren und dem frühen Erwachsenenalter angenommen. Außerdem konnte die relative Unabhängigkeit der beiden Subkomponenten voneinander sowie keine großen Änderungen in der Beziehungsstärke zwischen allen drei Komponenten über den gesamten Altersbereich nachgewiesen werden.

Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen werden laut Baddeley (2000) und Baddeley und Hitch (1974) die Zusammenhänge zwischen den Komponenten mit steigendem Alter enger, da die begrenzten Kapazitäten der beiden Subsysteme durch eine stärkere Zusammenarbeit mit der zentralen Exekutive optimiert werden. Diese Annahme wurde von Jarvis und Gathercole (2003) gestützt, die herausfanden, dass die Korrelationen zwischen der zentralen Exekutive und der phonologischen Schleife im Altersbereich zwischen sechs und fünfzehn Jahren deutlich ansteigt.

Aktuell brachte Worgt (2010) weitere Klärung in dieser Frage. Bei Kindern von fünf bis zwölf Jahren konnte sie leichte Veränderungen in den Zusammenhängen der Komponenten untereinander feststellen. Die zentrale Exekutive zeigt mit der phonologischen Schleife einen leicht stärker werdenden, mit dem visuell-räumlichen Notizblock dagegen einen gleichbleibenden Zusammenhang, die beide ab einem Alter von zehn Jahren etwa gleich hoch sind. Zwischen phonologischer Schleife und visuell-räumlichem Notizblock sinkt der Zusammenhang über die Altersspanne.

Außer der Organisationsstruktur des Arbeitsgedächtnisses sind vor allem die drei Komponenten in ihrer Leistungs- und Funktionsfähigkeit entwicklungsbedingten Veränderungen unterworfen. Darauf wird nun im Folgenden eingegangen.

2.1.2.2 Zentral-exekutive Entwicklung

Die zentrale Exekutive ist laut Hasselhorn et al. (2003) und Hasselhorn und Grube (2003a) bedeutsamen, qualitativen und entwicklungsabhängigen Veränderungen unterworfen.

Siegel (1994) konnte beispielsweise zeigen, dass bei komplexen Spannaufgaben (s. Abschnitt 2.1.1.1) zwischen dem sechsten und fünfzehnten Lebensjahr ein eindeutiger, gleichmäßiger Leistungsanstieg zu verzeichnen ist. Ebenfalls bei Sechs- bis Fünfzehnjährigen konnten Gathercole, Pickering, Ambridge und Wearing (2004) eine ansteigende Leistung in den drei Aufgaben „Zählspanne“, „Hörspanne“ und „Zahlenspanne rückwärts“ ausmachen. Bei der „Zahlenspanne rückwärts“ konnten Isaacs und Vargha-Khadem (1989) ebenfalls eine steigende Gedächtnisspanne bei Kindern zwischen sieben und fünfzehn Jahren feststellen. Auch Hasselhorn und Grube (2006) berichten von Leistungszuwächsen zwischen dem Beginn der Grundschulzeit und dem jungen Erwachsenenalter bei komplexen Spannaufgaben und bei Gedächtnisspannen rückwärts.

Auch die Prozesse der selektiven Aufmerksamkeit als einer Teilfunktion der zentralen Exekutiven unterliegen im Laufe der Grundschule nach Mähler und Hasselhorn (2001) einer Entwicklung. Die Leistung der Kinder in der Go/NoGo-Aufgabe (s. Abschnitt 2.1.1.1) steigt über die Grundschulzeit hinweg – und besonders stark zwischen der ersten und zweiten Klasse – an. Des Weiteren konnten Wright, Waterman, Prescott und Murdoch-Eaton (2003) mit Hilfe der Stroop-Aufgabe (s. Abschnitt 2.1.1.1) bei Drei- bis Sechzehnjährigen eine Verbesserung der Inhibitionskapazität feststellen. Alterseffekte unterschiedlichen Ausmaßes je nach Aufgabenart konnten Archibald und Kerns (1999) durch verschiedene Go/NoGo- und Stroop-Aufgaben zeigen. Altersabhängige Leistungsunterschiede in der Random-Generation-Aufgabe (s. Abschnitt 2.1.1.1) bei fünf bis zwölfjährigen Kindern wurden von Towse und McLachlan (1999a; 1999b) nachgewiesen.

So kann insgesamt von einer entwicklungsabhängigen Leistungssteigerung in den zentral-exekutiven Arbeitsgedächtnisfunktionen ausgegangen werden. Bei Messung der zentralen Exekutive mittels komplexen Spannaufgaben ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Verarbeitung zwar durch die zentrale Exekutive erfolgt, möglicherweise die Speicherung der Informationen aber teilweise durch die phonologische Schleife übernommen wird und so mit einer Konfundierung zu rechnen ist (Baddeley & Logie, 1999). Außerdem ist zu bedenken, dass zentral-exekutive Aufgaben meist einen hohen Schwierigkeitsgrad aufweisen und daher möglicherweise bei Kindern mit oder unter fünf Jahren keine zuverlässigen Informationen liefern können (Roebers & Zoelch, 2005).

2.1.2.3 Entwicklung der phonologischen Schleife

Gathercole (1998) fand bei Kindern zwischen vier und zwölf Jahren einen deutlichen Zuwachs in der Kapazität der phonologischen Schleife und deren effizienter Nutzung mit besonders klarer Steigerung zwischen dem Vorschul- und dem Ende des Grundschulalters gemessen mit phonologischen Gedächtnisspannenaufgaben. Isaacs und Vargha-Khadem (1989) belegten anhand der Zahlenspanne eine Steigerung von etwa 5,2 Items bei Siebenjährigen auf etwa 6,7 Items bei Fünfzehnjährigen. Ebenfalls mit der Zahlenspanne konnten Gathercole und Baddeley (1993) einen Leistungszuwachs von zwei bis drei Zahlen bei Vierjährigen auf sechs bis sieben Zahlen bei Vierzehnjährigen nachweisen.

Eine Zunahme der Sprechgeschwindigkeit sowie der Gedächtnisspanne gemessen mit der Zahlenspannen-Aufgabe konnten Hulme, Thomson, Muir und Lawrence (1984) bei Kindern zwischen vier und zehn Jahren nachweisen. Sie fanden außerdem einen klaren linearen Zusammenhang zwischen beiden Maßen, der eine sinnvolle empirische Erklärung für den Wortlängeneffekt (s. Abschnitt 2.1.1.2) liefert. Hasselhorn (1988) konnte eine Steigerung der Rehearsalgeschwindigkeit bis zum Jugendalter belegen, die als Hauptursache für die altersbedingten Leistungsunterschiede in Gedächtnisspannenaufgaben gilt (Hasselhorn, Seidler-Brandler & Körner, 2000; Mähler & Hasselhorn, 2003).

Entwicklungsbedingte Veränderungen der phonologischen Schleife vor allem im Bereich der Kapazität werden auf die zunehmende Automatisierung des Rehearsalprozesses, auf eine Vergrößerung der Wissensbasis, Steigerung der Artikulationsrate sowie sich ausdifferenzierende Strategien zurückgeführt (Gathercole & Adams, 1994; Hasselhorn et al., 2003). Der artikulatorische Kontrollprozess entwickelt sich erst mit sieben Jahren (Gathercole & Hitch, 1993) und wird dann automatisch und spontan eingesetzt (Cowan & Kail, 1996). Dadurch ist etwa ab acht Jahren auch die Rekodierung von visuellen Reizen in phonologische Informationen möglich (Pickering, 2001).

Wie bereits erwähnt (s. Abschnitt 2.1.1.2) dient die Gedächtnisspanne als Maß für die Kapazität der phonologischen Schleife, also für das Zusammenwirken des phonetischen Speichers und des artikulatorischen Kontrollprozesses. Üblicherweise wird die entwicklungsbedingte Verbesserung der Gedächtnisspanne auf die steigende Rehearsalgeschwindigkeit zurückgeführt (Hitch & Halliday, 1983; Baddeley, 1986), da angenommen wird, dass der phonetische Speicher bereits mit drei Jahren ausgebildet

(Gathercole & Adams, 1994) und ab dem vierten Lebensjahr keiner weiteren Veränderung unterworfen ist (Hasselhorn & Grube, 2003a). Einige empirische Untersuchungen zeigen, dass eine entwicklungsbedingte Steigerung der Gedächtnisspanne auch nachweisbar bleibt, wenn der Einfluss des Rehearsalprozesses durch Auspartialisierung der Artikulationsrate kontrolliert wird (Hitch, Hulme & Tordoff, 1989; Henry & Millar, 1991; Roodenrys, Hulme & Brown, 1993). Anhand dieser Ergebnisse ist also zu vermuten, dass unabhängig von der Sprech- bzw. Rehearsalgeschwindigkeit eine entwicklungsbedingte Steigerung der Gedächtnisspanne bei Kindern stattfindet. Eine mögliche Erklärung dafür besteht in der im Laufe der Entwicklung verbesserten Zusammenarbeit zwischen phonologischer Schleife und zentraler Exekutive (Hasselhorn, Lingelbach & Gabert, 1991; Gathercole & Adams, 1994; Palmer, 2000).

2.1.2.4 Entwicklung im visuell-räumlichen Notizblock

Im Vergleich zur phonologischen Schleife sind die entwicklungsbedingten Leistungszuwächse der Funktionen des visuell-räumlichen Notizblocks geringer. Dennoch sind Veränderungen zwischen Vorschulalter und Adoleszenz zu beobachten (Hasselhorn et al., 2003).

Die Entwicklung der räumlich-dynamischen Teilfunktion konnten Isaacs und Vargha-Khadem (1989) sowie Orsini (1994) anhand der Corsi-Block-Aufgabe (s. Abschnitt 2.1.1.3) zeigen. Die Leistung der Kinder steigert sich von ca. vier korrekt wiedergegebenen Blöcken mit sieben Jahren auf etwa sechs Blöcke mit fünfzehn Jahren. Zoelch et al. (1998) fanden eine Steigerung von vier Blöcken im Vorschulalter über fünf bis sechs Blöcke am Ende der Grundschulzeit bis zu sechs bis sieben Blöcken im Erwachsenenalter.

Auch im visuell-statischen Bereich ist eine Entwicklung zu verzeichnen, die sich von fünf fehlerfrei reproduzierten Kästchen bei der Matrixaufgabe (s. Abschnitt 2.1.1.3) im Alter von fünf Jahren bis zu vierzehn Kästchen im Alter von elf Jahren erstreckt (Wilson, Scott & Power, 1987). Auch Strobl, Strametz und Schumann-Hengsteler (2002) konnten eine zunehmende visuell-statische Funktionsfähigkeit anhand der zunehmenden Leistungen in der Matrixaufgabe von ca. sieben Items am Ende der Grundschulzeit bis zu etwa zehn Items am Anfang des Erwachsenenalters zeigen. Miles, Morgan, Milne und Morris (1996) fanden ebenfalls ähnliche Ergebnisse für die Entwicklung der visuellen Teilfunktion.

Über die reine Entwicklung hinaus konnten Logie und Pearson (1997) nachweisen, dass sich die Entwicklungsverläufe der beiden Teilfunktionen voneinander unterscheiden. So konnte festgestellt werden, dass sich die räumlich-dynamische Funktion bei älteren Kindern nur noch gering verändert, die visuell-statische dagegen einen weiteren steilen Anstieg zeigt (Schumann-Hengsteler, 1995). Diese unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeit kann auch als ein Hinweis auf die Trennung von räumlicher und visueller Arbeitsgedächtnisfunktion verstanden werden (Pickering, Gathercole, Hall & Lloyd, 2001).

Einen entwicklungsbedingten Einschnitt bildet die Anwendung von phonologischer Rekodierung (s. Abschnitt 2.1.1.2) beim Bearbeiten visuell-räumlicher Aufgaben im Alter von etwa acht Jahren (Pickering, 2001). Hitch, Halliday, Schaafstal und Schraagen (1988) wiesen nach, dass 5-Jährige bei der seriellen Wiedergabe von Objekten durch die Ähnlichkeit der Objekte beeinträchtigt wurden, 10-Jährige dagegen durch die Wortlänge der Objektnamen (s. Wortlängeneffekt Abschnitt 2.1.1.2). Es besteht trotz des Nachweises von entwicklungsbedingten Veränderungen im visuell-räumlichen Notizblock Unklarheit darüber, ob diese tatsächlich auf reine visuell-räumliche Arbeitsgedächtnisfunktionen zurückzuführen sind, oder ob nicht vielmehr phonologische und zentral-exekutive Anteile dafür verantwortlich sind (Hasselhorn & Grube, 2003a).

Nachdem nun das Arbeitsgedächtnis sowie das Modell nach Baddeley und dessen Entwicklung dargestellt wurden, sollen im nächste Abschnitt vier unterschiedliche Leistungsbereiche sowie deren entwicklungsbedingte Veränderungen und die Zusammenhänge zum Arbeitsgedächtnis detailliert vorgestellt werden. Dabei wird zunächst der Bereich der allgemeinen intellektuellen Leistungsfähigkeit – der Intelligenz – beleuchtet.

2.2 Leistungsbereiche und ihr Zusammenhang mit dem Arbeitsgedächtnis

2.2.1 Intelligenz²

2.2.1.1 Intelligenzmodelle und -konstrukte

Bereits seit über 100 Jahren existiert die systematische Intelligenzforschung. Unzählige Definitionen und Messmethoden sind seither entstanden. Trotz dieser langen Tradition konnte bis heute keine einheitliche Festlegung darüber getroffen werden, was Intelligenz umfasst und wie sie erfasst werden kann. Zwei Definitionen folgen exemplarisch für viele andere:

„Intelligenz ist die zusammengesetzte oder globale Fähigkeit des Individuums zweckvoll zu handeln, vernünftig zu denken und sich mit seiner Umgebung wirkungsvoll auseinander zu setzen“ (Wechsler, 1944).

Intelligenz ist *„die allgemeine Fähigkeit zum Lernen, Denken oder Problemlösen, die sich insbesondere in jenen Situationen zeigt, die für eine Person neu bzw. unvertraut sind“ (Hasselhorn und Gold, 2009).*

Generell lassen sich die verschiedenen Modelle zum Konstrukt der Intelligenz nach Ähnlichkeiten gruppieren: Zum einen gibt es Modelle, in denen von einer allgemeinen, bereichsunspezifischen, umfassenden Fähigkeit ausgegangen wird. Im Gegensatz dazu nehmen andere Modelle mehrere bereichsspezifische und voneinander unabhängige verschiedene Faktoren an. Zum anderen existieren sowohl hierarchische Modelle als auch Strukturmodelle, die die unterschiedlichen Fähigkeitsfaktoren gleichberechtigt und überlappend zueinander postulieren. In moderneren Theorien wird versucht, beide Sichtweisen miteinander zu verbinden, da es weder ausschließlich für die eine noch für die

² Für diesen Abschnitt gilt Amrei Heckel, Julia Zietz, Nadine Langer und Shiva Keshmirian sowie Andrea Messerschmidt besonderer Dank für sehr hilfreiche und umfassende Vorarbeit in ihren Diplom- bzw. Masterarbeiten (Heckel, 2009; Zietz, 2009; Langer, 2009; Keshmirian, 2010; Messerschmidt, 2010).

andere eindeutige empirische Belege gibt. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass mit unterschiedlichen Modellannahmen auch verschiedene Untersuchungsmethoden einhergehen und dadurch häufig auch voneinander abweichende Ergebnisse erzielt werden.

Die sicher bekannteste Aussage über Intelligenz hat laut Überlieferung Boring im Jahr 1923 getroffen: „Intelligenz ist das, was der Intelligenztest misst.“ Die heutige Konvention bezüglich der Intelligenzmessung sieht einen *Intelligenzquotienten (IQ)* vor, der auf einer Normalverteilung der Intelligenz in der Bevölkerung beruht, einen festgelegten Mittelwert von 100 und eine Standardabweichung von 15 hat (Amelang, Bartussek, Stemmler & Hageman, 2006). Dies geht zurück auf die Überlegungen von Wechsler (1944). Zu berücksichtigen ist dabei der Flynn-Effekt (Flynn, 1984, 1987, 1994), wonach sich die Intelligenztestergebnisse im Durchschnitt pro Generation um drei bis sieben IQ-Punkte erhöhen. Liegt der Intelligenzquotient um zwei Standardabweichungen über dem Mittel, – also über 130 IQ-Punkten – spricht man von *Hochbegabung*. Bei einem Wert von unter einer Standardabweichung unter dem Durchschnitt – also zwischen 85 und 70 IQ-Punkten – liegt eine *Lernbehinderung* vor. Ergibt sich ein Wert von zwei Standardabweichungen unter dem Mittelwert, – also unter 70 IQ-Punkten – ist eine *geistige Behinderung* festzustellen.

Einer der ersten Intelligenztests war der 1905 entwickelte **Binet-Simon**-Intelligenztest (Binet & Simon, 1905, 1916), mit dem das Intelligenzalter von Kindern ermittelt werden konnte. Später wurde dieser Test von **Terman** (1923) weiterentwickelt und es entstand der erste Intelligenzquotient.

Kurz darauf postulierte **Spearman** (1923, 1927) die Zwei-Faktoren-Theorie. Darin wird ein *g-Faktor (Generalfaktor der Intelligenz)* für die allgemeine intellektuelle Leistungsfähigkeit angenommen, der den untereinander unabhängigen *s-Faktoren (spezifische Intelligenzfaktoren)* für bereichsspezifische Begabungen übergeordnet ist. Der g-Faktor kann beispielsweise mit sprachfreien Matrizentests wie dem *Culture Fair Test CFT 1* (Cattell, Weiß & Osterland, 1997) und *CFT 20-R* (Weiß, 2008) oder den *Raven-Matrizen* (Raven, Raven & Court, 1998) erfasst werden. Die s-Faktoren werden mit verschiedenen Verfahren zu den einzelnen Fähigkeitsbereichen gemessen.

Ohne einen übergeordneten Faktor und dafür ausschließlich mit sieben voneinander unabhängigen Intelligenzfaktoren, die er „*primary mental abilities (PMA)*“ nennt, kommt **Thurstone** (1938) in seiner Theorie aus. Als PMA nennt er verbales Verständnis, numerisches

Verständnis, Gedächtnis, Wahrnehmungsgeschwindigkeit, räumliches Denken, verbale Flüssigkeit und Reasoning (= logisches, schlussfolgerndes Denken). Beispielsweise mit dem *Intelligenzstrukturtest IST 2000* (Amthauer, 1999) kann die Intelligenz nach diesem Modell erfasst werden.

Eine sehr weit verbreitete Theorie mit hierarchischer Struktur wurde von **Cattell** (1963, 1968, 1971, 1973) geliefert. Wie bei Spearman's Modell gibt es einen übergeordneten *g-Faktor*, der in diesem Fall über den beiden Faktoren der *kristallinen* und der *fluiden Intelligenz* steht. Unter fluider Intelligenz ist eine angeborene, vererbte, relativ umweltunabhängige Fähigkeit zu verstehen. Kristalline Intelligenz dagegen verändert sich über die Lebensspanne hinweg und ist durch Umwelteinflüsse und Lernerfahrungen beeinflussbar. Sie entsteht unter anderem aus den Voraussetzungen durch die fluide Intelligenz zusammen mit Bildung und zeichnet sich dadurch aus, dass zum Problemlösen auf erworbenes Wissen zurückgegriffen wird. Fluide Intelligenz findet ihre Anwendung eher in unbekannten und neuartigen Situationen, in denen keine Wissensanwendung zum Problemlösen führen kann.

Das Modell von Cattell (1963) hat sich empirisch sehr bewährt und wird in vielen aktuellen Untersuchungen angewendet. Es liegt beispielsweise den Testverfahren CFT 1 (Cattell, Weiß & Osterland, 1997) und CFT 20-R (Weiß, 2008) zugrunde und eignet sich insbesondere auch zur Beschreibung von Intelligenzentwicklung bei Kindern. Die Entwicklung der fluiden Intelligenz ist bei Kindern etwa im Alter von dreizehn bis vierzehn Jahren abgeschlossen. Dagegen entwickelt sich die kristalline Intelligenz noch bis zum 18. oder 20. Lebensjahr oder bei höherer Leistungsfähigkeit sogar noch einige Jahre länger (Amelang et al., 2006).

Typische Aufgaben zur Testung der fluiden Intelligenz sind sprachfrei und kulturunabhängig wie z. B. figurale Relationen, Gedächtnisspannen, Matrizenaufgaben und induktives Denken. Die Untersuchung der kristallinen Intelligenz erfolgt über kulturabhängige und sprachgebundene Aufgaben wie beispielsweise verbales Verständnis, numerisches Verständnis und semantische Beziehungen. Eine Kombination beider Methoden und damit eine umfassende Messung der Intelligenz nach Cattell (1963) wird in den Intelligenztestverfahren nach Wechsler (1944) – Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene (WIE) (von Aster, Neubauer & Horn, 2006) und Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Kinder (HAWIK-IV) (Petermann & Petermann, 2010) – sowie in der Kaufman Assessment Battery for Children (K-ABC) (Melchers & Preuß, 2009) verwendet.

Ein etwas neueres aber bisher empirisch nicht vollständig überprüfbares Modell hat **Guilford** (1976) erstellt: Drei *Dimensionen* (Denkinhalte, Denkopoperationen und Denkresultate) mit je fünf bis sechs *Einheiten* werden zu insgesamt 120 Kombinationen zusammengeführt, die jeweils einen Intelligenzbereich bilden. Ebenfalls nicht hierarchisch, jüngerer Datums und bisher empirisch nicht belegt ist die Theorie der *multiplen Intelligenzen* von **Gardner** (1985), in der sieben unabhängig Intelligenzen angenommen werden: sprachlich, logisch-mathematisch, musikalisch, körperlich-kinästhetisch, räumlich, intrapersonal und interpersonal.

Ein hierarchisch geordnetes Modell hat **Jäger** (1982) vorgestellt. Neben vier *Operationen* (Bearbeitungsgeschwindigkeit, Merkfähigkeit, Einfallsreichtum und Verarbeitungskapazität) gibt es drei *Inhalte* (sprachgebundenes Denken, zahlengebundenes Denken und anschauungsgebundenes Denken), die man zu zwölf Kombinationen zusammenführen kann. Diesen übergeordnet ist der allgemeine g-Faktor. Mit dem Berliner Intelligenzstruktur-Test BIS (Jäger, Süß & Beauducel, 1996) und dem Berliner Intelligenzstruktur-Test für Jugendliche zur Begabungs- und Hochbegabungsdiagnostik BIS-HB (Jäger, Holling, Preckel, Schulze, Vock, Süß & Beauducel, 2006) liegen zwei auf dem Modell von Jäger (1982) basierende Testverfahren vor.

Lehrl (1990) sieht die Intelligenz abhängig von der Gedächtnisspanne und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, lehnt die von ihm entwickelten Tests aber durchaus an das Modell von Cattell an. In seinem Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenztest (Lehrl, 1977) und dem Kurztest für allgemeine Intelligenz (Lehrl, 1980) wird unter anderem mit Aufgaben gearbeitet, bei denen aus fünf Wörtern neben vier Fantasiewörtern das einzige korrekte Wort herauszusuchen ist. Damit soll die kristalline Intelligenz abgefragt werden.

Ein sehr neuer Ansatz von **Sternberg** (2000) basiert auf einem dreigliedrigen Modell. Analytische, kreative und praktische Intelligenz werden als unabhängig voneinander betrachtet, können zuverlässig erfasst werden und sollen zur Vorhersage von Erfolg im Leben dienen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bisher zwar keine einheitliche Definition und Erfassungsmethode zur Intelligenz existiert, sehr wohl liegen aber einige sehr differenzierte und empirisch nachweisbare Modelle und dazugehörige Testverfahren vor. Die in dieser

Arbeit verwendeten Messinstrumente beziehen sich hauptsächlich auf die Annahmen von Cattell (1963) und können daher als theoretisch gut gestützt angesehen werden.

2.2.1.2 Intelligenz und Arbeitsgedächtnis

Nachdem nun dargestellt wurde, was unter dem Arbeitsgedächtnis und seinen Komponenten (s. Abschnitt 2.1) sowie dem Konstrukt der Intelligenz (s. Abschnitt 2.2.1.1) in verschiedenen Modellvorstellungen zu verstehen ist, soll im Folgenden beleuchtet werden, wo Zusammenhänge zwischen diesen beiden gefunden werden können. Zentrale Fragen dabei sind: Worin unterscheiden sich Arbeitsgedächtnis und Intelligenz oder sind sie womöglich zu weiten Teilen deckungsgleich? Ist das Arbeitsgedächtnis mehr als induktives Denken und Wahrnehmungsgeschwindigkeit? Messen Instrumente zur Erfassung des Arbeitsgedächtnisses eigentlich nur einen Teil der Intelligenz?

Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei der Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Arbeitsgedächtnis und Intelligenz in verschiedenen Studien häufig mit ganz unterschiedlichen Bedingungen gearbeitet wird. So unterscheiden sich z. B.:

- die Methoden (konfirmatorische Faktorenanalyse, Korrelationen, Strukturgleichungsmodelle, Pfadanalyse)
- die zugrunde liegenden Modelle der Intelligenz (s. Abschnitt 2.2.1.1)
- die daraus entnommenen Teilbereiche (fluide, kristalline und allgemeine Intelligenz, g-Faktor, Reasoning, u.a.)
- die eingesetzten Testverfahren (z. B. CFT, Raven-Matrizen, PMA, BIS, Wechsler Intelligenztest, u.a.) (s. Abschnitt 2.2.1.1)
- die verwendeten Arbeitsgedächtnismodelle bzw. die einzelnen Funktionen (Baddeleys Modell mit den drei Komponenten (s. Abschnitt 2.1.1), Cowans Modell (s. Abschnitt 2.1), Kurzzeitspeicher, Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, Arbeitsgedächtniskapazität, u.a.)
- die Altersgruppe der Probanden (Erwachsene, Kinder)
- das Begabungsniveau der Stichproben-Gruppe (normal Begabte, Hochbegabte, Lernbehinderte, geistig Behinderte)

All diese Unterschiede in den Untersuchungen sind Ursache für ganz verschiedene Ergebnisse, je nachdem, welche Studie man betrachtet. Daher ist es sehr schwierig, einzelne

Ergebnisse miteinander zu vergleichen und daraus eine einheitliche Aussage über die Zusammenhänge zwischen Arbeitsgedächtnis und Intelligenz zu erhalten. Im Folgenden werden exemplarisch einige Ansätze vorgestellt.

Colom, Rebollo, Palacios, Juan-Espinosa und Kyllonen (2004) stellten mit Hilfe einer konfirmatorischen Faktorenanalyse fest, dass bei Erwachsenen die Arbeitsgedächtnisleistungen durch allgemeine Intelligenz (g-Faktor) fast perfekt vorhergesagt werden kann. **Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm und Schulze (2002)** erfassten mittels des BIS (Jäger, Süß & Beauducel, 1996) (s. Abschnitt 2.2.1.1) die Intelligenz von Erwachsenen in einem breiten Spektrum und setzten sie durch Korrelationen sowie Strukturgleichungsmodelle und konfirmatorische Faktorenanalysen mit ebenfalls breit erhobenen Arbeitsgedächtnisleistungen in Zusammenhang. Sie fanden zwischen allen Arbeitsgedächtnismaßen und allen Intelligenzbereichen signifikante Korrelationen, besonders hohe Zusammenhänge zeigten sich beim g-Faktor und Reasoning. Außerdem stellten sie fest, dass sich die Intelligenz durch Arbeitsgedächtnismaße vorhersagen lässt, jedoch nicht umgekehrt – ganz im Gegensatz zu den Ergebnissen von Colom et al. (2004). Die Passung der Strukturgleichungsmodelle war auf spezifischer Ebene besonders hoch und bestätigte die Zusammenhänge der Korrelationen. Besonders die jeweils visuellen bzw. verbalen Bereiche sowohl der Intelligenz als auch des Arbeitsgedächtnisses zeigten große Zusammenhänge.

Im Gegensatz zu diesen sehr hohen nachweisbaren Zusammenhängen berichten andere Studien unter Verwendung des CFT (Cattell, Weiß & Osterland, 1997; Weiß, 2008) bzw. der Raven-Matrizen (Raven, Raven & Court, 1998) von gemäßigten und mittleren Zusammenhängen, die eine getrennte Betrachtung der beiden Konstrukte „Intelligenz“ und „Arbeitsgedächtnis“ rechtfertigt. So konnten **Conway, Cowan, Bunting, Theriault und Minkoff (2002)** größtenteils bedeutsame Korrelationen von $r = .15$ bis $r = .38$ zwischen komplexen Gedächtnisspannungsaufgaben und fluider Intelligenz bei Erwachsenen zeigen. Insbesondere die zentrale Exekutive mit ihrer Aufmerksamkeitskontrollfunktion scheint bei Erwachsenen laut **Engle, Tuholski, Laughlin und Conway (1999)** einen deutlichen Zusammenhang zur fluiden Intelligenz aufzuweisen. Sie fanden Korrelationen zwischen $r = .28$ und $r = .34$. **Ackermann, Beier und Boyle (2002)** sehen in der mittleren Höhe dieser

Zusammenhänge ein ausreichendes Argument, um bei „Intelligenz“ und „Arbeitsgedächtnis“ von zwei unterschiedlichen Konstrukten zu sprechen.

Im Gegensatz zu dieser Ansicht führen **Kyllonen und Christal (1990)** sowie Kyllonen (1996) Korrelationen von $r = .94$ und $r = .96$ zwischen Arbeitsgedächtnis und Intelligenz an, die sie als Anhaltspunkt dafür betrachten, dass beide eine sehr hohe Ähnlichkeit aufweisen und möglicherweise nicht als getrennte Konstrukte angesehen werden können. Ihren Argumenten folgend wäre für schlechte Leistungen beim Reasoning ein schlecht funktionierendes Arbeitsgedächtnis verantwortlich. Diese Ansicht teilen **Carpenter, Just und Shell (1990)** sowie **Verguts & de Boeck (2002)**, die davon ausgehen, dass die hohen Zusammenhänge von Arbeitsgedächtnis zu allgemeiner und fluider Intelligenz und Reasoning durch Speichern von Zwischenergebnissen bei figuralen Matrizenaufgaben bzw. durch das Anwenden von Regeln und Lösungsprinzipien verursacht werden. **Süß (2001)** hält diese Schlussfolgerungen für ungerechtfertigt, da Reasoning und Arbeitsgedächtnis mit sehr ähnlichen Aufgaben erfasst werden und ein hoher Zusammenhang möglicherweise schon dadurch begründet werden kann.

Mit Hilfe von Metaanalysen wurde versucht, Licht ins Dunkel des Zusammenhangs zwischen Arbeitsgedächtnis und Intelligenz zu bringen. **Ackermann, Beier und Boyle (2005)** gehen aufgrund von 86 untersuchten Studien und einer maximalen, bereinigten Korrelation von $r = .61$ bzw. $r = .63$ davon aus, dass „Arbeitsgedächtniskapazität“ und „g-Faktor“/„fluide Intelligenz“ zwei unterschiedliche Konstrukte sind. In Reanalysen fanden **Oberauer, Schulze, Wilhelm und Süß (2005)** sowie **Kane, Hambrick und Conway (2005)** allerdings deutlich höhere Zusammenhänge und sehen in „Arbeitsgedächtniskapazität“ deshalb einen sehr guten Prädiktor mit hoher Vorhersagekraft für „Reasoning“, „g-Faktor“ und „fluide Intelligenz“.

Laut **Swanson (2008)** ist bei sechs- bis neunjährigen Kindern das Arbeitsgedächtnis ein besserer Prädiktor für die fluide als für die kristalline Intelligenz. In einer früheren Arbeit (1993) fand er Korrelationen von $r = .50$ zwischen Arbeitsgedächtnisleistungen und Leistungen im Wechsler Intelligenztest bei Erwachsenen. Hohe Korrelationen der Arbeitsgedächtnisleistung zum Gesamtwert des BIS sowie zum Einzelwert „Verarbeitungskapazität“ bei jungen Erwachsenen fanden **Süß et al. (2002)**.

Im Alter von neun Jahren scheint bereits ein Zusammenhang von fluider Intelligenz, Verarbeitungsgeschwindigkeit und Arbeitsgedächtnis zu bestehen, der sich kaum vom

Erwachsenenalter unterscheidet. **De Jong und Das-Smaal (1995)** konnten dazu Korrelationen von $r = .66$ bzw. $r = .60$ nachweisen. Dieser Zusammenhang weist ersten Erkenntnissen von **de Jong und de Jong (1996)** zufolge eine Stabilität ab dem neunten Lebensjahr bzw. zwischen den Klassenstufen vier bis sechs auf.

Umfangreiche Untersuchungen zum Zusammenhang von fluider Intelligenz und einzelnen Arbeitsgedächtniskomponenten bei Kindern im Alter zwischen sechs und dreizehn Jahren wurden von **Tillman, Nyberg und Bohlin (2008)** durchgeführt. Allerdings entsprechen die dabei zugrunde liegenden Arbeitsgedächtnisbereiche nicht denen des Baddeleyschen Modells, sondern setzten sich aus verbalem und visuell-räumlichem Kurzzeitspeicher sowie verbalem und visuell-räumlichen Exekutivprozessen zusammen. Zusammenhänge zwischen Intelligenz und jedem der vier Bereiche konnten ebenso nachgewiesen werden wie eine unabhängige Varianzaufklärung der modalitätsspezifischen Exekutivprozesse. Zu bedenken ist allerdings, dass exekutive Prozesse kaum ohne den Einfluss von Speicherkomponenten gemessen werden können.

Eine Metaanalyse von **Fry und Hale (2000)** gibt einen Überblick über Arbeiten, die sich mit dem Zusammenhang von Arbeitsgedächtnis, Intelligenz und Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie dessen zeitlichem Verlauf mit zunehmendem Alter beschäftigen. Danach verläuft die Entwicklung aller drei Funktionen über die Zeit sehr ähnlich, auch die Korrelationen zwischen ihnen bleiben gleich. Eine enge Verbindung zwischen Verarbeitungsgeschwindigkeit, Arbeitsgedächtnis und Intelligenz bei Kindern zwischen sieben und neunzehn Jahren fanden Fry und Hale bereits 1996 mit Hilfe von Pfadanalysen. Dabei zeigte sich, dass die altersbedingte Verbesserung in der Intelligenz hauptsächlich auf Steigerung der Arbeitsgedächtnisleistung zurückzuführen ist, diese wiederum aber stark von der Verarbeitungsgeschwindigkeit abhängt.

Erkenntnisse über den Zusammenhang von Intelligenz und Arbeitsgedächtnis können auch indirekt aus Untersuchungen mit *Extremgruppen* im Bereich der Intelligenz gewonnen. So gibt es einige wenige Studien zu Hochbegabung und Arbeitsgedächtnis – beispielsweise von **Vock (2005)** oder **Zietz (2009)** – und recht viele zu Lernbehinderung bzw. Minderbegabung und Arbeitsgedächtnis – zum Beispiel von **Mähler und Schuchardt (2009)**. Die meisten dieser Untersuchungen bestätigen einen mehr oder weniger großen Zusammenhang zwischen Intelligenz und den einzelnen Funktionsbereichen des Arbeitsgedächtnisses. Allerdings ist zu

berücksichtigen, dass die Ergebnisse solcher Studien nur indirekte und für normal Begabte bedingt gültige Rückschlüsse erlauben, da sich die Zusammenhänge und auch die Modelle von Arbeitsgedächtnis und Intelligenz in den Extrembereichen teilweise unterscheiden können. So fanden **Numminen, Service, Ahonen, Korhonen, Tolvanen, Patja und Ruoppila (2000)** bei Menschen mit geistiger Behinderung Anzeichen für ein Arbeitsgedächtnis mit nur zwei statt drei Komponenten. Aus diesen Gründen und weil die Extremgruppen in der vorliegenden Arbeit nicht gesondert untersucht wurden, soll an dieser Stelle die skizzenhafte Darstellung dieses Forschungsbereichs nicht weiter ausgeführt werden.

Bei aller Vielfältigkeit der Ergebnisse kann man zusammenfassend wohl nach **Beier und Ackerman (2005)** feststellen, dass Intelligenz und Arbeitsgedächtnis durchaus als zwei unterschiedliche Konstrukte betrachtet werden können, deren Zusammenhang unstrittig, dessen Ausmaß allerdings noch unklar ist. Die Ursache – möglicherweise der effiziente Gebrauch des Arbeitsgedächtnisses, die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit oder die Arbeitsgedächtniskapazität (Jensen, 1998; Klauer, 2001) – und Stärke des Zusammenhangs sowie die Richtung – welches Konstrukt von welchem beeinflusst wird – ist bisher nicht abschließend geklärt. Besonders deutliche Zusammenhänge zeigen sich offenbar im exekutiven Arbeitsgedächtnisbereich und bei allgemeiner fluider Intelligenz. Die Entwicklungen von Arbeitsgedächtnis und Intelligenz scheinen ähnlich zu verlaufen und der bestehende Zusammenhang zwischen beiden bereits ab etwa neun Jahren konstant zu bleiben.

2.2.2 Mathematik³

2.2.2.1 Mathematische Fähigkeiten und ihre Entwicklung

Wenn von Mathematik gesprochen wird, ist meist *Arithmetik* gemeint, also der Umgang und das Rechnen mit Zahlen. Darunter fallen die Grundrechenarten *Addition*, *Subtraktion*,

³ Für vielseitige und hilfreiche Vorarbeiten zu diesem Abschnitt in Ihren Diplom- und Masterarbeiten möchte ich Miriam Köthe-Wagener, Shirin Atili, Nadine Langer und Andrea Messerschmidt danken (Köthe-Wagener, 2009; Atili, 2009; Langer, 2009; Messerschmidt, 2010). Außerdem gilt mein Dank meiner ehemaligen Kommilitonin Maureen Blum geb. Stuff für die gemeinsame Erarbeitung des Themas „Mathematik“ in unseren Diplomarbeiten (Stuff, 2006; Schmid, 2007).

Multiplikation und *Division*. Mathematik besteht aber außer dem Bereich der Arithmetik auch aus *Geometrie* und *Sach- bzw. Textaufgaben*⁴ sowie den höheren mathematischen Fertigkeiten wie *Algebra*, *Trigonometrie*, *Differential-* und *Integralrechnung*. Grundsätzlich können die Rechenleistungen durch verschieden Faktoren wie beispielsweise Umweltfaktoren (Unterricht), emotionale Faktoren (Ängstlichkeit, Motivation) und Kontextfaktoren (Klassengröße, -niveau) beeinflusst werden (Tiedemann & Billmann-Mahecha, 2004).

