Kognitive Determinanten unterschiedlicher Rechenleistungen in der Primarstufe: Arbeitsgedächtnismerkmale und Aufmerksamkeitsaspekte

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Thorsten Roick
aus Nordhorn

Göttingen, 2006

D7

Referent: Prof. Dr. Marcus Hasselhorn

Korreferent: PD Dr. Dietmar Grube

Tag der mündlichen Prüfung: 04. Juli 2006

„Einige Personen halten dafür“, fuhr er fort, noch immer zaudernd, „daß es eine Weisheit des Kopfes gibt und daß es eine Weisheit des Herzens gibt. Ich habe daran nicht geglaubt; aber wie gesagt, ich mißtraue mir jetzt. Ich habe geglaubt, der Kopf sei zu allem vollkommen genüge. Vielleicht ist er doch nicht zu allem genüge; wie könnte ich heute morgen zu behaupten wagen, er sei es!“

(Charles Dickens, *Harte Zeiten*)

Vorwort

Für die vergangenen zwei Dekaden lässt sich ein bedeutsamer Anstieg allgemein- und differenzialpsychologisch orientierter Forschungsarbeiten zu schulischen Rechenleistungen und Rechenschwächen verzeichnen. Dennoch, ein gesichertes kausales Modell über die zentralen Determinanten für schulische Rechenleistungen und Rechenschwächen konnte bislang nicht aufgestellt werden. Vielmehr präsentiert sich die Forschungslandschaft noch als grobe Zusammenstellung zahlreicher Einzelbefunde. Mittlerweile liegen jedoch fundierte Erkenntnisse darüber vor, in welchen Bereichen die zentralen Determinanten für Rechenleistungen und -schwächen zu suchen sind. Hierzu zählen insbesondere das im schulischen Kontext kumulativ erworbene (curriculare) Vorwissen (z.B. Faktenwissen, Rechenregeln) sowie die bereits vorschulisch vorhandenen (nicht-curricularen) Wissensbestände und Fertigkeiten (z.B. Kenntnis der Zahlenreihe, Mengenvorwissen). Ebenso konnten eine Reihe von kognitiven Determinanten mit Bedeutung für schulische Rechenleistungen und Rechenschwächen identifiziert werden. Hier deutet sich an, dass neben einer spezifischen Ausstattung des kognitiven Apparates (z.B. Funktionalität der Zahlverarbeitung, zahlspezifische Repräsentationen im Langzeitgedächtnis) auch unspezifische Ausstattungsmerkmale (z.B. Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis, Metakognition) von Bedeutung sind. Ebenfalls betrachtenswert, wenn auch bislang wenig beforscht, sind motivationale und emotionale Komponenten.

Die vorliegende Arbeit greift zwei der als zentral erachteten kognitiven Determinanten heraus und untersucht ihre Bedeutung für Rechenleistungen im experimentellen Setting. Diese Untersuchung sowie die Abfassung dieser Arbeit wäre ohne die Mithilfe weiterer Personen nicht möglich gewesen, denen ich an dieser Stelle meinen Dank aussprechen möchte.

Zunächst einmal sei herzlich den Schülerinnen und Schülern sowie den Lehrerinnen und Lehrern der fünf Göttinger Grundschulen gedankt, die durch ihre engagierte Mitarbeit und Unterstützung die Durchführung dieser Untersuchung ermöglicht haben.

Ein besonderer Dank geht an Prof. Dr. Marcus Hasselhorn, der die hier vorgestellte Untersuchung von Anfang an kompromisslos unterstützt hat und stets wertvolle Denkanstöße gab. Ebenso sei den Kolleginnen und Kollegen der Abteilung Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie des Göttinger Georg-Elias-Müller-Instituts für Psychologie gedankt, die durch konstruktive Gespräche und Diskussionen diese Arbeit auch inhaltlich mitgeformt haben. Besonders danken möchte ich Dietmar Gölitz, PD Dr. Dietmar Grube sowie Dr. Cora Titz, die für meine Belange immer ein offenes Ohr hatten. Mein Dank gilt auch Silvana Geese sowie Christian Müller, die im Rahmen ihrer Diplomarbeiten nicht nur wesentlich zur Erhebung der Daten beigetragen haben, sondern auch als wichtige und kritische Diskutanten fungierten.

Ein besonderer Dank geht an Britta Hartmann, die die Lesbarkeit dieser Arbeit erheblich verbessert hat und neben der Bereinigung von Rechtschreibfehlern auch zur Bereinigung inhaltlicher Unschärfen beitrug. Insbesondere ihr und meiner Familie danke ich auch für die liebevolle Unterstützung, die mir in der vergangenen Zeit zuteil wurde.

Göttingen, Juni 2007 Thorsten Roick

1. EINLEITUNG 9

2. ENTWICKLUNG VON RECHENLEISTUNGEN 11
2.1 Frühe numerische Fertigkeiten 13
2.2 Veränderungen im Vorschul- und Schulalter 18
2.3 Modelle des erwachsenen Rechners 24
2.4 Fazit: Entwicklung des Rechnens 26

3. DEFINITION UND EPIDEMIOLOGIE VON RECHENSCHWÄCHEN 28
3.1 Begriffsbestimmung: Rechenleistung, Rechenschwäche, Rechenstörung 29
3.2 Komorbidität und Subtypen 36
3.3 Häufigkeit, Dauer und Verlauf von Rechenproblemen 49
3.4 Fazit: Terminologie, Gruppendifferenzierung und Forschungsstrategie 51

4. KOGNITIVE DETERMINANTEN VON RECHENSCHWIERIGKEITEN 54
4.1 Bereichsspezifische Kompetenzen 55
4.2 Arbeitsgedächtnis 60
4.2.1 Das Mehrkomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses 60
4.2.2 Befunde zu Arbeitsgedächtnis und Rechenleistung bei Erwachsenen 63
4.2.3 Befunde zu Arbeitsgedächtnis und Rechenleistung bei Kindern 64
4.3 Aufmerksamkeit und Hemmung 70
4.4 Fazit: Bedeutung der kognitiven Determinanten 74

5. ZUSAMMENFASSUNG DES FORSCHUNGSSTANDES UND ABLEITUNG DER FRAGESTELLUNGEN FÜR DIE EIGENE UNTERSUCHUNG 75

6. METHODE DER UNTERSUCHUNG 79
6.1 Untersuchungsdesign 79
6.2 Untersuchungsinstrumente 80
6.2.1 Leistungstests 80
6.2.2 Variablen des Arbeitsgedächtnisparadigmas 85
6.2.3 Variablen des Mengenerfassungsparadigmas 88
6.2.4 Weitere Individualmaße 91
6.3 Überlegungen zur Testplanung 92
6.4 Beschreibung der Stichprobe 94
6.4.1 Basisstichprobe 94
6.4.2 Experimentalstichprobe 95
6.5 Durchführung der Untersuchung 96

7. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNG 99
7.1 Deskriptive Analyse 99
7.1.1 Gruppendifferenzierung und „Manipulation check“ 99
7.1.2 Zusammenhangsanalyse und Relevanzbewertung 103
7.2 Arbeitsgedächtnismerkmale 106
7.2.1 Allgemeine Defizithypothese 106
7.2.2 Differenzielle Defizithypothese 108
7.2.3 Strukturelle Defizithypothese 111
7.2.4 Zusatzanalysen zu Aufmerksamkeitsaspekten in den Arbeitsgedächtnisanforderungen 113
7.3 Aspekte der selektiven Aufmerksamkeit 117
7.3.1 Fehlreaktionen und Ausreißerkontrolle 117
7.3.2 Differenzierung der Mengenerfassungsprozesse 120
7.3.3 Allgemeine Defizithypothese 123
7.3.4 Differenzielle Defizithypothese 127
7.3.5 Strukturelle Defizithypothese 129

8. DISKUSSION UND AUSBLICK 132
8.1 Betrachtung der Variablen-Operationalisierung 133
8.2 Zusammenfassung der Befunde 136
8.3 Implikationen für die Praxis und Ausblick 142

9. ZUSAMMENFASSUNG 144

10. LITERATUR 146

ANHANG A: MATERIALIEN ZU DEN GRUPPENTESTS 176
A.1 Instruktion DIRG, CFT 20 und WLLP 176
A.2 Protokollbogen CFT 20 184
A.3 Instruktion zum Kettenrechner 3-4 188

ANHANG B: MATERIALIEN DER INDIVIDUALUNTERSUCHUNG 194
B.1 Protokollbogen Mengenerfassung 194
B.2 Protokollbogen Corsi-Block-Spannen-Aufgabe 196
B.3 Protokollbogen für Trail-Making-Aufgabe (Reihenverbindungstest) 199
B.4 Testbögen der Trail-Making-Aufgabe (Reihenverbindungstest) 200
B.5 Protokollbogen komplexe Wortspanne vorwärts 206
B.6 Protokollbogen einfache Wortspanne vorwärts 209

1. Einleitung

„Früh übt sich, wer ein Meister werden will." Wie für viele andere Leistungen im Leben gilt dies auch für das Rechnen. Wie unmerklich die Förderung hier zuweilen agieren kann, wird jeder bestätigen können, der sich noch an *Graf Zahl* aus der *Sesamstraße* erinnern kann, der uns als Kinder mit großer Geste und viel Blitz und Donner die Zahlenreihe näher zu bringen versuchte. Graf Zahl war ein Vampir, er war irgendwie unheimlich und mystisch-anziehend zugleich. Vielen Kindern müssen Zahlen und das, was man mit ihnen machen kann, auch unheimlich vorkommen. Das steht zumindest für Kinder zu vermuten, die starke Schwierigkeiten beim Lösen von Rechenaufgaben haben. Nach aktuellen Schätzungen sind ca. 5 bis 7% der Kinder einer Altersgruppe von derartigen Rechenschwierigkeiten betroffen.

In der vergangenen Dekade wurde eine Reihe vielversprechender Ergebnisse und Forschungsbefunde zum Erwerb arithmetischer Fertigkeiten und zum Erwerb von Rechenschwächen vorgelegt. Einige Arbeiten haben sich dabei von einer Vorstellung anregen lassen, als mathematisches Analogon zum im Lese-Rechtschreibbereich bewährten Konzept der *phonologischen Bewusstheit* eine Art Gespür oder Sinn für Mengen und Zahlen (*number sense*) zu formulieren. Andere Ansätze fokussieren einen visuellen Faktor oder aber grundlegende kognitive Leistungen. Die breite Streuung der Ansatzpunkte macht deutlich, dass für das Rechnen im Allgemeinen und seiner problematischen Ausprägung im Speziellen die eigentlichen Determinanten bislang noch nicht klar identifiziert wurden. Fast alle betrachteten Bereiche scheinen relevant zu sein: Rechenstrategien, Wissensbasis sowie kognitive Ausstattung. Tatsächlich ist auch für keine unserer schulvermittelten Kulturleistungen der Einfluss der allgemeinen kognitiven Leistungsfähigkeit so bedeutsam wie für die Rechenleistung (vgl. z.B. Ergebnisse bei Tiedemann & Billmann-Mahecha, 2004), auch wenn damit nicht bedeutet werden soll, dass Intelligenz den besten Prädiktor für das schulische Rechnen darstellt (vgl. zu einer ähnlichen Diskussion: Baumert, Brunner, Lüdtke & Trautwein, 2007; Rindermann, 2006).

Weitgehende Unklarheit besteht auch darin, wie das Konstrukt Rechnen überhaupt zu begreifen ist: Handelt es sich hierbei tatsächlich um ein eindimensionales Konstrukt, das

auf *eine* latente Fertigkeit bzw. auf ein Bündel gleichartig verlaufender latenter Fertigkeiten zurückgeht, wie es in den großen Schulvergleichsstudien angenommen wird? Sind es tatsächlich über den gesamten Leistungsbereich des Rechnens die gleichen Determinanten, die über gute und schlechte Rechenleistungen entscheiden? Tatsächlich liegen bislang kaum Studien vor, die sich mit den Ursachen überragender Rechenleistungen befassen (vgl. aber hierzu Ricken & Fritz, 2006). Offenbar wird der Forschungsbereich zum Rechnen derzeit noch dominiert von der Suche nach Lösungsansätzen für die Probleme und Defizite rechenschwacher Kinder, wobei als Forschungsstrategie aber dennoch häufig ein Vergleich mit gut rechnenden Kindern gewählt wird. Doch die Frage, ob schlechte und gute Rechenleistungen nur unterschiedliche Ausprägungen auf ein und derselben latenten Dimension darstellen, bleibt so unbeantwortet. Diese Frage ist nur eine unter vielen anderen, die der Beantwortung harren. Kaufmann und Nuerk (2005) kommen in ihrer Zusammenschau des gegenwärtigen Forschungsstandes zu dem Schluss: „the available evidence suggests that numerical cognition is a cognitive domain of its own right that is neither strongly determined by other cognitive capabilities nor fully independent of them" (S. 144). Diesem Befund entsprechend sind bekannte Konstrukte auf ihre Angemessenheit zu prüfen und neue Konstrukte zu generieren. Bei diesem Vorhaben besteht allerdings ein gravierendes Problem darin, so die Autoren weiter, dass die Forschung zur Entwicklung numerischer Basisfähigkeiten in den unterschiedlichsten wissenschaftlichen *communities* betrieben wird, die den Eindruck erwecken, sie untersuchten „numerical development in parallel universes" (S. 161).

Die vorliegende Arbeit sucht aus pädagogisch-psychologischer Perspektive zur Klärung der offenen Fragen beizutragen. Sie befasst sich in ihrem ersten Teil mit einer Reihe zentraler Befunde zur Entwicklung des Rechnens und greift in diesem Zusammenhang auch die häufig geäußerte Vermutung auf, wonach es eine angeborene numerische Fähigkeit bzw. eine *feste numerische Verdrahtung im Gehirn* gebe (vgl. Butterworth, 1999). Der zweite Teil leistet eine Synopsis der aktuellen Forschung zum Bereich der Rechenschwäche und unternimmt den Versuch einer Begriffsklärung. Der dritte Teil stellt die als zentral erachteten kognitiven Determinanten des Rechnens dar und gewinnt daraus die Basis für die Ableitung der eigenen Fragestellungen. Zu ihrer Beantwortung werden im vierten Teil schließlich eine Reihe empirischer Befunde vorgestellt und diskutiert, die im Rahmen eines Längsschnittprojekts an fünf Göttinger Schulen im Zeitraum von 2003 bis 2004 gesammelt wurden.

2. Entwicklung von Rechenleistungen

Neben dem Lesen und Rechtschreiben stellt das Rechnen eine zentrale Kulturtechnik dar, die vornehmlich durch die Schule vermittelt wird. Zum Rechnen zählen Tätigkeiten der logischen Verknüpfung von Zahlen, welche sowohl rein mental (Kopfrechnen) als auch unter Einsatz von Hilfsmitteln (schriftliches Rechnen) erfolgen können. Rechenfertigkeiten stellen aber nur eine Teilfacette der in der Schule vermittelten Mathematikfertigkeiten dar. In der Primarstufe umfassen sie im Wesentlichen den Umgang mit den vier Grundrechenarten, also das „Ver-Rechnen" natürlicher Zahlen. In späteren Jahren werden diese durch spezifische Rechenleistungen, wie das Bruchrechnen oder die Prozentrechnung ergänzt. Selbstverständlich geht bereits in der Primarstufe die Zielsetzung des schulischen Fachs Mathematik über eine alleinige Vermittlung von Rechenfertigkeiten hinaus. Die Beschlüsse der Kultusministerkonferenz zu den jüngst vereinbarten Bildungsstandards für das Fach Mathematik in der Primarstufe sehen dementsprechend als übergeordnetes Ziel die Vermittlung „mathematischer Kompetenzen" für ein gesichertes Verständnis mathematischer Inhalte (Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005, S. 6). Entsprechend dieses Vorschlags definiert man mathematische Kompetenz als komplexes Phänomen aus dem Zusammenspiel von fünf kognitiven Prozesskomponenten und fünf mathematischen Inhaltsaspekten, die als grundlegend für mathematisches Denken und Arbeiten erachtet werden (Klieme et al., 2003, S. 30). Schulspezifische Kompetenzen lassen sich dabei als kontextspezifische Leistungsdispositionen verstehen, die grundsätzlich erlernbar sind (Hartig & Klieme, 2006; Klieme, 2004; Weinert, 2001). Allerdings klärt der an dieser Stelle eingeführte (Output-orientierte) Kompetenzbegriff jedoch nicht, welche Rolle diesen Kompetenzen bei der Entwicklung von mathematischen Fähigkeiten und Fertigkeiten bzw. mathematischen Schwächen tatsächlich zukommt. Da für das in den Bildungsstandards vorgeschlagene Modell insgesamt eine empirische Absicherung noch aussteht, sollte es lediglich als ein Arbeitsmodell schulischer Mathematikleistungen verstanden werden (vgl. Gölitz, Roick & Hasselhorn, 2005).

Die Schule resp. der schulische Mathematikunterricht stellt aber nur *einen* für die Vermittlung und Etablierung mathematischer Fertigkeiten notwendigen Rahmen zur Verfü-

gung. Auch der Umgang mit mathematischen Problemstellungen im täglichen Leben, die häusliche Umwelt sowie spielerische Erfahrungen beeinflussen die Entwicklung mathematischer Leistungen. Tatsächlich verfügen Kinder bereits vor Beginn einer „mathematischen Beschulung" über eine Reihe numerischer Fähigkeiten, für die angenommen werden kann, dass ihre Qualität eine spätere, prädiktive Rechenleistung determiniert (z.B. Krajewski, 2003). Weniger klar ist allerdings, ob diese vorschulisch verfügbaren numerischen Fähigkeiten *innatus* bestehen oder ob andere basale kognitive Leistungen deren Ausbildung modifizieren oder gar determinieren (vgl. zu dieser Diskussion auch Simon, 1999; Spelke & Dehaene, 1999). Nach Vorschlag von Geary (1995, 2000) können Rechenleistungen auf *biologisch primäre* und *biologisch sekundäre Fähigkeiten* bzw. Kompetenzen zurückgeführt werden. Fast alle numerischen Leistungen, die in der frühen Kindheit und in der Vorschulzeit beobachtbar sind, werden nach diesem Ansatz mit den biologisch primären Fähigkeiten in Verbindung gebracht. Hierzu gehören neben den Zählleistungen auch numerische Leistungen in Verbindung mit kleinen Anzahlen von drei bis fünf Elementen, wie die (zählfreie) Erfassung kleiner Mengen, ein basales Verständnis für Ordinalität sowie rudimentäre arithmetische Leistungen (Geary, 1995, S. 28-29, 36). Für diese Fähigkeiten wird angenommen, dass sie entweder bereits nach der Geburt vorhanden sind oder aber sich in der frühen Kindheit bei allen Menschen gleich bzw. naturgegeben entwickeln, und zwar gänzlich unabhängig von der kulturellen Sozialisation der Kinder. Komplexere Rechenleistungen werden hingegen mit biologisch sekundären Kompetenzen in Zusammenhang gebracht und sind, basierend auf den biologisch primären Fähigkeiten, das Ergebnis der kulturellen resp. der schulischen Sozialisation. Die Differenzierung zwischen biologisch primären und sekundären Fähigkeiten kann auch als Modell zur Erklärung differenzieller Geschlechtsunterschiede (Geary, 1996) sowie von Altersveränderungen im Rechnen herangezogen werden (Geary & Lin, 1998).

Die folgenden Abschnitte geben eine kurzen Überblick darüber, ob und welche numerischen Fähigkeiten bei Säuglingen und Kleinkindern bereits vorhanden sind und wie sich schulische Mathematikleistungen im Primarstufenverlauf verändern. Abschließend werden die aus differenzialpsychologischen Arbeiten hervorgegangenen Modelle zu den (ggf. auch beeinträchtigten) Rechenleistungen erwachsener Menschen kurz skizziert, da diese Modelle teilweise als Ausgangsbasis zur Beschreibung und Erklärung beeinträchtigter Rechenleistungen bei Kindern genutzt werden.

2.1 Frühe numerische Fertigkeiten

Sind numerische Fähigkeiten angeboren?

Entsprechend der Vorstellung von Geary (1995, 2000) gehen alle numerischen Kompetenzen, die während der frühen Kindheit und im Vorschulalter beobachtbar sind, auf das universelle kognitive System der biologisch primären Fähigkeiten zurück. Neben der Universalität besitzen diese Fähigkeiten zusätzlich die Eigenschaften der Konsistenz und Generalität. Im Rahmen entwicklungspsychologischer Modelle stellt sich hierbei die Frage, ab welchem Alter tatsächlich numerische Leistungen erbracht werden. Wie die kognitive Entwicklungspsychologie gezeigt hat, sind bereits neugeborene Kinder zu einer ganzen Reihe basaler Gedächtnisleistungen fähig (vgl. Schneider, 2001). Diese basalen kognitiven Leistungsmöglichkeiten könnten auch die Basis für eine frühe Entwicklung numerischer Kompetenzen darstellen. Mehrfach wurde geprüft, ob numerische Leistungen schon von sehr jungen Kindern erbracht werden können (vgl. Mix, Huttenlocher & Levine, 2002b). Da Säuglinge verständlicherweise zu keiner klaren Artikulation ihres numerischen Verständnisses in der Lage sind, wird dieses indirekt über das visuelle Verhalten der Kinder erfasst. Säuglinge neigen dazu, ihre Umwelt visuell zu erkunden, wobei ihre Fixierdauer in Abhängigkeit von der Bekanntheit der Reize variiert. Ungewohnte, neue Reize werden dementsprechend länger fixiert als bekannte Reize, auf die das Blickverhalten bereits habituiert ist. Im Wesentlichen lassen sich hier drei verschiedene Untersuchungsparadigmen unterscheiden (vgl. Clearfield, 2004). Das *Dishabituationsparadigma* nutzt die visuelle Habituation der Kinder auf statische Displays. Kinder sehen wiederholt ein bestimmtes Display, bis sie damit vertraut sind. In der Testphase sehen die Kinder dann entweder das vertraute oder aber ein neues Display. Über viele Untersuchungen hinweg zeigt sich, dass Kinder länger auf das neue Display blicken, was die Vermutung nahe legt, dass Säuglinge diese Displays aufgrund der Anzahl an Elementen differenzieren können (Moore, Benenson, Reznick, Peterson & Kagan, 1987; Starkey & Cooper, 1980; Starkey, Spelke & Gelman, 1990; Strauss & Curtis, 1981; Van Loosbroek & Smitsman, 1990), und zwar auch auf abstrakter Ebene (Bijeljac-Babic, Bertoncini & Mehler, 1993) sowie selbst dann, wenn die Kindern erst wenige Tage alt sind (Antell & Keating, 1983). Dieses Phänomen zeigt sich aber entweder nur bei sehr kleinen Mengen (Strauss & Curtis, 1981) oder aber bei bestimmten Mengenverhältnissen (vgl. Lipton & Spelke, 2003) und kann auch durch Veränderungen kontinuierlicher Variablen innerhalb des Ausgangsmaterials (meist Displays) erklärt werden: „The key finding was

that infants looked significantly longer at the change in amount, but not the change in number .... This suggests that when infants dishabituated in previous studies, their responses were based on overall amount" (Clearfield, 2004, S. 310). Die Befunde zum Dishabituationsparadigma bieten demnach keine eindeutigen Hinweise auf frühe numerische Leistungen. Werden nämlich physikalische Variablen wie die Farbverteilung oder Größe der Elemente variiert, dann fixieren Kleinkinder länger die veränderte (kontinuierliche) Menge, aber nicht die veränderte Anzahl (Clearfield & Mix, 1999, 2001; Feigenson, Carey & Spelke, 2002; Mix, Levine & Huttenlocher, 1997; vgl. aber Wynn, Bloom & Chiang, 2002).

In anderen Untersuchungen wurde das *Paradigma des möglichen und unmöglichen Ereignisses* genutzt (Kobayashi, Hiraki, Mugitani & Hasegawa, 2004; Koechlin, Dehaene & Mehler, 1997; Simon, Hespos & Rochat, 1995; Wynn, 1992a). In diesem Paradigma wurden Kindern verdeckte einfache Additions- oder Subtraktionsoperationen mit Puppen gezeigt, allerdings in Verbindung mit einem korrekten oder unkorrekten Operationsergebnis. Hierbei zeigt sich, dass Kinder im Alter von fünf Monaten länger auf die nicht möglichen Ergebnisse blicken und somit bereits über rudimentäre Additions- und Subtraktionsfähigkeiten zu verfügen scheinen (Wynn, 1992a). Aber auch hier führte bei sonst gleicher Prozedur die Variation des Volumens der Puppen dazu, dass Kinder länger auf eine unerwartete Veränderung im Volumen blickten, aber nicht auf Veränderungen der Menge (Feigenson et al., 2002; Vilette, 2002). Neuere Untersuchungen kommen zudem zu dem Schluss, dass die mutmaßlichen beobachtbaren *arithmetischen Operationen* der Kinder auch auf Prozessen der Materialvertrautheit beruhen bzw. hiervon determiniert sein könnten (Clearfield & Westfahl, 2006; L. B. Cohen & Marks, 2002).

Für beide Paradigmen lässt sich zusammenfassend festhalten, dass mit ihnen nicht belegt werden konnte, dass Kinder bereits ab der Geburt über einen hoch entwickelten Sinn für diskrete Anzahlen verfügen. Für das Verhalten der Kinder können vielmehr wahrnehmungsspezifische Variablen verantwortlich gemacht werden (Rousselle, Palmers & Noël, 2004).

Eine dritte Gruppe von Untersuchungen nutzte als Paradigma die *Nennung von Sequenzanzahlen* (Clearfield, 2004; Wynn, 1996). In diesen Studien wurden die Kinder auf eine Anzahl von Sprüngen einer Puppe mit unterschiedlichen Variationen der Sprungraten und Sprungdauer habituiert. In der Testphase wurden den Kindern schließlich zwei unter-

schiedliche Sequenzen präsentiert, wobei sich Dishabituation auf die neue Sequenz einstellte. Dieser Ansatz wurde durch weitere Varianten ergänzt, die verschiedene Kombinationen der Puppenbewegungen bis hin zu Stürzen der Figur umfasste (Sharon & Wynn, 1998). In einer Reihe von Experimenten ließen sich aber auch hier Belege beibringen, dass wiederum die *Menge* an Bewegung entscheidender für die Reaktion der Kinder war als z.B. die *Anzahl* der Puppensprünge (vgl. Clearfield, 2004).

Insgesamt befassen sich die Habituationsstudien mit der zentralen Frage, ob grundlegende numerische Basiskompetenzen bzw. Fähigkeiten zur Differenzierung diskreter Anzahlen sowie zur Durchführung einfacher arithmetischer Operationen bereits mit der Geburt vorhanden sind. Hinsichtlich der untersuchten Altersgruppe gehen die Studien an die Grenzen des Operationalisierbaren (z.B. Antell & Keating, 1983). Auch bei jüngsten Säuglingen lassen sich vermeintlich numerische Leistungen phänomenal beobachten. Neuere Untersuchungen zeigen aber, dass es sich hierbei eher um wahrnehmungsgebundene Fähigkeiten hinsichtlich eines *overall amount* in den Reizdarbietungen handelt (Clearfield, 2004; Feigenson et al., 2002; Mix, Huttenlocher & Levine, 2002a; Mix et al., 2002b, S. 19-22). Dementsprechend liegen gegenwärtig kaum empirische Evidenzen vor, die auf eine *angeborene* numerische Kompetenz hinweisen. Säuglinge reagieren demnach nicht auf Quantitäten, weil sie ein Quantitätskonzept resp. ein (diskretes) Mengenkonzept haben, sondern die beobachtbaren Reaktionen beziehen sich offensichtlich auf Veränderungen in kontinuierlichen Variablen. Dies erlaubt auch nicht den Rückschluss, dass Säuglinge ein *Gespür für Quantitäten* haben, sondern es handelt sich hierbei eher um ein wahrnehmungsspezifisches, ggf. sogar aufmerksamkeitsspezifisches Phänomen. Mengenverständnis und basale numerische Fähigkeiten entwickeln sich aber im Laufe der frühen Kindheit. Bereits zum Ende des ersten Lebensjahres können Kinder zwischen „mehr“ und „weniger“ differenzieren (Brannon, 2002). Auch die Fähigkeit zur Differenzierung zwischen Mengenanzahlen nimmt in der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahres zu (Lipton & Spelke, 2003). Ebenso konnten Slaughter, Kamppi und Paynter (2006) zeigen, dass ab einem Alter von 3 Jahren einfache Subtraktionsaufgaben möglich sind, welche die Autoren als Beleg für den Zugriff auf eine analoge Mengenrepräsentation auslegen. Somit deutet vieles darauf hin, dass mengenbezogene numerische Leistungen zwar nicht von Geburt an möglich sind, sie aber von Kindern absolviert werden, bevor diese über konventionelle Zählfertigkeiten verfügen oder eine

entsprechende schulische Instruktion erfahren (vgl. auch Gilmore, McCarthy & Spelke, 2007).

Modelle vorsprachlicher numerischer Leistungen

Welches sind also die Mechanismen, die Kleinkindern numerische Leistungen ermöglichen? Zur Erklärung dieser Phänomene wurden insgesamt vier Modelle vorgeschlagen (vgl. Mix et al., 2002b, Kap. 7): das Akkumulator-Modell, das Subitizing-Modell, das Modell der Objektrepräsentation und das mentale Modell.

Das *Akkumulator-Modell*, welches ursprünglich von Meck und Church (1983) für das Verhalten von Versuchsratten formuliert wurde, geht von der Existenz eines Impulsstroms, eines Tors, eines Registers und eines Auslesemechanismus aus (vgl. Gallistel & Gelman, 1992, S. 51-53; 2000). Bezogen auf die Erfassung einer Menge bedeutet dies, dass das Tor entsprechend des Mengenumfangs Impulse passieren lässt, die als Energie im Register gespeichert und abschließend vom Auslesemechanismus als Mengengröße erfasst werden. Der Akkumulator-Ansatz könnte ein geeignetes Erklärungsmodell darstellen, wenn es um die Erfassung sequenziell dargebotener diskreter Mengen geht, für statische und kontinuierliche Mengen scheint dieser Ansatz eher ungeeignet (vgl. aber Kobayashi et al., 2004). Ebenfalls unklar ist, ob von einem oder mehreren Akkumulatoren ausgegangen werden sollte (zur Diskussion dieser Überlegungen s. Mix et al., 2002b, S. 90-92).

Das *Subitizing-Modell* beruft sich auf Ähnlichkeiten zwischen dem numerischen Raum, in dem sich die Leistungen von Kleinkindern bewegen, und der Menge subitisierbarer Elemente. Subitizing stellt ein wahrnehmungsspezifisches Phänomen dar und meint die rasche, subjektiv und objektiv genaue Erfassung kleiner Mengen im Umfang von ungefähr 1 bis 4 Elementen (Chi & Klahr, 1975; Svenson & Sjöberg, 1978). Der Subitizingbegriff wird allerdings nicht einheitlich genutzt: Während in früheren Arbeiten unter Subitizing die Mengenerfassungsleistungen verstanden wurde, die nicht explizit mit Zählbemühungen einhergingen (Jevons, 1871; Warren, 1897), wird in neueren Untersuchungen der subitisierbare Mengenumfang in Abhängigkeit vom Reaktionszeitverlauf definiert. Subitizing ist somit anhand der Merkmale Mengenbeschränkung, Geschwindigkeit und Genauigkeit von anderen Prozessen der Mengenerfassung, wie dem Zählen oder Schätzen, abgrenzbar (Jensen, Reese & Reese, 1950; Kaufman, Lord, Reese & Volkmann, 1949; Pylyshyn, 1994; Svenson & Sjöberg, 1978; Trick, Enns & Brodeur, 1996; vgl. aber Balakrishnan & Ashby,

1992). Subitizingleistungen lassen sich zwar bereits in früher Kindheit beobachten, allerdings finden sich hier entwicklungsbedingte Zunahmen der Subitizingspanne von 1 bis 3 Elementen im Alter von zwei Jahren, 1 bis 4 Elemente im Alter von 3.5 Jahren und 1 bis 5 Elemente im Alter von über vier Jahren (Starkey & Cooper, 1995, S. 416) sowie auch Hinweise auf altersbedingte Abnahmen der Spanne (Basak & Verhaeghen, 2003). Subitizing wird zumeist als simultane Verarbeitung einer visuell präsentierten Reizdarbietung verstanden. Dieser Form des *Item-Subitizings* kann das *Ereignis-Subitizing* im Sinne einer sequenziellen Verarbeitung gegenübergestellt werden (Kaufmann & Nuerk, 2005), wobei hier die Befundlage hinsichtlich der Verfügbarkeit bei Kindern unklar ist (Mix, 1999). Unabhängig davon, ob die numerischen Leistungen von Kleinkindern auf das Subitizing zurückführbar sind, wird die Fähigkeit zu Subitizingleistungen als wichtige Voraussetzung für die Entwicklung von Zählfertigkeiten diskutiert (Benoit, Lehalle & Jouen, 2004). Zur Erklärung des Phänomens „Subitizing" finden sich unterschiedliche Annahmen. Mandler und Shebo (1982) sehen in der Mengenbeschränkung die Möglichkeit zur Musterbildung (ein Objekt als Punkt, zwei Objekte als Linie, drei Objekte bilden ein Dreieck, vier ein Viereck usw.). Sie argumentieren, dass Menschen diese Musterbildungsmöglichkeit nutzen, um den Umfang der Menge zu bestimmen. Diese Annahme einer ganzheitlichen Wahrnehmung ist allerdings nicht direkt vereinbar mit dem Befund, dass auch innerhalb der Subitizingspanne ein minimaler linearer Anstieg in der Reaktionszeit beobachtbar ist. Ein anderer Ansatz sieht im Subitizing-Phänomen ein Nebenprodukt visuell-räumlicher Verarbeitung auf einer vorgeschalteten (präattentiven) Aufmerksamkeitsebene (Trick & Pylyshyn, 1993, 1994). Den Autoren zufolge werden zur Wahrnehmung von Reizdarbietungen auf präattentiver Ebene Merkmals-Cluster separiert und einzelnen mentalen Verweismarkern (*reference tokens* bzw. *fingers of instantiation*, FINST-Modell) zugewiesen (Pylyshyn, 1989, 1994). Die Anzahl maximaler *fingers of instantiation* entspricht dabei der Subitizingspanne.

Die im FINST-Modell getroffenen Annahmen der Individuation und räumlichen Lokation finden sich ebenfalls im *Modell der Objektrepräsentation* zur Erklärung numerischer Leistungen von Kleinkindern, wobei die gebildete Objektrepräsentation über räumliche Information hinaus auch erweiterbar ist (Carey & Xu, 2001; Feigenson & Carey, 2003; Simon, 1997; Uller, Carey, Huntley-Fenner & Klatt, 1999). Damit wird angenommen, dass für jedes Element in einer Menge ein abstrakter Marker gebildet werden kann, was allerdings

relativ hohe Anforderungen an das Informationsverarbeitungssystem stellt (Mix et al., 2002b, S. 96).

Huttenlocher, Jordan und Levine (1994) führen die vorsprachlichen numerischen Leistungen von Kleinkindern hingegen auf die Bildung *mentaler Modelle* zurück. Im Rückgriff auf das Paradigma möglicher und unmöglicher Ereignisse (s.o.) wird die externe Ausgangsmenge in einer Eins-zu-eins-Übersetzung internal über Marker repräsentiert. Diese interne Repräsentation basiert dabei nur auf den aufgabenrelevanten Merkmalen, Veränderungen der externen Ausgangsmenge führen zu Veränderungen der internen Marker. Antworten über die Veränderungen dieser Mengen basieren letztendlich auf einem Vergleich der externen Endmenge mit der internen Repräsentation bzw. dem mentalen Modell.

Keines der Modelle ist für sich genommen in der Lage, als theoretisches Fundament zur Erklärung der frühen numerischen Fertigkeiten von Kindern zu fungieren. Nach Mix et al. (2002b) können das *Modell der Objektrepräsentation* und das *mentale Modell* die empirischen Befunde am ehesten erklären, wobei sich zwischen beiden Ansätzen einige Überschneidungen finden. Zur Diskussion der Vereinbarkeit beider Ansätze untereinander sowie zum Einbezug des *Subitizing-Modells* sei an dieser Stelle auf Mix et al. (2002b, S. 97-99) verwiesen. Insgesamt bleiben dennoch viele Fragen offen, wie Kaufmann und Nuerk (2005) zusammenfassend festhalten:

> To conclude, the models outlined above might be more or less suited to exemplify pre(non)verbal quantity knowledge. However, they neither attempt to provide an explanatory framework for the many remaining building blocks that constitute arithmetic knowledge ... nor do they attempt to link the diverse components of numerical and arithmetic thinking. Instead, most of these models do only account for few or even only one elementary numerical task .... (S. 148).

Aufbauend auf diesen frühen numerischen Leistungen entwickeln sich gerade in der (sprachlichen) Vorschulzeit sowie der Schulzeit die numerischen Fertigkeiten und Fähigkeiten weiter, wie im folgenden Abschnitt gezeigt wird.

2.2 Veränderungen im Vorschul- und Schulalter

Entwicklung von Zählfertigkeiten

Kinder eignen sich im Laufe ihrer vorschulischen Entwicklung Zählfertigkeiten an. Unter Zählen versteht man die Ermittlung und präzise Angabe der Kardinalität einer Menge. Damit ein Kind überhaupt Zählleistungen erbringen kann, sollte es nach Vorstellung von Gelman und Gallistel (1978) über fünf Prinzipien verfügen (vgl. auch Gelman, 2000). Drei

dieser Prinzipien beziehen sich dabei auf das „Wie“ des Zählens (h*ow to's*); hierzu zählen das *Prinzip der Eins-zu-eins-Zuordnung* (je Element wird ein Zähletikett vergeben), das *Prinzip der stabilen Reihenfolge* (die Reihenfolge der Zähletiketten verändert sich nicht) und das *Kardinalitätsprinzip* (das letzte Zähletikett benennt die Menge). Zwei weitere Prinzipien regeln hingegen, „was“ gezählt werden kann (*permissions*). Das *Abstraktionsprinzip* sagt aus, dass alles zählbar ist, was als Entität erkannt werden kann, während das *Prinzip der irrelevanten Reihenfolge* besagt, dass unter Berücksichtigung der drei „Wie“-Prinzipien die eigentliche Zählreihenfolge unerheblich ist (vgl. auch Gelman, 2000, S. 28). Dabei spielt es übrigens auch keine Rolle, wie die Zähletikettierung letztendlich aussieht. Mit Eintritt in die Phase der Sprachentwicklung eignen sich Kinder auch Zahlwörter an, wobei diese anfangs nicht im Sinne der Zählprinzipien genutzt werden. Ab einem Alter von drei Jahren können die meisten Kinder die richtige Reihenfolge der Zahlwörter bis sechs auch in der richtigen Reihenfolge nutzen (Wynn, 1990, 1992b). Die Entwicklung von Zählleistungen ist aber prinzipiell an die Aneignung der Zahlwortreihe geknüpft (Fritz & Ricken, 2005) und kann über eine Reihe von Stadien bzw. Stufen beschrieben werden, welche den Zählprozess zusehends flexibler und sicherer gestalten (Fuson, 1988; Fuson & Hall, 1983). In einer frühen Phase (*string level*), von der allerdings fraglich ist, ob sie bei allen Kindern auftritt, werden die Zahlwörter der Zählreihe nicht differenziert, sondern als einheitliche Struktur betrachtet. Die Zahlwortreihe bzw. eine Sequenz daraus wird wie ein Vers rezitiert, ohne dass den Zahlwörtern eine spezifische Bedeutung zugewiesen wird. In der nächsten Phase (*unbreakable list*) werden Zahlwörter bereits zum Abzählen genutzt, die Zahlwortreihe ist aber innerlich noch nicht so stabil verankert, so dass das Weiterzählen von einer anderen Zahl als Eins nicht immer gelingt. Dennoch wird in dieser Phase das Prinzip der Eins-zu-eins-Zuordnung bereits berücksichtigt. Ab einem Alter von ca. 4.5 Jahren erreichen die Kinder die dritte Phase (*breakable chain level*), in der sie meist schon die Zahlwortreihe bis 20 beherrschen und auch korrekt anwenden können. Die Zahlwortreihe kann flexibel eingesetzt werden, ebenfalls ist ein Verständnis des Kardinalitätsprinzips vorhanden. Die vierte Phase (*numerable chain level*) zeichnet sich durch die Einsicht aus, dass jedes Wort in der Zahlwortreihe als eigenständiger Zählschritt betrachtet werden kann, das letzte Zahlwort die Objektmenge bezeichnet und die Zahlwortreihe selbst auch zählbar ist. Die vollständige Entwicklung des Zahlbegriffs wird schließlich erreicht, wenn jedes Zahlwort als eigenständige Einheit aufgefasst wird (*truly numerical counting*). Hiermit verbindet sich die Einsicht, dass jedes Zahlwort

die vorhergehenden Zahlwörter umfasst und jedes Zahlwort die Menge um genau eine Einheit erhöht (Fritz & Ricken, 2005).

Kontrovers diskutiert wird bislang, ob die von Gelman und Gallistel (1978) formulierten Prinzipien des Zählens tatsächlich als unbedingte Voraussetzung für Zählleistungen (*principles-before-view*) zu betrachten sind oder aber sich diese Prinzipien über Erfahrungen aufbauen (*principles-after-view*), welche die Kinder im Rahmen von Zählroutinen sammeln (Baroody, 1992; vgl. zu dieser Diskussion z.B. Bermejo, 1996; Bermejo, Morales & deOsuna, 2004; Briars & Siegler, 1984; Gelman & Meck, 1983; Shipley & Shepperson, 1990; Siegler, 1991; Wynn, 1990). Ungeachtet dessen hat sich die frühe Verfügbarkeit von Zählfertigkeiten als bedeutsame Determinante für die spätere Rechenleistung herausgestellt (z.B. Aunola, Leskinen, Lerkkanen & Nurmi, 2004; Krajewski, 2003; Kurdek & Sinclair, 2001), auch wenn dies nicht für alle Formen von Zählleistungen uneingeschränkt gilt (Mazzocco & Thompson, 2005). Weiter kommen Zählfertigkeiten eine große Bedeutung im Rahmen der Aneignung von arithmetischen Beziehungen bzw. Strategien zu (Siegler & Robinson, 1982), wie im folgenden Abschnitt ausgeführt wird.

Strategieentwicklung

Schon vor Beginn der Beschulung verfügen Kinder über eine Reihe numerischer Kompetenzen, wie z.B. ein basales Verständnis für arithmetische Schlussfolgerungen im Zusammenhang mit einfachen Additions- und Subtraktionsaufgaben (Barth et al., 2006, Exp. 4 und 5; Canobi, Reeve & Pattison, 2002; Starkey, 1992). Während Kinder im Alter von 2.5 Jahren durchaus in der Lage sind, im unteren Zahlenraum einfache Additions- und Subtraktionsaufgaben nichtverbaler Modalität zu lösen (Huttenlocher et al., 1994), werden ähnlich gestellte Aufgaben verbaler Modalität erst ab einem Alter von 5.5 Jahren gelöst (Levine, Jordan & Huttenlocher, 1992). Derartige Leistungen setzen natürlich voraus, dass die Kinder einerseits die Zahlwortreihe bzw. die Bedeutung der Zahlwörter mit einiger Sicherheit beherrschen und andererseits ein Kardinalitätsverständnis für Zahlwörter vorhanden ist, denn nur so lassen sich diese Aufgaben über zählgebundene Strategien lösen. Teil des schulischen Lehrplanes ist es jedoch, die Lösung dieser Aufgaben als arithmetisches Faktenwissen abrufbereit in der Wissensbasis zu verankern. Neben dem Wissensabruf lassen sich zur Lösung der Aufgaben (vornehmlich Additionsaufgaben) die bereits genannten verbalen Zählstrategien sowie direktes Modellieren bzw. Veranschaulichungsstrategien nutzen (T. P. Carpenter & Moser, 1983, 1984). Bei diesen zuletzt genannten Strategien

(Zählen und Modellieren) handelt es sich um sogenannte *Back-up-Strategien* (da hör- und sichtbar, Siegler & Shrager, 1984). Anfänglich lässt sich häufig beobachten, dass Kinder die Einzelmengen durch Objekte oder Finger veranschaulichen und die Lösung auszählen (*counting all with models*). Später kommen verbale Zählstrategien zum Einsatz, die ohne die Betrachtung konkreter Objekte auskommen. Innerhalb dieser verbalen Zählstrategien werden von Carpenter und Moser (1982) drei weitere Differenzierungen vorgenommen (*counting all without models*, *counting on from first*, *counting on from larger*), welche jeweils als Weiterentwicklung der vorherigen Strategie mit Erhöhung der Flexibilität zu betrachten sind. Ergänzend zu diesen materiellen Strategien nennen Siegler und Robinson (1982) als fünfte Variante eine Strategie des impliziten Zählens (*counting without any obvious external referent*). Ähnliche Strategiedifferenzierungen finden sich auch für Subtraktionsaufgaben (*seperating from*, *adding on*, *one to one matching*), während kaum Vorschläge zum Bereich der Multiplikation oder Division vorliegen. Neben den Back-up-Strategien stellt der Wissensabruf eine weitere Lösungsmöglichkeit für diese Aufgaben dar. Der Wissensabruf selbst setzt aber voraus, dass innerhalb der Wissensbasis assoziative Verknüpfungen zwischen den Aufgaben bzw. Aufgabenkomponenten und den Ergebnissen vorhanden sind (vgl. Grube, 2006). Zum Wissensabruf zählt der reine Abruf (*known fact*), bei dem für eine vorgegebene Aufgabe die Antwort einfach aus der Wissensbasis abgerufen wird. Eine weitere mentale Strategie stellt der generierte Abruf (*derived fact*) dar, bei dem eine Aufgabenstellung zwar keinen direkten Abruf ermöglicht, aber die Aufgabenlösung durch Kombination abrufbereiten Faktenwissens produziert werden kann (T. P. Carpenter & Moser, 1982).

Verschiedene Untersuchungen konnten belegen, dass Kinder zu Beginn und im Verlauf der Grundschulzeit die Back-up-Strategien zur Lösung arithmetischer Faktenaufgaben verstärkt nutzen (Ashcraft & Fierman, 1982; Steel & Funnell, 2001; Svenson & Sjöberg, 1983a). In der Untersuchung von Noël, Seron und Trovarelli (2004) geschah dies z.B. in 83% der Fälle (vgl. für weitere Befunde Grube, 2006). Aber bereits Ende der zweiten Klasse sind viele Kinder in der Lage, derartige Aufgaben auch mittels Abruf zu lösen (Torbeyns, Verschaffel & Ghesquiere, 2004). Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass Abrufprozesse auch in den frühen Grundschuljahren möglich sind, auch wenn es sich dabei nicht um die vorrangig genutzte Strategie der Kinder handelt (Grube, 2006). Erst ab der dritten Klasse lässt sich der Einsatz von Abrufprozessen zur Lösung von Faktenaufgaben vermehrt beobachten, wie die Ergebnisse der Längsschnittstudie von Carpenter und Moser (1983, 1984) deut-

lich machen. Möglicherweise ist hinsichtlich des Zeitpunktes der Etablierung des Faktenabrufs aber auch mit didaktisch bedingten (nationalen) Unterschieden zu rechnen, wie Adams und Hitch (1997) mutmaßen. Die Entwicklung und Nutzung derartiger Lösungsstrategien lässt sich sehr anschaulich über das *Modell sich überlappender Wellen* (*overlapping waves model*) (Siegler, 1988, 1999) beschreiben (vgl. Abbildung 1). Dieses Modell sieht periodisch über die Entwicklungsjahre eines Kindes hinweg die Auftretens- bzw. Nutzungsintensität einer Strategie als veränderlich an (quasi als wellenförmig). Eine spezifische Lösungsstrategie hat demnach in einem bestimmten Altersabschnitt eine spezifische Nutzungsintensität, kann aber dann von einer anderen (effizienteren) Strategie abgelöst werden, ohne gänzlich aus dem Repertoire zu verschwinden. Dies bedeutet auch, dass ein Kind immer über mehrere Strategien gleichzeitig verfügt, wobei sich eine Verschiebung der Nutzungshäufigkeiten von *unreifen* zu *reifen* Strategien zeigt. Ein Rückgriff auf ältere, unreifere Strategien scheint jedoch sogar bei Erwachsenen jederzeit möglich (Campbell & Austin, 2002).

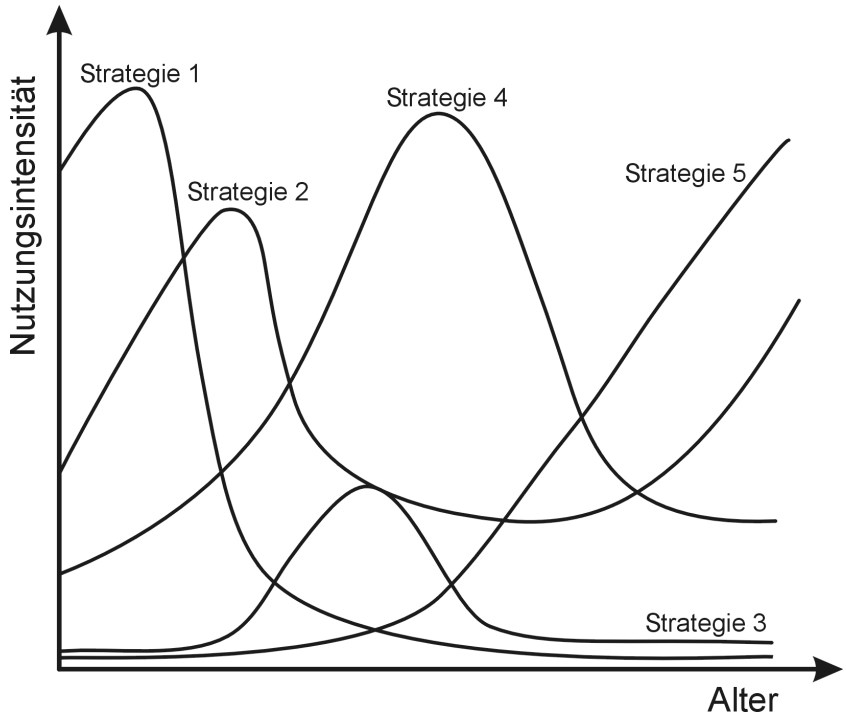


Abbildung 1: Das Modell der überlappenden Nutzung multipler Strategien im Verlauf der Entwicklung (nach Siegler, 1999)

Entwicklung von Schulleistungen

Insgesamt kann es keinen Zweifel darüber geben, dass Mathematikleistungen in der Grundschulzeit neben geringer Niveaustabilität (Reusser, 1997) auch eine außergewöhnlich hohe interindividuelle Stabilität aufweisen (Aunola et al., 2004). Dies gilt einerseits für Schulno-

ten im Fach Mathematik (Eye, Spiel & Wagner, 2003; Sauer & Gamsjäger, 1996), aber auch für Leistungen, die über objektive Mathematiktests erfasst wurden (Hasselhorn, Roick & Gölitz, 2005; Lerkkanen, Rasku-Puttonen, Aunola & Nurmi, 2005).

Für den deutschen Sprachraum wurden zentrale Erkenntnisse über Leistungsveränderungen sowie deren Determinanten im Primar- und Sekundarstufenverlauf durch eine Reihe bedeutsamer Längsschnittstudien gewonnen (Sauer & Gamsjäger, 1996; Schneider & Knopf, 2003; Schneider, Knopf, Stern, Helmke & Asendorpf, 1990; Stamm, 1998, 2003; Weinert, 1998; Weinert & Helmke, 1997; Weinert & Schneider, 1999). Nach Ergebnissen der LOGIK-Studie (vgl. Weinert & Helmke, 1997) sind vorschulisch verfügbare Fähigkeiten nicht nur Prädiktoren des Schulerfolgs, sondern die erfassten Unterschiede zwischen den Kindern bleiben auch über die Grundschulzeit relativ stabil (Schneider, Knopf & Stefanek, 2002; Schneider & Stefanek, 2004). Schwächeren Schulanfängern gelingt es demnach kaum, ihre relative Position zu verbessern und gegenüber stärkeren Schulanfängern aufzuholen (vgl. Helmke, 1997). Bis zu 30% des späteren Schulerfolgs im Fach Mathematik lassen sich durch bereits im Vorschulalter ausgeprägte Fertigkeiten und Kenntnisse erklären (vgl. Stern, 1998). In der LOGIK-Studie zeigte sich auch, dass das bereichsspezifische Vorwissen im Rechnen eine größere Prädiktionskraft für den späteren Schulerfolg im Fach Mathematik hat als allgemeine intellektuelle Fähigkeiten oder die Intelligenz (Stern, 2003, S. 126-128). Zu ähnlichen Befunden gelangt auch Krajewski (2003, 2005) in ihrer Längsschnittuntersuchung zur Vorhersage von Rechenschwächen. Erst mit Beginn der Schulzeit werden die Zusammenhänge zwischen der Schulleistung und allgemeinen intellektuellen Fähigkeiten enger (vgl. Schneider, Bullock & Sodian, 1998). Schulleistungen werden aber von curricularen Vorwissensunterschieden und kumulativen Lernprozessen in der Schulzeit beeinflusst. So zeigen die Ergebnisse der SCHOLASTIK-Studie, dass die entstandenen Vorkenntnisunterschiede am Ende der 2. Klasse einen beträchtlichen Teil der Leistungsvarianz in der 4. Klasse erklären können (vgl. Weinert & Stefanek, 1997, S. 437). Für den Leistungsbereich Mathematik beziehen sich Vorkenntnisse auf recht unterschiedliche Leistungsbereiche, wie z.B. die Verfügbarkeit arithmetischen Faktenwissens (Grube, 2006) oder die Modellierungsfähigkeiten bei strukturell anspruchsvollen Textaufgaben (Stern, 1998, 2003).

2.3 Modelle des erwachsenen Rechners

Eine Reihe konkurrierender Modelle befassen sich mit der Repräsentation und prozessualen Verarbeitung von Zahlen bei erwachsenen Personen. In diesen Modellen spielen sprachliche Prozesse eine spezifische Rolle. Das *abstrakt-modulare Modell* (*abstract-modular model*) von McCloskey (1992; McCloskey, Caramazza & Basili, 1985) unterscheidet drei periphere Systeme: je ein formatspezifisches Input- und Outputsystem zur Verarbeitung von Zahlen und Zahlwörtern sowie ein System für Berechnungen, welches arithmetisches Faktenwissen, Rechenregeln und -prozeduren umfasst. Zentrales Merkmal des Modells ist, dass als gemeinsame Schnittstelle der drei peripheren Systeme eine separate modalitätsunspezifische Repräsentation fungiert (McCloskey & Macaruso, 1995). Diese amodalen semantischen Repräsentationen sind als hochgradig abstrakt zu verstehen, da sie nicht an das arabische Ziffernsystem oder an Zahlwörter gebunden sind oder sich auf Oberflächenmerkmale wie Anzahlen oder Größenausdehnungen beziehen (McCloskey, Macaruso & Whetstone, 1992, S. 497). Unabhängig vom Ausgangsmaterial wird jeder numerische Input in eine amodale Repräsentation umgesetzt, bevor Rechenoperationen möglich sind. Ebenso entsteht der Output funktional unabhängig vom Input aus den amodalen Repräsentationen. Im Modell von McCloskey (1992) sind einfache Transkodieranforderungen nur über den Weg einer amodalen Repräsentation möglich. Um widersprüchliche empirische Befunde zu integrieren, wurde das Modell von Cipolotti und Butterworth (1995) durch Berücksichtigung zusätzlicher asemantischer Transkodiermöglichkeiten modifiziert.

Das *specific-integrated Modell* (auch *encoding-complex Modell*) von Campbell (1994; Clark & Campbell, 1991) bestreitet die von McCloskey (1992) postulierte Existenz einer einheitlichen amodalen Repräsentation für numerische Inhalte. Campbell und Clark (1992) gehen stattdessen davon aus, dass „number concepts and skills are based on modality- and form-specific mental codes that are interconnected in a complex and highly integrated associative structure“ (S. 457-458). Dementsprechend interagieren visuell-räumliche, verbale und andere modalitätsspezifische Zahlrepräsentationen miteinander in einem integrierten Netzwerk. Numerische Operationen sowie das Zahlverständnis beruhen letztendlich auf verschiedenen Komponenten. In diesem Sinne können unterschiedliche Operationen (wie numerische Vergleiche, Faktenabruf, Zahlbenennung) und unterschiedliches numerisches Ausgangsmaterial (arabische Ziffern, geschriebene oder gesprochene Zahlwörter) auf eine umfassende Reihe mentaler Repräsentationen und spezifischer Abrufprozesse zurückgreifen.

Eines der einflussreichsten Modelle hat Dehaene (1992; Dehaene & Cohen, 1995, 1997) mit dem *triple-code Modell* bereit gestellt. Das *triple-code Modell* ist eher als eine Art Kompromiss zu den Modellvorstellungen von McCloskey (1992) und Campbell (1994) zu sehen, da hier verschiedene numerische Aufgaben von unterschiedlichen Modulen unterstützt werden und in den Rahmen eines Prozessmodells der Informationsverarbeitung eingebettet werden (Dehaene, 1992, S. 30). Neben dieser funktionalen Perspektive wird in dem Modell aber auch der Versuch unternommen, die neuro-anatomische Architektur zu berücksichtigen (Dehaene & Cohen, 1995; Pesenti, Thioux, Seron & De Volder, 2000, S. 463). Auf funktionaler Ebene unterscheidet das Modell drei distinkte Repräsentationen (*auditory verbal word frame*, *visual arabic number form*, *analog magnitude representation*), die über interne Übersetzungsprozesse miteinander vernetzt sind. Jede Repräsentationsform kann dabei Startpunkt spezifischer arithmetischer Operationen sein, wobei Prozesse der Zahlverarbeitung und Rechenprozesse keiner semantischen Rekodierung bedürfen, wie es z.B. im Modell von McCloskey (1992; McCloskey et al., 1985) postuliert wird. Die drei Repräsentationsformen sind jeweils auf die formale Modalität numerischer Informationen spezialisiert. Die visuell arabische Repräsentation (*visual arabic number form*) befasst sich mit dem Lesen und Schreiben arabischer Ziffern und ist verantwortlich für die Durchführung von komplexen, mehrzahligen Operationen oder Gleichheitsprüfungen. Die eher sprachgebundenen Module des verbalen Wortrahmens (*auditory verbal word frame*) befassen sich mit dem Lesen, Sprechen und Schreiben von Zahlwörtern. In enger Verbindung zu dieser Repräsentationsform sieht Dehaene (1992) auch Faktentabellen und Zählprozesse. Die analoge Mengenrepräsentation (*analog magnitude representation*) bildet mit ihren Modulen ein vorsprachliches System rechnerischen Denkens und berücksichtigt somit Forschungsbefunde zu frühen numerischen Kompetenzen von Kleinkindern (s.o.). Für diese Repräsentation ist bezeichnend, dass Mengen holistisch auf einer Art inneren Zahlenstrahl abgebildet werden, was wiederum eine Verbindung zu kognitiven Leistungen wie Subitizing, Mengenvergleiche, Mengenschätzungen und Überschlagsrechnungen nahe legt (Dehaene, 1992).

Abschließend sei noch auf das *preferred-entry-code Modell* von Noël und Seron (1993) hingewiesen. Dieses Modell nimmt für den Zugriff auf arithmetisches Wissen an, dass alle Zahlen in eine einheitliche Repräsentation übertragen werden. Diese Repräsentationen sind aber nicht wie im *abtract-modular Modell* von McCloskey (1992) abstrakt-semantisch, sondern basieren auf einem interindividuell variierenden verbalen oder visuell-arabischen Code.

Von diesen vier Modellen stoßen die von McCloskey (1992; McCloskey et al., 1985) und Dehaene (1992; Dehaene & Cohen, 1995, 1997) derzeit am stärksten auf Akzeptanz. Es stellt sich allerdings die Frage, ob diese zumeist aus Einzelfallstudien an Erwachsenen mit neuropsychologischen Störungen entwickelten Modelle auf Kinder übertragbar sind. Kaufmann und Nuerk (2005, S. 150-152) sehen hier drei bislang ungelöste Probleme: Einerseits sind die prämorbiden Leistungen von Kindern schlechter abschätzbar als die von Erwachsenen; weiter unterliegen Leistungsentwicklungen im Kindesalter intra- und interindividuellen Unterschieden, die diese Modelle nicht berücksichtigen können; und nicht zuletzt fehlt empirische Evidenz zur neuroanatomischen Verortung von Rechenstörungen bei Kindern.