Zum **Erwerb des verbalen Zählens** als eine der Vorläuferfertigkeiten des Rechnens gibt es verschiedene Theorien. Gelman und Gallistel (1978) haben beispielsweise fünf Prinzipien dazu postuliert (Eins-Eins-Zuordnung zwischen Objekten und Zahlwort, stabile Reihenfolge der Zahlwörter, Kardinalität, Abstraktionsprinzip, Irrelevanz der Reihenfolge), die ab vier Jahren umgesetzt werden, in ihren Anlagen aber bereits angeboren sein sollen. Ein anderer Ansatz wird von Fuson (1988) verfolgt. Demzufolge wird Zählen durch Modelllernen erworben und die Zählkompetenz bis zum Alter von sieben Jahren weiterentwickelt. Dabei gibt es zwei Phasen, zunächst den Erwerb der Zahlwortfolge und erst anschließend die Elaboration bzw. den Umgang mit und die Verwendung von Zählzahlen.

Um zu erklären, wie Zahlenverarbeitung und Rechenprozesse funktionieren, wurden unterschiedliche **Modelle** entwickelt. Ashcraft (1992) geht in seinem *Modell des Netzwerkabrufs* von einem neuronalen Netzwerk von Zahlen mit gegenseitiger Aktivierung und Hemmung aus. Aufgabenlösungen werden demnach direkt aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen und die Verbindungen im Netzwerk durch Üben verstärkt. Das *Modell der Assoziationsverteilung* von Siegler (1988) basiert auch auf der Grundlage einer Netzwerkstruktur. Aufgabe und deren korrekte Ergebnis werden hier als stärker assoziiert miteinander angenommen als andere bzw. falsche Ergebnisse. Als drittes Netzwerkmodell ist das *Triple-Code-Modell* nach Dehaene (1992) zu erwähnen. Dieses neuropsychologisch basierte Modell postuliert drei unterschiedliche Kodierungen, in denen Zahlen gespeichert werden: als Zahlwort, als arabische Ziffer und als analoge Position auf einem innerem Zahlenstrahl. Alle drei sind miteinander verknüpft, ineinander transformierbar und jeweils für verschiedene Prozesse nötig. Als Grundlage für die Anwendung von Arithmetik sieht

⁴ Zum Unterschied zwischen Text- und Sachaufgaben siehe Radatz (1983). Im Folgenden werden beide Begriffe synonym verwendet.

Dehaene (1999) das *Zahlengefühl* (number sense), dem drei Naturgesetze zugrunde liegen: Ein Objekt kann nicht an mehreren Orten gleichzeitig sein, zwei Objekte können nicht gleichzeitig am selben Ort sein und ein Objekt kann nicht einfach verschwinden bzw. auftauchen.

Ein sehr aktuelles **Entwicklungsmodell früher mathematischer Kompetenzen** im Altersbereich von Säuglingen bis zum Grundschulalter hat Krajewski (2007, 2008a, 2008b) vorgestellt. Darin sind drei Kompetenzebenen vorgesehen (numerische Basisfertigkeiten (I), unpräzises (IIa) bzw. präzises (IIb) Anzahlkonzept (II), Verständnis von Anzahlrelationen(III) bzw. Anzahlzerlegung (IIIa) und Mengenunterschiede (IIIb)), die qualitativ unabhängig voneinander sind und von verbalen Zählzahlen und Ziffernzahlen unterschiedlich durchlaufen werden können. Damit wird sehr detailliert beschrieben, wie Kinder die Grundprinzipien des Zahlensystems verstehen lernen.

Die Mathematikleistungen bei Kindern sind zum Teil interindividuell sehr verschieden und diese Unterschiede wiederum sehr stabil über die Zeit. Grube und Barth (2004) sowie Helmke (1997) gehen von einem deutlichen Einfluss **kognitiver Faktoren** auf den Rechnerwerb und die Rechenleistungen im Grundschulalter aus. Wichtige kognitive Determinanten für die Entwicklung der Rechenfähigkeit sind das Arbeitsgedächtnis, der sinnvolle Einsatz von Lösungsstrategien, Metakognitionen, eine gute Wissensbasis und ein Zahlen- und Mengenverständnis, das schon vor der Grundschulzeit ausreichend vorhanden ist (Grube, 2006a).

Schon Säuglinge und Kleinkinder haben **numerisch-mathematische Kompetenzen**, zeigen arithmetische Fertigkeiten, können quantitative Mengen aus bis zu drei Elementen verarbeiten und unmittelbar erfassen (Subitizing) sowie Veränderungen in kleinen Mengen feststellen (Wynn, 1992). Etwa bis zum Beginn der Grundschulzeit entwickeln sich ein Verständnis von größeren Mengen, ein Zahlenbegriff, Zahlenwissen, Zählfertigkeiten und ein Verständnis für die Anzahl von Dingen sowie Verständnis von Größer-Kleiner-Beziehungen (Dehaene, 1999; Ricken & Fritz, 2006). Laut Krajewski (2003) und Grube (2006b) sind interindividuelle Unterschiede in diesem mathematischen Vorwissen im Vorschulalter häufig sehr deutlich und haben einen großen Einfluss auf die Mathematikleistungen in der Grundschulzeit.

Mit Beginn der Grundschulzeit, manchmal aber auch schon früher, setzt die Nutzung von **Zählstrategien** – auch **Lösungs- oder Rechenstrategien** genannt – ein, die später in den

Abruf von Wissen bei der Bearbeitung arithmetischer Aufgaben übergeht. Nach Carpenter und Moser (1983, 1984) beginnen Kinder zunächst bei einfachen Additionsaufgaben mit der Strategie des *Repräsentierens der Zahlen als Menge von realen Objekten*, so dass man z. B. auf die Finger zeigen und dabei die Zahlenreihe abzählen kann. Danach folgt zum Lösen von Additionsaufgaben die Verwendung von *verbalen Zählstrategien*, bei denen bereits ein inneres Zählen angewendet wird. Darunter ordnen sich drei gestaffelte Vorgehensweisen: zunächst wird die *counting-all*-Strategie eingesetzt, bei der alle zu addierenden Zahlen bei „eins“ beginnend hintereinander gezählt werden. Die *counting-on-from-first*-Strategie setzt direkt beim Zahlenwert des ersten Summanden an und beginnt dort mit dem Weiterzählen. Bei der *counting-on-from-larger*-Strategie wird beim größeren Summanden begonnen und davon weitergezählt. Diese Variante findet meist in der zweiten Klasse Verwendung (Widaman, Little, Geary & Cormier, 1992). Die dritte, am meisten fortgeschrittene und effektivste Art, Additionsaufgaben zu lösen, ist das *Abrufen des Ergebnisses aus der Wissensbasis*. Diese wird von Sechstklässlern bevorzugt benutzt (Widaman et al., 1992), findet aber auch schon ab der dritten Klasse Anwendung und wird von Kindern der vierten Klasse bereits vorrangig verwendet (Ashcraft & Fierman, 1982). Dabei wird die Lösung einer Aufgabe, die bereits mehrfach gelöst wurde, direkt aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen. Eine Erweiterung dessen ist die *Zerlegungsstrategie*, bei der eine neue Aufgabe in zwei bereits bekannte Teilaufgaben zerlegt wird und damit einfacher gelöst werden kann. Alle Strategien werden in keinem Alter ausschließlich sondern meist parallel zueinander verwendet, wobei meist eine Strategie in einem bestimmten Altersbereich – wie teilweise beschrieben – vorrangig eingesetzt wird und im Verlauf der Grundschulzeit zunehmend die effizienteren Strategien benutzt werden (Siegler, 1987, 1998).

Den **Textaufgaben** kommt in der Mathematikdidaktik eine besondere Bedeutung zu, denn damit wird Mathematik in Form von arithmetisch-numerischen Aufgaben mit Alltagssituationen durch einen beschriebenen Kontext verbunden. Hier sind außer den mathematischen Fähigkeiten auch logisches Denken und andere Fähigkeiten gefragt und die Schwierigkeit der Aufgabe setzt sich nicht nur aus der gestellten arithmetischen Anforderung, sondern auch aus der Formulierung und den zu berücksichtigenden Bedingungen zusammen (Stern, 1994). Lesen mit Sinnverständnis, Aufgabenverständnis, Umwandlung in die zugrunde liegende arithmetische Formel, rechnerische Lösung durch

mathematische Fähigkeiten, Rückschluss von Ergebnis auf die Aufgabenstellung und Antwortformulierung sind einige der benötigten Anforderungen (Muth, 1984).

Zur Erfassung der Mathematikleistungen bei Kindern werden zumeist **Testverfahren** eingesetzt, die sowohl Arithmetik als auch Geometrie und Textaufgaben beinhalten und sich an den Schulcurricula orientieren. Ein geeigneter und vielfach verwendeter Mathematiktest für die Grundschulzeit ist der Deutsche Mathematiktest DEMAT, der für jede Klassenstufe einzeln erhältlich ist z. B. DEMAT 3+ für dritte Klassen (Roick, Gölitze & Hasselhorn, 2004).

Ist die Rechenfähigkeiten im Bereich der Arithmetik bei Kindern eingeschränkt, kann entweder eine **Rechenschwäche**, eine **Rechenstörung (Dyskalkulie)** oder eine **kombinierte Störung schulischer Fertigkeiten** vorliegen. Betroffene Kinder machen keine besonderen oder typischen Fehler, sondern vor allem mehr Fehler als unauffällige Kinder (Dockrell & McShane, 1993). Als rechenschwach können laut Krajewski (2003) die untersten fünf bis fünfundzwanzig Prozent einer Altersgruppe gezählt werden. Soll nach der internationalen Klassifikation psychischer Störungen ICD-10 (WHO, 2005; Dilling, Mombour & Schmidt, 2005) eine Diagnose für Dyskalkulie (nach ICD-10: F81.2) gegeben werden, muss unter anderem das Ausmaß der Beeinträchtigung klinisch bedeutsam sein – also die Rechenleistungen im Bereich der untersten drei Prozent einer Altersgruppe liegen – sowie eine deutliche Diskrepanz der Rechenleistung zu den aufgrund der allgemeinen intellektuellen Leistungsfähigkeit zu vermutenden Fähigkeiten bestehen. Die genauen Kriterien schwanken dazu je nach Region (Grube, 2008) und sind häufig umstritten, zumal von einer frühzeitigen Förderung Kinder ohne die geforderte Diskrepanz ebenfalls profitieren (Ricken & Fritz, 2006). Eine kombinierte Störung schulischer Fertigkeiten (nach ICD-10: F81.3) setzt voraus, dass auch die Leistungen im schriftsprachlichen Bereich beeinträchtigt sind, die allgemeine Intelligenz dafür jedoch nicht verantwortlich ist.

Nach diesem Überblick über verschiedene Aspekte der Mathematik, deren Entwicklung und Grundlagen wird im nachfolgenden Abschnitt ein Blick auf die Zusammenhänge von Mathematik und Arbeitsgedächtnis geworfen.

2.2.2.2 Mathematik und Arbeitsgedächtnis

Um der Frage nachzugehen, ob und wenn ja zwischen welchen Bereichen ein Zusammenhang zwischen Mathematikleistungen und Arbeitsgedächtnisleistungen anzunehmen ist, wird im Folgenden eine Auswahl von Studien vorgestellt, die dieses Thema behandeln und zur Klärung der Frage beitragen können.

Vorab ist anzumerken, dass ebenso wie bei den Studien zur Intelligenz bei den Untersuchungen des Zusammenhangs von Mathematik und Arbeitsgedächtnis zum Teil sehr unterschiedliche Bedingungen vorliegen. Die untersuchten Altersgruppen, das Niveau der mathematischen Begabung, die Einbeziehung der Arbeitsgedächtniskomponenten und der Mathematikbereiche, die Erfassungsmethoden von Mathematik- und Arbeitsgedächtnisleistungen sowie die Methoden, mit denen die Leistungen verglichen oder in Beziehung gesetzt werden, sind häufig sehr verschieden. Weberschock und Grube (2006) weisen beispielsweise darauf hin, dass der Einfluss von Arbeitsgedächtniskomponenten für jede Rechenart einzeln untersucht werden müsste. Diese Heterogenität der Untersuchungsumstände ist also bei der Bewertung und Einordnung der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Hitch, Cundick, Haughey, Pugh und Wright (1987) zeigten die Beteiligung der phonologischen Schleife am Zählen und damit auch am Rechnen bei achtjährigen Kindern durch artikulatorische Unterdrückung in einer Zweitaufgabe. Ebenfalls bei acht- sowie elfjährigen Kindern wiesen Adams und Hitch (1998) den Einsatz der phonologischen Arbeitsgedächtnisfunktionen vor allem bei mentaler Addition und auditiver Aufgabendarbietung nach.

Eine Beteiligung der zentralen Exekutive und der phonologischen Schleife fanden Hasselhorn und Grube (2003a) sowie Fürst und Hitch (2000) in ihren Untersuchungen an Kindern bzw. Erwachsenen teilweise unter Verwendung von dual-task-Aufgaben (s. Abschnitte 2.1.1.1 und 2.1.1.3). Dabei zeigte sich, dass die phonologische Schleife zwar nicht direkt beim Rechnen wohl aber an der Erinnerung der Aufgabeninformationen und Zwischenergebnisse mitwirkt, die zentrale Exekutive für die Koordination und das Planen der Rechenschritte zuständig ist und beide sowohl an basalen als auch komplexen Rechenaufgaben beteiligt sind. Mit

zunehmend fortgeschrittenem Rechnen scheint aber der zentralen Exekutive eine größere Rolle zuzukommen.

Hitch (1978) fand heraus, dass das Arbeitsgedächtnis beim Bearbeiten von Additionsaufgaben beansprucht wird. Eine Beeinträchtigung der Lösungsgüte entstand durch die Anforderung, Aufgabeninformationen während des Bearbeitens im Arbeitsgedächtnis aufrecht zu erhalten.

Rückschlüsse auf die Arbeitsgedächtnisbeteiligung bei der Lösung von Additions-, Subtraktions- und Multiplikationsaufgaben konnten Seitz und Schumann-Hengsteler (2000, 2002) aufgrund der Beeinträchtigung durch eine Zweitaufgabe ziehen. Eine zentral-exekutive Anforderung simultan zum Rechnen forderte ebenso Leistungseinbußen wie die Beanspruchung der phonologischen Schleife durch gleichzeitige Artikulation. Keinen Einfluss scheint eine visuell-räumliche Aufgabe wie Tapping zu haben.

Eher untypische Ergebnisse lieferte Reuhkala (2001) bei Untersuchungen an Neuntklässler. Es konnte kein Einfluss der zentralen Exekutive oder der phonologischen Schleife auf die mathematischen Fähigkeiten, wohl aber ein Einfluss der visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisfunktionen, vor allem der mentalen Rotation und des statischen Speichers, gezeigt werden. Dass die phonologische Schleife nur indirekt am Rechnen beteiligt ist, steht in keinem eindeutigen Widerspruch zu anderen Befunden. Der fehlende Zusammenhang zur zentralen Exekutive dagegen schon. Er kann möglicherweise durch das höhere Alter der Kinder erklärt werden, da die zentral-exekutiven Funktionen erst in diesem Alter voll entwickelt zu sein scheinen.

Ein ähnliches Bild zeigt sich in der Untersuchung von Berg (2008), in der bei Kindern der dritten bis sechsten Klasse unter anderem das Kurz- und Arbeitsgedächtnis sowie die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit erfasst wurden. Mit dieser eher untypischen Erhebungsmethode vor allem der zentral-exekutiven Funktionen konnte kein direkter Einfluss der zentralen Exekutive, wohl aber der phonologischen Schleife und des visuell-räumlichen Notizblocks auf die Mathematikleistung gefunden werden. Das genaue Gegenteil dazu stellten Bull und Scerif (2001) fest. Sie wiesen ausschließlich eine Beteiligung der zentralen Exekutive an Rechenprozessen nach, nicht jedoch von phonologischer Schleife oder Notizblock. Holmes und Adams (2006) wiesen anhand einer Studie mit Kindern der dritten und fünften Klasse darauf hin, dass der visuell-räumliche Notizblock eventuell eher bei jüngeren Kindern an Rechenprozessen beteiligt sein könnte (s. u.).

Heathcote (1994) untersuchte mittels dual-task-Aufgaben die Beteiligung der visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisprozesse am Rechnen. Demnach scheinen vor allem Informationen wie z. B. die Position von Ziffern mehrstelliger Zahlen bei Additionsaufgaben sowie andere räumlich-visuelle Anhaltspunkte einer komplexen Aufgabe während des Rechnens durch den Notizblock ähnlich einer inneren Tafel aufrechterhalten zu werden. Laut Seitz und Schumann-Hengsteler (2000) wird diese mentale Repräsentation vor allem beim Kopfrechnen benötigt und weniger, wenn die Aufgabeninformationen während des Bearbeitens sichtbar sind. Eine Beteiligung des visuell-räumlichen Notizblocks ebenfalls beim Kopfrechnen fanden Lee und Kang (2002) bei Subtraktionsaufgaben. An mentaler Multiplikation konnten sie dagegen eine Beteiligung der phonologischen Schleife nachweisen.

Bei **jüngeren Kindern** in der Zeit vor dem Grundschulalter gilt dem visuell-räumlichen Notizblock besondere Beachtung, da zu diesem Zeitpunkt die zentrale Exekutive und die phonologische Schleife noch nicht ausreichend entwickelt sind, um verbale Zählstrategien anzuwenden oder auf arithmetisches Faktenwissen zurückzugreifen (s. Abschnitt 2.2.2.1). Durch das in diesem Alter vorherrschende Repräsentieren von Zahlen als Objekte und Mengen und die daraus resultierenden eher visuell orientierten Zählstrategien wird der visuell-räumliche Notizblock beansprucht (Palmer, 2000; Bull & Espy, 2006). Laut McKenzie, Bull und Gray (2003) sowie Holmes und Adams (2006) wird mit sechs Jahren zunächst hauptsächlich der visuell-räumliche Notizblock beim Rechenprozess genutzt, im Laufe der Grundschulzeit wechseln sich dann visuelle und verbale Zählstrategien ab und werden durch zentral-exekutive Funktionen koordiniert. Vorrangig verbale Strategien und Abruf von Faktenwissen werden dann am Ende der Grundschulzeit beim Rechnen verwendet.

Viele Studien zum Zusammenhang von Arbeitsgedächtnis und Rechnen basieren auf dem Vergleich von Probanden mit **unterschiedlicher mathematischer Leistungsfähigkeit**. Eine Auswahl von Ergebnissen dieser Methode werden nachfolgend vorgestellt.

Grube und Barth (2004) untersuchten rechenschwache und durchschnittlich mathematisch begabte Kinder der dritten und vierten Klasse. Durch die Erfassung von basalen arithmetischen Kenntnissen, fortgeschrittenem Rechnen sowie der Leistung im phonologischen und zentral-exekutiven Bereich konnte festgestellt werden, dass bei beiden

Probandengruppen ähnliche arithmetische Grundkenntnisse vorliegen, jedoch deutliche Schwächen im Arbeitsgedächtnis und Probleme beim fortgeschrittenen Rechnen bei den Rechenschwachen zu verzeichnen sind. Ein eindeutiger Einfluss vor allem der zentralen Exekutive auf die Mathematikleistungen konnte nachgewiesen werden. Ebenfalls durch einen Vergleich von normal bis gut begabten mit schlechten Rechnern in der vierten Klasse stellten Passolunghi und Siegel (2001) durch nachgewiesene Arbeitsgedächtnisdefizite bei den rechenschwachen Kindern eine Relevanz der phonologischen Schleife und der zentralen Exekutive für die Bearbeitung von Textaufgaben fest.

Schuchardt, Kunze, Grube und Hasselhorn (2006) fanden im Gegensatz dazu bei einer Untersuchung an rechenschwachen und rechenunauffälligen Drittklässlern einen Einfluss der phonologischen Schleife auf die mathematischen Leistungen, jedoch nicht der zentralen Exekutive und des visuell-räumlichen Notizblocks (detaillierter: s.u.). Diese eher ungewöhnlichen Befunde sind möglicherweise auf die Operationalisierung der zentral-exekutiven Funktionen sowie auf die Einflusskontrolle der Intelligenz zurückzuführen.

Die Ergebnisse einer Untersuchung von McLean und Hitch (1999) zur Beteiligung des visuell-räumlichen Notizblocks am Rechnen bei Kindern mit schwachen Rechenleistungen sind uneinheitlich. Demnach ist zwar die räumlich-dynamische Komponente gemessen mit der Corsi-Block-Aufgabe (s. Abschnitt 2.1.1.3) bei rechenschwachen Kindern vermindert funktionsfähig, die visuell-statische Teilfunktion erfasst durch die Matrix-Aufgabe (s. Abschnitt 2.1.1.3) jedoch nicht.

Genau das Gegenteil fanden Gaupp (2003) sowie Bull, Johnston und Roy (1999) in Untersuchungen an rechenschwachen Grundschulern. Die Leistungen in der Matrixaufgabe waren reduziert, die der Corsi-Block-Aufgabe dagegen nicht. Ähnliche Befunde lieferten auch Schuchardt et al. (2006), die in der bereits erwähnten Studie bei rechenschwachen Kindern keine verminderte Funktionsfähigkeit der räumlich-dynamischen Komponente feststellen konnten. In einer späteren Studie konnten Schuchardt, Mähler und Hasselhorn (2008) bzw. Schuchardt (2008) nachweisen, dass Kinder mit einer Rechenstörung Defizite sowohl in der räumlich-dynamischen als auch der visuell-statischen Komponente des Notizblocks aufweisen.

Einen etwas anderen Ansatz verfolgten Siegel und Ryan (1989) bei ihren Untersuchungen an Kindern im Alter von sieben bis dreizehn Jahren. Im Gegensatz zu einer Kontrollgruppe

hatten rechenschwache Kinder Probleme mit zahlenbezogenen, jedoch nicht mit wortbezogenen Arbeitsgedächtnisaufgaben.

Swanson (2006) untersuchte mathematisch durchschnittlich und überdurchschnitt begabte Kinder im Alter von sechs bis acht Jahren und stellte fest, dass die überdurchschnittlich begabten eine bessere zentral-exekutive Leistung erbrachten. Die Leistungen im Bereich der phonologischen Schleife und des visuell-räumlichen Notizblocks hingegen waren bei beiden Gruppen gleich.

Eine Sonderrolle bei mathematischen Aufgaben spielen die **Textaufgaben**. Doch auch hier konnten – entsprechend der Befunde von Passolunghi und Siegel (2001), die bereits vorgestellt wurden – Lee, Ng, Ng und Lim (2004) einen Zusammenhang zu phonologischen und zentral-exekutiven Arbeitsgedächtnisfunktionen nachweisen. Swanson und Beebe-Frankenberger (2004) fanden bei Kindern eine Beteiligung der zentralen Exekutive bei der Bearbeitung von Textaufgaben. Sie vermuten eine hohe Relevanz der Arbeitsgedächtniskapazität für den Abruf des Wissens aus dem Langzeitgedächtnis – die Lösungsstrategie, die ab der vierten Klasse bevorzugt angewendet wird – und schließen daraus auf die Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses für die Lösung von Textaufgaben.

Einen weiteren Sonderbereich stellt die **Geometrie** dar. Allerdings gibt es zum Zusammenhang von Geometrie und Arbeitsgedächtnis bisher kaum empirische Ergebnisse.

Man könnte noch eine Vielzahl weiterer Studien zu verschiedenen Aspekten des Zusammenhangs von Arbeitsgedächtnis und Mathematik anführen. Die wesentlichen Argumente und Ergebnisse sind im vorgestellten Überblick aber bereits genannt, auch wenn sich daraus ein recht heterogenes Bild ergibt. Wie zu Beginn dieses Abschnittes erwähnt, sind dabei aber vor allem auch die sehr unterschiedlichen Untersuchungsumstände der verschiedenen Studien zu berücksichtigen.

Nicht ganz De Rammelaere (2002) folgend, der feststellte, dass bei arithmetischen Anforderungen sowohl die zentrale Exekutive als auch die phonologische Schleife, nicht jedoch der visuell-räumliche Notizblock am Rechnen beteiligt sind, kann man zusammenfassend sagen: Die zentrale Exekutive scheint vorrangig die Verarbeitungsprozesse beim Rechnen und den Wechsel zwischen verschiedenen Strategien zu koordinieren. Die phonologische Schleife hält die benötigten Informationen während der

Aufgabenbearbeitung aufrecht und ist beim mentalen Multiplizieren beteiligt. Der visuell-räumliche Notizblock mit seinen beiden Teilkomponenten wird vor allem bei speziellen Anforderungen wie beispielsweise dem Kopfrechnen, mentaler Rotation und bei jüngeren Kindern benötigt. So lässt sich feststellen, dass alle drei Arbeitsgedächtniskomponenten beim Prozess des Rechnens auf die eine oder andere Weise beteiligt sind und Zusammenhänge in allen Bereichen nachzuweisen sind. Für die mathematischen Unterbereiche der Geometrie und des Sachrechnens gibt es bisher keine ausreichenden Ergebnisse, um eine eindeutige Aussage über deren Zusammenhänge mit dem Arbeitsgedächtnis treffen zu können.

2.2.3 Schriftsprache⁵

2.2.3.1 Schriftsprachkompetenzen

Zur Schriftsprache zählt sowohl das Lesen als auch das Schreiben. Beide Kompetenzen werden häufig gemeinsam untersucht, da sie hohe Gemeinsamkeiten aufweisen. Nachfolgend werden zunächst einige Aspekte beschrieben, die für beide Bereiche relevant sind, bevor dann kurz darauf eingegangen wird, was speziell für jeden einzelnen Bereich von Bedeutung ist.

Die meisten **Voraussetzungen für den Schriftspracherwerb** sind sowohl für das Erlernen von Lesen als auch Schreiben relevant (Schneider, 1997). Je nach Alter haben diese Vorläuferfertigkeiten allerdings unterschiedlich große Vorhersagestärke für die spätere Lese- bzw. Rechtschreibfähigkeit (Wagner, Torgesen & Rashotte, 1994).

Eine der wichtigsten Grundlagen für das Erlernen von Schriftsprache ist die Erkenntnis, dass Sprache durch willkürlich gewählte Zeichen dargestellt wird und diese Symbole umgekehrt auch wieder in Sprache umgewandelt werden können (Oerter, 2002). Des Weiteren muss verstanden werden, dass die sogenannte *Phonem-Graphem-Zuordnung* immer konstant ist

⁵ Für umfassende und hilfreiche Vorarbeiten zu diesem Abschnitt in Ihren Diplom- und Masterarbeiten möchte ich Gwen Reimann, Eva Rogosch, Nadine Langer und Andrea Messerschmidt danken (Reimann, 2009; Rogosch, 2009; Langer, 2009; Messerschmidt, 2010).

und damit schriftliche Symbole dekodiert (= Lesen) und Laute in Zeichen umgesetzt (= Schreiben) werden können.

Die *phonologische Bewusstheit* (s. z. B. Wagner & Torgesen, 1987; Elbro, 1996) ist ebenfalls eine der wesentlichen Vorläuferkompetenzen für die Schriftsprache. Darunter versteht man die Fähigkeit, mit sprachlichen Einheiten wie Phonemen, Silben und Wörtern umzugehen, sie zu erkennen und dadurch die Struktur der Sprache zu verstehen (Schneider, 2001b). Landerl und Wimmer (2008) halten dies aufgrund einer Langzeitstudie an deutschsprachigen Kindern möglicherweise nur bei der Rechtschreibfähigkeit für relevant. Durch die klangliche Segmentierung von Pseudowörtern kann man diese Fähigkeit unabhängig von Kontexteinflüssen und lexikalischem Wissen erfassen (Wagner & Torgesen, 1987; Schneider, 2001b). Hasselhorn und Gold (2009) sehen im Erkennen von Phonemen eine der wichtigsten Basiskompetenzen. Ebenfalls unabdingbar für den Schriftspracherwerb ist es, die Bedeutung von Wörtern erfassen und einzelne Wörter zu einem Satz integrieren zu können.

Eine weitere ganz wesentliche Basiskompetenz liegt im Abruf von Informationen aus dem inneren Lexikon des Langzeitgedächtnisses bzw. dessen Geschwindigkeit (Schneider, 2001b). Scheider (2001b) hält den Rückgriff auf das semantische Lexikon und dessen Informationen über Graphem-Phonem-Zuordnungen für einen wichtigen Bestandteil des Schriftspracherwerbs, bei dem der erworbene Wortschatz eine Rolle spielt.

Beim Erlernen von Lesen und Rechtschreiben muss von Kindern auch die *Koartikulation* berücksichtigt werden. Darunter versteht man, dass gleiche Grapheme als Phoneme ganz unterschiedlich klingen können und anders sprachlich produziert werden müssen, je nachdem mit welchen anderen Buchstaben sie kombiniert werden. Die Zeichen eines geschriebenen Wortes kann man klar voneinander abgrenzen, nicht so jedoch die Laute eines gesprochenen Wortes.

Da viele dieser Vorläuferkompetenzen für beide Teile der Schriftsprache gelten und häufig Lesen und Rechtschreiben als Schriftsprachkompetenz zusammengefasst werden, stellt sich die Frage, worin nun genau der **Unterschied zwischen Lesen und Rechtschreiben** liegt. Ist es einfach ein inverser Prozess, bei dem einmal Phoneme in Grapheme umgewandelt und einmal Zeichen in Laute umgeformt werden? Es gibt einige Aspekte, die gegen diese Annahme sprechen. Zum einen gibt es pro Phonem häufig mehrere passende Zeichen (z. B. „f“ könnte als f oder v verschriftlicht werden), für ein Graphem aber meist nur einen

passenden Laut (f wird immer „f“ gesprochen), was beim Rechtschreiben für größere Probleme sorgt als beim Lesen (Schneider, 1997). Korrekte Rechtschreibung erfordert eine schwierige Reproduktion, wohingegen beim Lesen lediglich die Wiedererkennung von Zeichen nötig ist. Daher wird das Rechtschreiben auch als komplexer angesehen als das Lesen (Schneider, 1997).

Auch aus hirnphysiologischer Sicht lassen sich Unterschiede zwischen Lesen und Rechtschreiben feststellen. Beaton, Guest und Ved (1997) konnten an Patienten mit Gehirnschädigungen nachweisen, dass diese entweder Lesen aber nicht Schreiben konnten oder umgekehrt. Auch die Tatsache, dass nach dem ICD-10 (WHO, 2005; Dilling, Mombour & Schmidt, 2005) neben einer *Lese-Rechtschreibstörung* (F81.0) auch eine *isolierte Rechtschreibstörung* (F81.1) diagnostiziert werden kann, da durchaus große Leistungsunterschiede zwischen Lesen und Rechtschreiben bei einer Person bestehen können, spricht für eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen der Fähigkeit zu Lesen und zu Schreiben (Croft, 1982). Zusammenfassend lässt sich also nach Landerl, Wimmer und Frith (1997) sagen, dass dem Lesen und Rechtschreiben zwar ähnliche Voraussetzungen zu Grunde liegen, sie jedoch durchaus verschiedene Mechanismen aufweisen und nicht nur zwei Richtungen ein und desselben Prozesses sind. Dies ist zudem abhängig von der Sprache, wie später noch dargelegt wird.

Zunächst soll aber ein kurzer Blick auf die bereits erwähnten Störungsbilder im Schriftsprachbereich und deren **Begrifflichkeit** geworfen werden. Nach einer Längsschnittuntersuchung von Klicpera, Gasteiger-Klicpera und Schabmann (1993) sind bei etwa 10 - 15% der Kinder deutliche Einschränkungen in der Lese- und/oder Rechtschreibleistung festzustellen. Genaue Angaben sind schwierig zu machen, da sowohl in den Diagnosekriterien als auch der Begriffsverwendung in diesem Bereich keine Einheitlichkeit herrscht. So werden die Bezeichnungen „*Leserechtschreibstörung*“, „*-schwäche*“, „*Dyslexie*“ und „*Reading Disability*“ sowie „*isolierte Rechtschreibstörung*“ alle mit etwas unterschiedlicher Gewichtung der einzelnen Leistungsbereiche sowie teilweise einer Abstufung im Schweregrad verwendet (Bell, McCallum & Cox, 2003; Hasselhorn & Gold, 2009).

Beim Vergleich verschiedener Studien im Bereich der Schriftsprache sind außer den unterschiedlichen Begrifflichkeiten auch die vorhandenen Unterschiede in den untersuchten **Sprachen** zu berücksichtigen, in den meisten Fällen also die Differenzen zwischen Englisch und Deutsch. Sprachen lassen sich anhand einiger Merkmale unterscheiden. So zeichnet sich eine Sprache mit hoher *Symmetrie* beispielsweise dadurch aus, dass Phoneme recht einfach in Grapheme umgewandelt werden können und mit gleicher Schwierigkeit auch umgekehrt. Englisch weist demnach eine hohe Symmetrie auf, Deutsch dagegen ist eher asymmetrisch (Schneider, 1997). Aus diesem Grund finden sich auch in der deutschen Sprache häufiger Rechtschreibprobleme. Im Englischen findet sich durch die hohe Symmetrie ein engerer Zusammenhang von Lesen und Rechtschreiben, wodurch vermutlich auch ähnliche Prozesse und Probleme bei beiden Fähigkeiten eine Rolle spielen (Shanahan, 1984).

Ein weiteres Merkmal von Sprachen ist die *orthografische Konsistenz* oder *phonologische Transparenz* (Cossu, Gugliotta & Marshall, 1995; Landerl, Wimmer & Frith, 1997; Landerl und Wimmer, 2008). Darunter versteht man, wie eindeutig die Regeln für die Graphem-Phonem-Korrespondenz sind, also wie eindeutig Laute in Buchstaben transformiert werden können und umgekehrt. Das Englische ist phonetisch sehr komplex, daher findet sich eine niedrige orthografische Konsistenz, im Deutschen dagegen eine hohe (Landerl, Wimmer & Frith, 1997; Bell, McCallum & Cox, 2003). Je nachdem, wie eng Grapheme und Phoneme einer Sprache auf diese Weise zusammenhängen, muss ein geeignetes Messinstrument zur Erfassung der orthografischen Konsistenz eingesetzt werden (Landerl und Wimmer, 2008). Eine Möglichkeit besteht beispielsweise im Lesen von Pseudowörtern. Dabei haben Kinder im Englischen große Schwierigkeiten aufgrund der niedrigen orthografischen Konsistenz der Sprache (Wimmer & Goswami, 1994; Frith, Wimmer & Landerl, 1998).

Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass Rechtschreibung mehr Probleme bereitet als Lesen, da das Zuordnen von Lauten zu Buchstaben den meisten Kindern leichter fällt als umgekehrt. Dies gilt in unterschiedlichem Ausmaß sowohl für Deutsch und Englisch als auch z. B. für Italienisch (Cossu, Gugliotta & Marshall, 1995; Fitzgerald & Shanahan, 2000).

Nachdem nun viele generelle Aspekte der Schriftsprache erwähnt sind, sollen im Folgenden noch einige Besonderheiten für die beiden Teilbereiche des Lesens und Schreibens aufgeführt werden.

2.2.3.1 Lesen

Das Lesen lässt sich in die *basale Schriftsprachfertigkeit* der *Dekodierungskompetenz* und in die *übergeordnete Schriftsprachkompetenz* des *Leseverständnisses* einteilen. Mit Dekodieren ist die Worterkennung und -identifikation gemeint (Schneider, 2001a). Unter Leseverständnis versteht man den Prozess, der beim Lesen der Worterkennung folgt, also die Bedeutungszuweisung und Sinneinordnung auch im Rahmen eines Satzes (Scheerer-Neumann, 1997).

Zur Entwicklung und zum Erwerb von Lesekompetenzen sind einige *(Stufen-)Modelle* postuliert worden (Schneider, 2001a). Exemplarisch wird im Folgenden das gut belegte Modell nach Frith (1985) dargestellt, das allerdings für die Rechtschreibfähigkeit ebenfalls von Bedeutung ist:

In diesem Modell werden drei Stufen angenommen, auf denen jeweils eine (Lese-)Strategie vorherrscht. Im Vorschulalter und zu Beginn der Grundschulzeit wird zunächst die *logographische Strategie* verwendet, bei der Worte als Ganzes und durch visuelle Merkmale erkannt werden und bisher unbekannte Wörter daher noch nicht gelesen werden können. Auf der nächsten Stufe, die etwa in der ersten oder zweiten Klasse erreicht wird, kommt die *alphabetische Strategie* zum Einsatz. Die Graphem-Phonem-Zuordnung funktioniert dabei bereits, so können einzelnen Buchstaben bestimmte Laute zugeordnet werden und die Lautsynthese setzt ein. Am Ende der Grundschulzeit tritt die dritte Stufe mit der *orthografischen Strategie* ein. Ein Zugriff auf das innere semantische Lexikon im Langzeitgedächtnis erfolgt, aus dem ganze Wörter und deren visuelle und phonologische Informationen sowie Zusammenhänge von Wörtern untereinander abgerufen werden können.

Neben vielen anderen Testverfahren zur Überprüfung der Lesefähigkeit steht zur Messung der Lese- bzw. Dekodiergeschwindigkeit die *Würzburger Leise-Leseprobe WLLP* (Küspert & Schneider, 1998) zur Verfügung, die sehr ökonomisch als Gruppenverfahren angewendet werden kann.

2.2.3.2 Schreiben

Im Gegensatz zum Lesen ist das Schreiben bzw. Rechtschreiben eher seltener Gegenstand wissenschaftlicher Forschung, insbesondere da meist beide Bereiche zusammengefasst unter Schriftsprache untersucht werden. Der Rechtschreibung kommt jedoch eine große Bedeutung zu, da sie einen deutlichen Beitrag zum Schulerfolg beisteuert (Schneider, 1997). Das Schreiben setzt sich aus der basalen Schriftsprachfertigkeit des Buchstabierens bzw. Rechtschreibens und der übergeordneten Schriftsprachfertigkeit der Textgenerierung zusammen.

Speziell zum Rechtschreiben haben Simon (1970) bzw. Simon und Simon (1973) ein empirisch nachgewiesenes Funktionsmodell entwickelt. Danach basiert der Vorgang des Rechtschreibens zum einen auf der Speicherung von Phonem-Graphem-Zuordnungen und zum anderen auf der Speicherung von visuellen Wortbildern und Buchstabensequenzen im inneren Lexikon. Aus beiden Speichern erfolgen während des Rechtschreibprozesses ein kontinuierlicher Abruf und ein Vergleich der Informationen. Die hohe Bedeutung der Worthäufigkeit für das Erlernen der korrekten Rechtschreibung mit Hilfe von erworbenen Wortbildern wird anhand dieses Modells besonders deutlich (Schneider, 1997).

Ob auf das semantische innere Lexikon eher mit phonologischen oder visuell orientierten Strategien zugegriffen wird, ist dabei bisher nicht abschließend geklärt. Laut Sloboda (1980) scheinen schwache Rechtschreiber eher phonologische Vorgehensweisen zu verwenden und haben dadurch Probleme bei der Rechtschreibung von irregulär geschriebenen Wörtern. Gute Rechtschreiber dagegen bevorzugen eher die visuellen Strategien zum Abruf von Informationen aus dem inneren Lexikon als Ergänzung zu den Phonem-Graphem-Korrespondenzregeln.

Zur empirischen Überprüfung der Rechtschreibleistung mit qualitativer und quantitativer Analysemöglichkeit bietet sich der *Deutscher Rechtschreibtest für das dritte und vierte Schuljahr DERET 3-4+* (Stock & Schneider, 2008b) an.

2.2.3.3 Schriftsprache und Arbeitsgedächtnis

Nachdem die Grundlagen der Schriftsprache beleuchtet wurden, sollen nun deren Zusammenhänge mit den Arbeitsgedächtnisfunktionen vorgestellt werden. Ebenso wie bei

der Forschung zu Schriftsprachkompetenzen wird auch deren Zusammenhang zum Arbeitsgedächtnis häufig für beide Schriftsprachbereiche gemeinsam untersucht. Daher werden zunächst Befunde angeführt, in denen sowohl Schreiben als auch Lesen allgemein sowie deren basale und übergeordnete Schriftsprachfertigkeiten im Einzelnen berücksichtigt wurden. Anschließend werden einige Untersuchungen speziell zum Lesen und wenige ausschließlich zum Schreiben vorgestellt. Auf eine gesonderte Unterteilung zu den Arbeitsgedächtniskomponenten wird verzichtet, da in den meisten Studien auf mehrere der Komponenten eingegangen wird. Eine etwas detailliertere Vorstellung der Beteiligung der beiden Teilfunktionen der phonologischen Schleife wird allerdings vorgenommen, da dem phonologischen Arbeitsgedächtnis im Bereich der Schriftsprache eine besondere Bedeutung zukommt.

Auch in diesem Fall gilt wieder eine gewisse Vorsicht bei der Einordnung der einzelnen Studien, da auch hier unterschiedliche Methoden und Modellgrundlagen, verschiedene Altersgruppen und Stichproben oder andere Operationalisierungen der Arbeitsgedächtnisfunktionen verwendet wurden. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass eine eindeutige Aufteilung der empirischen Ergebnisse zu den einzelnen Schriftsprachbereichen oft schwer möglich ist, da in vielen Studien mehrere Aspekte auf einmal untersucht werden. Daher finden sich in den einzelnen Abschnitten zum Teil Verweise oder Überschneidungen. Zunächst soll nun ein Blick auf die Zusammenhänge der Arbeitsgedächtniskomponenten zur Schriftsprache generell geworfen werden.

Engle, Kane und Tuholski (1999) stellen bedeutsame Zusammenhänge zwischen Arbeitsgedächtniskapazität und beispielsweise Lesen, Sprachverständnis und Wortschatzerwerb vor. Um den Einfluss von phonologischer Schleife und zentraler Exekutive auf die Schriftsprache näher zu betrachten, untersuchten **Schuchardt, Kunze, Grube und Hasselhorn (2006)** Kinder der dritten Klasse mit schwachen Lese- und Rechtschreibleistungen. Sie stellen sowohl eine Beeinträchtigung der zentralen Exekutive als auch des phonetischen Speichers der phonologischen Schleife – durch Anwendung der Aufgabe „Kunstwörter nachsprechen“ – bei Kindern mit schwacher Schriftsprachleistung fest.

Ähnliche Erkenntnisse konnten auch **Schuchardt, Mähler und Hasselhorn (2008)** aus ihrem Vergleich von Kindern mit und ohne Dyslexie ziehen. Ein Defizit zeigte sich bei den Kindern

mit Dyslexie sowohl in phonologischer als auch zentral-exekutiver jedoch nicht in visuell-räumlicher Arbeitsgedächtnisleistung. Nach Ausparialisierung der phonologischen Anteile zeigte sich aber keine defizitäre zentral-exekutive Leistung mehr, so dass daraus geschlossen wurde, dass vor allem die phonologische Schleife für die Leseleistung relevant ist.

Eine der wenigen Studien, in denen ein Zusammenhang von visuell-räumlichem Notizblock und Schriftsprachfertigkeiten nachgewiesen werden konnte, wurde von **Gathercole, Alloway, Willis und Adams (2006)** mit sieben- bis elfjährigen Kindern durchgeführt. Kinder, die schwache Leistungen im Lesen und Schreiben erbrachten, zeigten auch reduzierte Leistungen in zentral-exekutiven und visuell-räumlichen Aufgaben. Die phonologischen Leistungen lagen im unteren Durchschnittsbereich.

Landerl, Bevan und Butterworth (2004) wiesen bei Kindern mit Schriftsprachproblemen Defizite in der zentralen Exekutive gegenüber Kindern mit normalen Schriftsprachleistungen nach. In einer Längsschnittstudie zum Einfluss der zentral-exekutiven Arbeitsgedächtnisfunktionen auf Lesen und Schreiben stellten **Altemeier, Abbott und Berninger (2008)** beim Vergleich von Kindern mit Dyslexie und schriftsprachlich normal Begabten der ersten und dritten Klasse fest, dass ein Einfluss der zentralen Exekutive auf die Rechtschreibleistung besteht. Dieser Zusammenhang ist allerdings bei ansteigendem Alter der Kinder wechselhaft. Außerdem findet sich bei beiden Gruppen eine Vorhersagefähigkeit der zentral-exekutiven Leistungen für Lesen und Schreiben, die jedoch bei den Kindern mit Dyslexie geringer ausfällt.

Weitere Ergebnisse zum Zusammenhang von Schriftsprach- und Arbeitsgedächtnisleistungen finden sich z. B. bei **Swanson (1989)**, **de Jong (1998)**, **Passolunghi und Siegel (2001)** sowie **Stage und Wagner (1992)**. Zum Einfluss der zentralen Exekutive auf die Schriftsprachfähigkeiten lassen sich z. B. bei **Siegel und Ryan (1989)**, **Shankweiler, Crain, Katz, Fowler, Liberman, Brady, Thornton, Lundquist, Dreyer, Fletcher, Stuebing, Shaywitz und Shaywitz (1995)** oder **Helland und Asbjørnsen (2004)** weiter Informationen finden. Das Thema Schriftsprache und phonologische Schleife beleuchten außerdem noch **Pickering (2006b)**, **Swanson (2006)**, **Vellutino, Fletcher, Snowling und Scanlon (2004)**, **Brady (1991)**, **Elbro (1996)**, **Wagner und Torgesen (1987)** sowie **Mayringer und Wimmer (1999)**. Die wesentlichen Ergebnisse sind hier aber bereits vorgestellt und werden durch weitere

Resultate bezüglich der Zusammenhänge von Arbeitsgedächtnis und speziell Lesen bzw. Schreiben in den späteren Abschnitten ergänzt.

Eine gesonderte Betrachtung soll der Beteiligung der beiden ***Teilkomponenten der phonologischen Schleife*** an den Schriftsprachfertigkeiten zukommen. In einer Studie über neun- bis dreizehnjährige Kinder mit Lese-Rechtschreibstörung fanden **Hasselhorn, Tiffin-Richards, Woerner, Banaschewski & Rothenberger (2000)** Defizite im phonetischen Speicher erfasst durch die Aufgabe „Kunstwörter nachsprechen“. Eine Erklärung dafür sehen sie in den Eigenschaften der deutschen Sprache, die durch Rekodierung von Sprachinhalten den Einsatz des phonetischen Speichers sehr wichtig macht. Doch auch im Englischen konnte eine Beteiligung des phonetischen Speichers am Lesen nachgewiesen werden. **Kibby, Marks, Morgan und Long (2004)** entdeckten bei Leseschwachen eine Beeinträchtigung des phonetischen Speichers.

Hasselhorn (1999) konnte bei achtjährigen Sprachheilschülern mit Dysgrammatismus ebenfalls Defizite im phonetischen Speicher feststellen, indem er sie mit sprachgleichen und daher etwa drei Jahre jüngeren Kindern verglich. Möglicherweise aufgrund einer anders zusammengesetzten Kontrollgruppe aus gleichalten und in der Intelligenz ähnlichen Kindern erhielten **Hasselhorn und Marx (2000)** ein gegenteiliges Ergebnis, nämlich die hauptsächliche Relevanz des Rehearsalprozesses für die Leseleistung. Sie untersuchten Zweitklässler einer Sprachheilschule mit dysphasischer Sprachentwicklungsstörung und verglichen diese mit Kindern einer Regelgrundschule. Dabei stellten sich Unterschiede in phonologischen Arbeitsgedächtnismaßen heraus, die jeweils mit der Sprechrate und damit auch mit der Rehearsalgeschwindigkeit jedoch nicht mit Maßen des phonetischen Speichers korrelierten.

Kibby, Marks, Morgan und Long (2004) konnten in einer bereits im Abschnitt „Lesen und Arbeitsgedächtnis“ (2.2.3.5) vorgestellten Studie zeigen, dass durchschnittliche und schwache Leser einen ähnlich gut funktionierenden Rehearsalprozess – gemessen durch einen vorhandenen Wortlängeneffekt und die Artikulationsrate (s. Abschnitt 2.1.1.2) – und bei niedriger Anforderung auch einen vergleichbar gut funktionierenden phonetischen Speicher aufweisen. Erst bei erhöhtem Anforderungsniveau entstehen Unterschiede in der Funktionsfähigkeit des phonetischen Speichers. Auch **Steinbrink und Klatte (2007)** fanden sowohl bei Kindern mit durchschnittlichen als auch mit schwachen Leseleistungen den

Wortlängen- und den akustischen Ähnlichkeitseffekt (s. Abschnitt 2.1.1.2) und somit den Beleg für einen funktionierenden subvokalen Rehearsalprozess in beiden Gruppen.

Gegensätzliche Annahmen treffen **Roodenrys und Stokes (2001)**. Sie gehen aufgrund einer verlangsamten Artikulationsrate bei Kindern mit Lesestörungen gegenüber Kindern mit normaler Leseleistung davon aus, dass neben einer Beeinträchtigung des phonetischen Speichers bei verminderter Leseleistung auch ein Defizit im subvokalen Rehearsal vorliegt. Von **McDougall, Hulme, Ellis und Monk (1994)** wurden ebenfalls Unterschiede in der Artikulationsrate bei guten und schlechten Lesern festgestellt, die auf ein Defizit im Rehearsalprozess bei unterdurchschnittlichen Leseleistungen hindeuten könnten.

Bezüglich der Beteiligung der beiden phonologischen Teilkomponenten an der Schriftsprachleistung kann abschließend kein eindeutiges Fazit getroffen werden. Eine Vermutung hin zum hauptsächlichen Einfluss des phonetischen Speichers lässt sich allerdings aufgrund der Befundlage vertreten.

Ob es einen Unterschied zwischen dem Zusammenhang zum Arbeitsgedächtnis zwischen den *basalen und übergeordneten Schriftsprachfertigkeiten* gibt, wurde von **Stothard und Hulme (1992, 1995)** untersucht. Sie fanden heraus, dass die basalen Fertigkeiten des Dekodierens und des Rechtschreibens beide auf ähnlichen Arbeitsgedächtnisgrundlagen wie beispielsweise phonologischen Funktionen basieren. Die übergeordnete Fertigkeit des Leseverständnisses scheint eher von zentral-exekutiven Funktionen beeinflusst zu sein. Eine von **Swanson und Berninger (1996)** durchgeführte Studie, die sich vor allem mit den basalen und übergeordneten Fertigkeiten im Bereich des Schreibens beschäftigt, wird im Abschnitt „Schreiben und Arbeitsgedächtnis“ (2.2.3.6.) vorgestellt. Die dort dargestellten Ergebnisse entsprechen weitgehend denen im Folgenden präsentierten Resultaten im Bereich des Lesens.

Swanson und Berninger (1995) verglichen Kinder mit gutem und schlechtem Leseverständnis sowie guten und schlechten Dekodierfähigkeiten. Bei Kindern mit Defiziten in beiden Bereichen zeigte sich eine Beeinträchtigung der zentralen Exekutive und der phonologischen Schleife. Bei ausschließlich schlechtem Leseverständnis war ein Defizit in den zentral-exekutiven Funktionen festzustellen, bei geringer Dekodierfähigkeit eine defizitäre phonologische Schleife bei jeweils normaler Leistungsfähigkeit der anderen Arbeitsgedächtniskomponenten.

Ähnliche Ergebnisse erhielten **Sesma, Mahone, Levine, Eason und Cutting (2009)** bei einer Studie über die zentral-exekutiven Funktionen bei Kindern mit Problemen im Leseverständnis und im Dekodieren. Danach scheint die zentrale Exekutive einen Einfluss auf die übergeordnete Fertigkeit des Leseverständnisses aber nicht auf die basale Fertigkeit des Dekodierens zu haben. Ein großer Zusammenhang von Leseverständnis und zentraler Exekutive, nicht jedoch der phonologischen Schleife wurde von **Daneman und Carpenter (1980)** festgestellt. Nach **Swanson und Alexander (1997)** kann das Leseverständnis durch eine allgemeine Arbeitsgedächtniskomponente ähnlich der zentralen Exekutive besser vorhergesagt werden als durch einzelne spezifische Komponenten, die eher der phonologischen Schleife oder dem visuell-räumlichen Notizblock entsprechen.

Einen gegenteiligen Befund erhielt **Swanson (1999)**. Demnach ist ein Zusammenhang einzelner Arbeitsgedächtniskomponenten zum Leseverständnis nachweisbar und möglicherweise auf die Aufrechterhaltung des Gelesenen während des Lesevorgangs und des weiteren Dekodierens zurückzuführen. In der bereits erwähnten Untersuchung von **Schuchardt et al. (2008)** zeigt sich ein zunächst ebenfalls gegenteiliges Bild zu den typischen Befunden über die basalen und übergeordneten Schriftsprachfertigkeiten. Sie fanden einen Zusammenhang der zentralen Exekutive zu Lesefähigkeiten wie Worterkennung und lautierendes Lesen, nicht aber zum Leseverständnis. Bei Kontrolle der phonologischen Anteile blieb dieser jedoch nicht bestehen.

Zusammenfassend kann man also feststellen, dass die basalen Schriftsprachfertigkeiten wie Dekodieren und Rechtschreibung offenbar eher mit phonologischen Arbeitsgedächtnisfunktionen zusammenhängen und die übergeordneten Fertigkeiten wie das Leseverständnis und die Textgenerierung eher auf zentral-exekutiven Funktionen beruhen.

2.2.3.4 Lesen und Arbeitsgedächtnis

Ein grundsätzlicher Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnismaßen und der Leseleistung mit den beiden Teilfertigkeiten des Dekodierens und des Leseverständnisses ist schon seit längerem unumstritten (**Daneman, Carpenter & Just, 1982; Daneman & Tardif, 1987; Gathercole & Baddeley, 1993**). Für das Leseverständnis spielen **Baddeley (1992)** zufolge vor allem die phonologische Schleife und die zentrale Exekutive eine Rolle. Laut **Gathercole und**

Baddeley (1989) ist unter anderem der Wortschatz eines Kindes für die Leseleistung relevant, der einen hohen Zusammenhang zum phonologischen Kurzzeitgedächtnis aufweist.

Swanson, Ashbaker und Lee (1996) belegten eine schlechtere Erinnerungsleistung bei Kindern mit Leseproblemen für verbale und visuelle Informationen.

Beim Vergleich von Probandengruppen im Alter von sieben, zehn, dreizehn und zwanzig Jahren mit starken und schwachen Leseleistungen fand **Swanson (2003)** eine Überlegenheit der leistungsstarken Leser sowohl in phonologischen als auch visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgaben. Zu etwas anderen Ergebnissen gelangten **Seigneuric, Ehrlich, Oakhill und Yuill (2000)** durch ihre Untersuchung des Leseverständnisses bei französischen Viertklässlern. Danach lässt sich das Leseverständnis durch verbale und numerische Aufgaben besser vorhersagen als durch räumliche.

Auch **Kibby, Marks, Morgan und Long (2004)** kamen mit ihrer Studie an neun- bis dreizehnjährigen Kindern mit schwachen und normalen Leseleistungen zu ähnlichen Schlussfolgerungen. In beiden Gruppen wurden alle drei Arbeitsgedächtniskomponenten erfasst. Defizite bei den schwachen Lesern zeigten sich aber nur bei phonologischen, nicht jedoch bei zentral-exekutiven und visuell-räumlichen Leistungen. Vergleichbare Ergebnisse erzielten auch **Holsgrove und Garton (2006)**. Sie können durch eine Untersuchung an dreizehnjährigen Schülern nachweisen, dass zwar die phonologische Schleife aber nicht die zentrale Exekutive einen Einfluss auf das Leseverständnis hat.

Sesma, Mahone, Levine, Eason und Cutting (2009) gehen davon aus, dass das Leseverständnis durch exekutive Arbeitsgedächtnisfunktionen wie Planen, Organisieren und Überwachen von Prozessen beeinflusst wird. Eine Beteiligung der phonologischen Schleife am flüssigen Lesen und am Leseverständnis postulieren **Gathercole und Baddeley (1993)**. Sie vermuten, dass die gelesenen Buchstaben und Wörter während des Lesevorgangs lautsprachlich im phonologischen Arbeitsgedächtnis aufrecht gehalten werden, bis eine Sinnprüfung innerhalb des Satzes und eine Bedeutungszuweisung erfolgen konnte.

Swanson (1999) verglich Kinder mit Leseproblemen sowohl mit gleichaltrigen Kindern mit normaler Leseleistung als auch mit jüngeren Kindern, die eine ähnliche Leseleistung erbrachten, in Hinblick auf ihre Arbeitsgedächtnisfunktionen. Gegenüber den Gleichaltrigen wiesen die schwächeren Leser in allen erfassten Bereichen Defizite auf. Im Vergleich zu den Jüngeren zeigten die Leseschwachen allerdings phonologische Leistungen auf einem

ähnlichen Niveau und sogar bessere zentral-exekutive Leistungen. Der Haupteinflussfaktor scheint in diesem Fall also die phonologische Schleife zu sein.

Eine der wenigen Untersuchungen, die neben dem Einfluss der zentralen Exekutive auch die Bedeutung des visuell-räumlichen Notizblocks für die Leseleistung berücksichtigt, wurde von **Reiter, Tucha und Lange (2005)** durchgeführt. Mit Hilfe einer Rückwärtsspannenaufgabe (s. Abschnitt 2.1.1.1) konnten sie deutliche Unterschiede zwischen durchschnittlichen und schwachen Lesern in der zentral-exekutiven Leistungsfähigkeit feststellen. Außerdem fanden sie bei der Verwendung eines figuralen Testverfahrens zur Erfassung der räumlich-visuellen Konstruktionsfähigkeit und Gedächtnisleistung ähnlich dem visuell-räumlichen Notizblock eine reduzierte Leistungsfähigkeit von dyslektischen Kindern. Diese gaben bei der Figurenreproduktion weniger Details an und scheinen demnach visuelle Reize anders zu speichern als Kinder mit normaler Schriftsprachleistung.

Im Rahmen einer Längsschnittstudie belegten **Swanson & Jerman (2007)** den Einfluss der zentralen Exekutive auf das Leseverständnis und die Leseflüssigkeit. Sie führten dies darauf zurück, dass während des Leseprozesses die bereits gelesenen Informationen aufrecht erhalten werden. **Steinbrink und Klatte (2007)** stellten beim Vergleich von durchschnittlichen und schwachen Lesern ein Defizit in der phonologischen Schleife bei den Kindern mit schwacher Leseleistung fest. Eine eher ungewöhnliche Methode verwendete **Scarborough (1990)**, um herauszufinden, welche Arbeitsgedächtnisdefizite für die Leseleistung verantwortlich sein könnten. Kleinkinder mit zweieinhalb Jahren, deren Eltern eine Leseschwäche aufwiesen, äußerten sich in kürzeren Sequenzen und machten mehr Konsonantenfehler als Kindern von normalbegabten Eltern. Daraus schloss Scarborough (1990) auf eine geringere phonologische Arbeitsgedächtnisleistung.

Zum Zusammenhang von der spezifischen Leseleistung und den einzelnen Arbeitsgedächtniskomponenten lässt sich zusammenfassend also sagen, dass ein Einfluss der phonologischen Schleife auf das Lesen als recht unumstritten anzusehen ist. Auf einen Einfluss der zentralen Exekutive gibt es zumindest deutliche Hinweise. Die Ergebnisse bezüglich des visuell-räumlichen Notizblocks sind dagegen nicht klar genug, um eine Aussage treffen zu können.

2.2.3.5 Schreiben und Arbeitsgedächtnis

Zum Zusammenhang von Arbeitsgedächtnis und Schreiben bzw. Rechtschreibung lassen sich im Vergleich zum Lesen nur sehr wenige Untersuchungen finden, da in den meisten Fällen beide Bereiche gemeinsam untersucht werden. Eine der wenigen Studien, die sich hauptsächlich, wenn auch nicht ausschließlich, mit dem Schreiben beschäftigt ist die Untersuchung von **Swanson und Berninger (1996)**. Bei Kindern der vierten bis sechsten Klasse konnten Zusammenhänge zwischen den basalen Schreibfertigkeiten wie z. B. Buchstabieren und Maßen des Kurzzeitgedächtnisses bzw. des phonologischen Arbeitsgedächtnisses nachgewiesen werden. Ebenso fanden sich Zusammenhänge zwischen übergeordneten Schreibfertigkeiten wie Planen, Organisieren und Generieren von Texten und der Leistung des Arbeitsgedächtnisses bzw. konkret der zentralen Exekutive. Damit konnte eine Verbindung zwischen Arbeitsgedächtnis und der Rechtschreibleistung unabhängig von der Leseleistung nachgewiesen werden.

Altemeier, Jones, Abbott und Berninger (2006) konnten an Kindern der dritten und fünften Klasse bei der Verwendung von komplexen zentral-exekutiven Aufgaben einen Zusammenhang zwischen zentraler Exekutive und Rechtschreibung feststellen. Den Einfluss der zentralen Exekutive auf die Rechtschreibung untersuchten auch **Hooper, Swartz, Wakely, de Kruif und Montgomery (2002)** an Viert- und Fünftklässlern. Im Vergleich einer Gruppe von Kindern mit Rechtschreibschwierigkeiten und einer parallelisierten Kontrollgruppe konnten sie zentral-exekutive Defizite bei den Kindern der Experimentalgruppe nachweisen. Eine große Restvarianz lässt dabei aber noch die Möglichkeit für die Beteiligung weiterer Komponenten offen. **Cormier und Dea (1997)** fanden Hinweise für eine mögliche Beziehung zwischen dem visuell-räumlichen Notizblock und der Rechtschreibung. Sie konnten einen Zusammenhang zwischen den Resultaten der Corsi-Block-Aufgabe (s. Abschnitt 2.1.1.3) und der Rechtschreibung belegen, allerdings nur unter Einbezug der verbalen Arbeitsgedächtnisfunktionen.

Für den Schriftsprachbereich „Schreiben“ bzw. „Rechtschreiben“ kann man zusammenfassend also feststellen, dass ein Zusammenhang zu den Arbeitsgedächtnisfunktionen der phonologischen Schleife insbesondere zum phonetischen Speicher besteht. Die übergeordneten Schriftsprachfertigkeiten wie Textgenerierung weisen

einen Zusammenhang zur zentralen Exekutive auf. Ein Zusammenhang der basalen Fertigkeiten zur zentralen Exekutive kann jedoch nicht als gesichert angesehen werden. Ebenso wenig konnte bisher ein Zusammenhang zwischen (Recht-)Schreiben und dem visuell-räumlichen Notizblock mit Sicherheit nachgewiesen werden.

3 Fragestellung

3.1 Theoriezusammenfassung und resultierende Fragen und Hypothesen

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Zusammenhängen verschiedener Leistungsbereiche zum Arbeitsgedächtnis. Daher werden keine Fragestellungen zum Arbeitsgedächtnis oder den Leistungsbereichen oder deren Entwicklung separat untersucht, sondern ausschließlich Zusammenhangshypothesen formuliert. Im vorangegangenen Abschnitt wurde der theoretische und empirische Hintergrund vorgestellt, der den zu untersuchenden Fragestellungen zugrunde liegt und hier nochmals kurz zusammengefasst werden soll.

Zum Zusammenhang von **Intelligenz und Arbeitsgedächtnis** ist eine Vielzahl von Untersuchungen vorhanden, die trotz ganz unterschiedlicher Methoden und Bedingungen einheitlich zu dem Ergebnis kommen, dass zwischen beiden kognitiven Bereichen ein Zusammenhang besteht. Dies scheint für alle Komponenten des Arbeitsgedächtnisses zu gelten. Ein besonders deutlicher Zusammenhang kann zwischen zentral-exekutiven Prozessen und der allgemeinen, fluiden Intelligenz (Reasoning, g-Faktor) angenommen werden. Die Höhe der einzelnen Zusammenhänge ist allerdings noch recht umstritten, so dass diese Arbeit einen klärenden Beitrag dazu leisten könnte.

Sehr viel uneinheitlicher zeigt sich die Befundlage zum Zusammenhang von **Mathematikleistungen und Arbeitsgedächtnis**, was zum Teil auf ebenfalls sehr heterogene Untersuchungsmethoden und -bedingungen zurückgeführt werden kann. Alle drei Arbeitsgedächtniskomponenten scheinen beim Rechnen, wenn auch auf unterschiedliche Weise, beteiligt zu sein. Die phonologische Schleife leistet vor allem indirekt einen Beitrag zum Rechnen, indem durch sie Aufgabeninformationen und Zwischenergebnisse aufrechterhalten werden. Außerdem spielt sie bei den Zählstrategien, mentalem Addieren und bei Textaufgaben eine Rolle. Die zentrale Exekutive scheint besonders bei fortgeschrittenem Rechnen und zur Planung und Koordination des Rechenprozesses sowie ebenfalls bei Textaufgaben zum Einsatz zu kommen. Eine Beteiligung des visuell-räumlichen Notizblocks lässt sich vorrangig für Kopfrechnen, mentale Rotation und statische Informationen annehmen. Eine besondere Bedeutung kommt ihm bei jüngeren Kindern zu. Diese Erkenntnisse beziehen sich allerdings alle fast ausschließlich auf Arithmetik. Zu

Geometrie und Sachrechnen bzw. Textaufgaben finden sich kaum empirische Ergebnisse über einen Zusammenhang zum Arbeitsgedächtnis.

Die Zusammenhänge zum **Arbeitsgedächtnis im Schriftsprachbereich** sind Gegenstand zahlreicher Studien, die sich sowohl in Methoden und Bedingen als auch Ergebnissen teilweise deutlich unterscheiden. Unstrittig ist dabei eine Beteiligung der phonologischen Schleife sowohl am Lesen als auch Schreiben bzw. Rechtschreiben. Dafür scheint vor allem der phonetische Speicher und nur teilweise der Rehearsalprozess verantwortlich zu sein. Besonders an den basalen Schriftsprachfertigkeiten wie Dekodieren und Rechtschreiben ist ein Einfluss der phonologischen Schleife festzustellen. Bei den übergeordneten Fertigkeiten wie Leseverständnis und Textgenerierung spielt dagegen die zentrale Exekutive eine große Rolle. Daher ist auch ein Zusammenhang zwischen zentral-exekutiven Funktionen und beiden Bereichen der Schriftsprache anzunehmen. Bisher nicht eindeutig geklärt ist der Einfluss des visuell-räumlichen Notizblocks auf die Schriftsprache.

Um die Frage nach dem Zusammenhang von einzelnen Leistungsbereichen und Arbeitsgedächtnis bei Kindern zu untersuchen, wurde in der vorliegenden Arbeit die Altersgruppe der **Acht- bis Zehnjährigen** aus der **dritten und vierten Klasse** am Ende der Grundschulzeit ausgewählt. Diese Altersgruppe eignet sich besonders gut, weil zu diesem Zeitpunkt sowohl die strukturelle Ausdifferenzierung des Arbeitsgedächtnisses bereits größtenteils abgeschlossen ist, beim Zählen im Bereich der Mathematik bereits die am weitesten fortgeschrittene Strategie angewendet wird und die orthografische Stufe im Schriftsprachbereich bereits erreicht wurde. Es findet zwar noch bis ins junge Erwachsenenalter weitere Entwicklung im Bereich des Arbeitsgedächtnisses, in der Leistungsfähigkeit einzelner Komponenten und in der Intelligenz statt. Ein möglicherweise bestehender Zusammenhang sollte aber in diesem Alter aus genannten Gründen nachweisbar sein.

In einigen der im theoretischen und empirischen Hintergrund vorgestellten Studien sind andere Altersgruppen untersucht worden, so dass einzelne Ergebnisse nicht direkt mit der hier vorgenommenen Untersuchung vergleichbar sind bzw. als direkte Grundlage für die Fragestellung dienen können. Ebenso sind in der themenbezogenen Literatur mit wenigen Ausnahmen keine Ergebnisse erwähnt, die sich mit einem nicht vorhandenen Zusammenhang beschäftigen. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass man

grundsätzlich nicht mit Sicherheit von einem Nicht-Vorhandensein eines Zusammenhangs sprechen kann, da man stets mit einer größeren Stichprobe möglicherweise einen – wenn auch noch so kleinen – Zusammenhang nachweisen könnte. Für die Formulierung der Forschungsfrage für diese Arbeit wird daher auf das Gesamtbild des theoretischen und empirischen Hintergrunds und nicht auf einzelne Ergebnisse zurückgegriffen. Außerdem wird nur von positiven Zusammenhängen ausgegangen. Obwohl in einigen Studien Aussagen dazu gemacht werden, die aber meist recht uneinheitlich erscheinen, soll die Höhe der möglichen Zusammenhänge kein Bestandteil der Fragestellung oder Hypothesen sein. Vielmehr können die späteren Ergebnisse einen weiteren Beitrag zu der offenen Diskussion in dieser Frage beitragen.

3.1.1 Fragestellung

Aus dem zusammengefassten empirischen und theoretischen Hintergrund ergibt sich als Forschungsfrage dieser Arbeit für jeden der vorgestellten Leistungsbereiche und alle beschriebenen Arbeitsgedächtnisfunktionen jeweils folgende Fragestellung:

Gibt es einen positiven Zusammenhang zwischen „[Arbeitsgedächtnisfunktion]“ und „[Leistungsbereich]“?

Der folgenden Tabelle sind die aus der Theorie ableitbaren hypothetischen Zusammenhangsvermutungen zu entnehmen. Alle mit „X“ gekennzeichneten Kombinationen sind dabei als vermutete Zusammenhänge anzusehen, die mit einer positiven Zusammenhangshypothese geprüft werden können. Über alle mit „?“ oder nicht gekennzeichneten Kombinationen können keine Vermutungen abgeleitet werden, so dass diese Zusammenhänge mit einer explorativen Frage untersucht werden müssen.

Der Zusammenhang zwischen dem visuell-räumlichen Notizblock und der Mathematikleistung geht laut Literaturbericht vor allem auf Kopfrechnen, mentale Rotation und spezielle Aufgaben zurück und kommt vor allem bei jüngeren Kindern zum Tragen. Da hier aber ältere Grundschüler untersucht werden sollen und keine Kopfrechenaufgaben

erbracht werden müssen, kann für diese Untersuchung der Zusammenhang nicht angenommen werden und wird daher auch explorativ untersucht.

Da sich die meisten empirischen Ergebnisse auf den mathematischen Unterbereich „Arithmetik“ beziehen, werden die Annahmen über Zusammenhänge zum Arbeitsgedächtnis von der Mathematikgesamtleistung auf diesen Bereich übertragen. Für die beiden anderen Teilbereiche „Geometrie“ und „Sachrechnen“ sind keine belastbaren Ergebnisse vorhanden, so dass auch dies explorativ untersucht wird.

Tabelle 3.1: *hypothetische Zusammenhänge zwischen Arbeitsgedächtnisfunktionen und Leistungsbereichen.*

Arbeitsgedächtnisfunktion Leistungsbereich	Zentrale Exekutive	Phonologische Schleife	Visuell-räumlicher Notizblock
Intelligenz	X	X	X
Mathematik	X	X	(x)
Arithmetik	X	X	(x)
Geometrie			
Sachrechnen			
Lesen	X	X	
Schreiben	X	X	?

3.1.2 Hypothesen und explorative Fragen

Damit nicht für alle Kombinationsmöglichkeiten aus Tabelle 3.1 die Hypothesen einzeln abgeleitet werden müssen, werden hier die mit „X“ gekennzeichneten Kombinationen zusammengefasst, bei denen aufgrund der Literaturbefunde ein positiver Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnisfunktionen und Leistungsbereichen vermutet wird. Für jede dieser Kombinationen ergibt sich demnach jeweils die folgende **psychologische Hypothese**:

Es gibt einen bedeutsamen positiven Zusammenhang zwischen „[Arbeitsgedächtnisfunktion]“ und „[Leistungsbereich]“.

Aus den mit „?“ bzw. „(x)“ oder gar nicht gekennzeichneten Kombinationen lässt sich aufgrund der Literaturbefunde keine eindeutige Aussage über einen Zusammenhang ableiten, so dass jeweils eine **explorative Frage** formuliert werden muss:

Gibt es zwischen „[Arbeitsgedächtnisfunktion]“ und „[Leistungsbereich]“ einen bedeutsamen Zusammenhang?

3.2 Hypothesenableitung

Um die aufgestellten psychologischen Hypothesen statistisch testen zu können, müssen aus ihnen nach dem Ableitungsbaum von Hager (1992) prüfbare statistische Hypothesen generiert werden. Dazu wird die psychologische Hypothese (PH) durch Operationalisierung zu einer empirischen psychologischen Vorhersage (PV) umgeformt, nach Hager (2004) daraus eine statistische Vorhersage (SV) abgeleitet, die dann zu einer statistisch prüfbaren Hypothese (SH) umgewandelt wird. Zur Erfüllung der Ableitungsvalidität müssen dabei nach Hager (1987) die Kriterien der Adäquatheit und der Erschöpfendheit sowie die Entscheidungsregeln (Hager, 2000) berücksichtigt werden.

3.2.1 Psychologische Hypothesen

Für alle in Tabelle 3.1 mit „X“ gekennzeichneten Kombinationen gilt wie beschrieben jeweils folgende psychologische Hypothese:

Es gibt einen bedeutsamen positiven Zusammenhang zwischen „[Arbeitsgedächtnisfunktion]“ und „[Leistungsbereich]“.

3.2.2 Psychologische Vorhersagen

Nach Umwandlung der abstrakten Begriffe aus den psychologischen Hypothesen durch Operationalisierung in messbare Variablen lassen sich psychologische Vorhersagen aufstellen:

Bei Kindern am Ende der dritten bzw. am Anfang der vierten Klasse einer Regelgrundschule lässt sich ein bedeutsamer positiver Zusammenhang zwischen Ergebnissen von [Arbeitsgedächtnisaufgaben] und Ergebnissen in [Leistungstests] feststellen.

3.2.3 Statistische Vorhersagen

Unter Einbezug von konkret zu berechnenden Werten werden die statistischen Vorhersagen formuliert:

Bei Kindern am Ende der dritten bzw. am Anfang der vierten Klasse einer Regelgrundschule besteht zwischen Ergebnissen von [Arbeitsgedächtnisaufgaben] und Ergebnissen in [Leistungstests] eine signifikante positive Korrelation.

3.2.4 Statistische Hypothesen

Um beim statistischen Testen mit konkreten Zahlenwerten rechnen zu können, werden die statistischen Hypothesen benötigt. Bei deren Ableitung sind nun unbedingt die Adäquatheit und Erschöpfendheit (Hager, 1987) sowie die Entscheidungsregel bei der Verknüpfung einzelner Teilhypothesen (Hager, 2000) zu berücksichtigen. Bei den hier aufgestellten Hypothesen werden aus gerichtet formulierten psychologischen Hypothesen auch gerichtete statistische Hypothesen abgeleitet, so dass das Kriterium der Adäquatheit erfüllt ist. Die Erschöpfendheit sowie die Berücksichtigung der Entscheidungsregeln sind hier nicht von Bedeutung, da auch jeweils einer psychologischen Hypothese nur eine statistische Hypothese abgeleitet wurde.

Symbolerklärung:

r Korrelationskoeffizient (nach Pearson)

AG Arbeitsgedächtnisfunktion

LB Leistungsbereich

$$r_{AG-LB} > 0$$

Diese statistischen Hypothesen können nun mit Hilfe von Korrelationsanalysen empirisch überprüft werden.

3.2.5 Explorative Fragen

Für explorative Fragen ist dieses Vorgehen nicht möglich, so dass in diesem Fall auf eine Ableitung verzichtet werden kann. Der Vollständigkeit halber wird die für zehn Kombinationen und mögliche weitere Zusatzuntersuchungen auf Ebene der Subtests und Teilfunktionen des Arbeitsgedächtnisses gestellte und zu beantwortende Frage aber nochmals aufgeführt.

Gibt es zwischen „[Arbeitsgedächtnisfunktion]“ und „[Leistungsbereich]“ einen bedeutsamen Zusammenhang?

4 Methode I: AGTB 5-12

Zur Untersuchung der vorgestellten Fragestellung sind passende Erhebungsinstrumente erforderlich. Zunächst wird das verwendete Verfahren zur Erfassung der Arbeitsgedächtnisleistung, die „Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder im Alter von 5 bis 12 Jahren – AGTB 5-12“ (Hasselhorn, Schumann-Hengsteler, Gronauer, Grube, Mähler, Schmid, Seitz-Stein & Zoelch, in Druck) präsentiert. Da die vorliegende Arbeit im Rahmen des Projekts zur Entwicklung dieser Arbeitsgedächtnistestbatterie entstanden ist, erfolgt eine etwas ausführlichere Darstellung. Für alle weiteren Informationen steht das Manual der AGTB 5-12 zur Verfügung.