2.4 Fazit: Entwicklung des Rechnens

Streng genommen kann derzeit nicht klar entschieden werden, ob es beim Menschen angeborene numerische Fähigkeiten gibt. Das bereits bei sehr jungen Säuglingen beobachtbare Phänomen, dass sie auf Veränderungen in kleinen Sets von Elementen reagieren (z.B. Antell & Keating, 1983), ist schlichtweg nicht abtrennbar von Wahrnehmungsprozessen (Clearfield, 2004). Die Vorstellung früher numerischer Fähigkeiten ist aber eng mit dem Konzept eines angeborenen *number sense* verbunden. Die Reaktionen der Säuglinge auf Reizveränderungen quantitativer Art bedeutet nicht zwingend, dass die Kinder bereits von der Geburt an über einen number sense bzw. ein Quantitäts-Konzept verfügen oder Quantitäten wahrnehmen können, sondern sagt lediglich aus, dass sie auf Veränderungen von Quantitäten (kontinuierlicher Variablen) reagieren. „Voreilig wäre es ..., dem Menschen einen Zahleninstinkt zu unterstellen, auf dessen Grundlage quantitative Informationen aufgenommen und verarbeitet werden“ (Stern, 2005, S. 293-294). Dennoch entwickeln sich spezifische numerische Leistungen (bzw. biologisch primäre Fähigkeiten) bereits in einer frühen Phase der Entwicklung, lange vor Beginn der eigentlichen Beschulung (Brannon, 2002; Gilmore et al., 2007; Lipton & Spelke, 2003). Als mögliche Erklärung für diese Leistungen wird gerne das Subitizing-Phänomen bemüht (Starkey & Cooper, 1980; Trick & Pylyshyn, 1994). Mix, Huttenlocher und Levine (2002b, S. 82) sehen hierfür zwei Gründe: Zum einen unterliegen beide Phänomene einer gewissen Mengenbeschränkung. So sind die numerischen Leistungen bei Kleinkindern in der Regel auf kleine Mengen beschränkt, mitunter differenzieren knapp ein Jahr alte Kinder drei von vier Elementen (Strauss & Curtis, 1981). Aber auch die Subitizingleistung wird gerne auf Mengen von ungefähr vier Elementen begrenzt, auch

ten begrenzt, auch wenn dies eigentlich nur für ältere Kinder gilt (Starkey & Cooper, 1995; Svenson & Sjöberg, 1978). Der zweite Grund betrifft die mit dem Subitizing-Phänomen verbundenen theoretischen Annahmen, denn hier wird zuweilen die These vertreten, dass es sich beim Subitizing um einen Low-level-Wahrnehmungsprozess handelt, der unabhängig von der Verfügbarkeit von Zählfertigkeiten nutzbar ist (z.B. Trick & Pylyshyn, 1994). Subitizing ist fraglos ein interessantes Phänomen, insbesondere wenn es mit Zählleistungen kontrastiert wird. Zur Erklärung der frühen numerischen Fertigkeiten von Säuglingen scheint es aber wenig geeignet, da sich diese Fertigkeiten eher auf die Wahrnehmung von Veränderungen kontinuierlicher Variablen bzw. auf die Wahrnehmung der physikalischen Gesamtmenge einer Reizdarbietung beziehen (Mix et al., 2002b).

Vorschulisch erworbene numerische Fähigkeiten spielen eine gewichtige Rolle für die Entwicklung der schulischen Rechenleistungen, wobei sich in der Primarstufe eine hohe differenzielle Entwicklungsstabilität im Rechnen zeigt und nicht alle Kinder im Laufe der Beschulung eine ausreichende Rechenkompetenz erreichen. Somit liegt es nahe, relevante Marker und Determinanten für Rechenschwierigkeiten im vorschulischen Entwicklungsverlauf der Kinder identifizieren zu wollen. Die mit Rechenschwierigkeiten Fragen der Definition und Häufigkeit werden im nächsten Abschnitt erörtert.

3. Definition und Epidemiologie von Rechenschwächen

Aus praktischer Perspektive verfolgt der schulische Mathematikunterricht das Ziel, möglichst alle Kinder auf ein einheitliches und hohes Leistungsniveau in einer Reihe spezifischer, unmittelbar zahlbezogener Fertigkeiten wie Zählen, Rechnen, Messen oder Analyse von Daten, aber auch mittelbar zahlbezogene Fertigkeiten in geometrischen und raumorientierenden Kontexten zu bringen (z.B. Lankes & Walther, 2001, S. 197-198). Bislang wurden im Primarstufen-Curriculum zur Vermittlung dieser Fertigkeiten Unterrichtsinhalte in den drei klassischen Inhaltsbereichen Arithmetik und Zahlverständnis, Sachrechnen und Umgang mit Größen sowie Geometrie vorgesehen. Die endgültige Ausgestaltung der Rahmenlehrpläne ist entsprechend der föderalistischen Grundkonzeption des deutschen Bildungswesen Angelegenheit der Kultusministerien. Dies führte bislang dazu, dass sich die Rahmenlehrpläne der Primar- und Sekundarstufe zwischen den einzelnen Bundesländer zum Teil erheblich unterschieden (vgl. Gölitz et al., 2005; Marx & Krocker, 2005). Die nun gemeinsam verabschiedeten Bildungsstandards lassen eine bundeslandübergreifende Angleichung der Lehrpläne erwarten, was letztendlich auch zur Sicherung gleicher Bildungschancen beiträgt (vgl. Klieme et al., 2003, S. 29). Die bundeslandübergreifende Angleichung der Lehrpläne ist nicht trivial, sondern stellt eine notwendige Voraussetzung dar, um schwache und gestörte Leistungen im Fach Mathematik valide bestimmen zu können. Nur wenn Konsens über Art und Vermittlungszeitpunkt mathematischer Inhalte vorliegt und diese Vermittlung auch realisiert wurde, macht es überhaupt Sinn, eine am Curriculum orientierte Leistungsmessung vorzunehmen und als individuellen Leistungsmarker zu betrachten. Dem individuellen Leistungsmarker kommt als quantifizierende und qualifizierende Größe eine bedeutsame Rolle zu, da es einigen Kindern trotz ausreichender Beschulung nicht gelingt, ein dem Mathematik-Curriculum entsprechendes Leistungsniveau zu erreichen, obwohl sie in anderen Schulleistungsbereichen ggf. sogar unauffällige Leistungen zeigen. Insgesamt stellen derartige Leistungsdefizite im Bereich der Mathematik ein nicht zu unterschätzendes Problem in der Grundschule dar.

Sowohl im praktischen als auch im Forschungskontext werden diese Leistungsdefizite nicht eindeutig bzw. unterschiedlich definiert (Mazzocco, 2005). Im Folgenden wird darge-

stellt, nach welchen Kriterien Leistungseinschätzungen und insbesondere Einschätzungen auffälliger (schwacher) Leistungen im Fach Mathematik erfolgen sollten. Leistungsschwierigkeiten bzw. Leistungsprobleme im Fach Mathematik werden als Rechenschwächen betrachtet (vgl. Grube, im Druck), die entsprechend des Forschungsstandes in ihren Unterklassifikationen und Häufigkeiten kurz vorgestellt und durch eigene Befunde ergänzt werden.

3.1 Begriffsbestimmung: Rechenleistung, Rechenschwäche, Rechenstörung

Die schulische Mathematik in der Primarstufe befasst sich vornehmlich mit der Anwendung konsistenter formaler Strukturen in traditionellen Teilbereichen der Mathematik, wie z.B. der Arithmetik oder der Geometrie. Der Mathematikunterricht zielt im Prinzip darauf ab, die besonderen Regeln und ihre Anwendung einzuüben. In den 2004 verabschiedeten Bildungsstandards werden Mathematikleistungen zwar als Kompetenzen verstanden (vgl. Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, 2005, S. 6-11), dies erleichtert aber keineswegs die Operationalisierung derartiger Leistungen, da bislang wenig Klarheit darüber herrscht, wie die einzelnen Teilfertigkeiten und Kenntnisse der Inhaltsbereiche in diesem Modell miteinander interagieren (vgl. Kapitel 2). Beim Kompetenzmodell der Bildungsstandards handelt es sich um ein theoretisches Modell, dessen empirischer Nachweis noch aussteht (dies gilt z.B. auch für das Kompetenzmodell der IGLU-E Studie, Walther, Geiser, Langeheine & Lobemeier, 2003). Hinzu kommt, dass für viele mathematische Domänen, wie z.B. Algebra oder Geometrie, wenig über das den Kompetenzen zugrunde liegende kognitive System bekannt ist (Geary, 2005, S. 306). Einen ähnlichen, aber doch alternativen Zugang zur Operationalisierung von Mathematikleistungen wählen zum Beispiel die „Deutschen Mathematiktests für dritte und vierte Klassen", die explizit auf einem bundesweit gültigen *curricularen Modell* basieren (Gölitz et al., 2005). Zur Umschreibung von schwachen Mathematikleistungen wird ungeachtet von Kompetenzüberlegungen dennoch gerne auf in der Arithmetik verankerte Rechenleistungen zurückgegriffen. So wird z.B. von Geary (1993) die „mathematical disability" über geringe Leistungen in den Rechenfertigkeiten und Schwächen beim Faktenabruf definiert. Ganz ähnlich operationalisieren Lewis et al. (1994) „specific arithmetical difficulties" über Schwierigkeiten in der Arithmetik bei normaler Intelligenz. Probleme in der Rechenleistung lassen sich sekundär im Rahmen einer Reihe klinischer Störungsbilder sowie als Teilleistungsstörung im schulischen Kontext beobachten. Im klinisch-psychologischen Bereich

können Rechenschwierigkeiten als Begleitsymptom einer hirnpathologischen Störung oder hirnschädigenden Noxe sowie in Verbindung mit neurologischen und psychiatrischen Störungsbildern auftreten, wie z.B. im Zusammenhang mit Demenzen (Ardila & Rosselli, 2002; Girelli & Delazer, 2001; Kaufmann et al., 2002), dem Gerstmann-Syndrom (Benton, 1987; Suresh & Sebastian, 2000), dem Turner-Syndrom (Bruandet, Molko, Cohen & Dehaene, 2004; Mazzocco, 1998, 2001; Rovet, Szekely & Hockenberry, 1994; Temple & Marriott, 1998), aber auch in Verbindung mit Epilepsie, Phenylketonurie, Fragilem X-Syndrom oder bei sehr geringem Geburtsgewicht (zusammengefasst bei Haskell, 2000, S. 80; Kaufmann & Nuerk, 2005, S. 158-160). Von diesen *Akalkulien* sind die Leistungsdefizite im Rechnen abzugrenzen, die sich ohne erkennbare äußere Einwirkung entwickelt haben und die im pädagogisch-psychologischen Kontext als *Rechenschwäche* (dimensionales Verständnis) und in der schweren Form als *Rechenstörung* (kategoriales Verständnis) bzw. als *Dyskalkulie* oder *Entwicklungs-Dyskalkulie* (z.B. Kosc, 1974; Shalev & Gross-Tsur, 2001; Sharma & Loveless, 1986; von Aster, 1994) bezeichnet werden. Wie Magne (2003, S. 9) feststellt, ist der Begriff *Dyskalkulie* aus etymologischer Sicht ungünstig, da er aus der griechischen Vorsilbe „dys-“ und dem lateinischen Wort „calculus“ konstruiert wurde. Somit erscheint nicht nur aus Gründen einer validen Definition und Operationalisierung der schulischen Mathematik der Begriff *Rechenstörung* handhabbarer (vgl. zu einer differenzierten Darstellung der Begrifflichkeiten und Operationalisierungen: Grube, im Druck). Während die verursachenden Faktoren für die erworbenen Rechenstörungen (also Akalkulien) relativ klar und gut identifizierbar sind, ist die Ätiologie der nicht-erworbenen Rechenstörungen noch unklar (vgl. aber zu dem Versuch ein neuronales Korrelat für spezifische Rechenschwierigkeiten bei Kindern mit geringem Geburtsgewicht zu identifizieren: Isaacs, Edmonds, Lucas & Gadian, 2001).

Bereits zu einem frühen Zeitpunkt wurden für die Entstehung von Rechenstörungen auch hereditäre Verursachungsfaktoren diskutiert (Kosc, 1974). Neuere Untersuchungen zu Rechenstörungen bei Zwillingen deuten darauf hin, dass für einen Teil der Kinder mit Rechenstörungen genetische Faktoren eine Rolle spielen (Alarcón, DeFries, Light & Pennington, 1997; Oliver et al., 2004). In der israelischen Längsschnittstudie von Ruth Shalev finden sich Hinweise für die Bedeutung familiärer Faktoren hinsichtlich Prävalenz und Persistenz von Rechenstörungen (Gross-Tsur, Auerbach, Manor & Shalev, 1996; Shalev, Manor, Auerbach & Gross-Tsur, 1998). Zum Teil beruhen diese Ergebnisse aber nur auf Be-

richten der Eltern über Leistungsdefizite weiterer Familienmitglieder im Rechnen. In einer weiteren Studie wurden hingegen die Familien der Kinder mit einer Rechenstörung ebenfalls untersucht (Shalev et al., 2001), mit dem Ergebnis, dass bei 52% der Familienmitglieder ebenfalls eine Rechenstörung diagnostiziert wurde. Hier dürfte allerdings eine Überschätzung vorliegen, da die Autoren verhältnismäßig schwache diagnostische Kriterien angelegt haben (0.68 *SD* Altersdiskrepanz und 1.0 *SD* IQ-Diskrepanz; s.u.). Weitere methodische Probleme bedingen sich durch einen, zwar nicht statistisch, aber praktisch bedeutsamen IQ-Unterschied zwischen Eltern mit und ohne Rechenstörung von d=.57 sowie die massiv erhöhte Streuung im Rechentest bei Geschwisterteilen mit Rechenstörung (Faktor 1.7). Vorrangig scheinen Mädchen von den familiären Einflüssen tangiert zu werden, wie die Zusammenhangsanalysen zeigen, wobei aber die Kontrolle des Erziehungseinflusses resp. der Leistung der Eltern unterbleibt. Aber selbst, wenn sich für Kinder mit einer Rechenstörung familiär eine höhere Prävalenz zeigt, so ist dies nur ein Indiz, aber kein Beweis für die Relevanz einer genetischen Komponente. Insgesamt ist davon auszugehen, dass für die Entwicklung und Aufrechterhaltung einer Rechenstörung auch eine ganze Reihe nichtgenetischer Faktoren eine wesentliche Rolle spielen.

Die Beurteilung der Rechenleistung sollte anhand eines entsprechend normierten Testverfahrens erfolgen. Die Klassifikationen „Rechenschwäche“ und „Rechenstörung“ lassen sich hierbei als spezifische Leistungsausprägungen der Rechenleistung betrachten, die sich zum einen in ihrer Schwere unterscheiden, zum anderen aber auch in ihrem Störungsverständnis. Zur Feststellung einer Rechenstörung sieht die *Internationale Klassifikation psychischer Störungen* (ICD-10, Dilling, Mombour & Schmidt, 1991, S. 260-261) vor, dass die Rechenleistung „eindeutig unterhalb des Niveaus liegen [muss], welches aufgrund des Alters, der allgemeinen Intelligenz und der Schulklasse zu erwarten“ wäre, ohne dass die Leistungsdefizite im Rechnen auf die Beschulung oder eine physische, psychische oder neurologische Erkrankung zurückgehen. In der diagnostischen Praxis werden diese Kriterien testdiagnostisch über Diskrepanzberechnungen geprüft. Die individuelle Rechenleistung wird relativ zu einer im Hinblick auf Alter und Beschulung zu erwartenden „normalen“ Leistung (Alters-/Beschulungsdiskrepanz; AB-Diskrepanz) sowie im Hinblick auf das Leistungspotenzial (P-Diskrepanz; da das Leistungspotenzial in der Regel über die Intelligenz bzw. den IQ operationalisiert wird, wird diese Diskrepanz auch als IQ-Diskrepanz bezeichnet) des Kindes betrachtet.

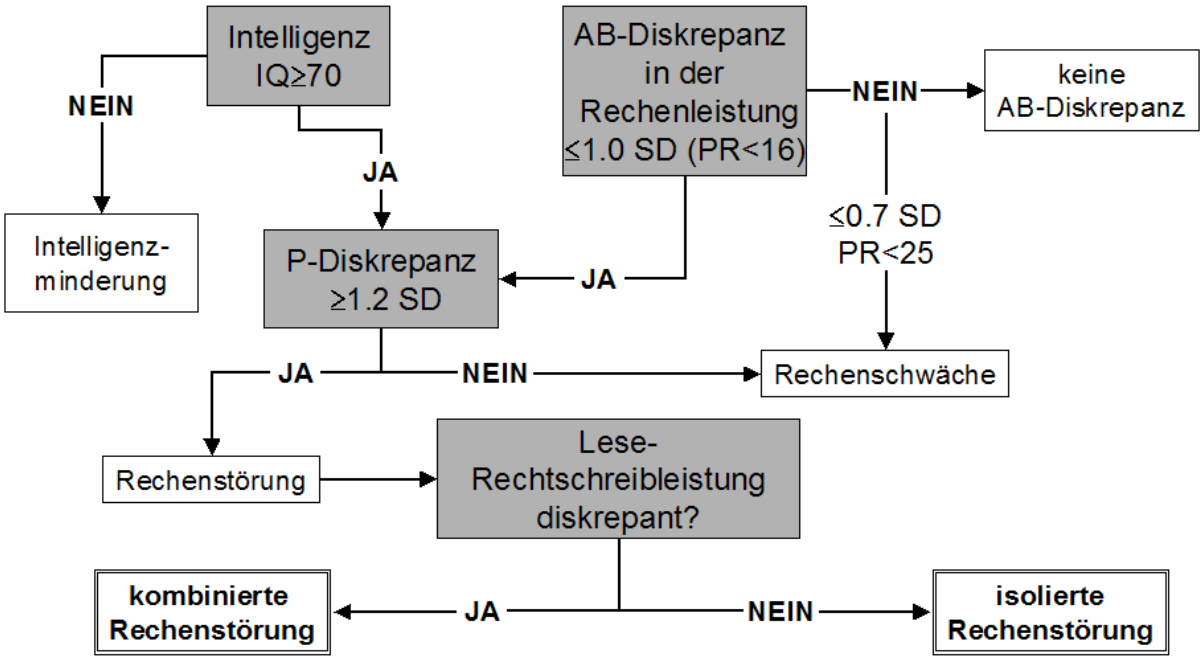


Abbildung 2: Diagnostisches Vorgehen bei Rechenschwächen und -störungen, entsprechend der praktischen Umsetzung der in der Internationalen Klassifikation psychischer Störungen (ICD-10, Dilling et al., 1991) aufgeführten Kriterien, angelehnt an Jacobs und Petermann (2005).

Abbildung 2 fasst den (idealen) Ablauf der Minimaldiagnostik einer Rechenschwäche bzw. -störung zusammen. Die AB-Diskrepanz wird über einen Vergleich zwischen der individuellen Rechenleistung und einer nach Alter und Beschulung zu erwarteten Leistung beurteilt. Dabei wird die Grenze für *Rechenschwäche* meist bei einer Testleitung unterhalb von Prozentrang 25 angesiedelt, was einer Diskrepanz von 0.7 Standardabweichungen (*SD*) zur nach Alter und Beschulung angemessenen durchschnittlichen Leistung entspricht (zur Erhöhung der Transparenz werden beide Diskrepanzen über lineare Normwerte ausgedrückt). Für eine Rechenstörung muss laut AB-Diskrepanz ein deutlich höherer Schweregrad der Leistungsdefizite im Rechnen vorliegen, so dass hier die Testleistung einen Prozentrang von 16 (1.0 *SD* Diskrepanz) nicht überschreitet. Zusätzlich gilt es zu prüfen, ob neben der AB-Diskrepanz auch eine ausreichende P-Diskrepanz bzw. IQ-Diskrepanz vorliegt. Eine *Rechenstörung* liegt nach Abbildung 2 dann vor, wenn neben einer entsprechenden AB-Diskrepanz auch eine Diskrepanz von 1.2 *SD* zur Intelligenztestleistung auftritt und eine allgemeine Intelligenzminderung ausgeschlossen werden kann (vgl. Jacobs & Petermann, 2005). Die in diesem Modell festgelegten Diskrepanzen sind willkürlich festgelegt und in ihrer Höhe selbstverständlich abänderbar. Generell gilt aber, dass die Rechenstörung ein Sonderfall der Rechenschwäche darstellt. Rechenstörungen im Sinne von Lernstö-

rungen grenzen sich von Rechenschwächen aber nicht dadurch ab, dass für sie eine noch extremere Position auf der Dimension Rechenleistung angenommen wird, sondern es liegen ihr auch Annahmen zu kategorialen Unterschieden zugrunde, da bei der Rechenstörung die Minderleistung im Rechnen relativ zum Leistungspotenzial betrachtet wird.

Die Bestimmung der P-Diskrepanz kann nach unterschiedlichen Algorithmen erfolgen (Evans, 1990). In einer einfachen Variante werden das Leistungspotenzial resp. die Intelligenz und die Schulleistung einfach subtraktiv verrechnet (einfache Diskrepanzberechnung). Die Grundlage hierfür ist die Annahme, dass eine Diskrepanz in allen Intelligenzbereichen gleich wahrscheinlich ist. Tatsache ist aber, dass Leistungen in Schultests und in Intelligenztests miteinander kovariieren, die Korrelationen liegen dabei im Bereich von .40 bis .60 (Siegel, 2003). Dies führt in den Randbereichen der Intelligenz zur Unterschätzung der Diskrepanz in den unteren Intelligenzbereichen, während im oberen Intelligenzbereich die P-Diskrepanzen bedingt durch die Voraussetzung einer vorhandenen AB-Diskrepanz ohne Relevanz sind (Hasselhorn, Mähler, Schuchardt & Roick, 2006). Ein alternatives Vorgehen stellt die regressionsanalytische Schätzung einer potenziellen Schulleistung durch die Intelligenztestleistung dar (Reynolds, 1984; Schulte-Körne, Deimel & Remschmidt, 2001; L. R. Wilson & Cone, 1984). Prinzipiell löst sich eine regressionsanalytisch bestimmte Diskrepanz vom klassischen Diskrepanzgedanken und der damit verbundenen Abhängigkeit vom Intelligenzquotienten, da nun im Wesentlichen die Schulleistung über die Diskrepanz entscheidet. Ebenso wird das Problem einer Regression zur Mitte aufgrund fehlender perfekter Korrelation zwischen Intelligenzleistung und Schulleistung angegangen (vgl. Van den Broeck, 2002a). Dieses Vorgehen führt aber ebenfalls zu Verzerrungen im Randbereich, da nun eine Überkorrektur im unteren Intelligenzbereich resultiert (Francis et al., 2005, S. 99), so dass auch nominal geringe einfache P-Diskrepanzen als bedeutsam erachtet werden. Diese Art der Bestimmung einer P-Diskrepanz könnte jedoch beibehalten werden, wenn zusätzlich eine kritische Differenz zwischen Schulleistung und Intelligenzleistung berücksichtigt würde (vgl. Evans, 1990; McLeod, 1979).

Generell wird die Berücksichtigung einer P-Diskrepanz bei der Diagnose von Rechenstörungen bzw. Teilleistungsstörungen kontrovers diskutiert (Aaron, 1997; Fletcher et al., 1998; Francis et al., 2005; Siegel, 1989, 2003; Stanovich, 1989, 1993, 2005; Sternberg & Grigorenko, 2002; Stuebing et al., 2002; Van den Broeck, 2002a). Die Diskrepanzdiagnostik ist historisch gesehen eng an das Konzept der Lernstörung (*learning disabilities*) gebunden (Kirk,

1962; Kirk & Bateman, 1962; vgl. zur Kritik am Lernstörungskonzept z.B. Kavale & Forness, 2000), erste Präsentationen dieses Konzeptes finden sich z.B. im Zusammenhang mit der *Isle of Wight* Studie (Rutter & Yule, 1975). Zwar kommt man nicht umhin, dem Diskrepanzkonzept eine gewisse innewohnende Logik zu attestieren, wenn Schülerinnen und Schüler bereichsspezifisch schlechte Leistungen trotz einem als unauffällig zu bezeichnenden Leistungspotenzials zeigen; aber insbesondere aus diagnostischer Perspektive finden sich einige Kritikpunkte, die an dieser Stelle kurz umrissen werden sollen.

Bei der Diskrepanzdiagnostik handelt es sich grundsätzlich auch um eine testdiagnostische Entscheidung, dementsprechend sind Probleme der Normierung, der Validität und auch der Reliabilität hinsichtlich der genutzten Testverfahren zu betrachten (Siegel, 1989; Sternberg & Grigorenko, 2002). Gerade für den Bereich der Normwerte stellen mögliche säkulare Veränderungen (z.B. Flynn, 1987) insbesondere dann ein Problem dar, wenn diese gegenläufig verlaufen (z.B. Sundet, Barlaug & Torjussen, 2004, vgl. Abb. 2 auf S. 355). Dies führt im Falle säkular-bedingter Überschätzungen der Intelligenzleistung und Unterschätzungen der Schulleistung zu einer Zunahme von falsch-positiv Entscheidungen im Rahmen der Diagnostik von Rechenstörungen.

Aus Sicht der Validität muss die Frage gestellt werden, ob die genutzten Testverfahren auch tatsächlich die anvisierten Leistungsbereiche gültig erfassen. Aufgrund der Vorhersagegüte der Intelligenz für die Schulleistung (z.B. Gagné & St Père, 2002; Krapp, 1973; te Nijenhuis, Resing, Tolboom & Bleichrodt, 2004; vgl. aber: Ceci, 1991) wird traditionell versucht, das Leistungspotenzial über einen Intelligenztest zu operationalisieren. Wie aber Siegel (2003, S. 3) pointiert formuliert, hat die Höhe des elterlichen Einkommens einen ähnlich hohen prognostischen Zusammenhang zur Schulleistung wie die Intelligenz und könnte demzufolge ebenso als Schätzer für das Leistungspotenzial fungieren. Tatsächlich kann an dieser Stelle ebenfalls überlegt werden, ob das Leistungspotenzial nicht anhand der Intelligenz, sondern auch durch andere Maße bzw. Leistungsbereiche schätzbar wäre (z.B. durch die Leistung in einem anderen Schulfach).

In der Regel basieren beide Diskrepanzberechnungen auf einmaligen Messungen, d.h. entsprechende Testleistungen zur Beurteilung der Diskrepanzen werden einmal erhoben. Derartig gewonnene Testleistungen stellen aber nur eine mehr oder weniger genaue Schätzung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit dar. Diese Ungenauigkeit wirft die Frage auf, ob eine Diskrepanz in der Testperformanz auch als bedeutsam einzuschätzen ist. Durch Be-

rücksichtigung der Testreliabilitäten ließe sich über den Standardmessfehler eine „minimale wahre Diskrepanz“ oder aber die Bedeutsamkeit der beobachtbaren Diskrepanzen via der oben bereits angesprochenen „kritischen Differenz“ abschätzen. Ob die Reliabilität einer P-Diskrepanz zusätzlich dadurch verringert wird, weil zwei Testverfahren jeweils ihren Messfehler einbringen, wird kontrovers diskutiert (Sternberg & Grigorenko, 2002; Van den Broeck, 2002b, S. 211).

Aber auch andere Probleme der Diskrepanzdiagnostik sind bislang noch nicht ausreichend geklärt worden. So umfasst die volle Diagnosestellung nach Abbildung 2 mindestens vier Entscheidungen (graue Kästen), die jede für sich mit einem Fehlerrisiko behaftet ist. Bislang fehlen Vorschläge, wie diese Fehlerrisiken angemessen berücksichtigt werden könnten. Ginsburg (1997) kritisiert den reduktionistischen Grundansatz der Diskrepanzdiagnostik sowie das Problem, dass Kinder mit Motivationsproblemen oder geringem Selbstkonzept nicht aus der Gruppe der Kinder mit Rechenstörungen aussortiert bzw. fehlklassifiziert werden. Auch erschwert der diskrepanzdiagnostische Ansatz die Identifikation von Fällen in den frühen Schuljahren, da sich die Diskrepanz hier noch nicht weit genug entwickelt hat (*wait-and-fail-Modell*) (Dombrowski, Kamphaus & Reynolds, 2004; Mather & Roberts, 1994; Stuebing et al., 2002). Bislang konnte auch nicht nachgewiesen werden, dass Unterschiede in der Schwere der Rechenschwächen bzw. -störungen auch qualitative Unterschiede (vgl. Abschnitt 3.2) oder gar unterschiedliches Profitieren von einer Intervention bedeuten (Siegel, 1989; Stanovich, 2005; vgl. zu einer ähnlichen Diskussion im LRS-Bereich Jiménez et al., 2003; Weber, Marx & Schneider, 2002; vgl. auch zu einer differenzierten Sicht über die Bedeutung von Intelligenz zur Vorhersage des Behandlungserfolges D. Fuchs & Young, 2006). Weiter sind übergreifende Probleme der Diskrepanzdiagnostik zu nennen, wie z.B. eine nicht ausreichende Standardisierung und Konsistenz des diagnostischen Prozesses (Dombrowski et al., 2004), das zwanghafte Suchen (und Finden) von Diskrepanzen (Sternberg & Grigorenko, 2002) sowie die mangelnde Ankopplung des Diskrepanzkonzepts an die Forschung (Stanovich, 2005).

Die praktische Umsetzung der Diskrepanzdiagnostik erfordert den Einsatz eines normierten Intelligenzverfahrens sowie eines normierten Rechentests. Während der Verfügbarkeit mehr oder minder brauchbarer Intelligenzverfahren eigentlich durchgängig Aufmerksamkeit geschenkt wurde (Holling, Preckel & Vock, 2004), gab es bis vor ein paar Jahren kaum geeignete Rechen- und Mathematiktests im deutschsprachigen Raum (Hem-

minger, Roth, Schneck, Jans & Warnke, 2000). In den letzten Jahren hat sich diese Situation aber durch eine Reihe von Testentwicklungen deutlich geändert (z.B. Hasselhorn, Marx & Schneider, 2005; Schuchardt & Hasselhorn, 2005). Mit der wachsenden Vielfalt an verfügbaren Rechentests steigt allerdings auch die Gefahr inkonsistenter diagnostischer Befunde, was insbesondere bei der Gruppenauswahl bzw. Operationalisierung von Rechenleistungen zu Problemen führen könnte (Mazzocco & Myers, 2003).

Aufgrund dieser Probleme werden zunehmend Stimmen laut, die letztendlich einen generellen Verzicht auf die Berücksichtigung einer P-Diskrepanz in der Diagnostik von Teilleistungsstörungen fordern (z.B. Siegel, 2003) oder gar andere Zugangswege vorschlagen (z.B. Vaughn & Fuchs, 2003; vgl. aber Kavale, Holdnack & Mostert, 2006). Eine Möglichkeit wäre es, bei unauffälliger Intelligenz allein substanzielle Minderleistungen in einem oder mehreren curricularen Kernbereichen über Vergabe der Diagnose einer Teilleistungsstörung entscheiden zu lassen (*developmental learning delay*; Dombrowski et al., 2004, S. 367). Für die Identifikation rechenschwacher oder -gestörter Kinder könnte es im Primarstufenbereich demzufolge ausreichen, bei unauffälliger Intelligenz die Kinder z.B. allein anhand ihrer Leistungsschwächen bei der Bearbeitung von Faktenaufgaben auszuwählen. Aber neben der Differenzierung zwischen Rechenschwäche und Rechenstörung lässt sich eine weitere wichtige Betrachtungsebene einbeziehen: die der Komorbidität mit weiteren Störungen der schulischen Entwicklung im Bereich der Lese-Rechtschreibleistung. Tritt eine Rechenstörung gemeinsam mit Problemen in der Lese- und Rechtschreibleistung auf, wird von einer „kombinierten Rechenstörung“ bzw. „kombinierten Störung schulischer Fertigkeiten“ (ICD-10, Dilling et al., 1991) gesprochen. Fehlen entsprechende Auffälligkeiten im Lese-Rechtschreibbereich, wird von einer „isolierten Rechenstörung“ ausgegangen (vgl. Abbildung 2).

3.2 Komorbidität und Subtypen

Ein weiterer Gesichtspunkt zur Beschreibung von Leistungsdefiziten im Rechnen betrifft die Eingrenzbarkeit resp. Spezifität der Rechenstörung. Schon früh wurde versucht, aufgrund von spezifischen klinischen Störungsmustern homogene Subgruppen von Rechenstörungen zu identifizieren (eine Übersicht dazu findet sich bei Rourke & Conway, 1997). Neben dem Ansatz von Kosc (1974; Sharma & Loveless, 1986), der zwischen sechs unterschiedlichen Typen von Rechenstörungen differenziert (verbale, grafische, lexikalische,

operationale, praktognostische und ideognostische Rechenstörung), die alle isoliert auftreten können, lassen sich gegenwärtig drei zentrale Vorschläge zur Subgruppendefinition unterscheiden. Allen drei gemeinsam ist eine Differenzierung zwischen dem alleinigen Auftreten einer Rechenstörung und dem Auftreten einer Rechenstörung in Komorbidität mit Lese-Rechtschreibproblemen (vgl. auch Lewis et al., 1994)(vgl. Abschnitt 3.1).

Die von Rourke und Mitarbeitern (Rourke, 1989; Rourke & Finlayson, 1978; Rourke & Strang, 1978; Strang & Rourke, 1985) seit den 1970er Jahren durchgeführten Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen schulischen Lernstörungen und neuropsychologischen Funktionsstörungen führte zur Definition von anfangs drei Subgruppen, die schließlich auf die zwei bekannten Subtypen R-S (primäre Störung im Lese-Rechtschreibbereich) resp. BPPD (*Basic Phonological Processing Disabilities*; Drummond, Ahmad & Rourke, 2005) und Subtyp A (primäre Störung im arithmetischen Bereich) als spezifische Ausformung der nonverbalen Lernstörung (NLD) eingeschränkt wurden (vgl. Rourke, 1993; der dritte Subtyp R-S-A wurde aufgrund seiner Heterogenität ausgeschlossen). Die Subgruppenzuordnung nach dem Ansatz von Rourke basiert auf den Leistungen in einer schulischen Testbatterie. Dabei wird angenommen, dass spezifische Leistungsmuster der Kinder im Lesen, Rechtschreiben und arithmetischen Rechnen auf unterschiedliche neuropsychologische Funktionsmuster bzw. -störungen zurückgeführt werden können. Entsprechend der Ergebnisse von Rourke weisen Kinder mit schlechter arithmetischer Rechenleistung und unauffälliger, altersangemessener Lese-Rechtschreibleistung Defizite in der visuell-räumlichen und taktil-kinästhetischen Wahrnehmung sowie psychomotorische Defizite und Probleme in der Konzeptbildung auf (Semrud-Clikeman & Hynd, 1990; Strang & Rourke, 1983, 1985). Rourke (1982) vermutet für diese Kinder des *Subtyps A*, für die dementsprechend eine nonverbale Lernstörung (NLD) angenommen wird, dass eine zentrale Verarbeitungsstörung in Verbindung mit einer rechtshemisphärischen Dysfunktion einen negativen Einfluss auf die Arithmetikleistung ausübt. Begleitend finden sich häufig affektive Störungen in Form von Angststörungen und Depressionen sowie Kontaktprobleme als Störungen der sozialen Kompetenz (Davis, Parr & Lan, 1997; Fuerst, Fisk & Rourke, 1989, 1990; Fuerst & Rourke, 1993; Rourke, 1993). Jüngere Untersuchungen weisen zudem auf sehr spezifische Probleme der visuellen Gedächtnisleistungen bei NLD-Kindern hin, z.B. auf Defizite beim sofortigen Wiedererkennen von Gesichtern (Liddell & Rasmussen, 2005). Die Hypo-

these, dass derartige spezifische Gedächtnisprobleme zur Entstehung sozio-emotionaler Probleme beitragen, erscheint zwar plausibel, bislang fehlen dafür aber empirische Belege.

Für Kinder mit Problemen im Lese-Rechtschreibbereich wird ein linkshemisphärisches Defizit angenommen. Diese Kinder, die zum *Subtypus R-S* gezählt werden, weisen Schwierigkeiten im Bereich der auditiv-sprachlichen Verarbeitung und Stärken im Bereich der nonverbalen, visuell-räumlichen und psychomotorischen Funktionen auf. Relativ zur NLD-Gruppe zeigt sich ein weitgehend gegenläufiges neuropsychologisches Leistungsprofil bzw. ein Cross-over-Effekt. Sehr deutlich ist dieser auch in den Leistungen von Testbatterien, welche explizit zwischen einem Verbal- und einem Handlungsteil unterscheiden, wie z.B. die nach eher klinischen Anforderungen konstruierten Testverfahren der Wechsler-Reihe (vgl. zu einer Kurzdarstellung der Testverfahren Holling et al., 2004). Für Kinder des NLD-Subtyps zeigt sich aufgrund der weitgehend intakten Verbalfunktionen in der Regel auch eine relativ zum Handlungsteil höhere Leistung im Verbalteil, während Kinder der R-S-Gruppe eine im Vergleich zum Verbalteil höhere Leistung im Handlungsteil zeigen (Davis et al., 1997; Rourke & Conway, 1997). Auch die Qualität der Rechenschwierigkeiten unterscheidet sich von denen der NLD-Kinder. Während bei den R-S-Kindern vor allem die „mechanisierte Arithmetik“ beeinträchtigt erscheint, sind die Rechenschwierigkeiten der NLD-Kinder deutlich umfangreicher (Rourke, 1993).

Die von Rourke und Kollegen anvisierte neuropsychologische Verankerung von Rechenstörungen konnte bislang nicht ausreichend bestätigt werden. Zwar finden sich bei Kindern mit kombinierter Rechenstörung mitunter keine entsprechenden neuropsychologischen Defizite (Blender, 2004), aber ohne Einbezug und Abgleich mit einer Gruppe von rechengestörten Kindern, die dem Subtyp A entsprechen, kann dies eben nicht als Bestätigung für das Modell gewertet werden. Insgesamt bleiben erhebliche Probleme der Spezifität neuropsychologischer Funktionsdefizite bestehen, da nicht alle Kinder mit Problemen bei sprachlichen, visuell-räumlichen oder graphomotorischen Anforderungen eine Rechenstörung entwickeln und umgekehrt nicht alle Kinder mit Leistungsdefiziten im Rechnen neuropsychologisch auffällige Verhaltensmuster zeigen (D'Angiulli & Siegel, 2003; Geary, 1993; Ginsburg, 1997; von Aster, 2000). Die von Rourke berichteten Cross-over-Effekte ließen sich so nicht replizieren bzw. nur für Jungen (Share, Moffitt & Silva, 1988). Auch ergeben sich Probleme hinsichtlich der Stabilität der Subtypenklassifikation. So bleiben nur

für ca. 50% der Kinder die Subgruppenzuordnungen über einen Zeitraum von über 1.5 Jahren stabil (Silver, Pennett, Black, Fair & Balise, 1999).

Der Ansatz zur Differenzierung von Rechenstörungs-Subgruppen von von Aster (2000, S. 48-49, 52-53; von Aster, Kucian, Schweiter & Martin, 2005, S. 619) lehnt sich an das Triple-Code-Modell der Zahlverarbeitung von Dehaene (1992, S. 30-34) an. Dieses aus der Erwachsenenneuropsychologie entlehnte Modell postuliert drei funktionell zwar unabhängige, aber aufgabenbezogen miteinander interagierende Repräsentationsformen bzw. Module für die Verarbeitung von Zahlen (vgl. Abschnitt 2.3). Hierzu zählen ein visuelles Modul für die Repräsentation von Zahlen als Ziffern, ein verbales Modul für Zahlwörter und ein analoges Modul für die Mengenvorstellung bzw. die Darstellung eines Zahlwertes auf einem inneren Zahlenstrahl. An diesem Modell richtet von Aster (2001) die *Neuropsychologische Testbatterie für Zahlenverarbeitung und Rechnen bei Kindern* (ZAREKI) aus, die über insgesamt elf Aufgabentypen basale Zahl-, Zähl- und Rechenfertigkeiten erfasst. Von Aster (2001) vermutet, dass alle drei Module mit Beginn der Primarstufenzeit zumindest rudimentär entwickelt vorhanden sind, so dass sich im Verlauf der Grundschulzeit Rechenstörungen als deutliche Probleme in jeweils einem der drei Module manifestieren können. Um diese Annahme und die Brauchbarkeit des Modells zu belegen, berichtet von Aster (1996, S. 133-134; 2000, S. 48-49) die Ergebnisse einer kleineren, ausgelesenen Stichprobe von Grundschulkindern aus dem Züricher Raum. Diese 93 Kinder mit Rechenschwierigkeiten wurden zum Großteil auf der Grundlage eines Lehrerurteils rekrutiert, ca. ein Drittel der Kinder entstammen zusätzlich einer klinischen Einrichtung. Auf der Basis der ZAREKI-Leistungen lassen sich mittels Cluster-Analyse eine Gruppe schwacher Rechner sowie drei Gruppen mit schweren Rechenstörungen identifizieren und auf die einzelnen Module des Triple-Code-Modells beziehen. Der *sprachliche Subtyp* zeigt in erster Linie Defizite in Verbindung mit Zählprozessen, mit deutlichen Leistungsschwächen beim Abzählen von Mengen, beim Rückwärtszählen und bei einfachen Kopfrechenaufgaben der Addition und Subtraktion. Die Stärken dieser Kinder liegen in der Einordnung einer Zahl auf dem Zahlenstrahl, der kognitiven Mengenbeurteilung und in der Bearbeitung einfacher Textaufgaben. Bei über 80% der Kinder dieser Subgruppe findet sich eine begleitende Störung schulischer Fertigkeiten im Lese-Rechtschreibbereich und bei mehr als der Hälfte der Kinder tritt eine Aktivitäts- und Aufmerksamkeitsstörung zu Tage. Der *arabische Subtyp* zeigt Probleme im kulturvermittelten und schulrelevanten Zahlenwissen, wie dem Transkodieren von Zahl-

wörtern in die arabische Kodierung und umgekehrt. Die durchschnittliche Gesamttestleistung liegt ca. 0.8 *SD* unterhalb der Gruppe des sprachlichen Subtyps. Stärken dieser Gruppe liegen beim Abzählen und der perzeptiven Mengenbeurteilung, komorbide Störungen lassen sich nicht beobachten. Die dritte Störungsgruppe wird als *tiefgreifender Subtyp* bezeichnet. Diese Kinder zeigen mit Ausnahme des einfachen Abzählens von Punktmengen deutliche Defizite in allen Aufgabentypen der ZAREKI, besonders akzentuiert sind die Leistungsschwächen beim einfachen mentalen Addieren sowie beim Zahlenlesen. Die durchschnittliche Gesamtleistung dieser Kinder liegt ca. 2 *SD* unterhalb derer der Gruppe des sprachlichen Subtyps. Für 90% der insgesamt getesteten Kinder wird eine begleitende Störung schulischer Fertigkeiten im Lese-Rechtschreibbereich und für 70% Verhaltens- und emotionale Störungen angegeben (von Aster, 1996, S. 133-134; 2000, S. 48-49).

Die Probleme dieser Subtypenspezifikation liegen in der eingeschränkten Empirie, die bislang als Beleg vorliegt. Dies betrifft einmal die Testebene selbst, denn insgesamt umfasst die ZAREKI (von Aster, 2001) nur 63 Items, die sich auf 11 Aufgabentypen verteilen, d.h. im Mittel umfassen die Skalen weniger als 6 Items, manche Skalen umfassen gar nur 1 oder 2 Items. Die Subtypenklassifikation erfolgt aber alleine auf Basis der Leistungen in diesen Aufgabentypen, was in Anbetracht der skalenlängenbedingten Reliabilitätsprobleme bedenklich erscheint. Hinzu kommt, dass die Analysen von von Aster (1996, 2000) auf einer verhältnismäßig kleinen ausgelesenen Stichprobe beruhen. So haben die Subgruppen bei von Aster (2000) einen durchschnittlichen Umfang von 11.33 Fällen, was einem prozentualen Anteil 12.19% entspricht (sprachlicher Subtyp: 11.83%; arabischer Subtyp: 13.98%; tiefgreifender Subtyp: 10.75%), mit geringfügig anderen Ergebnissen bei von Aster (1996). Ein Großteil der untersuchten Kinder mit Rechenschwierigkeiten zählt zur vierten Gruppe (von Aster, 1996: 63.37%; 2000: 63.44%) mit moderaten Schwächen in fast allen Aufgabentypen bei durchschnittlichen Zählfertigkeiten. In der Gesamtleistung liegt diese Gruppe ca. 0.1 *SD* unterhalb der Leistung der Gruppe des sprachlichen Subtyps. Letztendlich fehlt es auch an Replikationen dieser Subtypenklassifikation. Zwar erfolgt die ZAREKI-Entwicklung in einem internationalen Verbund mit Beteiligung der Schweiz, Frankreichs, Brasiliens (vgl. Dellatolas, von Aster, Willadino-Braga, Meier & Deloche, 2000) sowie Griechenlands (Koumoula et al., 2004), dennoch wurden bislang keine weiteren Ergebnisse zur vorliegenden Subtypenklassifikation vorgelegt. Nicht zuletzt ist auch der von von Aster (2001) angenommene Entwicklungsverlauf der drei Module empirisch kaum gestützt. Zwar

scheinen zumindest bei Vorschulkindern bereits alle drei Module verfügbar zu sein (Weinhold Zulauf, Schweiter & von Aster, 2003), aber die Zuordenbarkeit von Leistungsausfällen im Vorschulalter auf ein spezifisches Modul ist dabei nicht zwingend gegeben (Fritz & Ricken, 2005, S. 9).

Basierend auf dem Dysfunktionsansatz von Rourke (Rourke, 1989; Rourke & Conway, 1997; Strang & Rourke, 1985) formuliert Geary (1993) eine kognitiv orientierte Taxonomie der Rechenstörungssubtypen, deren Bestimmungsstücke gleichfalls eine Art Rahmenmodell für die zukünftige Erforschung der Rechenstörung darstellen (Geary, 2004). Insgesamt werden drei Subtypen unterschieden: der semantische Subtyp, der prozedurale Subtyp und der visuell-räumliche Subtyp (Geary, 1993, 2003, 2004). Der *semantische Subtyp* wird über Probleme beim Abruf und Aufbau von Faktenwissen definiert. Sofern Abruf zur Lösung von Faktenaufgaben überhaupt genutzt wird, erfolgt dieser langsam und ist fehlerbehaftet. Selbst wenn die Lösung von Faktenaufgaben trainiert wird, zeigt sich für diese Subgruppe keine Leistungsverbesserung bei der Bearbeitung von Faktenaufgaben (Geary, 1990). Für diesen Subtyp sollen sich häufig komorbid Störungen im Lese-Rechtschreibbereich zeigen. Der *prozedurale Subtyp* zeichnet sich durch die häufige Nutzung unreifer Lösungsstrategien aus. Bei der Ausführung von Rechenoperationen zeigen sich oft Fehler, und die Aneignung von arithmetischen Konzepten erfolgt entwicklungsverzögert. Die Komorbidität mit Lese-Rechtschreibstörungen für den prozeduralen Subtyp ist noch unklar. Sowohl für den semantischen, als auch für den prozeduralen Subtyp, lassen sich linkshemisphärische Fehlfunktionen diskutieren, auch wenn dies noch nicht abschließend geklärt ist. Der dritte Subtyp schließlich wird als *visuell-räumlicher Subtyp* bezeichnet. Diese Kinder zeigen vor allem Probleme im Umgang mit räumlich dargebotener Information, wie z.B. beim Übertrag in der schriftlichen Addition oder Subtraktion. Für diesen Subtyp ist keine Komorbidität mit Lese-Rechtschreibproblemen erkennbar. Aus neuropsychologischer Sichtweise wird eine Dysfunktion der rechten Hirnhemisphäre angenommen.

Die Taxonomie von Geary (1993, 2003, 2004) repräsentiert den aktuellen Forschungsstand zu Rechenstörungen gut und lässt sich zumindest augenscheinlich auch an Konzepte der Arbeitsgedächtnisforschung ankoppeln (vgl. Abschnitt 4.2.1; semantischer Subtyp: phonologische Schleife; prozeduraler Subtyp: zentrale Exekutive; visuell-räumlicher Subtyp: visuell-räumlicher Skizzenblock). Tatsächlich belegen eine Reihe von Untersuchungen die strategischen Probleme rechenschwacher Kinder bei der Lösung von Faktenaufgaben,

wie sie für den semantischen Subtyp postuliert werden (Bull & Johnston, 1997; Geary & Brown, 1991; Jordan & Hanich, 2000; Jordan & Montani, 1997). Allerdings erscheint in diesem Zusammenhang noch unklar, wie von Kindern des semantischen Subtyps Kinder des prozeduralen Subtyps valide abgetrennt werden können, da ja gerade die Nutzung unreifer Zählstrategien zur Lösung von Faktenaufgaben typisch für Kinder mit Problemen in der Faktenaufgabenbearbeitung ist (Geary, Hoard, Byrd-Craven & DeSoto, 2004; Torbeyns et al., 2004). Einzelfallberichte scheinen zwar auf eine mögliche Trennung zwischen Problemen bei Faktenaufgaben und Problemen bei der Ausführung von Rechenprozeduren hinzudeuten (Temple, 1991), die meisten der rechengestörten Kinder zeigen aber Probleme in beiden Bereichen (Russell & Ginsburg, 1984). Recht problematisch erscheint auch die Annahme eines visuell-räumlichen Subtyps, da einerseits dieser Subtyp eher selten auftritt (Geary, Hamson & Hoard, 2000, S. 260) und andererseits der Zusammenhang zwischen visuell-räumlichen Fertigkeiten und Rechenstörungen bzw. -leistungen noch nicht abschließend geklärt ist (Geary, 2004, S. 12; vgl. auch Mazzocco & Myers, 2003). So zeigen sich in einer Untersuchung von Achtklässlern geschlechtsspezifische Zusammenhänge zwischen der Mathematikleistung und der Leistung in einer Würfelrotationsaufgabe (Casey, Pezaris & Nuttall, 1992). Interessanterweise finden sich jedoch differenzialpsychologische Hinweise, dass visuell-räumliche Leistungen des Arbeitsgedächtnisses im Sinne des Mehrkomponentenmodells (Baddeley, 1998) an der erfolgreichen Bearbeitung von mathematischen Sach- und Geometrieaufgaben beteiligt sein könnten (Reuhkala, 2001; Swanson, 2004).

Alle drei Subtypenklassifikationen versuchen über eine deskriptive Ebene hinaus, dem kategorialen Verständnis von Rechenstörungen gerecht zu werden, diese auch ätiologisch zu begreifen und brauchbare Rahmenkonzepte für eine differenzierte Interventionsplanung zu bieten. Allen drei Ansätze gemeinsam ist die Berücksichtigung einer begleitend auftretenden Lese- und Rechtschreibstörung, wie sie auch im Internationalen Klassifikationssystem psychischer Störungen (Dilling et al., 1991) vorgesehen ist. Diese Komorbidität geht zumindest zum Teil auch auf genetische Einflüsse zurück (Light & DeFries, 1995, S. 102-103) und stellt gegenwärtig die klarste Subgruppendifferenzierung unter rechengestörten Kindern dar (Geary, 2003, S. 200). Ob auch Störungen im Verhaltens- und Aufmerksamkeitsbereich entsprechend differenziert komorbid beobachtbar sind, ist noch nicht abschließend geklärt. Tatsächlich finden sich bei Kindern mit Rechenstörungen häufig ko-

morbid auftretende Störungen der Aufmerksamkeit (Gross-Tsur, Manor & Shalev, 1996; Shalev, Auerbach & Gross-Tsur, 1995), ebenso zeigen Kinder bzw. Jugendliche mit einer Aufmerksamkeits-Hyperaktivitätsstörung (ADHD) schlechtere Rechenleistungen (Zentall, 1990; Zentall, Smith, Lee & Wieczorek, 1994). Neben generellen Problemen bei Rechenaufgaben deuten sich für spezifische mathematische Anforderungen differenzierte Leistungsprobleme in Abhängigkeit von der Subform der Aufmerksamkeitsstörung an (Lucangeli & Cabrele, 2006). Insbesondere ADHD-Kinder mit vordergründiger Aufmerksamkeitsstörung scheinen dabei ein erhöhtes Risiko für eine Rechenstörung zu haben (Marshall, Schafer, O'Donnell, Elliott & Handwerk, 1999, S. 243; aber: Lamminmaeki, Ahonen, Naerhi, Lyytinen & Todd de Barra, 1995).

Zusammengenommen mangelt es den drei Ansätzen vor allem an ausreichender Spezifität der als Kerndefizite formulierten Störungsbereiche einzelner Subtypen sowie an Replikationen der vorgeschlagenen Klassifikationen. Auch die beiden eher kognitionspsychologisch orientierten Ansätze von von Aster (2000, 2001) und Geary (1993, 2004) lassen sich trotz einiger Ähnlichkeiten nur begrenzt ineinander überführen. Am ehesten finden sich Überschneidungen und Evidenzen für einen Rechenstörungssubtyp mit einem Kerndefizit im Bereich des Aufbaus und/oder Abrufs von Faktenwissen. Generell ist eine Subtypen-Klassifizierung aber erst zulässig, wenn für die Subtypen auch qualitativ klar unterscheidbare Muster numerischer Defizite belegbar sind (Butterworth, 2005, S. 14), was hier nicht der Fall ist.

Auch wenn die vorliegenden Subtypenklassifikation nur als eingeschränkt brauchbar beurteilt werden können, so sollte eine Rechenstörung keinesfalls allein hinsichtlich ihrer Komorbidität mit einer Störung der Lese-Rechtschreibleistung beurteilt und die Spezifität der Rechenstörung gänzlich außer Acht gelassen werden. Wie die Untersuchung von Lynn S. Fuchs et al. (2005) zeigt, hängt die Höhe der Prävalenzraten für Rechenstörungen sehr deutlich von der Art bzw. den Aufgabenanforderungen des eingesetzten Rechentests ab. In ihrer Untersuchung amerikanischer Erstklässler betrachten Fuchs et al. (2005, S. 502, Tab. 3) unterschiedliche Maße für die Rechenleistungen der Kinder (z.B. Faktenwissen, curricularer Rechentest, Textaufgaben) unter Berücksichtigung einer Diskrepanz von einer Standardabweichung zur allgemeinen Intelligenz (Kurzform des amerikanischen Wechsler-Intelligenztests für Kinder). Die Autoren finden die höchste Prävalenzrate von 5.32% unter Berücksichtigung des curricular-validen Rechentests, während für den Faktenabruf ein

Wert von 3.72% und über die Leistung in den Textaufgaben eine Prävalenzrate von 1.06% resultiert. Leider berichten die Autoren nicht, inwieweit es trotz unterschiedlicher Rechentests zu Überschneidungen hinsichtlich der identifizierten Fälle kommt. Dass dies möglicherweise eher selten der Fall sein könnte, darauf verweisen die Ergebnisse einer belgischen Studie (Desoete, Roeyers & De Clercq, 2004, S. 53-54). In dieser Untersuchung liegen die epidemiologischen Schätzungen unter Berücksichtigung eines Tests zum Faktenabruf erst in der vierten Klasse unterhalb der Prävalenzrate, die unter Einsatz eines eher domänenspezifischen Tests (Zahlenverständnis, Kopfrechnen) resultiert. Die Analysen der Autoren belegen weiter, dass erst die Berücksichtigung der Leistungen in unterschiedlichen Rechen- bzw. Mathematiktests ausreichende Sensitivität und Spezifität des diagnostischen Prozesses sichert (vgl. hierzu z.B. die Entwicklung des TEDI-MATH, Nuerk et al., in Vorb.).

Da Rechenfertigkeiten im Wesentlichen im Rahmen des Schulunterrichts vermittelt werden, kann es grundsätzlich auch interessant sein, ob sich innerhalb der curricularen Rechenleistung unterschiedliche Typen von rechenschwachen Kindern identifizieren lassen. So zeigen sich zwischen Kindern mit Rechenstörung unabhängig von einer komorbiden Lese-Rechtschreibstörung differenzielle Leistungsunterschiede bei der Bearbeitung unterschiedlicher Aufgabenformen des Sachrechnens (L. S. Fuchs & Fuchs, 2002). Neben dem Sachrechnen (inkl. Umgang mit Größen) unterscheidet das Mathematikcurriculum der Primarstufe noch zwei weitere Inhaltsbereiche: die Arithmetik inkl. Zahlenverständnis und die Geometrie. Aus dieser Perspektive heraus ist es denkbar, dass etwaige spezifische Kerndefizite von Kindern mit Rechenschwierigkeiten in Verbindung mit dem schulischen Unterricht zu differenziellen Leistungsmustern in den drei zentralen Inhaltsbereichen des Mathematikcurriculums führen.

Derartige Fragestellungen lassen sich ideal an Datensätzen analysieren, wie sie bei der Normierung von Testverfahren anfallen. Sowohl der Deutsche Mathematiktest für dritte Klassen, DEMAT 3+ (Roick, Gölitz & Hasselhorn, 2004), als auch der Deutsche Mathematiktest für vierte Klassen, DEMAT 4 (Gölitz, Roick & Hasselhorn, 2006), wurden an Stichproben von einigen tausend Kindern aus ganz Deutschland normiert und erlauben über ihre Subteststruktur eine differenzierte Leistungsbetrachtung in den drei curricularen Kernbereichen. Zur Differenzierung zwischen Leistungstypen werden folgende Kriterien definiert: Eine Prozentrangleistung (PR) im Subtest von $PR \leq 10$ wird als auffällige Leistung im Sinne einer spezifischen Rechenschwäche gewertet; eine individuelle Subtestleis-

tungen wird als unauffällig gewertet, wenn die Testleistung entsprechend der Angaben im Testmanual mindestens im Durchschnittsbereich liegt, aber noch unterhalb einer weit überdurchschnittlichen Leistung (PR ≥ 25 bis PR ≤ 90). Durch dieses Vorgehen werden unklare Fälle mit schwachen Testleistungen im Bereich von PR = 11 bis PR = 24 sowie Kinder mit sehr guten Leistungen nicht berücksichtigt. Von den 4209 Kindern der Normierungsstichprobe des DEMAT 3+ lassen sich nach diesen Vorgaben 1762 Kinder kategorisieren. Analog lassen sich über die Testleistungen des DEMAT 4 in der vierten Klasse 2262 der 5266 Kinder identifizieren. Entsprechend der angesetzten Kriterien können in beiden Testverfahren Kinder mit unauffälligen Leistungen in allen drei Subtestbereichen ($A^+S^+G^+$) am Häufigsten beobachtet werden. Im DEMAT 3+ fallen 1308 Kinder (74.23%) in diese Kategorie, während es im DEMAT 4 1760 Kinder (77.81%) sind. Diese Gruppe wird im Folgenden nicht weiter betrachtet.

Tabelle 1: Subtest-Interkorrelationen des DEMAT 3+ und des DEMAT 4

	ST Arithmetik	ST Sachrechnen	ST Geometrie
ST Arithmetik		.41 $_a$ (.34)	.32 $_b$ (.20)
ST Sachrechnen	.43 $_a$ (.39)		.35 $_{ab}$ (.25)
ST Geometrie	.24 $_b$ (.14)	.26 $_b$ (.18)	

Anmerkungen. ST: Subtest; obere Diagonale: Interkorrelationen der T-Werte der DEMAT 3+ Subtests, N = 1762; untere Diagonale: Interkorrelationen der T-Werte der DEMAT 4 Subtests, N = 2262; Partialkorrelationen zwischen zwei Subtests unter Kontrolle des dritten Inhaltsbereiches in Klammern; für alle Korrelationen gilt $p < .01$; Korrelationen mit unterschiedlichen Indizes (a, b) unterscheiden sich innerhalb eines Testverfahrens mit $p < .01$ statistisch überzufällig.

Tabelle 1 zeigt für die so ausgewählten Stichproben der beiden Testverfahren die Interkorrelationen (und Partialkorrelationen) der T-Werte in den drei curricularen Leistungsbereichen. Aufgrund der inhaltlichen Bezüge finden sich für beide Testverfahren höhere Korrelationen zwischen den Inhaltsbereichen Arithmetik und Sachrechnen, während die Zusammenhänge zum Subbereich Geometrie geringer ausfallen. Die Partialkorrelationen belegen, dass für die hier betrachteten Stichproben auf der Normwertebene grundsätzlich genuine Beziehungen zwischen den Inhaltsbereichen vorliegen, so dass alle Leistungsmuster unter Berücksichtigung der drei Subtests erwartet werden können.

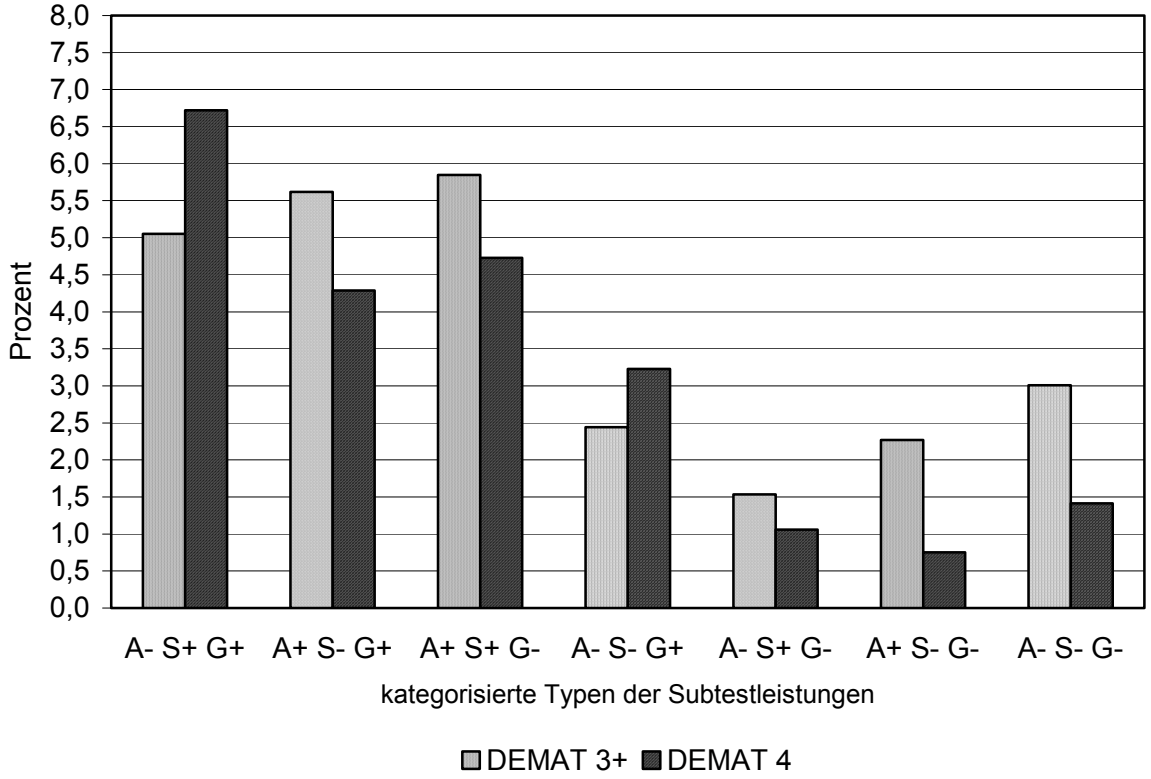


Abbildung 3: Typen von kategorisierten Subtestleistungen in den Normierungsstichproben der Deutschen Mathematiktests für dritte und vierte Klassen (vgl. Gölitz et al., 2005). Die DEMATs für die Klassenstufen 3 und 4 differenzieren auf der Subtestebene die drei zentralen Inhaltsbereiche des Primarstufencurriculums, Arithmetik inkl. Zahlenverständnis (A), Sachrechnen inkl. Umgang mit Größen (S) und Geometrie (G). Typen mit auffälligen Subtestleistungen ($PR \leq 10$) erhalten als Index ein Minus-Zeichen (A^-; S^-; G^-), während Typen mit unauffälligen Subtestleistungen ($PR > 25$) analog ein Pluszeichen als Index erhalten (A^+; S^+; G^+). Insgesamt lassen sich dadurch acht Subtypen (2 x 2 x 2) differenzieren, wobei hier aus Gründen der Übersichtlichkeit auf eine Darstellung des in allen Subtestbereichen unauffälligen Subtyps ($A^+S^+G^+$; vgl. zu den Häufigkeiten Tabelle 2) verzichtet wird.

Abbildung 3 zeigt für beide Testverfahren die prozentualen Anteile der sieben Gruppen mit partiell oder vollständig auffälligen Subtestleistungen. Für die Leistungen der Kinder im DEMAT 3+ ist auf deskriptiver Ebene erkennbar, dass die Mischgruppen mit auffälligen Leistungen in mindestens zwei Subtestbereichen ($A^-S^-G^+$, $A^-S^+G^-$, $A^+S^-G^-$) seltener auftreten als die drei spezifischen Gruppen mit unauffälligen Leistungen in zwei Subtestbereichen ($A^-S^+G^+$, $A^+S^-G^+$, $A^+S^+G^-$). Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Leistungen im DEMAT 4. Die häufigste spezifische Gruppe konstituiert sich im DEMAT 4 allerdings aus

Kindern, die auffällige Leistungen nur im Subtest Arithmetik bei unauffälligen Leistungen in den Subtests Sachrechnen und Geometrie ($A^-S^+G^+$) zeigen, während beim DEMAT 3+ das Bild ausgeglichener ausfällt. Die beobachtbaren Häufigkeitsverteilungen der beiden Tests werden allerdings erst aussagekräftig, wenn sie relativ zu einer erwarteten Häufigkeit betrachtet werden. Die damit verbundene Frage, ob spezifische Muster in den Häufigkeitsverteilungen überzufällig sind, kann mittels der Konfigurationsfrequenzanalyse (KFA) überprüft werden (vgl. Krauth, 1993; Lautsch & von Weber, 1995). Das Hauptanliegen der KFA ist das Auffinden von so genannten „Typen" und „Antitypen" über die Verteilung in einer Kontingenztafel. Liegt die Häufigkeit in einer Zelle bedeutsam über der erwarteten Häufigkeit, wird von einem „Typ" gesprochen. Typen kommen also überzufällig häufiger vor, als es unter Annahme einer Unabhängigkeit der Leistungen in den drei Subtests zu erwarten wäre. Liegt die Häufigkeit bedeutsam unterhalb der erwarteten Häufigkeit, wird dieses als „Antityp" bezeichnet. In diesem Fall ist die Zelle also überzufällig weniger häufig besetzt, als unter einer Unabhängigkeitsannahme zu erwarten wäre. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Konfigurationsfrequenzanalyse über die Muster der kategorisierten Subtestleistungen des DEMAT 3+ und 4. Übereinstimmend über beide Testverfahren werden drei Typen ($A^-S^-G^-$, $A^-S^-G^+$, $A^+S^+G^+$) und drei Antitypen ($A^-S^+G^+$, $A^+S^-G^+$, $A^+S^+G^-$) identifiziert, ein weiterer Typ im DEMAT 3+ ($A^+S^-G^-$) verfehlt das Signifikanzkriterium allerdings nur knapp ($p < .002$). Deutlich häufiger als erwartet lässt sich demnach eine Gruppe von Kindern beobachten, die in allen drei Subtestbereichen eine Leistung im auffälligen Bereich, also einen Prozentrang von $PR \leq 10$, zeigt. Interessanterweise wird über beide Testverfahren ein weiterer Typ identifiziert, bei dem die Leistung in den Subtests Arithmetik und Sachrechnen als auffällig einzustufen ist, aber in der Geometrie als unauffällig. Diese Subgruppe kann also ihre Geometrieleistungen von den Leistungsproblemen in den stärker aufeinanderbezogenen curricularen Bereichen Arithmetik und Sachrechnen abkoppeln, was für Interventionsaspekte durchaus interessant sein könnte. Weiter zeigen die Analysen, dass die anfangs als häufig erscheinenden spezifischen Subtypen mit nur einem auffälligen Subtestbereich tatsächlich Kategorien sind, die signifikant weniger häufig als erwartet besetzt sind. Unauffällige Leistungen in zwei Subtestbereichen sind somit nur schwer mit einer Auffälligkeit im dritten Subtestbereich vereinbar, was auf eine Art Stützfunktion der Subtestbereiche untereinander hindeutet. Aus dieser Perspektive ist auch nicht überraschend, dass die Gruppe mit unauffälligen Leistungen in allen drei Subtestbe-

reichen ($A^+S^+G^+$) ebenfalls als Typ, also als Gruppe mit einer signifikant erwartungswidrigen stärkeren Besetzung, identifiziert wird.

Tabelle 2: Ergebnisse der Konfigurationsfrequenzanalyse über die DEMAT 3+ und DEMAT 4 Leistungstypen

	DEMAT 3+				DEMAT 4			
	$f_{beobachtet}$	$f_{erwartet}$	TS	Bewertung	$f_{beobachtet}$	$f_{erwartet}$	TS	Bewertung
$A^-S^-G^-$	53	3,58	26,72*	Typ	32	2,17	20,56*	Typ
$A^-S^-G^+$	43	24,70	4,14*	Typ	73	25,04	10,67*	Typ
$A^-S^+G^-$	27	23,25	0,87	--	24	20,20	0,93	--
$A^-S^+G^+$	89	160,47	-12,14*	Antityp	152	233,60	-13,84*	Antityp
$A^+S^-G^-$	40	26,16	3,05[a]	--	17	15,26	0,48	--
$A^+S^-G^+$	99	180,56	-13,48*	Antityp	97	176,53	-14,26*	Antityp
$A^+S^+G^-$	103	170,01	-11,22*	Antityp	107	142,38	-6,74*	Antityp
$A^+S^+G^+$	1308	1173,27	18,73*	Typ	1760	1646,83	16,75*	Typ
	Fälle gesamt: 4209 Fälle identifizierbar: 1762 $\chi^2 = 814.60$; df = 4; $p < .01$				Fälle gesamt: 5266 Fälle identifizierbar: 2262 $\chi^2 = 584.84$; df = 4; $p < .01$			

Anmerkungen. * $p < .001$; a: die Teststatistik dieser Gruppe verfehlt das Signifikanzkriterium im DEMAT 3+ nur knapp; *f*: Häufigkeit; TS: Teststatistik entsprechend Lehmachers asymptotischen hypergeometrischem Test; A^-: Leistung im Subtest Arithmetik PR ≤ 10; A^+: Leistung im Subtest Arithmetik PR ≥ 25 und PR ≤ 90; S^-: Leistung im Subtest Sachrechnen PR ≤ 10; S^+: Leistung im Subtest Sachrechnen PR ≥ 25 und PR ≤ 90; G^-: Leistung im Subtest Geometrie PR ≤ 10; G^+: Leistung im Subtest Geometrie PR ≥ 25 und PR ≤ 90.

Zusammengefasst lassen sich auch über die Profile kategorisierter curricularer Testleistungen Gruppen mit spezifischen Defiziten im Bereich des Rechnens bzw. im Bereich der schulischen Mathematik identifizieren. Die Daten beider Testverfahren zeigen, dass es einen Subtyp gibt, der in allen drei curricularen Bereichen auffällige Leistungen zeigt und somit als umfassend rechenschwach klassifiziert werden kann. Ebenfalls gibt es offenbar einen Subtyp, der zwar auffällige Leistungen in den stärker rechenbezogenen Teilen der Tests zeigt, aber über durchschnittliche Geometriefähigkeiten verfügt. Weitere Kombinationen mit nur einem unauffälligen Leistungsbereich sind nicht übereinstimmend beobachtbar. Allerdings zeigt sich, dass gute Leistungen in zwei Subtestbereichen möglicherweise protektiv wirken und die Entstehung auffälliger Leistungen im dritten Subtestbereich unterbinden helfen. Die Grenzen dieser Analyse liegen indes im Fehlen angemessener Außenkriterien, was letztlich eine Validierung der gefundenen Typen und den Abgleich mit

vorhandenen Subtypenklassifikationen verhindert. Vieles deutet zwar darauf hin, dass es sinnvoll ist, die Definition rechenschwacher und rechengestörter Kinder bzw. Gruppen nicht allein an statistischen Kriterien, sondern auch inhaltlich an den beeinträchtigen Leistungsbereichen festzumachen. Eine Spezifität im Sinne gestörter curricularer Inhaltsbereiche lässt sich indes nicht beobachten.

3.3 Häufigkeit, Dauer und Verlauf von Rechenschwächen

Eine Reihe von Untersuchungen berichten Schätzungen über die Prävalenz von schulischen Rechenschwierigkeiten, welche sich in der (heutigen) Slowakei (Kosc, 1974), Großbritannien (Lewis et al., 1994), Schweiz (von Aster, Deloche, Dellatolas & Meier, 1997), Griechenland (Koumoula et al., 2004), Belgien (Desoete et al., 2004), Israel (Gross-Tsur, Manor & Shalev, 1993; Shalev, Auerbach, Manor & Gross-Tsur, 2000), Neuseeland (Share et al., 1988), Indien (Ramaa & Gowramma, 2002) oder USA (Badian, 1983, 1999; L. S. Fuchs et al., 2005) im schulischen Bereich von 3 % bis 8 % bewegt (Geary, 2003, 2004; Hasselhorn & Schuchardt, 2006; Shalev & Gross-Tsur, 2001), wobei hier zwischen kombinierten und isolierten Rechenstörungen nicht differenziert wird. Die Schätzungen über den Anteil an rechengestörten Fällen, die in Verbindung mit einer Lese-Rechtschreibstörung eine kombinierte Rechenstörung ausbilden, liegen bei 25% bis 40% (Lewis et al., 1994; Mazzocco & Myers, 2003). Die Häufigkeitsschätzungen für isolierte Rechenstörungen liegen im Bereich von 1.3% (Lewis et al., 1994) bis 6.54% (Share et al., 1988). Die unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Studien bedingen sich im Wesentlichen durch die Betrachtung unterschiedlicher Altersgruppen, unterschiedlicher Operationalisierungen der Rechenleistung sowie der oben dargestellten unterschiedlichen Schwere der Rechenschwierigkeiten (Mazzocco & Myers, 2003; Shalev et al., 2000). Die Berücksichtigung einer entsprechenden P-Diskrepanz, wie sie im Rahmen einer Diskrepanzdiagnostik verlangt wird, findet dabei nur selten Anwendung. Sofern die Studien überhaupt eine Intelligenzschätzung im Sinne einer potenziellen Leistungsfähigkeit berücksichtigen, geschieht dies meist durch Berücksichtigung eines Grenzwertes zum Ausschluss einer allgemeinen Minderbegabung. Relativ zu einer konsequenten Anwendung der doppelten Diskrepanzdiagnose (AB- und P-Diskrepanz) wird dadurch zwar möglicherweise die Anzahl der so definierten Kinder mit Rechenstörung überschätzt (Erhöhung des Fehlers 1. Art), durch die besseren Voraussetzungen für höhere Reliabilitäten (Verzicht auf Differenzwerte) dürften die Klassifikationen aber auch stabiler sein.

Stabilität im Sinne der Dauer bzw. Persistenz der Rechenstörung stellt ein weiteres Kriterium dar. Längsschnittliche Untersuchungen weisen auf eine hohe Fluktuation der Rechenstörung in konsekutiven Schuljahren der Primarstufenzeit hin (vgl. Geary, Hoard & Hamson, 1999; Mazzocco & Myers, 2003). Mögliche Ursache hierfür könnten die bereits genannte verringerte Reliabilität der P-Diskrepanz sein (Francis et al., 2005; Sternberg & Grigorenko, 2002, S. 75-76), denkbar wäre aber auch eine erhöhte Rate an Spontanremissionen. Eine Rechenstörung sollte somit idealerweise über einen längeren Zeitraum Bestand haben und auch entsprechend diagnostizierbar sein.

Über Prognose und Verlauf von Rechenschwächen und -störungen liegen bislang nur wenig gesicherte Erkenntnisse vor. Die isrealische Längsschnittstudie von Gross-Tsur, Manor und Shalev (1996) findet in einer 3-Jahres-Katamnese, dass 95% der teilnehmenden 140 Kinder Rechenleistungen im unteren Quartil zeigen und 50% auch nach drei Jahren weiterhin die Kriterien für eine Rechenschwäche erfüllen. Mazzocco und Myers (2003, S. 242) berichten, dass im Rahmen ihrer Untersuchung ca. 65% der nach ihren Kriterien diagnostizierten Fälle mit Rechenstörung diese Diagnose auch über den Zeitraum von mindestens einem Jahr erhalten haben. Da in diesen längsschnittlichen Untersuchungen über die Reaktion auf Instruktion und Treatment nicht viel bekannt wird, kann über die Ursachen der Instabilität wenig gesagt werden. Neben Spontanremission und fehlerhafte Messinstrumenten sind somit auch interventionsbedingte Veränderungen denkbar (Francis et al., 2005, S. 106).

Widersprüchliche Ergebnisse zeigen sich auch hinsichtlich der Frage, ob Rechenschwäche in ländlichen oder städtischen Regionen häufiger auftritt. So finden Hein, Bzufka und Neumärker (2000) ausgeglichene Prävalenzraten für kleine Stichproben im Berliner Raum, während Koumoula et al. (2004) von einer erhöhten Rate in ländlichen Regionen Griechenlands berichten. Hinsichtlich der Geschlechterverteilung berichten die meisten Studien von einem Gleichgewicht, mitunter aber auch von einem Übergewicht der Jungen (Badian, 1983; Share et al., 1988). In einer der wenigen deutschen Studien zur Prävalenz von Rechenschwäche findet Klauer (1992) in seiner Untersuchung von ca. 550 Drittklässlern aus einer westdeutschen Großstadt bei einer Gesamtprävalenz von 4.4% dagegen eine minimal höhere Rate betroffener Mädchen (Geschlechterverhältnis 1.4:1). Klauer nutzt in seinem Diagnosemodell Leistungen im Fach Deutsch zur Prädiktion der Leistungen in Mathematik, somit werden auch hier analog zu vielen anderen Prävalenzstudien die Rechenleistun-

gen nicht im Rahmen einer P-Diskrepanz relativ zur allgemeinen kognitiven Begabung bzw. Intelligenz betrachtet. In einer clusteranalytischen Untersuchung zur Differenzierung von Kindern mit rechnerischen und/oder schriftsprachlichen Defiziten berichten Schwenck und Schneider (2003a) ein Übergewicht der Mädchen bei einem Geschlechterverhältnis von ca. 2:1 in der Gruppe der Kinder mit rechnerischen Defiziten.

3.4 Fazit: Terminologie, Gruppendifferenzierung und Forschungsstrategie

Einer Reihe von Kindern gelingt es auch trotz ausreichender Beschulung nicht, angemessene Leistungen im Mathematikunterricht zu erbringen. Je nach Ausmaß dieser Leistungsnachteile und ihrer relativen Position hinsichtlich eines Leistungspotenzials wird von einer „Schwäche“ oder „Störung“ gesprochen werden. Während Begrifflichkeiten und Operationalisierungskriterien (z.B. der betrachtete mathematische Leistungsbereich) bislang noch nicht einheitlich definiert wurden (vgl. Darstellung bei Grube, im Druck), stellt auch die mit dem Begriff „Rechenstörung“ verbundenen konzeptionellen Annahmen ein zentrales Problem dar: Rechenschwierigkeiten als solche und Rechenschwäche werden dimensional verstanden und operationalisiert, der Rechenstörung liegt aber ein kategoriales Verständnis zugrunde. Empirische Belege hinsichtlich einer von Rechenschwäche differierende Ätiologie der Rechenstörung stehen aber noch aus. Einiges deutet darauf hin, dass der Unterschied zwischen den Klassifikationen „schwach“ und „gestört“ lediglich quantitativer bzw. dimensionaler, aber nicht qualitativer bzw. kategorialer Art ist (vgl. aber zu Vorteilen der konzeptionellen Trennung: Kavale & Forness, 2000; Kavale, Fuchs & Scruggs, 1994).

Für die Suche nach Ursachen dieser Leistungsprobleme scheint das Konstrukt schulische Mathematikleistung aufgrund seiner Komplexität und Abhängigkeit keine sinnvolle Grundlage darzustellen. So zeigen eigene Analysen, dass Stärken in zwei der drei Inhaltsbereichen des Primarstufencurriculums Mathematik offenbar das Auftreten von schwachen Leistungen im verbleibenden Inhaltsbereich unterbinden. Insgesamt lassen sich im curricularen Kontext keine spezifischen Subtypen abbilden. Aber auch andere Typisierungen jenseits von Lese-Rechtschreibstörungen konnten bislang empirisch nicht bestätigt werden. Die Leistungsnachteile dieser Kinder zeigen sich häufig im Bereich des arithmetischen Rechnens, so dass gerade im Rahmen dieser Leistungsdefizite von „Rechenschwäche“ oder „Rechenstörung“ gesprochen werden kann.

Für die Diagnose einer Rechenstörung wird neben einer substanziellen Leistungsminderung in der Rechenperformanz auch ein Abgleich mit dem Leistungspotenzial im Sinne eines bereichsspezifischen „Underachievements“ gefordert. Für diesen Abgleich wird in der Regel die Diskrepanz zwischen der Leistung in einem Rechentest und einer Intelligenztestleistung betrachtet. Derartige Diskrepanzdiagnosen von Lernstörungen erfahren aus testdiagnostischer Sicht berechtigte Kritik, unabhängig davon, ob eine einfache Differenz berechnet wird oder der Abgleich zwischen Rechenperformanz und regressionsanalytisch geschätzter Rechenleistung erfolgt (Fletcher et al., 2002). Zwar ist es sinnvoll, die Diagnose einer Rechenstörung (und ggf. auch einer Rechenschwäche) auch gegen eine allgemeine Begabungsminderung abzusichern, die zusätzliche Betrachtung der Diskrepanz zur Intelligenz bietet aber offenbar keinen Erkenntniszugewinn hinsichtlich eines Interventionserfolges oder der Persistenz einer Rechenstörung. Ob dies auch für andere Operationalisierungen der P-Diskrepanz anzunehmen ist, muss zukünftig abgeklärt werden. Im Rahmen von Prävalenzschätzungen sollte aber bedacht werden, dass eine Vergleichbarkeit von Studien nur gewährleistet ist, wenn z.B. die in der ICD-10 (Dilling et al., 1991) beschriebenen Diagnosekriterien berücksichtigt werden. Ungeachtet dessen kommt hinzu, dass Rechenstörungen einer Fluktuation unterliegen, so dass es sinnvoll wäre, die Störung über einen längeren Zeitraum zu begleiten und durch erneute Testung abzusichern, sofern dies zumutbar ist.

Zusammengenommen weisen die relativ hohe Prävalenz sowie die ungünstige Prognose von Rechenstörungen darauf hin, dass der Erforschung und Identifikation der Determinanten des Rechnens sowie des gestörten Rechnens eine bedeutsame Rolle zukommen muss – letztendlich auch mit dem Ziel, angemessene Testalgorithmen zur validen und differenzierten Identifikation rechenschwacher Kinder zu entwickeln (vgl. Roick & Hasselhorn, 2005) und möglichst frühzeitig fundierte Interventionsprogramme in der Schule oder bereits im vorschulischen Bereich zu etablieren (vgl. Gersten, Jordan & Flojo, 2005). Für die Rekrutierung von Untersuchungsgruppen ist es dabei durchaus legitim, auf Gruppen von rechenschwachen Kindern zurückzugreifen, da der Nachweis qualitativer Unterschiede zwischen rechenschwachen und rechengestörten Kindern bislang fehlt. Die bisherigen Befunde legen nahe, dass die Intelligenzleistung zumindest als Ausschlusskriterium sowie die Lese-Rechtschreibleistung als Differenzialkriterium berücksichtigt werden sollte. Ebenfalls sollte

für die Identifikation rechenschwacher bzw. rechengestörter Kinder auf arithmetische Aufgaben, wie z.B. Aufgaben zum Faktenwissen, zurückgegriffen werden.

4. Kognitive Determinanten von Rechenschwierigkeiten

Rechenleistungen stellen sich als sehr komplexer kognitiver Prozess dar. Allein die Zahl von ca. 5000 gelisteten Arbeiten (Magne, 2003) zur Erforschung von Rechenschwierigkeiten lässt das breitgestreute Spektrum möglicher Determinanten und interessierter Disziplinen erahnen. Dieser Abschnitt kann daher nur eine Auswahl potenzieller Determinanten behandeln. Ausgewählt wurden die Bereiche, die im aktuellen Forschungskontext am häufigsten diskutiert werden. Dazu zählen zum einen die bereichsspezifischen Fertigkeiten und Strategien, die weitgehend auf die eingangs vorgestellten Forschungsergebnissen zu frühen numerischen Fähigkeiten und der Entwicklung des Rechnens basieren. Weitere als zentral erachtete kognitive Bereiche sind das Arbeitsgedächtnis und die ergänzenden bzw. weiterführenden Betrachtungen zur Aufmerksamkeitskontrolle sowie zur kognitiven Hemmung. Tatsächlich lassen sich zwar einzelne kognitive Bereiche pointiert betrachten, letztendlich sind aber alle Determinanten im Gesamtkontext wirksam und müssen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit auch aus dieser Perspektive beurteilt werden.

Neben diesen als zentral erachteten Bereichen finden sich noch eine ganze Reihe weiterer interessanter Forschungsansätze, so z.B. zur Bedeutung affektiver Komponenten (insbesondere Mathematikangst, vgl. Ashcraft & Kirk, 2001; Cates & Rhymer, 2003; Dowker, 2005, Kap. 11; Gierl & Bisanz, 1995; Götz et al., 2004; Hembree, 1990; Lupkowski & Schumacker, 1991; Ma, 1999; Miller & Bichsel, 2004; Nasser & Birenbaum, 2005; Sparfeldt, Schilling, Rost, Stelzl & Peipert, 2005; Tsui & Mazzocco, 2007), zu Strategien der Leistungsmotivation (Onatsu-Arvilommi, Nurmi & Aunola, 2002; Vlahovic-Stetic, Vidovic & Arambasic, 1999) oder auch zu metakognitiven Aspekten (Desoete, Roeyers & Buysse, 2001; Lucangeli & Cornoldi, 1997) für Rechenleistungen und Rechenschwierigkeiten. Auch wenn für diese Konzepte durchaus Überlegungen vorliegen, inwieweit sie spezifische Wirkungen auf die Rechenleistung über den Weg des Arbeitsgedächtnisses evozieren könnten (z.B. für Mathematikangst bei Eysenck & Calvo, 1992), mangelt es doch mitunter an den entsprechenden empirischen Belegen (vgl. für Mathematikangst z.B. die Ergebnisse bei Jänen, 2005). Hier werden zukünftige Studien zeigen müssen, welche Wirkungen neben einer generellen Wirksamkeit vorhanden sind.

4.1 Bereichsspezifische Kompetenzen

Fertigkeiten im Umgang mit Mengen und Zahlen

Wie in Abschnitt 2.1 bereits ausgeführt wurde, verfügen Kinder schon lange vor Beginn der eigentlichen Beschulung über eine Reihe numerischer Basisfertigkeiten, denen eine große Bedeutung für die spätere Rechenleistung zukommt (Gaupp, Zoelch & Schumann-Hengsteler, 2004; Gersten et al., 2005). Um diese Basisfertigkeiten und die daran gekoppelten Leitideen greifbarer zu machen, finden sich in der Literatur einige sich überschneidende und ergänzende Konzeptionen, wie z.B. *basale Zahl- und Mengenfertigkeiten* (basic number skills, Geary, 1993), ein im Gehirn verankertes *Mengen-Modul* (number module, Butterworth, 1999) oder ein *Zahlensinn* (number sense, Dehaene, 1999). Gemeinsam ist diesen Konzeptionen, dass sie die Fähigkeit zur Repräsentation von Mengen und Zahlen als zentral erachten und dass diese Repräsentationsfähigkeit einen geschickten, flexiblen und vielfältigen Umgang mit Mengen und Zahlen in alltäglichen und schulischen Kontexten ermöglicht oder begünstigt. Diese Repräsentationsfähigkeit stellt somit ein facettenreiches, wenngleich auch wenig trennscharfes Konstrukt dar (vgl. Gersten et al., 2005; Grube, 2006). Dieser Mangel an Trennschärfe tritt durch die Literaturanalyse von Berch (2005) besonders deutlich zutage, in der nicht weniger als dreißig Komponenten des *number sense* identifiziert werden. Die Vielfalt möglicher Komponenten legt es nahe, dass eine solche Repräsentationsfähigkeit keinesfalls als eindimensionales Konstrukt zu verstehen ist. Vielmehr lässt sie sich angemessener über eine Fertigkeit im *Umgang mit Mengen* sowie eine davon abtrennbare *Zählfertigkeit* beschreiben, wie die kulturübergreifende Studie von Aunio, Ee, Lim, Hautamäki und Van Luit (2004) andeutet (vgl. aber auch Van de Rijt et al., 2003; Van de Rijt, Van Luit & Hasemann, 2000). Einen Schritt weiter geht Krajewski (2003, 2005), die Annahmen zum Zusammenhang zwischen einem *Mengenvorwissen* (Seriation, Mengenvergleich, Längenvergleich) und einem *Zahlenvorwissen* (Zahlenkenntnis, Zählfertigkeiten, frühe Rechenfertigkeiten) mittels Strukturanalysen prüft. Ihre Ergebnisse zeigen, dass sich ein sinnvolles Modell nur konstruieren lässt, wenn der Einfluss des Mengenvorwissens auf die Mathematikleistung in der Primarstufe nicht unmittelbar, sondern mittelbar über das Zahlenwissen erfolgt (vgl. auch Krajewski & Schneider, 2006). In ähnlicher Weise konnten z.B. Siegler und Booth (2004) zeigen, dass die Einordnung einer Zahl auf einem Zahlenstrahl in Zusammenhang mit der ca. vier Monate später erhobenen schulischen Rechenleistung in der ersten Hälfte der Primarstufe steht (vgl. für konkurrente Zusammenhänge Booth & Siegler, 2006).

Gaupp et al. (2004) fanden auch noch bei älteren Kindern mit Rechenstörungen umfassende Probleme im Umgang mit Zahlen und Mengen. Die von ihnen untersuchten Kinder der zweiten Primarstufenhälfte mit diagnostizierter isolierter Rechenstörung waren zwar beim einfachen Zählen unauffällig, zeigten aber Probleme bei komplexen Zählanforderungen (z.B. bei der Aufgabe in Dreierschritten weiterzuzählen). Darüber hinaus ließen sich bei diesen Kindern erhebliche Schwächen beim Lösen von Faktenaufgaben sowie ein defizitärer Zahl- und Mengenbegriff beobachten (Gaupp, 2003).

Während Gaupp et al. (2004) für die Abbildung eines Mengenbegriffs auf Schätzfertigkeiten der Kinder zurückgegriffen haben, steht zu fragen, ob nicht prinzipiell eine Fähigkeit zur Erfassung von Mengen als ursächlicher Faktor für die Entwicklung einer Rechenstörung betrachtet werden kann. Dabei sind allerdings nicht Zähl- oder Schätzfertigkeiten in den Fokus der Aufmerksamkeit geraten, sondern *Subitizingprozesse* (Landerl, 2005; Reeve, Reynolds & Butterworth, 2005; vgl. hierzu auch den Befund bei einer sekundären Rechenstörung von Bruandet et al., 2004). Mit der Annahme, dass defizitäre Subitizingprozesse als eine Art *Start-up-Fehler* die Entwicklung von Rechenstörungen ursächlich bedingen könnten, nähert man sich einem Analogon zu kausalen Modellen der Lese-Rechtschreibstörung an. Eine ähnliche Rolle, wie sie die phonologische Bewusstheit für die Lese-Rechtschreibschwäche einnimmt, käme dann der Subitizingleistung für den Bereich der Rechenstörung zu. Generell werden unter dem Begriff *phonologische Bewusstheit* zwei Aspekte subsumiert: Zum einen die Einsicht, dass Wörter aus Klängen bestehen und zum anderen spezifische phonologische Fertigkeiten zur bewussten Manipulation und Verarbeitung sprachlichen Materials, wie z.B. das Erkennen von Reimen oder die Differenzierung der Phoneme und Silben innerhalb eines Wortes (Sodoro, Allinder & Rankin-Erickson, 2002; Wagner & Torgesen, 1987; vgl. aber auch Ergebnisse von Anthony & Lonigan, 2004; Runge & Watkins, 2006). Phonologische Bewusstheit ist nicht notwendig, um Sprache zu sprechen oder zu verstehen, sie stellt aber eine zentrale Schlüsselkompetenz für den Erwerb schulischer Lese- und Rechtschreibleistung dar und eignet sich gut zur Diagnose und Prognose von Lese-Rechtschreibstörungen (Fletcher, 2005).

Überraschenderweise finden sich aber auch substanzielle Zusammenhänge zwischen der vorschulisch erhobenen phonologischen Bewusstheit und den Rechenleistungen in der frühen Primarstufe (Bryant, MacLean, Bradley & Crossland, 1990; ähnlich auch Gathercole, Alloway, Willis & Adams, 2006; vgl. aber Gathercole, Tiffany, Briscoe & Thorn, 2005

für einen gegenteiligen Befund). Selbst für die curricular-orientierte Rechenleistung in der frühen Sekundarstufe erweist sich die in der zweiten Klasse erhobene phonologische Bewusstheit als bedeutsamer Prädiktor (10% Varianzaufklärung; Hecht, Torgesen, Wagner & Rashotte, 2001). Unklar ist zum einen, warum diese für den Erwerb der Lese-Rechtschreibleistung spezifische Variable auch die Rechenleistung vorhersagen kann. Zum anderen ist unklar, ob die prädiktive Leistung der phonologischen Bewusstheit sich gleichermaßen auf Kinder mit isolierten als auch mit kombinierten Rechenstörungen bezieht und schließlich, welche Zusammenhänge zur Repräsentationsfähigkeit von Mengen und Zahlen grundsätzlich bestehen. Möglicherweise unterstützen gute phonemische Analysefunktionen unmittelbar den Aufbau einer arithmetischen Faktenbasis und wirken sich so mittelbar auf die curriculare Rechenleistung aus. Denkbar ist aber auch, dass hier spezifische Prozesse der Aufmerksamkeitssteuerung eine Rolle spielen, welche sowohl für die phonologische Bewusstheit als auch für Subitizingprozesse grundlegend sein könnten.

Strategienutzung und arithmetisches Faktenwissen

Wie bereits im Abschnitt 2.2 angeführt wurde, sind Zählfertigkeiten von großer Bedeutung für die Aneignung von arithmetischen Beziehungen (Siegler & Robinson, 1982). Die frühe Verfügbarkeit von Zählfertigkeiten hat sich als bedeutsame Determinante für die spätere Rechenleistung herausgestellt (Aunola et al., 2004; Mazzocco & Thompson, 2005). Kurdek und Sinclair (2001) verglichen in ihrer Längsschnittstudie die Relevanz des Eintrittalters in den Kindergarten, des Geschlechts der Kinder sowie der Leistungen in einer speziellen Kindergarten-Testbatterie für die curriculare Lese- und Rechenleistung in der vierten Klasse. Unter Kontrolle des Alters erwies sich neben einer sprachlichen Gedächtnisspanne und einer geometrisch orientierten visuellen Fertigkeit vor allem die Zählfertigkeit (hier das Zählen bis 10) als bedeutsamer Prädiktor für die spätere Rechenleistung. Dennoch zeigen sich unter Erstklässlern bei normalen Zählanforderungen keine nennenswerten Unterschiede zwischen rechenschwachen Kindern und solchen mit durchschnittlichen Rechenleistungen. Erst wenn die Berücksichtigung komplexer Zählregeln erforderlich wird, treten Gruppenunterschiede zu Tage (Geary et al., 1999; vgl. auch Gaupp et al., 2004 für Dritt- und Viertklässler).

Eine zentrale Aufgabe des schulischen Mathematikunterrichts in der Primarstufe ist es, den Kinder arithmetisches Wissen zu vermitteln. Domahs und Delazer (2005) unterscheiden drei Arten des arithmetischen Wissens: Konzepte, Prozeduren und Fakten. Das *konzep-*

tuelle Wissen erzeugt ein Verständnis für die arithmetischen Operationen und Prinzipien per se, es ist also ein flexibel nutzbares Wissen und kann auch auf neue Aufgaben adaptiert werden. Das *prozedurale Wissen* hingegen ist sehr eingeschränkt auf vertraute Aufgabenstellungen und leitet spezifische Ausführungsroutinen von Algorithmen. Die *arithmetischen Fakten* sind bzw. das Faktenwissen ist im Langzeitgedächtnis abgespeichert und kann von dort abgerufen werden (Ashcraft, 1987; Ashcraft & Battaglia, 1978; Ashcraft & Fierman, 1982; Campbell, 1994, 1995; Dehaene, 1992; Groen & Parkman, 1972; Kaye, Post, Hall & Dineen, 1986; Siegler, 1988). Im Allgemeinen zählt man zu den arithmetischen Fakten die im Rahmen des kleinen Einspluseins oder Einmaleins anzutreffenden Aufgaben, also einfache arithmetische Operationen im unteren Zahlenraum bis 20 oder 100, deren Bildung und Festigung sich zu großen Teilen aus dem Zusammenspiel von konzeptuellem und prozeduralem Wissen ergibt. Zusätzlich sehen die Lehrpläne der Primarstufen explizit vor, dass derartige Aufgaben stark geübt werden, um eine Abrufbarkeit sicherzustellen. Eine frühe und gute Verfügbarkeit dieses Faktenwissens ist sinnvoll, da es als wesentliche Voraussetzung zur erfolgreichen Bewältigung höher stehender arithmetischer Anforderungen diskutiert wird (Cumming & Elkins, 1999; Garnett, 1992; Pellegrino & Goldman, 1987). Insgesamt steht eine gute Performanz bei der Bearbeitung arithmetischer Faktenaufgaben in engem Zusammenhang mit guten schulischen Rechenleistungen (Geary & Brown, 1991). Tatsächlich belegen eine Vielzahl von Untersuchungen, dass die Bearbeitung arithmetischer Faktenaufgaben rechenschwachen Kindern erhebliche Probleme bereitet (Fleischner, Garnett & Shepherd, 1982; Gaupp et al., 2004; Geary & Hoard, 2001; Jordan & Hanich, 2003; Micallef & Prior, 2004; Ostad, 1998; Russell & Ginsburg, 1984). Bereits Kinder mit nur moderaten Rechenschwächen zeigen Beeinträchtigungen im Faktenabruf. So finden Bull und Johnston (1997) in ihrer Untersuchung Siebenjähriger, dass schlecht rechnende Kinder als Lösungsstrategie für arithmetische Faktenaufgaben den Abruf deutlich seltener nutzen (vgl. auch Geary & Brown, 1991). Weiter zeigt sich, dass diese Kinder trotz intensiverer Nutzung von Zählstrategien diese weder sicherer, noch schneller ausführen als ihre Mitschüler aus der Gruppe der gut rechnenden Kinder. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kommen Jordan und Montani (1997) an einer Gruppe von ca. einem Jahr älteren Kindern. Hier zeigen relativ zu den Kindern der Vergleichsgruppe sowohl die isoliert rechenschwachen Kinder, als auch die Kinder mit kombinierter Rechenschwäche einen höheren Anteil an zählgestützten Strategien bei der Lösung arithmetischer Faktenaufgaben. Es finden sich

aber auch einige Hinweise darauf, dass isoliert rechenschwache Kinder im Gegensatz zu den Kindern mit kombinierter Rechenschwäche die Zählstrategien mit höherer Sicherheit ausführen (vgl. auch Geary et al., 1999; Hanich, Jordan, Kaplan & Dick, 2001; Jordan & Hanich, 2003; Jordan, Hanich & Kaplan, 2003b; dies zeigt sich aber nicht bei Geary & Brown, 1991, deren rechenschwache Kinder offensichtlich auch eine unterdurchschnittliche Leseleistung zeigen, dabei aber vergleichbare Fehlerraten wie die normal und gut rechnenden Kinder aufweisen). Eine ausgesprochen hohe Relevanz hat auch der *Zeitdruck* bei der Bearbeitung von Faktenaufgaben. Deutliche Leistungsunterschiede zwischen rechenschwachen und ungestörten Kindern zeigen sich erst dann, wenn die Bearbeitung der Faktenaufgaben unter Zeitdruck erfolgt, insbesondere wenn es sich dabei um komplexe Faktenaufgaben handelt (Jordan & Montani, 1997; Roick & Hasselhorn, 2005). Doch auch unabhängig vom Zeitdruck stellt die Bearbeitung komplexer Faktenaufgaben für rechenschwache Kinder eine große Schwierigkeit dar (Ostad, 1998).

Schon relativ früh wurden die Abrufprobleme und Strategiedefizite rechenschwacher Kinder als Folge einer einfachen Entwicklungsverzögerung gesehen (Goldman, Pellegrino & Mertz, 1988). Darüber hinaus wird diskutiert, ob Probleme beim Faktenabruf eine spätere Rechenschwäche begünstigen (P. T. Ackerman, Anhalt & Dykman, 1986). So kommen Torbeyns et al. (2004) in ihrer Untersuchung schlecht rechnender Zweitklässler zu dem Ergebnis, dass die gehäufte Nutzung unangemessener Strategien bei der Lösung einfacher Additions- und Subtraktionsaufgaben auf eine derartige Entwicklungsverzögerung zurückzuführen sei (vgl. für ähnliche Befunde zu älteren Kindern Micallef & Prior, 2004). Geary, Hoard, Byrd-Craven und DeSoto (2004) konnten zusätzlich zeigen, dass rechenschwache Kinder der fünften Klasse neben dem häufigen Gebrauch von objektgestützten Zählstrategien (Fingerzählen) insgesamt im Strategiegebrauch ca. zwei Schuljahre zurückliegen. Im Falle komplexer Faktenaufgaben geben rechenschwache Zweit-, Viert- und Sechstklässler objektgestützte Zählstrategien als vornehmlich genutzte Lösungsstrategie an (Ostad, 1998, 2002). Ebenso finden Jordan und Hanich (2003) in ihrer 16-monatigen Begleitung von Zweitklässlern, dass bei Kindern mit isolierten und kombinierten Rechenschwächen zählgestützte Strategien (Fingerzählen) fortdauern, wobei sich eine hohe Fehleranzahl bei Kindern mit kombinierter Störung zeigt. Ähnlich sehen auch Geary, Brown und Samaranayake (1991) schlechte basale Rechenleistungen als Folge der dauerhaften Nutzung etablierter, unreifer und verlangsamter Zählstrategien, wodurch letztendlich die Ausbildung

einer angemessenen Wissensbasis arithmetischer Fakten verhindert wird (vgl. Geary, Bow-Thomas & Yao, 1992; Geary & Brown, 1991). Hier sollte allerdings bedacht werden, dass auch der umgedrehte Wirkzusammenhang, also eine fortdauernde Nutzung unreifer Strategien aufgrund fehlenden Faktenwissens, eine sinnvolle Interpretation darstellt. Alternativ vermuten Noël, Seron und Trovarelli (2004), dass begrenzte Ressourcen des sprachklanglichen Arbeitsgedächtnisses für die fortdauernde Nutzung unreifer Strategien bei der Bearbeitung von Faktenaufgaben verantwortlich sind. Defizite im Faktenabruf sind dennoch nicht zwingend an unreife Strategien gebunden, denn selbst wenn ein Rückgang an zählgebundenen Strategien zu beobachten ist, zeigt sich nicht gleichzeitig eine Verbesserung im Abruf, vielmehr scheinen die Abrufprobleme zu persistieren (vgl. Jordan, Hanich & Kaplan, 2003a).

4.2 Arbeitsgedächtnis

4.2.1 Das Mehrkomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses

Mathematik bzw. Rechnen stellt nicht nur im schulischen Kontext eine anspruchsvolle Anforderung dar. Man merkt dies sehr schnell, wenn man beim Einkaufen zwei alternative, aber mengenmäßig unterschiedliche Produkte anhand des Preises vergleichen soll. Die Bewältigung derartiger Aufgaben erfordert ein kognitives System, das die vorübergehende Speicherung sowie die Verarbeitung von Informationen erlaubt. Dieses kognitive System wird als *Arbeitsgedächtnis* bezeichnet (Hasselhorn & Schumann-Hengsteler, 2001). Grundsätzlich bestehen enge Verbindungen zwischen der Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses und Entwicklungsstörungen (Gathercole & Alloway, 2006), schulischen Lernschwierigkeiten (Gathercole, Alloway et al., 2006; Hasselhorn & Grube, 2003) sowie schulischen Leistungen (Gathercole, Lamont & Alloway, 2006; Gathercole & Pickering, 2000b; Gathercole, Service, Hitch, Adams & Martin, 1999; Jarvis & Gathercole, 2003). Als besonders nützlich bei der Betrachtung schulischer Lernschwierigkeiten und Leistungsentwicklungen hat sich das Modell des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley (z.B. Baddeley, 2000a; Cocchini, Logie, Sala, MacPherson & Baddeley, 2002) erwiesen, in dem zwischen einer zentralen Leit- und Koordinationsstelle (Zentrale Exekutive) und verschiedenen Subsystemen unterschieden wird (vgl. Abbildung 4). Die *Zentrale Exekutive* kann als aufmerksamkeitsgestütztes System mit begrenzten Ressourcen zur Steuerung und Kontrolle sämtlicher bewusst ablaufender kognitiver Prozesse verstanden werden (Baddeley, 1996a). Zwei Subsysteme sind für die

modalitätsspezifische Verarbeitung sprach-klanglicher und visuell-räumlicher Informationen zuständig, die Phonologische Schleife und der Visuell-räumliche Skizzenblock (z.B. Baddeley, 1998; Isaacs & Vargha-Khadem, 1989). Innerhalb der *Phonologischen Schleife* lassen sich mindestens zwei weitere Komponenten unterscheiden: Der *phonetische Speicher* kann auditorisch-verbales Material für ca. 1.5 bis 2.0 Sekunden präsent halten, während ein *subvokaler artikulatorischer Rehearsalprozess* über diese Zeitspanne hinaus den Zerfall der Information verhindern kann. Als weitere Komponenten zur Differenzierung der Phonologischen Schleife werden die Verarbeitungspräzision sowie der Automatisierungsgrad der Rehearsal-Aktivierung diskutiert (Hasselhorn, Grube & Mähler, 2000). Für den Visuell-räumlichen Skizzenblock werden ebenfalls Subkomponenten unterschieden. Vorschläge zur Differenzierung des *Visuell-räumlichen Skizzenblocks* gehen auf die Arbeiten von Logie (1995; Logie & Pearson, 1997) zurück und unterscheiden zwischen Komponenten für die Verarbeitung visuell-statischer (*visual cache*) und räumlich-dynamischer (*inner scribe*) Informationen (vgl. auch Bruyer & Scailquin, 1998).

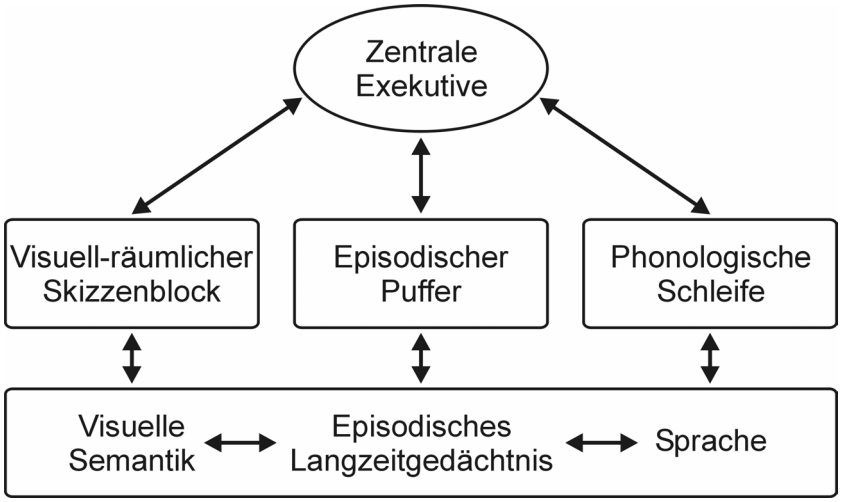


Abbildung 4: Modell des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley (1986, 2000a). Das revidierte Modell unterscheidet neben dem klassischen dreigliedrigen System (Zentrale Exekutive sowie die beiden Subsysteme Visuell-räumlicher Skizzenblock und Phonologische Schleife) als neues Subsystem den Episodischen Puffer.

Als drittes Subsystem wurde im Zuge einer Modellrevision der *Episodische Puffer* eingeführt (Baddeley, 2000a, 2000b). Diese Komponente stellt temporären, multicodalen Speicherplatz zur Verfügung, um aktuelle Arbeitsgedächtnisinhalte aus den modalitätsspezifischen Subsystemen und Gedächtnisinhalte aus dem Langzeitgedächtnis (z.B. semantische

Informationen) zu neuen episodischen Repräsentationen zusammenzufügen. Neben der Kontrolle des Episodischen Puffers wird der Zentralen Exekutive ein Konglomerat kognitiver Steuerungs- und Kontrollfunktionen zugeschrieben (vgl. auch Lehto, 1996). Von Baddeley (1996b) wurden hierzu die Koordination der Subsysteme, die Steuerung von Aufmerksamkeitsprozessen, das Hin- und Herschalten zwischen hochautomatisierten Strategien sowie das Halten und Manipulieren von Informationen, die aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden, vorgeschlagen.

Leistungen des sprach-klanglichen Arbeitsgedächtnisses können bei Kindern ab dem dritten Lebensjahr über Gedächtnisspannenmaße erfasst werden (Gathercole & Adams, 1993). Mittels Strukturanalysen lassen sich die klassischen Subsysteme (Phonologische Schleife und Visuell-räumlicher Skizzenblock) bereits ab einem Alter von ca. vier Jahren unterscheiden (Roebers & Zoelch, 2005; Schmid, Zoelch & Roebers, im Druck). Das dreigliedrige Arbeitsgedächtnismodell, welches neben den beiden Subsystemen auch die Zentrale Exekutive umfasst, lässt sich ab einem Alter von sechs bis sieben Jahren weitgehend identifizieren (vgl. Alloway, Gathercole & Pickering, 2006, für Ergebnisse bei 4 bis 6-jährigen Kindern). Gathercole und Pickering (2000a) diskutieren für siebenjährige Kinder ein Modell, welches zwischen Phonologischer Schleife und Zentraler Exekutive differenziert. Jarvis und Gathercole (2003) können bei 14-jährigen zwar das dreigliedrige Arbeitsgedächtnismodell identifizieren, präferieren aber aufgrund der besseren Anpassung ein Modell mit abgetrennten verbalen und nonverbalen Arbeitsgedächtnisleistungen (vgl. Jurden, 1995, für ähnliches Modell bei Studierenden).

Die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses nimmt bis zur Adoleszenz und darüber hinaus zu (Gathercole, 1998; Gathercole, Pickering, Ambridge & Wearing, 2004; Vuontela et al., 2003). Zentralexekutive Funktionen scheinen sich in unterschiedlichen Altersstufen der Vorschulzeit auszubilden (Espy, 1997; Espy, Kaufmann, Glisky & McDiarmid, 2001; Espy, Kaufmann, McDiarmid & Glisky, 1999). Strukturprüfende Verfahren konnten die von Baddeley (1996b, s.o.) vorgeschlagene Differenzierung der Zentralen Exekutive jedoch nicht ohne Weiteres bestätigen. Funktional ließ sich bei studentischem Klientel das Hin- und Herschalten zwischen verschiedenen Aufgaben (shifting between tasks or mental sets), die Aufrechterhaltung und Bearbeitung von Informationen im Arbeitsgedächtnis (updating and monitoring of working memory representations) sowie die Fähigkeit zur bewussten Hemmung vorherrschender, automatischer oder präpotenter Reaktionen (inhibition of

prepotent responses) differenzieren (Miyake et al., 2000; vgl. auch Oberauer, Süß, Wilhelm & Wittman, 2003). In einer ähnlichen Untersuchung zur Identifizierung dieser Komponenten bei Kindern ließen sich funktional nur *updating*- und *inhibition*-Prozesse unterscheiden, eine eigenständige *shifting*-Komponente konnte nicht identifiziert werden (St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Die Sichtweise einer differenzierten Zentralen Exekutive erfährt aber generell durch Befunde jüngerer Untersuchungen und der Nutzung bildgebender Verfahren Bestätigung (P. A. Carpenter, Just & Reichle, 2000).

4.2.2 Befunde zu Arbeitsgedächtnis und Rechenleistung bei Erwachsenen

Zwischen schulischen Lese- und Mathematikleistungen und der Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses bestehen sowohl bei Kinder als auch bei Erwachsenen Zusammenhänge (Swanson, 1994). Für Erwachsene liegt eine Reihe von Untersuchungen zu den Zusammenhängen zwischen Arbeitsgedächtniskomponenten und spezifischen mathematischen Anforderungen vor, welche die Beteiligung der drei klassischen Arbeitsgedächtniskomponenten verdeutlichen (De Rammelaere & Vandierendonck, 2001; Fürst & Hitch, 2000; Heathcote, 1994; K.-M. Lee & Kang, 2002; Logie, Gilhooly & Wynn, 1994; Trbovich & LeFevre, 2003). Der Zentralen Exekutive wird dabei eine besondere Rolle im Rahmen der Beurteilung und Lösung einfacher arithmetischer Faktenaufgaben (De Rammelaere, Stuyven & Vandierendonck, 2001; Deschuyteneer & Vandierendonck, 2005; Deschuyteneer, Vandierendonck & Muyllaert, 2006; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2000, 2002) und im Zusammenhang mit der Mathematikangst (Ashcraft & Kirk, 2001; Hopko, Ashcraft, Gute, Ruggiero & Lewis, 1998; Miller & Bichsel, 2004) zugeschrieben, während die modalitätsspezifischen Subsysteme in die Speicherung von Zwischenergebnissen und Koordination von Rechenschritten involviert sind (Fürst & Hitch, 2000; Imbo, De Rammelaere & Vandierendonck, 2005; vgl. für Kopfrechnen auch Noël, Désert, Aubrun & Seron, 2001). Bislang liegen allerdings keine Untersuchungen vor, welche die Relevanz des Episodischen Puffers für Rechenleistungen fokussieren. Tatsächlich kann gegenwärtig lediglich belegt werden, dass sich mittels konfirmatorischer Analysen bereits bei Vorschulkindern auch unter Berücksichtigung des Episodischen Puffers ein sinnvolles Arbeitsgedächtnismodell konstruieren lässt (Alloway, Gathercole, Willis & Adams, 2004). Es ist aber denkbar, dass sich schlechte zentralexekutive Leistungen auf den Episodischen Puffer auswirken und diesen in seiner Nutzbarkeit einschränken können (vgl. Jeffries & Everatt, 2004).

4.2.3 Befunde zu Arbeitsgedächtnis und Rechenleistung bei Kindern

Für Kinder steht die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses bzw. der einzelnen Komponenten sowohl mit der gegenwärtigen (Gathercole & Pickering, 2000b; Lehto, 1995; Swanson, 1992) als auch mit später erhobenen Schulleistungen (Assel, Landry, Swank, Smith & Steelman, 2003; Gathercole et al., 2005) bzw. schulspezifischen Einzelleistungen wie z.B. Rechnen (Hecht et al., 2001), Leseverständnis (Cain, Oakhill & Bryant, 2004) oder Erlernen einer Fremdsprache (Palladino & Cornoldi, 2004; Service, 1992) in Zusammenhang. Lernstörungen lassen sich – zumindest in gewissen Grenzen – ebenso über Arbeitsgedächtnisprofile (Hasselhorn & Grube, 2003; Pickering & Gathercole, 2004; Siegel & Ryan, 1989; Swanson, Cochran & Ewers, 1990) oder über spezifische Arbeitsgedächtnisleistungen (Henry, 2001) beschreiben, wie auch besondere schulische Stärken (Dark & Benbow, 1991) so charakterisiert werden können. Die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses stellt eine wichtige Kovariate für das mentale Rechnen resp. die Kopfrechenleistung in der Vorschule (Klein & Bisanz, 2000) und in der Schule (J. W. Adams & Hitch, 1997) sowie für die curriculare Arithmetik dar (Grube & Barth, 2004; Holmes & Adams, 2006; Jarvis & Gathercole, 2003; Maybery & Do, 2003). Je nach betrachteter Altersgruppe und Anforderung scheinen alle Komponenten des Arbeitsgedächtnisses für das Rechnen relevant zu sein (DeStefano & LeFevre, 2004).

Phonologische Schleife

Das sprach-klangliche Subsystem ist an verschiedenen numerischen Operationen beteiligt, wie etwa Zählleistungen oder dem Behalten von Zwischenlösungen. Vor allem für jüngere Kinder werden Zusammenhänge zwischen der Leistungsfähigkeit der Phonologischen Schleife und Kopfrechenleistungen vermutet (z.B. Noël et al., 2004). Dies scheint insbesondere dann der Fall zu sein, wenn subvokale Rehearsalprozesse intensiv für die Lösung von Kopfrechenaufgaben genutzt werden (McKenzie, Bull & Gray, 2003). Die Bedeutung der Phonologischen Schleife für mentales Rechnen schwindet aber offenbar mit zunehmenden Alter bzw. mit zunehmender Automatisierung von Faktenwissen (vgl. Holmes & Adams, 2006). Darüber hinaus scheint die Entwicklung schulischer Mathematikleistungen besser über die phonologische Bewusstheit prädiziert zu werden, als über Leistungen des sprachklanglichen Arbeitsgedächtnisses (vgl. Hecht et al., 2001). Somit finden sich mit Beginn der Primarstufenzeit meist keine Belege für eine erhöhte Relevanz der Phonologischen Schleife für Rechenleistungen (vgl. Siegel & Linder, 1984). Das sprach-klangliche Subsystem eignet

sich somit kaum zur Erklärung interindividueller Unterschiede in der schulischen Rechenleistung innerhalb einer Altersgruppe, da Gruppenunterschiede zwischen guten und schlechten Rechnern entweder gar nicht erst auftreten (McLean & Hitch, 1999; Passolunghi & Siegel, 2001; van der Sluis, van der Leij & de Jong, 2005) oder aber durch Kontrolle der Lese-Rechtschreibleistung und basaler Maße der allgemeinen Verarbeitungsgeschwindigkeit aufgeklärt werden können (Bull & Johnston, 1997). Ebenso lassen sich auf korrelativer Ebene Zusammenhänge zwischen der Leistungsfähigkeit der Phonologischen Schleife und Arithmetikleistungen durch Kontrolle zentralexekutiver Leistungen aufklären, andersherum ist dies jedoch nicht möglich (Gathercole & Pickering, 2000a, Tabelle 4 auf S. 387).

Etwas inkonsistenter fallen die Ergebnisse jedoch aus, wenn die Leistung der Phonologischen Schleife nicht über sprachliches (z.B. Wortspanne vorwärts), sondern über numerisches Material (z.B. Ziffernspanne vorwärts) erfasst wird. Hier zeigen eine Reihe von Untersuchungen systematische Unterschiede zwischen guten und schlechten Rechnern (D'Amico & Guarnera, 2005; Geary et al., 1991; Hitch & McAuley, 1991; Koontz & Berch, 1996; Schuchardt, Kunze, Grube & Hasselhorn, 2006; Swanson & Beebe-Frankenberger, 2004; tendenziell auch McLean & Hitch, 1999), andere dagegen nicht (Geary et al., 1999; Landerl, Bevan & Butterworth, 2004; Passolunghi, Marzocchi & Fiorillo, 2005; Temple & Sherwood, 2002; vgl. auch Swanson & Jerman, 2006, S. 267-268). Passolunghi und Siegel (2001, 2004) vermuten, dass diese Befunde nicht Unterschiede in der Leistungsfähigkeit des sprach-klanglichen Subsystems widerspiegeln, sondern dass rechenschwache Kinder generell im Zugriff auf zahlspezifische Repräsentationen im Langzeitgedächtnis verlangsamt sind und somit mittelbar in der Ziffernspannenaufgabe schlechter abschneiden (vgl. auch Hitch & McAuley, 1991).

Visuell-räumlicher Skizzenblock

Während das sprach-klangliche Subsystem offenbar nur begrenzt zur Erklärung interindividueller Unterschiede schulischer Rechenleistungen herangezogen werden kann, ist die Rolle des visuell-räumlichen Systems noch weitgehend ungeklärt. Einige der berichteten Zusammenhänge zwischen Mathematikleistungen und der Leistungsfähigkeit des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses müssen bereits aufgrund problematischer Operationalisierungen relativiert werden: So ist es wenig überraschend, wenn in einer Gruppe finnischer Neuntklässler hohe Zusammenhänge zwischen der visuell-räumlichen Leistungsfähigkeit

(hier erfasst über Matrix-Spanne, Corsi-Block-Spanne, mentale Rotation) und der Rechenleistung auftreten, wenn diese zumindest teilweise über in Textaufgaben eingekleidete Geometrieaufgaben erfasst wird (Reuhkala, 2001). Ebenso sind im Längsschnitt beobachtbare Zusammenhänge zwischen einer über Intelligenztest-Subskalen festgestellten Leistung des visuell-räumlichen Systems und der zwei Jahre später erhobene Mathematikleistung nicht verwunderlich (Assel et al., 2003), wenn man in diese Betrachtung die erhebliche Kovariation von Intelligenz und Mathematikleistung mit einbezieht (Alarcón, Knopik & DeFries, 2000; White, Alexander & Daugherty, 1998). Für Studien, die die Interdependenzen zwischen Arbeitsgedächtnisleistungen, Intelligenz sowie Leseleistung hinsichtlich der Lösung mathematischer Textaufgaben berücksichtigen, zeigt sich ein inkonsistentes Bild. Einige Untersuchungen finden wiederum keinen Zusammenhang zwischen dem Visuell-räumlichen Skizzenblock und der Mathematikleistung (Bull, Johnston & Roy, 1999; K. Lee, Ng, Ng & Lim, 2004), andernorts findet sich dieser doch (Swanson, 2004, Regressionsmodell 5).

Diese Untersuchungen betrachten jedoch lediglich Kinder mit problematischen Rechenleistungen, aber keine Kinder mit einer Rechenschwäche oder Rechenstörung (vgl. Abschnitt 3.1). Werden die diagnostischen Kriterien einschließlich der Intelligenz- und Leseleistung herangezogen, so zeigen sich zwischen Kindern mit isolierten Rechenstörungen und Kontrollkindern durchaus Unterschiede in der dynamischen Komponente des visuell-räumlichen Subsystems (Studie 2 von van der Sluis et al., 2005; nicht jedoch bei Schuchardt et al., 2006). McLean und Hitch (1999) finden für die von ihnen untersuchte Gruppe rechenschwacher Kinder hingegen eine defizitäre Leistung in der statischen Komponente des visuell-räumlichen Subsystems relativ zu einer Kontrollgruppe gleichen chronologischen Alters, aber nicht im Vergleich zu einer jüngeren Kontrollgruppe mit annähernd gleichen Mathematikleistungen, was auf eine Entwicklungsverzögerung des visuell-räumlichen Subsystems hindeutet. Möglicherweise müssen für den Zusammenhang zwischen Rechenleistung und Leistungsfähigkeit des Visuell-räumlichen Skizzenblocks auch altersbedingte Veränderungen berücksichtigt werden: Neuere Untersuchungen deuten an, dass vor allem jüngere Kinder (Vorschulalter und erste Hälfte der Primarstufe) die visuell-räumliche Gedächtniskomponente für die Bewältigung arithmetischer Kopfrechenaufgaben (Additionen und nonverbale Textaufgaben) nutzen, da sie auf andere Lösungsstrategien als ältere Kinder zurückgreifen bzw. für die Lösung der Aufgaben mentale Modelle bilden (Holmes & A-

dams, 2006; McKenzie et al., 2003; Rasmussen & Bisanz, 2005). Ebenso sind die Befunde zu den frühen numerischen Fähigkeiten von Kindern an visuell-räumliche Repräsentationen gebunden (vgl. Abschnitt 2.1). Denkbar wäre auch, dass Defizite im visuell-räumlichen Subsystem nur für spezifische Subformen der Rechenschwäche bedeutsam sind, hierfür fehlt aber bislang ein eindeutiger empirischer Beleg (Geary et al., 2000).