4.1 Beschreibung und Entwicklung

Die AGTB 5-12 ist ein computerbasiertes, größtenteils adaptives Testverfahren, das im Altersbereich von fünf bis zwölf Jahren ausschließlich in Einzeltestung angewendet werden kann und eine Durchführungszeit von etwa 60-90 Minuten hat. Es besteht aus zwölf Subtests, mit denen alle Arbeitsgedächtniskomponenten objektiv, reliabel und valide gemessen werden können. Die Ergebnisse der AGTB 5-12 liefern eine Differentialdiagnose der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses nach dem Baddeleyschen Modell sowie eine individualdiagnostische Feststellung von kognitiven Potenzialen (Schumann-Hengsteler, Grube, Zoelch, Mähler, Seitz-Stein, Schmid, Gronauer & Hasselhorn, 2010).

Der **Entwicklung** der AGTB 5-12 geht eine lange Forschungstradition im Bereich der Aufgabenerstellung zur Messung von Arbeitsgedächtniskomponenten in den Arbeitsgruppen um Prof. Hasselhorn in Göttingen und Prof. Schumann-Hengsteler in Eichstätt voraus. Dem Beispiel der englischen Testbatterien „Working Memory Test Battery for Children“ (WMTB-C) (Pickering & Gathercole, 2001) und „Automated Working Memory Assessment“ (AWMA) (Alloway, 2007) folgend sollte aus der Vielzahl an entwickelten Aufgaben eine deutsche Testbatterie zur Differentialdiagnose der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses entstehen. Daraus entwickelte sich nach Pilotierungsphasen, in denen unterschiedliche Subtests und Ergebniswerte getestet wurden, und der Normierung im Zeitraum von 2008 bis

2010 an über 1600 Kindern im Altersbereich von 5;0 bis 12;11 Jahren an vier Standorten in Niedersachsen, Hessen und Bayern die AGTB 5-12. Die besondere Herausforderung lag in der Umsetzung der Aufgaben für die gesamte Breite des Altersbereichs von fünf bis zwölf Jahren und in der vollständig computergestützten Durchführung und Auswertung sowie der Anwendung des adaptiven Testsystems.

Mit Hilfe von Test-Retest-Reliabilitätsberechnungen auf Grundlage von Daten von Erst- und Drittklässlern, die im Abstand von etwa zwei Wochen erhoben wurden, konnte die **Reliabilität** bestimmt werden⁶. Sie liegt zwischen $r_{aa} = .66$ und $r_{aa} = .89$. Die interne Konsistenz wird mit $r_{tt} = .58$ bis $r_{tt} = .99$ angegeben. Außerdem wurde die **Validität** untersucht. So lässt sich aufgrund der Subtestauswahl eine hohe inhaltliche Validität feststellen. Um die Konstruktvalidität festzustellen, wurde durch Strukturgleichungsmodelle die Modellpassung für das Baddeleysche Arbeitsgedächtnismodell überprüft und bestätigt⁷. Die vorliegende Arbeit wird einen Beitrag zur Kriteriumsvalidität der AGTB 5-12 leisten.

Die **Normen** der AGTB 5-12 sind nicht klassenweise gestuft sondern altersbasiert, in den jüngeren Altersgruppen in halbjährlichen Stufen, bei den Älteren in Jahresabständen. Die zugrunde liegende Stichprobe kann als repräsentativ angesehen werden, da – ihrem Anteil in der Realität entsprechend – Regelgrundschulen, Förderschulen, Gesamtschulen, Hauptschulen, Realschulen und Gymnasien berücksichtigt wurden. In allen zwölf Subtests der AGTB 5-12 ist über die gesamte Altersspanne hinweg ein **Alterseffekt** zu verzeichnen. Dagegen ist in keinem Subtest ein systematischer **Geschlechtseffekt** anzunehmen⁸.

Die **Durchführung** erfolgte in der für diese Arbeit durchgeführten Untersuchung stets durch verschiedene geschulte Testleiter vor Ort in Schulen, kann aber auch in anderen Settings wie z. B. einer Klinik oder Praxis stattfinden. Wichtig ist die Aufteilung der Durchführung in zwei Teile von je 30 - 45 Minuten, die mindestens in einem Abstand von einer Stunde zueinander liegen sollten, um eine Überlastung der Kinder auszuschließen.

Die beiden Besonderheiten der AGTB 5-12 gegenüber anderen Verfahren sind die vollständige **computergestützte Durchführung und Auswertung** sowie die Adaptivität der

⁶ Vergleiche dazu auch Bürmann (2009)

⁷ Vergleiche dazu auch Worgt (2010)

⁸ Vergleiche dazu auch Senftleben (2009)

neun Spannenaufgaben-Subtests. Zur Anwendung ist daher ein Computer oder Notebook mit Zubehör für den Testleiter und ein Touchscreen mit Lautsprechern für das Kind nötig. Sowohl die allgemeine Instruktion als auch die spezifischen Anleitungen für die Bearbeitung der einzelnen Subtests werden durch das Computerprogramm vorgenommen. Ebenso stellt eine Übungsphase zu Beginn jedes Subtests per Computer das Aufgabenverständnis sicher. So ist eine hohe **Objektivität** der Durchführung gewährleistet. Die Auswertung erfolgt durch das Programm innerhalb von wenigen Minuten und stellt dem Testleiter Normwerte für jeden Subtests sowie zusammengefasste Werte für jede Arbeitsgedächtniskomponente zur Verfügung. Außerdem sind individuelle Leistungsprofile abrufbar. Damit ist auch die Auswertungs- und die Interpretationsobjektivität realisiert.

Die **Adaptivität** erfolgt nach einem Algorithmus, der sicherstellt, dass die Aufgabenschwierigkeit der Leistungsfähigkeit des Kindes angepasst ist und so eine Überforderung und Frustration vermieden wird. Zugleich wird dadurch das tatsächliche Leistungsniveau des Kindes möglichst detailliert und präzise erfasst. Zunächst wird abhängig vom Alter des Kindes ein mittleres Einstiegsniveau vom Programm ausgewählt, dass bei jüngeren Kindern im Alter von 5 - 9 Jahren je nach Subtest bei zwei bis drei Items pro Aufgabe und bei älteren Kindern im Alter von 10 - 12 Jahren bei drei bis vier Items liegt. Jedes Kind muss anschließend zehn Itemreihen mit unterschiedlicher Itemanzahl bearbeiten. Bei den ersten zwei Reihen führt eine korrekte Antwort sofort zur Erhöhung der Itemanzahl um ein Item und eine falsche Antwort zur Reduzierung um ein Item. Damit wird ein schnelles Erreichen des individuellen Leistungslevels sichergestellt. Bei den weiteren acht Itemreihen erfolgt die Einstellung der Itemanzahl paarweise. Sie wird jeweils um ein Item nach oben bzw. unten verändert, sobald zwei Reihen nacheinander korrekt bzw. falsch wiedergegeben wurden und bleibt gleich, wenn eine der beiden Itemreihen im Paar richtig und die andere falsch beantwortet wurde. Die maximale Itemanzahl pro Reihe liegt bei neun Items, die minimale bei zwei. Die Leistung wird durch Punkte ermittelt, die bei korrekter Reproduktion der Itemanzahl der Reihe und bei falscher Wiedergabe dieser Anzahl reduziert um einen Punkt entsprechen.

In den Untersuchungen zu dieser Arbeit wurde eine Vorläuferversion der veröffentlichten AGTB 5-12 verwendet, die im Rahmen der Normierung der AGTB 5-12 eingesetzt wurde. Diese lag in vier Parallelformen vor und enthielt neben den hier präsentierten Aufgaben

noch weitere Subtests, die nicht in die Endversion der AGTB 5-12 eingegangen sind. Zudem sind zusätzliche Variablen erhoben worden, die teilweise in dieser Arbeit Verwendung finden in der Abschlussversion der AGTB 5-12 nicht verfügbar sind. In vorausgegangenen Berichten (z. B. Diplomarbeiten, Masterarbeiten)⁹ auf Grundlage der Normierungsversion finden sich außerdem leicht veränderte Subtestbezeichnungen. In dieser Arbeit werden aber soweit wie möglich die Bezeichnungen der veröffentlichten AGTB 5-12 verwendet.

4.2 Subtests

Die zwölf Subtests der AGTB 5-12 lassen sich den jeweiligen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses zuordnen und werden dementsprechend gruppiert im Folgenden vorgestellt. Aus den in der Pilotierungs- bzw. Normierungsversion der AGTB 5-12 vorhandenen Subtests wurden für die Endversion diejenigen ausgewählt, die der Strukturpassung am besten entsprachen, die höchsten Reliabilitäten aufwiesen und die deutlichsten Alterseffekte zeigten. Wie beschrieben werden alle Subtests computerbasiert instruiert, durchgeführt und ausgewertet. Dazu werden alle visuellen und akustischen Darbietungen dem Probanden über einen Touchscreen präsentiert. Der Testleiter hat einen Computer zur Steuerung der Durchführung und für gelegentlich erforderliche Eingaben und Reaktionsbewertungen zur Verfügung.

Für jeden Subtest stehen mehrere mögliche Maße bzw. Variablen zur Auswahl. Genaue Angaben zu einzelnen Maßen können dem Manual der AGTB 5-12 entnommen werden. Eine Beschreibung der in dieser Arbeit verwendeten Variablen erfolgt im Abschnitt 6.1.3).

4.2.1 Zentral-exekutive Subtests

Die sechs Subtests der AGTB 5-12, die die zentral-exekutive Arbeitsgedächtnisfunktion messen, lassen sich in drei Gruppen aufteilen, die alle bereits in Abschnitt 2.1.1.1 theoretisch erörtert wurden. Zum einen gibt es zwei Rückwärts-Spannenaufgaben, zum anderen zwei

⁹ Siehe z. B. Heckel, 2009; Senftleben, 2009; Bürmann, 2009; Freund, 2009; Köthe-Wagener, 2009; Reimann, 2009; Rogosch, 2009; Langer, 2009; Hinz, 2010; Rychlik, 2010; Worgt, 2010; Keshmirian, 2010; Messerschmidt, 2010; Oberbremer, 2010.

komplexe Spannaufgaben und außerdem zwei Subtests vorrangig zur Erfassung der Inhibitionsfähigkeit bzw. der selektiven Aufmerksamkeit. Die genaue praktische Umsetzung wird im Folgenden vorgestellt.

4.2.1.1 Ziffern rückwärts (ZR)

Beim Subtest „Ziffern rückwärts“ (in älteren Versionen „Ziffernspanse rückwärts“ – ZSR) werden Serien von zwei bis neun Ziffern aus den Zahlen 1 bis 9 akustisch dargeboten. Der Abstand zwischen den Ziffern beträgt dabei jeweils 1,5 Sekunden. Diese Ziffernserien sollen direkt anschließend in umgekehrter Reihenfolge wiedergegeben werden. Eine beispielhafte Abfolge ist in Abbildung 4.1 zu sehen. Die Ziffernserien weisen keine Regelmäßigkeiten wie z. B. Zahlenreihen auf, jede Ziffer kommt pro Zahlenreihe nur einmal vor und Zahlen über und unter „5“ sollen sich soweit wie möglich abwechseln. Die Durchführung erfolgt nach dem adaptiven Testprinzip. Dieser Subtest ist ein weit verbreitetes Maß zur Erfassung der Koordinationskapazität der zentralen Exekutive.

Abbildung 4.1: Ablauf des Subtests „Ziffern rückwärts“ (aus Bürmann, 2009).

4.2.1.2 Farben rückwärts (FR)

Mit dem Subtest „Farben rückwärts“ (ehemals „Farbspanne rückwärts“ – FSR) wird ebenfalls die Koordinationskapazität aber auch die selektive Aufmerksamkeit bzw. Inhibitionsfähigkeit erfasst. Bilder mit farbigen Kreisen werden für 1,9 Sekunden präsentiert, denen ein Störbild von 300 Millisekunden zur Verhinderung von Nachbildern folgt. Anschließend sollen alle

gezeigten Farben mit Hilfe eines Farbkreises in umgekehrter Reihenfolge reproduziert werden. Der Ablauf ist anhand eines Beispiels in Abbildung 4.2 dargestellt. Acht Farben (rot, grün, gelb, blau, rosa, orange, schwarz, braun) kommen zum Einsatz, aus denen die festgelegten Serien gebildet werden. Während der gesamten Durchführung ist keine Verbalisierung von Farben vorgesehen. Nur in der Übungsphase wird sichergestellt, dass die Probanden mit allen Farben vertraut sind. Die adaptive Testweise wird in diesem Subtest ebenfalls verwendet.

Abbildung 4.2: Ablauf des Subtests „Farben rückwärts“ (aus Bürmann, 2009).

4.2.1.3 Zählspanne (ZS)

Die „Zählspanne“ (vormals „Counting Span“ – CS) ist eine komplexe Spannenaufgabe, die als Maß für die Koordinationskapazität gilt. Auch sie folgt dem adaptiven Testprinzip. Auf Bildern von Kreisen und Quadraten sollen nur die Kreise leise gezählt und deren Anzahl anschließend laut ausgesprochen und gemerkt werden. Verzählt sich der Proband, wird die fälschliche Anzahl als maßgeblich eingestuft. Nachdem Serien von zwei bis neun Bildern mit je 1 bis 9 Kreisen präsentiert wurden, sollen die gezählten Anzahlen in der gleichen Reihenfolge verbal wiedergegeben werden, wie sie in der Präsentation vorgekommen sind. Zur Veranschaulichung der Vorgehensweise ist ein Beispiel in Abbildung 4.3 gezeigt.

Abbildung 4.3: Ablauf des Subtests „Zählspanne“ (aus Bürmann, 2009).

4.2.1.4 Objektspanne (OS)

Eine Erfassungsmöglichkeit für die zentral-exekutive Funktion des Strategiewechsels, des Abrufs aus dem Langzeitgedächtnis und der Koordinationskapazität stellt die „Objektspanne“ (ehemals „komplexe Spanne“ – KS) dar, die ebenfalls nach dem adaptiven Testprinzip durchgeführt wird. Dem Probanden werden Bilder von Objekten (z. B. Käse, Brille, Eimer, Kerze, Brezel, Ball, Bonbon) gezeigt, die als „essbar“ oder „nicht essbar“ klassifiziert und sich gemerkt werden sollen. Nachdem jeweils eine Serie von zwei bis acht Bildern präsentiert wurde, sollen die gezeigten Objekte – nicht die Essbarkeit – in der präsentierten Reihenfolge wiedergegeben werden. Werden dabei Bezeichnungen für die Objekte genannt, die nicht vollständig korrekt aber den Objekten ähnlich sind, kann einer Liste entnommen werden, ob die Bezeichnung als richtig gewertet werden kann. In diesem Subtest wird also nicht nur eine serielle Reproduktion aufgrund von abgespeicherten Informationen sondern auch eine gleichzeitige Verarbeitung gefordert. Beispielhaft ist in Abbildung 4.4 die Abfolge der Anforderungen des Subtests „Objektspanne“ dargestellt.

Abbildung 4.4: Ablauf des Subtests „Objektspanne“ (aus Bürmann, 2009).

4.2.1.5 Go/NoGo (GNG)

Ein Maß für die selektive Aufmerksamkeit bzw. die Inhibitionsfähigkeit stellt der Subtest „Go/NoGo“ dar. Dieser stellt einer von drei Subtests dar, bei denen nicht nach dem adaptiven Prinzip getestet wird. Dem Probanden werden zunächst Bilder mit zwei oder drei Kriterien (z. B. „blaue Jacke und gelbe Hose“ oder „roter Pullover, Brille und blaue Geldbörse“) gezeigt, die gemerkt werden sollen. Anschließend folgt die Präsentation von zwölf Bildern von Kinderfiguren, auf denen alle Kriterien – in korrekter Form und Farbe, jedoch nicht zwangsläufig am gleichen Ort – entweder enthalten (Target) oder nicht enthalten (Distraktor) sind. Auf Target-Bilder soll der Proband durch Tastendruck reagieren, auf Distraktor-Bilder nicht. Dieses Vorgehen erfolgt in zwei Durchgängen mit jeweils unterschiedlichen Kriterien. In Abbildung 4.5 werden Beispiele von Targets und Distraktoren sowie der Kriterienpräsentation gezeigt.

Abbildung 4.5: Beispiele des Subtests „Go/NoGo“ (aus Bürmann, 2009).

4.2.1.6 Stroop (SP)

Ebenfalls keine adaptive Testung erfolgt beim Subtest „Stroop“, der auch die selektive Aufmerksamkeit bzw. die Inhibitionsfähigkeit misst. Nacheinander werden dabei 24 Abbildungen von einem Mann oder einer Frau gezeigt. Gleichzeitig ist entweder das Wort „Mann“ oder das Wort „Frau“ zu hören. Die akustische Information kann dabei der visuellen entsprechen (kongruent) oder nicht (inkongruent). Der Proband soll die akustische Information ausblenden und nur dem Bild entsprechend eine Taste mit „Mann“ oder „Frau“ drücken. Jeweils ein Beispiel für die insgesamt zwölf kongruenten und zwölf inkongruenten Darbietungen sind der Abbildung 4.6 zu entnehmen.

Abbildung 4.6: Beispiele des Subtests „Stroop“ (aus Bürmann, 2009).

4.2.2 Phonologische Subtests

Um die phonologischen Schleife zu erfassen, sind in der AGTB 5-12 vier Subtests enthalten. Davon dient – wie bereits in Abschnitt 2.1.1.2 theoretisch vorgestellt – die Aufgabe „Kunstwörter nachsprechen“ der Messung des phonetischen Speichers und die drei Vorwärts-Spannen-Subtests vor allem der Erfassung des Rehearsalprozesses und besonders dessen Geschwindigkeit.

4.2.2.1 Ziffernspanne (ZSV)

Der Subtest „Ziffernspanne“ (vorher „Ziffernspanne vorwärts“) ist eine der klassischen Gedächtnisspannenaufgaben und ähnelt in fast allen Durchführungspunkten dem Subtest „Ziffern rückwärts“, der bereits vorgestellt wurde. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die akustisch präsentierten Ziffernserien in der gleichen – statt der umgekehrten – Reihenfolge wie dargeboten wiedergegeben werden sollen. Mit diesem Subtest wird die Gesamtkapazität der phonologischen Schleife erfasst.

4.2.2.2 Wortspanne einsilbig (WS1)

Genau wie die „Ziffernspanne“ läuft auch der Subtest „Wortspanne einsilbig“ (ehemals „Wortspanne vorwärts einsilbig“ – WSV1) ab und dient ebenfalls der Erfassung der Gesamtkapazität der phonologischen Schleife. Statt Ziffern werden hier einsilbige Wörter (Schuh, Haus, Pilz, Baum, Topf, Stern, Ball, Eis, Fisch) eingesetzt. In Abbildung 4.7 ist der Ablauf beispielhaft dargestellt.

Abbildung 4.7: Ablauf des Subtests „Wortspanne einsilbig“ (aus Bürmann, 2009).

4.2.2.3 Wortspanne dreisilbig (WS3)

Der Subtest „Wortspanne dreisilbig“ (ehemals „Wortspanne vorwärts dreisilbig“ – WSV) entspricht genau dem vorangegangenen Subtest, bis auf die Verwendung von dreisilbigen (Fernseher, Eisenbahn, Lichtschalter, Kneifzange, Schaukelpferd, Erdbeere, Briefkasten, Luftballon, Zahnbürste) statt einsilbigen Wörtern. Auch hier wird die Kapazität der phonologischen Schleife gemessen, wobei besonders die Leistungsfähigkeit des Rehearsalprozesses berücksichtigt wird.

4.2.2.4 Kunstwörter (KW)

Mit dem Subtest „Kunstwörter“ (vorher „Kunstwörter nachsprechen“ – KN) wird vor allem die Teilfunktion des phonetischen Speichers der phonologischen Schleife erfasst. Es ist der dritte Subtest ohne adaptive Testung, aber dennoch mit altersangepasster Schwierigkeit. Die Leistungsfähigkeit des phonetischen Speichers lässt sich aus der Länge der Wörter ableiten, die korrekt nachgesprochen werden können.

Dem Probanden werden auditiv bedeutungsfreie Pseudowörter dargeboten, die nach sprachlichen Regeln und Wortähnlichkeit konstruiert wurden. Direkt nach der Präsentation soll jedes Wort nachgesprochen werden. Jedem Probanden werden insgesamt 24 Wörter präsentiert, von denen jeweils acht eine kurze, mittlere oder lange Wortlänge aufweisen. Je nach Alter der Probanden variieren diese zwischen zwei bis sechs Silben. Daraus ergeben sich drei mögliche Varianten – nämlich eine einfache mit je acht zwei-, drei- und viersilbigen Wörtern für jüngere Kinder, eine mittlere mit drei-, vier- und fünfsilbigen Wörtern und eine schwere mit vier-, fünf- und sechssilbigen Wörtern für die älteren Kinder. Jeweils die Hälfte der Wörter ist außerdem akustisch moduliert worden (Amplitudenmodulation von 9 Hz), so dass bei ihnen ein verzerrter Klang resultiert. Der folgenden Tabelle 4.1 können alle verwendeten Kunstwörter entnommen werden.

Tabelle 4.1: Leichte, mittlere und schwere Liste der verwendeten Wörter des Subtests „Kunstwörter“ (kursiv gedruckte Wörter werden moduliert dargeboten)

Leichte Liste (2-4silbig)	Mittlere Liste (3-5silbig)	Schwere Liste (4-6silbig)
limparett (Beispiel) <i>fallurwakel</i> (Beispiel)	limparett (Beispiel) <i>fallurwakel</i> (Beispiel)	limparett (Beispiel) <i>fallurwakel</i> (Beispiel)
1. zawo	1. karflumen	1. iltarmunzel
2. <i>wuralten</i>	2. <i>saberlicke</i>	2. <i>allkrabistunortum</i>
3. sulibritzen	3. darfenkolparmonn	3. fradorlucke
4. <i>saberlicke</i>	4. <i>wuralten</i>	4. <i>raborkengorich</i>
5. maling	5. <i>begantelkorasch</i>	5. winultarraspen
6. <i>jalosse</i>	6. iltarmunzel	6. <i>narsickendukalos</i>
7. verkrabaten	7. halkoringtandal	7. sulibritzen
8. praulaskon	8. <i>tramauling</i>	8. <i>farittensorkil</i>
9. <i>vorluch</i>	9. winultarraspen	9. schludenbewatelor
10. <i>vergaldapter</i>	10. schliebunder	10. <i>saberlicke</i>
11. bralzen	11. <i>raborkengorich</i>	11. beholtubenfeluch
12. iltarmunzel	12. verkrabaten	12. <i>kudilabit</i>
13. <i>lefal</i>	13. <i>werulater</i>	13. <i>nudilobamulpen</i>
14. franulich	14. <i>jabrukenfilling</i>	14. verkrabaten
15. <i>kudilabit</i>	15. sulibritzen	15. <i>koputadilentrasch</i>
16. nauseln	16. <i>kudilabit</i>	16. grappenfegalit
17. <i>mankurat</i>	17. franulich	17. zerkelmenfantorisch
18. fradorlucke	18. <i>vergaldapter</i>	18. <i>jabrukenfilling</i>
19. <i>tramauling</i>	19. <i>jalosse</i>	19. <i>werulater</i>
20. <i>kattaus</i>	20. grappenfegalit	20. darfenkolparmonn
21. karflumen	21. <i>mankurat</i>	21. <i>begantelkorasch</i>
22. <i>werulater</i>	22. fradorlucke	22. femalaupenostur
23. <i>nalos</i>	23. <i>farittensorkil</i>	23. <i>vergaldapter</i>
24. schliebunder	24. praulaskon	24. halkoringtandal

4.2.3 Visuell-räumliche Subtests

Zur Erfassung des visuell-räumlichen Notizblocks stehen in der AGTB 5-12 zwei Subtests zur Verfügung, die jeweils entweder die statische Teilfunktion des visuellen Speichers oder die dynamische Teilfunktion des „inner scribe“ messen. Beide Subtests wurden im Abschnitt 2.1.1.3 bereits theoriebasiert vorgestellt. Hier soll nun die Darstellung der praktischen Umsetzung folgen.

4.2.3.1 Matrix (MX)

Um die visuell-statische Komponente des Notizblocks, den visuellen Speicher zu messen, wird der Subtest „Matrix“ verwendet, der nach dem adaptiven Testprinzip abläuft und zu den Spannenaufgaben zählt. Dem Probanden wird eine Matrix aus 4x4 Feldern gezeigt, in der einige der Felder schwarz ausgefüllt sind. Die Präsentationsdauer richtet sich nach der Anzahl der schwarzen Felder und beträgt 1,2 Sekunden pro ausgefülltes Feld. Danach folgt für 100 Millisekunden ein Störbild, um Nachbilder zu vermeiden. Anschließend soll in einer leeren Matrix das Muster der ausgefüllten Felder durch Antippen reproduziert werden, wobei die Reihenfolge des Anzeigens der Felder irrelevant ist. Die Anzahl der ausgefüllten Felder stellt die Itemanzahl (entsprechend z. B. der Ziffernanzahl bei der Ziffernspanne) dar und variiert zwischen zwei und acht Feldern. Der Abbildung 4.8 ist eine beispielhafte Abfolge für eine Matrix mit drei ausgefüllten Feldern zu entnehmen.

Abbildung 4.8: Ablauf des Subtests „Matrix“ (aus Bürmann, 2009).

4.2.3.2 Corsi-Block (CB)

Zur Messung der räumlich-dynamischen Komponente des Notizblocks, dem „inner scribe“ hält die AGTB 5-12 den Subtest „Corsi-Block“ bereit. Dieser ist ähnlich dem Subtest „Matrix“ eine Spannenaufgabe mit adaptiver Testung, allerdings mit räumlicher Anforderung. Auf einem Bild mit neun grauen Blockfeldern, die in ihrer Anordnung den Blöcken auf dem klassischen Corsi-Block-Brett (s. Abschnitt 2.1.1.3) entsprechen, erscheinen – für 950 Millisekunden mit einem Interstimulusintervall von 50 Millisekunden – nacheinander Smileys

auf einzelnen Blöcken. Im Anschluss soll die präsentierte Reihenfolge der erscheinenden Smileys durch Antippen der Blöcke auf einem leeren virtuellen Corsi-Block-Brett reproduziert werden. Dabei ist sowohl die Reihenfolge als auch die Lokation der Smileys relevant. Die Anzahl der Smileys pro Reihenfolge liegt zwischen zwei und neun Smileys, die damit die Itemanzahl darstellen. Beispielhaft ist in Abbildung 4.9 der Ablauf für eine Itemanzahl von drei erscheinenden Smileys auf dem virtuellen Corsi-Block-Brett zu sehen.

Abbildung 4.9: Ablauf des Subtests „Corsi-Block“ (aus Bürmann, 2009).

5 Methode II: Leistungstests

Nachdem im vorangegangenen Teil die Messinstrumente zur empirischen Erfassung der Arbeitsgedächtnisfunktionen vorgestellt worden sind, folgen in diesem Abschnitt die Beschreibungen der verwendeten Testverfahren zur Messung der Leistungsbereiche Intelligenz, Mathematik und Schriftsprache. Für detailliertere Informationen zu den einzelnen Tests wird auf die jeweiligen Manuale der Testverfahren verwiesen.

5.1 Intelligenztest: CFT 20-R

Der Culture Fair Test CFT 20-R (Weiß, 2008) ist ein sprachfreier, kulturunabhängiger Matrizen-Test zur Erfassung der allgemeinen Intelligenz im Sinne eines g-Faktors bzw. der fluiden Intelligenz bei Kindern von 8 ½ bis 19 Jahren (bzw. Schülern der 3. - 13. Klasse) und Erwachsenen zwischen 20 und 60 Jahren. Dieses Verfahren kann als Einzel- oder Gruppentest sowie im Umfang von nur einem oder zwei Teilen jeweils mit Testform A und B durchgeführt werden. Der zeitlichen Rahmen liegt bei ca. 40 Minuten bei ausschließlicher Anwendung des ersten Teils mit einer reinen Testzeit von 18 Minuten.

Im CFT 20-R müssen im Teil I – der in dieser Arbeit verwendet wird – vier Subtests (Reihenfortsetzen, Klassifikation, Matrizen, topologische Schlussfolgerungen) mit jeweils 15 bzw. 11 Einzelaufgaben bearbeitet werden. Die Aufgaben sind in figuraler Darstellung abgebildet, mit Fünffach-Multiple-Choice-Antworten versehen und müssen in vorgegebener Zeit bewältigt werden. Diese Anforderung dient zur Messung der „Fähigkeit, figurale Beziehungen und formal-logische Denkprobleme mit unterschiedlichem Komplexitätsgrad zu erkennen und innerhalb einer bestimmten Zeit zu verarbeiten“ (Weiß, 2008). Pro richtig gelöste Aufgabe wird ein Punkt vergeben, so dass ein Gesamtrahwert von 56 Punkten für Teil I entsteht.

5.2 Mathematiktest: DEMAT 3+

In dieser Arbeit wird zur Erfassung der curricular-validen Mathematikleistung der Deutsche Mathematiktest für dritte Klassen DEMAT 3+ (Roick, Göllitz & Hasselhorn, 2004) verwendet.

Dessen Durchführung ist in Einzel- sowie Gruppentestung bei Kindern am Ende der dritten oder am Anfang der vierten Klasse möglich und beansprucht etwa 45 Minuten bei einer reinen Bearbeitungszeit von 28 Minuten. Der DEMAT 3+ besteht aus 31 Einzelaufgaben in 9 Subtests, die in zwei Parallelformen A und B vorliegen, den mathematischen Teilbereichen Arithmetik (Zahlenstrahl, Addition, Subtraktion, Multiplikation), Sachrechnen (Sachrechnungen, Längen umrechnen) und Geometrie (Spiegelzeichnungen, Formen legen, Längen schätzen) zuzuordnen sind und in einem vorgegebenen Zeitrahmen bearbeitet werden müssen. Jede Einzelaufgabe wird bei korrekter Bearbeitung mit einem Punkt bewertet, so dass daraus ein möglicher Gesamtrohwert von maximal 31 Punkten entsteht.

5.3 Lesetest: WLLP

Das in dieser Arbeit verwendete Verfahren zur Überprüfung der Lese- bzw. Dekodiergeschwindigkeit ist die Würzburger Leise-Leseprobe WLLP (Küspert & Schneider, 1998). Dieses Testverfahren ist als Einzel- oder Gruppentest über die gesamte Grundschulzeit hinweg jeweils zu Beginn und am Ende eines Schuljahres einsetzbar. Es liegt in zwei Pseudo-Parallelformen A und B vor, stellt einen Speed-Test dar und lässt sich innerhalb von 15 Minuten bei reiner Bearbeitungszeit von 5 Minuten durchführen. Bei der Bearbeitung des WLLP muss bei maximal 140 Items einem geschriebenen Wort jeweils ein Bild aus vier angebotenen Abbildungen zugeordnet werden. Der Gesamtwert berechnet sich aus bearbeiteten Items abzüglich der Auslassungen und Fehler.

5.4 Rechtschreibtest: DERET 3-4+

Als Messinstrument zur Erhebung der Rechtschreibleistung mit qualitativer und quantitativer Analysemöglichkeit wird der curricular-valide Deutsche Rechtschreibtest für das dritte und vierte Schuljahr DERET 3-4+ (Stock & Schneider, 2008b) eingesetzt. Er kann am Ende des dritten und vierten sowie zu Beginn des vierten und fünften Schuljahres jeweils als Einzel- oder Gruppentest mit einer Durchführungszeit von 30 - 45 Minuten zum Einsatz kommen. Außer den Parallelformen A und B gibt es auch für die verschiedenen Klassenstufen unterschiedliche Testmaterialien. In Klasse 3+ wird ein Fließtext als Diktat mit

80 Wörtern vorgegeben, in Klasse 4+ besteht das Diktat aus einem Fließtext mit 92 Wörtern. Zusätzlich können weitere Wörter in einem Lückentext bearbeitet werden, der – ebenso wie eine detaillierte Fehleranalyse – in dieser Studie allerdings nicht verwendet wird. Als Fehler zählt jedes falsch geschriebene Wort, so dass sich ein maximaler Fehlerwert von 80 bzw. 92 ergibt.

6 Methode III: Daten

Vor der Berechnung der für die Beantwortung der Fragestellung relevanten Korrelationsanalysen wird zunächst beschrieben, wie sich die untersuchte Stichprobe zusammensetzt und welche Anpassungen, Bearbeitungen und Überlegungen bezüglich der Daten vorgenommen wurden.

6.1 Stichprobenbeschreibung und Datenbearbeitung

Alle an der in dieser Arbeit vorgestellten Studie beteiligten Kinder besuchten zum Untersuchungszeitpunkt die dritte oder vierte Klasse einer Regelgrundschule bzw. einer Förderschule. Die Untersuchung fand vor Ort in den Schulen statt und wurde von geschulten Testleitern durchgeführt. Die Einzeltestungen mit der AGTB 5-12 konnten in ruhig gelegenen Räumen erfolgen. Die Gruppentestungen der Leistungstest wurden im Klassenverband in den Klassenräumen durchgeführt.

Die in dieser Arbeit verwendeten Daten stammen – wie bereits erwähnt – aus der Normierungsuntersuchung der AGTB 5-12. Aus allen vorliegenden Daten dieser Normierungsstichprobe ($N = 1669$) wurden die **Versuchspersonen** ausgewählt, die mindestens einen der Leistungstest bearbeitet haben, zum Untersuchungszeitpunkt entweder am Ende der dritten oder am Anfang der vierten Klasse und im Alter von acht bis zehn Jahren waren. Danach blieb eine Stichprobengröße mit folgenden Kennwerten übrig:

$N = 157$
59 Drittklässler und 98 Viertklässler
82 Jungen und 75 Mädchen

Mit dem gesamten Zeitraum der dritten und vierten Klasse und ohne Altersbeschränkung wäre die Stichprobe um 79 Probanden größer gewesen. Um jedoch eine künstlich erzeugte Korrelation aufgrund von Alterseffekten im Bereich des Arbeitsgedächtnisses oder von Lerneffekten in den Leistungsbereichen zu verhindern, wurde diese Einschränkung vorgenommen. Das Alter der verwendeten Stichprobe beträgt im Mittel 116 Monate

(Maximum 131, Minimum 105) bzw. 9;8 Jahre (Maximum 10;11, Minimum 8;9). Im Einzelnen können die Stichprobengröße und dadurch auch das Durchschnittsalter variieren, weil aus unterschiedlichen Gründen, die im Weiteren aufgeführt werden, nicht für jede Korrelationsanalyse alle Daten genutzt werden konnten.

Der Altersbereich der Stichprobe umfasst zwei unterschiedliche **Altersgruppen** (7;0 - 9;11 und 10;0 - 12;11) für die Bestimmung der Einstiegsschwierigkeit des adaptiven Testverfahrens bei den Spannenaufgaben der AGTB 5-12 (s. Abschnitt 4.2) und für die automatische Auswahl der Schwierigkeit der Kunstwörterliste (s. Abschnitt 4.2.2.4). Die Einstiegsschwierigkeit bei den Spannenaufgaben wird durch die direkte Niveaueinstellung bei den ersten beiden Items jeder Itemreihe (s. Abschnitt 4.2) ausgeglichen und kann deshalb vernachlässigt werden. Die unterschiedlichen Kunstwörterlisten beeinflussen allerdings die Leistung direkt, so dass nur Daten von Probanden genutzt werden können, die die gleiche Liste bearbeitet haben. Daher wurden beim Subtest „Kunstwörter“ die Daten aller Zehnjährigen ($n = 31$) ausgeschlossen und nur Werte der Acht- und Neunjährigen in die Berechnungen einbezogen. Die Subtests „Go/NoGo“ und „Stroop“ sind für alle Probanden gleich, so dass keine Anpassung erforderlich ist.

In der Normierungsuntersuchung der AGTB 5-12 wurden neben den bereits vorgestellten Subtests weitere **Subtests** verwendet, u.a. die „Artikulationsrate“ und die „Rhythmusspanne“. Beide dienen der Messung der phonologischen Schleife. Aufgrund von Defiziten bei der Reliabilität und der Strukturpassung wurden diese beiden Subtests allerdings in der Endversion der AGTB 5-12 nicht verwendet und werden aus gleichen Gründen auch in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Außer den hier vorgestellten **Leistungstestverfahren** wurden ebenfalls noch weitere Tests eingesetzt, u.a. DEMAT 2+ (Krajewski, Liehm & Schneider, 2004), DEMAT 4 (Gölitz, Roick & Hasselhorn, 2006), CFT1 (Cattell, Weiß & Osterland, 1997) und DERET 1-2+ (Stock & Schneider, 2008a). Zum Teil konnten diese Daten durch zu geringe Stichprobengröße nicht berücksichtigt werden. Außerdem soll sich im Rahmen dieser Arbeit auf die Grundschulkinder am Ende der dritten und zu Beginn der vierten Klasse konzentriert werden. Daher mussten einige Daten unberücksichtigt bleiben.

Um die Arbeitsgedächtnismaße mit den Ergebnissen der Leistungstests vergleichen zu können, wurden bei allen Subtests und Leistungstests nur **Rohwerte** und keine normierten Werte verwendet. Normdaten würden bei den Leistungstests – mit Ausnahme der

Intelligenz – die Klassenstufe berücksichtigen, bei den Arbeitsgedächtnisaufgaben dagegen das Alter. In beiden Fällen werden dadurch die Rohwerte auf unterschiedliche Weise transformiert und der Zusammenhang der beiden Wertereihen verändert. Daher wurde bei allen Daten auf die Rohwerte (bzw. in Einzelfällen auf unnormierte Fehlerwerte und Reaktionszeiten) zurückgegriffen. Außerdem mussten zur Vergrößerung der Stichprobe Daten von verschiedenen Untersuchungsstandorten und Zeitpunkten zusammengeführt werden. Um bei gleichem Testmaterial auch Kinder unterschiedlicher Klassenstufen oder Altersgruppen zusammenfassen zu können, ist ebenfalls die Verwendung von Rohwerten statt Normwerten erforderlich. Dadurch ist auch eine Angabe von mittleren Normwerten zur Stichprobenbeschreibung wegen nicht einheitlichen Normen der verwendeten Daten nicht möglich.