Zur Erfassung der beiden Komponenten des Visuell-räumlichen Skizzenblocks haben sich unterschiedliche Operationalisierungen bewährt (vgl. Gathercole, 1999). Während für die Betrachtung der *dynamischen Komponente* häufig die Corsi-Block-Spannen-Aufgabe (Corsi, 1972; vgl. auch Pagulayan, Busch, Medina, Bartok & Krikorian, 2006) genutzt wird, haben sich für das *statische Behalten* andere Aufgaben bewährt (Visual pattern scan bzw. Matrix-Aufgabe, Pickering, 2001; J. L. Wilson, Scott & Power, 1987). Für die Corsi-Block-Aufgabe muss bedacht werden, dass sie möglicherweise auch von der Leistungsfähigkeit der Zentralen Exekutive tangiert wird. So hat sich für Erwachsene gezeigt, dass die parallele Ausführung einer Zweitaufgabe mit hohen Anforderungen an die Zentrale Exekutive die Leistung in der Corsi-Block-Aufgabe beeinträchtigt (Eysenck, Payne & Derakshan, 2005; Vandierendonck, Kemps, Fastame & Szmalec, 2004; Vecchi & Richardson, 2001). Darüber hinaus werden uneinheitliche Ergebnisse über den Zusammenhang zwischen Rechenleistungen und den Leistungen in der Corsi-Block-Spannen-Aufgabe berichtet. So finden z.B. Bull et al. (1999, S. 437) keine Zusammenhänge zwischen Corsi-Spanne und der Mathematikleistung, während in der Untersuchung von McLean und Hitch (1999, S. 251) Unterschiede zwischen guten und schlechten Rechnern einer Altersgruppe zwar in der Corsi-Spanne, nicht jedoch in der Matrix-Aufgabe auftreten. Ebenso finden McKenzie, Bull und Gray (2003) bei Zweitklässlern Zusammenhänge zwischen arithmetischen Faktenaufgaben und der Corsi-Spanne, nicht jedoch mit den Leistungen in der Matrix-Aufgabe. Die Corsi-Block-Spannen-Aufgabe kann sowohl vorwärts als auch rückwärts durchgeführt werden, die Vorwärts-Version wird aber als adäquateres Maß für die Leistungsfähigkeit des Visuell-räumlichen Skizzenblocks diskutiert (Vandierendonck et al., 2004, S. 75). Eine ausführliche Befunddarstellung zur Corsi-Block-Spannen-Aufgabe findet sich bei Berch, Krikorian und Huha (1998). Eine vorläufige Normierung für unterschiedliche Altersstufen haben z.B. Pagulayan et al. (2006) vorgelegt.

Werden andere Operationalisierungen zur Erfassung der dynamischen Komponente des Visuell-räumlichen Skizzenblocks (z.B. Labyrinth-Aufgabe bei Pickering, Gathercole,

Hall & Lloyd, 2001) eingesetzt, finden sich Hinweise für einen geringfügigen, aber bedeutsamen Einfluss dieser Komponente auf curriculare Mathematikleistungen (Holmes & Adams, 2006; Maybery & Do, 2003).

Zentrale Exekutive

Für zentralexekutive Leistungen kann es als gesichert gelten, dass sie nicht nur relevant für schulische Rechenleistungen sind (Holmes & Adams, 2006; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006), sondern auch im Zusammenhang mit Rechenschwierigkeiten stehen. Die Untersuchung von Bull und Scerif (2001) zeigt, dass viele unterschiedliche Operationalisierungen der Zentralen Exekutive Mathematikleistungen (z.B. Arithmetik und vorgelesene Textaufgaben) bei siebenjährigen Kindern vorhersagen können, wobei sich als bester Prädiktor eine komplexe Spannenaufgaben in Verbindung mit numerischen Material (*Counting Span*; vgl. Case, Kurland & Goldberg, 1982; Gathercole, 1999) erwiesen hat (vgl. auch Passolunghi & Siegel, 2004; Ransdell & Hecht, 2003; Siegel & Ryan, 1989). Ebenso berichten Hecht, Close und Santisi (2003) über Zusammenhänge zwischen der Counting-Span-Leistung und der Leistung im Bruchrechnen bei Fünftklässlern.

Derartige Befundmuster über Zusammenhänge zu Rechenleistungen lassen sich nicht durchgehend beobachten (Bull & Johnston, 1997). Der hohe prädiktive Wert der Counting-Span-Aufgabe (auch für die spätere Leseleistung, vgl. Ransdell & Hecht, 2003) mag sich teilweise auch daraus ergeben, dass die schlechten Leistungen rechenschwacher Kinder im Wesentlichen auf verringerte Gedächtnisspannen für Ziffern (vgl. oben) und verlangsamte Zählleistungen zurückführbar sind (Hitch & McAuley, 1991) und diese sich wiederum als zentrale Prädiktoren für die spätere Rechenleistung erwiesen haben (Kurdek & Sinclair, 2001). Ungeachtet dessen zeigen komplexe Spannenaufgaben aber unabhängig vom eingesetzten Material substanzielle Zusammenhänge zur (arithmetischen) Rechenleistung (Gathercole, Pickering, Knight & Stegmann, 2004; Passolunghi & Siegel, 2001; Swanson & Jerman, 2006), zu curricularen Mathematikleistungen (Holmes & Adams, 2006) und anderen Schulleistungen (Gathercole, Alloway et al., 2006; Gathercole & Pickering, 2000b; Lehto, 1995). Im Sinne der Klassifikation von Baddeley (1996a) beanspruchen komplexe Spannenaufgaben die Zentrale Exekutive im Hinblick auf den Gedächtnisabruf und Koordination der Subsysteme (vgl. auch Bayliss, Jarrold, Gunn & Baddeley, 2003).

Aber auch andere Operationalisierungen zentralexekutiver Leistungen stehen im Zusammenhang mit Rechenleistungen, wie zum Beispiel die *Ziffernspanne rückwärts* (Rasmussen & Bisanz, 2005; van der Sluis et al., 2005) oder die Interferenzanfälligkeit in der *Stroop-Aufgabe* (Bull & Scerif, 2001). Weiter finden sich Unterschiede zwischen schlechten Rechnern und einer Kontrollgruppe gleichen Alters in der Bearbeitung *komplexer Trail-Making-Aufgaben* (D'Amico & Guarnera, 2005; McLean & Hitch, 1999; van der Sluis, de Jong & van der Leij, 2004), in der Bearbeitung komplexer Faktenaufgaben (McLean & Hitch, 1999) sowie in neuropsychologischen Tests zur Prüfung zentralexekutiver Funktionen wie dem *Wisconsin-Card-Sorting-Test* (vgl. Bull et al., 1999). Die Probleme bei der Bearbeitung komplexer Faktenaufgaben finden sich auch relativ zu einer leistungsangepassten Kontrollgruppe jüngerer Kinder (McLean & Hitch, 1999), was wiederum auf ein strukturelles Problem beim Abruf oder der Etablierung von Faktenwissen hindeuten könnte (vgl. Geary et al., 1991). Für den Zusammenhang zwischen zentralexekutiven Leistungen und Mathematik spielt auch die (nichtsprachliche) Intelligenz eine erhebliche Rolle. Hierfür sprechen Befunde, die zeigen, dass sich Gruppenunterschiede in den zentralexekutiven Leistungen bei Kontrolle der allgemeinen Intelligenz erheblich reduzieren (z.B. Landerl et al., 2004 für Ziffernspanne rückwärts; van der Sluis et al., 2005; vgl. aber: Passolunghi et al., 2005). Werden als Kriterium für Rechenleistungen statt rein arithmetischen Aufgaben hingegen Textaufgaben genutzt, von denen Stern (1997, 2003) vermutet, dass sie weniger von Intelligenzleistungen determiniert werden, bleiben für zentralexekutive Maße die Zusammenhänge bzw. Gruppenunterschiede eher erhalten (z.B. K. Lee et al., 2004; Passolunghi, Cornoldi & De Liberto, 1999, Phasen 1 und 5; Passolunghi & Siegel, 2001; Swanson, 2004; Swanson & Beebe-Frankenberger, 2004; Swanson, Cooney & Brock, 1993). Aber auch für einige der (eher sophistisierten) neuropsychologischen Tests mit zentralexekutiven Anforderungen (Stroop-Aufgabe, Wisconsin-Card-Sorting-Test) bleiben nach Kontrolle von Intelligenz und Leseleistung bedeutsame Unterschiede bestehen (Bull et al., 1999; Bull & Scerif, 2001).

Zusammengefasst deuten die Befunde darauf hin, dass weitgehend alle von Baddeley (1996a) vorgeschlagenen Funktionsbereiche der Zentralen Exekutive bei rechenschwachen Kindern beeinträchtigt sind. Rechenschwache Kinder haben offenbar Schwierigkeiten bei der Aufrechterhaltung von Informationen im Arbeitsgedächtnis, bei der Unterdrückung präpotenter Informationen und beim Hin- und Herschalten zwischen Strategien. Als Ursa-

che für dieses eher generelle Defizit zentralexekutiver Leistungen werden grundlegende Probleme in der selektiven Aufmerksamkeitssteuerung im Sinne der Hemmung irrelevanter Informationen diskutiert (Bull & Scerif, 2001; Passolunghi et al., 1999; Passolunghi & Siegel, 2001, 2004). Ähnlich, aber noch differenzierter sehen Swanson und Jerman (2006, S. 268-269) als Ergebnis ihrer selektiven Meta-Analyse die Defizite rechenschwacher Kinder in der zentralexekutiv verankerten selektiven Aufmerksamkeitssteuerung bezüglich verbalen Materials („controlled attention to verbal information", S. 269). Im folgenden Abschnitt werden die beiden Konzepte „Aufmerksamkeit" und „Hemmung" näher erörtert.

4.3 Aufmerksamkeit und Hemmung

Die Untersuchung von Kindern mit Lernstörungen hat gezeigt, dass bei diesen häufig Probleme im Bereich der Aufmerksamkeit beobachtet werden können (Copeland & Reiner, 1984; Copeland & Wisniewski, 1981). Aus diesem Grund wird seit geraumer Zeit diskutiert, ob Aufmerksamkeitsprobleme möglicherweise einen unspezifischen Marker für Lernstörungen darstellen (Horn & Packard, 1985; vgl. für Gegenposition Fleisher, Soodak & Jelin, 1984). Die Aufmerksamkeitsprobleme von Kindern mit Lernstörungen unterscheiden sich aber von denjenigen der Kinder, bei denen primär eine Aufmerksamkeitsstörung im Vordergrund steht (vgl. z.B. Richards, Samuels, Turnure & Ysseldyke, 1990).

Die Ergebnisse der Meta-Analyse von Horn und Packard (1985, S. 601) belegen, dass eine über ein Lehrerurteil eingeschätzte Ablenkbarkeit (*distractibility*) den besten Einzelprädiktor für die Entwicklung der Leseleistung darstellt. Eine interessante Quasi-Replikation dieses Befundes für Rechenleistungen konnten L. S. Fuchs et al. (2005, S. 510) beibringen. In deren längsschnittlicher Betrachtung erwies sich ein über die Lehrer eingeschätztes Ausmaß an Ablenkbarkeit (ebenfalls distractibility, z.B. „kann leicht abgelenkt werden", „hört nicht zu", vgl. L. S. Fuchs et al., 2005, S. 499) als robuster und bedeutsamer Prädiktor für verschiedene mathematische Leistungsbereiche zum Ende der ersten Klasse. Beide Studien fokussieren interindividuelle Aufmerksamkeitsunterschiede aber nur sehr indirekt und keineswegs differenziert. Die Befunde sind insofern trivial, da selbstverständlich nur Kinder vom Unterricht profitieren können, wenn sie ihm auch tatsächlich folgen bzw. sich nicht von anderen Dingen ablenken lassen. Aber die von L. S. Fuchs et al. (2005) berichteten korrelativen Zusammenhänge zwischen Rechenleistung, der eingeschätzten Ablenkbarkeit und der Leistung in einer komplexen Arbeitsgedächtnisaufgabe (*Listening Span* bzw. *komplexe*

Wortspanne) weisen zumindest auf eine mögliche Interdependenz der drei Bereiche Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis und Rechenleistung hin. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Schwenck und Schneider (2003b) in einer clusteranalytischen Untersuchung von Erstklässler-Leistungen. Hier zeigen sich (durch Eltern eingeschätzte) Aufmerksamkeitsprobleme der Kinder insbesondere für die Gruppe mit spezifischen Defiziten im rechnerischen Bereich sowie für die Gruppe mit kombinierten Defiziten im rechnerischen und schriftsprachlichen Bereich.

Dennoch ist die Rolle der Aufmerksamkeit als Determinante einer Rechenstörung bislang noch nicht ausreichend untersucht worden (Fletcher, 2005, S. 311). Für Kinder mit Rechenstörungen werden oft komorbid auftretende Störungen der Aufmerksamkeit berichtet (Shalev et al., 1995), ebenso zeigen Kinder mit Aufmerksamkeitsstörungen schlechtere Rechenleistungen (Marshall et al., 1999; Zentall et al., 1994). Aktuelle Untersuchungen legen jedoch nahe, dass die Verursachungsfaktoren beider Störungen eher voneinander getrennt betrachtet werden sollten (Monuteaux, Faraone, Herzig, Navsaria & Biederman, 2005). So liegen Hinweise dafür vor, dass bei der Bearbeitung von Textaufgaben Kinder mit Aufmerksamkeitsstörungen mehr Probleme mit distraktiven bzw. aufgabenirrelevanten Wörtern haben, während Kinder mit Rechenschwächen eher Probleme mit irrelevanten, aber distraktivem Zahlenmaterial haben (Passolunghi et al., 2005). Für die frühe Primarstufenzeit findet sich in der finnischen Längsschnittstudie von Aunola et al. (2004) ein bedeutsamer Einfluss der visuellen Aufmerksamkeit auf die Leistungszuwächse in der Mathematikleistung, dies insbesondere bei Kindern mit schlechten Rechenleistungen. Lindsay, Tomazic, Levine und Accardo (1999) sehen in verschiedenen kognitiven Bereichen eine für die mathematische Kompetenz potenziell relevante Beteiligung von Aufmerksamkeitsleistungen. Ebenso werden von Geary (2004) Prozesse der Aufmerksamkeitssteuerung und Hemmungskontrolle in der Informationsverarbeitung als für Rechenschwäche wesentliche Funktionsmerkmale der Zentralen Exekutive betrachtet (vgl. auch Geary, 2003, S. 208-209).

Für ein weiteres Verständnis der Bedeutung von Aufmerksamkeitsleistungen für schulisches Leistungsvermögen sollte das Aufmerksamkeitskonstrukt differenziert betrachtet werden. Aktuelle Modelle unterscheiden als zwei Grunddimensionen der Aufmerksamkeit Aspekte der *Intensität* und der *Selektivität* sowie eine Reihe zuordenbarer Aufmerksamkeitsfunktionen (Sturm, 2005; Sturm & Zimmermann, 2000; van Zomeren & Brouwer, 1994).

So lassen sich die Funktionen der Alertness, der Daueraufmerksamkeit und Vigilanz der *Intensitätsdimension* zuordnen, während der Aufmerksamkeitswechsel, die Aufmerksamkeitsteilung sowie die spatiale, selektive und fokussierte Aufmerksamkeit der *Selektivitätsdimension* zugewiesen werden. Neben den dimensionsorientierten Modellen werden auch stufenbasierte Ansätze der Aufmerksamkeitsdifferenzierung diskutiert, welche die Aufmerksamkeitsfunktionen unterschiedlichen Stufen der kognitiven Verarbeitung (PME-Modelle: perceptual processing, mental processing, executive processing) zuordnen. Für beide Ansätze gilt aber, dass die Interkorrelationen der ersten Ordnungsebene sehr hoch ausfallen (vgl. z.B. Schweizer, Moosbrugger & Goldhammer, 2005). Dies bedeutet nicht, dass eine Differenzierung der Aufmerksamkeitsleistung nicht sinnvoll wäre, aber offenbar gelingt es bislang nicht oder doch zu selten, eine der Funktionen spezifisch zu operationalisieren.

Die Leistung der Aufmerksamkeitsfunktionen und des Arbeitsgedächtnisses hängen korrelativ zusammen (vgl. Schweizer & Moosbrugger, 2004). Ein alternativer Ansatz zum Mehrkomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley, 1998) betrachtet die Fähigkeit zur selektiven Ausrichtung der Aufmerksamkeit bzw. zur Hemmung und Unterdrückung irrelevanter Informationen als spezifisches Arbeitsgedächtnismerkmal (Conway & Engle, 1994; Engle, Kane & Tuholski, 1999). Die damit angesprochenen Aspekte einer *kognitiven Hemmung* können als exekutive Prozesse (vgl. Nigg, 2000) verstanden werden und sind mit dem Konzept der Zentralen Exekutive vereinbar.

Die Vorstellung, dass die Fähigkeit zur kognitiven Hemmung maßgeblich die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses bestimmt, ist auch zentraler Bestandteil der Hemmungs-Defizit-Modells von Hasher und Zacks (Hasher & Zacks, 1988; Hasher, Zacks & May, 1999; Hasher, Zacks & Rahhal, 1999). Dieses in der Psychogerontologie sehr präsente Modell verbindet ebenfalls Aspekte der selektiven Aufmerksamkeit im Sinne einer Hemmungsfähigkeit mit der Funktionalität bzw. der Effizienz des Arbeitsgedächtnisses. Die Grundannahme dabei ist, dass eine Hemmungskontrolle regulierend auf den Zusammenfluss gedanklich-kognitiver und perzeptueller Informationen einwirkt. Dies geschieht einmal über eine Kontrolle des Zugangs irrelevanter Informationen ins Arbeitsgedächtnis (*access*-Funktion), durch Löschung irrelevanter bzw. nicht länger relevanter Informationen (*deletion*-Funktion) aus dem Arbeitsgedächtnis sowie durch Zurückhaltung präpotenter Reaktionstendenzen (*restraint*-Funktion) (vgl. Hasher, Chung, May & Foong, 2002). Fehlleistungen dieser drei Funktionen im Sinne von Intrusionsfehlern lassen sich prinzipiell durch komplexe Wortspannenaufgaben analysieren (z.B. Brewin & Smart, 2005;

komplexe Wortspannenaufgaben analysieren (z.B. Brewin & Smart, 2005; De Beni, Palladino, Pazzaglia & Cornoldi, 1998). Darüber hinaus liegen Überlegungen zur weiteren Differenzierung derartiger Fehlleistungen vor. Entsprechend des Vorschlags von Chiappe, Hasher und Siegel (2000, S. 11) könnten Intrusionsfehler (*current non-final intrusions*) aus dem aktuell zu bearbeitenden Trial als Fehler der *access*-Funktion interpretiert werden. Intrusionsfehler, die Material aus vorherigen Trials darstellen (*previous intrusions*), ordnen die Autoren einem Fehler der *deletion*-Funktion zu. Da bei diesem Intrusionstyp früher verarbeitete Information die Verarbeitung der nachfolgenden Information beeinträchtigt, wirken die *previous intrusions* proaktiv interferierend. Freie Intrusionen, die nicht aus dem Aufgabenmaterial stammen (*extraneous intrusions*), deuten nach Ansicht der Autoren auf einen Fehler in der *restraint*-Funktion hin (vgl. zu einem ähnlichen Ansatz Titz, 2004, S. 16-18).

Das Konzept exekutiver Hemmungsprobleme lässt sich auch zur Interpretation der Rechenleistungen bzw. -schwierigkeiten von Kindern mit Lernstörungen heranziehen (vgl. Dempster & Corkill, 1999). Barrouillet, Fayol und Lathuliere (1997) untersuchten die Leistungen lerngestörter Jugendlicher bei der Bearbeitung multiplikativer Faktenaufgaben. Aufgrund eingehender Fehleranalysen kommen die Autoren zu dem Schluss, dass das zentrale Problem dieser Kinder eine ineffiziente Hemmung inkorrekter Lösungen darstellt. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Geary et al. (2000), die Kinder aufforderten, gestellte Faktenaufgaben zur Addition über Wissensabruf zu lösen. Als häufigste Fehler bei Kindern mit Lese- oder Rechenschwächen erwiesen sich dabei Antworten der Kinder die zeigten, dass Aufgabenbestandteile mit der Zahlenreihe verknüpft wurden. Diese Befunde lassen allerdings nicht erkennen, welche Form exekutiver Hemmung angesprochen wird. Die Taxonomie von Nigg (2000, S. 237-238) differenziert diesen Bereich konzeptuell anhand von Versuchsparadigmen u.a. nach Interferenzkontrolle (*interference control*), kognitiver Hemmung (*cognitive inhibition*) und Reaktionshemmung (*behavioral inhibition*), für die angenommen werden kann, dass sie sich auf unterschiedlichen Stufen der Informationsverarbeitung beziehen (vgl. Friedman & Miyake, 2004, S. 103). Diese Hemmungskonzepte sind nicht unabhängig voneinander: Für erwachsene Probanden konnten Zusammenhänge zwischen der Interferenzkontrolle und der kognitiven Hemmung aufgezeigt werden, wobei beide Konzepte unabhängig von der Reaktionshemmung zu sein scheinen (vgl. Friedman & Miyake, 2004). Für die oben geschilderten Probleme lerngestörter Kinder ist nicht klar, wie spezifisch diese für rechenschwache Kinder sind. Untersuchungen mit lerngestörten Kin-

dern zeigen, dass sie keine Probleme mit Aufgaben haben, die im Wesentlichen Interferenzkontrolle beanspruchen (Stroop-Aufgabe, Flanker-Aufgabe; Censabella & Noël, 2005). Für Kinder mit diagnostizierter Aufmerksamkeitsstörung werden primär Probleme im Bereich der Reaktionshemmung diskutiert (Barkley, 1997; Nigg, 2001; Nigg, Butler, Huang-Pollock & Henderson, 2002; vgl. aber Scheres et al., 2004). Für rechenschwache Kinder werden hingegen weniger Probleme in der Reaktionshemmung als vielmehr Schwierigkeiten in der kognitiven Hemmung vermutet (Passolunghi et al., 2005).

4.4 Fazit: Bedeutung der kognitiven Determinanten

Die hier betrachteten kognitiven Determinanten sind zwar alle von Bedeutung für Rechenleistungen und -schwierigkeiten, aber nicht alle sind gleichermaßen bedeutsam. Die hohe Relevanz der bereichsspezifischen Kompetenzen wurde in einer Vielzahl von Untersuchungen belegt (z.B. Krajewski, 2003). Hinsichtlich der Relevanz von Arbeitsgedächtnisleistungen liegen ebenfalls eine Vielzahl von Studien vor, hier fallen die Befunde aber uneinheitlich aus (vgl. Swanson & Jerman, 2006). Zum Zusammenhang von Aufmerksamkeit und Rechenleistungen kann bis dato nur auf eine geringe Anzahl von Studien zurückgegriffen werden. Allerdings sollte die grundlegende These, dass Aufmerksamkeitsprobleme lediglich einen unspezifischen Faktor für Rechenschwierigkeiten bzw. ein typisches Begleitphänomen von Lernstörungen darstellen, allein schon in Anbetracht der differenzierten Modellansätze für Aufmerksamkeitsleistungen nicht ohne Rückgriff auf brauchbare empirische Evidenz beibehalten werden.

Die Betrachtung aufmerksamkeitsbezogener Hemmungsfunktionen stellt insgesamt eine vielversprechende Ergänzung des Arbeitsgedächtnisansatzes dar, da dadurch die üblichen Effektivitätsanalysen um eine Effizienzperspektive erweitert werden (können). Wie bereits im Abschnitt 4.2.3 erwähnt, liegen Überlegungen vor, ob die umfassenden Probleme rechenschwacher Kinder in Aufgaben mit zentralexekutiven Anforderungen nicht auf Probleme der Hemmung irrelevanter Informationen im Sinne einer mangelnden Interferenzresistenz zurückgeführt werden können (z.B. Passolunghi & Siegel, 2001, 2004). Derartige Hemmungsprobleme könnten zu einer Verringerung der funktionalen Arbeitsgedächtniskapazität führen (Geary, 2003, S. 209). Weitere Untersuchungen sind also notwendig, um die Bedeutung von Arbeitsgedächtnis und/oder Aufmerksamkeit für Rechenleistungen und -schwierigkeiten in der Primarstufe abschätzen zu können.

5. Zusammenfassung des Forschungsstandes und Ableitung der Fragestellungen für die eigene Untersuchung

Kinder verfügen bereits lange vor Beginn der Beschulung über eine Reihe numerischer Kompetenzen, ohne dass diese als angeboren betrachtet werden müssen (Brannon, 2002; Gilmore et al., 2007; Lipton & Spelke, 2003). Stattdessen entwickeln sich diese Kompetenzen in den ersten Lebensjahren und stellen die eigentliche Voraussetzung dafür dar, dass in der Schule komplexes mathematisches Wissen vermittelt werden kann. Diese Kompetenzen werden aufgrund ihrer Konsistenz, ihrer Generalität und Universalität von Geary (1995, 2000) als eine numerisch-mathematische Primärleistung betrachtet. Aufgrund der hohen differenziellen Entwicklungsstabilität der Primarstufenmathematik kann gemutmaßt werden, dass die Ausformung bzw. Qualität dieser Primärleistungen letztendlich auch entscheidend für den Erfolg einer mathematischen Beschulung ist.

Auch wenn keine eindeutigen empirischen Evidenzen zu angeborenen numerischen Fähigkeiten vorliegen, so verfügen Menschen offensichtlich von Geburt an über aufmerksamkeitsgestützte Mechanismen, die Reizveränderungen wahrnehmen (vgl. Clearfield, 2004). Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Mechanismen letztendlich auch die Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses beeinflussen, da Aufmerksamkeitsprozesse eine Grundvoraussetzung für die zentralexekutive Koordination der Informationsverarbeitung darstellen. In jüngerer Zeit wird daher auch in Verbindung mit Rechenschwierigkeiten die Rolle von Aufmerksamkeitsprozessen diskutiert. Auf der Suche nach einem möglichen *Start-up-Fehler* für die Entwicklung einer Rechenstörung wurden defizitäre Subitizingprozesse vorgeschlagen (Landerl et al., 2004). Das Subitizing-Phänomen beschreibt als eine Möglichkeit der Mengenerfassung die rasche Wahrnehmung kleiner Mengen mit hoher objektiver und subjektiver Sicherheit (z.B. Chi & Klahr, 1975; Mandler & Shebo, 1982). Mit ‚rasch' ist dabei gemeint, dass Mengen mit vier Elementen annähernd genauso schnell wahrgenommen werden wie Mengen mit nur zwei Elementen. Bei größeren Mengen werden wiederum andere Prozesse bemüht, wie z.B. das Zählen oder Schätzen. Der Vorschlag, defizitäre Subitizingprozesse als verursachendes Moment für die Entwicklung von Rechenstörungen zu identifizieren, beinhaltet allerdings zwei Probleme: Zum einen ist die empirische Basis für diese Hypothese bislang eher schwach, zum anderen

die empirische Basis für diese Hypothese bislang eher schwach, zum anderen ist das Subitizingkonzept selbst problematisch, da kein Konsens über die theoretische Fundierung des Phänomens besteht. Ohne empirische Evidenz und ohne theoretische Fundierung wird es aber kaum möglich sein, Argumente dafür zu finden, warum und wie Subitizingprozesse gestört sein könnten und warum gerade dies für Rechenstörungen relevant sein sollte.

Prozesse der Aufmerksamkeit, insbesondere Prozesse der selektiven Aufmerksamkeit im Sinne der Hemmung irrelevanter Informationen, werden aber auch aus Perspektive der Arbeitsgedächtnisforschung als mögliches Problem rechenschwacher Kinder diskutiert (z.B. Bull & Scerif, 2001; Swanson & Jerman, 2006). Einige Alternativmodelle zum bekannten und bewährten Multikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley (1986, 2000a) betrachten die selektive Ausrichtung des kognitiven Apparates sogar als zentrales Merkmal des Arbeitsgedächtnisses (Conway & Engle, 1994), während das Baddeley-Modell solche Leistungen neben weiteren in der Zentralen Exekutive verankert (Baddeley, 1996a). Die Koppelung zentralexekutiver Leistungen an die Aufmerksamkeitsausrichtung im Rahmen der Mengenerfassung belegt eine Untersuchung von Tuholski, Engle und Baylis (2001). Die Autoren konnten zeigen, dass sich Gruppen mit unterschiedlich guten Leistungen in einer komplexen Wortspannen-Aufgabe auch in Anforderungen der selektiven Aufmerksamkeit unterscheiden. Unter Nutzung des Mengenerfassungs-Paradigmas (z.B. Kaufman et al., 1949) wurden erwachsenen Probanden Displays mit ungeordneten Mengen im Umfang von einem bis zu zwölf Elementen präsentiert. Aufgabe war es, möglichst präzise und schnell die Anzahl der Target-Elemente anzugeben. Tuholski et al. (2001) zeigen mit ihrer Studie, dass Personen mit geringen Leistungen in der komplexen Wortspannen-Aufgabe mehr Zeit zur Mengenerfassung benötigen, wenn die Mengen einen subitisierbaren Umfang überschreiten und Zählprozesse erforderlich werden. Das Zählen ungeordneter, visuell präsentierter Mengen erfordert den Einsatz spatialer Aufmerksamkeitsprozesse (Pylyshyn, 1994). Die Reaktionszeitunterschiede waren aber auch vorhanden, wenn störende Distraktoren zu unterdrücken sind und die Mengenerfassungsaufgabe zu einer Leistung selektiver Aufmerksamkeitsprozesse wird. Die Autoren führen diesen Befund auf die große Überlappung zwischen zentralexekutiven Funktionen und selektiven Aufmerksamkeitsprozessen zurück. Diese Ergebnisse hinsichtlich des Zusammenhanges zwischen zentralexekutiver Leistung und Aufmerksamkeitssteuerung müssen allerdings relativiert wer-

den, da Tuholski et al. auf die Kontrolle der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit verzichtet haben, wodurch die Befunde ebenfalls erklärt werden könnten.

Die relativ gesicherte Evidenz zu zentralexekutiven Problemen rechenschwacher Kinder (Bull & Scerif, 2001; Swanson & Jerman, 2006) sowie die Befunde zur Koppelung zwischen zentralexekutiver Leistung und Prozessen der selektiven Aufmerksamkeit im Rahmen des Mengenerfassungs-Paradigmas (Tuholski et al., 2001) führen zu den zentralen Forschungsfragen der vorliegenden Studie. Untersucht werden soll, inwiefern interindividuelle Unterschiede selektiver Aufmerksamkeitsleistungen und ausgewählter Arbeitsgedächtnisfunktionen zur Erklärung von Leistungsunterschieden im Rechnen in der Primarstufe geeignet sind.

Psychologische Hypothese I:
Schlechte Rechner haben spezifische Arbeitsgedächtnisdefizite, die im zentralexekutiven Bereich anzusiedeln sind.

Psychologische Hypothese II:
Schlechte Rechner zeigen eine defizitäre selektive Aufmerksamkeitsleistung.

Zur Überprüfung dieser beiden Hypothesen sollen in Übereinstimmung mit vorliegenden Arbeiten im Extremgruppenvergleich die Leistungen schlecht rechnender Kinder mit denen gut rechnender Kinder kontrastiert werden (die Ableitung der psychologischen Vorhersagen erfolgt im jeweiligen Ergebnisteil). Ein Vorteil des Extremgruppenvergleichs liegt in der Maximierung von Effekten. Allerdings verlieren sich dadurch Informationen, ob vorliegende Effekte auf ein Problem der schlecht rechnenden Kinder oder einen Vorteil der gut rechnenden Kinder zurückgehen. Erkenntnisse über derartige Fragen, die keineswegs trivial sind, sondern Überlegungen zur Diagnostik und Intervention von Rechenschwächen und -störungen berühren, lassen sich erst gewinnen, wenn als weitere Vergleichsmöglichkeit die Leistungen „normal“ bzw. durchschnittlich rechnender Kinder vorliegen. Aus diesem Grund werden zusätzlich auch die Leistungen in einer Gruppe mittelgut rechnender Kinder gleichen Alters untersucht.

Schon relativ früh wurden die Probleme rechenschwacher Kinder (z.B. beim Faktenabruf oder bei Rechenstrategien) als Folge einer einfachen Entwicklungsverzögerung gesehen

(Goldman et al., 1988; vgl. auch Torbeyns et al., 2004). Ergänzend soll daher in der vorliegenden Studie der Frage nachgegangen werden, ob evtl. beobachtbare Minderleistungen schlecht rechnender Kinder auf ein Strukturdefizit oder auf eine Entwicklungsverzögerung zurückgeführt werden können. Der normale Altersvergleich erlaubt aber keine Aussagen über die Verursachung bzw. über kausale Abhängigkeiten zwischen der Rechenleistung und der betrachteten kognitiven Variablen, da jedes kognitive Defizit auch eine Konsequenz anstatt einer Ursache für schlechte Rechenleistungen sein kein (vgl. zu diesen Überlegungen Vellutino, Pruzek, Steger & Meshoulam, 1973; Hasselhorn, Grube, Mähler & Roick, im Druck, S. 906). Zur Prüfung dieser Frage werden daher die Leistungen der schlecht rechnenden Kinder mit denen einer jüngeren, aber leistungsähnlichen Gruppe verglichen.

Somit werden die beiden psychologischen Hypothesen jeweils im Rahmen dreier abgetrennter Einzelbetrachtungen als

- allgemeine Defizithypothese (Vergleich zwischen schlecht rechnenden und gut rechnenden Kindern),
- differenzielle Defizithypothese (Vergleich zwischen schlecht rechnenden und mittelgut rechnenden sowie zwischen mittelgut rechnenden und gut rechnenden Kindern) und
- strukturelle Defizithypothese (Vergleich zwischen schlecht rechnenden Kindern und jüngeren Kindern mit annähernd gleicher Rechenleistung)

geprüft. Darüber hinaus soll die Prüfung der Arbeitsgedächtnishypothese um explorative Analysen zu Arbeitsgedächtnis-Fehlleistungen ergänzt werden. Spezifische Effizienzbetrachtungen der Arbeitsgedächtnisleistungen rechenschwacher Kindern sind in jüngerer Zeit aus der Perspektive kognitiver Hemmungsdefizite angestellt worden (Passolunghi et al., 2005; vgl. Abschnitt 4.3). Mit Bezug auf diese Diskussionen soll explorativ die Anfälligkeit schlecht rechnender Kinder für proaktive Interferenzen sowie ihre Intrusionsanfälligkeit analysiert werden.

6. Methode der Untersuchung

6.1 Untersuchungsdesign

Der geplanten Untersuchung liegen eine Reihe hypothesenprüfender und explorativer Fragestellungen zugrunde, für deren Beantwortung generell ein quasi-experimenteller, zweifaktorieller Versuchsplan mit einem interindividuell variierten Faktor „Rechnergruppe" (vierstufig: gut rechnende, mittelgut rechnende, schlecht rechnende Kinder einer Alters-

Tabelle 3: Zeitlicher Verlauf der Studie

Klassenstufe	Gruppentestungen *Dezember 2003*	Kognitive Maße *Februar/März 2004*	Gruppentestungen *Juni 2004*	Kognitive Maße *August/September 2004*
3. Klassen	▪ CFT 20 ▪ WLLP ▪ DIRG-BM	▪ Ziffernlesen ▪ Wortspanne vorwärts (einfach und komplex, mit Variation des Target-Pools) ▪ Mengenerfassung (mit u. ohne Distraktoren) ▪ Corsi-Block-Spanne ▪ Trail-Making (einfach und komplex)	▪ DEMAT 3+ ▪ Kettenrechner 3-4	—
2. Klassen	—	—	▪ CFT 1 (SU 3) ▪ WLLP ▪ DIRG-BM	▪ Ziffernlesen ▪ Wortspanne vorwärts (einfach und komplex, mit Variation des Target-Pools) ▪ Mengenerfassung (mit u. ohne Distraktoren) ▪ Corsi-Block-Spanne ▪ Trail-Making (einfach und komplex)

Anmerkungen. CFT 20: Grundintelligenztest Skala 2; CFT 1: Grundintelligenztest Skala 1; WLLP: Würzburger Leise-Lese-Probe; DIRG-BM: Diagnostisches Inventar zu Rechenfertigkeiten im Grundschulalter, Basismodul; DEMAT 3+: Deutscher Mathematiktest für dritte Klassen; Kettenrechner 3-4: Kettenrechner für dritte und vierte Klassen; die Beschreibung der einzelnen Gruppentestverfahren sowie der kognitiven Maße erfolgt im Text.

gruppe, gut rechnende Kinder jüngeren Alters) sowie einem intraindividuell variierten Faktor (zweifach oder ggf. mehrfach gestuft) realisiert wurde. Um die mit den Fragestellungen verbundenen Anforderungen an die Stichprobe gerecht werden zu können, wurden die Kinder der Experimentalstichprobe aus einer größeren Gruppe (Basisstichprobe) von Kindern der 2. und 3. Klassenstufe rekrutiert (s.u.). Kinder der Experimentalgruppe nahmen neben den Gruppentestungen zusätzlich auch an Einzeluntersuchungen teil, in deren Rahmen eine Reihe kognitiver Maße erhoben wurden. Tabelle 3 gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der Untersuchung bzw. über die jeweiligen Messzeitpunkte sowie über die eingesetzten Verfahren bzw. erfassten Leistungsbereiche. Die aufgeführten Variablen werden im folgenden Abschnitt näher erläutert.

6.2 Untersuchungsinstrumente

6.2.1 Leistungstests

Grundintelligenztest CFT (CFT 1 und CFT 20)

Die kulturfreien Intelligenzverfahren der Reihe Grundintelligenztest CFT (*Culture Fair Test*) gehören zu den wenigen gruppentauglichen Testverfahren, bei denen die Aufgabenanforderungen weitgehend sprachfrei formuliert sind. Sofern die Instruktion dieser Tests verstanden wird, dürfte sich das Verfahren auch als fair gegenüber Kindern mit sprachlichen Entwicklungsproblemen erweisen. In der vorliegenden Untersuchung wurden diese Verfahren eingesetzt, um eine intelligenznahe Leistung im Sinne der Wahrnehmung und gedanklichen Bearbeitung weitgehend nicht-schulischen Materials zu erfassen.

Im CFT 20 (Weiß, 1998) müssen die Drittklässler in vier verschiedenen Untertests Aufgaben zur Klassifikation (unpassendes Element benennen), Reihenfortsetzung (Serie fortsetzen), Vier- und Neunfelderschema (unteres rechtes Element ergänzen) und zur topologischen Schlussfolgerung (ein Punkt muss gedanklich in eine bestimmte Konstellation eingepasst werden) bearbeiten. Abweichend zu den Manualvorgaben wurde für die Beantwortung der Items ein selbst erstellter Antwortbogen mit verbesserter Übersichtlichkeit eingesetzt (vgl. Anhang A.2). In der vorliegenden Untersuchung wurde die Kurzform des CFT 20 mit zwei (Pseudo-)Parallelversionen eingesetzt. Die Reliabilität des Verfahrens kann auch in der Durchführung als Kurzform laut Manual mit gut bewertet werden (Testhalbierungsreliabilitäten von r=.90 und r=.91). Faktorenanalytische Auswertung der vier Subskalen weisen auf einem Generalfaktor der fluiden Intelligenz hin. Mit dem Au-

ßenkriterium der Mathematiknote korreliert der CFT 20 allerdings zu $r=.50$ (vgl. Baving & Schmidt, 2000). In der vorliegenden Untersuchung lässt sich eine ausreichende Reliabilität des CFT 20 bestätigen. So finden sich Cronbachs Alpha Werte für die Testform A von $\alpha=.82$ (N=94) und für die Testform B von $\alpha=.73$ (N=87).

Die jüngeren Kinder bearbeiteten am Ende der ersten Klassenstufe den CFT 1 (Cattell, Weiß & Osterland, 1997). Der CFT 1 umfasst insgesamt fünf Subtests, von denen in der Untersuchung nur drei durchgeführt wurden, um den Zeitrahmen von einer Schulstunde einhalten zu können: Klassifikationen (unpassendes Element benennen), Ähnlichkeiten (gleiches Element identifizieren) und Matrizen (unteres rechtes Element ergänzen). Laut Testmanual zielen diese drei Subtests auf „beziehungsstiftendes Denken, Erkennen von Regelhaftigkeiten und Gesetzmäßigkeiten" (Cattell et al., 1997, S. 19) ab und erfassen somit eine eher grundlegende intellektuelle Fähigkeit. Der CFT 1 zeigt laut Manual eine gute Reliabilität in Höhe von $r=.90$ (Testhalbierungsreliabilität). Der Zusammenhang zwischen dem CFT 1 und der Mathematiknote wird mit $r=.44$ angegeben (vgl. Baving & Schmidt, 2000). Aus den Daten der vorliegenden Studie lässt sich eine ausreichende Konsistenz des CFT 1 bestätigen. Der Cronbachs Alpha Wert der Testform A beträgt $\alpha=.78$ (N=50) und für die Testform B beträgt er $\alpha=.75$ (N=52).

Die Aufgaben beider Verfahren (46 Items im CFT 20 und 36 Items im CFT 1) enthalten visuell-figurale Stimuli und sind nach aufsteigender Schwierigkeit geordnet. Die Testdurchführung erfolgte entsprechend der jeweiligen Testinstruktion. Die Aufgabenbearbeitung sollte zwar zügig erfolgen, dennoch ist eine ausreichende Bearbeitungszeit vorgesehen. Tatsächlich bearbeiteten die Drittklässler im CFT 20 durchschnittlich 84% der Aufgaben, während die Kinder im CFT 1 im Mittel ungefähr 95% der Aufgaben bearbeiten konnten. Ausgewertet wurde der Summenwert über alle Subskalen des jeweiligen Verfahrens sowie die IQ-Leistung aus den Klassen-Normwerten laut Testmanual.

Diagnostisches Inventar zu Rechenfertigkeiten im Grundschulalter, Basismodul (DIRG BM)

Das DIRG-BM (Grube, Weberschock, Stuff & Hasselhorn, in Vorb.) ist ein Testverfahren zur Erfassung der Leistung beim Lösen von einfachen Additions- und Subtraktionsaufgaben im Zahlenraum bis 20. Eine Reihe von Studien weisen darauf hin, dass das Beherrschen einfacher Faktenaufgaben von zentraler Relevanz für spätere Rechenleistungen ist (Grube, 2006). Im Verlauf der Grundschulzeit sollten die Kinder zunehmend in der Lage sein, der-

artige Aufgaben durch Wissensabruf zu lösen (T. P. Carpenter & Moser, 1983, 1984; Grube, 2005, 2006). Die Aufgaben in diesem Test haben eine relativ geringe Schwierigkeit und sollten von allen Kindern richtig gelöst werden können. Die Schwierigkeit des Testverfahrens ergibt sich daraus, dass bedingt durch den Speedtest-Charakter des DIRG-BM nur eine sehr begrenzte Zeit zur Aufgabenbearbeitung zur Verfügung steht. Somit können hohe Testwerte nur von Kindern erzielt werden, die mit ausreichender Sicherheit die Aufgabenlösung aus dem Gedächtnis abrufen können. Werden andere Lösungsstrategien eingesetzt, wird auch mehr Zeit zur Itembeantwortung notwendig. Der Ansatz des DIRG-BM wird durch die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen gestützt, die verdeutlichen, dass rechenschwache Kinder erhebliche Probleme haben, derartige Aufgaben unter Zeitdruck zu lösen (z.B. Jordan & Montani, 1997).

Das DIRG-BM umfasst insgesamt vier Subskalen (Addition mit und ohne Zehnerübergang sowie Subtraktion mit und ohne Zehnerübergang), ist durch eine zusätzliche Motivationsaufgabe kindgerecht gestaltet und lässt sich im Rahmen einer halben Schulstunde im Klassenverband durchführen (vgl. zur Instruktion Anhang A.1). Der Gesamtumfang des DIRG-BM beträgt 275 Aufgaben, wodurch eine hohe Reliabilität des Verfahrens gesichert scheint. Für die vorliegende Untersuchung wurden zwei pseudoparallele Testformen des DIRG-BM eingesetzt, wobei das Verfahren bei den Drittklässler eine Konsistenz (mittlere Interkorrelation der Subskalen mit Testlängenkorrektur) in Höhe von $r = .91$ (N = 178) und für die Zweitklässler in Höhe von $r = .87$ (N = 100) aufweist. Beim DIRG-BM handelt es sich um einen reinen Speed-Test, um aber über die Leistungen in dieser Skala unterschiedliche Rechnergruppen in verschiedenen Klassenstufen definieren zu können, wurden abweichend zu den Vorgaben im Manual die Testzeiten für die Drittklässler leicht erhöht. Somit ist eine direkte Vergleichbarkeit der Leistungen der jüngeren Kindern mit denen der Drittklässler auf Rohwertebene gewährleistet, und es werden Bodeneffekte bei den Zweitklässlern vermieden. Basierend auf den Summenwerten (Anzahl korrekt gelöster Aufgaben) über alle vier Subskalen wurden getrennt nach Geschlecht und Klassenzugehörigkeit Standardnormwerte (analog IQ-Werte; $M = 100$, $SD = 15$) auf Grundlage der Leistungsverteilung in der Basisstichprobe berechnet.

Generell kann erwartet werden, dass über das DIRG-BM eine valide interindividuelle Variation des Faktors „Rechnergruppe“ möglich ist. Eine Gruppierung anhand der Leistung in einem curricular-orientierten (arithmetischen) Rechentest erscheint aufgrund der

komplexen und wenig transparenten Konfundierung mit Arbeitsgedächtnisleistungen ungünstig, nicht zuletzt auch im Hinblick auf die hier zu prüfenden Arbeitsgedächtnis- und Aufmerksamkeitshypothesen. Generell muss aber auch für die Bearbeitung von Faktenaufgaben davon ausgegangen werden, dass zentralexekutive Prozesse involviert sind (vgl. zusammengefasst bei DeStefano & LeFevre, 2004, S. 363-367). Möglicherweise wird hierbei aber nur eine sehr spezifische Funktion angesprochen, nämlich der mehr oder minder gut ausgeprägte Abruf des Faktenwissens aus dem Langzeitgedächtnis.

Würzburger Leise-Lese-Probe (WLLP)

Die Würzburger Leise-Lese-Probe (Küspert & Schneider, 1998) erfasst die Leseleistung in Form des „leisen Lesens" über die Vorgabe eines Wortes, welchem unter vier Auswahlbildern das entsprechende Bild zuzuordnen ist (vgl. Abbildung 5). Erfasst wird über dieses Verfahren also das Lesetempo bzw. die Dekodiergeschwindigkeit, nicht jedoch die Lesegenauigkeit. Die Testautoren betonen die Bedeutung der Lesegeschwindigkeit, „weil in hinsichtlich des Lesens regulären Orthographien wie dem Deutschen normale Leser den schwachen Lesern vor allem in Hinblick auf das Lesetempo, nicht aber hinsichtlich der Lesegenauigkeit überlegen sind" (Küspert & Schneider, 1998, S. 8). Die WLLP lässt sich als echter Speed-Test sehr ökonomisch im Klassenverband durchführen und benötigt inklusive Instruktion etwa 15 Minuten Durchführungszeit, wobei für die Bearbeitung der 140 Items den Kindern exakt 5 Minuten zur Verfügung stehen.

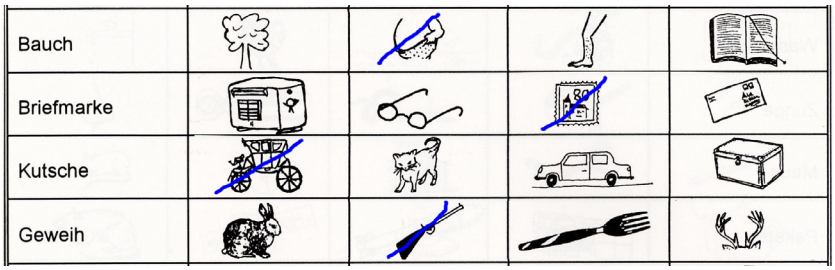


Abbildung 5: Items der Würzburger Leise-Lese-Probe

Die WLLP wurde als ökonomisches Verfahren zur Kontrolle der Leseleistung der Kinder ausgewählt und in der vorliegenden Studie in zwei (Pseudo-)Parallelformen eingesetzt. Zudem bietet die WLLP den Vorteil, dass sie im gesamten Altersbereich der Primarstufe eingesetzt werden kann. Die Reliabilität des Verfahrens kann als hoch eingestuft werden. Im Manual werden Retestreliabilitäten zwischen $r = .75$ und $r = .88$ berichtet, außerdem korreliert die WLLP hoch mit verschiedenen Testverfahren zur Erfassung der Leseleistung (Brünken, 2002). Ausgewertet wurden die Rohwerte (bearbeitete Aufgaben abzüglich Feh-

ler und Auslassungen) sowie die im Manual nach Geschlecht und Klassenstufe getrennten Normwerte, auf deren Basis eine normbezogene Leistung (analog IQ-Werte; $M=100$, $SD=15$) zum Untersuchungszeitpunkt interpoliert wurde.

Deutscher Mathematiktest für dritte Klassen (DEMAT 3+)

Der Deutsche Mathematiktest für dritte Klassen (DEMAT 3+, Roick et al., 2004) ist Teil einer Reihe von Mathematiktests, deren Aufgabenkonstruktion sich an den Mathematiklehrplänen aller deutschen Bundesländer orientiert. Im DEMAT 3+ werden die curricular relevanten Themenbereiche Arithmetik und Zahlverständnis, Sachrechnen und Größen sowie Geometrie anhand von neun verschiedenen Aufgabentypen mit insgesamt 31 Einzelaufgaben erfasst. Das Testverfahren misst somit die lehrplanbezogene Mathematikleistung zum Schuljahresende der dritten Klasse auf der Ebene der drei curricularen Inhaltsbereiche (Subtest Arithmetik, Subtest Sachrechnen und Subtest Geometrie) sowie auf der Gesamttestebenes. Das Verfahren beansprucht eine Gesamttestzeit inklusive Instruktion von ca. 45 Minuten und lässt sich dementsprechend im Rahmen einer regulären Schulstunde durchführen.

Der DEMAT 3+ weist ausreichend hohe Reliabilitäten und sehr gute Validitäten auf (vgl. Gölitz et al., 2005). So findet sich für den Gesamttestwert laut Manual ein Cronbach Alpha Wert von $\alpha=.83$ (N=4209). In der vorliegenden Untersuchung wurde das Verfahren in den dritten Klassen zum Schuljahresende mit zwei Parallelformen erhoben. Auf Basis dieser Daten konnte eine hinreichend gute Reliabilität bestätigt werden (Cronbachs Alpha Wert für Testgesamtwert: für Testform A $\alpha=.83$, für Testform B $\alpha=.82$). Der DEMAT 3+ bietet eine zusätzliche Möglichkeit zur Validierung der identifizierten Rechnergruppen sowie die Möglichkeit zur Abschätzung der prognostischen Relevanz der kognitiven Maße für die spätere curriculare Rechenleistung. Ausgewertet wurden der Rohwert für den Gesamttest sowie die entsprechenden Normwerte (T-Werte; $M=50$, $SD=10$) laut Manual.

Kettenrechner für dritte und vierte Klassen (Kettenrechner 3-4)

Der Kettenrechner 3-4 (Roick, Gölitz & Hasselhorn, in Vorb.) erfasst die Leistung beim Lösen komplexer arithmetischer Faktenaufgaben zur Addition, Subtraktion und Multiplikation im Zahlenraum bis 20. Wie für das DIRG-BM wird beim Kettenrechner davon ausgegangen, dass die Kinder im Verlauf der Grundschule zunehmend in der Lage sein sollten, diese Art der arithmetischen Faktenaufgaben durch Wissensabruf zu lösen. Abweichend

zum DIRG-BM sind die Faktenaufgaben im Kettenrechner zu kurzen Rechenketten angeordnet (vgl. zur Instruktion Anhang A.3). Der Kettenrechner 3-4 besteht aus vier einzelnen Skalen mit je 40 Items und beansprucht in der dritten Klasse eine Durchführungszeit inklusive Instruktion von ca. 25 Minuten (je Skala 4 Minuten). Das Verfahren ist ein reines Speed-Verfahren und zeichnet sich durch eine sehr hohe Reliabilität (Konsistenzschätzung durch Skaleninterkorrelation und Längenkorrektur von r=.96, N=367), durch ausreichende Validitäten und durch eine gute Sensitivität im Rahmen der Identifikation rechenschwacher Kinder aus (Roick & Hasselhorn, 2005). In der vorliegenden Untersuchung wurde der Kettenrechner 3-4 zum Schuljahresende der dritten Klasse erhoben. Auf Basis dieser Daten konnte die gute Reliabilität des Tests bestätigt werden (r=.96, N=168). Das Verfahren bietet ebenfalls eine zusätzliche Möglichkeit zur Validierung der interindividuellen Rechnergruppen-Variation. Ausgewertet wurde der Rohwert (bearbeitete Items abzüglich Fehler und Auslassungen) über alle vier Einzelskalen des Kettenrechners 3-4. In der vorliegenden Untersuchung wurden zur Gegenüberstellung einfacher und komplexer Faktenaufgaben zwei zusätzliche Skalen mit einfachen Faktenaufgaben erhoben (vgl. Anhang A.3).

6.2.2 Variablen des Arbeitsgedächtnisparadigmas

Einfache Wortspanne vorwärts

Zur Erfassung der funktionalen Kapazität der Phonologischen Schleife wurde die einfache Wortspanne vorwärts durchgeführt. Bei dieser Aufgabe werden den Kindern über einen Kopfhörer im Sekundentakt eine Reihe von zwei bis sechs einsilbigen Wörtern akustisch präsentiert. Aufgabe des Kindes ist, nach einem Signalton die Wörter in der richtigen Reihenfolge zu reproduzieren. Für jede Serienlänge standen zwei Trials zur Verfügung (vgl. Anhang B.6), so dass die Kinder insgesamt 10 Trials bearbeiten mussten, die ihnen vollständig und in randomisierter Reihenfolge dargeboten wurden. Die Randomisierung wurde zur Sicherung der Ceteris-paribus-Bedingung sowie zur Kontrolle etwaiger Sequenzeffekte im Sinne der Kontrolle von Interferenzeffekten vorgenommen. So wird z.B. in der Psychogerontologie diskutiert, ob die schlechteren Gedächtnisspannenleistungen älterer Probanden durch an aufsteigende Itemdarbietung gekoppelte proaktive Interferenzen zustande kommen (Lustig, May & Hasher, 2001; May, Hasher & Kane, 1999). Eine systematische Variation proaktiver Interferenzen ließe sich dementsprechend durch Änderung der Itemdarbietung (auf- vs. absteigend) realisieren. In der vorliegenden Untersuchung wurde der Versuch unternommen, über eine Variation des Target-Pools experimentell Einfluss auf das

Ausmaß proaktiver Interferenzen zu nehmen. Während der *Target-Pool U* (unabhängiger Target-Pool) aus nur einmal verwendeten Targets (40 einsilbige Wörter) bestand und somit in jedem Trial neue Targets Verwendung fanden, wurde der *Target-Pool A* (abhängiger Target-Pool) aus nur wenigen (6 einsilbige Wörter), sich zwischen den Trials wiederholenden Targets zusammengestellt. Zur Untersuchung von Interferenzen kann zusätzlich auf die Analyse von Intrusionsfehlern zurückgegriffen werden (Chiappe et al., 2000; De Beni & Palladino, 2000; Passolunghi & Siegel, 2004; vgl. aber Censabella & Noël, 2005).

Somit bearbeiteten die Kinder die einfache Wortspanne vorwärts insgesamt zweimal auf Basis unterschiedlicher Target-Pools. Ausgewertet wurde die relativierte Spannensumme richtig reproduzierter Trials (relativiert an der Target-Anzahl) sowie die Gesamtanzahl und die relative Anzahl an Intrusionen (relativiert am Ausmaß der Falschlösungen). Bezogen auf die Lösung der insgesamt 40 Targets findet sich für die einfache Wortspannen-Aufgabe mit abhängigem Target-Pool ein Cronbachs Alpha Wert von $\alpha = .80$ (N=65). Für die einfache Wortspannen-Aufgabe mit unabhängigem Target-Pool resultiert ein Cronbachs Alpha Wert in Höhe von $\alpha = .83$ (N=65). Werden hingegen nur die Lösungen der jeweils 12 Trials berücksichtigt, fallen die Reliabilitätsschätzungen deutlich geringer aus (abhängiger Pool: $\alpha = .51$; unabhängiger Pool: $\alpha = .39$). Vor Beginn der einfachen Wortspannenaufgabe wurde ein Übungsdurchgang mit zwei Zweiersequenzen durchgeführt.

Komplexe Wortspanne vorwärts

Zur Einschätzung der Funktion der Zentralen Exekutive wird auf eine komplexe Spannenaufgabe vorwärts zurückgegriffen (Whitney, Arnett, Driver & Budd, 2001). Komplexe Spannenaufgaben werden in vielfältiger Form eingesetzt, z.B. als „Counting Span“ (Case et al., 1982), „Operation Span“ (Turner & Engle, 1989), „Sentence Span“ (Siegel & Ryan, 1989), „Reading Span“ (Daneman & Carpenter, 1980), „Listening Span“ (Daneman & Blennerhassett, 1984) oder „Spatial Span“ (Shah & Miyake, 1996). Für alle Formen gilt, dass sie aus einer Bearbeitungsaufgabe und einer Gedächtnisaufgabe bestehen. Bei der Gedächtnisaufgabe handelt es sich in der Regel um eine Wort- oder Ziffernspanne (Target-Reiz), deren Aufrechterhaltung im phonetischen Speicher der Phonologischen Schleife aber nur bedingt bzw. gar nicht durch Rehearsal-Prozesse unterstützt werden kann, da die Bearbeitungsaufgabe weitgehend alle freien Arbeitsgedächtnisressourcen belegt bzw. belegen soll. Entsprechend der von Baddeley (1996a) vorgeschlagenen Fraktionierung der Zentralen Exekutive beansprucht eine derartige Aufgabe die Kapazität zum Abruf von Informationen aus dem

Wissensspeicher sowie die Koordinationskapazität, denn für die Ausführung der Aufgabe sind Prozesse der syntaktischen und semantischen Verarbeitung bei gleichzeitiger Einspeicherung der Target-Reize erforderlich. Sowohl für Studierende als auch für Kinder finden sich Hinweise, dass komplexe Spannenaufgaben verbaler Art gute Zusammenhänge zur Mathematik und anderen schulischen Leistungen zeigen (Holmes & Adams, 2006; Jarvis & Gathercole, 2003; Jurden, 1995).

In der vorliegenden Untersuchung wurde die komplexe Spannenaufgabe als Wortspannen-Aufgabe umgesetzt, bei der ein vorgegebener Satz zu verifizieren und ein anschließend präsentiertes Target-Wort zu behalten ist (analog einer Listening Span Aufgabe, vgl. Daneman & Blennerhassett, 1984). Nach einem Signalton sind die Target-Wörter eines Trials in der richtigen Reihenfolge zu reproduzieren. Das Aufgabenmaterial (vgl. Anhang B.5) wurde so gestaltet, dass die Bearbeitungs- bzw. Verifikationsaufgabe und die Behaltensaufgabe entflechtet wurden (vgl. zu diesem Vorgehen La Pointe & Engle, 1990). Analog zur einfachen Wortspanne vorwärts (s.o.) wurden die Trials vollständig und in randomisierter Abfolge dargeboten. Ebenfalls wurde für die komplexe Wortspanne vorwärts eine Variation des Target-Pools (unabhängiger *Target-Pool U* mit 28 Targets und abhängiger *Target-Pool A* mit 5 Targets) zur Untersuchung proaktiver Interferenzeffekte realisiert.

Die komplexe Wortspannen-Aufgabe vorwärts wurde somit von den Kindern zweimal mit unterschiedlichen Target-Wörtern bearbeitet. Analog zur einfachen Wortspanne vorwärts wurde die relative Spannensumme richtig reproduzierter Trials (relativiert an der Target-Anzahl) sowie die Gesamtanzahl und die relative Anzahl an Intrusionen (relativiert am Ausmaß der Falschlösungen) ausgewertet. Bezogen auf die Lösung der insgesamt 28 Targets findet sich für die komplexe Wortspannen-Aufgabe mit abhängigem Target-Pool ein Cronbachs Alpha Wert von $\alpha = .89$ (N = 65), während für die komplexe Wortspannen-Aufgabe mit unabhängigem Target-Pool ein Cronbachs Alpha Wert in Höhe von $\alpha = .86$ (N = 65) resultiert. Werden hingegen nur die Lösungen der jeweils 10 Trials berücksichtigt, fallen die Reliabilitätsschätzungen deutlich geringer aus (abhängiger Pool: $\alpha = .64$; unabhängiger Pool: $\alpha = .62$). Vor Beginn der komplexen Wortspannenaufgabe wurde ein Übungsdurchgang mit zwei Zweiersequenzen durchgeführt.

Corsi-Block-Spanne

Die Corsi-Block-Spannen-Aufgabe wurde in einer gemeinsamen Arbeit von Philip Corsi und Brenda Milner entwickelt (Milner, 1971). Aufgabe der Kinder ist es, auf einem Brett mit neun fest montierten gleichartigen Klötzchen (Corsi-Brett; vgl. Abbildung 6) einen vorgegebenen Weg in der richtigen Reihenfolge zu reproduzieren. Die Anzahl richtig reproduzierter Klötzchenstationen bildet die Corsi-Spanne (auch Block-Spanne oder visuell-räumliche Spanne genannt). Über die Corsi-Block-Aufgabe kann der dynamische räumliche Aspekt des Visuell-räumlichen Skizzenblocks im Mehrkomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses erfasst werden (Bruyer & Scailquin, 1998; Logie & Pearson, 1997).

In der vorliegenden Untersuchung fungierte die Corsi-Block-Spannen-Aufgabe als Operationalisierung für die Leistungsfähigkeit des Visuell-räumlichen Skizzenblocks im Sinne des Mehrkomponentenmodells des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley (1986). Den Kin-

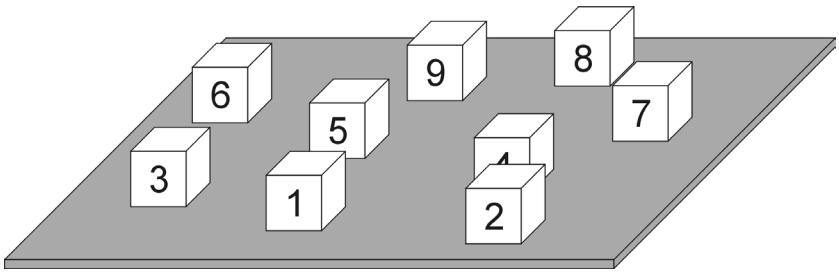


Abbildung 6: Corsi-Brett, bestehend aus einem Brett mit neun fest montierten gleichartigen Klötzen. Aufgabe ist es, vorgegebene Wege über die Klötze in der richtigen Reihenfolge nachzuzeigen. Die Zahlen sind für den/die Proband/in nicht sichtbar.

dern wurden jeweils zwei Trials einer Spanne von 2 bis 8 Targets bzw. Blöcken (insgesamt also 14 Trials) in randomisierter Reihenfolge dargeboten (vgl. Anhang B.2). Bei der Zusammenstellung der Trials wurde darauf geachtet, dass die einzelnen Blöcke insgesamt innerhalb der 14 Sequenzen möglichst gleich häufig genutzt wurden. Ausgewertet wurde die relativierte Spannensumme richtig reproduzierter Trials (relativiert an der Gesamtanzahl der 70 dargebotenen Targets). Vor Beginn der Corsi-Block-Spannen-Aufgabe wurde ein Übungsdurchgang mit einer Dreiersequenz durchgeführt.

6.2.3 Variablen des Mengenerfassungsparadigmas

Mengenerfassung ohne Distraktoren

Den Kindern wurde über die Präsentationssoftware *Superlab Pro* (Abboud & Sugar, 1999) auf einem Laptop-Monitor Trials zur Mengenerfassung präsentiert. Diese Trials bestanden aus

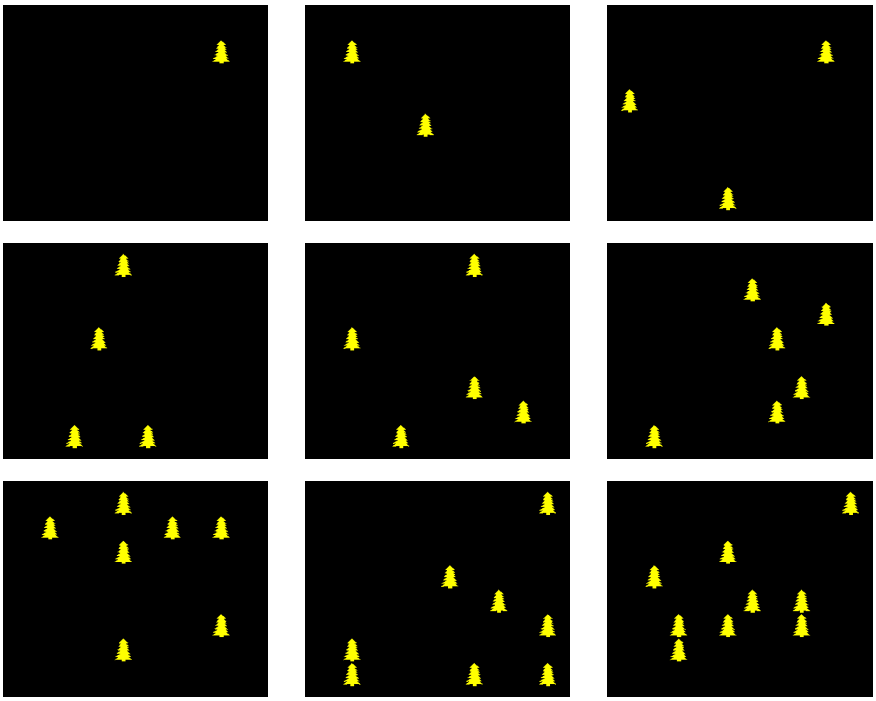


Abbildung 7: Beispiele für Mengenerfassungs-Displays ohne Distraktoren, dargestellt werden Mengen von 1 Element bis 9 Elementen.

einem mittig präsentierten Fixationskreuz (Schriftart: Arial; Schriftgrad: 60; Schriftfarbe: weiß; Zeitdauer: 1000 ms) und anschließendem Grafikdisplay (Displaygröße 130 x 106 mm; schwarzer Hintergrund) mit Anordnungen von einem bis zu neun Tannenbäumen (Größe: 12 x 12 mm; Farbe: gelb; vgl. Abbildung 7). Die Tannenbaumkonstellationen befanden sich auf einem (für die Kinder nicht ersichtlichem) Feld mit 10 x 8 möglichen Positionen. Für jede Menge im Umfang von einem Element bis hin zu neun Elementen wurden in Vorversuchen aus 10 Displayentwürfen diejenigen vier Displays mit den geringsten Absolutabweichungen vom Mittelwert der Voruntersuchung ausgewählt. Von diesen 36 Displays wurden je neun per Zufall auf vier Blöcke mit Mengenerfassungsaufgaben verteilt (Block I, II, III, IV; vgl. Anhang B.1).

Die Displays wurden in randomisierter Reihenfolge präsentiert, wobei die Kinder instruiert wurden, so genau und schnell wie möglich die gezeigte Menge an Tannenbäumen (Targets) zu nennen. Zur Reaktionserfassung wurden die Kinder mit einem Standardheadset (Hersteller MS-Tech) ausgerüstet, die Reaktionszeit (erfasst in ms) entspricht dem Zeitverlauf zwischen Präsentation des Mengendisplays und Abgabe einer Antwort in das Mikrofon des Headsets. Direkt im Anschluss an eine Antwort folgte unmittelbar der nächste

Trial. Die Gesamtkonsistenz für die 36 Displays beträgt r=.82 (geschätzt mittels Testhalbierungsreliabilität).

Mengenerfassung mit Distraktoren

Ergänzend zu den Displays ohne Distraktoren wurden zusätzlich die Reaktionszeiten bei der Erfassung von Mengendisplays mit Distraktoren erfasst. Die Distraktoren wurden sowohl in der Anzahl (vier vs. acht Distraktoren) als auch hinsichtlich ihres Störpotenzials (leicht vs. schwer von den Target-Tannenbäumen unterscheidbar) variiert. Stark störende Distraktoren unterschieden sich in nur einem Attribut (Farbe und/oder Form) von den Targets. Wenig störende Distraktoren unterschieden sich hingegen in drei Attributen

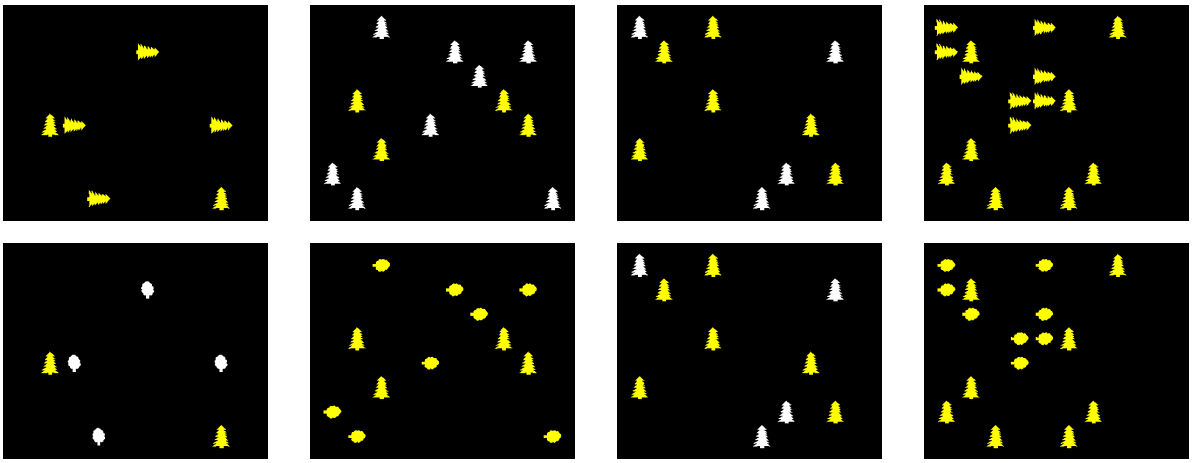


Abbildung 8: Beispiele für Mengenerfassungs-Displays mit Distraktoren. In der oberen Reihe werden Displays mit stärker störenden Distraktoren gezeigt, in der unteren Reihe finden sich Displays mit weniger stark störenden Distraktoren.

(Größe, Form, Farbe und/oder Größe, Form, Lage) von den Targets (vgl. Abbildung 8). Aus einer Anzahl von acht Displayentwürfen wurden für die Präsentationsgruppe jeweils die beiden Display ausgewählt, die im Rahmen einer Voruntersuchung über alle Bedingungen hin getrennt die geringsten Absolutabweichungen vom Mittelwert zeigten. Die Kinder mussten für jede Menge von eins bis neun 24 Displays bearbeiten, welche per Zufall auf vier Blöcke von Mengenerfassungsaufgaben verteilt und in randomisierter Abfolge präsentiert wurden.

Die Darbietung der Mengen-Displays und Erfassung der Reaktionszeiten (in ms) erfolgte analog zur Mengenerfassung ohne Distraktoren. Für die Displays finden sich sehr hohe Konsistenzen in Höhe von r=.95 im Falle stark störender Distraktoren resp. r=.97 für

Displays mit wenig störenden Distraktoren (je 108 Displays, geschätzt mittels Testhalbierungsreliabilität). Vor Beginn der Mengenerfassungsaufgabe wurde ein Übungsdurchgang mit sechs Trials (mit und ohne Distraktoren) durchgeführt.

6.2.4 Weitere Individualmaße

Geschwindigkeit des Ziffernlesens (Ziffern-Speed)

Mittels dieser Aufgabe wurde eine Grundrate für die individuelle Reaktionszeit im computerisierten Untersuchungssetting als spezifisches Maß der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit erfasst. Den Kindern wurden über die Präsentationssoftware *Superlab Pro* (Abboud & Sugar, 1999) auf einem Laptop-Monitor Trials zur Ziffernbenennung gezeigt. Diese Trials bestanden aus einem mittig präsentierten Fixationskreuz (Schriftart: Arial; Schriftgrad: 60; Schriftfarbe: weiß; Zeitdauer: 1000 ms) und einer anschließend gezeigten Ziffer von Null bis Neun (Schriftart: Arial; Schriftgrad: 100; Schriftfarbe: gelb). Jede der Ziffern wurde zweimal in vollständig randomisierter Abfolge präsentiert, somit umfasste die Aufgabe insgesamt 20 Trials. Die Kinder wurden instruiert, die gezeigte Ziffer möglichst schnell zu benennen. Die Reaktionszeit (in ms) für die Ziffernbenennung entspricht dem Zeitverlauf von der Ziffernpräsentation bis hin zur Abgabe der jeweiligen Antwort in das Mikrofon eines Standardheadsets (Hersteller MS-Tech). Direkt nach einer Antwort folgte unmittelbar der nächste Trial. Für die weitere Auswertung wurden die Trials der Ziffer Sieben ausgeschlossen, da eine zuverlässige Erfassung der Reaktionszeit nicht möglich war. Die verbleibenden 18 Items der Aufgabe zeigen eine Konsistenz von α=.89. Vor Beginn der Aufgabe wurde ein Übungsdurchgang mit drei Trials durchgeführt.

Trail-Making-Aufgabe (Reihenverbindungstest, RVT)

Zur Gewinnung eines weiteren, vom computerisierten Setting unabhängigen Maßes für die kognitive Geschwindigkeit absolvierten die Experimentalkinder insgesamt sechs Skalen des Reihenverbindungstests (RVT, Roick & Hasselhorn, 2003). Hierbei handelt es sich um eine überarbeitete und kindgerechte Variante der Trail-Making-Tests A (einfache Trails) und B (komplexe Trails) von Reitan (1956). Der wesentliche Unterschied zur Originalversion des Trail-Making-Test besteht in der Anordnung der Items, die sich am Vorgehen von Oswald und Roth (1987) für den *Zahlen-Verbindungs-Test* orientiert. Dies bedeutet, dass sich das nächste anzusteuernde Item immer im unmittelbaren Umfeld des vorherigen Items befindet (vgl. Anhänge B.3 und B.4).

Auf vier Bögen mit einfachen Trails (zwei Skalen mit Zahlen von 1 bis 32 und zwei Skalen mit Buchstaben von A bis Z in Anlehnung an den Trail-Making-Test A) war es Aufgabe der Kinder, die gezeigten Felder (entweder Zahlen oder Buchstaben) möglichst schnell in der richtigen Reihenfolge zu verbinden. Auf zwei weiteren Bögen mit komplexen Trails (in Anlehnung an den Trail-Making-Test B) hatten die Kinder die Aufgabe, Zahlen und Buchstaben alternierend miteinander zu verbinden. Die sechs Bögen des Reihenverbindungstests waren Teil der Individualtestung und wurden nur von Kindern der Experimentalstichprobe absolviert.

Die für die Bearbeitung der Bögen benötigte Zeit wurde mittels Stoppuhr erfasst (mit einer Genauigkeit auf 1/10 Sekunde), ebenso wurden Fehler und Auslassungen ausgezählt. Zur Kontrolle von Sequenzeffekten wurden durch Skalenrotation sechs unterschiedliche Testformen erstellt und per Zufall den Kindern zugewiesen. Die vier Skalen des RVT mit einfachen Trails zeigen eine mittlere Interkorrelation von $r=.74$ sowie eine Reliabilität von $r=.92$ (N=65, alle Rechnergruppen der Experimentalstichprobe). Die beiden komplexen Trail-Making-Skalen des RVT korrelieren miteinander zu $r=.73$, was einer Reliabilität (nach Korrektur der Skalenlänge) von $r=.84$ entspricht. Zu Beginn der Testung absolvierten die Kinder drei Übungsdurchgänge mit den Zahlen von 1 bis 9 und den Buchstaben von A bis I.

6.3 Überlegungen zur Testplanung

Aus den im Abschnitt 5 aufgestellten psychologischen Hypothesen lassen sich psychologische Vorhersagen (PV) ableiten und in testbare statistische Hypothese (SH) umsetzen (Hager, 1992, 2004). Aufgrund der Vielzahl zu prüfender PVn erfolgt dieser Ableitungsprozess dezentral im jeweiligen Ergebnisteil. Generell wird bei geplanten Prüfung statistischer Hypothesen der konkrete Ausgang von den sogenannten Determinanten des Signifikanztests bestimmt, nämlich den Fehlern 1. und 2. Art, der Effektgröße und der Stichprobengröße (Hager, 1987, S. 185; 2004). Da diese Determinanten nicht unabhängig voneinander sind, kann mittels *Testplanung* Kontrolle über die Determinanten ausgeübt werden, wobei verschiedene Zielvorgaben denkbar sind (siehe Hager, 1987, S. 213). Für die Einflussnahme auf das Gefüge der Determinanten stellt Hager (1987, S. 217ff; 1995, S. 189f; 2004, S. 111-140) drei verschiedene Testplanungsstrategien (TPS) vor, wobei jeweils alle bis auf eine Determinante festzulegen sind und die fehlende rechnerisch ermittelt werden kann. Ziel einer

Testplanung ist es, „einen relativ zum Forschungsgebiet und zu den eigenen Ressourcen 'vernünftig erscheinenden (oder begründbaren)' Kompromiß zwischen den Determinanten ... zu erreichen“ (Hager, 1995, S. 188).

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Ressource Stichprobengröße N aufgrund kapazitiver Bedingungen (seitens der Versuchsleiter sowie auch seitens der teilnehmenden Schulen) bei der Durchführung der Einzeluntersuchungen festgelegt. Für die Testplanung sind also noch weitere Determinanten zu bestimmen, die entsprechend die Validität der Untersuchung beeinflussen können. Legt man die Paarung der Fehlerwahrscheinlichkeiten a und β mit geringen Werten fest, wird die ermittelbare kritische Effektgröße δ_{krit} relativ groß ausfallen (vgl. Hager, 2004, S. 111). Für eine vorhersagekonforme Alternativhypothese (H_1) führt dies zu einer höheren Strenge der Prüfung, da dieser Effekt minimal zu erreichen ist. Andersherum führt dieses Szenario für eine vorhersagekonforme Nullhypothese (H_0) zu höherer Fairness, weil ein entsprechender Effekt noch mit der Beibehaltung der H_0 vereinbar ist. Ähnlich verhält es sich, wenn die Effektgröße δ_{krit} festgelegt wird und die Fehlerwahrscheinlichkeiten a und β zu bestimmen sind. Unter einer vorhersagekonformen H_1 führt eine Erhöhung von a zu einer verminderten Strenge, während eine Erhöhung von β die Teststärke und die Fairness der Prüfung verringert. Für eine vorhersagekonforme H_0 verhält es sich vice versa: hier führt eine Erhöhung von a zu einer verminderten Fairness und die Erhöhung von β zu einer verringerten Strenge der Prüfung.

Für die Testplanung dieser Untersuchung wird zu vorliegendem fixem N eine passende Paarung von a und β bestimmt und die kritische Effektgröße δ_{krit} berechnet (entspricht der TPS 3, Hager, 1987, S. 219; Hager, 2004, S 115-117). Für die Prüfung der SVn wird der Wert für a grundsätzlich auf 10% und das Kriterium für β auf 20% festgelegt. Somit bleibt die als notwendig erachtete „Mindest-Teststärke“ von $1 - \beta = .80$ (Hager, 1987, S. 223) erhalten. Die Festlegung von a auf einen Wert oberhalb der üblichen Konvention von 5% scheint angemessen, um δ_{krit} in einem noch vertretbaren und sinnvollen Größerahmen zu halten. Für die zu der Analyse der Arbeitsgedächtnismerkmale dazugehörigen statistischen Hypothesen schwanken die δ_{krit}-Werte zwischen 0.75 und 0.88 mit einem Median von 0.87, also in einem Bereich großer Effekte entsprechend der Konvention von J. Cohen (1988). Ähnlich bewegen sich für die statistischen Hypothesen über selektive Aufmerksamkeitsleistungen die δ_{krit}-Werte im Bereich von 0.55 bis 0.92 mit einem Median von 0.76, somit werden auch hier grundsätzlich eher große Effekte zugrunde gelegt.

Für die Entscheidungen über die vorgeordneten SVn ergeben sich Gesamtirrtumswahrscheinlichkeiten über Vorhersagen der *Psychologischen Hypothese I* zu Arbeitsgedächtnisleistungen von $\varepsilon_{krit} = .20$ sowie φ_{krit}-Werte im Bereich von .20 bis .50, während den Entscheidungen über Vorhersagen der *Psychologischen Hypothese II* zur selektiven Aufmerksamkeit Werte für ε_{krit} im Bereich .10 bis .30 und φ_{krit} mit einer Spanne von .20 bis .40 zugrunde liegen.

6.4 Beschreibung der Stichprobe

6.4.1 Basisstichprobe

Für die Aushebung der Basisstichprobe konnten fünf Göttinger Grundschulen für eine Zusammenarbeit gewonnen werden. Insgesamt umfasste die Basisstichprobe zwölf 3. Klassen sowie sechs 2. Klassen. Während die Gruppenuntersuchungen der Drittklässler kurz vor Ende des ersten Schulhalbjahres durchgeführt wurden, erfolgten die Gruppenuntersuchungen der Zweitklässler bereits zum Ende der 1. Klassenstufe. Tabelle 4 fasst die Ergebnisse der Gruppentestungen für die beiden Klassenstufen (Zweit- und Drittklässler) zusammen. Während sich für die meisten Variablen keine Unterschiede zwischen den Klassen zeigen, trifft dies für die Rechentests in beiden Klassenstufen sowie für die WLLP bei den Zweitklässlern nicht zu. Es ist also anzunehmen, dass durch die hierarchische Struktur der

Tabelle 4: Demografische Variablen und Gruppentestverfahren der Basisstichprobe, differenziert nach Klassenstufen

	Drittklässler 12 Schulklassen				Zweitklässler 6 Schulklassen			
	N	*M* (*SD*)	F^a	η^2	N	*M* (*SD*)	F^a	η^2
Geschlecht	186	0.53 (0.50)	0.41	0.03	106	0.42 (0.50)	0.80	0.04
Alter (in Mon.)	186	106.97 (5.85)	1.83	0.13	106	87.64 (5.56)	0.81	0.04
CFT	186	24.71 (6.34)	1.25	0.09	106	26.27 (5.21)	2.71	0.12
WLLP	184	86.01 (21.94)	1.30	0.10	105	43.05 (18.84)	4.63*	0.19
DIRG-BM	184	167.64 (53.20)	3.21*	0.21	105	78.07 (34.06)	3.41*	0.15
DEMAT 3+[b]	154	19.77 (5.45)	2.66*	0.18	--	--	--	--
Kettenrechner 3-4[b]	153	20.90 (9.96)	1.59	0.11	--	--	--	--

Anmerkungen. * $p < .01$; a) *F*-Statistik über die unabhängige Variable „Schulklasse"; b) zum Schuljahresende nach Abschluss der Untersuchung erhoben; CFT: Kurzform der CFT 20 für Drittklässler, CFT 1 SU3 für Zweitklässler; WLLP: Würzburger Leise-Lese-Probe; DIRG-BM: Diagnostisches Inventar zu Rechenfertigkeiten im Grundschulalter, Basismodul; DEMAT 3+: Deutscher Mathematiktest für dritte Klassen.

Daten (Individuen in Schulklassen) Effekte der Klassenzugehörigkeit wirksam werden (vgl. z.B. Ditton, 1998; Schneider & Helmke, 1986), was wiederum bei der Auswahl der Kinder für die Experimentalstichprobe zu berücksichtigen wäre.

6.4.2 Experimentalstichprobe

Die Leistungen im Grundintelligenztest CFT (CFT 1 für Zweitklässler, Cattell et al., 1997; CFT 20 für Drittklässler, Weiß, 1998), der Würzburger Leise-Lese-Probe (WLLP, Küspert & Schneider, 1998) sowie im Basismodul des Diagnostischen Inventars zu Rechenleistungen in der Grundschule (DIRG-BM, Grube et al., in Vorb.) wurden klassenweise in zwei getrennten Schulstunden erhoben. Kinder, die an einem der beiden Untersuchungstermine fehlten oder bei denen die Testdurchführung nicht mit ausreichender Objektivität erfolgte, wurden vorab ausgeschlossen. Auf die verbliebenen Kinder wurde folgender Auswahlprozess appliziert:

- Kinder mit CFT Klassen-IQ-Werten ($M = 100$; $SD = 15$) unter 90 wurden ausgeschlossen.
- Die WLLP-Leistungen wurden getrennt nach Geschlecht in Normwerte (analog zu IQ-Werten; $M = 100$, $SD = 15$) umgerechnet. Kinder mit Werten unter 90 wurden ausgeschlossen.

Tabelle 5: Experimentalstichprobe nach Herkunftsschule

	Drittklässler			**Zweitklässler**	
Klasse	schlecht rechnend	mittelgut rechnend	gut rechnend	Klasse	jüngere Kinder
S1, 3a			1	S1, 2a	2
S1, 3b	2		1	S1, 2c	2
S1, 3c		2	1	S2, 2b	2
S2, 3a	3	2	3	S4, 2a	3
S2, 3b	2	1		S4, 2b	5
S2, 3c	1	1		S5, 2b	3
S3, 3a	4	1	1		
S3, 3b		2	3		
S4, 3a		3	1		
S4, 3b	1	2	2		
S5, 3a	1	1	3		
S5, 3b	2	1			
Summe	16	16	16		17

Anmerkungen. S1 bis S5: an der Untersuchung teilnehmende Schulen.

- Kinder, für die eine Einwilligung der Eltern zur Teilnahme an der Individualuntersuchung nicht vorlag, wurden ausgeschlossen.
- Die Leistungen im DIRG-BM wurden getrennt nach Geschlecht und gruppiert nach Schulklasse in Normwerte (analog zu IQ-Werten; $M = 100$, $SD = 15$) umgerechnet. Eine Gruppierung nach Schulklasse wurde vorgenommen, um dem Effekt der Klassenzugehörigkeit Rechnung zu tragen (vgl. Tabelle 4).

Von den verbliebenen Kinder der dritten Klassen wurden parallelisiert nach Geschlecht, Alter und CFT 20 Klassen-IQ sechzehn Tripel aus schlecht rechnenden (DIRG-BM unter 90), mittelgut rechnenden (DIRG-BM zwischen 90 und 110) und gut rechnenden (DIRG-BM über 110) Kindern ausgewählt. Unter den verbliebenen Zweitklässlern wurden 17 Kinder nach Rohwertleistung im DIRG-BM (Leistung entspricht der, welche die Kinder in der Gruppe der „schlecht rechnenden Kinder" erbringen) und Geschlecht ausgewählt und den Tripeln zugewiesen (plus ein Ersatzkind). Durch dieses Vorgehen konnten aus fast jeder Schulklasse der Drittklässler Kinder für mehr als eine der Rechnergruppen rekrutiert werden (vgl. Tabelle 5). Tabelle 6 fasst die vier Abstufungen der unabhängigen Variable „Rechnergruppe" zusammen.

Tabelle 6: Operationalisierungskriterien für die UV „Rechnergruppe"

Rechnergruppe		Klassenstufe	DIRG-BM[1]	CFT[2]	WLLP[1]
schlecht rechnend	SR	3	$PR < 25$	$PR > 25$	$PR > 25$
mittelgut rechnend	MR	3	$25 \leq PR \leq 75$	$PR > 25$	$PR > 25$
gut rechnend	GR	3	$PR > 75$	$PR > 25$	$PR > 25$
jüngere Kinder	JR	2	$PR > 75$	$PR > 25$	$PR > 25$

Anmerkungen. 1) bezogen auf die jeweilige Basisstichprobe; 2) bezogen auf die Klassennormwerte.

6.5 Durchführung der Untersuchung

Die Erhebungen für die Basisstichprobe erfolgten in den 3. Klassen kurz vor Ende des ersten Schulhalbjahres im Dezember 2003, während die jüngeren Kinder der Basisstichprobe erst im Juni 2004 kurz vor Ende der 1. Klassenstufe untersucht wurden. Die Leistungstests für die Auswahl der Experimentalstichprobe (CFT 1 bzw. CFT 20, WLLP, DIRG-BM) wurden im Klassenverband im Rahmen von zwei getrennten Schulstunden durchgeführt. In der ersten Stunde wurde die Kurzform des CFT 20 (Weiß, 1998) resp. die Subtests 3, 4

und 5 des CFT 1 (Cattell et al., 1997) erhoben, in einer weiteren Schulstunde das DIRG-BM (Grube et al., in Vorb.) und die Würzburger Leise-Lese-Probe (Küspert & Schneider, 1998). Weitere im Klassenverband durchgeführte Leistungstestungen im Umfang von zwei Schulstunden erfolgten in den 3. Klassen am Ende des Schuljahres im Juni 2004. Im Rahmen dieser Testungen wurde in einer Schulstunde der Deutsche Mathematiktest für dritte Klassen (DEMAT 3+, Roick et al., 2004) sowie in einer weiteren Schulstunde der Kettenrechner 3-4 (Roick et al., in Vorb.) erhoben. Die Gruppentestungen erfolgten (soweit vermeidbar) nicht an aufeinanderfolgenden Schulstunden und wurden von insgesamt drei erfahrenen Testleiterinnen und Testleitern betreut.

Die Kinder der Experimentalstichprobe nahmen im Zeitraum von Februar bis März 2004 (Drittklässler) bzw. August bis September 2004 (Zweitklässler) an jeweils zwei Einzeluntersuchungen im Umfang von je 35 bis 40 Minuten teil. An jedem der Untersuchungstermine bearbeiteten die Kinder insgesamt fünf Untersuchungseinheiten, wobei am ersten Tag grundsätzlich als erste Einheit die *Geschwindigkeit beim Ziffernlesen* erhoben wurde. Zur Kontrolle von Störeffekten bzw. insbesondere Sequenzeffekten wurde für die Abfolge der Untersuchungseineinheiten eine Kombination aus fester Reihenfolge der Variablen und systematischer Variation bzw. Ausbalancierung innerhalb der Variablen gewählt (vgl. Tabelle 7). Insgesamt bearbeitete jedes Kind an jedem der beiden Untersuchungstage eine einfache und eine komplexe Variante der Wortspannen-Aufgabe vorwärts (entweder mit einem abhängigen oder mit einem unabhängigem Target-Pool), zwei von vier Blöcken mit Mengenerfassungsaufgaben sowie entweder die Corsi-Block-Spannen-Aufgabe oder aber die sechs Skalen der Trail-Making-Aufgabe (Reihenverbindungstest). Die Einzeluntersuchun-

Tabelle 7: Durchführungsplan für Individualuntersuchungen

	Ziffern-Speed	Wortspanne vorwärts einfach od. komplex x abhängiger od. unabhängiger Target-Pool	Mengen-erfassungs-aufgabe Block I, II, III od. IV	Corsi-Block-Spanne od. Trail-Making-Aufgabe	Mengen-erfassungs-aufgabe Block I, II, III od. IV	Wortspanne vorwärts einfach od. komplex x abhängiger od. unabhängiger Target-Pool
Tag 1	ja	U1	U2	U3	U4	U5
Tag 2		U6	U7	U8	U9	U10

Anmerkungen. U: Untersuchungseinheit.

gen erfolgten in einem separaten, ruhigen Raum der jeweiligen Schule des Kindes und wurden durch eine erfahrene Testleiterin bzw. einen erfahrenen Testleiter betreut.

7. Ergebnisse der Untersuchung

7.1 Deskriptive Analyse

7.1.1 Gruppendifferenzierung und „Manipulation check“

Die Ergebnisse der vier Rechnergruppen (gut, mittelgut und schlecht rechnende Kinder der dritten Klasse sowie eine an die schlecht rechnenden Kinder leistungsangepasste Gruppe jüngerer Kinder) über eine Reihe von Leistungs- und demografischen Variablen fasst Tabelle 8 zusammen. Die Operationalisierung der unabhängigen Variable „Rechnergruppe“ anhand der Leistung im Diagnostischen Inventar zu Rechenfertigkeiten in der Grundschule (DIRG Basismodul, Grube et al., in Vorb.) scheint zumindest insofern gelungen, als dass sich die drei Leistungsgruppen der dritten Klassenstufe (gut, mittelgut und schlecht rechnende Kinder) in ihrer Rechenleistung statistisch bedeutsam unterscheiden. Ebenfalls erweisen sich die Leistungen in der Gruppe jüngerer Kinder als vergleichbar mit denen der schlecht rechnenden Drittklässler. Die beiden letztgenannten Gruppen bewegen sich also trotz des Altersunterschiedes auf einem Leistungsniveau (bzw. einem einheitlichen „Mathematik-Alter“), so dass durch Vergleiche zwischen diesen beiden Gruppen Hypothesen über das Vorliegen einer Strukturdifferenz bzw. einer Entwicklungsverzögerung geprüft werden können.

Vergleicht man die Leistungen im DIRG-BM auf Subtestebene, dann zeigen sich im Vergleich der schlecht rechnenden Kinder mit den mittelgut und gut rechnenden Kindern die größten Effekte in der Subtraktion ohne Zehnerübergang ($d_{MR\ vs.\ SR}=2.64$; $d_{GR\ vs.\ SR}=4.80$). Betrachtet man die sechs Monate später erhobene Leistung im curricular-validen DEMAT 3+ (Roick et al., 2004), bestätigt sich der statistisch bedeutsame Leistungsunterschied zwischen der Gruppe schlecht rechnender Kinder und den beiden anderen Rechnergruppen der dritten Klasse. Die wesentlichen Unterschiede finden sich dabei im Subtest Arithmetik ($F=8.97$, $p<.01$) und im Subtest Sachrechnen ($F=3.60$, $p=.04$), nicht jedoch im Subtest Geometrie ($F=0.34$, $p=.71$). Dieses Leistungsmuster ähnelt einem der in Tabelle 2 (S. 48) dargestellten DEMAT-„Leistungstypen“. Dennoch deuten die DEMAT 3+ Leistungen bereits an, dass die Gruppe der schlecht rechnenden Kinder nicht als Gruppe rechenschwacher Kinder bewertet werden darf, denn keines der Kinder erfüllt zu diesem späteren

Zeitpunkt z.B. eine AB-Diskrepanz von 1 SD. Betrachtet man aber primär die Leistungen in arithmetischen Faktenaufgaben, so bestätigen sich auch noch nach sechs Monaten die Leistungsunterschiede zwischen den drei Drittklässlergruppen, wie auch die Ergebnisse zum Kettenrechner 3-4 (Roick et al., in Vorb.) zeigen.

Zwischen den drei Rechnergruppen der dritten Klasse finden sich keine überzufälligen Unterschiede in den Variablen Geschlecht, Alter, Intelligenz, Geschwindigkeit beim Ziffernlesen oder den Trail-Making-Aufgaben des Reihenverbindungstests (Roick & Hasselhorn, 2003). Allerdings zeigen die schlecht rechnenden Kinder im Vergleich zu den mittelgut und gut rechnenden Kindern eine bedeutsam schlechtere Leistung in der über die WLLP (Küspert & Schneider, 1998) erfassten Leseleistung. Ein möglicher Grund hierfür mag sein, dass die Gruppen nicht nach ihrer Leseleistung parallelisiert wurden, sondern lediglich ein Cut-off-Wert berücksichtigt wurde. Überführt man nämlich die mittlere Leseleistung der schlecht rechnenden Kinder in eine Normwertleistung, so resultiert ein im oberen Durchschnittsbereich liegender Prozentrang von PR = 63. Der Befund ist insofern auch nicht überraschend, da die Kovariation von Schulleistungen unterschiedlicher Fächer durchaus bekannt ist (z.B. Gathercole, Pickering, Knight et al., 2004; vgl. auch Jarvis & Gathercole, 2003, S. 129; Lerkkanen et al., 2005). Nicht zuletzt dürfte ein Teil dieser Gruppenunterschiede auch zu Lasten einer verfahrensbedingten gemeinsamen Varianz zwischen der WLLP und dem DIRG-BM gehen, schließlich handelt es sich bei beiden Verfahren um Speed-Tests (beide Tests korrelieren in der Basisstichprobe mit $r = .51$, $p < .01$).

Weitere Gruppenunterschiede finden sich im Vergleich der jüngeren Kinder mit den Drittklässlern in den Variablen CFT bzw. Intelligenz, Geschwindigkeit beim Ziffernlesen (Ziffern-Speed) sowie den einfachen und komplexen Trail-Making-Aufgaben (RVT, Roick & Hasselhorn, 2003). Die Unterschiede in der Variablen Intelligenz ergeben sich aus einer entsprechend der Normdaten höheren Grundintelligenz der jüngeren Kinder. Ob hier nicht nur statistisch, sondern auch praktisch ein Unterschied in der mittleren Intelligenzleistung zwischen den Gruppen vorliegt, kann nicht abschließend beurteilt werden, da für die Klassenstufen zwei verschiedene Intelligenzverfahren eingesetzt wurden die an unterschiedlichen Eichstichproben normiert wurden. Bezüglich der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit belegen die Unterschiede in den drei Maßen Ziffern-Speed, einfache und komplexe Trails, dass die jüngeren Rechner deutlich mehr Zeit für die Benennung von Ziffern sowie für die Bearbeitung der Trail-Making-Aufgabe benötigten als die Drittklässler.

Tabelle 8: Demografische Angaben, Gruppentestleistungen sowie Maße der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit der vier Rechnergruppen

	schlecht rechnend *M* (*SD*)	mittelgut rechnend *M* (*SD*)	gut rechnend *M* (*SD*)	jüngere Kinder *M* (*SD*)	*F*	*p*	η^2
Klassenstufe / N	3 / 16	3 / 16	3 / 16	2 / 17			
Geschlecht	0.50 $_a$ (0.52)	0.50 $_a$ (0.52)	0.50 $_a$ (0.52)	0.47 $_a$ (0.51)	0.01	> .99	> 0.01
Alter (in Monaten)	105.88 $_a$ (4.57)	105.19 $_a$ (4.13)	104.56 $_a$ (4.53)	86.82 $_b$ (4.16)	74.97	< .01	0.79
CFT Rohwert[1]	26.25 $_a$ (2.52)	26.94 $_a$ (3.53)	27.63 $_{ab}$ (3.14)	29.53 $_b$ (3.45)	3.26	.03	0.14
CFT Normwert[1,2]	111.38 $_a$ (6.93)	113.25 $_a$ (9.31)	115.25 $_{ab}$ (8.05)	120.65 $_b$ (9.91)	3.56	.02	0.15
WLLP Rohwert	89.81 $_a$ (9.41)	100.69 $_b$ (16.78)	104.25 $_b$ (15.70)	59.00 $_c$ (16.23)	31.94	< .01	0.61
WLLP Normwert[3]	101.22 $_a$ (5.87)	109.03 $_b$ (11.79)	111.61 $_b$ (10.73)	112.39 $_b$ (14.46)	3.35	.02	0.14
DIRG-BM Rohwert	131.88 $_a$ (32.46)	188.19 $_b$ (22.95)	233.44 $_c$ (25.10)	124.76 $_a$ (23.12)	62.23	< .01	0.75
Ziffern-Speed (in ms)	572.78 $_a$ (61.03)	574.38 $_a$ (44.24)	589.91 $_a$ (80.59)	674.22 $_b$ (137.43)	4.89	< .01	0.19
RVT, einfache Trails[4] (in s)	29.89 $_a$ (4.89)	30.16 $_a$ (4.30)	27.70 $_a$ (7.92)	51.77 $_b$ (18.13)	19.10	< .01	0.48
RVT, komplexe Trails[5] (in s)	83.99 $_a$ (27.35)	76.86 $_a$ (17.60)	68.52 $_a$ (18.37)	130.91 $_b$ (47.99)	13.78	< .01	0.40
N	14	15	14				
DEMAT 3+ Rohwert	18.29 $_a$ (3.41)	21.47 $_b$ (3.66)	23.50 $_b$ (3.39)	--	5.15	< .01	0.28
DEMAT 3+ Normwert[6]	49.93 $_a$ (5.48)	55.40 $_b$ (6.34)	59.36 $_b$ (7.15)	--	5.04	< .01	0.28
N	13	14	15	--			
Kettenrechner 3-4 Rohwert[7]	16.58 $_a$ (6.98)	23.52 $_b$ (8.31)	34.88 $_c$ (3.96)	--	17.96	< .01	0.59

Anmerkungen. 1) CFT 20 für Drittklässler und CFT 1 (SU3) für Zweitklässler; 2) Klassennormwerte mit $M = 100$ und $SD = 15$ (IQ-Werte); 3) interpolierte Linearnorm mit $M = 100$ und $SD = 15$; 4) Mittelwert über vier Skalen des Reihenverbindungstest (RVT); 5) Mittelwert über zwei Skalen des Reihenverbindungstest (RVT); 6) Individualnormwerte mit $M = 50$ und $SD = 10$ (T-Werte); 7) Mittelwert über vier Skalen; Mittelwerte mit unterschiedlichen Indizes (a, b, c) unterscheiden sich mit $p < .05$ statistisch überzufällig.

Die vorfindbaren Gruppenunterschiede legen es nahe, für die Beurteilung von Leistungsunterschieden zwischen den schlecht rechnenden Kindern und den anderen Rechnergruppen die Leseleistung als Kovariate zu berücksichtigen. Für Vergleiche zwischen den jüngeren Kindern und den anderen Rechnergruppen sollten die Maße zur kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit (Ziffern-Speed und Trail-Making-Aufgaben) als Kovariaten berücksichtigt werden.

Die vorliegende Studie befasst sich mit der Frage, welche Bedeutung eine Reihe von kognitiven Maßen für Unterschiede in der Rechenleistung bzw. für schlechtes Rechnen in der Primarstufe haben. Tabelle 9 enthält deskriptive Daten zu den hier untersuchten Arbeitsgedächtnisleistungen und der Leistung in Mengenerfassungsaufgaben. Erkennbar ist, dass sich in allen Variablen die vier Rechnergruppen in ihrem Leistungsvermögen bedeutsam (bzw. für die einfache Wortspanne nur tendenziell bedeutsam) unterscheiden.

Eine Varianzanalyse der Leistungen in den drei Varianten der Mengenerfassung (ohne, mit wenig bzw. stark störenden Distraktoren) weist einen signifikanten Haupteffekt auf

Tabelle 9: Arbeitsgedächtnismaße und Mengenerfassungsleistung in Abhängigkeit von den vier Rechnergruppen

	schlecht rechnend *M* (*SD*)	mittelgut rechnend *M* (*SD*)	gut rechnend *M* (*SD*)	jüngere Kinder *M* (*SD*)	*F*	*p*	η^2
Klassenstufe / N	3 / 16	3 / 16	3 / 16	2 / 17			
AG, einfache Wortspanne	0.49_{ab} (0.15)	0.45_{ab} (0.15)	0.55_{a} (0.18)	0.41_{b} (0.10)	2.68	.05	0.12
AG, komplexe Wortspanne	0.13_{a} (0.09)	0.19_{a} (0.15)	0.25_{b} (0.19)	0.05_{c} (0.06)	7.37	<.01	0.27
AG, Corsi-Block-Spanne	0.37_{a} (0.12)	0.37_{ac} (0.14)	0.50_{b} (0.15)	0.31_{c} (0.11)	5.95	<.01	0.23
ME, ohne Distraktoren	2381.68_{ac} (344.56)	2323.11_{a} (181.77)	2104.88_{b} (258.30)	2559.54_{c} (263.91)	8.03	<.01	0.28
ME, wenig störende Distr.	2487.73_{a} (349.09)	2477.72_{a} (294.05)	2279.20_{a} (264.20)	2863.34_{b} (332.89)	10.15	<.01	0.33
ME, stark störende Distr.	3287.43_{a} (456.09)	3251.78_{a} (349.96)	2902.29_{b} (303.25)	3730.29_{c} (470.44)	11.77	<.01	0.37

Anmerkungen. AG: relativierte spannenbezogene Arbeitsgedächtnisleistung; ME: Mengenerfassungsleistung als mittlere Reaktionszeit (in ms); Mittelwerte mit unterschiedlichen Indizes (a, b, c) unterscheiden sich mit $p < .05$ statistisch überzufällig.

der Variablen „Messwiederholung“ auf ($F(1;61)=837.21$, $p<.01$, $\eta^2=0.93$). Das für die Arbeitsgedächtnisleistungen genutzte Maß der relativierten Spannensumme (Wertebereich von 0 bis 1) erlaubt Rückschlüsse über die Angemessenheit der Aufgabenschwierigkeiten: Während die einfache Wortspanne und die Corsi-Block-Spannen-Aufgabe in allen Rechnergruppen eine hinreichende Differenzierung ($M \pm 2SD$) ermöglicht, zeigen sich für die komplexe Wortspanne Bodeneffekte ($\approx M-1SD \wedge M+2SD$) mit Varianzeinschränkungen. Hier wäre eine weitere Erleichterung der Aufgabe technisch aber kaum zu bewerkstelligen, da bereits an der kleinsten möglichen Spannenleistung (2-er Spanne) angesetzt wurde.

7.1.2 Zusammenhangsanalyse und Relevanzbewertung

Tabelle 10 zeigt die Interkorrelationen und konkurrenten Zusammenhangsmaße der hier als zentral erachteten Leistungsbereiche Arbeitsgedächtnis und Mengenerfassung sensu Aufmerksamkeitsleistung mit den eingangs erhobenen demografischen Variablen, den Leistungstestverfahren und den Maßen zur kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit für die gesamte Experimentalgruppe (schlecht rechnende, mittelgut rechnende, gut rechnende Kinder, jüngere Kinder) sowie die prognostischen Zusammenhänge zu den beiden später erhobenen Leistungsmaßen der Drittklässler (DEMAT 3+ und Kettenrechner 3-4).

Die Interkorrelationsmatrix (Tabelle 10, a) zeigt, dass die beiden im Fokus stehenden kognitiven Leistungsbereiche innerhalb und untereinander bedeutsam korrelieren, allerdings mit Ausnahme der einfachen Wortspanne vorwärts. Insgesamt korrelieren die einzelnen Arbeitsgedächtnismaße recht moderat miteinander, und für die komplexe Wortspanne und Corsi-Block-Spanne finden sich ähnlich ausgeprägte Zusammenhänge auch zu den Mengenerfassungsleistungen. Die Zusammenhänge der drei Mengenerfassungsmaße untereinander fallen aufgrund der hohen Aufgabenähnlichkeit erwartungsgemäß hoch aus. Auch eine alleinige Betrachtung der Drittklässler fördert keine unerwarteten Ergebnisse zutage, insgesamt fallen die Zusammenhänge dazu aber etwas geringer aus.

Bedingt durch den Einbezug der jüngeren Kinder zeigen sich in den Arbeitsgedächtnis- und Mengenerfassungsleistungen (mit Ausnahme der einfachen Wortspanne) auch bedeutsame Alterseffekte sowie für die Arbeitsgedächtnisleistungen zumindest auch tendenziell bedeutsame Geschlechtseffekte (vgl. Tabelle 10, b). Die Gruppe der jüngeren Kinder zeigt sich sehr homogen und leistungsstark, tatsächlich fallen die Geschlechtseffekte deutlicher aus, wenn nur die Stichprobe der Drittklässler betrachtet wird (mittlere Korrelation von

$r = .32$, $p = .03$). Ein ähnlicher Befund zeigt sich für die Intelligenzvariable: in der Gesamtgruppe fallen die Korrelationen der Arbeitsgedächtnis- und Mengenerfassungsleistungen mit den CFT-Werten eher gering aus, für die Drittklässler finden sich jedoch bedeutsame Zusammenhänge mit der komplexen Wortspanne, der Corsi-Block-Spanne und der Mengenerfassung mit stark störenden Distraktoren ($r = .37$, $r = .35$ resp. $r = .30$, jeweils zum Rohwert, für alle gilt $p < .05$). Den höchsten Zusammenhang zur Leseleistung (WLLP) zeigt die komplexe Wortspanne. Dieser Befund überrascht insofern nicht, da dieses Maß traditionell zur Vorhersage der Leseleistung entwickelt wurde (vgl. Daneman & Blennerhassett, 1984). Erstaunlich ist aber, dass die Leistung in der einfachen Wortspannen-Aufgabe als Maß der Phonologischen Schleife nicht nennenswert mit der Leseleistung korreliert. Eine Erklärung hierfür mag aber sein, dass die in der WLLP erfasste Dekodiergeschwindigkeit bzw. der dort umgesetzte Aufgabentyp zu erheblichen Anteilen zentralexekutive Funktionen beansprucht.

Mit Ausnahme der einfachen Wortspanne zeigen auch alle Arbeitsgedächtnis- und Mengenerfassungs-Variablen bedeutsame konkurrente Korrelationen zur Verfügbarkeit arithmetischen Faktenwissens (DIRG-BM) sowie auch Zusammenhänge mit den später erhobenen Rechenleistungen (DEMAT 3+ und Kettenrechner 3-4). Erwartungsgemäß zeigt hier die komplexe Wortspanne als zentralexekutives Maß substanzielle Zusammenhänge zu den arithmetischen Leistungen, während überraschenderweise die Corsi-Block-Spanne als Maß des visuell-räumlichen Subsystems mit der zeitlich später erhobenen Sachrechenleistung bedeutsam korreliert. Keine der betrachteten Arbeitsgedächtnis- oder Mengenerfassungsleistungen scheint jedoch für die spätere Geometrieleistung von Bedeutung zu sein. Insgesamt kann aber festgehalten werden, dass die in dieser Untersuchung als zentral erachteten kognitiven Variablen auf korrelativer Ebene mit der gegenwärtigen, aber auch mit der zukünftigen Rechenleistung zusammenhängen.

Tabelle 10: Korrelationsmatrix zwischen Arbeitsgedächtnismaßen, den Leistungen in der Mengenerfassung sowie den erhobenen Leistungs- und demografischen Variablen

	Arbeitsgedächtnismaße (AG)[7]			Mengenerfassung (ME)[8]		
	einfache Wort-spanne	komplexe Wort-spanne	Corsi-Block-Spanne	ohne Distrak-toren	wenig störende Distrak-toren	stark störende Distrak-toren
(a) Interkorrelationen (oberhalb Diagonale: Gesamtgruppe, N=65; unterhalb Diagonale: Drittklässler, N=48)						
AG, einfache Wortspanne	--	.30*	.27*	-.12	-.15	-.10
AG, komplexe Wortspanne	.24	--	.47*	-.43*	-.49*	-.53*
AG, Corsi-Block-Spanne	.21	.43*	--	-.38*	-.40*	-.44*
ME, ohne Distraktoren	-.11	-.36*	-.33*	--	.90*	.83*
ME, wenig störende Distr.	-.13	-.42*	-.36*	.87*	--	.91*
ME, stark störende Distr.	-.09	-.49*	-.43*	.78*	.88*	--
(b) konkurrente Zusammenhänge (N=65)						
Geschlecht	-.38*	-.23^{+}	-.24^{+}	.14	.14	.06
Alter	.19	.37*	.26*	-.32*	-.45*	-.47*
CFT Rohwert[1]	.05	.14	.20	-.02	.02	-.04
CFT Normwert[1,2]	.06	.12	.20	-.01	.03	-.03
WLLP Rohwert	.23^{+}	.52*	.42*	-.49*	-.56*	-.58*
WLLP Normwert[3]	.03	.27*	.22^{+}	-.24^{+}	-.19	-.24^{+}
DIRG-BM Rohwert	.11	.34*	.42*	-.49*	-.44*	-.50*
Ziffern-Speed (in ms)	.09	-.25*	-.04	.38*	.44*	.46*
RVT, einfache Trails[4] (in s)	-.24*	-.43*	-.43*	.49*	.60*	.52*
RVT, komplexe Trails[5] (in s)	-.22^{+}	-.40*	-.32*	.49*	.56*	.56*
(c) prognostische Zusammenhänge (N=43, DEMAT 3+; N=42, Kettenrechner 3-4)						
DEMAT 3+ Ges.rohwert	.18	.26^{+}	.26^{+}	-.44*	-.33*	-.25
- Subtest Arithmetik	.13	.28^{+}	.18	-.35*	-.23	-.13
- Subtest Sachrechnen	.07	.14	.31*	-.40*	-.36*	-.38*
- Subtest Geometrie	.18	.00	.02	-.09	-.08	-.03
Kettenrechner 3-4[6]	.13	.29^{+}	.25	-.35*	-.23	-.27^{+}

Anmerkungen. $^{+}$ $p<.10$; * $p<.05$; 1) CFT 20 Kurzform bzw. CFT 1 Summe 3; 2) Klassennormwerte mit $M=100$ und $SD=15$ (IQ-Werte); 3) interpolierte Linearnorm mit $M=100$ und $SD=15$; 4) Mittelwert über vier Skalen des Reihenverbindungstest (RVT); 5) Mittelwert über zwei Skalen des Reihenverbindungstest (RVT); 6) Mittelwert über vier Skalen; 7) spannenbezogene Maße; 8) mittlere Reaktionszeiten auf Displaydarbietungen.

7.2 Arbeitsgedächtnismerkmale

7.2.1 Allgemeine Defizithypothese

Eine Reihe von Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Rechenschwierigkeiten und Arbeitsgedächtnisleistungen (Swanson & Jerman, 2006; vgl. Abschnitt 4.2.3) legen die Schlussfolgerung nahe, dass zwischen der Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses und der Rechenleistung Zusammenhänge bestehen. Mit Rückgriff auf das Mehrkomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley (1986, 2000a) wird aufgrund der Befundlage erwartet, dass schlechte Rechenleistungen mit spezifischen Defiziten in den Arbeitsgedächtniskomponenten verbunden sind. Als psychologische Vorhersage kann für den Extremgruppenvergleich gut rechnender und schlecht rechnender Kinder somit erwartet werden,

- dass die Leistungen schlecht rechnender Kinder in Aufgaben der Zentralen Exekutive schlechter als bei gut rechnenden Kindern ausfallen,
- dass die Leistungen schlecht rechnender Kinder in Aufgaben des visuell-räumlichen Subsystems zumindest nicht besser als die der gut rechnenden Kinder ausfallen und
- dass sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich der Leistung in Aufgaben des sprach-klanglichen Subsystems zeigen.

Die Kinder absolvierten eine Reihe von typischen Arbeitsgedächtnisaufgaben. Das sprach-klangliche Subsystem wurde über eine einfache Wortspannen-Aufgabe vorwärts erfasst, während die Leistungsfähigkeit der Zentralen Exekutive über eine komplexe Wortspannen-Aufgabe vorwärts erhoben wurde. Bei diesen Wortspannen-Aufgaben handelt es sich um die üblicherweise in der Forschung genutzten Varianten, d.h. die einfache Wortspanne nutzt einen sich wiederholenden Pool von Target-Items (Variante Pool A), während die Target-Items der komplexen Wortspannen-Aufgabe unabhängig voneinander sind (Variante Pool U). Als Maß für das visuell-räumliche Subsystem wurde eine Blockspannenaufgabe (Corsi-Block-Spanne) durchgeführt, wobei diese Aufgabe vermutlich in erster Linie die dynamische Komponente des Subsystems erfasst. Als abhängige Variable wurde für jede Arbeitsgedächtnisaufgabe ein relatives Spannenmaß bestimmt, welches die Gesamtsumme der richtig gelösten Spannen an der maximal erreichbaren Spannensumme relativiert.

Aus der psychologischen Vorhersage lassen sich für den Extremgruppenvergleich drei konjunktiv verknüpfte, testbare statistische Hypothesen ableiten: je eine Nullhypothese über die Leistungen in den Subsystemen sowie eine Alternativhypothese über die Leistung in der Zentralen Exekutive. Tabelle 11 fasst die Ergebnisse des Extremgruppenvergleichs zusammen. Wie erwartet zeigen schlecht rechnende Kinder schlechtere Leistungen in der komplexen Wortspanne, zusätzlich aber auch in der Corsi-Block-Spannen-Aufgabe. Kein Gruppenunterschied findet sich hingegen für die einfache Wortspannen-Aufgabe. Somit kann an dieser Stelle positiv über die hier formulierte psychologische Vorhersage und die damit verbundene psychologische Hypothese entschieden werden. In Übereinstimmung mit einer Reihe anderer Studien (z.B. McLean & Hitch, 1999; van der Sluis et al., 2004; vgl. Abschnitt 4.2.3) finden sich im Extremgruppenvergleich spezifische Arbeitsgedächtnisdefizite schlecht rechnender Kinder im Bereich der Zentralen Exekutive und im Visuell-

Tabelle 11: Vergleich gut rechnender und schlecht rechnender Kinder in den relativen Spannenmaßen der Arbeitsgedächtniskomponenten

	schlecht rechnend *M* (*SD*)	gut rechnend *M* (*SD*)	SH		*t*	*p*	d	Annahme SH?
N	16	16						
(a) Gruppenvergleiche über Arbeitsgedächtnisleistungen								
Einfache Wortspanne	0.49 (0.15)	0.55 (0.18)	$[\mu_{GR} - \mu_{SR} = 0]$	H_0	1.05	.30	0.37	ja
Komplexe Wortspanne	0.13 (0.09)	0.25 (0.19)	$\wedge\ [\mu_{GR} - \mu_{SR} > 0]$	H_1	2.40	$<.01$	0.90	ja
Corsi-Block-Spanne	0.37 (0.12)	0.50 (0.15)	$\wedge\ [\mu_{GR} - \mu_{SR} \geq 0]$	H_0	2.53	$<.01$	0.90	ja
(b) Gruppenvergleich unter Einbezug der WLLP als Kovariate								
Einfache Wortspanne | WLLP	-0.12 (0.92)	0.12 (1.06)	$[\mu_{GR} - \mu_{SR} = 0]$	H_0	0.70	.49	0.25	ja
Komplexe Wortspanne | WLLP	-0.12 (0.79)	0.12 (1.16)	$\wedge\ [\mu_{GR} - \mu_{SR} > 0]$	H_1	0.70	.25	0.25	nein
Corsi-Block-Spanne | WLLP	-0.28 (0.95)	0.28 (0.96)	$\wedge\ [\mu_{GR} - \mu_{SR} \geq 0]$	H_0	1.68	.05	0.59	ja

Anmerkungen. SH: statistische Hypothese; μ_{GR}: Erwartungswert der gut rechnenden Kinder; μ_{SR}: Erwartungswert der schlecht rechnenden Kinder; *p*-Werte werden in Abhängigkeit von der Gerichtetheit der SHn als ein- oder zweiseitige Werte angegeben.

räumlichen Skizzenblock.

Der im Abschnitt 7.1.1 vorgenommene *Manipulation check* hat gezeigt, dass sich die schlecht rechnenden Kinder von den gut rechnenden Kindern in der über die Würzburger Leise-Lese-Probe (WLLP, Küspert & Schneider, 1998) erfassten Leseleistung unterscheiden. Aus diesem Grund kann es sinnvoll sein zu prüfen, ob gefundene Gruppenunterschiede auch unter regressionsanalytischer Kontrolle der WLLP-Leistung bestehen bleiben. Werden auf Basis dieser vorrangig statistischen Überlegung die Gruppenvergleiche unter Kontrolle der Unterschiede in der Leseleistung vorgenommen (vgl. Tabelle 11, b), so reduzieren sich in der vorliegenden Studie die Effektgrößen deutlich, und zwischen den schlecht rechnenden und gut rechnenden Kindern weist lediglich die Corsi-Block-Spannen-Aufgabe noch einen mittelgroßen Effekt auf ($d=0.59$). Der Gruppenunterschied in der komplexen Wortspannen-Aufgabe wird hingegen durch die Auspartialisierung der WLLP-Leistung egalisiert. Dies bedeutet, dass unter Berücksichtigung präexperimenteller Gruppenunterschiede in der Leseleistung die positive Entscheidung über die psychologische Vorhersage und die damit verbundenen psychologische Hypothese relativiert werden muss. Auf die Bedeutung dieses Befundes ist in der Diskussion noch näher einzugehen.

7.2.2 Differenzielle Defizithypothese

Im Rahmen der allgemeinen Defizithypothese (vgl. Abschnitt 7.2.1) wurde geprüft, ob sich schlecht rechnende und gut rechnende Kinder in ihren Arbeitsgedächtnisleistungen unterscheiden. Der Vorteil des Vergleichs von Gruppen mit extremen Leistungsausprägungen im Rechnen ist zweifelsohne, dass über die Effektmaximierung Gruppenunterschiede auch in kleineren Stichproben aufgedeckt werden können. Dies kann aber zu einer fehlerhaften Schlussfolgerung führen, wenn Leistungsunterschiede grundsätzlich als Leistungsnachteil der einen Gruppe (hier die schlecht rechnenden Kinder) interpretiert werden, denn der Unterschied kann sich auch durch einen Leistungsvorteil der anderen Gruppe bedingen. In diesem Abschnitt soll daher der Frage nachgegangen werden, inwieweit es sich bei den aufgedeckten Gruppenunterschieden in den Arbeitsgedächtnisleistungen um Leistungsdefizite der schlecht rechnenden Kinder handelt. Als psychologische Hypothese wird angenommen, dass Leistungsunterschiede allein auf Defizite der schlecht rechnenden Kinder zurückgehen. Um diese Frage zu klären, werden die Leistungen der gut rechnenden und schlecht rechnenden Kinder einer Gruppe „normal“ bzw. mittelgut rechnender Kinder

gegenübergestellt. Auf Grundlage der Hypothese und der im Abschnitt 7.2.1 berichteten Ergebnisse wird für den Vergleich der drei Gruppen untereinander erwartet:

- dass sich die drei Gruppen in der Leistungsfähigkeit des sprach-klanglichen Subsystems nicht unterscheiden,
- dass sich für die Leistungen im visuell-räumlichen Subsystem mindestens ein Leistungsanstieg von den schlecht rechnenden zu den mittelgut rechnenden Kindern zeigt, wenn nicht sogar ein Linearanstieg über alle drei Rechnergruppen und
- dass sich für die Leistungen der Zentralen Exekutive ebenfalls mindestens ein Leistungsanstieg von den schlecht rechnenden zu den mittelgut rechnenden Kindern zeigt, wenn nicht sogar ein Linearanstieg über alle drei Rechnergruppen.

Diese drei Vorhersagen werden als nach Arbeitsgedächtnismaßen separierte psychologische Vorhersagen bezüglich des Leistungsverlaufs über die drei Gruppen betrachtet. Abbildung 9 stellt die Arbeitsgedächtnisleistungen der drei Rechnergruppen im Sinne eines solchen Leistungsverlaufs dar. Rein grafisch zeigt sich, dass die Unterschiede zwischen schlecht rechnenden und gut rechnenden Kindern eher auf Leistungsunterschiede zwischen mittelgut rechnenden und gut rechnenden Kindern zurückgehen. Für die Leistung in der komplexen Wortspanne deutet sich zumindest ein linearer Anstieg an, wobei zu bedenken ist, dass die in der Gruppe der schlecht rechnenden Kinder vorhandenen Bodeneffekte in dieser Variable (vgl. Abschnitt 7.1.1) einen deutlicheren Anstieg möglicherweise verhin-

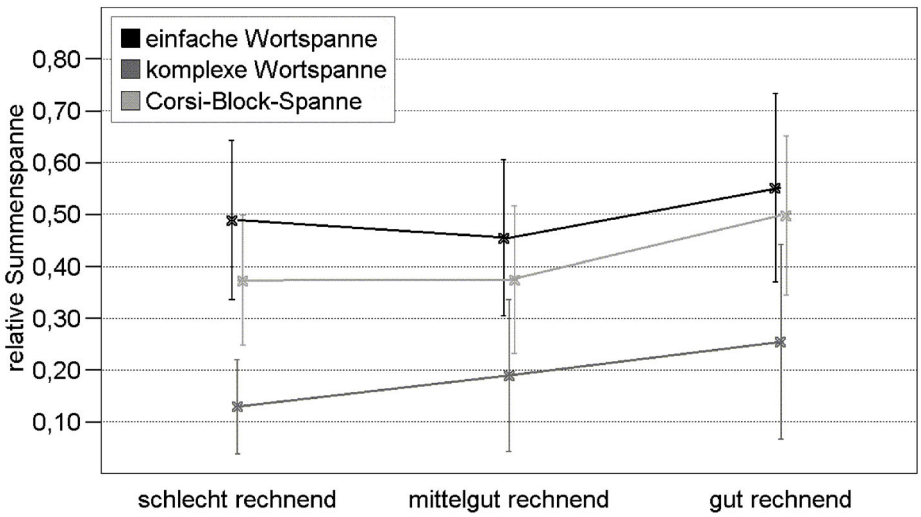


Abbildung 9: Grafischer Vergleich der Arbeitsgedächtnisleistungen zwischen schlechten, mittleren und guten Rechnern

dern.