6.2 Variablenauswahl Leistungstests

Konkret umgesetzt heißt der Einsatz von Rohwerten für die verwendeten **Leistungstestmaße** Folgendes: Beim CFT 20-R wurde der Rohwert des ersten Testteils mit kurzer Testzeit verwendet. Für den DEMAT 3+ konnten die Rohwerte des Gesamttests, des Arithmetik-Subtests, des Geometrie-Subtests und des Sachrechnen-Subtests eingesetzt werden. Der aus allen bearbeiteten Items, Auslassungen und Fehlern ermittelte Rohwert des WLLP wurde als Maß für die Erfassung des Lesens ausgewählt. Die Rechtschreibung wurde durch den Fehlerwert im DERET 3-4+ erfasst. Hierbei konnten nur Daten eines Standorts verwendet werden, da durch unterschiedliche Testzeitpunkte verschiedenes Testmaterial eingesetzt worden ist und dadurch eine Zusammenfassung der Daten nicht möglich war. Außerdem wurden die Fehlerwerte des DERET 3-4+ durch eine Multiplikation mit -1 in ihrem Vorzeichen verändert, um – ebenso wie bei allen anderen Leistungstestwerten – eine positive Korrelation mit den Arbeitsgedächtniswerten erwarten zu lassen.

Tabelle 6.1: Stichprobengröße (N), Mittelwert und Standardabweichung der erfassten Leistungsmerkmale.

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
Intelligenz	112	15	40	27,22	5,207
Mathematik	98	9	28	19,21	4,754
Arithmetik	98	2	15	8,46	3,094
Geometrie	98	1	8	4,85	1,569
Sachrechnen	98	2	8	5,90	1,516
Lesen	112	33	140	92,13	23,838
Rechtschreiben	77	-57	0	-21,12	11,809

Alle für die Leistungsbereiche ausgewählten Maße wurden der Überprüfung auf Normalverteilung durch den **Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe** unterzogen, denn um eine Korrelationsanalyse nach Pearson durchführen zu können, sind normalverteilte Variablen Voraussetzung (s. Abschnitt 6.2). Wie in der Übersicht Tabelle 6.2 zu sehen, erfüllen bis auf den Unterbereich „Sachrechnen“ des DEMAT 3+ alle Maße die Anforderung der Normalverteilung.

Tabelle 6.2: Hypothesentestübersicht des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung bei einer Stichprobe für alle verwendeten Variablen der Leistungstests.

<u>Nullhypothese:</u> „Die Verteilung von [Variable] ist eine Normalverteilung mit dem Mittelwert [M] und der Standardabweichung [Standardabweichung].“				
Variable	M	Standardabweichung	Signifikanz	Entscheidung über Nullhypothese
Intelligenz	27,223	5,207	.719	beibehalten
Mathematik	19,214	4,754	.839	beibehalten
Arithmetik	8,459	3,094	.193	beibehalten
Geometrie	4,847	1,569	.070	beibehalten
Sachrechnen	5,898	1,516	.002	ablehnen
Lesen	92,125	23,838	.666	beibehalten
Rechtschreibung	-21,117	11,809	.552	beibehalten

Asymptotische Signifikanten werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist .05.

Für die Korrelationsanalyse mit der nicht normal verteilten Variable des Bereichs „Sachrechnen“ müsste statt der Korrelation nach Pearson hier die *Korrelation nach Spearman* eingesetzt werden. Betrachtet man aber für diesen Unterbereich die Verteilung in einem Histogramm im Vergleich zur Normalverteilung (siehe Abbildung 6.1) stellt man fest, dass die Abweichungen nicht sehr groß zu sein scheinen.

Abbildung 6.1: Histogramm der Rohwertverteilung des DEMAT 3+-Unterbereich „Sachrechnen“ im Vergleich zur Normalverteilung.

Daher und aus Gründen der Einheitlichkeit wird auf den Einsatz einer Korrelationsanalyse nach Spearman verzichtet und für alle Berechnungen einheitlich die Korrelation nach Pearson verwendet.

6.3 Variablenauswahl AGTB-Subtests

In der Normierungsphase der AGTB 5-12 standen pro Subtests mehrere Variablen als Maß zur Verfügung, die oft ganz verschiedene Vor- und Nachteile mit sich bringen. Nachfolgend wird dargestellt, welche **Maße pro Subtest** der AGTB 5-12 in dieser Arbeit verwendet werden.

Für alle **neun Spannen-Subtests** gibt es Maße, die entweder nur die längste korrekt wiedergegebene Itemreihe oder den Mittelwert der längsten beiden korrekt reproduzierten Reihen beinhalten. Beide Werte scheinen für diagnostische Zwecke häufig geeignet, da sie sehr anschaulich und plausibel erklärbar die erzielte Leistung wiedergeben. Neben diesen Variablen kann außerdem der Mittelwert der erreichten Punktzahl aus den letzten vier oder den letzten acht Itemreihen genutzt werden. Der Mittelwert der letzten acht Itemreihen ist gleichzeitig der Mittelwert aller bearbeiteten (mit Ausnahme der zum Niveaueinstellen

durchgeführten ersten beiden Items) und damit aller für die Auswertung relevanten Reihen. In dieses Maß fließen die meisten Einzelwerte ein. Des Weiteren konnte durch einen Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung für alle neun Spannaufgaben eine Normalverteilung dieses Wertes im Gegensatz zu anderen zur Verfügung stehenden Variablen der Spannen-Subtests in den vorliegenden Daten bestätigt werden (s. Tabelle 6.3). Daher wurde zum Zweck der Einheitlichkeit für diese Arbeit als zu verwendendes Maß bei allen Spannen-Subtests der *Mittelwert der Punktzahl aller relevanten Itemreihen* ausgewählt.

Tabelle 6.3: Hypothesentestübersicht des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung bei einer Stichprobe für alle verwendeten Variablen der Spannen-Subtests.

Nullhypothese: „Die Verteilung von [Variable] ist eine Normalverteilung mit dem Mittelwert [M] und der Standardabweichung [Standardabweichung].“				
Variable	M	Standardabweichung	Signifikanz	Entscheidung über Nullhypothese
ZSR Mittelwert aller relevanten Serien	3,322	0,580	.108	beibehalten
FSR Mittelwert aller relevanten Serien	3,090	0,721	.519	beibehalten
CS Mittelwert aller relevanten Serien	3,223	0,754	.270	beibehalten
KS Mittelwert aller relevanten Serien	3,107	0,679	.211	beibehalten
ZSV Mittelwert aller relevanten Serien	4,495	0,656	.177	beibehalten
WSV1 Mittelwert aller relevanten Serien	3,849	0,605	.200	beibehalten
WSV3 Mittelwert aller relevanten Serien	3,098	0,465	.090	beibehalten
MX Mittelwert aller relevanten Serien	4,831	1,099	.131	beibehalten
CB Mittelwert aller relevanten Serien	4,219	0,724	.250	beibehalten

Asymptotische Signifikanten werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist .05.

Beim Subtest „**Kunstwörter**“ wird als Maß die *Gesamtanzahl aller korrekt wiedergegebenen Wörter* herangezogen. Dabei wird nicht nach modulierten und regulär klingenden Wörtern oder der Silbenanzahl pro Wort unterschieden. Beides sind Maße, die vor allem in der Individualdiagnostik Relevanz haben, z. B. bei sprachentwicklungsbeeinträchtigten Kindern oder zur Feststellung der Größe des phonetischen Speichers. Für die Korrelationsanalysen wird jedoch für jeden Subtest nur ein Wert gesucht, so dass hier zugunsten der größeren Anzahl an Einzelwerten und einer allgemeinen Aussagekraft über den phonetischen Speicher alle Wortlängen und Darbietungsformen zusammengefasst werden. Die ausgewählte Variable weist laut Kolmogorov-Smirnov-Test eine Normalverteilung mit dem Mittelwert 15,479, der Standardabweichung 3,663 und einer Signifikanz von .361 auf.

Der Subtest „Go/NoGo“ liefert neben der Anzahl richtiger und falscher Reaktionen sowohl bei Targets als auch Distraktoren des Weiteren das Sensitivitätsmaß d' ¹⁰ und den Diskriminationsindex A' ¹¹. Der Tabelle 6.4 ist zu entnehmen, dass zwischen diesen beiden Maßen und einer sehr anschaulichen Variable, in der die Anzahl korrekter Reaktionen von Targets und Distraktoren addiert wurde, sehr hoch (jeweils um $r = .94$) liegt.

Tabelle 6.4: Korrelationen (nach Pearson, zweiseitig, $N = 157$) zwischen GNG-Variablen.

	Sensitivitätsmaß d'	Diskriminationsindex A'	Anzahl aller korrekten Reaktionen
Sensitivitätsmaß d'	1	.948**	.945**
Diskriminationsindex A'	.948**	1	.936**
Anzahl aller korrekten Reaktionen	.945**	.936**	1

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Bei der Betrachtung der addierten korrekten Reaktionen ist nebenbei festzustellen, dass nur fünf Probanden keine Fehler gemacht haben, so dass ein Deckeneffekt auszuschließen ist. Nach Überprüfung der Normalverteilung der drei Maße durch den Kolmogorov-Smirnov-Test wurde die Variable „ d' “ als Ergebnismaß für den Go/NoGo-Subtest ausgewählt, da sie als einzige eine Normalverteilung zeigt. Dies ist der folgenden Übersicht zu entnehmen.

Tabelle 6.5: Hypothesentestübersicht des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung bei einer Stichprobe für drei mögliche Variablen des Go/NoGo-Subtests.

Nullhypothese: „Die Verteilung von [Variable] ist eine Normalverteilung mit dem Mittelwert [M] und der Standardabweichung [Standardabweichung].“				
Variable	M	Standardabweichung	Signifikanz	Entscheidung über Nullhypothese
GNG Sensitivitätsmaß d'	2,016	0,679	.191	beibehalten
GNG Diskriminationsindex A'	0,886	1,995	.000	ablehnen
Anzahl aller korrekten Reaktionen	20,465	1,995	.001	ablehnen

Asymptotische Signifikanten werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist .05.

Beim Subtest „Stroop“ ist ein starker Deckeneffekt aufgetreten. Von 154 Kindern haben 94 (61 %) gar keinen Fehler und 38 (25 %) einen Fehler bei allen 24 Items gemacht. Nur 6 Kinder

¹⁰ Das Sensitivitätsmaß d' stammt aus der Signalentdeckungstheorie (Green & Swets, 1966). Es wird durch die Differenz der z-transformierten Anzahlen der Treffer und der falschen Alarme bei einer Reaktionsanforderung berechnet.

¹¹ Der Diskriminationsindex A' gibt an, wie gut Probanden zwischen Targets und Distraktoren unterscheiden können und wird bei non-parametrischen bzw. verteilungsfreien Daten verwendet (Snodgrass & Corwin, 1988).

haben mehr als zwei Fehler gemacht und die maximale Fehlerzahl, die von nur einem Kind erreicht wurde, lag bei 7. Daher konnten die ursprünglich geplanten Maße der richtigen und falschen Reaktionen bei kongruenter oder inkongruenter Darbietung bzw. Differenzmaße daraus nicht verwendet werden. So musste auf die erhobene Reaktionszeit bei korrekten Reaktionen zurückgegriffen werden. Dabei ist die Verwendung des Medians gegenüber dem Mittelwert der Reaktionszeiten zu bevorzugen, weil dadurch starke Extremwerte weniger großen Einfluss auf den Gesamtwert haben.

Um sicherzugehen, dass die gemessenen Reaktionszeiten keine Ergebnisse von reinen Rateprozessen oder willkürlichem oder dauerhaftem Tastendrücken der Probanden sind, wurden alle Reaktionszeiten unter 250 Millisekunden aus den Berechnungen ausgeschlossen.

Bei einem Probanden wurden nur zwei korrekte Reaktionen festgestellt. Diese wiesen zudem eine extrem lange Reaktionszeit von über 9000 Millisekunden auf, was darauf schließen lässt, dass eine korrekte Bearbeitung der Anforderung nicht erfolgt ist. Zwei weitere Probanden konnten keine richtige Reaktion liefern, so dass sich auch keine messbare Reaktionszeit ergeben hat. Diese drei Sonderfälle wurden für die Berechnungen beim Subtest „Stroop“ nicht berücksichtigt.

Nach den dargestellten einschränkenden Bedingungen bleiben als geeignete Maße für den Subtest „Stroop“ nur der Median der Reaktionszeit bei kongruenter Darbietung oder bei inkongruenter Darbietung oder bei beiden Darbietungsformen zusammen. Als viertes Maß kommt die Differenz der Reaktionszeit-Mediane der beiden Darbietungsformen in Frage, bei der der Median der Reaktionszeit bei kongruenter Darbietung vom Median bei inkongruenter Darbietung abgezogen wird. Die deskriptiven Statistiken aller vier Maße sind der Tabelle 6.6 zu entnehmen.

Tabelle 6.6: Deskriptive Statistiken ($N = 154$) der vier Reaktionszeitvariablen des Subtests „Stroop“.

	Median	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
SP Median Reaktionszeit	994,8	687,0	1765,5	1004,6	197,4
SP Median Reaktionszeit (kongr.)	961,0	633,0	1688,0	976,7	181,0
SP Median Reaktionszeit (inkongr.)	1018,0	703,0	1844,0	1042,6	223,0
SP Differenzmaß	47,3	-312,5	594,0	65,9	124,8

Alle vier Maße weisen laut Kolmogorov-Smirnov-Test eine Normalverteilung auf (siehe Tabelle 6.7).

Tabelle 6.7: Hypothesentestübersicht des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf Normalverteilung bei einer Stichprobe für vier mögliche Variablen des Stroop-Subtests.

Nullhypothese: „Die Verteilung von [Variable] ist eine Normalverteilung mit dem Mittelwert [M] und der Standardabweichung [Standardabweichung].“				
Variable	M	Standardabweichung	Signifikanz	Entscheidung über Nullhypothese
SP Median Reaktionszeit	1004,6	197,4	.059	beibehalten
SP Median Reaktionszeit (kongr.)	976,7	181,0	.156	beibehalten
SP Median Reaktionszeit (inkongr.)	1042,6	223,0	.460	beibehalten
SP Differenzmaß	65,9	124,8	.385	beibehalten

Asymptotische Signifikanten werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist .05.

Die drei erstgenannten Werte stehen in sehr hohem korrelativen Zusammenhang (Korrelationen zwischen $r = .83$ und $r = .95$) zueinander, nur das Differenzmaß zeigt eine deutlich geringere bzw. gar keine Korrelation zu den anderen drei Maßen (siehe Tabelle 6.8). Der hohe Zusammenhang zwischen den Medianen der beiden Darbietungsformen weist darauf hin, dass Kinder offenbar unabhängig von der Darbietungs- und Anforderungsform jeweils entweder generell schnell oder generell langsamer reagieren. Diese grundsätzliche Reaktionsgeschwindigkeit und die Tatsache, dass beide Maße im Median der Reaktionszeit der beiden Darbietungsformen zusammen enthalten sind, erklärt auch den hohen Zusammenhang zu diesem Wert.

Tabelle 6.8: Korrelationen (nach Pearson, zweiseitig, $N = 154$) zwischen den vier Reaktionszeitvariablen des Subtests „Stroop“.

	SP Median Reaktionszeit	SP Median Reaktionszeit (kongr.)	SP Median Reaktionszeit (inkongr.)	SP Differenzmaß Reaktionszeit (Median inkongr.-Median kongr.)
SP Median Reaktionszeit	1	.928**	.951**	.353**
SP Median Reaktionszeit (kongr.)	.928**	1	.829**	.030
SP Median Reaktionszeit (inkongr.)	.951**	.829**	1	.584**
SP Differenzmaß Reaktionszeit (Median inkongr.-Median kongr.)	.353**	.030	.584**	1

**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Um die Inhibitionsfähigkeit der Kinder zu erfassen, bietet sich das Differenzmaß an. Nimmt man an, dass die Reaktionszeit in der Kongruenzbedingung in gewisser Weise eine „Baseline“ darstellt, ist zu vermuten, dass bei der Inkongruenzbedingung aufgrund der Inhibitionsanforderung an das Arbeitsgedächtnis etwas mehr Reaktionszeit benötigt wird. Zieht man also von der Reaktionszeit mit Inhibitionsanforderung die Baseline ab, sollte man einen signifikant von Null verschiedenen, positiven Differenzwert erhalten, der den erhöhten Zeitbedarf bei der Inkongruenzbedingung abbildet. Durch einen *t*-Test bei einer Stichprobe mit dem Testwert 0 konnte diese Annahme bestätigt werden (siehe Tabelle 6.9). Es ist allerdings zu beachten, dass der Mittelwert des Differenzmaßes mit etwa 66 Millisekunden bei einer mittleren Reaktionszeit von ca. 1005 Millisekunden bei allen richtigen Reaktionen sehr gering ausfällt (siehe Tabelle 6.7).

Tabelle 6.9: *t*-Test bei einer Stichprobe mit dem Testwert 0.

	T	Freiheitsgrade (df)	Signifikanz (zweiseitig)	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwerts
SP Differenzmaß	6,556	153	.000	154	65,909	124,756	10,053

Je geringer der vermehrte Zeitbedarf für eine korrekte Reaktion unter der Inkongruenzbedingung ausfällt, umso besser ist die Arbeitsgedächtnisleistung anzunehmen. Damit steht mit dem *Differenzmaß* eine geeignete Variable für die Messung der Inhibitionsfähigkeit mit Hilfe des Subtests „Stroop“ zur Verfügung. Allerdings ist zu beachten, dass eine bessere vermutete Arbeitsgedächtnisleistung durch eine geringe Reaktionszeitdifferenz angezeigt wird und dadurch für die Korrelationsanalysen mit dieser Variablen eine negative Korrelation zu erwarten wäre. Um dies zu vermeiden und einheitliche Ergebnisse bei den Korrelationsberechnungen zu erhalten, wird die Variable des Differenzmaßes vor den Korrelationsanalysen und Berechnungen der zusammengefassten Arbeitsgedächtniswerte mit -1 multipliziert und dadurch das Vorzeichen ihrer Werte verändert.

Nachdem nun die Auswahl der Variablen für alle AGTB-Subtests beschrieben wurde, werden abschließend die deskriptiven Statistiken dieser Variablen in der folgenden Tabelle 6.10 dargestellt.

Tabelle 6.10: Stichprobengröße (N), Mittelwert und Standardabweichung aller verwendeten AGTB-Variablen.

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard abweichung
ZSR Mittelwert aller relevanten Serien	156	1,625	4,625	3,32	0,58
FSR Mittelwert aller relevanten Serien	155	1,000	4,875	3,08	0,72
CS Mittelwert aller relevanten Serien	155	1,375	4,625	3,22	0,75
KS Mittelwert aller relevanten Serien	156	1,750	4,375	3,11	0,68
ZSV Mittelwert aller relevanten Serien	153	2,875	6,000	4,50	0,66
WSV1 Mittelwert aller relevanten Serien	152	2,625	5,750	3,85	0,60
WSV3 Mittelwert aller relevanten Serien	152	1,750	4,625	3,10	0,47
MX Mittelwert aller relevanten Serien	150	2,250	7,375	4,83	1,10
CB Mittelwert aller relevanten Serien	153	1,875	6,000	4,22	0,72
KN Gesamt richtig	121	1	23	15,48	3,66
GNG Sensitivitätsmaß d'	157	0,35	3,48	2,02	0,68
SP Differenzmaß	154	-312,5	594,0	65,91	124,76

6.4 Zusammengefasste Maße der Arbeitsgedächtniskomponenten

Damit nicht nur Korrelationen mit den Ergebnissen der einzelnen Subtests der AGTB 5-12 berechnet werden können, sondern auch Zusammenhänge zwischen den Leistungsbereichen und allen drei Arbeitsgedächtniskomponenten betrachtet werden können, müssen Werte zur Messung der Komponenten aus den Einzelergebnissen der Subtests erzeugt werden. Dazu wurde mit allen ausgewählten Variablen der Subtests eine z-Standardisierung durchgeführt. Jede Variable wurde also so transformiert, dass ihr Mittelwert 0 und ihre Standardabweichung 1 beträgt. Dadurch können die Variablen miteinander addiert werden. Für die zusammengefassten Maße der Arbeitsgedächtniskomponenten wurden die z-Werte derjenigen Subtests addiert, die die jeweilige Komponente messen, und anschließend durch ihre Anzahl geteilt. Die so erhaltenen zusammengefassten z-Werte dienen als Maß für die entsprechende Komponente.

Im Bereich der phonologischen Schleife sind zwei Besonderheiten zu bemerken. Zum einen fließen wie bereits erklärt beim Subtest „Kunstwörter“ nur die Daten der Acht- und Neunjährigen ein. Daher ist auch beim z-Wert des Subtests „Kunstwörter“ die Stichprobengröße um diese 31 Probanden reduziert. Dadurch kann für die 31 Zehnjährigen auch kein zusammengefasster z-Wert für die phonologische Schleife gebildet werden. Alle

weiteren Abweichungen von der normalen Stichprobengröße von $N = 157$ sind entweder durch Ausnahmen wie für den „Stroop“-Subtest beschrieben oder durch Ausschlusskriterien für einzelne Subtests oder Datenfehler im Rahmen der Normierungsstudie der AGTB 5-12 zu erklären und ziehen jeweils nach sich, dass für die jeweiligen Probanden kein zusammengefasster z-Wert für die betroffene Komponente erzeugt werden konnte. Dadurch ergeben sich für die z-Werte aller drei Komponenten leicht reduzierte Stichprobengrößen (siehe Tabelle 6.11).

Zum anderen sind für die phonologische Schleife zwei unterschiedliche zusammengefasste Maße berechnet worden. Da für die Erfassung der phonologischen Schleife drei Subtests vorrangig zur Messung des Rehearsalprozesses (ZSV, WS1, WS3) und nur eine hauptsächlich zur Messung des phonetischen Speichers (KW) zur Verfügung stehen, entsteht bei einem zusammengefassten Wert ein Ungleichgewicht der beiden Teilkomponenten. Daher wurde ein zweiter Wert gebildet, bei dem der z-Wert des Subtests „Kunstwörter“ dreifach gewichtet wurde (siehe Tabelle 6.11). Bei den anderen beiden Komponenten erscheint ein solches Vorgehen nicht nötig, da beim visuell-räumlichen Notizblock beide Teilkomponenten gleichermaßen vertreten sind und bei der zentralen Exekutive eine klare Abgrenzung der Teilkomponenten und damit auch eine eindeutige Zuordnung der Subtests nicht zweifelsfrei gegeben ist (siehe Abschnitte 2.1.1.1 und 2.1.1.3).

Tabelle 6.11: Stichprobengröße (N), Mittelwert und Standardabweichung der zusammengefassten z-Werte für die Arbeitsgedächtniskomponenten.

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Zentrale Exekutive	151	-1,79	1,21	0,0086	0,55567
Phonologische Schleife	118	-1,81	1,85	0,0220	0,75628
Phonologische Schleife (gewichtet)	118	-2,26	1,83	0,0142	0,76853
Visuell-räumlicher Notizblock	148	-2,62	1,88	0,0111	0,84002

Nach der ausführlichen Darstellung der Stichprobenbeschaffenheit, aller vorbereitenden Datenbearbeitung und der Auswahl aller zu verwendenden Variablen, folgt nun die Berechnung der Korrelationsanalysen gemäß den abgeleiteten Hypothesen. Alle Rechnungen wurden soweit nicht anders angegeben mit Hilfe des Statistikprogramms PASW Statistics 18 (IBM SPSS) durchgeführt.

7 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Korrelationsanalysen zum Zusammenhang von Intelligenz sowie Schulleistungen und Arbeitsgedächtnisfunktionen vorgestellt. Anschließend werden diese Ergebnisse durch weitere Analysen detaillierter betrachtet und schließlich durch Regressionsanalysen vertieft.

7.1 Korrelationsanalysen

Zur Berechnung der Korrelationsanalysen wird der *Korrelationskoeffizient „r“ nach Pearson* verwendet. Mit der Pearson-Korrelation kann unter der Voraussetzung von u.a. normalverteilten Daten ein linearer statistischer Zusammenhang nachgewiesen werden. Ein solcher Zusammenhang kann nur als gesichert angenommen werden, wenn *r* *signifikant* von Null abweicht, was durch einen *t*-Test überprüft werden kann. Von einer *positiven Korrelation* wird gesprochen, wenn *r* größer als Null ist, von einer *negativen* bei *r* kleiner als Null. Bei der in dieser Arbeit vorliegenden Fragestellung wird in allen Fällen eine gerichtete Hypothese aufgestellt und eine ausschließlich positive Korrelation erwartet. Daher wird bei jeder Korrelationsberechnung ein einseitiger Test auf Signifikanz der Korrelationskoeffizienten vorgenommen.

Wie schon gezeigt (s. Abschnitt 6.1.3), entsprechen alle ausgewählten Daten der Voraussetzung der Normalverteilung, so dass die Bedingungen für die Durchführung einer Pearson-Korrelation erfüllt ist. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass mit dieser Analyse nur ein linearer und kein nichtlinearer Zusammenhang in den Daten aufgedeckt werden kann. Das Ergebnis des *t*-Tests auf Signifikanz der Korrelationen wird in der Ergebnisdarstellung aller Korrelationsanalysen im Überblick (Tabelle 6.12) durch eine farbliche Markierung angezeigt.

Tabelle 6.12: Korrelationskoeffizienten zum Zusammenhang zwischen Leistungstests und Arbeitsgedächtnisbereichen sowie -subtests.

	CFT 20-R ¹²	DEMAT	DEMAT Arithmetik	DEMAT Geometrie	DEMAT Sachrechnen	WLLP	DERET
ZE ¹³	.26	.26	.28	.17	.07	.29	.36
ZR ¹⁴	.07	.29	.34	.13	.09	.25	.21
FR	.22	.13	.13	.16	-.03	.23	.13
ZS	.25	.15	.21	.03	.01	.21	.29
OS	.08	.18	.16	.19	.05	.15	.33
GNG	.19	.03	-.04	.09	.07	.08	.18
SP	.09	.08	.10	-.02	.08	.11	.08
PS	.10	.28	.24	.33	.05	.29	.41
PS gewichtet	.09	.30	.22	.35	.13	.23	.39
ZSV	.15	.19	.15	.31	-.03	.33	.37
WS1	.10	.23	.26	.19	.00	.22	.33
WS3	.20	.22	.20	.29	-.00	.32	.35
KW	.05	.29	.17	.34	.23	.10	.28
VRN	.15	.21	.18	.33	-.05	.20	.20
MX	.10	.14	.15	.22	-.09	.18	.19
CB	.09	.17	.12	.33	-.04	.11	.15

= Korrelation auf Niveau 0.01 (einseitig) signifikant
= Korrelation auf Niveau 0.05 (einseitig) signifikant

Bei der Betrachtung der Korrelationsergebnisse fällt auf, dass zwischen den Ergebnissen des zusammengefassten und des **gewichtet zusammengefassten Wertes** für die phonologische Schleife keine großen Verschiedenheiten aufzutreten scheinen. Der einzige nennenswerte Unterschied liegt in der Höhe der Korrelation der beiden Werte zum Lesen: Sowohl bei der gewichteten als auch der ungewichtet zusammengefassten Variablen besteht eine Korrelation zum Lesen. Der gewichtete Wert weist jedoch einen erkennbar geringeren Zusammenhang auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass beim Maß für den phonetischen Speicher – dem Subtest „Kunstwörter“ – kein nachweisbarer Zusammenhang zum Lesen besteht. In einem späteren Abschnitt zu den Zusammenhängen der einzelnen Subtests wird darauf eingegangen. Für alle weiteren Betrachtungen wird aber aufgrund der kaum

¹² Abkürzungen der Testverfahren siehe Kapitel 5

¹³ ZE = zentrale Exekutive, PS = phonologische Schleife, VRN = visuell-räumlicher Notizblock

¹⁴ Abkürzungen der Subtests siehe Abschnitt 4.2

vorhandenen Unterschiede zwischen den beiden Werten für die phonologische Schleife auf die Verwendung des gewichteten Wertes verzichtet.

Zunächst wird nun die **Bewertung der Hypothesen und explorativen Fragen** bezüglich der Leistungsbereiche und der Arbeitsgedächtniskomponenten betrachtet. In Tabelle 6.13 ist die Übersicht über die aufgestellten Hypothesen und die aufgeworfenen explorativen Fragen noch einmal abgebildet und mit farblichen Kennzeichnungen aufgrund der festgestellten Signifikanz der jeweiligen Korrelation unterlegt. Von bedeutsamen Korrelationen wird bei einem Korrelationskoeffizienten gesprochen, der unter dem Fehlerniveau $\alpha = 0,01$ liegt. Bei einem Korrelationskoeffizienten, der dieses Niveau zwar übersteigt, aber unter dem Fehlerniveau von $\alpha = 0,05$ liegt, kann eine schwache Korrelation angenommen werden.

Tabelle 6.13: Hypothesenbewertung.

Arbeitsgedächtnisfunktion Leistungsbereich	Zentrale Exekutive	Phonologische Schleife	Visuell-räumlicher Notizblock
Intelligenz	X	X	X
Mathematik	X	X	(x)
Arithmetik	X	X	(x)
Geometrie			
Sachrechnen			
Lesen	X	X	
Schreiben	X	X	?

X: Hypothese über einen positiven bedeutsamen Zusammenhang

? oder (x) oder keine Markierung: explorative Frage über einen möglichen bestehenden Zusammenhang

signifikante Korrelation bei $\alpha = 0,01$

signifikante Korrelation bei $\alpha = 0,05$

keine signifikante Korrelation

Die Tabelle 6.13 veranschaulicht, dass die **Hypothesen** über einen bedeutsamen positiven Zusammenhang zwischen dem Maß der zentralen Exekutive und den Leistungsmaßen der Bereiche „Intelligenz“, „Mathematik“, „Arithmetik“, „Lesen“ und „Rechtschreiben“ bestätigt werden konnten. Auch die Hypothesen über einen bedeutsamen positiven Zusammenhang zwischen dem Maß der phonologischen Schleife und den Leistungsmaßen der Bereiche „Mathematik“, „Arithmetik“, „Lesen“ und „Rechtschreiben“ konnten bestätigt werden. Zur Arithmetik hat sich allerdings nur ein schwacher Zusammenhang ergeben. Die beiden

Hypothesen über einen bedeutsamen positiven Zusammenhang zwischen dem Maß der phonologischen Schleife bzw. des visuell-räumlichen Notizblocks und dem Leistungsmaß des Bereichs „Intelligenz“ konnten nicht bestätigt werden.

Die Untersuchung der **explorativen Fragen** ergab für den visuell-räumlichen Notizblock einen schwachen Zusammenhang zu den Maßen von „Mathematik“, „Arithmetik“, „Lesen“ und „Rechtschreiben“ sowie einen deutlichen zu „Geometrie“. Ebenso konnte ein bedeutsamer positiver Zusammenhang zwischen der phonologischen Schleife und dem Mathematikbereich „Geometrie“ nachgewiesen werden. Keine Zusammenhänge wurden dagegen zwischen dem Mathematikbereich „Sachrechnen“ und allen drei Arbeitsgedächtniskomponenten gefunden. Auch der Bereich „Geometrie“ weist zur zentralen Exekutive keinen Zusammenhang auf.

Das bedeutet also, dass Kinder am Ende der dritten und am Anfang der vierten Klasse im Alter zwischen acht und zehn Jahren, deren Arbeitsgedächtnisfunktionen der zentralen Exekutive besonders gut (bzw. schlecht) sind, auch besonders gute (bzw. schlechte) Leistungen in den Bereichen „Intelligenz“, „Mathematik“, „Arithmetik“, „Lesen“ und „Rechtschreiben“ zeigen. Für Geometrie und Sachrechnen konnte dies nicht nachgewiesen werden. Ebenso geht die Leistungsfähigkeit der phonologischen Schleife offenbar mit Leistungen in Mathematik, Geometrie, Lesen und Rechtschreiben und in geringerem Maße auch mit Arithmetik einher. Ein Nachweis für die Bereiche „Intelligenz“ und „Sachrechnen“ konnte dazu jedoch nicht gezeigt werden. Kinder mit guten (bzw. schlechten) Leistungen in Aufgaben zur Messung des visuell-räumlichen Notizblocks erbringen demnach auch gute (bzw. schlechte) Leistungen vor allem in Geometrie aber auch in Mathematik, Arithmetik, Lesen und Rechtschreiben. Beim Sachrechnen und bei Aufgaben zur Intelligenzmessung konnte dies nicht belegt werden.

Nachfolgend wird nun auf die Zusammenhänge der Leistungsbereiche (einschließlich der Mathematikunterbereiche) und der einzelnen **Subtests** bzw. der **Teilfunktionen** der Arbeitsgedächtniskomponenten eingegangen, die explorativ untersucht wurden. Es werden nicht alle einzelnen Korrelationen vorgestellt, sondern nur auf die relevanten Besonderheiten eingegangen. Eine vollständige Übersicht aller Zusammenhänge ist der Tabelle 6.12 zu entnehmen.

Die interessantesten Ergebnisse bei den Korrelationen zwischen Subtests und Leistungsbereichen sind zum einen, dass die Subtests „**Go/NoGo**“ und „**Stroop**“ als Maße der Inhibitionsfähigkeit zu keinem der Leistungsbereiche einen Zusammenhang aufweisen (Ausnahme: geringe Korrelation „Go/NoGo“ – Intelligenz). Zum anderen ist bemerkenswert, dass der Mathematikunterbereich „**Sachrechnen**“ zu keinem der Arbeitsgedächtnissubtests einen Zusammenhang zeigt (Ausnahme: geringe Korrelation „Kunstwörter“). Ebenfalls beachtenswert scheint zu sein, dass für den Mathematikunterbereich „**Geometrie**“ zwar deutliche Zusammenhänge mit allen Subtests zur phonologischen Schleife und zum visuell-räumlichen Notizblock festzustellen sind, jedoch keine zu den Subtests der zentralen Exekutive (Ausnahme: geringe Korrelation „Objektspanne“). Anders stellen sich die Zusammenhänge zum **Intelligenzmaß** dar: Zu den Subtests der phonologischen Schleife und des visuell-räumlichen Notizblocks sind keine Zusammenhänge erkennbar (Ausnahme: geringe Korrelation „Wortspanne dreisilbig“), zu drei von sechs zentral-exekutiven Subtests liegen jedoch mindestens niedrige Korrelationen vor.

Betrachtet man die Subtests der einzelnen Arbeitsgedächtniskomponenten, zeigen sich ganz unterschiedliche Bilder: Der **visuell-räumliche Notizblock** hängt scheinbar bis auf den Mathematikunterbereich „Geometrie“ nur gering oder gar nicht mit den Leistungsbereichen zusammen. Dabei zeigt sich auch kein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Subtests „Matrix“ und „Corsi-Block“, die die beiden unterschiedlichen Teilfunktionen des Notizblocks messen. Leichte mögliche Unterschiede zwischen den Teilfunktionen sind bei der **phonologischen Schleife** sichtbar. Der Subtest „Kunstwörter“ als Maß des phonetischen Speichers weist zu vielen Leistungsbereichen einen erkennbar höheren (Mathematik, Sachrechnen) bzw. geringeren (Lesen, Rechtschreiben) Zusammenhang auf als die drei Spannen-Subtests, die hauptsächlich den Rehearsalprozess messen. Die Subtests der **zentralen Exekutive** geben insgesamt ein recht einheitliches Bild ab. Erwähnenswert ist jedoch, dass die beiden Schriftsprachbereiche leicht verschiedene Zusammenhangsmuster zu den zentral-exekutiven Subtests erkennen lassen: Lesen scheint eher mit den Rückwärtsspannen zusammenzuhängen und Rechtschreiben vorrangig mit den komplexen Spannen. Auf den Gesamtzusammenhang der zentralen Exekutive zu Mathematik und Arithmetik scheint der Subtest „Ziffern rückwärts“ großen Einfluss zu haben.

Für alle durchgeführten Korrelationsanalysen gilt, dass alle deutlich signifikanten Korrelationen ($\alpha = 0,01$) durch Werte zwischen $r = .23$ und $r = .41$ angezeigt werden und die schwachen aber signifikanten Korrelationen ($\alpha = 0,05$) im Bereich von $r = .17$ bis $r = .24$ liegen. Für $r = .23$ und $r = .24$ kann eine signifikante Korrelation bei $\alpha = 0,01$ oder $\alpha = 0,05$ vorliegen. Ebenso verhält es sich mit Werten zwischen $r = .17$ und $r = .19$, die sowohl eine schwache signifikante Korrelation als auch eine nicht signifikante Korrelation anzeigen können. Diese Unterschiede erklären sich durch verschieden große Stichproben der einzelnen Korrelationsanalysen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die aufgestellten Hypothesen für alle vermuteten Zusammenhänge bis auf die zwischen der Intelligenz und der phonologischen Schleife sowie dem visuell-räumlichen Notizblock, bestätigt werden konnten. Die aufgeworfenen explorativen Fragen führen zu unterschiedlichen Ergebnissen und bedürfen teilweise weiterer Erläuterungen. Dies gilt insbesondere für die beiden Mathematikunterbereiche „Geometrie“ und „Sachrechnen“ sowie einige einzelne Subtests.

7.2 Zusatzberechnungen

Um die aus den Korrelationsanalysen gewonnenen Erkenntnisse etwas detaillierter zu betrachten und einzelne Teilbereiche tiefergehend zu erörtern, erfolgen noch einige weitere Berechnungen, die im Folgenden dargestellt werden.

7.2.1 Mathematikbereiche

Die erstaunlichsten Ergebnisse der Korrelationsanalysen zeigen sich in den Unterbereichen der Mathematik. In Tabelle 6.14 ist der entsprechende Ausschnitt aus der Ergebnistabelle der Korrelationsanalyse nochmals dargestellt. Im Nachfolgenden wird mit Hilfe von zwei verschiedenen Ansätzen versucht, eine Erklärung für die Korrelationsergebnisse der drei Mathematikunterbereiche zu finden.

Tabelle 6.14: Korrelationskoeffizienten zum Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtniskomponenten und Mathematikbereichen.

	Arithmetik	Geometrie	Sachrechnen
ZE (n = 95)	.28	.17	.07
PS (n = 72)	.24	.33	.05
VRN (n = 92)	.18	.33	-.05

= Korrelation auf Niveau 0.01 (einseitig) signifikant
= Korrelation auf Niveau 0.05 (einseitig) signifikant

7.2.1.1 Zusammenhänge mit Intelligenz

Neben den großen Unterschieden der drei Bereiche in den Zusammenhängen zum Arbeitsgedächtnis fällt vor allem auf, dass Sachrechnen zu keiner der drei Arbeitsgedächtniskomponenten einen Zusammenhang aufweist. Daher stellt sich die Frage, durch welche anderen kognitiven Faktoren dieser Mathematikbereich beeinflusst werden könnten. Da eine weitere mögliche Einflussgröße in den Daten dieser Untersuchung zur Verfügung steht, kann als Alternative der Zusammenhang zur Intelligenz geprüft werden. Die Ergebnisse einer zweiseitigen Korrelation aller drei Mathematikbereiche und Intelligenz sind in der Tabelle 6.15 zu sehen.

Tabelle 6.15: Korrelationskoeffizienten zum Zusammenhang zwischen Intelligenz und Mathematikbereichen.

	Arithmetik	Geometrie	Sachrechnen
Intelligenz	.42	.28	.43

= Korrelation auf Niveau 0.01 (zweiseitig) signifikant
= Korrelation auf Niveau 0.05 (zweiseitig) signifikant

Wie sich zeigt, weisen tatsächlich die beiden Mathematikbereiche „Arithmetik“ und „Sachrechnen“ einen höheren Zusammenhang zur Intelligenz als zu den Arbeitsgedächtniskomponenten auf. Nur der Bereich „Geometrie“ hängt stärker mit den beiden Subsystemen des Arbeitsgedächtnisses zusammen als mit der Intelligenz. Besonders beim Sachrechnen scheint also die Intelligenz eine plausible Alternativerklärung für die erbrachte Leistung eines Kindes zu bieten.

7.2.1.2 Deskriptive Analyse der Korrelationen mit den Mathematikbereichen

Möglicherweise sind die gefundenen Korrelationen zwischen den Mathematikbereichen und den Arbeitsgedächtniskomponenten auch deshalb teilweise, vor allem im Bereich „Sachrechnen“ so gering, weil nicht (nur) lineare Zusammenhänge zwischen ihnen bestehen, sondern (auch) nichtlineare, die mit einer Korrelationsanalyse nicht nachweisbar sind. Um diese Möglichkeit zu erschließen, werden nachfolgend die Zusammenhänge zwischen den drei Mathematikbereichen und jeweils den einzelnen Arbeitsgedächtniskomponenten deskriptiv und anschaulich mit Hilfe von Scatterplots bzw. Punktwolken betrachtet.

Zunächst wird der Bereich der **Arithmetik** dargestellt (s. Abbildungen 6.2 bis 6.4).

Abbildung 6.2: Zusammenhang zwischen Arithmetik und der zentralen Exekutive ($r = .28$, $n = 95$).

Abbildung 6.3: Zusammenhang zwischen Arithmetik und der phonologischen Schleife ($r = .24$, $n = 72$).

Abbildung 6.4: Zusammenhang zwischen Arithmetik und dem visuell-räumlichen Notizblock ($r = .18$, $n = 92$).

Die zu allen drei Arbeitsgedächtniskomponenten vorhandenen Zusammenhänge zur Arithmetik sind in den Scatterplots gut sichtbar. Nicht lineare Zusammenhänge können anhand der Darstellungen nicht vermutet werden.

Es folgt die Darstellung des Bereichs „**Geometrie**“ (s. Abbildungen 6.5 bis 6.7).

Abbildung 6.5: Zusammenhang zwischen Geometrie und der zentralen Exekutive ($r = .17$, $n = 95$).

Abbildung 6.6: Zusammenhang zwischen Geometrie und der phonologischen Schleife ($r = .33$, $n = 72$).

Abbildung 6.7: Zusammenhang zwischen Geometrie und dem visuell-räumlichen Notizblock ($r = .33$, $n = 92$).

Die linearen Zusammenhänge im Bereich „Geometrie“ zu den beiden Subsystemen des Arbeitsgedächtnisses können in den Scatterplots erkannt werden. Zur zentralen Exekutive ist kein eindeutiger linearer aber auch kein nichtlinearer Zusammenhang erkennbar. Für den Zusammenhang zwischen Geometrie und dem visuell-räumlichen Notizblock könnte möglicherweise auch eine quadratische oder kubische Funktion angenommen werden. Für eine genauere Beschreibung ist die Datenlage allerdings nicht ausreichend.

Abbildung 6.8: Zusammenhang zwischen Sachrechnen und der zentralen Exekutive ($r = .07$, $n = 95$).

Abbildung 6.9: Zusammenhang zwischen Sachrechnen und der phonologischen Schleife ($r = .05$, $n = 72$).

Abbildung 6.10: Zusammenhang zwischen Sachrechnen und dem visuell-räumlichen Notizblock ($r = -.05$, $n = 92$).

Die Abbildungen 6.8 bis 6.10 zeigen Zusammenhänge zwischen den Arbeitsgedächtniskomponenten und **Sachrechnen**. Dass keine linearen Zusammenhänge zwischen diesen vorliegen, ist anhand der Scatterplots deutlich sichtbar. Doch auch

nichtlineare Zusammenhänge können nicht eindeutig erkannt werden. Nur für den Zusammenhang zwischen Sachrechnen und dem visuell-räumlichen Notizblock kann eventuell eine quadratische Funktion angenommen werden. Doch auch hier ist die Datenlage für eine genauere Aussage nicht ausreichend.

Durch die Darstellung und Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Arbeitsgedächtniskomponenten und Mathematikbereichen in Scatterplots kann keine bedeutende zusätzliche Erkenntnis jedoch einige mögliche Hinweise auf nichtlineare Zusammenhänge gewonnen werden. Daher gibt es weiteren Diskussions- und Untersuchungsbedarf.

7.2.2 Schriftsprache

Untersuchungen zur Schriftsprache behandeln – wie im theoretischen und empirischen Hintergrund beschrieben (s. Abschnitt 2.2.3.1) – häufig Lesen und (Recht-)Schreiben gemeinsam. Auch in dieser Untersuchung weisen die Zusammenhänge zwischen den Arbeitsgedächtniskomponenten (ohne Berücksichtigung der einzelnen Subtests) und den Leistungstests zu Lesen und Rechtschreiben die gleichen Muster auf (s. Tabelle 6.16).

Tabelle 6.16: Korrelationskoeffizienten zum Zusammenhang zwischen Schriftsprachbereichen und Arbeitsgedächtniskomponenten (r_1 , r_2) sowie zugehörige Stichprobengrößen (n_1 , n_2).

	Lesen		Rechtschreiben	
	r_1	n_1	r_2	n_2
ZE	.29	106	.36	74
PS	.29	77	.41	50
VRN	.20	104	.20	71

= Korrelation auf Niveau 0.01 (einseitig) signifikant
= Korrelation auf Niveau 0.05 (einseitig) signifikant

Die Höhe der Korrelationen ist jedoch etwas unterschiedlich, so dass sich die Frage stellt, ob diese Unterschiede bedeutsam oder vernachlässigbar sind. Dazu wird ein *Test auf Gleichheit zweier Korrelationen* (siehe S.147/148 in Nachtigall & Wirtz, 2009) gerechnet. Die dadurch

berechneten Fischer-Z-Werte für die drei Korrelationsvergleiche sind der Tabelle 6.17 zu entnehmen.

Tabelle 6.17: Übersicht über die Fischer-Z-Werte für den Vergleich der Korrelationen von Lesen und Rechtschreiben mit den Arbeitsgedächtniskomponenten.

	Fischer-Z-Wert
zentrale Exekutive	-0,508
phonologische Schleife	-0,735
visuell-räumlicher Notizblock	0,000

Legt man ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ fest, liegt der kritische Wert dafür (nach Tabelle B aus Bortz, 1999) bei 1,645. Alle berechneten Fischer-Z-Werte liegen darunter, so dass bei allen drei Arbeitsgedächtniskomponenten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Korrelationen zu Lesen und Rechtschreiben nachgewiesen werden können.

7.2.3 Inhibitionssubtests

Im Abschnitt 6.2 wurde bereits dargestellt, dass sich zu den beiden Inhibitionssubtests zu (fast) keinem Leistungsbereich Zusammenhänge gezeigt haben. Ein möglicher Anhaltspunkt für eine Erklärung könnte die Auswahl der Variablen für die beiden Subtests bieten. Neben den für die Korrelationsanalyse ausgewählten Werten stehen in den vorliegenden Daten noch weitere Variablen zur Verfügung, die aus bereits genannten Gründen nicht verwendet wurden (s. Abschnitt 6.1.3). Allerdings könnten möglicherweise bestehende Zusammenhänge zwischen diesen Variablen und den Leistungsbereichen weitergehende Rückschlüsse erlauben. Daher werden im Folgenden die Korrelationen zwischen allen weiteren zur Verfügung stehenden und normalverteilten Variablen der Subtests „Go/NoGo“ und „Stroop“ und den Leistungsbereichen präsentiert.

Für den Subtest „Go/NoGo“ können zwei weitere Variable verwendet werden, die normalverteilt und – wenn auch nicht eindeutig theoretisch begründbar – einsetzbar sind: zum einen der Mittelwert und zum anderen der Median der Reaktionszeiten für richtige Reaktionen bei Treffern. Beide weisen jedoch ebenfalls keine Korrelation zu einem der Leistungsbereiche oder deren Unterbereichen auf.

Beim Subtest „**Stroop**“ weisen neben dem ausgewählten Differenzmaß auch die bereits im Abschnitt 6.1.3 vorgestellten Median-Reaktionszeitvariablen für inkongruente, kongruente und beide Darstellungsformen zusammen eine Normalverteilung auf. Ebenso sind diese vier Variablentypen unter Verwendung des Mittelwerts statt des Median normalverteilt. Allerdings sind wie bereits beschrieben (s. Abschnitt 6.1.3) die Median-Variablen zu bevorzugen. Theoretisch betrachtet stellen alle Reaktionszeitvariablen eher ein Maß für die generelle Reaktionsgeschwindigkeit und damit für die Verarbeitungsgeschwindigkeit und nicht für die Inhibitionsfähigkeit dar. Betrachtet man dennoch beispielsweise die Variable des Medians der Reaktionszeiten beider Darstellungsformen zusammen, können Korrelationen zur Intelligenz und zum Lesen sowie geringe Korrelationen zur Mathematik, Geometrie und zum Rechtschreiben festgestellt werden. Um wiederum trotz Reaktionszeiten eine positive Korrelation annehmen zu können, werden die Werte erneut mit -1 multipliziert. Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse mit dieser Alternativ-Variable für den Subtests „Stroop“ sind in der folgenden Tabelle 6.18 abgebildet.

Tabelle 6.18: Korrelationskoeffizienten zum Zusammenhang zwischen Leistungsbereichen und einer Alternativ-Variable des Subtests „Stroop“.

	CFT 20-R	DEMAT	DEMAT Arithmetik	DEMAT Geometrie	DEMAT Sachrechnen	WLLP	DERET
SP (Median Reaktionszeit)	.32	.19	.15	.18	.08	.33	.24

Würde man also für die Korrelationsanalysen anderen Variablen für die beiden Inhibitionssubtests auswählen, käme man beim „Go/NoGo“-Subtests zum gleichen, beim „Stroop“-Subtest jedoch zu einem anderen Ergebnis. Allerdings wird von der alternativ eingesetzten Variable für den Subtest „Stroop“ nicht die Inhibitionsfähigkeit sondern vielmehr die Verarbeitungsgeschwindigkeit erfasst.

7.3 Regressionsanalysen

Zur genaueren Exploration der Zusammenhänge zwischen den Arbeitsgedächtniskomponenten und den Leistungsbereichen steht über die Korrelationsanalyse hinaus noch die Regressionsanalyse zur Verfügung. Damit kann

berechnet werden, ob möglicherweise eine der Arbeitsgedächtniskomponenten im Gegensatz zu den anderen als erklärende Variable einen besonders deutlichen und vorrangigen Einfluss auf den jeweiligen Leistungsbereich als abhängige Variable hat.

Will man die Güte des Regressionsmodells einschätzen, muss man für jede Regressionsanalyse einzeln das *Bestimmtheitsmaß* „ R^2 “ betrachten, das auf einer Skala von 0 bis 1 den *Modell-Fit* anzeigt. Damit wird beschrieben, wie gut die abhängige Variable aus den erklärenden Variablen abgeleitet werden kann. Liegt R^2 über 0,3, kann grundsätzlich von einem ausreichenden Modell-Fit ausgegangen werden (Brosius, 2008). Ein kleiner *Standardfehler des Schätzers* gibt außerdem an, dass die aus den erklärenden Variablen geschätzten Werte nah an den tatsächlichen liegen – bei einem großen Standardfehler entsprechend umgekehrt. Die *Signifikanz des Gesamtmodells* zeigt an, ob zwischen den erklärenden und der abhängigen Variable ein Zusammenhang besteht – je geringer der Signifikanzwert, umso höher die Wahrscheinlichkeit, dass ein Zusammenhang vorliegt. Ob jede einzelne der erklärenden Variablen einen Einfluss auf die abhängige Variable hat, ist am *Signifikanzwert* jeder einzelnen erklärenden Variable abzulesen. Anhand der *standardisierten Koeffizienten* kann ermittelt werden, wie groß tatsächlich der Einfluss jeder einzelnen erklärenden Variable auf die abhängige Variable ist.

In den folgenden Tabellen 6.19 bis 6.25 sind die Ergebnisse der Regressionsanalysen sowie alle Kennwerte, Signifikanzen und Koeffizienten dazu dargestellt. Für jeden Leistungsbereich sowie für alle drei Mathematikunterbereiche sind Regressionsanalysen durchgeführt worden, bei denen die drei Arbeitsgedächtniskomponenten jeweils als erklärende Variablen dienen und der Leistungsbereich die abhängige Variable darstellt. Da keine Gründe für den Ausschluss einer Konstante vorliegen, wurde die Einschlussmethode gewählt.

Betrachtet man das **Bestimmtheitsmaß R^2** für die Regressionsanalysen aller Leistungsbereiche, stellt man fest, dass es jeweils einen Wert zwischen 0,027 und 0,267 annimmt. Es liegt also in allen Fällen unter 0,3, so dass für alle Regressionsmodelle von einem nicht ausreichenden Modell-Fit ausgegangen werden kann. Daher haben alle weiteren berechneten Werte keine belastbare Aussagekraft. Um jedoch dennoch ein paar Anhaltspunkte herauszugreifen, werden die auffälligsten Besonderheiten der jeweiligen Regressionsanalyse unter dem Vorbehalt des nicht ausreichenden Modell-Fits nachfolgend kurz erörtert.

Bei der Regressionsanalyse für die abhängige Variable „Intelligenz“ (s. Tabelle 6.19) zeigt sich eine Signifikanz des Modells, so dass ein Zusammenhang zu den erklärenden Variablen mit durchaus hoher Wahrscheinlichkeit vermutet werden kann. Eine deutliche Signifikanz und eine Beta-Wert von immerhin 0,43 weist die zentral-exekutive Variable auf. Dies kann als Hinweis darauf gesehen werden, dass die zentrale Exekutive bedeutenden Einfluss auf die Intelligenz hat. Dies entspricht auch den Befunden der bereits vorgestellten Korrelationsanalyse.

Tabelle 6.19: Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable „Intelligenz“.

Modellzusammenfassung (Fit des Modells)			ANOVA (Signifikanz des Gesamtmodells)		
R ² (Bestimmtheitsmaß)	Standardfehler des Schätzers		F	Signifikanz	
0,141	4,638		3,889	0,012	
	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	27,645	0,543		50,899	0,000
ZE	3,659	1,326	0,430	2,759	0,007
PS	-1,081	0,873	-0,170	-1,238	0,220
VRN	,208	0,755	0,036	,275	0,784

Trotz jeweils recht geringer Werte bei der Signifikanz des Modells für die Leistungsbereiche „Mathematik“ und „Arithmetik“, die für eine bestehende Wahrscheinlichkeit bezüglich eines Zusammenhangs zwischen der jeweils abhängigen und den erklärenden Variablen spricht, sind für die einzelnen Variablen keine Hinweise auf einen Einfluss zu erkennen (siehe Tabelle 6.20 und 6.21).

Tabelle 6.20: Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable „Mathematikleistung“.

Modellzusammenfassung (Fit des Modells)			ANOVA (Signifikanz des Gesamtmodells)		
R ² (Bestimmtheitsmaß)	Standardfehler des Schätzers		F	Signifikanz	
0,136	4,579		3,505	0,020	
	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	19,812	0,545		36,377	0,000
ZE	0,880	1,365	0,100	0,645	0,521
PS	0,950	0,789	0,163	1,204	0,233
VRN	1,190	0,790	0,203	1,506	0,137

Tabelle 6.21: Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable „Mathematikleistung im Bereich Arithmetik“.

Modellzusammenfassung (Fit des Modells)			ANOVA (Signifikanz des Gesamtmodells)		
R ² (Bestimmtheitsmaß)	Standardfehler des Schätzers		F	Signifikanz	
0,105	3,125		2,620	0,058	
	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	8,731	0,372		23,492	0,000
ZE	0,907	0,932	0,153	0,973	0,334
PS	0,436	0,538	0,112	0,810	0,421
VRN	0,544	0,539	0,138	1,009	0,317

Das im Vergleich zu den anderen Regressionsanalysen etwas höhere Bestimmtheitsmaß und der geringe Standardfehler des Schätzers für den Bereich „**Geometrie**“ (siehe Tabelle 6.22) lassen auf einen wenn auch noch nicht ausreichenden dann doch jedenfalls etwas besseren Modell-Fit schließen. Das Signifikanzmaß für das Gesamtmodell weist auf einen sehr wahrscheinlichen Zusammenhang der Variablen hin. Die Signifikanzen und Beta-Werte für die Variablen der phonologischen Schleife und des visuell-räumlichen Notizblocks zeigen einen möglichen Einfluss dieser Arbeitsgedächtnisbereiche auf die Geometrie an. Ein ähnliches Resultat konnte durch die Korrelationsanalysen erzielt werden.

Tabelle 6.22: Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable „Mathematikleistung im Bereich Geometrie“.

Modellzusammenfassung (Fit des Modells)			ANOVA (Signifikanz des Gesamtmodells)		
R ² (Bestimmtheitsmaß)	Standardfehler des Schätzers		F	Signifikanz	
0,220	1,427		6,296	0,001	
	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	4,997	0,170		29,434	0,000
ZE	-0,586	0,426	-0,202	-1,378	0,173
PS	0,622	0,246	0,326	2,529	0,014
VRN	0,766	0,246	0,398	3,111	0,003

Der deutlich schlechteste Wert für R² sowie für die Signifikanz des Modells ergibt sich aus der Regressionsanalyse für den Bereich „**Sachrechnen**“ (siehe Tabelle 6.23). Eine zuverlässige Aussage über Einflussfaktoren ist damit nicht möglich. Bei keiner der

erklärenden Variablen ist ein Hinweis auf einen Einfluss bezüglich Sachrechnen zu finden. Dies steht zumindest in keinem Widerspruch zu den Ergebnissen der Korrelationsanalyse.

Tabelle 6.23: Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable „Mathematikleistung im Bereich Sachrechnen“.

Modellzusammenfassung (Fit des Modells)			ANOVA (Signifikanz des Gesamtmodells)		
R ² (Bestimmtheitsmaß)	Standardfehler des Schätzers		F	Signifikanz	
0,027	1,444		0,620	0,604	
	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	6,069	0,172		35,350	0,000
ZE	0,558	0,430	0,212	1,297	0,199
PS	-0,085	0,249	-0,049	-,340	0,735
VRN	-0,121	0,249	-0,070	-,487	0,628

Zusammenfassend kann man für Mathematik und deren Unterbereiche feststellen, dass durch die Regressionsanalysen außer im Bereich „Geometrie“ keine substantiellen Zusammenhänge zwischen den Arbeitsgedächtniskomponenten und den mathematischen Bereichen zu finden sind. Nur bei der Geometrie zeigt sich ein bedeutsamer Einfluss der Funktionstüchtigkeit der phonologischen Schleife und des visuell-räumlichen Notizblocks.

Ein recht schlechter und bei weitem nicht ausreichender Wert für das Bestimmtheitsmaß sowie ein besonders hoher Standardfehler des Schätzers ergibt sich für die Regressionsanalyse zur **Leseleistung** (s. Tabelle 6.24). Die Signifikanz des Modells weist zwar auf einen wahrscheinlichen Zusammenhang der Variablen hin, jedoch ist kein Einfluss einer Arbeitsgedächtnisvariablen nachweisbar.

Tabelle 6.24: Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable „Leseleistung“.

Modellzusammenfassung (Fit des Modells)			ANOVA (Signifikanz des Gesamtmodells)		
R ² (Bestimmtheitsmaß)	Standardfehler des Schätzers		F	Signifikanz	
0,105	21,231		2,765	0,048	
	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	94,093	2,521		37,320	0,000
ZE	5,758	5,955	0,149	0,967	0,337
PS	4,959	3,904	0,172	1,270	0,208
VRN	1,618	3,433	0,065	0,471	0,639

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse für die **Rechtschreibleistung** zeigen den von allen höchsten Wert für R^2 , allerdings mit einem recht großen Standardfehler des Schätzers, so dass trotz einer sehr deutlichen Signifikanz des Gesamtmodells dennoch nicht von einem ausreichenden Modell-Fit ausgegangen werden kann. Unter diesem Vorbehalt deutet sich allerdings ein möglicher großer Einfluss der zentral-exekutiven Variablen an.

Tabelle 6.25: Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable „Rechtschreibleistung“.

Modellzusammenfassung (Fit des Modells)			ANOVA (Signifikanz des Gesamtmodells)		
R^2 (Bestimmtheitsmaß)	Standardfehler des Schätzers		F	Signifikanz	
0,267	10,235		5,463	0,003	
	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Signifikanz
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
(Konstante)	-20,108	1,489		-13,508	0,000
ZE	7,158	3,768	0,364	1,900	0,064
PS	2,311	2,153	0,175	1,073	0,289
VRN	0,580	2,055	0,045	0,282	0,779

Zusammenfassend ist festzustellen, dass zwar durch die nicht ausreichenden Modellpassungen die Ergebnisse der Regressionsanalysen keine belastbaren Aussagen erbringen. Einige Hinweise für mögliche Einflüsse der Arbeitsgedächtniskomponenten auf die Leistungsbereiche können aber unter Vorbehalt durchaus gewonnen werden.

Nachdem nun alle Ergebnisse präsentiert und beschrieben worden sind, werden diese im nachstehenden Abschnitt diskutiert.

8 Diskussion und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Zusammenhänge von Arbeitsgedächtniskomponenten und ihren Teilfunktionen mit den Leistungsbereichen des Lesens, Rechtschreibens und der Mathematik und ihrer drei Unterbereiche Arithmetik, Geometrie und Sachrechnen sowie mit der allgemeinen Leistungsfähigkeit – der Intelligenz – untersucht. Die Ergebnisse werden nachfolgend unter Einbezug theoretischer Hintergründe und methodischer Überlegungen diskutiert.

8.1 Diskussion der Ergebnisse für die Leistungsbereiche

8.1.1 Intelligenz-Ergebnisse

Basierend auf einer Vielzahl von empirischen Untersuchungen ist angenommen worden, dass zwischen der Intelligenz und allen drei Arbeitsgedächtnisfunktionen ein Zusammenhang zu finden ist. Als besonders deutlich wurde der Zusammenhang zwischen den zentral-exekutiven Funktionen und der allgemeinen fluiden Intelligenz angenommen. Die Höhe des Zusammenhangs hat sich in verschiedenen Studien sehr unterschiedlich gezeigt, so dass dazu ein klärender Beitrag angestrebt wurde. Da die Entwicklung des Verhältnisses von Arbeitsgedächtnis und Intelligenz zueinander im Alter von neun Jahren größtenteils abgeschlossen bzw. stabil ist (s. Abschnitt 2.2.1.2), erscheint die hier untersuchte Altersgruppe der Acht- bis Zehnjährigen sehr passend.

Aus den **Ergebnissen der Korrelationsanalyse** hat sich ergeben, dass der vermutete Zusammenhang zum zentral-exekutiven Arbeitsgedächtnis mit $r = .26$ zwar nicht besonders hoch, aber deutlich nachweisbar ist. Die bisherigen Zusammenhangsstudien, in denen der CFT als Intelligenztest verwendet wurde, konnten jedoch meist auch nur eine niedrige Korrelation belegen (s. Abschnitt 2.2.1.2), so dass dieses Resultat nicht überrascht. Allerdings konnten keine Zusammenhänge zur phonologischen Schleife oder dem visuell-räumlichen Notizblock gefunden werden. Da der CFT im Gegensatz zu den meisten anderen Intelligenztests als sprachfreies und kulturunabhängiges Testverfahren gilt (s. Abschnitt 5.1.),

könnte ein fehlender Zusammenhang zum phonologischen Arbeitsgedächtnis eben auf diesen Umstand zurückzuführen sein. Aufgrund geringer sprachlicher Abhängigkeit der Intelligenztestergebnisse ist demnach auch kein bedeutsamer Einfluss von phonologischen Funktionen vorhanden. Dies könnte außerdem eine Erklärung für den eher geringen Zusammenhang zur zentralen Exekutive bieten, denn auch bei diesem entfallen die häufig berücksichtigten phonologischen Anteile der zentral-exekutiven Anforderungen als zusammenhangserzeugend. Überraschend bleibt dennoch der fehlende Zusammenhang zum visuell-räumlichen Notizblock. Denn grade die Bearbeitung der Matrizen-Aufgaben des CFT legt einen großen Einfluss von visuellen und räumlichen Funktionen nahe.

Betrachtet man die **Subtests der zentralen Exekutive**, fällt auf, dass der Gesamtzusammenhang nur auf einem bedeutsamen deutlichen Zusammenhang des Zahlenspanne-Subtests und auf jeweils einem bedeutsamen aber schwachen Zusammenhang der Subtests „Farben rückwärts“ und „Go/NoGo“ beruht. Möglicherweise sind diese Ergebnisse ein Hinweis darauf, dass nur Subtests mit visuellem Anteil einen Zusammenhang aufweisen, weil die Intelligenzaufgaben des CFT durch ihr Matrizenformat auch hauptsächlich eine visuelle Anforderung stellen. Umso erstaunlicher ist dann aber, dass die beiden visuell-räumlichen Aufgaben keinen Zusammenhang zur Intelligenz zeigen. Eine andere Erklärung liegt in den schon erwähnten phonologischen Anteilen der zentral-exekutiven Subtests. Entfallen diese aufgrund der geringen sprachlichen Ausrichtung des CFT, so ergeben sich auch keine bedeutsamen Zusammenhänge zwischen den eher sprachlich orientierten zentral-exekutiven Subtests.

Ein besonders interessanter Befund zeigt sich bei der näheren Betrachtung des **Subtests „Stroop“** und dessen Zusammenhängen zur Intelligenz. Wird die theoriegeleitet ausgewählte Variable zur Messung der Inhibitionsfähigkeit – das Differenzmaß – verwendet, kann kein Zusammenhang nachgewiesen werden. Bei Verwendung der Reaktionszeitvariablen jedoch ergibt sich eine deutliche Korrelation von $r = .32$. Diese misst zwar nicht die Inhibitionsfähigkeit sondern vielmehr die Reaktions- bzw. Verarbeitungsgeschwindigkeit, stellt damit aber auch ein zentral-exekutives Maß dar. Dass dieses Maß mit der hier gemessenen Intelligenz korreliert, leuchtet unmittelbar ein, denn auch bei der Bearbeitung des CFT ist für eine gute Leistung eine schnelle korrekte Verarbeitung erforderlich.

Die **Regressionsanalyse** für die Vorhersagbarkeit der Intelligenz aus den Arbeitsgedächtniskomponenten ergibt – unter dem Vorbehalt des nicht ausreichenden

Modell-Fits – ein ganz ähnliches Resultat wie die Korrelationsergebnisse. Auch hier kann ein deutlicher Zusammenhang der zentralen Exekutive und kein Zusammenhang der beiden anderen Arbeitsgedächtniskomponenten zur Intelligenz nachgewiesen werden. Zusätzlich zu den Schlussfolgerungen, die bei der Diskussion der Korrelationsergebnisse bereits angeführt wurden, kann daraus ein möglicher Anhaltspunkt für die anzunehmende Einflussrichtung zwischen Intelligenz und Arbeitsgedächtnis gewonnen werden.

Abschließend kann man also festhalten, dass Kinder mit einer gut funktionierenden zentralen Exekutive offenbar auch gute Leistungen in einem sprachfreien Intelligenztest erbringen. Die Funktionstüchtigkeit der phonologischen Schleife und des visuell-räumlichen Notizblocks scheinen keine Einfluss auf die Intelligenz zu haben. Der niedrige Zusammenhang der zentralen Exekutive und der nicht vorhandene Zusammenhang zu den beiden anderen Komponenten weist außerdem deutlich darauf hin, dass Intelligenz und Arbeitsgedächtnis als zwei voneinander unabhängige, eigenständige Konstrukte zu betrachten sind. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse geben einen Hinweis darauf, dass zumindest ein deutlicher Zusammenhang der zentral-exekutiven Leistungsfähigkeit zur Intelligenz zu bestehen scheint.

8.1.2 Mathematik-Ergebnisse

Auf der Basis von vielfältigen empirischen Studien wurden für Mathematik und die drei Unterbereiche Arithmetik, Geometrie und Sachrechnen unterschiedliche Annahmen bezüglich ihres Zusammenhangs zu den Arbeitsgedächtniskomponenten gemacht. In den meisten Untersuchungen wird Mathematik mit Arithmetik gleichgesetzt, so dass für diese beiden Bereiche folglich die gleichen Zusammenhänge angenommen wurden. Eine Beteiligung der zentralen Exekutive und der phonologischen Schleife am arithmetischen Rechnen wurde vermutet. Der visuell-räumliche Notizblock beeinflusst den Rechenprozess vor allem bei jüngeren Kindern und beim Kopfrechnen. Da diese Bedingungen in der durchgeführten Untersuchung nicht vorlagen, konnte für den Notizblock keine eindeutige Aussage über einen anzunehmenden Zusammenhang zur Mathematik und Arithmetik getroffen werden. Für Geometrie und Sachrechnen wurden keine Vermutungen über

Zusammenhänge getroffen, weil dazu bisher nicht ausreichend empirische Belege vorliegen. Allerdings gibt es einzelne Hinweise darauf, dass insbesondere die zentrale Exekutive aber auch die phonologische Schleife eine Rolle beim Lösen von Sachaufgaben spielt.

Die **Berechnungen der Korrelationsanalyse** zur **Mathematik** ergaben bedeutsame Zusammenhänge zu zentral-exekutiven und phonologischen Arbeitsgedächtnisfunktionen sowie einen etwas geringeren aber ebenfalls bedeutsamen Zusammenhang zum visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis. Das **arithmetische Rechnen** korreliert deutlich mit der zentralen Exekutive und etwas geringer aber bedeutsam mit der phonologischen Schleife und dem visuell-räumlichen Notizblock. Damit konnten die getroffenen Annahmen bestätigt werden und für das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis weitere Erkenntnisse für den Zusammenhang zur Mathematik und Arithmetik bei Neunjährigen gewonnen werden. Auffällig ist, dass der Subtest „Ziffern rückwärts“ offenbar hauptsächlich verantwortlich für den deutlichen Zusammenhang der zentralen Exekutive zu Mathematik und Arithmetik zu sein scheint.

Die explorative Untersuchung der Bereiche „**Geometrie**“ und „**Sachrechnen**“ führte zu bedeutsamen Zusammenhängen zwischen dem phonologischen sowie dem visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis und Geometrie. In allen anderen Bereichen konnten keine signifikanten Korrelationen nachgewiesen werden. Diese Resultate sprechen gegen die bisherige vorsichtige Vermutung des Zusammenhangs von Sachrechnen und zentraler Exekutive bzw. auch phonologischer Schleife, die durch Befunde von Lee, Ng, Ng und Lim (2004), Swanson und Beebe-Frankenberger (2004) sowie Passolunghi und Siegel (2001) gestützt wurde.

Passend zu diesen Ergebnissen zeigten sich auch auf **Subtestebene** zum Sachrechnen mit einer Ausnahme („Kunstwörter“) keine Zusammenhänge. Für Geometrie konnten entsprechend der Zusammenhänge zu den Komponenten ebenfalls mit einer Ausnahme („Objektspanne“) nur Korrelationen zu Subtests der phonologischen Schleife und des visuell-räumlichen Notizblocks nachgewiesen werden. Bei Verwendung des Reaktionszeitmaßes statt des Differenzmaßes beim „Stroop“-Subtest kommt noch eine geringe Korrelation für die damit gemessene Verarbeitungsgeschwindigkeit dazu. Auffallend ist, dass der visuell-räumliche Notizblock, insbesondere der durch den „Corsi-Block“-Subtest gemessene „inner scribe“, von allen Leistungsbereichen den höchsten Zusammenhang zur Geometrie zeigt.

Durch den in der Geometrie geforderten Umgang mit Figuren und räumlichen Anordnungen ist dies allerdings leicht erklärbar.

Bei ausführlicheren Untersuchungen dazu, welche **alternative kognitive Einflussgröße** für die mathematischen Unterbereiche eine Rolle spielen könnte, wurden Zusammenhänge zwischen der Intelligenz und den drei Mathematikbereichen überprüft. Bei Arithmetik und Sachrechnen zeigten sich höhere Korrelationen zur Intelligenz als zu den untersuchten Arbeitsgedächtniskomponenten, nur Geometrie wies einen deutlicheren Zusammenhang zum phonologischen und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis auf als zur Intelligenz.

Um festzustellen, ob die geringen oder nicht vorhandenen Zusammenhänge der Mathematikbereiche möglicherweise darauf zurückzuführen sind, dass mit einer Korrelationsanalyse nur lineare und keine **nichtlinearen Zusammenhänge** aufzudecken sind, wurden die Zusammenhänge grafisch dargestellt und deskriptiv analysiert. Jedoch nur für die Zusammenhänge zwischen Geometrie sowie Sachrechnen und dem visuell-räumlichen Notizblock konnte eine mögliche nichtlineare Funktion vermutet aber aufgrund der Datenlage nicht gesichert angenommen werden.

Durch die **Regressionsanalysen** zur Mathematik und den drei Unterbereichen konnten außer für Geometrie keine bedeutsamen Zusammenhänge zum Arbeitsgedächtnis festgestellt werden. Vorbehaltlich eines nicht ausreichenden Modell-Fits wurde ein Einfluss des phonologischen und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses auf die Geometrieleistung nachgewiesen. Diese Ergebnisse passen zu den Korrelationsanalysen der Bereiche „Geometrie“ und „Sachrechnen“, widersprechen sich aber mit den Korrelationsergebnissen für Mathematik und Arithmetik. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass die Intelligenz einen größeren Zusammenhang zur Mathematik- und Arithmetikleistung zeigt als die Arbeitsgedächtnisfunktionen und dementsprechend möglicherweise auch eine höhere Vorhersagekraft dafür besitzt.

Als Fazit der Zusammenhänge zwischen Mathematik sowie deren Unterbereichen und den Arbeitsgedächtnisfunktionen kann man also festhalten, dass Kinder mit gut funktionierenden Arbeitsgedächtniskomponenten auch ein gutes Leistungsvermögen in Mathematik und

Arithmetik aufweisen. Eine gute Funktionsfähigkeit der phonologischen Schleife und insbesondere des visuell-räumlichen Notizblocks sowie möglicherweise eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit scheinen Voraussetzung für gute Leistungen in Geometrie zu sein. Für die Leistung in Sachrechnen zeigen sich keine der Arbeitsgedächtnisbereiche verantwortlich. Eine geeignete Alternativerklärung für die Leistungsfähigkeit vor allem in den Bereichen „Arithmetik“ und „Sachrechnen“ bietet zudem die Intelligenz.

8.1.3 Schriftsprach-Ergebnisse

Bei einer zusammenfassenden Betrachtung des breitgefächerten theoretischen und empirischen Hintergrunds zum Zusammenhang von Arbeitsgedächtnisfunktionen und Schriftsprachkompetenzen wurde angenommen, dass die Leseleistung einen Zusammenhang zur zentralen Exekutive und zur phonologischen Schleife aufweist. Die bisherige Erkenntnislage im Schriftsprachbereich lässt eine Annahme bezüglich des Zusammenhangs zum visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis bisher nicht zu. Ein Zusammenhang des Schreibens zur zentralen Exekutive sowie zur phonologischen Schleife und besonders zum phonetischen Speicher kann aber erwartet werden.

Aufgrund der bisher berichteten Ergebnisse empirischer Studien wurde weiterhin vermutet, dass die basalen Schriftsprachfertigkeiten wie Dekodieren und Rechtschreibung eher mit phonologischen Arbeitsgedächtnisfunktionen und die übergeordnete Fertigkeiten wie Leseverständnis und Textgenerierung eher mit der zentralen Exekutive zusammenhängen. Außerdem wurde ein möglicher größerer Einfluss des phonetischen Speichers gegenüber dem subvokalen Rehearsalprozess der phonologischen Schleife auf die Schriftsprache erwartet.

Durch die **Korrelationsanalysen** zum Schriftsprachbereich konnten die getroffenen Annahmen größtenteils bestätigt werden. Sowohl beim Lesen als auch beim Schreiben konnten bedeutsame Zusammenhänge zu zentral-exekutiven und phonologischen Arbeitsgedächtnisfunktionen nachgewiesen werden. Auch zum visuell-räumlichen Notizblock wurden niedrigere aber ebenfalls bedeutsame Zusammenhänge gefunden. Somit entsprechen die Ergebnisse der bisherigen vorgestellten Befundlage. Für den visuell-

räumliche Notizblock liefern sie wichtige Erkenntnisse zur weiteren detaillierteren Erarbeitung der Rolle des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses für die Schriftsprachfähigkeiten von Kindern und damit zur Ergänzung der bisherigen Resultate von Gathercole, Alloway, Willis und Adams (2006) aus diesem Themenfeld.

Für alle Korrelationen der Schriftsprachbereiche zu Arbeitsgedächtniskomponenten konnte gezeigt werden, dass sie sich in ihrer Höhe nicht signifikant zwischen den beiden **Schriftsprachbereichen unterscheiden**. Dies unterstützt die häufig in empirischen Studien angewendete Praxis, Lesen und Schreiben unter der gemeinsamen übergeordneten Kategorie der Schriftsprache zusammen zu untersuchen (s. Abschnitt 2.2.3.4).