Tabelle 12 fasst die Ergebnisse zur Hypothesenprüfung zusammen. Für die einfache Wortspanne (vgl. Tabelle 12, a) zeigt sich, dass sich mittelgut rechnende und schlecht rechnende Kinder nicht unterscheiden, während sich tendenziell zumindest ein Gruppenunterschied zwischen den mittelgut rechnenden und den gut rechnenden Kindern andeutet. Dies bedingt sich aber zumindest teilweise dadurch, dass die mittelgut rechnenden Kinder gegenüber den schlecht rechnenden Kindern eine geringfügig schlechtere Leistung in dieser Aufgabe zeigen. Dennoch kann positiv über die dazugehörige psychologischen Vorhersage entschieden werden.

Für die komplexe Wortspanne zeigt sich, dass sich der in Abbildung 9 abzeichnende Linearanstieg durchaus statistisch absichern lässt (vgl. Tabelle 12, b). Es findet sich ein vorhersagekonformer Anstieg zwischen den schlecht rechnenden und den mittelgut rechnenden Kindern mit einer moderaten Effektgröße (d=0.51). Der Vergleich zwischen den gut

Tabelle 12: Vergleich der Arbeitsgedächtnisleistungen zwischen schlecht, mittelgut und gut rechnenden Kindern

	schlecht rechnend *M* (*SD*)	mittelgut rechnend *M* (*SD*)	gut rechnend *M* (*SD*)		SH		*t*	*p*	d	Annahme SH?
N	16	16	16							
(a) Einfache Wortspanne (Phonologische Schleife)										
	0.49	0.45	0.55		$[\mu_{MR}-\mu_{SR} = 0]$	H_0	-0.64	.53	-0.23	ja
	(0.15)	(0.15)	(0.18)	$\wedge$	$[\mu_{GR}-\mu_{MR} = 0]$	H_0	1.64	.11	0.58	ja
(b) Komplexe Wortspanne (Zentrale Exekutive)										
	0.13	0.19	0.25		$[\mu_{MR}-\mu_{SR} > 0]$	H_1	1.40	.09	0.51	(ja)
	(0.09)	(0.15)	(0.19)	$\wedge$	$[\mu_{GR}-\mu_{MR} \geq 0]$	H_0	1.09	.14	0.39	ja
(c) Corsi-Block-Spanne (Visuell-räumlicher Skizzenblock)										
	0.37	0.37	0.50		$[\mu_{MR}-\mu_{SR} > 0]$	H_1	0.02	.49	0.01	nein
	(0.12)	(0.14)	(0.15)	$\wedge$	$[\mu_{GR}-\mu_{MR} \geq 0]$	H_0	2.37	.01	0.84	ja

Anmerkungen. SH: statistische Hypothese; μ_{GR}: Erwartungswert der gut rechnenden Kinder; μ_{MR}: Erwartungswert der mittelgut rechnenden Kinder; μ_{SR}: Erwartungswert der schlecht rechnenden Kinder; *p*-Werte werden in Abhängigkeit von der Gerichtetheit der SHn als ein- oder zweiseitige Werte angegeben.

rechnenden und mittelgut rechnenden Kindern weist auf keinen Leistungsabfall hin. Unklar ist allerdings, inwieweit die durch Bodeneffekte bedingte Varianzeinschränkung die teststatistischen Ergebnisse beeinflusst. Somit soll an dieser Stelle nur unter Vorbehalt insgesamt positiv über die dazugehörige psychologische Hypothese entschieden werden. Für die Corsi-Block-Spanne zeigt sich sehr deutlich, dass die Unterschiede zwischen guten und schlechten Rechnern auf einen Vorteil der guten Rechner zurückgehen (vgl. Tabelle 12, c). Hier kann nicht positiv über die psychologische Vorhersage entschieden werden.

Insgesamt bleiben somit Zweifel, ob die in Abschnitt 7.2.1 berichteten Unterschiede zwischen gut rechnenden und schlecht rechnenden Kindern auf Leistungsdefizite der schlecht rechnenden Kinder zurückgehen. Allein die Leistungsfähigkeit der Zentralen Exekutive lässt sich als Defizitmarker schlecht rechnender Kinder ins Felde führen. Hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der beiden Subsysteme scheint sich stattdessen abzuzeichnen, dass hier die gut rechnenden Kinder im Vorteil sind.

7.2.3 Strukturelle Defizithypothese

Die reine Feststellung von Unterschieden in den Arbeitsgedächtnisleistungen unterschiedlicher Rechnergruppen sagt noch wenig darüber aus, ob die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses die Rechenleistung auch kausal beeinflusst. Erst eine längsschnittliche Betrachtung oder ein erweiteter entwicklungspsychologischer Versuchsplan unter Einbezug einer leistungsunauffälligen, aber zugleich den schlecht rechnenden Kindern leistungsähnlichen Gruppe jüngerer Kinder kann Kausalitätsüberlegungen präzisieren. Der Vergleich der schlecht rechnenden Kinder mit einer leistungsangepassten Gruppe jüngerer Kinder bietet Hinweise darauf, ob sich etwaige Leistungsnachteile der schlecht rechnenden Kinder als Folge einer Entwicklungsverzögerung oder aber als Ergebnis einer Strukturdifferenz erweisen. Ein Hinweis auf eine Entwicklungsverzögerung läge dann vor, wenn die leistungsähnliche Gruppe jüngerer Kinder annähernd auch ähnliche Arbeitsgedächtnisleistungen wie die schlecht rechnenden Kinder zeigen würde. Ist dies der Fall, kann gemutmaßt werden, dass beide Gruppen einen ähnlichen Entwicklungspfad bestreiten, allerdings in unterschiedlichem Entwicklungstempo. Wäre dies nicht der Fall, würde man von unterschiedlichen Entwicklungsverläufen, möglicherweise auch von strukturellen Unterschieden zwischen den beiden Rechnergruppen ausgehen. Im Hinblick auf die wichtige Differenzierung zwischen Strukturdifferenz oder Entwicklungsverzögerung werden die Arbeitsgedächtnisleis-

tungen der schlecht rechnenden Kinder mit denen der leistungsangepassten jüngeren Kinder verglichen.

Im Sinne einer strukturellen Defizithypothese sind die Probleme schlecht rechnender Kinder ursächlich in einer Strukturdifferenz begründet. Ausgehend von dieser Hypothese kann für den Vergleich zwischen schlecht rechnenden Kindern und den leistungsangepassten Kindern jüngeren Alters erwartet werden,

- dass sich die Leistungen der schlecht rechnenden Kinder und die der jüngeren Kinder in Leistungen der Zentralen Exekutive unterscheiden,
- dass sich auch die Leistungen der schlecht rechnenden Kinder und die der jüngeren Kinder in Leistungen des visuell-räumlichen Subsystems unterscheiden und

Tabelle 13: Prüfung der Strukturdifferenz-Hypothese für Arbeitsgedächtnisleistungen

	schlecht rechnend *M* (*SD*)	jüngere Kinder *M* (*SD*)	SH		*t*	*p*	d	Annahme SH?
N	16	17						
(a) Gruppenvergleiche über Arbeitsgedächtnisleistungen								
Einfache Wortspanne	0.49 (0.15)	0.41 (0.10)	$[\mu_{SR} - \mu_{JR} = 0]$	H_0	1.76	.09	0.63	nein
Komplexe Wortspanne	0.13 (0.09)	0.05 (0.06)	$\wedge\ [\mu_{SR} - \mu_{JR} \neq 0]$	H_1	2.90	<.01	1.03	ja
Corsi-Block-Spanne	0.37 (0.12)	0.31 (0.11)	$\wedge\ [\mu_{SR} - \mu_{JR} \neq 0]$	H_1	1.65	.11	0.58	nein
(b) Gruppenvergleiche unter Einbezug der Maße zur kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit als Kovariaten								
Einfache Wortspanne | Speed[1]	0.25 (1.14)	-0.24 (0.69)	$[\mu_{SR} - \mu_{JR} = 0]$	H_0	1.47	.15	0.53	ja
Komplexe Wortspanne | Speed[1]	0.14 (1.03)	-0.13 (0.89)	$\wedge\ [\mu_{SR} - \mu_{JR} \neq 0]$	H_1	0.83	.41	0.29	nein
Corsi-Block-Spanne | Speed[1]	0.03 (1.07)	-0.03 (0.86)	$\wedge\ [\mu_{SR} - \mu_{JR} \neq 0]$	H_1	0.20	.85	0.07	nein

Anmerkungen. SH: statistische Hypothese; 1) Kovariaten: Maße der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit (Ziffern-Speed, einfache und komplexe Trails des RVT); μ_{SR}: Erwartungswert der schlecht rechnenden Kinder; μ_{JR}: Erwartungswert der jüngeren Kinder; *p*-Werte werden in Abhängigkeit von der Gerichtetheit der SHn als ein- oder zweiseitige Werte angegeben.

- dass sich keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der Leistung des sprach-klanglichen Subsystems zeigen.

Tabelle 13 fasst die Ergebnisse der teststatistischen Prüfung zusammen. Auf deskriptiver Ebene zeigt die Gruppe der schlecht rechnenden Kinder höhere Leistungen als die vom Rechenleistungsvermögen vergleichbaren jüngeren Kinder. Tatsächlich finden sich im Vergleich dieser beiden Gruppen (vgl. Tabelle 13, a) Unterschiede für die einfache Wortspannen-Aufgabe, tendenziell auch für die Corsi-Block-Spannen-Aufgabe. Dieser Befund ist jedoch hinsichtlich einer Strukturdifferenz-Hypothese nur teilweise vorhersagekonform. Es zeigt sich zwar, dass sich die Leistungen der schlecht rechnenden Kinder von denen der jüngeren Kinder in der komplexen Wortspannenleistung bedeutsam und im visuell-räumlichen Subsystem zumindest noch tendenziell unterscheiden. Aber die Ergebnisse belegen auch nicht-vorhersagekonforme Gruppendifferenzen in der einfachen Wortspannenleistung.

Wie die eingangs durchgeführten Gruppenvergleiche gezeigt haben, unterscheiden sich die jüngeren Kinder von den Drittklässlern leistungsmäßig vor allem in den Maßen zur kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit (vgl. Tabelle 8). Berücksichtigt man diese Nachteile der jüngeren Kinder durch regressionsanalytische Auspartialisierung dieser Variablen, klärt dieses die Gruppenunterschiede in allen hier betrachteten Arbeitsgedächtnisvariablen weitgehend auf (vgl. Tabelle 13, b).

Zusammengefasst bleiben deutliche Zweifel an einer Strukturdifferenz der schlecht rechnenden Kinder. Vielmehr deuten die Befunde darauf hin, dass es sich bei den Leistungsnachteilen der schlecht rechnenden Kinder eher um eine Entwicklungsverzögerung handelt, da die Arbeitsgedächtnisleistungen schlecht rechnender Kinder denen leistungsangepasster jüngerer Kinder vergleichbar sind, sofern übergeordnete Leistungsunterschiede in der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

7.2.4 Zusatzanalysen zu Aufmerksamkeitsaspekten in den Arbeitsgedächtnisanforderungen

Neben dem bislang betrachteten Funktionalitätsvergleich des Arbeitsgedächtnisses über verschiedene spannenbezogene Maße kann auch eine Effizienzprüfung hinsichtlich einer mutmaßlich zentralexekutiv verorteten Aufmerksamkeitssteuerung im weitesten Sinne vorgenommen werden. Eine derartige Aufmerksamkeitssteuerung fokussiert nicht nur die

Ausrichtung des kognitiven Apparates bzw. Arbeitsgedächtnisses auf relevante Reize, sondern befasst sich im Wesentlichen mit der Hemmung irrelevanter Reize. In der Psychogerontologie werden schon seit geraumer Zeit Überlegungen angestellt, ob die kognitiven Leistungsdefizite älterer Menschen durch eine defizitäre kognitive Hemmung bedingt sein könnten (Hasher & Zacks, 1988; vgl. Abschnitt 4.3).

Bei der Bearbeitung von Arbeitsgedächtnisspannen-Aufgaben können Leistungsbilder entstehen, die vornehmlich von der Hemmungs(in)effizienz des Arbeitsgedächtnisses determiniert werden. So wäre bei einer Darbietung sukzessiv länger werdender Spannenaufgaben damit zu rechnen, dass bereits bearbeitete kürzere Trials im Sinne proaktiver Interferenzen die Bearbeitung der längeren beeinträchtigt (Lustig et al., 2001; May et al., 1999). Im Rahmen einer differenziellen Betrachtung der kognitiven Determinanten von Rechenleistungen kann dementsprechend auch die Frage interessant sein, ob schlechte Rechenleistungen mit defizitären Hemmungsfunktionen des Arbeitsgedächtnisses bzw. mit Problemen der selektiven Aufmerksamkeitssteuerung einhergehen (z.B. Bull & Scerif, 2001; Passolunghi & Siegel, 2001, 2004).

Analyse proaktiver Interferenzen

In der vorliegenden Studie wurde versucht, proaktive Interferenzen materialbedingt zu evozieren. Proaktive Interferenzen liegen dann vor, wenn vorher verarbeitetes Material die spätere Verarbeitung anderen Materials beeinträchtigt. Hierzu wurde für die einfache und die komplexe Wortspanne die Komplexität des Target-Pools variiert, indem einmal der Target-Pool aus sich wiederholenden Targets gebildet wurde (Target-Pool A: abhängiger Target-Pool), während in der anderen Variante jedes Target nur genau einmal im Verlauf der Spannenaufgabe zum Einsatz kam (Target-Pool U: unabhängiger Target-Pool). Generell wird im Rahmen dieser Untersuchung davon ausgegangen, dass dem unabhängigen Target-Pool U ein höher proaktiv interferierendes Potenzial innewohnt und dass derartige Interferenzen letztendlich auch zu verringerten Spannenleistungen führen sollten. Weiter wird erwartet, dass sich eine bedeutsame Interaktion zwischen Target-Pool und Rechnergruppe zeigt. Beide Spannenmaße (einfache und komplexe Wortspanne) werden getrennt voneinander geprüft, prinzipiell sollte aber in der komplexen Wortspannen-Aufgabe die Wirksamkeit proaktiver Interferenzen eher beobachtbar sein, da hier zusätzlich das Satzmaterial der Verifikationsaufgabe interferierend wirksam werden kann.

Tabelle 14: Relative Wortspannenmaße gut und schlecht rechnender Kinder in Abhängigkeit vom Target-Pool

	schlecht rechnend *M* (*SD*)	gut rechnend *M* (*SD*)		*F*	*p*	η^2
N	16	17				
(a) Analyse der einfachen Wortspanne						
Target-Pool A (abhängig)[1]	0.50 (0.15)	0.55 (0.18)	Haupteffekt Gruppe	0.87	.36	0.03
			Haupteffekt Target-Pool	10.03	<.01	0.26
Target-Pool U (unabhängig)[2]	0.42 (0.13)	0.45 (0.14)	Interaktion Gruppe x Pool	0.11	.74	< 0.01
(b) Analyse der komplexen Wortspanne						
Target-Pool A (abhängig)[1]	0.24 (0.15)	0.30 (0.20)	Haupteffekt Gruppe	3.58	.07	0.11
			Haupteffekt Target-Pool	6.42	.02	0.18
Target-Pool U (unabhängig)[2]	0.13 (0.09)	0.25 (0.19)	Interaktion Gruppe x Pool	1.02	.32	0.03

Anmerkungen. 1) abhängiger Target-Pool mit sich wiederholenden Targets; 2) unabhängiger Target-Pool mit sich nicht wiederholenden Targets.

Tabelle 14 zeigt die Ergebnisse der Messwiederholungs-Varianzanalysen über die Leistungen in der einfachen Wortspanne und in der komplexen Wortspanne. Der postulierte Interaktionseffekt bleibt für beide Analysen aus. Auf der Haupteffektebene zeigen sich für beide Spannenmaße Effekte der Target-Pool-Variation, für die komplexe Wortspanne auch ein tendenzieller Haupteffekt „Rechnergruppe".

Zusammenfassend scheint die Target-Pool-Variation lediglich ein die Gesamtschwierigkeit der Spannenaufgabe beeinflussender Faktor zu sein, wobei ein unabhängiger Target-Pool die Aufgabe schwieriger gestaltet. Diese Art der Aufgabenschwierigkeit scheint schlecht rechnende und gut rechnende Kinder gleichermaßen zu tangieren.

Analyse der Intrusionen

Ein weiteres Maß, um Auswirkungen proaktiver Interferenzen in komplexen Gedächtnisspannen-Aufgaben zu prüfen, stellen Intrusionsfehler dar (vgl. Abschnitt 4.3). Komplexe Gedächtnisspannen-Aufgaben umfassen neben der Behaltensaufgabe (Targets) eine Bearbei-

tungsaufgabe, die primär ein einfaches Rehearsal der Targets unterbinden soll. Unter Intrusionsfehlern versteht man nun in solchen Aufgaben falsche Target-Nennungen der Probanden, die sich aber in der Regel als Material aus vorherigen Target-Sequenzen oder als Material aus den Bearbeitungsaufgaben identifizieren lassen. In diesem Zusammenhang kann geprüft werden, ob die durch die Target-Pool-Variation evozierten proaktiven Interferenzen sich zwar nicht auf die Spannenleistung auswirken, aber evtl. auf das Ausmaß an Intrusionsfehlern. Zur weiteren Differenzierung von Intrusionsfehlern liegen zwar Vorschläge vor (z.B. Chiappe et al., 2000), aufgrund der relativ geringen Gesamtanzahl an Intrusionsfehlern (vgl. Tabelle 15, a) wird an dieser Stelle auf eine differenzierte Auswertung verzichtet.

Analog zur Spannenleistung wird erwartet, dass der unabhängige Target-Pool U mehr Intrusionsfehler verursacht. Weiter wird auch hier erwartet, dass sich eine bedeutsame Interaktion zwischen den Faktoren Target-Pool und Rechnergruppe zeigt. Diese Annahmen werden nur für die komplexe Wortspannen-Aufgabe geprüft. Es ist zu erwarten, dass das

Tabelle 15: Vergleich von Intrusionsfehlern bei gut und schlecht rechnenden Kindern in der komplexen Wortspannen-Aufgabe in Abhängigkeit vom Target-Pool

	schlecht rechnend *M* (*SD*)	gut rechnend *M* (*SD*)		*F*	*p*	η^2
N	16	17				
(a) Analyse der Gesamtanzahl an Intrusionen						
Target-Pool A (abhängig)[1]	4.13 (4.39)	5.06 (4.17)	Haupteffekt Gruppe	0.00	.98	< 0.01
			Haupteffekt Target-Pool	4.61	.04	0.14
Target-Pool U (unabhängig)[2]	6.00 (2.85)	5.00 (4.52)	Interaktion Gruppe x Pool	5.27	.03	0.15
(b) Analyse der relativen Intrusionszahl						
Target-Pool A (abhängig)[1]	0.19 (0.19)	0.26 (0.18)	Haupteffekt Gruppe	0.32	.58	0.01
			Haupteffekt Target-Pool	2.23	.15	0.07
Target-Pool U (unabhängig)[2]	0.25 (0.13)	0.26 (0.22)	Interaktion Gruppe x Pool	2.34	.14	0.07

Anmerkungen. 1) abhängiger Target-Pool mit sich wiederholenden Targets; 2) unabhängiger Target-Pool mit sich nicht wiederholenden Targets.

Ausmaß an Intrusionen nicht unabhängig von der Spannenleistung ist, daher wird neben der absoluten Anzahl von Intrusionen (Intrusionsfehler aus Target-Material, Intrusionsfehler aus Satzmaterial und freie Intrusionen) zusätzlich ein relatives Maß der Intrusionen (Gesamtzahl relativiert am Ausmaß der Falschlösungen) varianzanalytisch ausgewertet.

Tabelle 15 enthält die Ergebnisse der beiden Messwiederholungs-Varianzanalysen. Für die Absolutanzahl an Intrusionsfehlern findet sich eine Interaktion zwischen Target-Pool und Rechnergruppe. Während die gut rechnenden Kinder unter beiden Pool-Varianten ungefähr gleich viele Intrusionen produzieren, steigt bei den schlecht rechnenden Kindern die Anzahl an Intrusionsfehlern in der Bedingung „komplexe Wortspanne mit unabhängigem Target-Pool“ an. Problematisch ist allerdings, dass lediglich der Haupteffekt Pool-Variation signifikant wird, während sich kein Haupteffekt für die Variation „Rechnergruppe“ zeigt. Da die Spannenleistungen der schlecht rechnenden Kinder in dieser Aufgabe grundsätzlich geringer ausfallen bzw. mehr Fehler gemacht werden, ist es im Prinzip nicht überraschend, dass hier auch mehr Intrusionsfehler beobachtbar sind. Die relativierte Intrusionszahl versucht diese Konfundierung zwischen Lösungsgüte und Intrusion aufzufangen, indem die Anzahl der Intrusionen an der Anzahl Falschlösungen relativiert wird (d.h. Intrusion je Falschlösung). Wird dieses Maß genutzt, zeigen sich weder bedeutsame Haupteffekte noch eine bedeutsame Interaktion.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass über die jenseits der Spannenleistung anvisierten Maße keine Hinweise darauf zu finden sind, dass bei schlecht rechnenden Kindern auf „höherer“ kognitiver Ebene Probleme der Hemmung oder Aufmerksamkeitssteuerung beobachtbar sind. Im folgenden Abschnitt wird der Frage nachgegangen, ob sich ggf. auf einer konkreteren Wahrnehmungsebene solche Unterschiede zwischen gut und schlecht rechnenden Kindern finden lassen.

7.3 Aspekte der selektiven Aufmerksamkeit

7.3.1 Fehlreaktionen und Ausreißerkontrolle

Für die Auswertung der Mengenerfassungsaufgaben wurden nur richtig beantwortete Trials berücksichtigt. Von 252 Trials wurden bei den Drittklässlern für durchschnittlich 19.13 Trials (SD=7.28) entweder die falsche Menge genannt oder aber die Reaktionszeit für diesen Trial war aufgrund von Störgeräuschen oder Antwortkorrekturen nicht auswertbar (Reaktions-Missings). In der Gruppe der jüngeren Kinder betrug diese Anzahl fehlender

Daten durchschnittlich 33.41 Trials (SD=13.95). Reaktionszeiten unter einer Grenze von 250 ms (Frühreaktion) sowie oberhalb eines gruppenspezifischen Wertes ($M \pm 2SD$; Früh- bzw. Spätreaktion) blieben in der Auswertung unberücksichtigt. Weitere Transformationen der Reaktionszeit-Rohdaten wurden nicht vorgenommen (vgl. dazu Wilcox, 1998).

Aufgrund von ungünstigen Raten zwischen Fehl- und korrekten Reaktionen wurden 4 der 65 Kinder aus der Analyse ausgeschlossen. Eine erhöhte Rate an verzögerten Reaktionen findet sich bei einem Kind aus der Gruppe der schlecht rechnenden Kinder (28.8%) sowie einem Fall aus der Gruppe der jüngeren Kinder (31.1%, jeweils relativ zu den korrekten Reaktionen). Zwei weitere Fälle aus der Gruppe der jüngeren Kinder wurden ausgeschlossen, da sich bei Ihnen eine zu hohe Rate an fehlenden Daten (Reaktions-Missings) zeigte (38.0% und 27.8%, relativ zu den korrekten Reaktionen).

Tabelle 16 fasst getrennt für die vier Rechnergruppen sowie nach Ausreißerbereinigung die Verteilung der Reaktionsarten in der Mengenerfassungsaufgabe zusammen. Ein Großteil der nicht verwertbaren Trials ging dabei auf Nennungen falscher Mengen (Falschantworten) zurück. Bis auf eine erhöhte Rate von Reaktions-Missings (nicht verwertbare Re-

Tabelle 16: Häufigkeit der Reaktionsarten in der Mengenerfassungsaufgabe, differenziert nach Rechnergruppen

	schlecht rechnend	mittelgut rechnend	gut rechnend	jüngere Kinder	F	p	η^2
N	15	16	16	14			
Falschantworten	16.27 a (6.98)	14.19 a (6.95)	15.81 a (6.96)	19.64 a (8.40)	1.44	.24	0.07
Reaktions-Missings[1]	3.93 a (3.10)	3.75 a (4.04)	4.31 a (4.01)	10.14 b (5.23)	7.97*	< .01	0.30
Frühreaktionen[2]	0.73 a (0.96)	0.75 a (1.06)	0.56 a (1.50)	0.29 a (0.61)	0.56	.64	0.03
Spätreaktionen[3]	7.93 a (7.01)	11.31 a (7.98)	10.31 a (8.85)	7.07 a (5.44)	1.06	.37	0.05
korrekte Reaktionen	223.13 a (8.77)	222.00 a (11.12)	221.00 a (10.42)	214.86 a (13.24)	1.64	.19	0.08

Anmerkungen. Insgesamt wurden 252 Trials durchgeführt; 1) fehlende Reaktionszeitmessungen aufgrund von Störgeräuschen, Antwortkorrekturen oder Auslassungen; 2) Reaktionszeit unter 250 ms oder Reaktionszeit unterhalb von M – 2SD der Gruppe; 3) Reaktionszeit oberhalb von M + 2SD der Gruppe; Mittelwerte mit unterschiedlichen Indizes (a, b) unterscheiden sich mit $p < .05$ statistisch überzufällig.

aktionen aufgrund von Störgeräuschen, Auslassungen oder Antwortkorrekturen) in der Gruppe jüngerer Kinder zeigen sich keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den vier Gruppen.

Tabelle 17 zeigt die korrelativen Zusammenhänge zwischen den Reaktionsarten und der mittleren Reaktionszeit bei der Bearbeitung der Mengenerfassungsdisplays nach Ausreißerbereinigung. Zwischen der Reaktionszeit und der Reaktionsart können differenzielle Korrelationsmuster erwartet werden. So sollte sich idealerweise kein statistisch bedeutsamer (negativer) Zusammenhang zwischen der Reaktionszeit und den Falschantworten zeigen, da dies als Hinweis auf eine verringerte Genauigkeit bei der Mengenerfassung zugunsten einer schnellen Reaktionszeit gewertet werden kann (trade-off-Effekt). Ein solcher Effekt deutet sich aber für die Gruppe der mittelgut rechnenden Kinder an, wobei dieser *trade-off* aber weitgehend auf nur einen Fall zurückgeht (Fallausschluss würde zu einer Korrelation von r=-.32, p=.25 führen). Dieser Fall verblieb aber in der weiteren Analyse, da er die anderen Ausschluss-Kriterien nicht erfüllte (Rate verzögerter Reaktionen: 0.9%, Rate an Reaktions-Missings: 14.2%).

Tabelle 17: Korrelationen zwischen den Reaktionsarten und der Reaktionszeit in der Mengenerfassungsaufgabe, Gesamtgruppe und getrennt nach Rechnergruppen

	N	Falsch-antworten	Reaktions-Missings[1]	Früh-reaktio-nen[2]	Spät-reaktio-nen[3]	korrekte Reaktio-nen
RT Gesamtgruppe	61	-.14	.34*	-.43*	.55*	-.38*
RT schlecht rechnend (SR)	15	-.38	.06	-.51	.88*	-.37
RT mittelgut rechnend (MR)	16	-.54*	.20	-.44	.76*	-.25
RT gut rechnend (GR)	16	-.39	.43	-.62*	.91*	-.59*
RT jüngere Kinder (JR)	14	-.05	-.15	-.40	.77*	-.21

Anmerkungen. * $p<.05$; RT: mittlere Reaktionszeit über alle 252 Mengenerfassungs-Trials; 1) fehlende Reaktionszeitmessungen aufgrund von Störgeräuschen, Antwortkorrekturen oder Auslassungen; 2) Reaktionszeit unter 250 ms oder Reaktionszeit unterhalb von M – 2SD der Gruppe; 3) Reaktionszeit oberhalb von M + 2SD der Gruppe.

Ein negativer Zusammenhang zur Anzahl korrekter Reaktionen ist hingegen vorteilhaft, da dies auf gute eine Motivation sowie Folgeleistung der Instruktion (möglichst schnell und genau die Menge auf dem Display angeben) zurückführbar wäre. Die Zusam-

menhangsmuster für die Früh- und Spätreaktionen könnten auf bestimmte Reaktionstendenzen hindeuten, die aber offenbar in allen vier Gruppen gleichermaßen vorkommen. Die korrelativen Zusammenhänge zu den Frühreaktionen und Reaktions-Missings sind aber schon aufgrund ihrer geringen Häufigkeit ohne Relevanz für die weiteren Analysen.

7.3.2 Differenzierung der Mengenerfassungsprozesse

In der Mengenerfassungsaufgabe wurden die Kinder instruiert, möglichst schnell und genau die auf dem Bildschirm präsentierte Menge an gelben Tannenbäumen zu nennen (vgl. Abbildung 7). Es herrscht große Übereinstimmung in der Literatur, dass für diese Art der Mengenbezifferung grundsätzlich zwei kognitive Prozesse in Betracht kommen. Kleinere Mengen sollten rasch und mit großer objektiver und subjektiver Sicherheit über Subitizing erfasst werden, während für größere Mengen auf Zählprozesse zurückgegriffen werden muss (Mandler & Shebo, 1980, 1982; Svenson & Sjöberg, 1978, 1983b; Trick et al., 1996; Trick & Pylyshyn, 1994; vgl. aber Balakrishnan & Ashby, 1992). Der Wechsel zwischen den beiden Mengenerfassungsprozessen wird in der Regel auf der empirischen Ebene festgemacht. Für die vorliegende Untersuchung wurde auf das Vorgehen von Chi und Klahr (1975) zurückgegriffen und der Prozesswechsel dann angenommen, wenn der Reaktionszeitverlauf konsekutiver Mengen von einem linearen Trend zu einem quadratischen Trend wechselt.

Tabelle 18 zeigt die Ergebnisse der Trendanalysen, gemeinsam über alle vier Rechnergruppen (N=61), aber getrennt für die drei konstruierten Typen von Mengendisplays (Display ohne Distraktoren, Displays mit wenig störenden und Displays mit stark störenden Distraktoren). Ein klarer Wechsel zwischen linearem Trend zu quadratischem und wieder linearem Trend lässt sich lediglich für Mengendisplays ohne Distraktoren erkennen. Hier stellt sich mit Aufnahme der Menge 4 ein quadratischer Trend im Reaktionszeitverlauf ein, aber spätestens nach Ausschluss der Menge 4 verlaufen die Reaktionszeiten wieder linear (vgl. Tabelle 18, a). Dieses Ergebnis repräsentiert den typischen *Subitizing-Effekt* und repliziert die Befunde anderer Untersuchungen in diesem Altersbereich (z.B. Svenson & Sjöberg, 1978), wobei die Menge 4 als *Wendepunkt* bzw. *Wechselmenge* zwischen den beiden Mengenerfassungsprozessen Subitizing und Zählen betrachtet werden kann.

Für Mengendisplays mit Distraktoren kann dieser Befund jedoch nicht bestätigt werden. Werden Mengendisplays mit Distraktoren (unabhängig vom Störpotenzial) präsen-

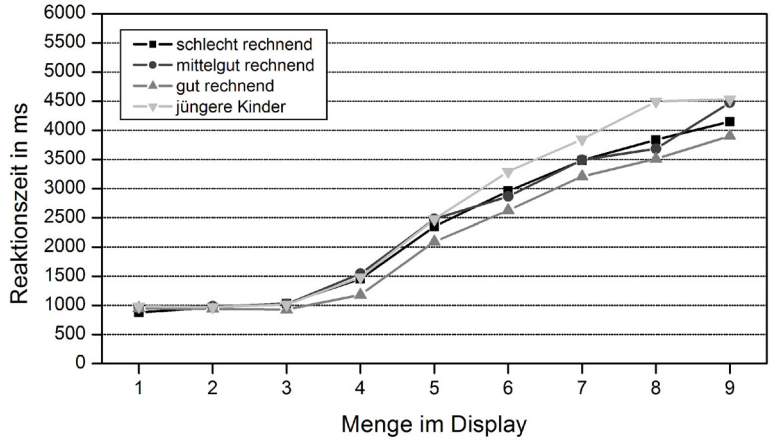
Tabelle 18: Trendanalysen zur Differenzierung unterschiedlicher Mengenerfassungsprozesse in Abhängigkeit vom Distraktortyp

	linearer Trend			quadratischer Trend		
Mengen-Abfolge	*F*	*p*	η²	*F*	*p*	η²
(a) Mengendisplays ohne Distraktoren						
1 - 2 - 3	3.49	.07	0.06	0.04	.85	0.00
2 - 3 - 4	175.39	< .01	0.75	68.09	< .01	0.53
3 - 4 - 5	819.11	< .01	0.93	75.00	< .01	0.56
4 - 5 - 6	584.08	< .01	0.91	21.04	< .01	0.26
5 - 6 - 7	274.64	< .01	0.82	0.00	.96	0.00
6 - 7 - 8	120.33	< .01	0.67	2.93	.09	0.05
7 - 8 - 9	122.63	< .01	0.67	0.04	.85	0.00
(b) Mengendisplays mit wenig störenden Distraktoren						
1 - 2 - 3	150.81	< .01	0.72	22.42	< .01	0.27
2 - 3 - 4	361.31	< .01	0.86	149.86	< .01	0.71
3 - 4 - 5	757.11	< .01	0.93	16.21	< .01	0.21
4 - 5 - 6	834.23	< .01	0.93	5.01	.03	0.08
5 - 6 - 7	489.09	< .01	0.89	0.04	.84	0.00
6 - 7 - 8	240.86	< .01	0.80	10.65	< .01	0.15
7 - 8 - 9	205.02	< .01	0.77	4.13	.05	0.06
(c) Mengendisplays mit stark störenden Distraktoren						
1 - 2 - 3	466.47	< .01	0.89	37.55	< .01	0.38
2 - 3 - 4	399.88	< .01	0.87	33.33	< .01	0.36
3 - 4 - 5	440.48	< .01	0.88	1.42	.24	0.02
4 - 5 - 6	414.15	< .01	0.87	6.29	.01	0.09
5 - 6 - 7	222.40	< .01	0.79	1.13	.29	0.02
6 - 7 - 8	182.14	< .01	0.75	3.15	.08	0.05
7 - 8 - 9	169.08	< .01	0.74	1.70	.20	0.03

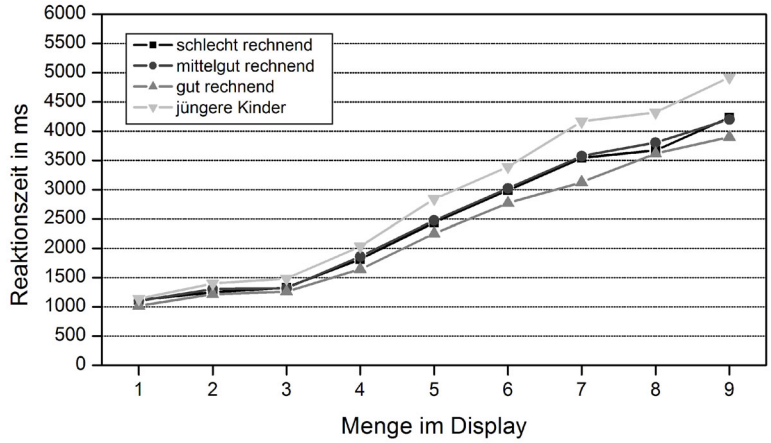
Anmerkungen. N = 61.

tiert, folgen bereits die Reaktionszeiten der kleinen Mengen einem quadratischen Trend, wodurch eine klare Differenzierung zwischen den Prozessen verhindert wird (vgl. Tabelle 18, b, c). Wie aber bereits Trick und Pylyshyn (1994) festgestellt haben, tritt der Subitizing-Effekt eben nicht auf, wenn der Wahrnehmungsprozess für die Mengenerfassung anspruchsvoller wird, wie es hier die Distraktoren bedingen. Abbildung 10 verdeutlicht diesen Befund zusätzlich. Anhand der drei Grafiken lassen sich sehr deutlich die Veränderungen des Reaktionszeitverlaufes in Abhängigkeit vom Vorhandensein und der Komplexität der Distraktoren erkennen. In allen vier Gruppen zeigt sich im Falle stark störender Distraktoren eine nahezu linearer Verlauf (vgl. auch Tabelle 18, c).

(a) Displays ohne Distraktoren



(b) Displays mit wenig störenden Distraktoren



(c) Displays mit stark störenden Distraktoren

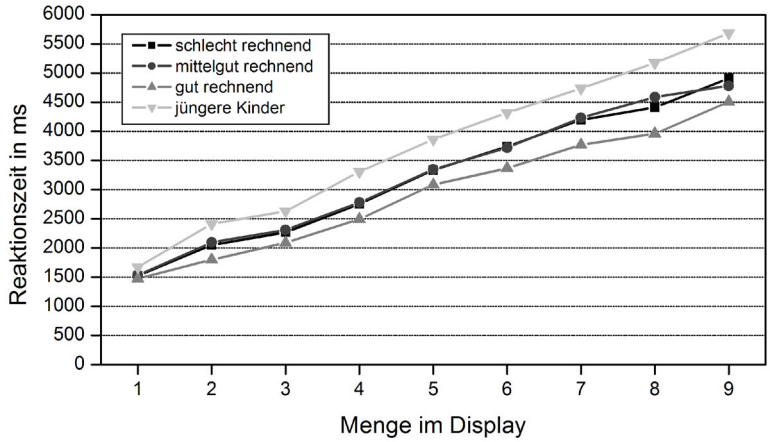


Abbildung 10: Reaktionszeitverlauf der Mengenerfassung in Abhängigkeit von der Distraktorvariation (ohne Distraktoren, mit wenig störenden Distraktoren oder mit stark störenden Distraktoren), getrennt für die vier Rechnergruppen. Unter Distraktoreinfluss und insbesondere bei stark störenden Distraktoren wurde eine Differenzierung zwischen kognitiven Prozessen der Mengenerfassung verhindert. Für die Mengenerfassung ohne Distraktoren ist der *Subitizing-Effekt* (rasche Benennung kleiner Mengen) bei allen vier Gruppen klar erkennbar.

Im Hinblick auf die weiteren Analysen können aus den Ergebnissen folgende Schlussfolgerungen gezogen werden: Für Displays ohne Distraktoren ist es analog zu Chi und Klahr (1975) zulässig, die Reaktionszeiten in den Mengen 1 bis 3 zu den „Subitizingmen-

gen“ und die der Mengen 5 bis 9 zu den „Zählmengen“ zusammenzufassen, wobei die Menge 4 als nicht klar zuordenbarer Wendepunkt unberücksichtigt bleibt. Für Displays mit Distraktoren ist es hingegen nicht sinnvoll, zwischen unterschiedlichen kognitiven Prozessen der Mengenwahrnehmung zu differenzieren. Hier werden die Reaktionszeiten aller Mengen zur Mengenerfassung mit wenig resp. stark störenden Distraktoren zusammengezogen.

7.3.3 Allgemeine Defizithypothese

Geprüft wird, ob zwischen gut rechnenden und schlecht rechnenden Kindern der dritten Klasse Unterschiede in der Mengenerfassungsleistung bestehen. Wie im Abschnitt 7.3.2 festgestellt, lassen sich zwei Prozesse der Mengenerfassung differenzieren. Trotzdem das Phänomen „Subitizing“ bislang ungeklärt ist bzw. einige alternative Erklärungsmodelle vorliegen, wird zuweilen ein defizitärer Subitizingprozess als möglicher zentraler Verursachungsfaktor für die Entwicklung von Rechenschwächen diskutiert (z.B. Landerl et al., 2004). Denkbar ist aber auch, dass Rechenschwierigkeiten mit spezifischen Defiziten der Aufmerksamkeitssteuerung bzw. der selektiven Aufmerksamkeit zusammenhängen, wie es für diese Untersuchung angenommen wird (vgl. hierzu auch Abschnitt 4.3). Ziel ist es daher, unter Nutzung des Mengenerfassungsparadigmas Kinder mit guten und schlechten Rechenleistungen hinsichtlich ihrer selektiven Aufmerksamkeitsleistung zu vergleichen. Wenn es zutrifft, dass die selektive Aufmerksamkeit im Sinne einer Ausrichtung der Aufmerksamkeit eine zentrale Determinante für Rechenleistungen darstellt, dann sollten sich gut und schlecht rechnende Kinder in der Mengenerfassungsleistung unterscheiden, sobald dabei entsprechende Aufmerksamkeitsprozesse zum Tragen kommen. Dies ist dann zu erwarten, wenn für die Mengenerfassung nicht auf Subitizingleistungen zurückgegriffen werden kann, sondern die Mengen zu zählen sind. Aus der Hypothese, dass schlechte Rechenleistungen mit Problemen der selektiven Aufmerksamkeitssteuerung zusammenhängen, kann im Sinne einer psychologischen Vorhersage für den Vergleich zwischen schlecht rechnenden und gut rechnenden Kindern erwartet werden:

- dass sich die Reaktionszeiten schlecht rechnender und gut rechnender Kinder für die Erfassung subitisierbarer Mengen nicht unterscheiden und

- dass schlecht rechnende Kinder bei der Mengenerfassung dann langsamer sind, sobald die zu erfassende Menge einen subitisierbaren Umfang überschreitet und Zählprozesse notwendig werden.

Zur weiteren Auswertung werden die Reaktionszeiten auf die Mengendisplays ohne Distraktoren entweder zu Subitizingmengen (bis zu drei Elementen) oder zu Zählmengen (fünf bis neun Elemente) zusammengefasst. Tabelle 19 enthält die teststatistischen Prüfungen zum Zusammenhang zwischen Rechenleistung und Mengenerfassung. Zwischen den gut rechnenden und schlecht rechnenden Kindern zeigen sich wie erwartet Gruppenunterschiede in der Zählleistung, aber nicht bei der Erfassung subitisierbarer Mengen. Wie im Abschnitt 7.1.1 festgestellt, unterscheiden sich die beiden Gruppen in der über die WLLP (Küspert & Schneider, 1998) erfassten Leseleistung. Werden diese Unterschiede als Kontrollvariable regressionsanalytisch miteinbezogen, lassen sich die Unterschiede in den Reaktionszeiten bei Zählmengen weitgehend aufklären (vgl. Tabelle 19, b).

Tabelle 19: Mengenerfassungsprozesse ohne Distraktoreinfluss bei schlecht rechnenden und gut rechnenden Kindern

	schlecht rechnend *M* (*SD*)	gut rechnend *M* (*SD*)	SH		*t*	*p*	d	Annahme SH?
N	15	16						
(a) Gruppenvergleiche über Mengenerfassungsprozesse								
Subitizingmengen	960.47 (148.43)	940.46 (163.73)	$[\mu_{SR} - \mu_{GR} = 0]$	H_0	0.36	.72	0.13	ja
Zählmengen	3354.51 (373.89)	3067.69 (369.88)	$\wedge$ $[\mu_{SR} - \mu_{GR} > 0]$	H_1	2.15	.02	0.77	ja
(b) Gruppenvergleiche unter Einbezug der Leseleistung (WLLP) als Kovariate								
Subitizingmengen | WLLP[1]	0.01 (0.97)	-0.01 (1.03)	$[\mu_{SR} - \mu_{GR} = 0]$	H_0	0.08	.94	0.03	ja
Zählmengen | WLLP[1]	0.13 (1.12)	-0.12 (0.86)	$\wedge$ $[\mu_{SR} - \mu_{GR} > 0]$	H_1	0.70	.24	0.26	nein

Anmerkungen. SH: statistische Hypothese; μ_{GR}: Erwartungswert der gut rechnenden Kinder; μ_{SR}: Erwartungswert der schlecht rechnenden Kinder; *p*-Werte werden in Abhängigkeit von der Gerichtetheit der SHn als ein- oder zweiseitige Werte angegeben; Subitizingmengen: mittlere Reaktionszeit für Mengendisplays im Umfang von einem bis drei Elementen; Zählmengen: mittlere Reaktionszeit für Mengendisplays im Umfang von fünf bis neun Elementen; 1) Kovariate: Rohwertleistung in der Würzburger Leise-Lese-Probe.

Zwischen den gut und schlecht rechnenden Kindern finden sich Unterschiede in der Mengenerfassung, wenn aufmerksamkeitsfordernde Zählleistungen notwendig werden. Diese Unterschiede haben allerdings keinen Bestand, wenn die Unterschiede in der Leseleistung bzw. Dekodiergeschwindigkeit kontrolliert werden. Insgesamt stellt dies jedoch nur eine schwache Prüfung einer Bedingungshypothese selektiver Aufmerksamkeitsunterschiede dar, da Zählleistungen als kognitiver Prozess über Prozesse der selektiven Aufmerksamkeitssteuerung hinausgehen. Eine strengere Prüfung dieser Hypothese liegt vor, wenn die Mengenerfassung unter Distraktoreinfluss erfolgt. Im Rahmen dieser Studie wurde ein Teil der Mengendisplays mit Distraktoren angereichert sowie das Störpotenzial der Distraktoren (wenig störend und stark störend) variiert. Wie Tabelle 18 zeigt, ist es für die Mengenerfassungsleistung unter Distraktoreinfluss nicht sinnvoll, zwischen den Prozessen Zählen und Subitizing zu differenzieren. Folgende psychologische Vorhersagen können getroffen werden:

- die Mengenerfassungsleistung der gut rechnenden und schlecht rechnenden Kinder wird in Abhängigkeit vom Störpotenzial der Distraktoren beeinträchtigt und
- schlecht rechnende Kinder werden stärker beeinträchtigt.

Tabelle 20 fasst die Ergebnisse zum Gruppenvergleich schlecht und gut rechnender Kinder für ihre Mengenerfassungsleistung unter Distraktoreinfluss zusammen. Voraussetzung für eine Prüfung der Interaktion zwischen Rechnergruppe und Störpotenzial der Distraktoren ist es, dass sich in beiden Gruppen eine Reaktionsverlangsamung in Abhängigkeit vom Störpotenzial der Distraktoren zeigt. Tatsächlich wird in beiden Gruppen eine Zunahme der Reaktionszeit erkennbar, wenn die Displays stark störende Distraktoren enthalten (vgl. dazu Tabelle 20, a). Der Interaktionskontrast, der hier über regressionsanalytisch adjustierte Reaktionszeiten für Displays mit stark störenden Distraktoren erfolgt, zeigt dass die Leistungseinbußen der schlecht rechnenden Kinder über denen der gut rechnenden Kinder liegen. Selbst wenn die Leseleistung oder die generelle Mengenerfassungsleistung (Mengenerfassung ohne Distraktoren) als weitere Kovariaten berücksichtigt werden, bleibt der Interaktionseffekt zwischen Rechnergruppe und Distraktortyp erhalten (vgl. dazu Tabelle 20, b; Notabene: Die Auswertung kann auch mittels Messwiederholungs-Varianzanalyse erfolgen. Für die Interaktion resultiert folgende Teststatistik: $F(1,29) = 6.59$, $p = .02$, $\eta^2 = 0.19$ bzw. mit Berücksichtigung der Kovariaten: $F(1,27) = 3.80$, $p = .06$, $\eta^2 = 0.12$).

Dieses Ergebnis belegt deutlich, dass schlecht rechnende Kinder im Vergleich zu gut rechnenden Kindern größere Probleme haben, störende Distraktoren zu unterdrücken. Da der Umgang mit bzw. das Ignorieren von Distraktoren als Teilfacette der selektiven Aufmerksamkeit verstanden werden kann, scheinen sich die Probleme der schlecht rechnenden Kinder in diesem Bereich anzusiedeln. Hinweise auf einen gestörten Subitizingprozess (vgl. Abschnitt 4.1) finden sich nicht.

Tabelle 20: Rechenleistung und Mengenerfassung unter Distraktoreinfluss bei schlecht rechnenden und gut rechnenden Kindern

	M (*SD*)	*M* (*SD*)	SH		*t*	*p*	d	Annahme SH?
(a) Vergleiche innerhalb der Rechnergruppen (Intragruppenkontraste)								
	ME Distraktortyp stark störend (sD)	wenig störend (wD)						
schlecht rechnend (SR)	3219.07 (377.85)	2435.15 (288.37)	$[\mu_{sD} - \mu_{wD} > 0]$	H_1	15.18	$<.01$	2.35	ja
gut rechnend (GR)	2902.29 (303.25)	2279.20 (264.20)	$\wedge$ $[\mu_{sD} - \mu_{wD} > 0]$	H_1	17.02	$<.01$	2.20	ja
(b) Vergleiche zwischen den Rechnergruppen (Interaktionskontraste)								
	stark störend (sD)	wenig störend (wD)						
sD | wD[1]	71.71 (197.13)	-67.23 (150.77)	$[\mu_{SR} - \mu_{GR} > 0]$	H_1	2.21	.02	0.80	ja
sD | (wD, WLLP)[1,2]	56.32 (192.24)	-52.80 (159.18)	$\vee$ $[\mu_{SR} - \mu_{GR} > 0]$	H_1	1.73	.05	0.62	ja
sD | (wD, WLLP, ME)[1,2,3]	58.70 (186.14)	-55.03 (163.54)	$\vee$ $[\mu_{SR} - \mu_{GR} > 0]$	H_1	1.81	.04	0.65	ja

Anmerkungen. SR: Gruppe der schlecht rechnenden Kinder, N=15; GR: Gruppe der gut rechnenden Kinder, N=16; ME: Reaktionszeiten in Mengenerfassungsaufgabe; sD: mittlere Reaktionszeit für Mengendisplays mit stark störenden Distraktoren; wD: mittlere Reaktionszeit für Mengendisplays mit wenig störenden Distraktoren; SH: statistische Hypothese; μ_{sD}: Erwartungswert der stark störenden Distraktoren; μ_{wD}: Erwartungswert der wenig störenden Distraktoren; μ_{SR}: Erwartungswert der schlecht rechnenden Kinder; μ_{GR}: Erwartungswert der gut rechnenden Kinder; *p*-Werte entsprechen einseitiger Testung; 1) mittlere Reaktionszeit in Displays mit wenig störenden Distraktoren als Kovariate (wD); 2) Rohwertleistung in der Würzburger Leise-Lese-Probe (WLLP) als Kovariate; 3) mittlere Reaktionszeit für Mengendisplays ohne Distraktoren (ME) als Kovariate.

7.3.4 Differenzielle Defizithypothese

Analog zur Prüfung differenzieller Defizite in den Arbeitsgedächtnisleistungen (vgl. Abschnitt 7.2.2) wird auch für die Mengenerfassungsleistung resp. die selektiven Aufmerksamkeitsleistungen der Extremgruppenvergleich zwischen schlecht rechnenden und gut rechnenden Kindern um die Gruppe der durchschnittlich bzw. mittelgut rechnenden Kinder ergänzt. Als psychologische Hypothese wird angenommen, dass Leistungsunterschiede in der Mengenerfassung auf Leistungsdefizite bzw. Defizite der selektiven Aufmerksamkeitssteuerung der schlecht rechnenden Kinder zurückgehen. Für den Vergleich der drei Gruppen untereinander wird erwartet,

- dass sich die drei Gruppen in ihren Subitizingleistungen nicht unterscheiden,
- dass sich für die Leistungen bei Zählmengen mindestens eine Reaktionszeitverringerung von den schlecht rechnenden zu den mittelgut rechnenden Kindern zeigt, wenn nicht sogar eine lineare Verringerung über alle drei Rechnergruppen hinweg und
- dass sich für die Mengenerfassung unter Distraktoreinfluss (Reaktionszeiten für Displays mit stark störenden Distraktoren, regressionsanalytisch um den Einfluss der Reaktionszeiten für Displays mit wenig störenden Distraktoren bereinigt) ebenfalls mindestens eine Reaktionszeitverringerung von den schlecht rechnenden zu den mittelgut rechnenden Kindern zeigt, wenn nicht sogar eine lineare Verringerung über alle drei Rechnergruppen hinweg erkennbar werden sollte.

Abbildung 11 zeigt den Verlauf der mittleren Reaktionszeiten getrennt für die drei

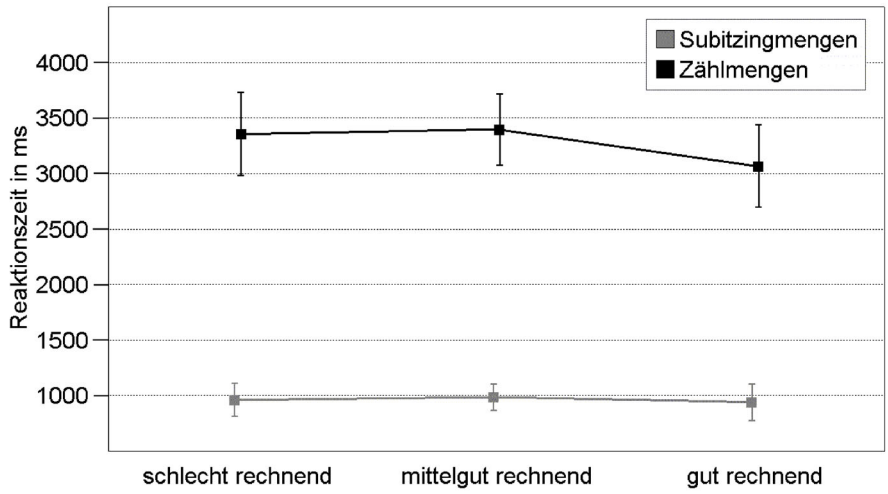


Abbildung 11: Grafischer Vergleich der Mengenerfassungsleistungen ohne Distraktoren zwischen schlecht, mittelgut und gut rechnenden Kindern

Rechnergruppen der dritten Klassen. Erkennbar ist, dass sich kaum Leistungsveränderungen in den Reaktionszeiten für die Subitizingmengen zeigen. Für die Zählmengen zeigt sich zwischen den schlecht rechnenden und den mittelgut rechnenden Kindern ein minimaler Anstieg der Reaktionszeit, während von der Gruppe der mittelgut rechnenden Kinder zur Gruppe der gut rechnenden Kinder hin ein deutlicher Reaktionszeitabfall erkennbar wird.

Die teststatistischen Auswertungen in Tabelle 21 zeigen deutlich, dass sich die Gruppe der mittelgut rechnenden Kinder nicht von der Gruppe schlecht oder gut rechnender Kinder unterscheidet, solange die zu erfassenden Mengen im subitisierbaren Bereich liegen. Schlecht rechnende Kinder und mittelgut rechnende Kinder unterscheiden sich aber auch nicht bedeutsam, wenn die Mengen einen subitisierbaren Bereich überschreiten und Zählprozesse notwendig werden. Selbst im Ausmaß der Leistungsbeeinträchtigung durch die Darbietung von Distraktoren unterscheiden sich die beiden Gruppen nicht überzufällig.

Tabelle 21: Mengenerfassungsleistungen bei schlecht, mittelgut und gut rechnenden Kindern

	schlecht rechnend *M* (*SD*)	mittelgut rechnend *M* (*SD*)	gut rechnend *M* (*SD*)		SH		*t*	*p*	d	Annahme SH?
N	15	16	16							
(a) Subitizingmengen										
	960.47	985.46	940.46		$[\mu_{SR} - \mu_{MR} = 0]$	H_0	-0.52	.61	-0.19	ja
	(148.43)	(119.00)	(163.73)	$\wedge$	$[\mu_{MR} - \mu_{GR} = 0]$	H_0	0.89	.38	0.32	ja
(b) Zählmengen										
	3354.51	3398.29	3067.69		$[\mu_{SR} - \mu_{MR} > 0]$	H_1	-0.35	.36	-0.13	nein
	(373.89)	(320.52)	(369.88)	$\wedge$	$[\mu_{MR} - \mu_{GR} > 0]$	H_1	2.70	$<.01$	0.96	ja
(c) Residuen der Mengenerfassung in Displays mit stark störenden Distraktoren[1]										
	0.27	0.20	-0.46		$[\mu_{SR} - \mu_{MR} > 0]$	H_1	0.19	.43	0.07	nein
	(1.00)	(1.08)	(0.75)	$\wedge$	$[\mu_{MR} - \mu_{GR} > 0]$	H_1	2.03	.03	0.73	ja

Anmerkungen. SH: statistische Hypothese; μ_{GR}: Erwartungswert der gut rechnenden Kinder; μ_{MR}: Erwartungswert der mittelgut rechnenden Kinder; μ_{SR}: Erwartungswert der schlecht rechnenden Kinder; *p*-Werte werden in Abhängigkeit von der Gerichtetheit der SHn als ein- oder zweiseitige Werte angegeben; Subitizingmengen: mittlere Reaktionszeit für Mengendisplays im Umfang von einem bis drei Elementen; Zählmengen: mittlere Reaktionszeit für Mengendisplays im Umfang von fünf bis neun Elementen; 1) mittlere Reaktionszeit in Displays mit wenig störenden Distraktoren als Kovariate.

Ein anderes Bild ergibt sich, wenn die mittelgut rechnenden Kinder mit den gut rechnenden Kindern verglichen werden. Die Leistung der gut rechnenden Kinder in den Zählmengen sowie bei Darbietung von Distraktordisplays ist signifikant besser als die Leistung der mittelgut rechnenden Kinder.

Somit kann nur über einen Teil der psychologischen Vorhersagen positiv entschieden werden. Insgesamt lässt sich aus diesen Ergebnissen schlussfolgern, dass die Leistungsunterschiede zwischen schlecht rechnenden und den gut rechnenden Kindern in den Zählmengen sowie in der stärker selektive Aufmerksamkeitsprozesse berührenden Mengenerfassung unter Distraktoreinfluss eher auf einen Leistungsvorteil der gut rechnenden Kinder zurückzuführen ist.

7.3.5 Strukturelle Defizithypothese

Analog zur Betrachtung der Arbeitsgedächtnisleistungen (vgl. Abschnitt 7.2.3) kann auch für die Leistungsunterschiede in der Mengenerfassung und der hierüber konstruierten selektiven Aufmerksamkeitsleistung unter Einbezug einer leistungsangepassten Vergleichsgruppe jüngeren Alters geprüft werden, ob eine Strukturdifferenz oder eine Entwicklungsverzögerung vorliegt.

Im Sinne einer strukturellen Defizithypothese sind die Probleme schlecht rechnender Kinder ursächlich in einer Strukturdifferenz begründet. Dementsprechend kann für den Vergleich zwischen schlecht rechnenden Kindern und jüngeren Kindern erwartet werden,

- dass sich die Leistungen schlecht rechnender Kinder und jüngerer Kinder in der Mengenerfassung unterscheiden, wenn ein subitisierbarer Umfang überschritten wird und
- dass sich keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der Mengenerfassungsleistung über Subitizingprozesse zeigen.
- Ergänzend hierzu sollen sich schlecht rechnende Kinder und leistungsangepasste jüngere Kinder in ihrer Mengenerfassungsleistung unterscheiden, wenn die Aufgabe durch Nutzung von Distraktoren stärker selektive Aufmerksamkeitsprozesse erfordert.

Tabelle 22 zeigt die Ergebnisse der teststatistischen Auswertung. Tatsächlich zeigen sich keine überzufälligen Unterschiede in den mittleren Reaktionszeiten zur Bezifferung subitisierbarer Mengen. Ein Unterschied ist aber feststellbar, wenn Zählprozesse zur Mengenerfassung notwendig werden, hier sind die schlecht rechnenden Kinder im Vorteil. Die-

Tabelle 22: Prüfung der Strukturdifferenz-Hypothese für Mengenerfassungsleistungen und Leistungen der selektiven Aufmerksamkeit

	schlecht rechnend *M* (*SD*)	jüngere Kinder *M* (*SD*)		SH		*t*	*p*	d	Annahme SH?
N	15	14							
(a) Gruppenvergleiche über Mengenerfassungsprozesse									
Subitizingmengen	960.47 (148.43)	988.28 (113.90)		$[\mu_{SR} - \mu_{JR} = 0]$	H_0	-0.07	.95	-0.02	ja
Zählmengen	3354.51 (373.89)	3727.59 (433.66)	$\wedge$	$[\mu_{SR} - \mu_{JR} \neq 0]$	H_1	-2.34	.03	-0.87	ja
ME stark störende Distr. | wenig st. D.[1]	-0.03 (1.05)	0.03 (0.94)		$[\mu_{SR} - \mu_{JR} \neq 0]$	H_1	-0.15	.89	-0.05	nein
(b) Gruppenvergleiche unter Einbezug der Maße zur kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit als Kovariaten									
Subitizingmengen | Speed[2]	0.13 (1.17)	-0.14 (0.64)		$[\mu_{SR} - \mu_{JR} \neq 0]$	H_1	0.79	.44	0.30	nein
Zählmengen | Speed[2]	-0.02 (0.93)	0.02 (0.99)	$\wedge$	$[\mu_{SR} - \mu_{JR} \neq 0]$	H_1	-0.13	.90	-0.05	nein
ME stark störende Distr. | wenig st. D.[1,2]	-0.06 (1.07)	0.07 (0.78)		$[\mu_{SR} - \mu_{JR} \neq 0]$	H_1	-0.39	.70	-0.14	nein

Anmerkungen. * $p < .05$; SH: statistische Hypothese; μ_{SR}: Erwartungswert der schlecht rechnenden Kinder; μ_{JR}: Erwartungswert der jüngeren Kinder; *p*-Werte werden in Abhängigkeit von der Gerichtetheit der SHn als ein- oder zweiseitige Werte angegeben; Subitizingmengen: mittlere Reaktionszeit für Mengendisplays im Umfang von einem bis drei Elementen; Zählmengen: mittlere Reaktionszeit für Mengendisplays im Umfang von fünf bis neun Elementen; 1) Residuen der mittleren Reaktionszeit für Mengendisplays mit stark störenden Distraktoren (Kovariate: mittlere Reaktionszeit für Mengendisplays mit wenig störenden Distraktoren); 2) Kovariaten: Maße der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit (Ziffern-Speed, einfache und komplexe Trails).

ser Vorteil wird aber egalisiert, sobald man die altersbedingten Unterschiede in der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit regressionsanalytisch kontrolliert. Kein Gruppenunterschied zeigt sich für die Mengenerfassungsvariante unter Einbezug von Distraktoren, welche deutlicher als die Mengenerfassung bei Zählmengen auf Leistungen der selektiven Aufmerksamkeit abzielt.