Einige interessante Unterschiede zeigen sich jedoch, wenn man die einzelnen Subtests betrachtet. Das Maß für den phonetischen Speicher, der Subtest „Kunstwörter“, weist einen niedrigen aber bedeutsamen Zusammenhang zur Rechtschreibung aber nicht zum Lesen auf. Bei den zentral-exekutiven Subtests zeigen die beiden Rückwärtsspannen die höchste Korrelation zum Lesen und die beiden komplexen Spannen den größten Zusammenhang zur Rechtschreibung.

Bemerkenswert erscheint auch, dass bei beiden **Inhibitionssubtests** keine Korrelation zu einem der Schriftsprachbereiche nachzuweisen ist. Wird jedoch für den „Stroop“-Subtest die Reaktionszeitvariable statt des Differenzmaßes verwendet und damit die Verarbeitungsgeschwindigkeit erfasst, zeigt sich zum Lesen ein deutlicher und zum Rechtschreiben ein immerhin geringer bedeutsamer Zusammenhang. Als mögliche Erklärung bietet sich die Geschwindigkeit bzw. der Zeitdruck beim Bearbeiten an. Der Lesetest WLLP ist ein Speed-Test, bei dem unter Zeitdruck gearbeitet werden muss. Daher ist die Verarbeitungs- und Wahrnehmungsgeschwindigkeit hier besonders relevant und fließt möglicherweise in das Lesemaß ein.

Die Ergebnisse der **Regressionsanalyse** weisen auf einen Einfluss der zentralen Exekutive auf die Rechtschreibleistung hin, lassen jedoch keinen Einfluss der anderen beiden Arbeitsgedächtniskomponenten auf die Leseleistung erkennen. Aufgrund des nicht ausreichenden Modell-Fits können diese Ergebnisse zwar nicht als aussagekräftig eingestuft werden, sie weisen jedoch auch keinen deutlich erkennbaren Widerspruch zu den Korrelationsanalysen auf.

Besonders überraschen die geringe Korrelation zwischen dem durch den Subtest „Kunstwörter“ gemessenen **phonetischen Speicher** und der Rechtschreibleistung sowie dessen nicht vorhandene Korrelation zur Leseleistung im Gegensatz zu meist deutlichen Korrelationen der anderen phonologischen Subtests, die den Rehearsalprozess messen. Aufgrund des empirischen Hintergrunds wäre eher ein umgekehrtes Ergebnis zu erwarten gewesen. Die gefundenen Ergebnisse entsprechen jedoch den Resultaten von Hasselhorn und Marx (2000) und können somit möglicherweise einen klärenden Beitrag zu den bisher ohnehin nicht ganz eindeutigen Befunden in der Literatur zur Frage der Beteiligung der phonologischen Teilfunktionen an der Schriftsprache leisten.

Mit dem eingesetzten Lesetest WLLP wird die Dekodiergeschwindigkeit erfasst (s. Abschnitt 5.3), der Rechtschreibtest DERET misst die **basale Schriftsprachfertigkeit** der Rechtschreibung (s. Abschnitt 5.4) und nicht die Textgenerierungsfähigkeit. Daher wäre für beide in dieser Untersuchung gemessenen Schriftsprachleistungen ein Zusammenhang vor allem zu phonologischen Arbeitsgedächtnisfunktionen zu vermuten, da in beiden Fällen vor allem die basalen und nicht die übergeordneten Schriftsprachfertigkeiten erfasst wurden. Gezeigt haben sich jedoch widererwartend ähnlich hohe und in beiden Bereichen bedeutsame Zusammenhänge sowohl zur zentralen Exekutive als auch zur phonologischen Schleife. Damit reihen sich diese Befunde in die von Swanson (1999) und Schuchardt, Mähler und Hasselhorn (2008) berichteten Ergebnisse ein, die ebenfalls nicht der allgemeinen Ergebnislage entsprechende Resultate zu diesem Themenfeld erzielten. Weitere Untersuchungen der Zusammenhänge von Arbeitsgedächtnisfunktionen und basalen sowie übergeordneten Schriftsprachfertigkeiten scheinen daher geboten.

Zusammenfassend lässt sich also für den Schriftsprachbereich festhalten, dass einige Ergebnisse im Detail nicht zur bisherigen empirischen Befundlage zu passen scheinen. Die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen den drei Arbeitsgedächtniskomponenten und beiden Bereichen der Schriftsprache konnten jedoch bestätigt werden. Kinder mit guten zentral-exekutiven, phonologischen und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisfunktionen zeigen also auch eine gute Leistungsfähigkeit im Bereich des Lesens und Schreibens.

8.2 Diskussion weiterer Aspekte

8.2.1 Inhibitionssubtests

Schon bei der Entwicklung der Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder im Alter von 5 bis 12 Jahren (AGTB 5-12) haben die beiden **Inhibitionssubtests „Go/NoGo“ und „Stroop“** einige Schwierigkeiten mit sich gebracht. Eine Übertragung bisher entwickelter Verfahren auf die computergestützte Durchführung und eine automatisierte Auswertung haben sich als nicht ganz unproblematisch herausgestellt. Besonders die Auswahl einer geeigneten Variablen als Maß für die Inhibitionsleistung, die auch in dieser Arbeit detailliert dargestellt wurde, hat viele Herausforderungen ergeben.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen der Inhibitionssubtests mit den Leistungsbereichen zeigen bis auf einen leichten Zusammenhang zwischen „Go/NoGo“ und Intelligenz keine bedeutsamen Korrelationen. Nur wenn man für den Subtest „Stroop“ eine Reaktionszeitvariable verwendet, die jedoch nicht die Inhibition sondern die Verarbeitungsgeschwindigkeit misst, erhält man bedeutsame Zusammenhänge zu allen Leistungsbereichen außer Arithmetik und Sachrechnen. Beim Subtest „Go/NoGo“ führt auch die Verwendung von anderen geeigneten Variablen zu keinen weiteren bedeutsamen Zusammenhängen.

Entweder weisen diese Ergebnisse darauf hin, dass es tatsächlich keinen Zusammenhang zwischen der Inhibitionsfähigkeit von Kindern und deren Schulleistungen bzw. Intelligenz gibt. Möglicherweise ist dies aber auch ein Hinweis darauf, dass die Umsetzung der Inhibitionssubtests, also die Erfassung der Inhibitionsleistung noch nicht optimal gelungen ist. Weitere Operationalisierungsformen wären eventuell wünschenswert, um eine andere und vielleicht geeignetere Messung der Inhibitionsfähigkeit zu erzielen und damit weitere Befunde zur Überprüfung der hier gefundenen Resultate anführen zu können.

8.2.2 Korrelationshöhen

Die Höhe der berechneten (bedeutsamen) Korrelationen zwischen den Schulleistungen sowie Intelligenz und den Arbeitsgedächtniskomponenten sowie ihren Subtests liegt

zwischen $r = .23$ und $r = .41$ bzw. für die geringeren Korrelationen zwischen $r = .17$ und $r = .24$. Alle bedeutsamen Zusammenhänge sind also niedrig bzw. höchstens im mittleren Bereich.

Dies kann als Beleg dafür angesehen werden, dass neben dem Arbeitsgedächtnis noch weitere Aspekte eine Rolle für Schulleistungen und Intelligenz spielen und darauf Einfluss nehmen. Gleichzeitig ist es aber auch ein Hinweis darauf, dass man Arbeitsgedächtnismaße zur Vorhersage von Schulleistungen oder zur Diagnostik von schulischem Förderbedarf nur bedingt einsetzen und in jedem Fall weitere Gesichtspunkte berücksichtigen sollte. Allerdings zeigen die bedeutsamen Zusammenhänge von allen Arbeitsgedächtnisbereichen zu den Schulleistungsbereichen Mathematik, Lesen und Rechtschreiben auch, dass ein deutlicher Zusammenhang besteht und Arbeitsgedächtnisfunktionen bei der Betrachtung von Schulleistungen nicht außer Acht gelassen werden sollten und eine gezielte Förderung des Arbeitsgedächtnisses möglicherweise auch Verbesserungen in den Schulleistungen zur Folge haben könnte.

8.2.3 Arbeitsgedächtniskomponenten und Subtests

Betrachtet man die Korrelationsanalysen aus einer anderen Richtung, nicht mit Blick auf die Leistungsbereiche sondern auf die Arbeitsgedächtniskomponenten, fallen zusätzlich zu den schon im Abschnitt 7.1 vorgestellten Gesichtspunkten einige weitere Aspekte auf. Die zentral-exekutiven Subtests „Stroop“ und „Go/NoGo“ sind bereits angesprochen worden. Auffälligkeiten zeigen sich auch beim **visuell-räumlichen Notizblock** und dessen Subtests. Außer zwischen dem Gesamtwert sowie dem Subtest „Corsi-Block“ und Geometrie finden sich keine oder nur geringe Zusammenhänge.

Am deutlichsten fällt bei den Korrelationen der phonologischen Schleife und der dazugehörigen Subtests zu den Leistungsbereichen auf, dass der Subtest „Kunstwörter“ als Maß des **phonetischen Speichers** zu vielen Bereichen einen anderen Zusammenhang aufweist als die drei Subtests, die den Rehearsalprozess erfassen. Bei Mathematik und Sachrechnen ist der Zusammenhang offenbar höher, bei Lesen und Rechtschreiben erkennbar geringer als bei den anderen drei Subtests, die insgesamt ein recht einheitliches

Bild zeigen. Es ist also davon auszugehen, dass zwischen den beiden Teilfunktionen der phonologischen Schleife Unterschiede im Zusammenhang zu Schulleistungen bestehen.

Die neben den Inhibitionsmaßen übrigen **Subtests der zentralen Exekutive** lassen keine systematischen Besonderheiten erkennen. Wie schon erwähnt scheint der Subtest „Ziffern rückwärts“ für den Zusammenhang zu Mathematik und Arithmetik eine bedeutende Rolle zu spielen. Ebenfalls schon beschrieben sind die unterschiedlichen Zusammenhänge zu den beiden Schriftsprachbereichen und die (mit einer Ausnahme) nicht vorhandenen Korrelationen zu Geometrie und Sachrechnen. Darüber hinaus zeigen sich keine weiteren systematische Auffälligkeiten, weder bei Subtests mit verwendetem Zahlenmaterial noch sonstigen Ähnlichkeiten. Eventuell ist dies ein Anzeichen für die heterogene Zusammensetzung der zentralen Exekutive, die aktuell immer wieder diskutiert wird (s. Abschnitt 2.1.1.1) (Zoelch, 2005).

8.3 Fazit und Ausblick

Einige Fragen sind auch nach der Präsentation und Diskussion der Ergebnisse noch offen geblieben. Andere Fragen haben sich erst daraus ergeben und laden zu weiteren Untersuchungen ein. In vielen Fällen konnte zwar festgestellt werden, dass Zusammenhänge zwischen einzelnen Arbeitsgedächtniskomponenten und Leistungsbereichen bestehen, jedoch bleibt in manchen Fällen weiterhin die Frage nach Ursachen dafür bestehen.

Konkrete **weitere Untersuchungsmöglichkeiten** für die in dieser Arbeit vorgestellte Fragestellung liegen beispielsweise in der Verwendung von anderen Leistungstests mit unterschiedlicher Messung der Leistungsbereiche. Insbesondere im Schriftsprachbereich wäre eine Erfassung der übergeordneten Fertigkeiten wie Textgenerierung und Leseverständnis wünschenswert. Des Weiteren könnten andere Altersgruppen in die Untersuchung einbezogen werden. Möglicherweise zeigen sich bei Kindern anderen Alters aufgrund der verschiedenen Entwicklungsverläufe des Arbeitsgedächtnisses und der Schulleistungen andere Zusammenhänge. Auch ein Vergleich der Zusammenhänge verschiedener Altersgruppen wäre eine aufschlussreiche Ergänzung der vorliegenden Ergebnisse. Die Ermittlung eines Arbeitsgedächtnisgesamtwerts mit plausibler Gewichtung aller einfließenden Subtests würde zusammen mit dem Intelligenzmaß eine interessante

Möglichkeit zur Regressionsanalyse für die Schulleistungsbereiche geben, durch die man herausfinden könnte, ob das Arbeitsgedächtnis oder eher die Intelligenz einen höheren Einfluss auf die schulische Leistungsfähigkeit hat. Weiterhin sollte man auch nichtlineare Zusammenhänge für weitere Studien in Betracht ziehen.

Eine **Ausdehnung der Untersuchungen** zum Zusammenhang von Arbeitsgedächtnisfunktionen mit Schul- und anderen kognitiven Leistungen auf Persönlichkeitsbereiche (siehe z. B. Freund, 2009) oder Störungsbilder wie ADHS (siehe z. B. Oberbremer, 2010) oder Autismus (siehe z. B. Baltruschat, 2010) wäre weiterhin wünschenswert, um die gesamte Relevanz des Arbeitsgedächtnisses voll zu erfassen. Auch die Beurteilung von Geschlechtseffekten im Bereich des Arbeitsgedächtnisses (siehe z. B. Senftleben, 2009) könnte Gegenstand weiterer Forschung sein.

Interessante **Weiterentwicklungen** bieten sich auch für die eingesetzte **Arbeitsgedächtnistestbatterie** an, die teilweise bereits umgesetzt werden. So wäre eine Erweiterung des Testinstruments auf andere Personengruppen wie beispielsweise jüngere Kinder oder Lernbehinderte denkbar. Auch eine Anpassung der Durchführung zum Zweck der präventiven Förderung von Arbeitsgedächtnisfunktionen oder als Training für Interventionsmaßnahmen könnte vorgenommen werden.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass der **Einsatz der Arbeitsgedächtnistestbatterie** auch zukünftig sehr sinnvoll scheint, weil damit eine ökonomische, valide und reliable Erfassung der Arbeitsgedächtnisfunktionen und ein größtenteils kultur-, bildungs- und vorerfahrungsunabhängiges Testen möglich ist. Außerdem bieten sich Arbeitsgedächtnismaße zur Untersuchung von spezifischen Lernstörungen und speziellen kognitiven Fähigkeiten von Hochbegabten an (Schumann-Hengsteler, Grube, Zoelch, Mähler, Seitz-Stein, Schmid, Gronauer & Hasselhorn, 2010).

9 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde der Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnisfunktionen nach dem Modell von Baddeley (1986) und den Leistungsbereichen Mathematik, Lesen, Rechtschreiben und Intelligenz untersucht. Die Arbeitsgedächtnisfunktionen sowie deren Teilfunktionen wurden mit Hilfe der neu entwickelten Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren (AGTB 5-12) (Hasselhorn, Schumann-Hengsteler, Gronauer, Grube, Mähler, Schmid, Seitz-Stein & Zoelch, in Druck) erfasst. Anhand der Daten einer Stichprobe von Grundschulern im Alter von acht bis zehn Jahren am Ende der dritten bzw. zu Beginn der vierten Klasse wurden unter anderem Korrelations- und Regressionsanalysen berechnet, um den Zusammenhang der Arbeitsgedächtnisfunktionen zu den Leistungsbereichen beschreiben zu können.

Größtenteils konnten die bisher berichteten Zusammenhänge von Schulleistungen bzw. Intelligenz und Arbeitsgedächtnis bestätigt werden. Deutliche Zusammenhänge zwischen der zentralen Exekutive, der phonologischen Schleife sowie etwas geringere Zusammenhänge zwischen dem visuell-räumlichen Notizblock und allen drei Schulleistungsbereichen konnten nachgewiesen werden. Bei der Intelligenz fanden sich nur Zusammenhänge zum zentral-exekutiven Arbeitsgedächtnis.

Auffälligkeiten zeigten sich vor allem bei den Unterbereichen der Mathematik, zu denen bisher kaum Erkenntnisse über den Einfluss von Arbeitsgedächtniskomponenten vorliegen. Hier konnte für den Teilbereich der Arithmetik ein deutlicher Zusammenhang zu zentral-exekutiven und ein schwächerer sowohl zu phonologischen als auch zu visuell-räumlichen Funktionen nachgewiesen werden. Der Bereich der Geometrie zeigt Zusammenhänge zum phonologischen und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis, jedoch nicht zur zentralen Exekutive. Beim Sachrechnen konnte zu keiner der Arbeitsgedächtniskomponenten ein Zusammenhang festgestellt werden. Nichtlineare Zusammenhänge konnten weitestgehend für alle drei Bereiche ausgeschlossen werden.

Einen Hinweis auf eine alternative Einflussgröße auf die Mathematikbereiche konnte durch weitere Berechnungen gewonnen werden. Für Arithmetik und Sachrechnen wurde ein deutlicher Zusammenhang und für Geometrie ein etwas schwächerer Zusammenhang zur Intelligenz festgestellt.

Insbesondere die Ergebnisse in den Mathematikbereichen „Geometrie“ und „Sachrechnen“ verdienen besondere Beachtung, weil dazu bisher kaum Erkenntnisse vorliegen. Daher kann diese Arbeit einen weiterführenden Beitrag zur Ergründung der Einflussfaktoren auf diese beiden Mathematikbereiche leisten. Außerdem können die hier vorgestellten Ergebnisse als Grundlage für weitere Forschung im Bereich der Arbeitsgedächtnisfunktionen und Schulleistungen dienen, indem ähnliche Fragestellungen mit anderen Altersgruppen oder Methoden untersucht werden oder eine Erweiterung auf andere Themenbereiche erfolgt. Auch eine Weiterentwicklung und zukünftige Anwendung der vorgestellten Arbeitsgedächtnistestbatterie kann zu weiteren interessanten Ergebnissen und einer ausgedehnteren Arbeitsgedächtnisforschung führen.

Literaturverzeichnis

- Ackermann, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2002). Individual differences in working memory within a nomological network of cognitive and perceptual speed abilities. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131(4), 567–589.
- Ackermann, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2005). Working memory and intelligence: The same or different constructs? *Psychological Bulletin*, 131(1), 30–60.
- Adams, J. W. & Hitch, G. J. (1998). Children's arithmetic and working memory. In C. Donlan (Hrsg.), *The development of mathematical skills* (S. 153-173). Hove: Psychology Press.
- Alloway, T. P. (2007). *Automated Working Memory Assessment – AWMA*. London: Harcourt Assessment.
- Alloway, T. P. & Gathercole, S. E. (2006). *Working memory and neurodevelopmental disorders*. Hove: Psychology Press.
- Alloway, T.P., Gathercole, S.E. & Pickering, S.J. (2006). Verbal and visuospatial short-term and working memory in children: Are they separable? *Child Development*, 77, 1698-1716.
- 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.
- Altemeier, L., Abbott, R., & Berninger, V. (2008). Executive functions for reading and writing in typical literacy development and dyslexia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 30, 588-606.
- Altemeier, L. E., Jones, J., Abbott, R. D. & Berninger, V. W. (2006). Executive functions in becoming writing readers and reading writers: Note taking and report writing in third and fifth graders. *Developmental neuropsychology*, 29(1), 161 –173.
- Amelang, M., Bartussek, D., Stemmler, G. & Hageman, D. (2006). *Differentielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung*, 6. Stuttgart: Kohlhammer.
- Amthauer, R. (1999). *Intelligenz-Struktur-Test 2000 – I-S-T 2000*. Göttingen: Hogrefe.
- Archibald, S. J. & Kerns, K. A. (1999). Identification and description of new tests of executive functioning in children. *Child Neuropsychology*, 5 (2), 115-129.
- Ashcraft, M. H. (1992). Cognitive Arithmetic: A review of data and theory. *Cognition*, 44, 75-106.
- Ashcraft, M.H. & Fierman, B.A (1982). Mental addition in third, fourth and sixth graders. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33, 216-234.

- Atili, S. (2009). *Entwicklung von numerischen Kompetenzen und Arbeitsgedächtnis im Kindergartenalter*. Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Atkinson, R.C. & Shiffrin, R.M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K.W. Spence (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, 2, 89-195. New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: University Press.
- Baddeley, A.D. (1990). *Human memory: Theory and practice*. Hillsdale: Erlbaum.
- Baddeley, A. D. (1992). Is working memory working? The fifteenth Bartlett Lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 44A, 1-31.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 5-28.
- Baddeley, A. D. (1998). *Human memory: Theory and practice*. Boston: Allyn and Bacon.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
- Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working ? *American Psychologist*, 56(11), 849-864.
- Baddeley, A. D. (2006). Working memory: An overview. In S. J. Pickering (Hrsg.), *Working memory and education*. San Diego: Academic Press.
- Baddeley, A.D., Gathercole, N. & Papagno, C. (1998). The phonological loop as a language learning device. *Psychology Review*, 105, 158-173.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (2) (S. 89-195). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working memory: the multiple-component model. In A. Miyake & P. Shah (Hrsg.), *Models of working memory: mechanisms of active maintenance and executive control* (S. 28-61). New York: Cambridge University Press.
- Baddeley, A. D., Thomson, N. & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14, 575-589.
- Baddeley, A.D., Vallar, G. & Wilson, B. (1987). Sentence comprehension and phonological memory: Some neuropsychological evidence. In M. Coltheart (Hrsg.), *Attention and performance 12: The psychology of reading* (S. 509-529). Hove: Lawrence Erlbaum.
- Baddeley, A.D. & Wilson, B.A. (2002). Prose recall and amnesia: Implications for the structure of working memory. *Neuropsychologia*, 40 (10), 1737-1743.

- Baltruschat, L. (2010). *The Use of Behavioral Intervention Procedures for Improving Working Memory in Children with Autism*. Dissertation, Johann-Wolfgang-Goethe-Universität, Frankfurt am Main.
- Beaton, A., Guest, J. & Ved, R. (1997). Semantic errors of naming, reading, writing and drawing following left hemisphere infarction. *Cognitive Neuropsychology*, 14, 459-478.
- Beier, M. E. & Ackerman, P. L. (2005). Working memory and intelligence: Different constructs. Reply to Oberauer et al. (2005) and Kane et al. (2005). *Psychological Bulletin*, 131(1), 72 – 75.
- Bell, S. M., McCallum, R. S. & Cox, E. A. (2003). Toward a Research-Based Assessment of Dyslexia: Using Cognitive Measures to Identify Reading Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 36 (6), 505-516.
- Berg, D. H. (2008). Working memory and arithmetic calculation in children: The contributory roles of processing speed, short-term-memory, and reading. *Journal of experimental child psychology*, (99), 288 – 308.
- Berz, W. L. (1995). Working memory in music: A theoretical model. *Music Perception*, 12(3), 353-364.
- Binet, A., Simon, T. (1905). Methodes nouvelles pour le diagnostic du niveau intellectuel des anormaux. In: *Année Psychologique. Ausgabe 11*. 191 – 244.
- Binet, A., & Simon, T. (1916). *The development of intelligence in children*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Boring, E.G. (1923). Intelligence as the tests test it. *New Republic* 35.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler (5. Auflage)*. Berlin: Springer.
- Brady, S. A. (1991). The role of working memory in reading disability. In S. A. Brady & D. P. Shankweiler (Hrsg.), *Phonological processes in literacy*. (S. 129-151). Hove: Lawrence Erlbaum.
- Brooks, L. R. (1967). The suppression of visualization by reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 19, 289-299.
- Brosius, F. (2008). *SPSS 16 für Dummies*. Weinheim: Wiley.
- Bürmann, J. (2009). *Test-Retest-Reliabilität und Übungseffekte der Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder im Alter von fünf bis zwölf Jahren (AGTB 5-12)*. Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Bull, R. & Espy, K. A. (2006). Working Memory, Executive Functioning, and Children's Mathematics. In S. J. Pickering (Hrsg.), *Working memory and education*. San Diego: Academic Press

- Bull, R., Johnston, R. S. & Roy, J. A. (1999). Exploring the roles of the visual-spatial sketchpad and central executive in children's arithmetical skills: Views from cognition and developmental neuropsychology. *Developmental Neuropsychology*, 15, 421-442
- Bull, R. & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental neuropsychology*, 19(3), 273 – 293.
- Carpenter, P., Just, M., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures: A theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices Test. *Psychological Review*, 97(3), 404–431.
- Carpenter, T.P. & Moser, J.M. (1983). The acquisition of addition and subtraction concepts. In R. Lesh & M. Landau (Hrsg.), *Acquisition of mathematical concepts and processes* (7-44). New York: Academic Press.
- Carpenter, T.P. & Moser, J.M. (1984). The acquisition of addition and subtraction concepts in grades one through three. *Journal for Research in Mathematics Education*, 15, 179-202.
- Case, R.D. (1985). *Intellectual development*. New York: Academic Press.
- Case, R. D., Kurland, M. & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33, 386-404.
- Cattel, R.B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, 54, 1-22.
- Cattel, R.B. (1968). Are IQ Test intelligent? *Psychology today*, 16.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. Boston: Houghton Mifflin.
- Cattel, R.B. (1973). *Die empirische Erforschung der Persönlichkeit*. Weinheim: Beltz.
- Cattell, R.B., Weiß, R.H. & Osterland, L. (1997). Grundintelligenztest Skala 1 (CFT 1) (5., revid. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Colom, R., Rebollo, I., Placios, A., Juan-Espinosa, M. & Kyllonen, P. C. (2004). Working memory is (almost) perfectly predicted by g. *Intelligence*, 32, 277 – 296.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J. & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30, 163 – 183.
- Cormier, P. & Dea, S. (1997). Distinctive patterns of relationship of phonological awareness and working memory with reading development. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 9, 193-206.
- Corsi, P.M. (1972). *Human memory and the medial temporal region of the brain*. Doctoral thesis. Department of Psychology, McGill University Montreal.

- Cossu, G., Gugliotta, M. & Marshall, J. C. (1995). Acquisition of reading and written spelling in a transparent orthography: Two non parallel processes? *Reading and Writing: And Interdisciplinary Journal*, 7, 9-22.
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, 104, 163-191.
- Cowan, N. & Kail, R. (1996). Covert processes and their development in short-term memory. In S. E. Gathercole (Hrsg.), *Models of short-term memory* (S. 29-50). Hove: Psychology Press.
- Cowan, N., Towse, J. N., Hamilton, Z., Saults, J. S., Elliot, E. M., Lacy, J. F., Moreno, M. V. & Hitch, G. J. (2003). Children's working memory processes: A response time analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 113-132.
- Croft, A. C. (1982). Do spelling tests measure the ability to spell? *Educational and Psychological Measurement*, 42, 715-723.
- Daneman, M. & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- Daneman, M., Carpenter, P. A. & Just, M. A. (1982). Cognitive processes and reading skills. *Advances in Reading/Language Research*, 1, 83-124.
- Daneman, M. & Stainton, M. (1991). Phonological recoding in silent reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 17, 618-632.
- Daneman, M. & Tardif, T. (1987). Working memory and reading skill re-examined. In M. Coltheart (Hrsg.), *Attention and performance 12: The psychology of reading* (S. 491-508). Hove : Lawrence Erlbaum.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1-42.
- Dehaene, S. (1999). *Der Zahlensinn*. Basel: Birkhäuser.
- de Jong, P. (1998). Working memory deficits of reading disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 70, 75-95.
- de Jong, P. F., & Das-Smaal, E. A. (1995). Attention and intelligence: The validity of the star of the star counting test. *Journal of Educational Psychology*, 87(1), 80-92.
- de Jong, P., & de Jong, P. F. (1996). Working memory, intelligence and reading ability in children. *Personality and Individual Differences*, 21(6), 1007-1020.
- de Rammelaere, S. (2002). *The role of working memory in mental arithmetic*. Dissertation, Universiteit Gent.
- Dilling, H., Mombour, W. & Schmidt, M. H. (2005). *Internationale Klassifikation psychischer Störungen: ICD-10, Kapitel V (F), Klinisch-diagnostische Leitlinien* (5. Aufl.). Bern: Huber.

- Dockrell, J. & McShane, J. (1993). *Childrens's learning difficulties: A cognitive approach*. Cambridge: Blackwell.
- Elbro, C. (1996). Early linguistic abilities and reading development: A review and a hypothesis. *Reading and Writing*, 8, 453-485.
- Engle, R. W., Kane, M. J. & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake & P. Shah (Hrsg.), *Models of working memory. Mechanisms of active maintenance and executive control* (S. 102-134). Cambridge: University Press.
- 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(3), 309 – 331.
- Fitzgerald, J. & Shanahan, T. (2000). Reading and Writing Relations and Their Development. *Educational Psychologist*, 35 (1), 39-50.
- Flynn, J. R. (1984). The mean IQ of Americans: Massive gains 1932 to 1978. *Psychological Bulletin*, 95, 29-51.
- Flynn, J. R. (1987). Massive IQ gains in 14 Nations: what IQ tests really measure. *Psychological Bulletin*, 101, 171-191.
- Flynn, J. R. (1994). IQ gains over time. In R. J. Sternberg (Hrsg.), *Encyclopedia of human intelligence* (S. 617-623). New York: Macmillan.
- Fournier, S., Larigauderie, P. & Gaonac'h, D. (2004). Exploring how the central executive works: A search for independent components. *Psychologica Belgica*, 44(3), 159-188.
- Fürst, A. J. & Hitch, G. J. (2000). Separate roles for executive and phonological components of WM in mental arithmetic. *Memory & Cognition*, 28, 774-782.
- Fuson, K. C. (1988). *Children's counting and concepts of number*. New York: Springer.
- Freund, N. (2009). *Gibt es persönlichkeitsabhängige Leistungsunterschiede im Arbeitsgedächtnis? – Eine Studie über die Zusammenhänge von Extraversion und Arbeitsgedächtnisleistungen bei Kindern der vierten Klasse*. Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. In K. Patterson, J. Marshall & M. Coltheart (Hrsg.), *Surface dyslexia* (S. 301-327). London: Erlbaum.
- Frith, U., Wimmer, H. & Landerl, K. (1998). Differences in Phonological Coding in German- and English-Speaking Children. *Scientific Studies of Reading*, 2 (1), 31-54.
- Fry, A.F., Hale, S. (1996). Processing speed, working memory, and fluid intelligence: evidence for a developmental cascade. *Psychological Science*, 7, 237–241.

- Fry, A.F., Hale, S. (2000). Relationships among processing speed, working memory, and fluid intelligence in children. *Biological Psychology*, 54, 1–34.
- Gardner, H. (1985). *Frames of mind*. New York: Basic Books.
- Gathercole, S.E. (1995). Is nonword repetition a test of phonological memory or long-term knowledge – it all depends on the nonwords. *Memory and Cognition*, 23, 83-94.
- Gathercole, S. E. (1998). The development of memory. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 39, 3-27.
- Gathercole, S. E., & Adams, A.-M. (1994). Children's phonological working memory: Contributions of long-term knowledge and rehearsal. *Journal of Memory & Language*, 33(5), 672-688.
- Gathercole, S.E., Adams, A.-M. & Hitch, G.J. (1994). Do young children rehearse? An individual-differences analysis. *Memory & cognition*, 22(2), 201-207.
- Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Willis, C. & Adams, A. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93, 265-281.
- Gathercole, S. E. & Baddeley, A. D. (1989). Evaluation of the Role of Phonological STM in the Development of Vocabulary in Children: A Longitudinal Study. *Journal of Memory and Language*, 28, 200-213.
- Gathercole, S.E. & Baddeley, A.D. (1993). *Working memory and language*. Hove: Lawrence Erlbaum.
- Gathercole, S. E. & Hitch, G. J. (1993). Developmental changes in short-term memory: A revised working memory perspective. In A. Collins, S. E. Gathercole, M. A. Conway & P. E. Morris (Hrsg.), *Theories of memory* (S. 189-210). Hove: Lawrence Erlbaum.
- Gathercole, S. E. & Pickering, S. J. (2000). Assessment of working memory in six- and seven-year-old children. *Journal of Educational Psychology*, 92, 377-390.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B. & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40 (2), 177-190.
- Gaupp, N. (2003). *Dyskalkulie- Arbeitsgedächtnisdefizite und Defizite numerischer Basiskompetenzen rechenschwacher Kinder*. Berlin: Logos.
- Gelman, R. & Gallistel, C. R. (1978). *The children's understanding of number*. Cambridge: Havard University Press.
- Gölitz, D., Roick, T. & Hasselhorn, M. (2006). *Deutscher Mathematiktest für vierte Klassen (DEMAT 4)*. Göttingen: Beltz Test.
- Green, D. M. & Swets J. A. (1966). *Signal Detection Theory and Psychophysics*. New York: Wiley.

-
- Grube, D. (1996). Verarbeitung akustisch dargebotener Zeitintervalle im Sekundenbereich: Eine Leistung der phonologischen Schleife des Arbeitsgedächtnisses? *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 43, 527-546.
- Grube, D. (2005). Entwicklung des Rechnens im Grundschulalter. In M. Hasselhorn, W. Schneider & H. Marx (Hrsg.), *Diagnostik von Mathematikleistungen (Tests und Trends – Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik, N.F. Bd.4)*. Göttingen: Hogrefe.
- Grube, D. (2006a). Entwicklung des Rechnens im Grundschulalter. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 53, 105-124.
- Grube, D. (2006b). Entwicklung des Rechnens im Grundschulalter – Basale Fertigkeiten, Wissensabruf und Arbeitsgedächtniseinflüsse. In D.H. Rost (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie (Bd. 52)*. Münster: Waxmann.
- Grube, D. (2008). Rechenschwäche. In W. Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der Pädagogischen Psychologie (642-652)*. Göttingen: Hogrefe.
- Grube, D. & Barth, U. (2004). Rechenleistung bei Grundschulern: Zur Rolle von Arbeitsgedächtnis und basalem Faktenwissen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 18, 245-248
- Guilford, J. P. (1976). *Analyse der Intelligenz*. Weinheim: Beltz.
- Guttentag, R.E. (1989). Age differences in dual-task performance: Procedures, assumptions and results. *Developmental Review*, 9, 146-170.
- Guttentag, R.E. (1997). Memory development and processing resources. In N. Cowan (Hrsg.), *The development of memory in childhood. Studies in developmental psychology (S. 247-274)*. Hove: Psychology Press.
- Hager, W. (1987). Grundlagen einer Versuchsplanung zur Prüfung empirischer Hypothesen der Psychologie. In G. Lüer (Hrsg.), *Allgemeine experimentelle Psychologie*, 43-264. Stuttgart: Fischer.
- Hager, W. (1992). Eine Strategie zur Entscheidung über psychologische Hypothesen. *Psychologische Rundschau*, 43, 18-29.
- Hager, W. (2000). Planung von Untersuchungen zur Prüfung von Wirksamkeits- und Wirksamkeitsunterschiedshypothesen. In W. Hager, J.-L. Patry & H. Brezing (Hrsg.), *Evaluation psychologischer Interventionsmaßnahmen*. Bern: Huber.
- Hager, W. (2004). *Testplanung zur statistischen Prüfung psychologischer Hypothesen: Die Ableitung von Vorhersagen und die Kontrolle der Determinanten des statistischen Tests*. Göttingen: Hogrefe.
- Hale, S., Bronik, M. D. & Fry, A. F. (1997). Verbal und spatial working memory in school-age children: Developmental differences in susceptibility to interference. *Developmental Psychology*, 33, 364–371.

- Hasselhorn, M. (1988). Wie und warum verändert sich die Gedächtnisspanne über die Lebensspanne? *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 20, 322-337.
- Hasselhorn, M. (1999). Wird der kindliche Dysgrammatismus durch Gedächtniseffekte verursacht? Experimentalpsychologische Untersuchungen an der Dresdener Sprachheilschule. In: Deutsche Gesellschaft für Sprachheilpädagogik (Hrsg.), *Sprachheilpädagogik über alle Grenzen – Sprachentwicklung in Bewegung*. Kongressbericht. 102 – 106.
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (2009). *Pädagogische Psychologie - Erfolgreiches Lernen und Lehren* (2. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Hasselhorn, M. & Grube, D. (2003a). Das Arbeitsgedächtnis: Funktionsweise, Entwicklung und Bedeutung für kognitive Leistungsstörungen. *Sprache, Stimme, Gehör*, 27, 31-37.
- Hasselhorn, M. & Grube, D. (2003b). The phonological similarity effect on memory span in children: Does it depend on age, speech rate, and articulatory supression? *International Journal of Bahavioral Development*, 27, 145-152.
- Hasselhorn, M. & Grube, D. (2006). Gedächtnisentwicklung (Grundlagen). In W. Schneider & B. Sodian (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich C Theorie und Forschung, Serie V Entwicklung, Band 2 Kognitive Entwicklung* (S. 271-325). Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M., Grube, D. & Mähler, C. (2000). Theoretisches Rahmenmodell für ein Diagnostikum zur differentiellen Funktionsanalyse des phonologischen Arbeitsgedächtnisses. In M. Hasselhorn, W. Schneider & H. Marx (Hrsg.), *Diagnostik von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten* (Tests und Trends - Jahrbuch der pädagogischpsychologischen Diagnostik, N.F., Bd. 1, S. 167-181). Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M., Grube, D., Mähler, C., Zoelch, C., Gaupp, N. & Schumann-Hengsteler, R. (2003). Differentialdiagnostik basaler Funktionen des Arbeitsgedächtnisses. In G. Ricken, A. Fritz & C. Hoffmann (Hrsg.), *Diagnose: Sonderpädagogischer Förderbedarf* (S. 277-291). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Hasselhorn, M. & Körner, K. (1997). Nachsprechen von Kunstwörtern: Zum Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnis und syntaktischen Sprachleistungen bei Sechs- und Achtjährigen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 29, 212-224
- Hasselhorn, M., Lingelbach, H. & Gabert, A. (1991). Zur Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses bei Schulkindern: Ist der phonetische Ähnlichkeitseffekt auf die Gedächtnisspanne wirklich altersabhängig? *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie u. Pädagogische Psychologie*, 23, 148-158.
- Hasselhorn, M. & Marx, H. (2000). Phonologisches Arbeitsgedächtnis und Leseleistungen. Ein Vergleich zwischen dysphasisch-sprachentwicklungsgestörten und

- sprachunauffälligen Kindern. In: Hasselhorn, M., Schneider, W. & Marx, H. (Hrsg.), *Diagnostik von Lese- Rechtschreibschwierigkeiten. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik. Tests und Trends*. (S. 135 – 148). Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M., Seidler-Brandler, U. & Körner, K. (2000). Ist das "Nachsprechen von Kunstwörtern" für die Entwicklungsdiagnostik des phonologischen Gedächtnisses geeignet? In M. Hasselhorn, W. Schneider & H. Marx (Hrsg.), *Diagnostik von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik. Tests und Trends* (S. 119-133). Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M. & Schumann-Hengsteler, R. (2001). Arbeitsgedächtnis. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Aufl., S. 17-22). Weinheim: Beltz.
- Hasselhorn, M., Schumann-Hengsteler, R., Gronauer, J., Grube, D., Mähler, C., Schmid, I., Seitz-Stein, K. & Zoelch, C. (in Druck). *Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5-12 Jahren (AGTB 5-12)*. Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M., Tiffin-Richards, M. C., Woerner, W., Banaschewski, T. & Rothenberger, A. (2000). Spielt der phonetische Speicher des Arbeitsgedächtnisses eine bedeutsame Rolle für die Differentialdiagnose von Lese-Rechtschreib-Schwierigkeiten? Analysen zum „Kunstwörter-Nachsprechen“ bei Kindern mit LRS- und/oder HKS-Diagnose. In M. Hasselhorn, W. Schneider & H. Marx (Hrsg.), *Diagnostik von Lese- Rechtschreibschwierigkeiten. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik. Tests und Trends* (S. 149-165). Göttingen: Hogrefe.
- Heathcote, D. (1994). The role of visuo-spatial working memory in the mental addition of multi-digit addends. *Current Psychology of Cognition*, 13, 207-245
- Heckel, A. (2009). *Empirische und konzeptuelle Zusammenhänge von Intelligenz und Arbeitsgedächtnis*. Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Helland, T. & Asbjørnsen, A. (2004). Digit span in dyslexia: Variations according to language comprehension and mathematics skills. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 26, 31-43.
- Helmke, A. (1997). Individuelle Bedingungsfaktoren der Schulleistung: Ergebnisse aus dem SCHOLASTIK-Projekt. In F. E. Weinert & A. Helmke (Hrsg.), *Entwicklung im Grundschulalter* (S. 203-216). Weinheim: Beltz.
- Henry, L. A. & Millar, S. (1991). Memory span increase with age: A test of two hypotheses. *Journal of Experimental Child Psychology*, 51, 459-484.
- Hinz, A.C. (2010). *Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr? – Eine Untersuchung zur Entwicklung der Arbeitsgedächtniskomponenten bei Kindern im Alter von 5 bis 8 Jahren*. Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Hitch, G.J. (1978). The role of short-term working memory in mental arithmetic. *Cognitive Psychology*, 10, 302-323.