Zusammengefasst bieten die Ergebnisse keinen Hinweis darauf, dass die Leistungsnachteile der schlecht rechnenden Kinder auf eine Strukturdifferenz zurückgehen. Viel-

mehr deutet es sich an, dass im Bereich der Mengenerfassung und speziell bei den hiermit verbundenen Prozessen der selektiven Aufmerksamkeit mit einer Entwicklungsverzögerung zu rechnen ist.

8. Diskussion und Ausblick

Rechenschwierigkeiten und Rechenschwächen sind in der Primarstufe kein seltenes Phänomen (z.B. Hasselhorn & Schuchardt, 2006). Über die letzten zehn Jahre hinweg finden sich zahlreiche Studien und Untersuchungen, die sich mit der Frage befassen, welches die möglichen Ursachen für schlechte Rechenleistungen sein könnten (zusammengefasst bei Swanson & Jerman, 2006). Von großer Bedeutung scheinen dabei die im vorschulischen Zeitraum ausgebildeten numerischen Fähigkeiten zu sein, auf deren Basis in der Primarstufenzeit Bestandteile mathematischen Wissens aufgebaut werden, wie z.B. Konzepte, Strategien und Fakten der Arithmetik (z.B. Grube, 2006; Krajewski, 2003). Neben diesen bereichsspezifischen Kompetenzen wird auch über die Relevanz affektiver, motivationaler und kognitiver Aspekte diskutiert (vgl. Kaufmann & Nuerk, 2005). Die Befundlage hierzu ist aber keineswegs einheitlich, so dass diese Bereiche weiterhin einer eingehenden Betrachtung bedürfen. Denn sollten sich diese bereichsunspezifischen kognitiven Leistungs- und Ausstattungsmerkmale als spezifisch relevant für die schulische Rechenleistung erweisen, sind auch entsprechende Interventionen auf sie abzustellen bzw. sind diese Bereiche bei schulischen und außerschulischen Fördermaßnahmen zu berücksichtigen.

Auf Basis der vorliegenden Forschungsbefunde wurden für die hier vorgestellte Studie zwei als relevant erachtete kognitive Leistungsbereiche ausgewählt und auf ihre Bedeutung für Rechenleistungen in der Primarstufe hin überprüft (vgl. zur Angemessenheit der gewählten Konstrukte Bull & Scerif, 2001; Swanson & Jerman, 2006). Bei diesen beiden Bereichen handelt es sich zum einen um das Arbeitsgedächtnis und zum anderen um Aufmerksamkeitsfunktionen. Das *Arbeitsgedächtnis* ist als zentrale kognitive Instanz an allen bewusst ablaufenden Verarbeitungs- und Speicherprozessen beteiligt. So erlaubt das weit verbreitete Mehrkomponentenmodell von Baddeley (1986, 2000a) die differenzierte Betrachtung unterschiedlicher Funktionsbereiche im Arbeitsgedächtnis. Diese Differenzierung hat sich im Rahmen entwicklungspsychologischer und pädagogisch-psychologischer Forschungsfragen als außerordentlich fruchtbar erwiesen. Nun kann zwar das *Aufmerksamkeitskonzept* hierbei auch als Teilfunktion des Arbeitsgedächtnisses betrachtet werden (z.B. Cowan et al., 2005), die Komplexität von Aufmerksamkeitsleistungen rechtfertigt aber durch-

aus auch eine proprietäre Betrachtung. Während Untersuchungen zum Arbeitsgedächtnis häufig auf die Effektivität des kognitiven Systems abzielen, betrachten Fragen zur Aufmerksamkeit eher die Systemeffizienz. Effizienz und Effektivität sind indes nicht getrennt voneinander zu betrachten, sondern über den Leistungs-Output miteinander verbunden.

Im Folgenden werden vorab die mit dieser Studie verbundenen Einschränkungen und Grenzen diskutiert. Anschließend erfolgt eine Zusammenfassung und Einordnung der Befunde sowie Überlegungen zur Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse für den praktischen Umgang mit Kindern, die unter Rechenschwierigkeiten leiden.

8.1 Betrachtung der Variablen-Operationalisierung

Die vorliegende Studie prüft Hypothesen zu Arbeitsgedächtnis- und Aufmerksamkeitsmerkmalen über Leistungsvergleiche zwischen unterschiedlichen Rechnergruppen. Zur Identifikation dieser Gruppen wurden eine Reihe von Testverfahren und Variablen erhoben, deren Eignung im Nachhinein zum Teil als *bedingt optimal* einzuschätzen ist. Bevor die Befunde der Studie zusammenfassend diskutiert werden, wird in diesem Abschnitt kurz auf die Probleme der Gruppendifferenzierung, auf präexperimentelle Unterschiede zwischen den Gruppen sowie die damit verbundenen Einschränkungen der Untersuchung eingegangen.

Die in dieser Untersuchung vorgenommene Operationalisierung „Rechnergruppe“ bedarf einer eingehenden Betrachtung. Zur Klassifikation der Kinder wurde ein zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht-normiertes Testverfahren zum arithmetischen Faktenwissen eingesetzt (DIRG-BM, Grube et al., in Vorb.). In der einschlägigen Literatur ist gut belegt, dass rechenschwache Kinder erhebliche Probleme bei der Bearbeitung solcher Aufgaben haben, insbesondere wenn die Bearbeitung unter Zeitdruck erfolgt, wie es hier der Fall war (Jordan & Montani, 1997; Roick & Hasselhorn, 2005). Durch die in der Studie angelegten Selektionskriterien ist es zwar gelungen, Kinder mit unterschiedlichen Rechenleistungen zu identifizieren, aber der ca. sechs Monate später erhobene DEMAT 3+ (Roick et al., 2004) zeigt, dass selbst die Leistungen der als „schlecht rechnend“ klassifizierten Kinder als annähernd durchschnittlich zu betrachten sind. Somit ist die gefundene Gruppendifferenzierung zwischen schlecht rechnenden und gut rechnenden Kindern zeitstabil über den Zeitraum von sechs Monaten, denn über den DEMAT 3+ (Roick et al., 2004) sowie dem zusätzlich durchgeführten Kettenrechner 3-4 (Roick et al., in Vorb.) können zumindest die extremen

Rechnergruppen aus den 3. Klassen leistungsmäßig statistisch bedeutsam voneinander unterschieden werden, aber die *Gruppe der schlecht rechnenden Kinder* ist keinesfalls als *Gruppe rechenschwacher Kinder* im Sinne der üblichen Diagnosekriterien (vgl. Abschnitt 3.1) zu verstehen. Selbst unter Berücksichtigung der berichteten Fluktuationen diagnostizierter Leistungsprobleme im Rechnen (vgl. Geary et al., 1999; Mazzocco & Myers, 2003) ist eine Übertragbarkeit der Befunde auf den Bereich der Rechenschwäche oder Rechenstörung unter Umständen nicht gewährleistet.

Ein Teil der untersuchten Stichprobe rekrutierte sich aus jüngeren Kindern der 2. Klassenstufe. Diese Kinder wurden so ausgewählt, dass sie von ihrem Leistungsvermögen den Leistungen der schlecht rechnenden Kinder entsprachen. Die als Kontrollvariable erhobene Intelligenz weist für die jüngeren Kinder höhere IQ-Werte aus, was die Vergleichbarkeit der Rechnergruppen in Frage stellt. Tatsächlich muss aber auch berücksichtigt werden, dass von allen schulischen Leistungen das Rechnen am höchsten mit der allgemeinen Intelligenz kovariiert (vgl. z.B. Gustafsson & Balke, 1993; Tiedemann & Billmann-Mahecha, 2004). Die jüngeren Vergleichskinder sollten leistungsmäßig den schlechten Rechnern der dritten Klasse entsprechen. Zum Zeitpunkt der Gruppenauswahl bedeutete dies für die Zweitklässler, dass nur Kinder mit sehr guten Rechenleistungen einbezogen werden konnten. Durch die hohe Korrelation zwischen Rechenleistung und Intelligenz ist demzufolge schon aus statistischen Gründen kaum vermeidbar, dass die Gruppe der jüngeren Kinder über eine höhere Intelligenzausprägung verfügt. Selbstverständlich hätte eine Alternative darin bestanden, die Vergleichsgruppe jüngerer Kinder aus einer Gruppe mit geringer Altersdifferenz zu wählen.

Für alle an der Untersuchung teilnehmenden Kinder war vorgesehen, dass sie mindestens eine durchschnittliche Leseleistung aufweisen sollten. Zur Feststellung der Leseleistung wurde aus zeitökonomischen Gründen die Würzburger Leise-Lese-Probe (WLLP, Küspert & Schneider, 1998) eingesetzt. Für die kriteriumsbezogene Validität der WLLP werden Zusammenhänge mit anderen Testverfahren zur Erfassung der Leseleistung sowie einer Beurteilung durch die Lehrkräfte im Bereich von ca. .50 bis .80 sowie zur Deutschnote um .45 berichtet (Küspert & Schneider, 1998, S. 20-21). Insgesamt wird die empirische Validität als befriedigend bewertet (Brünken, 2002, S. 394). Als Testverfahren erfasst die WLLP die Leseleistung indirekt über die Dekodiergeschwindigkeit, bei genauerer Betrachtung stellt sich aber die Frage, was das für die hier betrachteten Leistungsbereiche Arbeitsgedächtnis

und Aufmerksamkeit bedeutet. Eine Analyse der Leistungsanforderungen in der WLLP lässt vermuten, dass für das Lesen eines Wortes und des Wiedererkennen des dazugehörigen Bildes auch Fertigkeiten der Aufgabenkoordination eine gewichtige Rolle spielen dürften. Möglicherweise gewinnen diese Fertigkeiten im Bereich der durchschnittlichen und überdurchschnittlichen WLLP-Leistung zusehends an Bedeutung, so dass folglich die Nutzung der WLLP als Kovariate weniger die Leseleistung misst, als vielmehr eine vermutlich zentralexekutiv verortete Fähigkeit zur Aufgabenkoordination. Die Frage indes, inwieweit Arbeitsgedächtnisfunktionen in der WLLP eine leistungsbeeinflussende Rolle spielt, ist bislang ungeklärt. Für die hier untersuchten Drittklässler zeigt sich zumindest eine substanzielle Korrelation von $r = .52$ ($p < .01$) zwischen dem Rohwert in der WLLP und einem funktionalem Maß der Zentralen Exekutive (komplexe Wortspannen-Aufgabe). Um den präexperimentellen Gruppenunterschieden aber gerecht zu werden, wurde die WLLP-Leistung in einigen Vergleichen als Kovariate berücksichtigt.

Die Operationalisierung der Arbeitsgedächtnismaße scheint an einigen Stellen problematisch für die hier betrachtete Altersgruppe. So zeigt sich für die Leistungen in der komplexen Wortspanne ein Bodeneffekt in der Gruppe der schlecht rechnenden Kinder sowie bei den jüngeren Kindern. Grundsätzlich kann erwartet werden, dass in der hier betrachteten Altersgruppe die Zentrale Exekutive als Entität bereits ausgebildet und somit prinzipiell auch erfassbar ist (Gathercole, 1998; Gathercole, Pickering, Ambridge et al., 2004; Vuontela et al., 2003). Warum dies in der vorliegenden Studie nur zum Teil gelang, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden. Aus Perspektive der Aufgabenkonstruktion kann natürlich die Frage gestellt werden, wie die Schwierigkeit der komplexen Wortspannen-Aufgabe so moduliert werden kann, dass die Leistungen der Drittklässler auch hinreichend gut differenziert werden. Bezüglich der Minimalspanne wurde bereits auf die kleinste mögliche Spanne zurückgegriffen (2er Spanne). Möglich wäre es aber noch, die Anzahl an Trials je Spannenlänge zu erhöhen und dafür auf höhere Spannen zu verzichten. Andere Alternativen, wie die Verwendung einer altersgerechteren, nicht-sprachlichen komplexen Spannenaufgabe (z.B. Schmid et al., im Druck), dürften aufgrund der diskutierten Relevanz komplexer Spannenaufgaben verbalen Materials (vgl. Swanson & Jerman, 2006) weniger sinnvoll sein.

Für die folgende Betrachtung der Befunde gilt es, diese aus der Operationalisierung der interessierenden Variablen heraus entstandenen Probleme zu berücksichtigen.

8.2 Zusammenfassung der Befunde

In der vorliegenden Studie wurden zwei zentrale Hypothesen zu den Determinanten unterschiedlicher Rechenleistungen in der Schule überprüft. Zusammengenommen postulieren diese Hypothesen, dass Leistungsprobleme im Rechnen auf spezifische Funktionsdefizite des Arbeitsgedächtnisses und/oder auf Defizite der selektiven Aufmerksamkeitsleistung zurückführbar sind. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden diese Leistungsbereiche zwischen Gruppen mit unterschiedlichen Rechenleistungen verglichen, d.h. zum einen wurde eine Reihe ausgewählter Arbeitsgedächtnisfunktionen analysiert, zum anderen wurden anhand des Mengenerfassungsparadigmas Prozesse der selektiven Aufmerksamkeit untersucht. Die Beurteilung beider Hypothesen erfolgte jeweils auf drei Ebenen: als allgemeine, differenzielle und strukturelle Defizithypothese. Die *allgemeine Defizithypothese* vergleicht die Leistungen schlecht und gut rechnender Kinder mit dem Ziel, im Extremgruppenvergleich durch Effektmaximierung relevante Leistungsunterschiede aufzudecken. Die *differenzielle Defizithypothese* zieht in diesen Vergleich als dritte Gruppe die mittelgut rechnenden Kinder ein. Der Einbezug dieser zusätzlichen Vergleichsgruppe bietet Erkenntnisse darüber, ob es sich bei festgestellten Leistungsunterschieden im Rahmen der allgemeinen Defizithypothese um Funktionsdefizite der schlecht rechnenden Kinder oder Leistungsstärken der gut rechnenden Kinder handelt. Im Rahmen der *strukturellen Defizithypothese* werden die Leistungen einer Gruppe jüngerer, leistungsangepasster Kinder als weiterer Vergleich hinzugezogen. Dies soll Aufschluss darüber geben, ob etwaige Leistungsnachteile der schlecht rechnenden Kinder auf eine Entwicklungsverzögerung oder ein strukturelles Defizit zurückführbar sind.

„Was ist defizitär?" Befunde der allgemeinen Defizithypothesen

Für die Arbeitsgedächtnisleistungen finden sich Unterschiede zwischen gut rechnenden und schlecht rechnenden Kindern in den Funktionsbereichen der Zentralen Exekutive und im visuell-räumlichen Subsystem. Berücksichtigt man hier allerdings die Unterschiede in der Leseleistung, kann lediglich noch in der Corsi-Block-Spanne ein bedeutsamer Gruppenunterschied verzeichnet werden, allerdings auch hier mit reduzierter Effektgröße. Dies bedeutet, dass zwischen den beiden Gruppen im Arbeitsgedächtnisbereich ein Funktionsunterschied im Visuell-räumlichen Skizzenblock vorliegt, nicht jedoch in der Zentralen Exekutive. Als Erklärung für diesen Befund, der von denen in der Literatur berichteten Ergebnissen abweicht (vgl. Abschnitt 4.2.3), bieten sich drei Möglichkeiten an: Zum einen

ist es möglich, dass durch die Blockparallelisierung der Kinder hinsichtlich der Intelligenzleistung bereits arbeitsgedächtnisbezogene Varianz, insbesondere hinsichtlich der Zentralen Exekutive, aufgeklärt wurde. Nach Ergebnissen einer Meta-Analyse korrelieren zentralexekutive Leistungen und Intelligenzleistungen mit $r = .48$ miteinander (P. L. Ackerman, Beier & Boyle, 2005). Die durch das Auswahlverfahren bedingte Varianzreduzierung in der Intelligenzvariablen dürfte dementsprechend auch zu einer verringerten Varianz in der komplexen Wortspannen-Leistung führen, was sich wiederum nachteilig auf die Aufdeckung von Gruppenunterschieden auswirken kann. Weiter ist es denkbar, dass die Unterschiede in der Zentralen Exekutive nicht spezifisch für Rechenleistungen sind, sondern dass sich zentralexekutive Leistungen auch auf die Leseleistung auswirken. Dafür würde sprechen, dass nach Auspartialisierung der Leseleistung die Unterschiede in der komplexen Wortspanne verschwinden. Dass auch Leseleistungen von zentralexekutiven Leistungen tangiert werden, belegen eine Reihe von Untersuchungen (A.-M. Adams, Bourke & Willis, 1999; Daneman & Merikle, 1996; Gathercole, Alloway et al., 2006; Leather & Henry, 1994; Swanson, 1999) (vgl. aber Kibby, Marks, Morgan & Long, 2004). Tatsächlich liegen auch für Leseleistungen Überlegungen vor, inwieweit diese von zentralexekutiven Hemmungsfunktionen beeinflusst werden (Carretti, Cornoldi, De Beni & Romano, 2005). Eine dritte Möglichkeit zur Erklärung des Befundes wäre, dass die WLLP (Küspert & Schneider, 1998) wie oben formuliert, selbst eine Variable mit zentralexekutiven Anforderungen darstellt. Durch die Auspartialisierung wird dementsprechend auch spezifische Varianz der komplexen Wortspannen-Aufgabe resp. der Zentralen Exekutive aufgeklärt. Interessanterweise hat die Auspartialisierung aber auch einen (allerdings geringeren) Einfluss auf die Leistung in der Corsi-Block-Spanne. Für die Corsi-Block-Aufgabe wird aber ebenfalls diskutiert, dass diese unter bestimmten Umständen zentralexekutive Leistungen miterfasst (vgl. Eysenck et al., 2005; Vandierendonck et al., 2004). Dies ist z.B. dann der Fall, wenn die Corsi-Spanne vollständig, d.h. mit allen Trials, erhoben wird, wie in der vorliegenden Untersuchung. Ähnliche Befunde zur Corsi-Block-Spanne finden sich z.B. bei van der Sluis et al. (2005).

Das Befundmuster zu den spannenbezogenen Arbeitsgedächtnisleistungen ist an dieser Stelle nicht eindeutig zu interpretieren. Dass die Corsi-Block-Aufgabe auch räumlich-visuelle Leistungen erfasst, ist nicht zu bestreiten. So korreliert die Leistung in der Corsi-Block-Spanne am höchsten mit dem DEMAT 3+ Aufgabentyp „Längen umrechnen“

(r=.30, p=.05). Die Unterschiede in der Corsi-Block-Spanne könnten auf die Relevanz eines visuellen Faktors für Rechenleistungen hindeuten (vgl. Lorenz, 2005).

Neben der Erfassung der funktionalen Kapazität der Phonologischen Schleife und der Zentralen Exekutive erlaubt die in der Studie durchgeführte Variation des Target-Pools Aussagen über die Hemmungseffizienz des Arbeitsgedächtnisses. Sowohl für die einfache als auch für die komplexe Wortspannen-Aufgabe zeigt sich, das ein Target-Pool mit sich nicht wiederholenden Targets generell die Leistung in der Aufgabe reduziert. Ein zumindest tendenzieller Leistungsunterschied findet sich nur für die komplexe Wortspanne, eine Interaktion zwischen Rechnergruppe und Target-Pool für keine der beiden Wortspannen-Aufgaben. Zwar kann nicht mit Sicherheit beurteilt werden, ob durch die Target-Pool-Variation tatsächlich proaktive Interferenzen erzeugt wurden, aber der für beide Wortspannen-Aufgaben identifizierbare Haupteffekt „Target-Pool" deutet zumindest darauf hin. Für differenzielle Auswirkungen proaktiver Interferenzen bedarf es aber offenbar auch einer anspruchsvollen Aufgabe, denn nur in der komplexen Wortspannen-Aufgabe findet sich ein Unterschied zwischen den beiden Rechnergruppen. Möglicherweise verhindert hier der Bodeneffekt in der Gruppe der schlecht rechnenden Kinder das Auftreten einer Interaktion zwischen den Faktoren „Rechnergruppe" und „Target-Pool".

Neben einer Betrachtung der Anfälligkeit für proaktive Interferenzen kann auch die Auswertung der Intrusionsfehler Hinweise auf die Effizienz des Arbeitsgedächtnisses liefern. Da Intrusionsfehler nur sinnvoll interpretiert werden können, wenn auch in der Aufgabe ausreichend Distraktormaterial vorhanden ist, wurde diese Auswertung nur über die Leistungen in der komplexen Wortspannen-Aufgabe vorgenommen. Betrachtet man hier nur die Gesamtzahl an genannten Intrusionen, dann ist eine Interaktion zwischen den Faktoren „Target-Pool" und „Rechnergruppe" nachweisbar. Das heißt, dass schlecht rechnende Kinder auf das höhere Ausmaß an möglicher proaktiver Interferenz im unabhängigen Target-Pool mit einer erhöhten Anzahl an Intrusionsfehlern reagieren. Es ist aber nicht immer sinnvoll, die Gesamtzahl an Intrusionen zu betrachten, da ihre Anzahl nicht unabhängig vom Ausmaß der Falschlösungen ist. In der vorliegenden Studie ist dies nicht eindeutig der Fall, denn die relativierten Summenscores der komplexen Wortspannen-Aufgaben korrelieren mit den jeweiligen Gesamtanzahlen an Intrusionen mit r=-.28 (p=.06, Target-Pool A) und r=-.10 (p=.50, Target-Pool U). Nutzt man dennoch einen an der Zahl von Falschlösungen relativierten Intrusionsindikator, kann die für die Gesamtzahl an Intrusionen be-

richtete Interaktion nicht bestätigt werden. Inwieweit diese Befunde Hinweise auf mögliche Hemmungsprobleme schlecht rechnender Kinder bei der Bearbeitung von Wortspannen-Aufgaben bieten, müssen weitere Studien zeigen.

Aspekte der selektiven Aufmerksamkeit wurden über das Mengenerfassungsparadigma erfasst. Der Vergleich gut und schlecht rechnender Kinder zeigt, dass sich die beiden Gruppen nicht in ihrer Subitizingleistung, wohl aber in der Zählleistung unterscheiden. Zählen bedeutet in dieser Aufgabe die Erfassung ungeordneter, visuell präsentierter Mengen in einem Umfang von fünf bis neun Elementen. Nach Trick und Pylyshyn (1993, 1994) erfordert eine derartige Zählleistung eine Reihe von kognitiven Leistungen, u.a. auch spatiale Aufmerksamkeitsleistungen, die der Selektivitätsdimension der Aufmerksamkeit zuzuordnen sind (vgl. Schweizer et al., 2005). Dieser Leistungsunterschied verschwindet aber nach Kontrolle der präexperimentellen Unterschiede in der Leseleistung. Die für die Mengenerfassung notwendigen Prozesse der Aufgabenkoordination und Aufmerksamkeitsausrichtung dürften zu großen Teilen einer zentralexekutive Verortung zukommen. Unter der Annahme, dass sich zentralexekutive Leistungsunterschiede bereichsunspezifisch auswirken (s.o.), würden die gefundenen Ergebnisse plausibel erscheinen. Aber auch die Annahme, dass die zur Erfassung der Leseleistung genutzte Würzburger Leise-Lese-Probe (WLLP, Küspert & Schneider, 1998) zu gewissen Anteilen von zentralexekutiven Leistungen abhängt, macht das Befundmuster unter Kontrolle der Leseleistung erklärbar.

Durch die Verbindung der Mengenerfassungsaufgabe mit Distraktoren werden selektive Aufmerksamkeitsleistungen deutlich stärker gefordert. Hier zeigt sich, dass gut und schlecht rechnende Kinder gleichermaßen in Abhängigkeit vom Störpotenzial der Distraktoren in der Mengenerfassung beeinträchtigt werden, allerdings nicht im gleichen Ausmaß. Wie die Interaktionsprüfung zeigt, werden schlecht rechnende Kinder offenbar durch störende Distraktoren stärker beeinträchtigt. Dieser Effekt bleibt indes auch unter Kontrolle der Leseleistung und sogar unter Kontrolle der generellen Mengenerfassungsleistung erhalten. Der Befund überrascht, da nun unter Kontrolle der WLLP, für die ja in den obigen Befunderklärungen eine zentralexekutive Ausrichtung angenommen wurde, die Effekte trotzdem erhalten bleiben. Die Aufgabe dürfte bezüglich der Anforderungen eher auf selektive Aufmerksamkeitsleistungen abzielen, da neben der Rechenleistung nur noch das Störpotenzial der Distraktoren variiert wurde. Leistungsunterschiede können hier nur über unterschiedliche Anfälligkeiten für dieses Störpotenzial erklärt werden. Da aber die selekti-

ve Aufmerksamkeit als zentralexekutive Leistung betrachtet werden kann (Baddeley, 1996a), hätte eine zentralexekutiv ausgerichtete WLLP als Kovariate auch entsprechend Varianz aufklären können. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre, dass unterschiedliche Teilfacetten der Zentralen Exekutive von der WLLP-Leistung und Unterdrückung von Störreizen berührt werden.

„Wer ist defizitär?" Befunde der differenziellen Defizithypothesen

Mit einer Feststellung von Leistungsunterschieden ist folglich noch nicht geklärt, wo diese Unterschiede zu lokalisieren sind. Einerseits können Leistungsunterschiede auf Leistungsdefizite der schlecht rechnenden Kinder zurückgehen, alternativ kann es sich aber auch um Funktionsstärken der gut rechnenden Kinder handeln. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde aus diesem Grund eine zusätzliche Vergleichsgruppe durchschnittlich bzw. mittelgut rechnender Kinder erhoben. Die Analyse der Verortung von Stärken und Schwächen ist nicht trivial, sondern ist von erheblicher Bedeutung für die Planung und Ausrichtung von Fördermaßnahmen.

Für den Vergleich der spannenbezogenen Arbeitsgedächtnisleistungen zeigt sich, dass nur für die komplexe Wortspannen-Aufgabe Unterschiede zwischen den schlecht rechnenden und mittelgut rechnenden Kindern vorliegen. Aufgrund des Bodeneffektes der Variablen in der Gruppe der schlecht rechnenden Kinder, der damit verbundenen Varianzeinschränkung und der nur mittleren empirischen Effektgröße ist dieser Befund zurückhaltend zu interpretieren. Sowohl für die einfache Wortspanne als auch für die Corsi-Block-Spannen-Aufgabe sind die Leistungsunterschiede auf Stärken der gut rechnenden Kinder zurückzuführen. Ein analoges Bild zeigt die Betrachtung der Mengenerfassungsleistungen. Unabhängig vom Vorhandensein von Distraktoren weisen die Vergleiche darauf hin, dass Unterschiede in der aufmerksamkeitsbeanspruchenden Mengenerfassung auf Stärken der gut rechnenden Kinder zurückgehen.

Die Ergebnisse dieser Analysen belegen, dass es hinsichtlich der Feststellung von Defiziten keinesfalls ausreicht, extreme Leistungsausprägungen einer interessierenden Variable zu kontrastieren. Für eine angemessene Lokalisation etwaiger Defizite ist es notwendig, schlechte Leistungen mit normalen Leistungen zu vergleichen. Die in dieser Studie vorgefundenen Gruppenunterschiede zwischen gut und schlecht rechnenden Kindern gehen zu-

meist auf Funktionsstärken der gut rechnenden Kinder zurück. Lediglich im Bereich der zentralexekutiven Leistungen weisen schlecht rechnende Kinder eine Schwäche auf.

„Warum defizitär?" Befunde der strukturellen Defizithypothesen

Diese dritte Betrachtungsebene befasst sich mit der Frage, inwiefern die Leistungen der schlecht rechnenden Kinder auf eine Strukturdifferenz oder Entwicklungsverzögerung zurückzuführen sind. Zur Beantwortung dieser Frage wurden die schlecht rechnenden Kinder mit den Leistungen jüngerer Kinder verglichen, wobei beide Gruppen über annähernd gleiche Rechenleistungen verfügten.

Für die Arbeitsgedächtnisleistungen zeigt der Vergleich der beiden Gruppen, dass die gut rechnenden Kinder trotz ähnlicher Rechenleistungen über bessere Arbeitsgedächtnisleistungen als die jüngeren Kinder verfügen. Erst durch Kontrolle der präexperimentellen Unterschiede in der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit lässt sich zeigen, dass die Arbeitsgedächtnisleistungen beider Gruppen vergleichbar sind. Ein ähnliches Bild findet sich auch für den Vergleich beider Gruppen in den Mengenerfassungsleistungen. Auch hier finden sich zwischen den Gruppen erst nach Kontrolle der Verarbeitungsgeschwindigkeitsunterschiede keine Leistungsunterschiede mehr. Allein für die Mengenerfassungsleistungen unter Distraktoreinfluss ist die weitere Kontrolle der Verarbeitungsgeschwindigkeit nicht notwendig.

An dieser Stelle sei auf weitere Einschränkungen hingewiesen, die mit dem vorliegenden Versuchsplan verbunden sind. Prinzipiell kann diskutiert werden, ob die Strukturdifferenz- und die Entwicklungsverzögerungshypothese tatsächlich als komplementäre Hypothesen zu betrachten sind (Hasselhorn et al., im Druck). Wäre dies der Fall, könnte aus dem Nichteintreten der einen das Vorliegen der anderen geschlossen werden. Ebenfalls gilt es zu klären, welche der empirischen Ergebnissen mit den Hypothesen vereinbar sind. Für die vorliegende Arbeit wurde von einer einfachen Komplementarität der beiden Hypothesen ausgegangen: somit wäre von einer Strukturdifferenz auszugehen, wenn sich zwischen schlecht rechnenden Kindern und jüngeren Kindern Unterschiede zeigen. Dieser Logik zufolge sind die Ergebnisse eher mit der Annahme einer Entwicklungsverzögerung vereinbar.

8.3 Implikationen für die Praxis und Ausblick

Die vorliegende Arbeit prüft die Relevanz ausgewählter Arbeitsgedächtnisleistungen und Funktionen der selektiven Aufmerksamkeit für schulische Rechenleistungen. Für beide Bereiche kann festgehalten werden, dass sich für einige konkrete Leistungsaspekte Unterschiede zwischen gut und schlecht rechnenden Kindern belegen lassen. Unklar bleibt aber, ob es sich hierbei wirklich um *Defizite* schlecht rechnender Kinder handelt. Die Ergebnisse deuten eher darauf hin, dass die meisten der Leistungsunterschiede zwischen gut rechnenden und schlecht rechnenden Kindern auf *Leistungsstärken* der gut rechnenden Kinder zurückgehen. Für die schlechteren Leistungen der schlecht rechnenden Kinder legen die Analysen hingegen nahe, dass sie Folge einer *verzögerten Entwicklung* sind. Belege hinsichtlich eines möglichen Start-up-Fehlers im Bereich des Subitizing finden sich indes nicht.

Dennoch bietet die vorliegende Studie einige Hinweise für den praktischen Umgang mit dem Konzept Rechenschwäche sowie für den Umgang mit Kindern, die unter Rechenschwierigkeiten leiden. Grundsätzlich stellen Identifikation und Intervention bedeutsame Ziele der weiteren Forschung zu Rechenschwächen und -störungen dar (Gersten et al., 2005). Auch im Rahmen dieser Arbeit wurden Problembereiche der Diagnostik von Rechenschwächen diskutiert. Eine der zentralen Fragen dabei ist, welche Relevanz der kognitiven Leistungsfähigkeit bzw. Intelligenz für die Diagnose einer Rechenstörung zukommt. Ob es wirklich sinnvoll ist, die Intelligenzleistung im Rahmen einer P-Diskrepanz oder aber nur als Cut-off-Wert zur Absicherung gegen eine allgemeine Intelligenzminderung zu berücksichtigen, kann im Rahmen dieser Studie nicht entschieden werden. Es zeigt sich aber, dass eine Reihe kognitiver Funktionsunterschiede nicht auf Schwächen der schlecht rechnenden Kinder zurückgehen. Würde man diese kognitiven Funktionsunterschiede als Ansatzpunkte für Interventionsmaßnahmen nutzen, so würde es zum gegenwärtigen Stand wenig sinnvoll erscheinen, eine P-Diskrepanz zu berücksichtigen, da von einer Intervention mutmaßlich auch die mittelgut rechnenden Kinder profitieren würden. Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse könnte eine Intervention ein direktes Training der zentralexekutiven und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisleistungen sowie spatiale und selektive Aufmerksamkeitsleistungen umfassen. Ob ein solches Training wirksam wäre, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht absehbar. Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass ein großer Teil der Kinder von „Leistungsschwächen“ des Arbeitsgedächtnisses und der Aufmerksamkeit betroffen sind, nämlich die Gruppe der schlecht rechnenden und die Gruppe der mittelgut

rechnenden Kinder. Statt eines individuellen Trainings könnte auch der Schulunterricht so modifiziert werden, dass die hier aufgezeigten kognitiven Leistungsdefizite der schlecht und mittelgut rechnenden Kinder möglichst wenig zum Tragen kommen. Dies setzt voraus, dass Kinder selbst erkennen können, welche schulischen Lernsituationen einen *kognitiven Overload* verursachen könnten. Im Rahmen der Intervention sind Kindern dann Strategien an die Hand zu geben, mit denen sie Situationen bewältigen können, in denen ihnen Fehler durch Leistungsdefizite des Arbeitsgedächtnisses drohen. In neueren Arbeiten werden mögliche Ansatzpunkte hierzu bereits anschaulich diskutiert (Alloway, 2006; Alloway & Gathercole, 2006; Gathercole, Lamont et al., 2006). Grundsätzlich ist die prognostische Relevanz der hier betrachteten kognitiven Determinanten zwar als gering zu werten, da nur ca. 7 bis 9% Varianzaufklärung der curricular-validen Mathematikleistung erbracht wird (vgl. S. 105). Dabei darf aber auch nicht außer acht gelassen werden, dass diese prädiktive Validität der Determinanten unter Kontrolle der Intelligenz bestimmt wurde.

Darüber hinaus sind die Ergebnisse der Studie hinsichtlich dreier Aspekte bemerkenswert: Zum einen zeigt die Studie, dass Leistungsunterschiede im Extremgruppenvergleich nicht gleichbedeutend sind mit Leistungsdefiziten der schlecht rechnenden Kinder. Zum anderen finden sich Hinweise darauf, dass die als relevant erachteten Variablen somit nur für eine Seite des Ausprägungskontinuums von Bedeutung sein könnten. Dabei stellt sich die Frage, ob es überhaupt sinnvoll ist, schulische Rechenleistungen als eindimensionales Konstrukt zu verstehen und auf dieser Basis eine kategoriale Vorstellung der Rechenschwäche dimensional zu definieren. Aus diesem Zusammenhang heraus muss auch ein dritter Aspekt identifiziert werden: es bleibt letztendlich offen, inwiefern die schlechten Rechenleistungen der hier betrachteten „normalen“ Rechner mit gestörten Rechenleistungen „schwacher“ Rechner vergleichbar sind.

9. Zusammenfassung

Für die Qualität schulischer Rechenleistungen in der Primarstufe wird neben bereichsspezifischem Vorwissen und kognitiver Leistungsfähigkeit auch die Bedeutung von Arbeitsgedächtnisprozessen sowie Prozessen der Aufmerksamkeitssteuerung diskutiert. Die vorliegende Untersuchung prüft an einer Stichprobe von je 16 gut, mittelgut und schlecht rechnenden Kindern der dritten Klassenstufe sowie 17 leistungsmäßig den schlecht rechnenden Drittklässlern angepasste Zweitklässler, inwiefern interindividuelle Unterschiede ausgewählter Arbeitsgedächtnisfunktionen und selektiver Aufmerksamkeitsleistungen zur Erklärung von Leistungsunterschieden beim Rechnen in der Primarstufe geeignet sind.

Die 65 Kinder der Experimentalstichprobe wurden aus einer Basisstichprobe von 186 Drittklässlern und 106 Zweitklässlern anhand ihrer Leistung in einem Test zum arithmetischen Faktenwissen ausgewählt und nach Intelligenztestleistung und Geschlecht parallelisiert. Als zusätzliche Kontrollvariablen wurden die Leseleistung sowie die kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit erhoben. Im Rahmen von zwei Einzelsitzungen absolvierten die Kinder Aufgaben zur einfachen und komplexen Wortspanne, eine Blockspannenaufgabe sowie aufmerksamkeitsbezogene Reaktionszeitaufgaben zur Mengenerfassung. Zur Kontrolle von Sequenzeffekten wurde die Reihung der Aufgaben ausbalanciert.

Die aufgestellten Hypothesen werden aus drei Blickwinkeln geprüft. Während die allgemeine Prüfung den Extremgruppenvergleich zwischen schlecht und gut rechnenden Kindern der dritten Klasse vorsieht, versucht die differenzielle Prüfung, Leistungsvor- und nachteile zwischen den entsprechenden Gruppen der schlecht, mittelgut und gut rechnenden Drittklässler zu lokalisieren. Abschließend werden die Leistungsunterschiede zwischen den schlecht rechnenden Drittklässlern und den jüngeren, leistungsangepassten Zweitklässlern hinsichtlich der Frage einer Entwicklungsverzögerung bzw. des Vorliegens einer Strukturdifferenz analysiert.

Der Vergleich zwischen gut und schlecht rechnenden Drittklässlern weist auf Unterschiede im zentralexekutiven Bereich, im visuell-räumlichen Subsystem sowie in der selektiven Aufmerksamkeitsleistung hin. Die Leistungsunterschiede können aber zumeist auf einen Leistungsvorteil der gut rechnenden Kinder zurückgeführt werden, wobei als Erklä-

rung für die Leistungen der schlecht rechnenden Drittklässler eher eine Entwicklungsverzögerung anzunehmen ist.

Die vorliegende Studie weist auf die Bedeutung der Lokalisierung nachgewiesener Leistungsunterschiede im Hinblick auf die Bewertung möglicher kognitiver Determinanten für Rechenschwierigkeiten hin. Insgesamt lassen die Befunde aber Fragen dahingehend offen, ob die kognitiven Prozesse, die gutes Rechnen determinieren, auch die sind, die in einer schwachen Ausprägung für schlechtes Rechnen oder gar für Rechenstörungen verantwortlich sind.

10. Literatur

Aaron, P. G. (1997). The impending demise of the discrepancy formula. *Review of Educational Research, 67*, 461-502.

Abboud, H. & Sugar, D. (1999). *Superlab Pro. Experimental Lab Software* (Version 2.0). Phoenix, AZ: Cedrus Cooperation.

Ackerman, P. L., Beier, M. E. & Boyle, M. O. (2005). Working memory and intelligence: The same or different constructs? *Psychological Bulletin, 131*, 30-60.

Ackerman, P. T., Anhalt, J. M. & Dykman, R. A. (1986). Arithmetic automatization failure in children with attention and reading disorders: associations and sequela. *Journal of Learning Disabilities, 19*, 222-232.

Adams, A.-M., Bourke, L. & Willis, C. (1999). Working memory and spoken language comprehension in young children. *International Journal of Psychology, 34*, 364-373.

Adams, J. W. & Hitch, G. J. (1997). Working memory and children's mental addition. *Journal of Experimental Child Psychology, 67*, 21-38.

Alarcón, M., DeFries, J. C., Light, J. G. & Pennington, B. F. (1997). A twin study of mathematics disability. *Journal of Learning Disabilities, 30*, 617-622.

Alarcón, M., Knopik, V. S. & DeFries, J. C. (2000). Covariation of mathematics achievement and general cognitive ability in twins. *Journal of School Psychology, 38*, 63-77.

Alloway, T. P. (2006). Making 'working memory' work in the classroom. *Early Years Update, 42*, 9-11.

Alloway, T. P. & Gathercole, S. E. (2006). How does working memory work in the classroom? *Educational Research and Reviews, 1*, 314-319.

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.

Antell, S. E. & Keating, D. P. (1983). Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development, 54*, 695-701.

Anthony, J. L. & Lonigan, C. J. (2004). The nature of phonological awareness: Converging evidence from four studies of preschool and early grade school children. *Journal of Educational Psychology, 96*, 43-55.

Ardila, A. & Rosselli, M. (2002). Acalculia and dyscalculia. *Neuropsychology Review, 12*, 179-231.

Ashcraft, M. H. (1987). Children's knowledge of simple arithmetic: A developmental model and simulation. In J. Bisanz, K. Brainerd & R. Kail (Eds.), *Formal methods in developmental psychology* (S. 302-338). New York: Springer.

Ashcraft, M. H. & Battaglia, J. (1978). Cognitive arithmetic - Evidence for retrieval and decision-processes in mental addition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 4*, 527-538.

Ashcraft, M. H. & Fierman, B. A. (1982). Mental addition in third, fourth, and sixth graders. *Journal of Experimental Child Psychology, 33*, 216-234.

Ashcraft, M. H. & Kirk, E. P. (2001). The relationships among working memory, math anxiety, and performance. *Journal of Experimental Psychology: General, 130*, 224-237.

Assel, M. A., Landry, S. H., Swank, P., Smith, K. E. & Steelman, L. M. (2003). Precursors to mathematical skills: Examining the roles of visual-spatial skills, executive processes, and parenting factors. *Applied Developmental Science, 7*, 27-38.

Aunio, P., Ee, J., Lim, S. E. A., Hautamäki, J. & Van Luit, J. E. H. (2004). Young children's number sense in Finland, Hong Kong and Singapore. *International Journal of Early Years Education, 12*, 196-216.

Aunola, K., Leskinen, E., Lerkkanen, M.-K. & Nurmi, J.-E. (2004). Developmental dynamics of math performance from preschool to grade 2. *Journal of Educational Psychology, 96*, 699-713.

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.

Baddeley, A. D. (1996a). Exploring the Central Executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. Section A, Human Experimental Psychology, 49*, 5-28.

Baddeley, A. D. (1996b). The fractionation of working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 93*, 13468-13472.

Baddeley, A. D. (1998). Working memory. *Comptes Rendus de l Academie des Sciences. Serie III, Sciences de la Vie, 321*, 167-173.

Baddeley, A. D. (2000a). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences, 4*, 417-423.

Baddeley, A. D. (2000b). The magic number and the episodic buffer. *Behavioral and Brain Sciences, 24*, 117-+.

Badian, N. A. (1983). Arithmetic and nonverbal learning. In H. R. Myklebust (Eds.), *Progress in learning disabilities* (Vol. 5, S. 235-264). New York: Grune and Stratton.

Badian, N. A. (1999). Persistent arithmetic, reading, or arithmetic and reading disability. *Annals of Dyslexia, 49*, 45-70.

Balakrishnan, J. D. & Ashby, F. G. (1992). Subitizing - Magical numbers or mere superstition. *Psychological Research, 54*, 80-90.

Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin, 121*, 65-94.

Baroody, A. J. (1992). The development of preschoolers' counting skills and principles. In J. Bideaud, C. Meljac & J.-P. Fischer (Eds.), *Pathways to number: Children's developing numerical abilities* (S. 99-126). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Barrouillet, P., Fayol, M. & Lathuliere, E. (1997). Selecting between competitors in multiplication tasks: An explanation of the errors produced by adolescents with learning difficulties. *International Journal of Behavioral Development, 21*, 253-276.

Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., Dehaene, S., Kanwisher, N. & Spelke, E. (2006). Nonsymbolic arithmetic in adults and young children. *Cognition, 98*, 199-222.

Basak, C. & Verhaeghen, P. (2003). Subitizing speed, subitizing range, counting speed, the Stroop Effect, and Aging: Capacity differences and speed equivalence. *Psychology and Aging, 18*, 240-249.

Baumert, J., Brunner, M., Lüdtke, O. & Trautwein, U. (2007). Was messen internationale Schulleistungsstudien? – Resultate kumulativer Wissenserwerbsprozesse. *Psychologische Rundschau, 58*, 118-145.

Baving, L. & Schmidt, M. H. (2000). Testpsychologie zwischen Anspruch und Wirklichkeit am Beispiel der Intelligenzdiagnostik. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie, 28*, 163-176.

Bayliss, D. M., Jarrold, C., Gunn, D. M. & Baddeley, A. D. (2003). The complexities of complex span: explaining individual differences in working memory in children and adults. *Journal of Experimental Psychology: General, 132*, 71-92.

Benoit, L., Lehalle, H. & Jouen, F. (2004). Do young children acquire number words through subitizing or counting? *Cognitive Development, 19*, 291-307.

Benton, A. L. (1987). Mathematical disability and the Gerstmann syndrome. In G. Deloche & X. Seron (Eds.), *Mathematical disabilities: A cognitive neuropsychological perspective* (S. 111-120). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Berch, D. B. (2005). Making sense of number sense: Implications for children with mathematical disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 38*, 333-339.

Berch, D. B., Krikorian, R. & Huha, E. M. (1998). The Corsi block-tapping task: Methodological and theoretical considerations. *Brain and Cognition, 38*, 317-338.

Bermejo, V. (1996). Cardinality development and counting. *Developmental Psychology, 32*, 263-268.

Bermejo, V., Morales, S. & deOsuna, J. G. (2004). Supporting children's development of cardinality understanding. *Learning and Instruction, 14*, 381-398.

Bijeljac-Babic, R., Bertoncini, J. & Mehler, J. (1993). How do four-day-old infants categorize multisyllabic utterances? *Developmental Psychology, 29*, 711-721.

Blender, A. (2004). *Neurspsychologische Aspekte der Diagnostik von Kindern mit umschriebenen Entwicklungsstörungen schulischer Fertigkeiten.* Unveröffentlichte Dissertation, Eberhard-Karls-Universität Tübingen.

Booth, J. L. & Siegler, R. S. (2006). Developmental and individual differences in pure numerical estimation. *Developmental Psychology, 42*, 189-201.

Brannon, E. M. (2002). The development of ordinal numerical knowledge in infancy. *Cognition, 83*, 223-240.

Brewin, C. R. & Smart, L. (2005). Working memory capacity and suppression of intrusive thoughts. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry, 36*, 61-68.

Briars, D. & Siegler, R. S. (1984). A featural analysis of preschoolers' counting knowledge. *Developmental Psychology, 20*, 607-618.

Bruandet, M., Molko, N., Cohen, L. & Dehaene, S. (2004). A cognitive characterization of dyscalculia in Turner syndrome. *Neuropsychologia, 42*, 288-298.

Brünken, R. (2002). Würzburger Leise Leseprobe (WLLP). In E. Brähler, H. Holling, D. Leutner & F. Petermann (Eds.), *Brickenkamp Handbuch psychologischer und pädagogischer Tests* (S. 393-394). Göttingen: Hogrefe.

Bruyer, R. & Scailquin, J.-C. (1998). The visuospatial sketchpad for mental images: Testing the multicomponent model of working memory. *Acta Psychologica, 98*, 17-36.

Bryant, P. E., MacLean, M., Bradley, L. L. & Crossland, J. (1990). Rhyme and alliteration, phoneme detection, and learning to read. *Developmental Psychology, 26*, 429-438.

Bull, R. & Johnston, R. S. (1997). Children's arithmetical difficulties: Contributions from processing speed, item identification, and short-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology, 65*, 1-24.

Bull, R., Johnston, R. S. & Roy, J. A. (1999). Exploring the roles of the visual-spatial sketch pad and central executive in children's arithmetical skills: view 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*, 273-293.

Butterworth, B. (1999). *The mathematical brain*. London: Macmillan.

Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 46*, 3-18.

Cain, K., Oakhill, J. & Bryant, P. (2004). Children's reading comprehension ability: Concurrent prediction by working memory, verbal ability, and component skills. *Journal of Educational Psychology, 96*, 31-42.

Campbell, J. I. D. (1994). Architectures for numerical cognition. *Cognition, 53*, 1-44.

Campbell, J. I. D. (1995). Mechanisms of simple addition and multiplication: a modified network-interference theory and simulation. *Mathematical Cognition, 1*, 121-164.

Campbell, J. I. D. & Austin, S. (2002). Effects of response time deadlines on adults' strategy choices for simple addition. *Memory & Cognition, 30*, 988-994.

Campbell, J. I. D. & Clark, J. M. (1992). Cognitive number processing: An encoding-complex perspective. In J. I. D. Campbell (Eds.), *The nature and origins of mathematical skills* (S. 457-491). Amsterdam: North Holland.

Canobi, K. H., Reeve, R. A. & Pattison, P. E. (2002). Young children's understanding of addition concepts. *Educational Psychology, 22*, 513-532.

Carey, S. & Xu, F. (2001). Infants' knowledge of objects: beyond object files and object tracking. *Cognition, 80*, 179-213.

Carpenter, P. A., Just, M. A. & Reichle, E. D. (2000). Working memory and executive function: evidence from neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology, 10*, 195-199.

Carpenter, T. P. & Moser, J. M. (1982). The development of addition and subtraction problem-solving skills. In T. P. Carpenter, J. M. Moser & T. A. Romberg (Eds.), *Addition and subtraction: A cognitive perspective* (S. 9-24). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Carpenter, T. P. & Moser, J. M. (1983). The aquisition of addition and subtraction concepts. In R. Lesh & M. Landau (Eds.), *Aquisition of mathematics concepts und processes* (S. 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.

Carretti, B., Cornoldi, C., De Beni, R. & Romano, M. (2005). Updating in working memory: A comparison of good and poor comprehenders. *Journal of Experimental Child Psychology, 91*, 45-66.

Case, R., Kurland, D. M. & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology, 33*, 386-404.

Casey, M. B., Pezaris, E. & Nuttall, R. L. (1992). Spatial ability as a predictor of math achievement: the importance of sex and handedness patterns. *Neuropsychologia, 30*, 35-45.

Cates, G. L. & Rhymer, K. N. (2003). Examining the relationship between mathematics anxiety and mathematics performance: An instructional hierarchy perspective. *Journal of Behavioral Education, 12*, 23-34.

Cattell, R. B., Weiß, R. H. & Osterland, J. (1997). *Grundintelligenztest Skala 1 (CFT 1)* (5. rev. Auflage). Göttingen: Hogrefe.

Ceci, S. J. (1991). How much does schooling influence general intelligence and its cognitive components? A reassessment of the evidence. *Developmental Psychology, 27*, 703-722.

Censabella, S. & Noël, M.-P. (2005). The inhibition of exogenous distracting information in children with Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 38*, 400-410.

Chi, M. T. & Klahr, D. (1975). Span and rate of apprehension in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology, 19*, 434-439.

Chiappe, P., Hasher, L. & Siegel, L. S. (2000). Working memory, inhibitory control, and reading disability. *Memory & Cognition, 28*, 8-17.

Cipolotti, L. & Butterworth, B. (1995). Toward a multiroute model of number processing: Impaired number transcoding with preserved calculation skills. *Journal of Experimental Psychology: General, 124*, 375-390.

Clark, J. M. & Campbell, J. I. (1991). Integrated versus modular theories of number skills and acalculia. *Brain and Cognition, 17*, 204-239.

Clearfield, M. W. (2004). Infants' enumeration of dynamic displays. *Cognitive Development, 19*, 309-324.

Clearfield, M. W. & Mix, K. S. (1999). Number versus contour length in infants' discrimination of small visual sets. *Psychological Science, 10*, 408-411.

Clearfield, M. W. & Mix, K. S. (2001). Amount versus number: Infants' use of area and contour length to discriminate small sets. *Journal of Cognition and Development, 2*, 243-260.

Clearfield, M. W. & Westfahl, S. M.-C. (2006). Familiarization in infants' perception of addition problems. *Journal of Cognition and Development, 7*, 27-43.

Cocchini, G., Logie, R. H., Sala, S. D., MacPherson, S. E. & Baddeley, A. D. (2002). Concurrent performance of two memory tasks: Evidence for domain-specific working memory systems. *Memory & Cognition, 30*, 1086-1095.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Cohen, L. B. & Marks, K. S. (2002). How infants process addition and subtraction events. *Developmental Science, 5*, 186-201.

Conway, A. R. A. & Engle, R. W. (1994). Working memory and retrieval: A resource-dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology: General, 123*, 354-373.

Copeland, A. P. & Reiner, E. M. (1984). The selective attention of learning-disabled children: Three studies. *Journal of Abnormal Child Psychology, 12*, 455-470.

Copeland, A. P. & Wisniewski, N. M. (1981). Learning disability and hyperactivity: Deficits in selective attention. *Journal of Experimental Child Psychology, 32*, 88-101.

Corsi, P. H. (1972). *Human memory and the medial temporal region of the brain.* Unpublished Dissertation, McGill University, Montreal, Canada.

Cowan, N., Elliott, E. M., Scott Saults, J., Morey, C. C., Mattox, S., Hismjatullina, A. et al. (2005). On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive Psychology, 51*, 42-100.

Cumming, J. J. & Elkins, J. (1999). Lack of automaticity in the basic addition facts as a characteristic of arithmetic learning problems and instructional needs. *Mathematical Cognition, 5*, 149-180.

D'Amico, A. & Guarnera, M. (2005). Exploring working memory in children with low arithmetical achievement. *Learning and Individual Differences, 15*, 189-202.

Daneman, M. & Blennerhassett, A. (1984). How to assess the listening comprehension skills of prereaders. *Journal of Educational Psychology, 76*, 1372-1381.

Daneman, M. & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior, 19*, 450-466.

Daneman, M. & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review, 3*, 422-433.

D'Angiulli, A. & Siegel, L. S. (2003). Cognitive functioning as measured by the WISC-R. *Journal of Learning Disabilities, 36*, 48.

Dark, V. J. & Benbow, C. P. (1991). Differential enhancement of working memory with mathematical versus verbal precocity. *Journal of Educational Psychology, 83*, 48-60.

Davis, J. T., Parr, G. & Lan, W. (1997). Differences between learning disability subtypes classified using the revised Woodcock-Johnson Psycho-Educational Battery. *Journal of Learning Disabilities, 30*, 346-352.

De Beni, R. & Palladino, P. (2000). Intrusion errors in working memory tasks: Are they related to reading comprehension ability? *Learning and Individual Differences, 12*, 131-143.

De Beni, R., Palladino, P., Pazzaglia, F. & Cornoldi, C. (1998). Increases in intrusion errors and working memory deficit of poor comprehenders. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. Section A, Human Experimental Psychology, 51*, 305-320.

De Rammelaere, S., Stuyven, E. & Vandierendonck, A. (2001). Verifying simple arithmetic sums and products: are the phonological loop and the central executive involved? *Memory & Cognition, 29*, 267-273.

De Rammelaere, S. & Vandierendonck, A. (2001). Are executive processes used to solve simple arithmetic production tasks. *Current Psychology Letters: Behaviour, Brain & Cognition, 5*, 79-90.

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition, 44*, 1-42.

Dehaene, S. (1999). *Der Zahlensinn oder warum wir rechnen können*. Basel: Birkhäuser.

Dehaene, S. & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition, 1*, 83-120.

Dehaene, S. & Cohen, L. (1997). Cerebral pathways for calculation: double dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex, 33*, 219-250.

Dellatolas, G., von Aster, M., Willadino-Braga, L., Meier, M. & Deloche, G. (2000). Number processing and mental calculation in school children aged 7 to 10 years: a transcultural comparison. *European Child and Adolescent Psychiatry, 9 (Suppl. 2)*, 102-110.

Dempster, F. N. & Corkill, A. J. (1999). Interference and inhibition in cognition and behavior: Unifying themes for educational psychology. *Educational Psychology Review, 11*, 1-88.

Deschuyteneer, M. & Vandierendonck, A. (2005). Are "input monitoring" and "response selection" involved in solving simple mental arithmetical sums? *European Journal of Cognitive Psychology, 17*, 347-370.

Deschuyteneer, M., Vandierendonck, A. & Muyllaert, I. (2006). Does solution of mental arithmetic problems such as 2 + 6 and 3 × 8 rely on the process of "memory updating"? *Experimental Psychology, 53*, 198-208.

Desoete, A., Roeyers, H. & Buysse, A. (2001). Metacognition and mathematical problem solving in Grade 3. *Journal of Learning Disabilities, 34*, 435-449.

Desoete, A., Roeyers, H. & De Clercq, A. (2004). Children with mathematics learning disabilities in Belgium. *Journal of Learning Disabilities, 37*, 50-61.

DeStefano, D. & LeFevre, J.-A. (2004). The role of working memory in mental arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology, 16*, 353-386.

Dilling, H., Mombour, W. & Schmidt, M. H. (Eds.). (1991). *Internationale Klassifikation psychischer Störungen: ICD-10 Kapitel V (F)* (1 ed.). Bern: Huber.

Ditton, H. (1998). *Mehrebenenanalysen. Grundlagen und Anwendungen des Hierarchisch Linearen Modells.* München: Juventa.

Domahs, F. & Delazer, M. (2005). Some assumptions and facts about arithmetic facts. *Psychology Science, 47*, 96-111.

Dombrowski, S. C., Kamphaus, R. W. & Reynolds, C. R. (2004). After the demise of the discrepancy: Proposed learning disabilities diagnostic criteria. *Professional Psychology: Research and Practice, 35*, 364-372.

Dowker, A. (2005). *Individual differences in arithmetic: Implications for psychology, neuroscience, and education*. Hove: Psychology Press.

Drummond, C. R., Ahmad, S. A. & Rourke, B. P. (2005). Rules for the classification of younger children with nonverbal learning disabilities and basic phonological processing disabilities. *Archives of Clinical Neuropsychology, 20*, 171-182.

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 (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (S. 102-134). New York: Cambridge University Press.

Espy, K. A. (1997). The Shape School: Assessing executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology, 13*, 495-499.

Espy, K. A., Kaufmann, P. M., Glisky, M. L. & McDiarmid, M. D. (2001). New procedures to assess executive functions in preschool children. *Clinical Neuropsychologist, 15*, 13p.

Espy, K. A., Kaufmann, P. M., McDiarmid, M. D. & Glisky, M. L. (1999). Executive functioning in preschool children: Performance on A-not-B and other delayed response format tasks. *Brain and Cognition, 41*, 178-199.

Evans, L. D. (1990). A conceptual overview of the regression discrepancy model for evaluating severe discrepancy between IQ and achievement scores. *Journal of Learning Disabilities, 23*, 406-412.

Eye, A. v., Spiel, C. & Wagner, P. (2003). Structural equations modeling in developmental research concepts and applications. *Methods of Psychological Research Online, 8*, 75-112.

Eysenck, M. W. & Calvo, M. G. (1992). Anxiety and performance: The processing efficiency theory. *Cognition and Emotion, 6*, 409-434.

Eysenck, M. W., Payne, S. & Derakshan, N. (2005). Trait anxiety, visuospatial processing, and working memory. *Cognition and Emotion, 19*, 1214-1228.

Feigenson, L. & Carey, S. (2003). Tracking individuals via object-files: evidence from infants' manual search. *Developmental Science, 6*, 568-584.

Feigenson, L., Carey, S. & Spelke, E. (2002). Infants' discrimination of number vs. continuous extent. *Cognitive Psychology, 44*, 33-66.

Fleischner, J. E., Garnett, K. & Shepherd, M. J. (1982). Proficiency in arithmetic basic fact computation of learning disabled and nondisabled children. *Focus on Learning Problems in Mathematics, 4*, 47-55.

Fleisher, L. S., Soodak, L. C. & Jelin, M. A. (1984). Selective attention deficits in learning disabled children: Analysis of the data base. *Exceptional Children, 51*, 136-141.

Fletcher, J. M. (2005). Predicting math outcomes: Reading predictors and comorbidity. *Journal of Learning Disabilities, 38*, 308-312.

Fletcher, J. M., Foorman, B. R., Boudousquie, A., Barnes, M. A., Schatschneider, C. & Francis, D. J. (2002). Assessment of reading and learning disabilities - A research-based intervention-oriented approach. *Journal of School Psychology, 40*, 27-63.

Fletcher, J. M., Francis, D. J., Shaywitz, S. E., Lyon, G. R., Foorman, B. R., Stuebing, K. K. et al. (1998). Intelligent testing and the discrepancy model for children with learning disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice, 13*, 186-203.

Flynn, J. R. (1987). Massive IQ gains in 14 nations: What IQ tests really measure. *Psychological Bulletin, 101*, 171-191.

Francis, D. J., Fletcher, J. M., Stuebing, K. K., Lyon, G. R., Shaywitz, B. A. & Shaywitz, S. E. (2005). Psychometric approaches to the identification of LD: IQ and achievement scores are not sufficient. *Journal of Learning Disabilities, 38*, 98-108.

Friedman, N. P. & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*, 101-135.

Fritz, A. & Ricken, G. (2005). Früherkennung von Kindern mit Schwierigkeiten im Erwerb von Rechenfertigkeiten. In M. Hasselhorn, H. Marx & W. Schneider (Hrsg.), *Diagnostik von Mathematikleistungen. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik, Tests und Trends N. F. Band 4.* (S. 5-27). Göttingen: Hogrefe.

Fuchs, D. & Young, C. L. (2006). On the irrelevance of intelligence in predicting responsiveness to reading instruction. *Exceptional Children, 73*, 8-30.

Fuchs, L. S., Compton, D. L., Fuchs, D., Paulsen, K., Bryant, J. D. & Hamlett, C. L. (2005). The prevention, identification, and cognitive determinants of math difficulty. *Journal of Educational Psychology, 97*, 493-513.

Fuchs, L. S. & Fuchs, D. (2002). Mathematical problem-solving profiles of students with mathematics disabilities with and without comorbid reading disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 35*, 563-573.

Fuerst, D. R., Fisk, J. L. & Rourke, B. P. (1989). Psychosocial functioning of learning-disabled children: Replicability of statistically derived subtypes. *Journal of Consulting and Clinical Psychology, 57*, 275-280.

Fuerst, D. R., Fisk, J. L. & Rourke, B. P. (1990). Psychosocial functioning of learning-disabled children: Relations between WISC verbal IQ - performance IQ discrepancies and personality subtypes. *Journal of Consulting and Clinical Psychology, 58*, 657-660.

Fuerst, D. R. & Rourke, B. P. (1993). Psychosocial functioning of children: Relations between personality subtypes and academic achievement. *Journal of Abnormal Child Psychology, 21*, 597-607.

Fürst, A. J. & Hitch, G. J. (2000). Separate roles for executive and phonological components of working memory in mental arithmetic. *Memory & Cognition, 28*, 774-782.

Fuson, K. C. (1988). *Children' s counting and concepts of number*. New York: Springer.