- Hitch, G. J., Cundick, J., Haughey, M., Pugh, R. & Wright, H. (1987). Aspects of counting in children's arithmetic. In S. A. Sloboda & D. Rogers. (Hrsg.), *Cognitive Processes in mathematics* (S. 26-41). New York: Clarendon Press.
- Hitch, G. J. & Halliday, M. S. (1983). Working memory in children. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 302, 324-340.
- Hitch, G. J., Halliday, M. S., Schaafstal, A. M. & Schraagen, J. M. (1988). Visual working memory in young children. *Memory and Cognition*, 16, 120-132.
- Hitch, G.J., Hulme, C. & Tordoff, V. (1989). Working memory development: The effects of speech rate, word length and acoustic similarity on serial recall. *Journal of Experimental Child Psychology*, 47(1), 72-87.
- Holmes, J. & Adams, J. W. (2006). Working memory and children's mathematical skills: Implications for mathematical development and mathematics curricula. *Educational psychology*, 26(3), 339 – 366.
- Holsgrove, J. V. & Garton, A. F. (2006). Phonological and syntactic processing and the role of working memory in reading comprehension among secondary school children. *Australian journal of psychology*, 58(2). 111 – 118.
- Hooper, S. R., Swartz, C. W., Wakely, M. B., de Kruif, R. E. L., & Montgomery, J. W. (2002). Executive functions in elementary school children with and without problems in written expression. *Journal of Learning Disabilities*, 35, 37-68.
- Hulme, C., Thomson, N., Muir, C. & Lawrence, A. (1984). Speech rate and the development of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 38, 241-253.
- Isaacs, E.B. & Vargha-Khadem, F. (1989). Differential course of development of spatial and verbal memory span: a normative study. *British Journal of Developmental Psychology*, 7, 377-380.
- Jacobs, J. (1887). Experiments on ‚prehension‘. *Mind*, 12, 78ff.
- Jäger, A. O. (1982). Mehrdimensionale Klassifikation von Intelligenzleistungen. Experimentell kontrollierte Weiterentwicklung eines deskriptiven Intelligenzstrukturmodells. *Diagnostica*, 28, 145–226.
- Jäger, A.O., Holling, H., Preckel, F., Schulze, R., Vock, M., Süß & Beauducel, A. (2006). *Berliner Intelligenzstrukturtest für Jugendliche: Begabungs- und Hochbegabungsdiagnostik (BIS-HB)*. Göttingen: Hogrefe.
- Jäger, A. O., Süß, H. M., & Beauducel, A. (1996). *Test für das Berliner Intelligenzstrukturmodell (BIS)*. Göttingen: Hogrefe.
- Jarvis, H. L. & Gathercole, S. E. (2003). Verbal and non-verbal working memory and achievements on national curriculum tests at 11 and 14 years of age. *Educational and Child Psychology*, 20, 123–140.

- Jensen, A.R. (1998). *The g-factor. The science of mental ability*. Westport: Praeger.
- Jones, D. (1993). Objects, streams, and threads of auditory attention. In A. Baddeley & L. Weiskrantz (Hrsg.), *Attention: Selection, awareness, and control* (S. 87-104). Oxford: Clarendon.
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., & Conway, A. R. A. (2005). Working memory capacity and fluid intelligence are strongly related constructs: Comment on Ackerman, Beier and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, 131(1), 66–71.
- Keshmirian, S. (2010). *Der Zusammenhang zwischen Intelligenz und Arbeitsgedächtnis im Grundschulalter*. Masterarbeit, Institut für Psychologie, Universität Hildesheim.
- Kibby, M., Marks, W., Morgan, S. & Long, C. (2004). Specific impairment in developmental reading disabilities: A working memory approach. *Journal of Learning Disabilities*, 37, 349-363.
- Klauer, H. J. (2001). Intelligenz und Begabung. In D. H. Rost, *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Aufl.) S. 280–285. Weinheim: Beltz.
- Klicpera, C., Gasteiger-Klicpera, B. & Schabmann, A. (1993). *Lesen und Schreiben – Entwicklung und Schwierigkeiten. Die Wiener Längsschnittuntersuchungen über die Entwicklung, den Verlauf und die Ursachen von Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten in der Pflichtschulzeit*. Bern: Huber.
- Köthe-Wagener, M. (2009). *Zum Einfluss des Arbeitsgedächtnisses auf interindividuelle Leistungsunterschiede in Mathematik bei Viertklässlern*. Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Krajewski, K. (2003). *Vorhersage von Rechenschwäche in der Grundschule*. Hamburg: Dr. Kovac.
- Krajewski, K. (2007). Entwicklung und Förderung der vorschulischen Mengen-Zahlen-Kompetenz und ihre Bedeutung für die mathematischen Schulleistungen. In: G. Schulte-Körne (Hrsg.), *Kongressband zum 15. Fachkongress des Verbands Legasthenie und Dyskalkulie*, 325-332.
- Krajewski, K. (2008a). Prävention der Rechenschwäche. In W. Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg), *Handbuch der Psychologie*, Bd. Pädagogische Psychologie. Göttingen: Hogrefe.
- Krajewski, K. (2008b). Vorschulische Förderung mathematischer Kompetenzen. In: F. Petermann & W. Schneider (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie*, Reihe Entwicklungspsychologie, Bd. Angewandte Entwicklungspsychologie, 275-304. Göttingen: Hogrefe.
- Krajewski, K., Liehm, S. & Schneider, W. (2004). *Deutscher Mathematiktest für zweite Klassen (DEMAT 2+)*. Göttingen: Beltz Test.
- Küspert, P. & Schneider, W. (1998). *Würzburger Leise-Leseprobe: WLLP – ein Gruppenlesetest für die Grundschule*. Göttingen: Hogrefe.

- Kyllonen, P. C. (1996). Is working memory capacity Spearman's g? In I. Dennis & P. Tapsfield (Hrsg.), *Human abilities. Their nature and measurement*. Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?! *Intelligence*, 14, 389–433.
- 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. & 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.
- Landerl, K., Wimmer, H. & Frith, U. (1997). The impact of orthographic consistency on dyslexia: A German-English comparison. *Cognition*, 63, 315-334.
- Langer, N. (2009). *Arbeitsgedächtnis und Intelligenz – Wie beeinflussen sie die Schulleistungen von Sechstklässlern?* Masterarbeit, Institut für Psychologie, Universität Hildesheim.
- Lee, K.-M. & Kang, S.-Y. (2002). Arithmetic operation and working memory: Differential suppression in dual tasks. *Cognition*, 83, B63- B68
- Lee, K., Ng, S.-F., Ng, E.-L. & Lim, Z.-Y. (2004). Working memory and literacy as predictors of performance on algebraic word problems. *Journal of Experimental Child Psychology*, 89, 140-158.
- Lehrl, S. (1977). *Mehrfachwahl-Wortschatz-Intelligenztest*. Erlangen: Straube.
- Lehrl, S. (1980). *Kurztest für allgemeine Intelligenz*. Vaterstetten: Vless.
- Lehrl, S. (1990). A basic information psychological parameter (BIP) for the reconstruction of concepts of intelligence. *European Journal of Personality*, 4, 259–286.
- Logie, R.H. (1986). Visual-spatial processing in working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38A, 229-247.
- Logie, R.H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove: Lawrence Erlbaum.
- Logie, R. H. & Marchetti, C. (1991). Visuo-spatial working memory: Visual, spatial or central executive? In R. H. Logie & M. Denis (Hrsg.), *Mental images in human cognition* (S. 105-115). Amsterdam: North Holland.
- Logie, R. H., & Pearson, D. G. (1997). The inner eye and the inner scribe of visuo-spatial working memory: Evidence from developmental fractionation. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9, 241-257.
- Logie, R.H., Zucco, G. & Baddeley, A.D. (1990). Interference with visual short-term memory. *Acta Psychologica*, 75, 55-74.

- Mähler, C. & Hasselhorn, M. (2001). "Achte auf den Fuchs – aber nur auf den Fuchs!" Zur Entwicklung einer zentral-exekutiven Arbeitsgedächtnisfunktion im Verlauf der Grundschuljahre. Poster auf der 15. Tagung der Fachgruppe Entwicklungspsychologie in Potsdam.
- Mähler, C. & Hasselhorn, M. (2003). Automatische Aktivierung des Rehearsalprozesses im phonologischen Arbeitsgedächtnis bei lernbehinderten Kindern und Erwachsenen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 255-260.
- Mähler, C. & Schuchardt, K. (2009). Working memory functioning in children with learning disabilities: Does intelligence make a difference? *Journal of Intellectual Disability Research*, 53, 3-10.
- Mayringer, H. & Wimmer, H. (1999). Kognitive Defizite Lese-Rechtschreibschwacher Kinder. *Kinder und Entwicklung*, 8, 141-146.
- McKenzie, B., Bull, R. & Gray, C. (2003). The effects of phonological and visual-spatial interference on children's arithmetic performance. *Educational and Child Psychology*, 20, 93-108
- McDougall, S., Hulme, C., Ellis, A. & Monk, A. (1994). Learning to Read: The Role of Short-Term Memory and Phonological Skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 58, 112-133.
- McLean, J. F. & Hitch, G. J. (1999). Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 74, 240-260
- Melchers, P. & Preuß, U. (2009). *Kaufmann Assessment Battery for Children (K-ABC)*. Frankfurt/Main: Pearson Assessment.
- Messerschmidt, A. (2010). *Arbeitsgedächtnis und Schulformen*. Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Miles, C. Morgan, M. J., Milne, A. B. & Morris, E. D. M. (1996). Developmental and individual differences in visual memory span. *Current Psychology*, 15, 53-67.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H. & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex „frontal lobe“ tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.
- Muth, K.D. (1984). Solving Arithmetic Word Problems: Role of Reading and Computational Skills. *Journal of Educational Psychology*, 76 (2), 205-210.
- Nachtigall, C. & Wirtz, M. (2009). *Wahrscheinlichkeitsrechnungen und Inferenzstatistik – Statistische Methoden für Psychologen – Teil 2 (5. Auflage)*. Weinheim: Juventa.
- Norman, D. A. & 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. Advances in research and theory* (4) (S. 1-18). New York: Plenum Press.

- Numminen, H., Service, E., Ahonen, T., Korhonen, T., Tolvanen, A., Patja, K., & Ruoppila, I. (2000). Working memory structure and intellectual disability. *Journal of Intellectual Disability Research*, 44(5), 579–590.
- Oberauer, K., Schulze, R., Wilhelm, O., & Süß, H. M. (2005). Working memory and intelligence - Their correlation and their relation: Comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, 131(1), 61–65.
- Oberbremer, L. (2010). *Arbeitsgedächtnisleistungen von Kindern mit und ohne ADHS*. Diplomarbeit, Fachbereich Psychologie, Universität Hamburg.
- Oerter, R. (2002). Kindheit. In R. Oerter & L. Montada (Hrsg.). *Entwicklungspsychologie* (S. 209-257). Weinheim: Beltz.
- Orsini, A. (1994). Corsi's block-tapping test: Standardisation and concurrent validity whit WISC-R form children aged 11 to 16. *Perceptual and Motor Skills*, 79, 1547-1554.
- Palmer, S. (2000). Working memory: A developmental study of phonological recording. *Memory*, 8, 179–193.
- Passolunghi, M. C. & Siegel, L. S. (2001). Short-term memory, working-memory and inhibitory control in children with difficulites in arithmetic problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, 44-57.
- Petermann, F. & Petermann, U. (2010). *Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Kinder – IV (HAWIK-IV)*. Bern: Huber.
- Pickering, S.J. (2001). The development of visuo-spatial working memory. *Memory*, 9, 423-432.
- Pickering, S. J. (2006a). *Working memory and education*. San Diego, CA: Academic Press.
- Pickering, S. J. (2006b). Working memory in dyslexia. In T. P. Alloway & S. E. Gathercole (Hrsg.), *Working memory and neurodevelopmental condition* (S. 7-40). Hove: Psychology Press.
- Pickering, S. J. & Gathercole, S. E. (2001). *Working Memory Test Battery for Children (WMTB-C)*. London: The Psychological Corporation.
- Pickering, S.J., Gathercole, S.E., Hall, M. & Lloyd, S.A. (2001). Development of memory for pattern and path: Further evidence for the fractionation of visuo-spatial memory. *Quaterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 54A(2), 397-420.
- Radatz, H. (1983). Untersuchungen zum Lösen eingekleideter Aufgaben. *Journal für Mathematikdidaktik*, 3, 205-217.
- Raven, J. C., Raven, J. E., & Court, J. H. (1998). *Progressive matrices*. Oxford: Oxford Psychologists Press.

-
- Reimann, G. (2009). *Unterscheiden sich schriftsprachschwache von schriftsprachstarken Viertklässlern in der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses?* Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Reiter, A., Tucha, O. & Lange, K. W. (2005). Executive Functions in Children with Dyslexia. *Dyslexia*, 11, 116-131.
- Reuhkala, M (2001). Mathematical skills in ninth-graders: Relationship with visuo-spatial abilities and working memory. *Educational psychology*, 21(4), 387– 399.
- Ricken, G. & Fritz, A. (2006) Rechenschwächen. In D. H. Rost (Hrsg), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 609-616). Weinheim: Beltz.
- Roebers, C. M. & Zoelch, C. (2005). Erfassung und Struktur des phonologischen und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses bei 4-jährigen Kindern. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 37(3), 113–121.
- Rogosch, E. (2009). *Wie hängen Lesen und Rechtschreiben mit dem Arbeitsgedächtnis zusammen?* Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Roick, T., Göllitz, D. & Hasselhorn, M. (2004). *DEMAT 3+, Deutscher Mathematiktest für dritte Klassen*. Göttingen: Beltz Test.
- Roodenrys, S., Hulme, C. & Brown, G. (1993). The development of short-term memory span: Separable effects of speech rate and long-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56, 431-442.
- Roodenrys, S. & Stokes, J. (2001). Serial recall and nonword repetition in reading disabled children. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 14, 379-394.
- Rychlik, A. (2010). *Entwicklung der Arbeitsgedächtnis-Subsysteme bei 9- bis 12-jährigen Kindern*. Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Saito, S. (2001). The phonological loop and memory for rhythms: An individual differences approach. *Memory*, 9(4), 313-322.
- Salamé, P. & Baddeley, A.D. (1982). Disruption of short-term memory by unattended speech: Implications for the structure of working memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 21, 150-164.
- Salamé, P. & Baddeley, A.D. (1989). Effects of background music on phonological short-term memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 41A, 107-122.
- Scarborough, H. S. (1990). Very early language deficits in dyslexic children. *Child Development*, 61, 1728-1743.
- Scheerer-Neumann, G. (1997). Lesen und Leseschwierigkeiten. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Psychologie des Unterrichts und der Schule* (S.279-325). Göttingen: Hogrefe.

- Schmid, I. (2007). *Lässt sich das Arbeitsgedächtnis durch die Personalisierung mathematischer Textaufgaben entlasten?* Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Schmid, C., Zoelch, C. & Roebers, C. (2008). Das Arbeitsgedächtnis von 4- bis 5-jährigen Kindern – Theoretische und empirische Analyse seiner Funktionen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 40, 2-12.
- Schneider, W. (1997). Rechtschreiben und Rechtschreibschwierigkeiten. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Psychologie des Unterrichts und der Schule*. (S. 327-363). Göttingen: Hogrefe.
- Schneider, W. (2001a). Lesenlernen. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S.434-441). Weinheim: Beltz.
- Schneider, W. (2001b). Training der phonologischen Bewusstheit. In K.J. Klauer (Hrsg.), *Handbuch kognitives Training*. (2. überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 69-92). Göttingen: Hogrefe.
- Schuchardt, K. (2008). *Arbeitsgedächtnis und Lernstörungen: Differenzielle Analysen der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern mit Lernstörungen*. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- 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. & Hasselhorn, M. (2008). Working Memory Deficits in Children With Specific Learning Disorders. *Journal of Learning Disabilities*, 41, 514-523
- Schuchardt, K., Roick, T., Mähler, C. & Hasselhorn, M. (2008). Unterscheidet sich die Struktur des Arbeitsgedächtnisses bei Schulkindern mit und ohne Lernstörung? *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 40, 147-151.
- Schumann-Hengsteler, R. (1995). Die Entwicklung des visuell-räumlichen Gedächtnisses. Göttingen: Hogrefe.
- Schumann-Hengsteler, R., Grube, D., Zoelch, Ch., Mähler, C., Seitz-Stein, K., Schmid, I., Gronauer, J. & Hasselhorn, M. (2010). Differentialdiagnostik der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern mit der AGTB 5-12. In H.-P. Trollenier, W. Lenhard & P. Marx (Hrsg.), *Brennpunkte der Gedächtnisforschung – Entwicklungs- und pädagogisch-psychologische Perspektiven* (S. 305-319). Göttingen: Hogrefe.
- Schumann-Hengsteler, R., Strobl, M. & Zoelch, C. (2004). Temporal memory for locations: On the coding of spatio-temporal information in children and adults. In G. Allen (Hrsg.), *Human spatial memory: Remembering where*. New York: Lawrence Erlbaum.
- Schweickert, R., Chen, S. & Poirier, M. (1999). Redintegration and the useful lifetime of the verbal memory representation. *International Journal of Psychology*, 34, 447-453.

-
- Seigneuric, A., Ehrlich, M. F., Oakhill, J. V. & Yuill, N. M. (2000). Working memory resources and children's reading comprehension. *Reading and Writing*, 13, 81–103.
- Seitz, K. & Schumann-Hengsteler, R. (2000). Mental multiplication and working memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, 12, 552-570.
- Seitz, K. & Schumann-Hengsteler, R. (2002). Phonological loop and central executive processes in mental addition and multiplication. *Psychologische Beiträge*, 44, 275-302.
- Senftleben, C. (2009). *Gibt es Geschlechtsunterschiede im Arbeitsgedächtnis bei Kindern?* Masterarbeit, Institut für Psychologie, Universität Hildesheim.
- Sesma, H. W., Mahone, E. M., Levine, T., Eason, S. H. & Cutting, L. E. (2009). The Contribution of Executive Skills to Reading Comprehension. *Child Neuropsychology*, 15, 232-246.
- Shanahan, T. (1984). Nature of the Reading-Writing Relation: An Exploratory Multivariate Analysis. *Journal of Educational Psychology*, 76 (3), 466-477.
- Shankweiler, D., Crain, S., Katz, L., Fowler, A. E., Liberman, A. M., Brady, S. A., Thornton, R., Lundquist, E., Dreyer, L., Fletcher, J., Stuebing, K., Shaywitz, S. & Shaywitz, B. (1995). Cognitive profiles of reading disabled children: Comparison of language skills in phonology, morphology and syntax. *Psychological Science*, 6, 149-156.
- Siegel, L. S. (1994). Working memory and reading: A life-span perspective. *International Journal of Behavioural Development*, 17, 109-124.
- Siegel, L. S. & Ryan, E. B. (1989). The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development*, 60, 973-980.
- Siegler, R.S. (1987). The perils of averaging data over strategies: An example from children's addition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116, 250-264.
- Siegler, R. S. (1988). Strategy choice procedures and the development of multiplication skill. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 258-275.
- Siegler, R. S. (1998). *Children's thinking*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Simon, D. P. (1970). Spelling – A task analysis. *Instructional Science*, 5, 277-302.
- Simon, D. P. & Simon, H. A. (1973). Alternative uses of phonemic information in spelling. *Review of Educational Research*, 43, 115-137.
- Sloboda, J. A. (1980). Visual imagery and individual differences in spelling. In U. Frith (Hrsg.), *Cognitive processes in spelling* (S. 231-250). New York: Academic Press.
- Snodgrass, J. G. & Corwin, J. (1988). Pragmatics of Measuring Recognition Memory: Application to Dementia and Amnesia. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117(1), 34-50.

- Spearman, C. (1923). *The nature of intelligence and the principles of cognition*. London: Macmillan.
- Spearman, C. (1927). *The abilities of man: Their nature and measurement*. New York: Macmillan.
- Stage, S. A. & Wagner, R. K. (1992). Development of young children's phonological and orthographic knowledge as revealed by their spellings. *Developmental Psychology*, 28 (2), 287-296.
- Steinbrink, C. & Klatte, M. (2007). Phonological Working Memory in German Children with Poor Reading and Spelling Abilities. *Dyslexia*, 14, 271-290.
- Stern, E. (1994). Wie viele Kinder bekommen keinen Mohrenkopf? Zur Bedeutung der Kontexteinbettung beim Verstehen des quantitativen Vergleiches. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 26, 79-93.
- Sternberg, R.J. (2000). *Handbook of intelligence*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Stock, C. & Schneider, W. (2008a). *Deutscher Rechtschreibtest für das erste und zweite Schuljahr* (DERET 1-2+). Göttingen: Hogrefe.
- Stock, C. & Schneider, W. (2008b). *Deutscher Rechtschreibtest für das dritte und vierte Schuljahr* (DERET 3-4+). Göttingen: Hogrefe.
- Stothard, S. E. & Hulme, C. (1992). Reading comprehension difficulties in children. The role of language comprehension and working memory skills. *Reading and Writing: And Interdisciplinary Journal*, 4, 245-256.
- Stothard, S. E. & Hulme, C. (1995). A Comparison of Phonological Skills in Children with Reading Comprehension Difficulties and Children with Decoding Difficulties. *The Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 36 (3), 399-408.
- Strobl, M., Strametz, D. & Schumann-Hengsteler, R. (2002). *Effekte der Aufgabenkomplexität und Matrixgröße auf die Matrix-Muster-Aufgabe*. Eichstätt: Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interferences in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Stuff, M. (2006). *Rechenleistung und Arbeitsgedächtnis im Verlauf der Grundschuljahre*. Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Süß, H. M. (2001). Prädiktive Validität der Intelligenz im schulischen und außerschulischen Bereich. In E. Stern & J. Guthke (Hrsg.), *Perspektiven der Intelligenzforschung*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Süß, H.-M., Oberauer, K., Wittmann, W. W., Wilhelm, O. & Schulze, R. (2002). Working memory capacity explains reasoning ability – and a little bit more. *Intelligence*, 30, 261 – 288.

-
- Swanson, H. L. (1989). The effects of central processing strategies on learning disabled, mildly retarded, average and gifted children's elaborative encoding abilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 47, 370-397.
- Swanson, H. L. (1993). Working memory in learning disability subgroups. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56, 87-114.
- Swanson, H. L. (1999). Reading Comprehension and Working Memory in Learning-Disabled Readers: Is the Phonological Loop More Important Than the Executive System? *Journal of Experimental Child Psychology*, 72, 1-31.
- Swanson, H. L. (2003). Age-related differences in learning disabled and skilled readers' working memory. *Journal of experimental child psychology*, 85, 1 – 31.
- Swanson, H. L. (2006). Working memory and reading disabilities: Both phonological and executive processing deficits are important. In T. P. Alloway & S. E. Gathercole (Hrsg.), *Working memory and neurodevelopmental disorders* (S. 59-88). Hove: Psychology Press.
- Swanson, H. L. (2008). Working memory and intelligence in children: What develops? *Journal of Educational Psychology*, 100(3), 581–602.
- Swanson, H. L. & Alexander, J. E. (1997). Cognitive Processes as Predictor of Word Recognition and Reading Comprehension in Learning-Disabled and Skilled Readers: Revisiting the Specificity Hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 89 (1), 128-158.
- Swanson, H. L., Ashbaker, M. H. & Lee, C. S. (1996). Learning-disabled readers' working memory as a function of processing demands. *Journal of Experimental Child Psychology*, 61, 242 -275.
- Swanson, H.L. & Beebe-Frankenberger, M. (2004). The Relationship Between Working Memory and Mathematical Problem Solving in Children at Risk and Not at Risk for Serious Math Difficulties. *Journal of Educational Psychology*, 96 (3), 471-491.
- Swanson, H. L. & Berninger, V. W. (1995). The Role of Working Memory in Skilled and Less Skilled Readers' Comprehension. *Intelligence*, 21, 83-108.
- Swanson, H. L. & Berninger, V. W. (1996). Individual Differences in Children's Working Memory and Writing Skill. *Journal of Experimental Child Psychology*, 63, 358-385.
- Swanson, H. L. & Jerman, O. (2007). The influence of working memory on reading growth in subgroups of children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 96, 249-283.
- Terman, L. M. (1923). *Die Intelligenz-Prüfung Binet-Simon in der Revision Terman (Stanford-Binet Revision)*. London: Harrap.
- Thurstone, L. L. (1938). *Primary mental abilities: Psychometric Monographs (Serial No. 1)*. Chicago: University of Chicago Press.

- Tiedemann, J. & Billmann-Mahecha, E. (2004). Kontextfaktoren der Schulleistung im Grundschulalter. Ergebnisse aus der Hannoverschen Grundschulstudie. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 18, 113-124
- Tillman, C. M., Nyberg, L., Bohlin, G. (2008). Working memory components and intelligence in children. *Intelligence*, 36, 394-402.
- Towse, J.N. & Houston-Price, C.M.T. (2001). Reflections on the concept of central executive. In J. Andrade (Hrsg.), *Working memory in perspective* (pp. 240-260). Hove: Psychology Press.
- Towse, J. N. & Mclachlan, A. (1999a). *A developmental study of random generation in children* (Technical report No. CDRG6). London: Royal Holloway University.
- Towse, J. N. & Mclachlan, A. (1999b). An exploration of random generation among children. *British Journal of Developmental Psychology*, 17, 363-380.
- Turner, M. L. & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory & Language*, 28(2), 127-154.
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J. & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): What have we learned in the past four decades. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45, 2-40.
- Verguts, T., & de Boeck, P. (2002). On the correlation between working memory capacity and performance in intelligence tests. *Learning and Individual Differences*, 13, 37–55.
- Vock, M. (2005). *Arbeitsgedächtniskapazität bei Kindern mit durchschnittlicher und hoher Intelligenz*. Dissertation, Universität Münster. [<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:6-54699385752>].
- von Aster, M., Neubauer, A. & Horn, R. (2006). *Wechsler Intelligenztest für Erwachsene (WIE)*. Göttingen: Hogrefe.
- 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.
- Wagner, R. K., Torgesen, J. K. & Rashotte, C. A. (1994). Development of reading-related phonological processing abilities: New evidence of bidirectional causality from a latent variable longitudinal study. *Developmental Psychology*, 30, 73-87.
- Weberschock, U. & Grube, D. (2006). Zur Spezifität von Einflüssen der Arbeitsgedächtniskapazität und des arithmetischen Faktenwissens auf Rechenleistungen von Viertklässlern. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 53, 291-302
- Wechsler, D. (1944). *The measurement of adult intelligence* (3. Aufl.). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Weiß, R.H. (2008). *CFT 20-R – Grundintelligenztest Skala 2 - Revision*. Göttingen: Hogrefe.

-
- Widaman, K.F., Little, T.D., Geary, D.C. & Cormier, P. (1992). Individual differences in the development of skill in mental addition: Internal and external validation of chronometric models. *Learning and Individual Differences*, 4, 167-213.
- Wilson J. T. L., Scott, J. H. & Power, K. G. (1987). Developmental differences in the span of visual memory for pattern. *British Journal of Developmental Psychology*, 5, 249-255.
- Wimmer, H. & Goswami, U. (1994). The influence of orthographic consistency on reading development: Word recognition in English and German children. *Cognition*, 51, 91-103.
- Worgt, M. (2010). *Verändert sich die Struktur des Arbeitsgedächtnisses im Altersbereich zwischen 5 und 12 Jahren?* Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- World Health Organization (WHO) (2005). *ICD: classification of mental and behavioural disorders: Clinical descriptions and diagnostic guidelines* (10th revision). WHO: Geneva.
- Wright, I., Waterman, M., Prescott, H. & Murdoch-Eaton, D. (2003). A new Stroop-like measure of inhibitory function development. Typical developmental trends. *Journal of child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*, 44 (4), 561-575.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358, 749-750
- Zietz, J. (2009). *Verfügen hochbegabte Kinder über ein besseres Arbeitsgedächtnis?* Diplomarbeit, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Universität Göttingen.
- Zoelch, C. (2005). *Zur Messung sich entwickelnder zentral-exekutiver Basisprozesse bei Vor- und Grundschulkindern mit der Random Generation Aufgabe*. Eichstätt: Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt. Stand: 07.07.2006, <http://www.opus-bayern.de/ku-eichstaett/volltexte/2006/35/> .
- Zoelch, C., Pohl, S. & Schumann-Hengsteler, R. (1998). *Pfad- und Komplexitätseffekte bei der Corsi-Block-Aufgabe* (Eichstätter Berichte zur Entwicklungs- und Pädagogischen Psychologie Nr. 13). Katholische Universität Eichstätt.

Danksagung

Zu allererst möchte ich mich bei allen **Kindern** bedanken, die mit viel Freude und Ausdauer an dieser Untersuchung teilgenommen haben, sowie bei deren **Eltern** für die Einwilligung in die Teilnahme. Weiterhin gilt mein Dank allen **Lehrern und Mitarbeitern der beteiligten Schulen und Einrichtungen** für ihre Geduld und ihre Kooperationsbereitschaft, durch die ein reibungsloser Untersuchungsablauf möglich war.

Prof. Marcus Hasselhorn danke ich außer der Übernahme des Referats dieser Arbeit dafür, dass er mir die Möglichkeit gegeben hat, im AGTB-Projekt mitzuarbeiten und diese Arbeit anfertigen zu können. Er hat mich mit Ideen und Vorschlägen unterstützt und war mit Menschlichkeit und Geduld für mich da. Auch **Prof. Claudia Mähler** hat nicht nur das Korreferat übernommen, sondern mich während der gesamten Promotionszeit sehr hilfreich und unterstützend begleitet. **Prof. Dietmar Grube** stand mir als Betreuer meiner Arbeit ebenfalls von Anfang an mit Hilfe und Rat zur Seite. Dafür möchte ich ihnen ganz herzlich danken.

Die Entwicklung der Arbeitsgedächtnistestbatterie war nur durch eine enge und vertrauensvolle Zusammenarbeit mit den beteiligten Partnern, dem **Hogrefe-Verlag** und insbesondere **Dr. Michael Vogtmeier, Jörg Hampe** und **Karl-Heinz Schlawis**, sowie der **Softwareentwicklungsfirma intranda** und ihrem Inhaber **Steffen Hankiewicz** möglich. Dafür möchte ich mich an dieser Stelle ganz herzlich bedanken. Mein Dank geht auch an die Mitautoren und Kollegen der ehemaligen **Eichstätter Arbeitsgruppe** für ihre Zusammenarbeit bei der Erstellung der Testbatterie.

Ich danke allen **Kollegen und Hilfskräften der ehemaligen Abteilung „Pädagogische und Entwicklungspsychologie“**, die mir immer tatkräftig zur Seite gestanden haben. Insbesondere **Dr. Rebekka Martinez Méndez** hat mir durch Diskussionen und Austausch oft geholfen. Besonders großer Dank gebührt **Regina Zörner**, die mit unermüdlichem Einsatz, hervorragendem Organisationstalent und immer einem offenen Ohr bei allen Probleme für mich da war. Auch **Sebastian Hanelt** hat als meine „rechte Hand“ ganz entscheidend zum Gelingen der Untersuchung und der Datenaufbereitung beigetragen: ganz herzlichen Dank dafür. Bedanken möchte ich mich auch bei den **aktuellen Mitarbeiter und Hilfskräfte der**

neuen Abteilung „biologische Entwicklungspsychologie“, die mich herzlich aufgenommen haben.

Um die große Menge an Daten für das Normierungsprojekt der AGTB 5-12 erheben zu können, waren sehr viele **Hilfskräfte, Diplomanden und Masterstudenten in Göttingen, Hildesheim, Frankfurt und Eichstätt** im Einsatz. Ihnen allen gilt mein Dank. Insbesondere möchte ich mich beim Göttinger AGTB-Diplomarbeitsteam – **meinen 10 „AGTB-Mädels“** Julia Bürmann, Nadin Freund, Amrei Heckel, Alexandra Hinz, Miriam Köthe-Wagener, Andrea Messerschmidt, Gwen Reimann, Eva Rogosch, Anna Rychlik und Maria Worgt – für die tolle und motivierende Zusammenarbeit auch über den beruflichen Kontext hinaus bedanken.

Stellvertretend für alle **Freunde**, die mich unterstützt, durch Gespräche ermutigt und mit Unternehmungen abgelenkt haben, möchte ich mich bei Dr. Alex und Sarah Ahlborn, Florian Alpers, Jasmin Ernst, Marlen Kaufmann und Anna, Miriam Köthe-Wagener, Dr. Dennis Kröninger, Dr. Kevin und Katrin Kröninger, Dr. Nils Lakomek, Matthias Lange, Judith Müller und Marc Pauli bedanken. Für viele Tipps und aufmunternden Erfahrungsaustausch danke ich **Dr. Renate Schweizer**.

Während der gesamten Zeit der Promotion hat meine Familie immer an mich geglaubt und mich stets ermuntert, durchzuhalten und das Ziel nicht aus den Augen zu verlieren. Dafür gilt mein Dank meinen Eltern **Martina Schmid-Joachim** – die außerdem sehr hilfreiche Organisationsarbeit bei der Untersuchung in der Grundschule geleistet hat – und **Hans-Jörg Schmid**, meiner Schwester **Lena Schmid** sowie meinen „Schwiegereltern“ **Hannelore und Wolfhard Köhler**. Große Unterstützung im vergangenen Jahr des Zusammenschreibens der Arbeit hat auch **Mia** geleistet, der ich dafür ganz besonders danke.

Der wahrscheinlich größte Dank geht an meinen Freund **Dr. Karsten Köhler**. Um aufzuzählen, auf welche Weise er mich, das AGTB-Projekt und diese Arbeit unterstützt hat, bräuchte es Seiten. Er hat u. a. bei Problemen mit der Technik, der Software, der Statistik und der Projektplanung und -durchführung sowie bei allen auftretenden „Notfällen“ immer wieder helfend eingegriffen. Außerdem hat er alle Höhen und Tiefen des Projekts und dieser Arbeit geduldig und hilfreich begleitet und einen ganz entscheidenden Beitrag zum Gelingen geleistet.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Inga Schmid
Anschrift: Petrikirchstraße 27, 37077 Göttingen
Geburtsdatum & -ort: 02.01.1980, Göttingen
Familienstand: ledig, keine Kinder
Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulausbildung

1986 - 1990: Grundschule Höltytschule, Göttingen
1990 - 1992: Orientierungsstufe Lutherschule, Göttingen
1996 - 1997: South Mecklenburg Highschool, Charlotte, North Carolina, USA
1992 - 1999: Europaschule Theodor-Heuss-Gymnasium, Göttingen

Hochschulausbildung

Okt. 1999 - April 2001: Jurastudium, Georg-August-Universität Göttingen
Okt. 2001 - Juni 2007: Psychologiestudium am Georg-Elias-Müller-Institut, Georg-August-Universität, Göttingen
seit April 2007: Doktorandin im Projekt „Entwicklung einer Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder im Alter von 5-12 Jahren“

Praktika, Weiterbildung und berufliche Tätigkeit

Februar - August 2001: Freiwilliges Soziales Jahr, Kinderhaus e.V., Göttingen
Januar - Mai 2003: Fortbildung in Gesprächsführung beim Kinder- und Jugendtelefon Göttingen
April - Dez. 2003: Studentische Hilfskraft in der Abteilung für Kognitionswissenschaft und Entscheidungspsychologie am Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie der Georg-August-Universität Göttingen
Februar/März 2004: Praktikum bei der Kontakt- und Beratungsstelle und der Institutsambulanz der Kinder- und Jugendpsychiatrie Göttingen
März - Juni 2005: Praktikum in der Erziehungsberatungsstelle der Caritas Göttingen
April 2007 - März 2009: Studentische bzw. wissenschaftliche Hilfskraft in der Abteilung für Pädagogische und Entwicklungspsychologie am Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie der Georg-August-Universität Göttingen
Okt. 2008 - April 2009: Lehrbeauftragte an der HAWK Holzminden an der Fakultät „Soziale Arbeit und Gesundheit“ im Bachelorstudiengang „Soziale Arbeit“ für 2 Seminare zum Thema „Verhaltensauffälligkeiten bei Kindern und Jugendlichen“
April 2009 - Dez. 2010: Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung für biologische Entwicklungspsychologie am Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie der Georg-August-Universität Göttingen
seit Januar 2010: Weiterbildung zur Psychologischen Psychotherapeutin mit Zusatzqualifikation für Kinder und Jugendliche an der AWKV Kassel
September 2010: Korreferentin für Bachelorarbeit und -prüfung an der HAWK Holzminden