Fuson, K. C. & Hall, J. W. (1983). The aquisition of early number word meanings: A conceptual analysis and review. In H. P. Ginsburg (Eds.), *The development of mathematical thinking* (S. 49-107). New York: Academic Press.

Gagné, F. & St Père, F. (2002). When IQ is controlled, does motivation still predict achievement? *Intelligence, 30*, 71-100.

Gallistel, C. R. & Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition, 44*, 43-74.

Gallistel, C. R. & Gelman, R. (2000). Non-verbal numerical cognition: from reals to integers. *Trends in Cognitive Sciences, 4*, 59-65.

Garnett, K. (1992). Developing fluency with basic number facts: Intervention for students with learning disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice, 7*, 210-216.

Gathercole, S. E. (1998). The development of memory. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines, 39*, 3-27.

Gathercole, S. E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Sciences, 3*, 410-419.

Gathercole, S. E. & Adams, A.-M. (1993). Phonological working memory in very young children. *Developmental Psychology, 29*, 770-778.

Gathercole, S. E. & Alloway, T. P. (2006). Practitioner Review: Short-term and working memory impairments in neurodevelopmental disorders: diagnosis and remedial support. *Journal of Child Psychology & Psychiatry, 47*, 4-15.

Gathercole, S. E., Alloway, T. P., Willis, C. & Adams, A.-M. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology, 93*, 265-281.

Gathercole, S. E., Lamont, E. & Alloway, T. P. (2006). Working memory in the classroom. In S. J. Pickering (Eds.), *Working memory and Education* (S. 219-240). Burlington, MA: Academic Press.

Gathercole, S. E. & Pickering, S. J. (2000a). Assessment of working memory in six- and seven-year-old children. *Journal of Educational Psychology, 92*, 377-390.

Gathercole, S. E. & Pickering, S. J. (2000b). Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *British Journal of Educational Psychology, 70*, 177-194.

Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B. & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology, 40*, 177-190.

Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C. & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology, 18*, 1-16.

Gathercole, S. E., Service, E., Hitch, G. J., Adams, A.-M. & Martin, A. J. (1999). Phonological short-term memory and vocabulary development: further evidence on the nature of the relationship. *Applied Cognitive Psychology, 13*, 65-77.

Gathercole, S. E., Tiffany, C., Briscoe, J. & Thorn, A. (2005). Developmental consequences of poor phonological short-term memory function in childhood: a longitudinal study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 46*, 598-611.

Gaupp, N. (2003). *Dyskalkulie. Arbeitsgedächtnisdefizite und Defizite numerischer Basiskompetenzen rechenschwacher Kinder*. Berlin: Logos.

Gaupp, N., Zoelch, C. & Schumann-Hengsteler, R. (2004). Defizite numerischer Basiskompetenzen bei rechenschwachen Kindern der 3. und 4. Klassenstufe. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 18*, 31-42.

Geary, D. C. (1990). A componential analysis of an early learning deficit in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology, 49*, 363-383.

Geary, D. C. (1993). Mathematical disabilities: cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Psychological Bulletin, 114*, 345-362.

Geary, D. C. (1995). Reflections of evolution and culture in children's cognition. Implications for mathematical development and instruction. *American Psychologist, 50*, 24-37.

Geary, D. C. (1996). The problem-size effect in mental addition: developmental and cross-national trends. *Mathematical Cognition, 2*, 63-93.

Geary, D. C. (2000). From infancy to adulthood: the development of numerical abilities. *European Child and Adolescent Psychiatry, 9 (Suppl. 2)*, 11-16.

Geary, D. C. (2003). Learning disabilities in arithmetic: Problem-solving differences and cognitive deficits. In H. L. Swanson, K. R. Harris & S. Graham (Eds.), *Handbook of learning disabilities* (S. 199-212). New York: Guilford.

Geary, D. C. (2004). Mathematics and learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 37*, 4-15.

Geary, D. C. (2005). Role of cognitive theory in the study of learning disability in mathematics. *Journal of Learning Disabilities, 38*, 305-307.

Geary, D. C., Bow-Thomas, C. C. & Yao, Y. (1992). Counting knowledge and skill in cognitive addition: a comparison of normal and mathematically disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology, 54*, 372-391.

Geary, D. C. & Brown, S. C. (1991). Cognitive addition: Strategy choice and speed-of-processing differences in gifted, normal, and mathematically disabled children. *Developmental Psychology, 27*, 398-406.

Geary, D. C., Brown, S. C. & Samaranayake, V. A. (1991). Cognitive addition: A short longitudinal study of strategy choice and speed-of-processing differences in normal and mathematically disabled children. *Developmental Psychology, 27*, 787-797.

Geary, D. C., Hamson, C. O. & Hoard, M. K. (2000). Numerical and arithmetical cognition: A longitudinal study of process and concept deficits in children with learning disability. *Journal of Experimental Child Psychology, 77*, 236-263.

Geary, D. C. & Hoard, M. K. (2001). Numerical and arithmetical deficits in learning-disabled children: Relation to dyscalculia and dyslexia. *Aphasiology, 15*, 635-647.

Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J. & DeSoto, M. C. (2004). Strategy choices in simple and complex addition: Contributions of working memory and counting

knowledge for children with mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology, 88*, 121-151.

Geary, D. C., Hoard, M. K. & Hamson, C. O. (1999). Numerical and arithmetical cognition: Patterns of functions and deficits in children at risk for a mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology, 74*, 213-239.

Geary, D. C. & Lin, J. (1998). Numerical cognition: age-related differences in the speed of executing biologically primary and biologically secondary processes. *Experimental Aging Research, 24*, 101-137.

Gelman, R. (2000). The epigenesis of mathematical thinking. *Journal of Applied Developmental Psychology, 21*, 27-37.

Gelman, R. & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Gelman, R. & Meck, E. (1983). Preschoolers' counting: Principles before skill. *Cognition, 13*, 343-359.

Gersten, R., Jordan, N. C. & Flojo, J. R. (2005). Early identification and interventions for students with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities, 38*, 293-304.

Gierl, M. J. & Bisanz, J. (1995). Anxieties and attitudes related to mathematics in grades 3 and 6. *Journal of Experimental Education, 63*, 139.

Gilmore, C. K., McCarthy, S. E. & Spelke, E. S. (2007). Symbolic arithmetic knowledge without instruction. *Nature, 447*, 589-591.

Ginsburg, H. P. (1997). Mathematics learning disabilities: A view from developmental psychology. *Journal of Learning Disabilities, 30*, 20-33.

Girelli, L. & Delazer, M. (2001). Numerical abilities in dementia. *Aphasiology, 15*, 681-694.

Goldman, S. R., Pellegrino, J. W. & Mertz, D. L. (1988). Extended practice of basic addition facts: strategy changes of learning-disabled children. *Cognition and Instruction, 5*, 223-265.

Gölitz, D., Roick, T. & Hasselhorn, M. (2005). Deutsche Mathematiktests für dritte und vierte Klassen (DEMAT 3+ und DEMAT 4). In M. Hasselhorn, H. Marx & W. Schneider (Hrsg.), *Diagnostik von Mathematikleistungen. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik, Tests und Trends N. F. Band 4.* (S. 167-186). Göttingen: Hogrefe.

Gölitz, D., Roick, T. & Hasselhorn, M. (2006). *Deutscher Mathematiktest für vierte Klassen (DEMAT 4)*. Göttingen: Beltz Test.

Götz, T., Pekrun, R., Zirngibl, A., Jullien, S., Kleine, M., vom Hofe, R. et al. (2004). Leistung und emotionales Erleben im Fach Mathematik. Längsschnittliche Mehrebenenanalysen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 18*, 201-212.

Groen, G. J. & Parkman, J. M. (1972). A chronometric analysis of simple addition. *Psychological Review*, 329-343.

Gross-Tsur, V., Auerbach, J., Manor, O. & Shalev, R. S. (1996). Developmental dyscalculia: Cognitive, emotional and behavioral manifestations. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant, 8*, 132-136.

Gross-Tsur, V., Manor, O. & Shalev, R. S. (1993). Developmental dyscalculia, gender, and the brain. *Archives of Disease in Childhood, 68*, 510-512.

Gross-Tsur, V., Manor, O. & Shalev, R. S. (1996). Developmental dyscalculia: prevalence and demographic features. *Developmental Medicine and Child Neurology, 38*, 25-33.

Grube, D. (2005). Entwicklung des Rechnens im Grundschulalter. In M. Hasselhorn, H. Marx & W. Schneider (Hrsg.), *Diagnostik von Mathematikleistungen. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik, Tests und Trends N. F. Band 4.* (S. 105-124). Göttingen: Hogrefe.

Grube, D. (2006). *Entwicklung des Rechnens im Grundschulalter: Basale Fertigkeiten, Wissensabruf und Arbeitsgedächtniseinflüsse*. Münster: Waxmann.

Grube, D. (im Druck). Rechenschwäche. In W. Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der Psychologie, Bd. Pädagogische Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.

Grube, D. & Barth, U. (2004). Rechenschwäche bei Grundschülern: Zur Rolle von Arbeitsgedächtnis und basalem Faktenwissen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 18*, 245-248.

Grube, D., Weberschock, U., Stuff, M. & Hasselhorn, M. (in Vorb.). *Diagnostisches Inventar zu Rechenfertigkeiten im Grundschulalter (DIRG)*. Göttingen: Beltz Test.

Gustafsson, J.-E. & Balke, G. (1993). General and specific abilities as predictors of school achievement. *Multivariate Behavioral Research, 28*, 407-434.

Hager, W. (1987). Grundlagen einer Versuchsplanung zur Prüfung empirischer Hypothesen in der Psychologie. In G. Lüer (Hrsg.), *Allgemeine experimentelle Psychologie* (S. 43-264). Stuttgart: Fischer.

Hager, W. (1992). Eine Strategie zur Entscheidung über psychologische Hypothesen. *Psychologische Rundschau, 43*, 18-29.

Hager, W. (1995). Planung und Durchführung der Evaluation von kognitiven Förderprogrammen. In W. Hager (Hrsg.), *Programme zur Förderung des Denkens bei Kindern. Konstruktion, Evaluation und Metaevaluation* (S. 100-206). Göttingen: Hogrefe.

Hager, W. (2004). *Testplanung zur statistischen Prüfung psychologischer Hypothesen.* Göttingen: Hogrefe.

Hanich, L. B., Jordan, N. C., Kaplan, D. & Dick, J. (2001). Performance across different areas of mathematical cognition in children with learning difficulties. *Journal of Educational Psychology, 93*, 615-626.

Hartig, J. & Klieme, E. (2006). Kompetenz und Kompetenzdiagnostik. In K. Schweizer (Hrsg.), *Leistung und Leistungsdiagnostik* (S. 127-143). Berlin: Springer.

Hasher, L., Chung, C., May, C. P. & Foong, N. (2002). Age, time of testing, and proactive interference. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 56*, 200-207.

Hasher, L. & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. H. Bower (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 22, S. 193-225). New York: Academic Press.

Hasher, L., Zacks, R. T. & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. Gopher & A. Koriat (Eds.), *Attention and performance, XVII, Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application* (S. 653-675). Cambridge, MA: MIT Press.

Hasher, L., Zacks, R. T. & Rahhal, T. A. (1999). Timing, instructions, and inhibitory control: Some missing factors in the age and memory debate. *Gerontology, 45*, 355-357.

Haskell, S. H. (2000). The determinants of arithmetic skills in young children: some observations. *European Child and Adolescent Psychiatry, 9 (Suppl. 2)*, 77-86.

Hasselhorn, M. & Grube, D. (2003). Das Arbeitsgedächtnis: Funktionsweise, Entwicklung und Bedeutung für kognitive Leistungsstörungen. *Sprache - Stimme - Gehör, 27*, 31-37.

Hasselhorn, M., Grube, D. & Mähler, C. (2000). Theoretisches Rahmenmodell für ein Diagnostikum zur differentiellen Funktionsanalyse des phonologischen Arbeitsgedächt-

nisses. In M. Hasselhorn, W. Schneider & H. Marx (Hrsg.), *Diagnostik von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten. Test und Trends N.F. Band 1* (S. 167-181). Göttingen: Hogrefe.

Hasselhorn, M., Grube, D., Mähler, C. & Roick, T. (im Druck). Experimentelle Forschung: Was leistet sie für die Sonderpädagogik? In J. Walter & F. B. Wember (Hrsg.), *Handbuch der Pädagogik und Psychologie bei Behinderungen. Förderschwerpunkt Lernen* (S. 895-908). Göttingen: Hogrefe.

Hasselhorn, M., Mähler, C., Schuchardt, K. & Roick, T. (2006). *Das Diskrepanzkriterium zur Diagnostik von Teilleistungsstörungen.* Vortrag auf der Fachlichen Runde der Abteilung für Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie des Georg-Elias-Müller-Instituts für Psychologie der Georg-August-Universität Göttingen, 09. Februar 2006 in Göttingen.

Hasselhorn, M., Marx, H. & Schneider, W. (Hrsg.). (2005). *Diagnostik von Mathematikleistungen. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik, Tests und Trends N. F. Band 4*. Göttingen: Hogrefe.

Hasselhorn, M., Roick, T. & Gölitz, D. (2005). Stabilitäten und prognostische Validitäten der Mathematikleistungen: Eine Längsschnittstudie mit der DEMAT-Reihe in der Grundschule. In M. Hasselhorn, H. Marx & W. Schneider (Hrsg.), *Diagnostik von Mathematikleistungen. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik, Tests und Trends N. F. Band 4.* (S. 187-198). Göttingen: Hogrefe.

Hasselhorn, M. & Schuchardt, K. (2006). Lernstörungen: Eine kritische Skizze zur Epidemiologie. *Kindheit und Entwicklung, 15*, 208-215.

Hasselhorn, M. & Schumann-Hengsteler, R. (2001). Arbeitsgedächtnis. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Auflage, S. 17-22). Weinheim: Beltz.

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.

Hecht, S. A., Close, L. & Santisi, M. (2003). Sources of individual differences in fraction skills. *Journal of Experimental Child Psychology, 86*, 277-302.

Hecht, S. A., Torgesen, J. K., Wagner, R. K. & Rashotte, C. A. (2001). The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical computation skills: a longitudinal study from second to fifth grades. *Journal of Experimental Child Psychology, 79*, 192-227.

Hein, J., Bzufka, M. W. & Neumärker, K. J. (2000). The specific disorder of arithmetic skills. Prevalence studies in a rural and an urban population sample and their clinico-neuropsychological validation. *European Child and Adolescent Psychiatry, 9 (Suppl. 2)*, 87-101.

Helmke, A. (1997). Individuelle Bedingungsfaktoren der Schulleistung. In F. E. Weinert & A. Helmke (Hrsg.), *Entwicklung im Grundschulalter* (S. 203-216). Weinheim: Beltz.

Hembree, R. (1990). The nature, effects, and relief of mathematics anxiety. *Journal for Research in Mathematics Education, 21*, 33-46.

Hemminger, U., Roth, E., Schneck, S., Jans, T. & Warnke, A. (2000). Testdiagnostische Verfahren zur Überprüfung der Fertigkeiten im Lesen, Rechtschreiben und Rechnen. Eine kritische Übersicht. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie, 28*, 188-201.

Henry, L. A. (2001). How does the severity of a learning disability affect working memory performance? *Memory, 9*, 233-247.

Hitch, J. G. & McAuley, E. (1991). Working memory in children with specific arithmetical learning difficulties. *British Journal of Psychology, 82*, 375-386.

Holling, H., Preckel, F. & Vock, M. (2004). *Intelligenzdiagnostik*. Göttingen: Hogrefe.

Holmes, J. & Adams, J. (2006). Working memory and children's mathematical skills: Implications for mathematical development and mathematics curricula. *Educational Psychology, 26*, 339-366.

Hopko, D. R., Ashcraft, M. H., Gute, J., Ruggiero, K. J. & Lewis, C. (1998). Mathematics anxiety and working memory: Support for the existence of a deficient inhibition mechanism. *Journal of Anxiety Disorders, 12*, 343-355.

Horn, W. F. & Packard, T. (1985). Early identification of learning problems: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology, 77*, 597-607.

Huttenlocher, J., Jordan, N. C. & Levine, S. C. (1994). A mental model for early arithmetic. *Journal of Experimental Psychology: General, 123*, 284-296.

Imbo, I., De Rammelaere, S. & Vandierendonck, A. (2005). New insights in the role of working memory in carry and borrow operations. *Psychologica Belgica, 45*, 101-122.

Isaacs, E. B., Edmonds, C. J., Lucas, A. & Gadian, D. G. (2001). Calculation difficulties in children of very low birthweight: A neural correlate. *Brain, 124*, 1701-1707.

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, C. & Petermann, F. (2005). *Diagnostik von Rechenstörungen*. Göttingen: Hogrefe.

Jänen, I. (2005). *Mathematikangst und Rechenleistung: Gibt es einen über Arbeitsgedächtnisprozesse vermittelten Zusammenhang?* Unveröffentlichte Diplomarbeit, Georg-August-Universität Göttingen.

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.

Jeffries, S. & Everatt, J. (2004). Working memory: Its role in dyslexia and other specific learning difficulties. *Dyslexia, 10*, 196-214.

Jensen, E. M., Reese, E. P. & Reese, T. W. (1950). The subitizing and counting of visually presented fields of dots. *Journal of Psychology, 30*, 363-392.

Jevons, W. (1871). The power of numerical discrimination. *Nature, 3*, 281-282.

Jiménez, J. E., Ortiz, M. d. R., Rodrigo, M., Hernández-Valle, I., Ramírez, G., Estévez, A. et al. (2003). Do the effects of computer-assisted practice differ for children with reading disabilities with and without IQ-achievement discrepancy? *Journal of Learning Disabilities, 36*, 34-47.

Jordan, N. C. & Hanich, L. B. (2000). Mathematical thinking in second-grade children with different forms of LD. *Journal of Learning Disabilities, 33*, 567-578.

Jordan, N. C. & Hanich, L. B. (2003). Characteristics of children with moderate mathematics deficiencies: A longitudinal perspective. *Learning Disabilities Research & Practice, 18*, 213-221.

Jordan, N. C., Hanich, L. B. & Kaplan, D. (2003a). Arithmetic fact mastery in young children: A longitudinal investigation. *Journal of Experimental Child Psychology, 85*, 103-119.

Jordan, N. C., Hanich, L. B. & Kaplan, D. (2003b). A longitudinal study of mathematical competencies in children with specific mathematics difficulties versus children with comorbid mathematics and reading difficulties. *Child Development, 74*, 834-850.

Jordan, N. C. & Montani, T. O. (1997). Cognitive arithmetic and problem solving: a comparison of children with specific and general mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities, 30*, 624-634, 684.

Jurden, F. H. (1995). Individual differences in working memory and complex cognition. *Journal of Educational Psychology, 87*, 93-102.

Kaufman, E. L., Lord, M. W., Reese, T. W. & Volkmann, J. (1949). The discrimination of visual number. *American Journal of Psychology, 62*, 498-525.

Kaufmann, L., Montanes, P., Jacquier, M., Matallana, D., Eibl, G. & Delazer, M. (2002). About the relationship between basic numerical processing and arithmetics in early Alzheimer's disease - a follow-up study. *Brain and Cognition, 48*, 398-405.

Kaufmann, L. & Nuerk, H.-C. (2005). Numerical development: current issues and future perspectives. *Psychology Science, 47*, 142-170.

Kavale, K. A. & Forness, S. R. (2000). What definitions of LD say and don't say. *Journal of Learning Disabilities, 33*.

Kavale, K. A., Fuchs, D. & Scruggs, T. E. (1994). Setting the record straight on learning disability and low achievement: Implications for policymaking. *Learning Disabilities Research & Practice, 9*, 70-77.

Kavale, K. A., Holdnack, J. A. & Mostert, M. P. (2006). Responsiveness to intervention and the identification of specific learning disability: a critique and alternative proposal. *Learning Disability Quarterly, 29*, 113-127.

Kaye, D. B., Post, T. A., Hall, V. C. & Dineen, J. T. (1986). Emergence of information-retrieval strategies in numerical cognition: A developmental study. *Cognition and Instruction, 3*, 127-150.

Kibby, M. Y., Marks, W., Morgan, S. & Long, C. J. (2004). Specific impairment in developmental reading disabilities: A working memory spproach. *Journal of Learning Disabilities, 37*, 349-363.

Kirk, S. A. (1962). *Educating exceptional children*. Boston: Houghton Mifflin.

Kirk, S. A. & Bateman, B. D. (1962). Diagnosis and remediation of learning disabilities. *Exceptional Children, 29*, 73-78.

Klauer, K. J. (1992). In Mathematik mehr leistungsschwache Mädchen, im Lesen und Rechtschreiben mehr leistungsschwache Jungen? *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 24*, 48-65.

Klein, J. S. & Bisanz, J. (2000). Preschoolers doing arithmetic: the concepts are willing but the working memory is weak. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 54*, 105-116.

Klieme, E. (2004). Was sind Kompetenzen und wie lassen sie sich messen? *Pädagogik, 56*, 10-13.

Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M. et al. (2003). *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise*. Frankfurt am Main: DIPF.

Kobayashi, T., Hiraki, K., Mugitani, R. & Hasegawa, T. (2004). Baby arithmetic: one object plus one tone. *Cognition, 91*, B23-B34.

Koechlin, E., Dehaene, S. & Mehler, J. (1997). Numerical transformations in five-month-old human infants. *Mathematical Cognition, 3*, 89-104.

Koontz, K. L. & Berch, D. B. (1996). Identifying simple numerical stimuli: Processing inefficiencies exhibited by arithmetic learning disabled children. *Mathematical Cognition, 2*, 1-23.

Kosc, L. (1974). Developmental dyscalculia. *Journal of Learning Disabilities, Vol. 7*, 165-177.

Koumoula, A., Tsironi, V., Stamouli, V., Bardani, I., Siapati, S., Annika, G. et al. (2004). An epidemiological study of number processing and mental calculation in Greek schoolchildren. *Journal of Learning Disabilities, 37*, 377-388.

Krajewski, K. (2003). *Vorhersage von Rechenschwäche in der Grundschule*. Hamburg: Kovac.

Krajewski, K. (2005). Vorschulische Mengenbewusstheit von Zahlen und ihre Bedeutung für die Früherkennung von Rechenschwäche. In M. Hasselhorn, H. Marx & W. Schneider (Hrsg.), *Diagnostik von Mathematikleistungen. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik, Tests und Trends N. F. Band 4.* (S. 49-70). Göttingen: Hogrefe.

Krajewski, K. & Schneider, W. (2006). Mathematische Vorläuferfertigkeiten im Vorschulalter und ihre Vorhersagekraft für die Mathematikleistungen bis zum Ende der Grundschulzeit. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 53*, 246-262.

Krapp, A. (1973). *Bedingungen des Schulerfolgs*. München: Oldenbourg.

Krauth, J. (1993). *Einführung in die Konfigurationsfrequenzanalyse (KFA). Ein multivariates nichtparametrisches Verfahren zum Nachweis und zur Interpretation von Typen und Syndromen*. Weinheim: Beltz.

Kurdek, L. A. & Sinclair, R. J. (2001). Predicting reading and mathematics achievement in fourth-grade children from kindergarten readiness scores. *Journal of Educational Psychology, 93*, 451-455.

Küspert, P. & Schneider, W. (1998). *Würzburger Leise-Lese-Probe (WLLP)*. Göttingen: Hogrefe.

La Pointe, L. B. & Engle, R. W. (1990). Simple and complex word spans as measures of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 16*, 1118-1133.

Lamminmaeki, T., Ahonen, T., Naerhi, V., Lyytinen, H. & Todd de Barra, H. (1995). Attention deficit hyperactivity disorder subtypes: Are there differences in academic problems? *Developmental Neuropsychology, 11*, 297-310.

Landerl, K. (2005). *Neurokognitive Forschung zu Lernstörungen: Befunde und Konsequenzen für die Intervention.* Vortrag auf dem 1. Workshop "Humanwissenschaftliche Perspektiven auf Lernen" an der Freien Universität (FU), 13. bis 14. Januar 2005 in Berlin.

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.

Lankes, E.-M. & Walther, G. (2001). Mathematikleistung in der Grundschule. In G. Kaiser, N. Knoche, D. Lind & W. Zillmer (Hrsg.), *Leistungsvergleiche im Mathematikunterricht. Ein Überblick über aktuelle nationale Studien*. Hildesheim: Franzbecker.

Lautsch, E. & von Weber, S. (1995). *Methoden und Anwendungen der Konfigurationsfrequenzanalyse (KFA)*. Weinheim: Beltz.

Leather, C. V. & Henry, L. A. (1994). Working memory span and phonological awareness tasks as predictors of early reading ability. *Journal of Experimental Child Psychology, 58*, 88-111.

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.

Lee, K.-M. & Kang, S.-Y. (2002). Arithmetic operation and working memory: differential suppression in dual tasks. *Cognition, 83*, B63-B68.

Lehto, J. (1995). Working memory and school achievement in the ninth form. *Educational Psychology, 15*, 271-280.

Lehto, J. (1996). Are executive function tests dependent on working memory capacity? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. Section A, Human Experimental Psychology, 49*, 29-50.

Lerkkanen, M.-K., Rasku-Puttonen, H., Aunola, K. & Nurmi, J.-E. (2005). Mathematical performance predicts progress in reading comprehension among 7-year olds. *European Journal of Psychology of Education, 20*, 121-137.

Levine, S. C., Jordan, N. C. & Huttenlocher, J. (1992). Development of calculation abilities in young children. *Journal of Experimental Child Psychology, 53*, 72-103.

Lewis, C., Hitch, G. J. & Walker, P. (1994). The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- to 10-year-old boys and girls. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines, 35*, 283-292.

Liddell, G. A. & Rasmussen, C. (2005). Memory profile of children with nonverbal learning disability. *Learning Disabilities Research and Practice, 20*, 137-141.

Light, J. G. & DeFries, J. C. (1995). Comorbidity of reading and mathematics disabilities: Genetic and environmental etiologies. *Journal of Learning Disabilities, 28*, 96-106.

Lindsay, R. L., Tomazic, T., Levine, M. D. & Accardo, P. J. (1999). Impact of attentional dysfunction in dyscalculia. *Developmental Medicine and Child Neurology, 41*, 639-642.

Lipton, J. S. & Spelke, E. S. (2003). Origins of number sense: Large-number discrimination in human Infants. *Psychological Science, 14*, 396-401.

Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Logie, R. H., Gilhooly, K. J. & Wynn, V. (1994). Counting on working memory in arithmetic problem solving. *Memory & Cognition, 22*, 395-410.

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.

Lorenz, J. H. (2005). Diagnostik mathematischer Basiskompetenzen im Vorschulalter. In M. Hasselhorn, H. Marx & W. Schneider (Hrsg.), *Diagnostik von Mathematikleistungen. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik, Tests und Trends N. F. Band 4.* (S. 29-48). Göttingen: Hogrefe.

Lucangeli, D. & Cabrele, S. (2006). Mathematical difficulties and ADHD. *Exceptionality, 14*, 53-62.

Lucangeli, D. & Cornoldi, C. (1997). Mathematics and metacognition: What Is the nature of the relationship? *Mathematical Cognition, 3*, 121-139.

Lupkowski, A. E. & Schumacker, R. E. (1991). Mathematics anxiety among talented students. *Journal of Youth and Adolescence, 20*, 563-572.

Lustig, C., May, C. P. & Hasher, L. (2001). Working memory span and the role of proactive interference. *Journal of Experimental Psychology: General, 130*, 199-207.

Ma, X. (1999). A meta-analysis of the relationship between anxiety toward mathematics and achievement in mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education, 30*, 520-540.

Magne, O. (2003). *Literature on special educational needs in mathematics: A bibliography with some comments* (4th ed.). Malmö, Sweden: School of Education.

Mandler, G. & Shebo, B. J. (1980). Subitizing and its component skills. *Bulletin of the Psychonomic Society, 16*, 151.

Mandler, G. & Shebo, B. J. (1982). Subitizing: an analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology: General, 111*, 1-22.

Marshall, R. M., Schafer, V. A., O'Donnell, L., Elliott, J. & Handwerk, M. L. (1999). Arithmetic disabilities and ADD subtypes: Implications for DSM-IV. *Journal of Learning Disabilities, 32*, 239-247.

Marx, H. & Krocker, N. (2005). Das Prokrustesbett der deutschen Lehrpläne für die Entwicklung von lehrplanvaliden Testverfahren - Zur Konstruktion der Deutschen Mathematiktests für fünfte und sechste Klassen (DEMAT 5+ und DEMAT 6+). In M. Hasselhorn, H. Marx & W. Schneider (Hrsg.), *Diagnostik von Mathematikleistungen. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik, Tests und Trends N. F. Band 4.* (S. 199-231). Göttingen: Hogrefe.

Mather, N. & Roberts, R. (1994). Learning disabilities: A field in danger of extinction? *Learning Disabilities Research & Practice, 9*, 49-58.

May, C. P., Hasher, L. & Kane, M. J. (1999). The role of interference in memory span. *Memory & Cognition, 27*, 759-767.

Maybery, M. T. & Do, N. (2003). Relationships between facets of working memory and performance on a curriculum-based mathematics test in children. *Educational and Child Psychology, 20*, 77-92.

Mazzocco, M. M. M. (1998). A process approach to describing mathematics difficulties in girls with Turner syndrome. *Pediatrics, 102*, 492.

Mazzocco, M. M. M. (2001). Math learning disability and math LD subtypes: evidence from studies of Turner Syndrome, Fragile X Syndrome, and Neurofibromatosis Type 1. *Journal of Learning Disabilities, 34*.

Mazzocco, M. M. M. (2005). Challenges in identifying target skills for math disability screening and intervention. *Journal of Learning Disabilities, 38*, 318-323.

Mazzocco, M. M. M. & Myers, G. F. (2003). Complexities in identifying and defining mathematics learning disability in the primary school-age years. *Annals of Dyslexia, 53*, 218-253.

Mazzocco, M. M. M. & Thompson, R. E. (2005). Kindergarten predictors of math learning disability. *Learning Disabilities Research and Practice, 20*, 142-155.

McCloskey, M. (1992). Cognitive mechanisms in numerical processing: Evidence from acquired dyscalculia. *Cognition, 44*, 107-157.

McCloskey, M., Caramazza, A. & Basili, A. (1985). Cognitive mechanisms in number processing and calculation: evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition, 4*, 171-196.

McCloskey, M. & Macaruso, P. (1995). Representing and using numerical information. *American Psychologist, 50*, 351-363.

McCloskey, M., Macaruso, P. & Whetstone, T. (1992). The functional architecture of numerical processing mechanisms: Defending the modular model. In J. I. D. Campbell (Eds.), *The nature and origins of mathematical skills* (S. 493-537). Amsterdam: North Holland.

McKenzie, B., Bull, R. & Gray, C. (2003). The effects of phonological and visual-spatial interference on children's arithmetical performance. *Educational and Child Psychology, 20*, 93-108.

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.

McLeod, J. (1979). Educational underachievement: Toward a defensible psychometric definition. *Journal of Learning Disabilities, 12*, 322-330.

Meck, W. H. & Church, R. M. (1983). A mode control model of counting and timing processes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 9*, 320-334.

Micallef, S. & Prior, M. (2004). Arithmetic learning difficulties in children. *Educational Psychology, 24*, 175-200.

Miller, H. & Bichsel, J. (2004). Anxiety, working memory, gender, and math performance. *Personality and Individual Differences, 37*, 591-606.

Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin, 27*, 272-277.

Mix, K. S. (1999). Preschoolers' recognition of numerical equivalence: sequential sets. *Journal of Experimental Child Psychology, 74*, 309-332.

Mix, K. S., Huttenlocher, J. & Levine, S. C. (2002a). Multiple cues for quantification in infancy: Is number one of them? *Psychological Bulletin, 128*, 278-294.

Mix, K. S., Huttenlocher, J. & Levine, S. C. (2002b). *Quantitative development in infancy and early childhood.* Oxford: Oxford University Press.

Mix, K. S., Levine, S. C. & Huttenlocher, J. (1997). Numerical abstraction in infants: another look. *Developmental Psychology, 33*, 423-428.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*, 49-100.

Monuteaux, M. C., Faraone, S. V., Herzig, K., Navsaria, N. & Biederman, J. (2005). ADHD and dyscalculia: Evidence for independent familial transmission, *Journal of Learning Disabilities* (Vol. 38, pp. 86-93).

Moore, D., Benenson, J., Reznick, J. S., Peterson, M. & Kagan, J. (1987). Effect of auditory numerical information on infants' looking behavior: Contradictory evidence. *Developmental Psychology, 23*, 665-670.

Nasser, F. & Birenbaum, M. (2005). Modeling mathematics achievement of jewish and arab eighth graders in Israel: The effects of learner-related variables. *Educational Research and Evaluation, 11*, 277-302.

Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin, 126*, 220-246.

Nigg, J. T. (2001). Is ADHD a disinhibitory disorder? *Psychological Bulletin, 127*, 571-598.

Nigg, J. T., Butler, K. M., Huang-Pollock, C. L. & Henderson, J. M. (2002). Inhibitory processes in adults with persistent childhood onset ADHD. *Journal of Consulting and Clinical Psychology, 70*, 153-157.

Noël, M.-P., Désert, M., Aubrun, A. & Seron, X. (2001). Involvement of short-term memory in complex mental calculation. *Memory & Cognition, 29*, 34-42.

Noël, M.-P. & Seron, X. (1993). Arabic number reading deficit: A single case study: or When 236 is read (2306) and judged superior to 1258. *Cognitive Neuropsychology, 10*, 317-339.

Noël, M.-P., Seron, X. & Trovarelli, F. (2004). Working memory as a predictor of addition skills and addition strategies in children. *Current Psychology of Cognition, 22*, 3-25.

Nuerk, H.-C., Kaufmann, L., Graf, M., Krinzinger, H., Delazer, M. & Willmes, K. (in Vorb.). *TEDI-MATH: Test zur Erfassung numerisch-rechnerischer Fertigkeiten für 4-8 Jährige*. Zürich: Hans Huber.

Oberauer, K., Süß, H.-M., Wilhelm, O. & Wittman, W. W. (2003). The multiple faces of working memory: Storage, processing, supervision, and coordination. *Intelligence, 31*, 167-193.

Oliver, B., Harlaar, N., Thomas, M. E. H., Kovas, Y., Walker, S. O., Petrill, S. A. et al. (2004). A twin study of teacher-reported mathematics performance and low performance in 7-year-olds. *Journal of Educational Psychology, 96*, 505-517.

Onatsu-Arvilommi, T., Nurmi, J.-E. & Aunola, K. (2002). The development of achievement strategies and academic skills during the first year of primary school. *Learning and Instruction, 12*, 509-527.

Ostad, S. A. (1998). Developmental differences in solving simple arithmetic word problems and simple number-fact problems: A comparison of mathematically normal and mathematically disabled children. *Mathematical Cognition, 4*, 1-19.

Ostad, S. A. (2002). *Mathematical difficulties: Aspects of learner characteristics in developmental perspective.* Lecture at Department of Experimental Psychology, Oxford University 22 May 2002.

Oswald, W. D. & Roth, E. (1987). *Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT)*. Göttingen: Hogrefe.

Pagulayan, K. F., Busch, R. M., Medina, K. L., Bartok, J. A. & Krikorian, R. (2006). Developmental normative data for the Corsi Block-Tapping Task. *Journal of Clinical & Experimental Neuropsychology, 28*, 1043-1052.

Palladino, P. & Cornoldi, C. (2004). Working memory performance of Italian students with foreign language learning difficulties. *Learning and Individual Differences, 14*, 137-151.

Passolunghi, M. C., Cornoldi, C. & De Liberto, S. (1999). Working memory and intrusions of irrelevant information in a group of specific poor problem solvers. *Memory & Cognition, 27*, 779-790.

Passolunghi, M. C., Marzocchi, G. M. & Fiorillo, F. (2005). Selective effect of inhibition of literal or numerical irrelevant information in children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) or arithmetic learning disorder (ALD). *Developmental Neuropsychology, 28*, 731-753.

Passolunghi, M. C. & Siegel, L. S. (2001). Short-term memory, working memory, and inhibitory control in children with difficulties in arithmetic problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology, 80*, 44-57.

Passolunghi, M. C. & Siegel, L. S. (2004). Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology, 88*, 348-367.

Pellegrino, J. W. & Goldman, S. R. (1987). Information processing and elementary mathematics. *Journal of Learning Disabilities, 20*, 23-32, 57.

Pesenti, M., Thioux, M., Seron, X. & De Volder, A. (2000). Neuroanatomical substrates of arabic number processing, numerical comparison, and simple addition: a PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*, 461-479.

Pickering, S. J. (2001). The development of visuo-spatial working memory. *Memory, 9*, 423-432.

Pickering, S. J. & Gathercole, S. E. (2004). Distinctive working memory profiles in children with special educational needs. *Educational Psychology, 24*, 0-408.

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. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. Section A, Human Experimental Psychology, 54*, 397-420.

Pylyshyn, Z. (1989). The role of location indexes in spatial perception: A sketch of the FINST spatial-index model. *Cognition, 32*, 65-97.

Pylyshyn, Z. (1994). Some primitive mechanisms of spatial attention. *Cognition, 50*, 363-384.

Ramaa, S. & Gowramma, I. P. (2002). A systematic procedure for identifying and classifying children with dyscalculia among primary school children in India. *Dyslexia, 8*, 67-85.

Ransdell, S. & Hecht, S. (2003). Time and resource limits on working memory: Cross-age consistency in counting span performance. *Journal of Experimental Child Psychology, 86*, 303-313.

Rasmussen, C. & Bisanz, J. (2005). Representation and working memory in early arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology, 91*, 137-157.

Reeve, R., Reynolds, F. & Butterworth, B. (2005). *Is the failure to subitize an index of dyscalculia in young children?* Paper presented at the 11th Biennial Conference of the European Association for Research on Learning and Instruction (Earli), August 23-27, 2005 in Nicosia, Cyprus.

Reitan, R. (1956). *Trail Making test: Manual for administration, scoring, and interpretation*. Bloomington: Indiana University.

Reuhkala, M. (2001). Mathematical skills in ninth-graders: Relationship with visuo-spatial abilities and working memory. *Educational Psychology, 21*, 387-399.

Reusser, K. (1997). Erwerb mathematischer Kompetenzen: Literaturüberblick. In F. E. Weinert & A. Helmke (Hrsg.), *Entwicklung im Grundschulalter* (S. 141-155). Weinheim: Beltz.

Reynolds, C. R. (1984). Critical measurement issues in learning disabilities. *The Journal of Special Education, 18*, 451-476.

Richards, G. P., Samuels, S. J., Turnure, J. E. & Ysseldyke, J. E. (1990). Sustained and selective attention in children with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 23*, 129-136.

Ricken, G. & Fritz, A. (2006). Arbeitsgedächtnisleistungen bei unterschiedlich guten Rechnern im Kindergartenalter. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 53*, 263-274.

Rindermann, H. (2006). Was messen internationale Schulleistungsstudien? Schulleistungen, Schülerfähigkeiten, kognitive Fähigkeiten, Wissen oder allgemeine Intelligenz? *Psychologische Rundschau, 57*, 69-86.

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*, 113-121.

Roick, T., Gölitz, D. & Hasselhorn, M. (2004). *Deutscher Mathematiktest für dritte Klassen (DEMAT 3+)*. Göttingen: Beltz Test.

Roick, T., Gölitz, D. & Hasselhorn, M. (in Vorb.). *Kettenrechner für dritte und vierte Klassen (Kettenrechner 3-4)*. Göttingen: Beltz Test.

Roick, T. & Hasselhorn, M. (2003). *Reihenverbindungstest (RVT)*. Unveröffentlichtes Testverfahren, Georg-August-Universität Göttingen.

Roick, T. & Hasselhorn, M. (2005). Der Kettenrechner 3-4. Zusätzliche Differenzierung durch komplexe arithmetische Faktenaufgaben. In M. Hasselhorn, H. Marx & W. Schneider (Hrsg.), *Diagnostik von Mathematikleistungen. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik, Tests und Trends N. F. Band 4.* (S. 233-250). Göttingen: Hogrefe.

Rourke, B. P. (1982). Central processing deficiencies in children: Toward a developmental neuropsychological model. *Journal of Clinical Neuropsychology, 4*, 1-18.

Rourke, B. P. (1989). *Nonverbal learning disabilities. The syndrome and the model.* New York: Guilford Press.

Rourke, B. P. (1993). Arithmetic disabilities, specific and otherwise: a neuropsychological perspective. *Journal of Learning Disabilities, 26*, 214-226.

Rourke, B. P. & Conway, J. A. (1997). Disabilities of arithmetic and mathematical reasoning: Perspectives from neurology and neuropsychology. *Journal of Learning Disabilities, 30*, 34-46.

Rourke, B. P. & Finlayson, M. A. J. (1978). Neuropsychological significance of variations in patterns of academic performance: Verbal and visual-spatial abilities. *Journal of Abnormal Child Psychology, 6*, 121-133.

Rourke, B. P. & Strang, J. D. (1978). Neuropsychological significance of variations in patterns of academic performance: Motor, psychomotor, and tactile-perceptual abilities. *Journal of Pediatric Psychology, 3*, 62-66.

Rousselle, L., Palmers, E. & Noël, M.-P. (2004). Magnitude comparison in preschoolers: What counts? Influence of perceptual variables. *Journal of Experimental Child Psychology, 87*, 57-84.

Rovet, J., Szekely, C. & Hockenberry, M.-N. (1994). Specific arithmetic calculation deficits in children with Turner syndrome. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 16*, 820-839.

Runge, T. J. & Watkins, M. W. (2006). The structure of phonological awareness among kindergarten students. *School Psychology Review, 35*, 370-386.

Russell, R. L. & Ginsburg, H. P. (1984). Cognitive analysis of children's mathematics difficulties. *Cognition and Instruction, 1*, 217-244.

Rutter & Yule. (1975). The concept of specific reading retardation. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 16*, 181-197.

Sauer, J. & Gamsjäger, E. (1996). *Ist Schulerfolg vorhersehbar? Die Determinanten der Grundschulleistung und ihr prognostischer Wert für den Sekundarschulerfolg.* Göttingen: Hogrefe.

Scheres, A., Oosterlaan, J., Geurts, H., Morein-Zamir, S., Meiran, N., Schut, H. et al. (2004). Executive functioning in boys with ADHD: primarily an inhibition deficit? *Archives of Clinical Neuropsychology, 19*, 569-594.

Schmid, C., Zoelch, C. & Roebers, C. M. (im Druck). Das Arbeitsgedächtnis von 4- bis 5-jährigen Kindern: Theoretische und empirische Analyse seiner Funktionen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*.

Schneider, W. (2001). Gedächtnisentwicklung. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2. Auflage, S. 194-200). Weinheim: Beltz.

Schneider, W., Bullock, M. & Sodian, B. (1998). Die Entwicklung des Denkens und der Intelligenzunterschiede zwischen Kindern. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Entwicklung im Kindesalter* (S. 53-74). Weinheim: Beltz.

Schneider, W. & Helmke, A. (1986). Mehrebenenanalytische Ansätze zur Erklärung von Schulleistungen. In M. v. Saldern (Hrsg.), *Mehrebenenanalyse. Beiträge zur Erfassung hierarchisch strukturierter Realität* (S. 170-193). Weinheim: Psychologie Verlags Union.

Schneider, W. & Knopf, M. (2003). *Entwicklung, Lehren und Lernen*. Göttingen: Hogrefe.

Schneider, W., Knopf, M. & Stefanek, J. (2002). The development of verbal memory in childhood and adolescence: Findings from the Munich Longitudinal Study. *Journal of Educational Psychology, 94*, 751-761.

Schneider, W., Knopf, M., Stern, E., Helmke, A. & Asendorpf, J. B. (1990). *Die Entwicklung kognitiver, motivationaler und sozialer Kompetenzen zwischen dem 4. und 8. Lebensjahr*. München: MPI für psychologische Forschung.

Schneider, W. & Stefanek, J. (2004). Entwicklungsveränderungen allgemeiner kognitiver Fähigkeiten und schulbezogener Fertigkeiten im Kindes- und Jugendalter: Evidenz für einen Schereneffekt? *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 36*, 147-159.

Schuchardt, K. & Hasselhorn, M. (2005). Übersicht über aktuell verfügbare deutschsprachige Testverfahren zur Erfassung von Mathematikleistungen, -kompetenzen und -schwächen. In M. Hasselhorn, H. Marx & W. Schneider (Hrsg.), *Diagnostik von Mathematikleistungen. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik, Tests und Trends N. F. Band 4.* (S. 301-313). Göttingen: Hogrefe.

Schuchardt, K., Kunze, J., Grube, D. & Hasselhorn, M. (2006). Arbeitsgedächtnisdefizite bei Kindern mit schwachen Rechen- und Schriftsprachleistungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 20*, 261-268.

Schulte-Körne, G., Deimel, W. & Remschmidt, H. (2001). Zur Diagnostik der Lese-Rechtschreibstörung. *Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie, 29*, 113-116.

Schweizer, K. & Moosbrugger, H. (2004). Attention and working memory as predictors of intelligence. *Intelligence, 32*, 329-347.

Schweizer, K., Moosbrugger, H. & Goldhammer, F. (2005). The structure of the relationship between attention and intelligence. *Intelligence, 33*, 589-611.

Schwenck, C. & Schneider, W. (2003a). Der Zusammenhang von Rechen- und Schriftsprachkompetenz im frühen Grundschulalter. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 17*, 261-267.

Schwenck, C. & Schneider, W. (2003b). Einflussfaktoren für den Zusammenhang von Rechen- und Schriftsprachleistungen im frühen Grundschulalter. *Kindheit und Entwicklung, 12*, 212-221.

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.

Semrud-Clikeman, M. & Hynd, G. W. (1990). Right hemispheric dysfunction in nonverbal learning disabilities: social, academic, and adaptive functioning in adults and children. *Psychological Bulletin, 107*, 196-209.

Service, E. (1992). Phonology, working memory, and foreign-language learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. Section A, Human Experimental Psychology, 45*, 21-50.

Shah, P. & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General, 125*, 4-27.

Shalev, R. S., Auerbach, J. & Gross-Tsur, V. (1995). Developmental dyscalculia behavioral and attentional aspects: a research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines, 36*, 1261-1268.

Shalev, R. S., Auerbach, J., Manor, O. & Gross-Tsur, V. (2000). Developmental dyscalculia: prevalence and prognosis. *European Child and Adolescent Psychiatry, 9 (Suppl. 2)*, 58-64.

Shalev, R. S. & Gross-Tsur, V. (2001). Developmental dyscalculia. *Pediatric Neurology, 24*, 337-342.

Shalev, R. S., Manor, O., Auerbach, J. & Gross-Tsur, V. (1998). Persistence of developmental dyscalculia: what counts? Results from a 3-year prospective follow-up study. *Journal of Pediatrics, 133*, 358-362.

Shalev, R. S., Manor, O., Kerem, B., Ayali, M., Badichi, N., Friedlander, Y. et al. (2001). Developmental dyscalculia is a familial learning disability. *Journal of Learning Disabilities, 34*, 59-65.

Share, D. L., Moffitt, T. E. & Silva, P. A. (1988). Factors associated with arithmetic-and-reading disability and specific arithmetic disability. *Journal of Learning Disabilities, 21*, 313-320.

Sharma, M. C. & Loveless, E. I. (1986). The work of Dr. Ladislav Kosc on dyscalulia. *Focus on Learning Problems in Mathematics, 8*, 47-119.

Sharon, T. & Wynn, K. (1998). Individuation of actions from continuous motion. *Psychological Science, 9*, 357.

Shipley, E. F. & Shepperson, B. (1990). The what-if of counting. *Cognition, 36*, 285-289.

Siegel, L. S. (1989). IQ is irrelevant to the definition of learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 22*, 469-479, 486.

Siegel, L. S. (2003). IQ-discrepancy definitions and the diagnosis of LD. *Journal of Learning Disabilities, 36*, 2-3.

Siegel, L. S. & Linder, B. A. (1984). Short-term-memory processes in children with reading and arithmetic learning-disabilities. *Developmental Psychology, 20*, 200-207.

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. (1988). Strategy choice procedures and the development of multiplication skill. *Journal of Experimental Psychology: General, 117*, 258-275.

Siegler, R. S. (1991). In young children's counting, procedures precede principles. *Educational Psychology Review, 3*, 127-135.

Siegler, R. S. (1999). Strategic development. *Trends in Cognitive Sciences, 3*, 430-435.

Siegler, R. S. & Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child Development, 75*, 428-444.

Siegler, R. S. & Robinson, M. (1982). The development of numerical understanding. In H. Reese & L. P. Lipsit (Eds.), *Advances in Child Development and Behavior* (S. 242-312). New York: Academic Press.

Siegler, R. S. & Shrager, J. (1984). Strategy choices in addition and subtraction: How do children know what to do? In C. Sophian (Ed.), *Origins of cognitive skills* (S. 229-293). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Silver, C. H., Pennett, H. D.-L., Black, J. L., Fair, G. W. & Balise, R. R. (1999). Stability of arithmetic disability subtypes. *Journal of Learning Disabilities, 32*, 108-119.

Simon, T. J. (1997). Reconceptualizing the origins of number knowledge: A "non-numerical" account. *Cognitive Development, 12*, 349-372.

Simon, T. J. (1999). The foundations of numerical thinking in a brain without numbers. *Trends in Cognitive Sciences, 3*, 363-365.

Simon, T. J., Hespos, S. J. & Rochat, P. (1995). Do infants understand simple arithmetic? A replication of Wynn (1992). *Cognitive Development, 10*, 253-269.

Slaughter, V., Kamppi, D. & Paynter, J. (2006). Toddler subtraction with large sets: Further evidence for an analog-magnitude representation of number. *Developmental Science, 9*, 33-39.

Sodoro, J., Allinder, R. M. & Rankin-Erickson, J. L. (2002). Assessment of phonological awareness: Review of methods and tools. *Educational Psychology Review, 14*, 223.

Sparfeldt, J. R., Schilling, S. R., Rost, D. H., Stelzl, I. & Peipert, D. (2005). Leistungsängstlichkeit: Facetten, Fächer, Fachfacetten? Zur Trennbarkeit nach Angstfacette und Inhaltsbereich. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 19*, 225-236.

Spelke, E. & Dehaene, S. (1999). Biological foundations of numerical thinking: Response to T.J. Simon (1999). *Trends in Cognitive Sciences, 3*, 365-366.

St Clair-Thompson, H. L. & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, Section A: Human Experimental Psychology, 59*, 745-759.

Stamm, M. (1998). *Frühlesen und Frührechnen als soziale Tatsachen. Schlussbericht der Projektetappe 1995 bis 1998*. Aarau: Institut für Bildungs- und Forschungsfragen.

Stamm, M. (2003). *„FLR 2003". Acht Jahre nach der Einschulug: Pubertät und Adoleszenz. Ein Teilprojekt der Längsschnittstudie von 1995 bis 2008 „Frühlesen und Frührechnen als soziale Tatsachen: Leistung, Interessen, Schulerfolg und soziale Entwicklung von Kindern, die bei Schuleintritt bereits lesen und/oder rechnen konnten"*. Aarau: Institut für Bildungs- und Forschungsfragen.

Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Primarstufenbereich. Beschlüsse vom 15.10.2004*. München: Luchterhand.

Stanovich, K. E. (1989). Has the learning disabilities field lost its intelligence? *Journal of Learning Disabilities, 22*, 487-492.

Stanovich, K. E. (1993). Dysrationalia: a new specific learning disability. *Journal of Learning Disabilities, 26*, 501-515.

Stanovich, K. E. (2005). The future of a mistake: Will discrepancy measurement continue to make the learning disabilities field a pseudoscience? *Learning Disability Quarterly, 28*, 103-106.

Starkey, P. (1992). The early development of numerical reasoning. *Cognition, 43*, 93-126.

Starkey, P. & Cooper, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science, 210*, 1033-1035.

Starkey, P. & Cooper, R. G. (1995). The development of subitizing in young-children. *British Journal of Developmental Psychology, 13*, 399-420.

Starkey, P., Spelke, E. S. & Gelman, R. (1990). Numerical abstraction by human infants. *Cognition, 36*, 97-127.

Steel, S. & Funnell, E. (2001). Learning multiplication facts: a study of children taught by discovery methods in England. *Journal of Experimental Child Psychology, 79*, 37-55.

Stern, E. (1997). Das Lösen mathematischer Textaufgaben: Wie Kinder lernen, was sie nicht üben. In F. E. Weinert & A. Helmke (Hrsg.), *Entwicklung im Grundschulalter* (S. 157-170). Weinheim: Beltz.

Stern, E. (1998). *Die Entwicklung des mathematischen Verständnisses im Kindesalter*. Lengerich: Pabst.

Stern, E. (2003). Früh übt sich - neuere Ergebnisse aus der Logik-Studie zum Lösen mathematischer Textaufgaben. In A. Fritz, G. Ricken & S. Schmidt (Hrsg.), *Handbuch Rechenschwäche. Lernwege, Schwierigkeiten und Hilfen bei Dyskalkulie* (S. 116-141). Weinheim: Beltz.

Stern, E. (2005). Vom Gehirn zur Kultur: Mit Mathematik die Welt verstehen. In M. Hasselhorn, H. Marx & W. Schneider (Hrsg.), *Diagnostik von Mathematikleistungen. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik, Tests und Trends N. F. Band 4.* (S. 293-300). Göttingen: Hogrefe.

Sternberg, R. J. & Grigorenko, E. L. (2002). Difference scores in the identification of children with learning disabilities. It's time to use a different method. *Journal of School Psychology, 40*, 65-83.

Strang, J. D. & Rourke, B. P. (1983). Concept-formation / nonverbal reasoning abilities of children who exhibit specific academic problems with arithmetic. *Journal of Clinical Child Psychology, 12*, 33-39.

Strang, J. D. & Rourke, B. P. (1985). Arithmetic disability subtypes: The neuropsychological significance of specific arithmetic impairment in childhood. In B. P. Rourke (Ed.), *Neuropsychology of learning disabilities* (S. 302-330). New York: Guilford Press.

Strauss, M. S. & Curtis, L. E. (1981). Infant perception of numerosity. *Child Development, 52*, 1146-1152.

Stuebing, K. K., Fletcher, J. M., LeDoux, J. M., Lyon, G. R., Shaywitz, S. E. & Shaywitz, B. A. (2002). Validity of IQ-discrepancy classifications of reading disabilities: A meta-analysis. *American Educational Research Journal, 39*, 469-518.

Sturm, W. (2005). *Aufmerksamkeitsstörungen*. Göttingen: Hogrefe.

Sturm, W. & Zimmermann, P. (2000). Aufmerksamkeitsstörungen. In W. Sturm, M. Herrmann & C.-W. Wallesch (Hrsg.), *Lehrbuch der klinischen Neuropsychologie* (S. 345-365). Lisse: Swets and Zeitlinger.

Sundet, J. M., Barlaug, D. G. & Torjussen, T. M. (2004). The end of the Flynn effect? A study of secular trends in mean intelligence test scores of Norwegian conscripts during half a century. *Intelligence, 32*, 349-362.

Suresh, P. A. & Sebastian, S. (2000). Developmental Gerstmann's syndrome: a distinct clinical entity of learning disabilities. *Pediatric Neurology, 22*, 267-278.

Svenson, O. & Sjöberg, K. (1978). Subitizing and counting processes in young-children. *Scandinavian Journal of Psychology, 19*, 247-250.

Svenson, O. & Sjöberg, K. (1983a). Evolution of cognitive processes for solving simple additions during the first three school years. *Scandinavian Journal of Psychology, 24*, 117-124.

Svenson, O. & Sjöberg, K. (1983b). Speeds of subitizing and counting-processes in different age-groups. *Journal of Genetic Psychology, 142*, 203-211.

Swanson, H. L. (1992). Generality and modifiability of working memory among skilled and less skilled readers. *Journal of Educational Psychology, 84*, 473-488.

Swanson, H. L. (1994). Short-term memory and working memory: do both contribute to our understanding of academic achievement in children and adults with learning disabilities? *Journal of Learning Disabilities, 27*, 34-50.

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. (2004). Working memory and phonological processing as predictors of children's mathematical problem solving at different ages. *Memory & Cognition, 32*, 648-661.

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*, 471-491.

Swanson, H. L., Cochran, K. F. & Ewers, C. A. (1990). Can learning disabilities be determined from working memory performance? *Journal of Learning Disabilities, 23*, 59-67.

Swanson, H. L., Cooney, J. B. & Brock, S. (1993). The influence of working memory and classification ability on children's word problem solution. *Journal of Experimental Child Psychology, 55*, 374-395.

Swanson, H. L. & Jerman, O. (2006). Math disabilities: A selective meta-analysis of the literature. *Review of Educational Research, 76*, 249-274.

te Nijenhuis, J., Resing, W., Tolboom, E. & Bleichrodt, N. (2004). Short-term memory as an additional predictor of school achievement for immigrant children? *Intelligence, 32*, 203-213.

Temple, C. M. (1991). Procedural dyscalculia and number fact dyscalculia: Double dissociation in developmental dyscalculia. *Cognitive Neuropsychology, 8*, 155-176.

Temple, C. M. & Marriott, A. J. (1998). Arithmetical ability and disability in Turner's syndrome: A cognitive neuropsychological analysis. *Developmental Neuropsychology, 14*, 47-67.

Temple, C. M. & Sherwood, S. (2002). Representation and retrieval of arithmetical facts: developmental difficulties. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. Section A, Human Experimental Psychology, 55*, 733-752.

Tiedemann, J. & Billmann-Mahecha, E. (2004). Kontextfaktoren der Schulleistung im Grundschulalter. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 18*, 113-124.

Titz, C. (2004). *Interferenzanfälligkeit bei kognitiven Leistungen im Altersvergleich: Eine kritische Betrachtung von Modellebene und Empirie*. Unveröffentlichte Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.

Torbeyns, J., Verschaffel, L. & Ghesquiere, P. (2004). Strategic aspects of simple addition and subtraction: the influence of mathematical ability. *Learning and Instruction, 14*, 177-195.

Trbovich, P. L. & LeFevre, J.-A. (2003). Phonological and visual working memory in mental addition. *Memory & Cognition, 31*, 738-745.

Trick, L. M., Enns, J. T. & Brodeur, D. A. (1996). Life span changes in visual enumeration: The number discrimination task. *Developmental Psychology, 32*, 925-932.

Trick, L. M. & Pylyshyn, Z. W. (1993). What enumeration studies can show us about spatial attention: Evidence for limited capacity preattentive processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 19*, 331-351.

Trick, L. M. & Pylyshyn, Z. W. (1994). Why are small and large numbers enumerated differently? A limited-capacity preattentive stage in vision. *Psychological Review, 101*, 80-102.

Tsui, J. M. & Mazzocco, M. M. M. (2007). Effects of math anxiety and perfectionism on timed versus untimed math testing in mathematically gifted sixth graders. *Roeper Review, 29*, 132-139.

Tuholski, S. W., Engle, R. W. & Baylis, G. C. (2001). Individual differences in working memory capacity and enumeration. *Memory & Cognition, 29*, 484-492.

Turner, M. L. & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language, 28*, 127-154.

Uller, C., Carey, S., Huntley-Fenner, G. & Klatt, L. (1999). What representations might underlie infant numerical knowledge? *Cognitive Development, 14*, 1-36.

Van de Rijt, B. A. M., Godfrey, R., Aubrey, C., Van Luit, J. E. H., Ghesquière, P., Torbeyns, J. et al. (2003). The development of early numeracy in Europe. *Journal of Early Childhood Research, 1*, 155-180.

Van de Rijt, B. A. M., Van Luit, J. E. H. & Hasemann, K. (2000). Zur Messung der frühen Zahlbegriffsentwicklung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 32*, 14-24.

Van den Broeck, W. (2002a). The misconception of the regression-based discrepancy operationalization in the definition and research of learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 35*, 194-204.

Van den Broeck, W. (2002b). Will the real discrepant learning disability please stand up? *Journal of Learning Disabilities, 35*, 209-213.

van der Sluis, S., de Jong, P. F. & van der Leij, A. (2004). Inhibition and shifting in children with learning deficits in arithmetic and reading. *Journal of Experimental Child Psychology, 87*, 239-266.

van der Sluis, S., van der Leij, A. & de Jong, P. F. (2005). Working memory in dutch children with reading- and arithmetic-related LD. *Journal of Learning Disabilities, 38*, 207-221.

Van Loosbroek, E. & Smitsman, A. W. (1990). Visual perception of numerosity in infancy. *Developmental Psychology, 26*, 916-922.

van Zomeren, A. H. & Brouwer, W. H. (1994). *The clinical neuropsychology of attention*. New York: Oxford University Press.

Vandierendonck, A., Kemps, E., Fastame, M. C. & Szmalec, A. (2004). Working memory components of the Corsi blocks task. *British Journal of Psychology, 95*, 57-79.

Vaughn, S. & Fuchs, L. S. (2003). Redefining learning disabilities as inadequate response to instruction: The promise and potential problems. *Learning Disabilities Research and Practice, 18*, 137-146.

Vecchi, T. & Richardson, J. T. E. (2001). Measures of visuospatial short-term memory: The Knox Cube Imitation Test and the Corsi Blocks Test compared. *Brain & Cognition, 46*, 291-294.

Vellutino, F. R., Pruzek, R. M., Steger, J. A. & Meshoulam, U. (1973). Immediate visual recall in poor and normal readers as a function of orthographic-linguistic familiarity. *Cortex, 9*, 370-386.

Vilette, B. (2002). Do young children grasp the inverse relationship between addition and subtraction?: Evidence against early arithmetic. *Cognitive Development, 17*, 1365-1383.

Vlahovic-Stetic, V., Vidovic, V. V. & Arambasic, L. (1999). Motivational characteristics in mathematical achievement: A study of gifted high-achieving, gifted underachieving and non-gifted pupils. *High Ability Studies, 10*, 37-49.

von Aster, M. (1994). Developmental dyscalculia in children: Review of the literature and clinical validation. *Acta Paedopsychiatrica, 56*, 169-178.

von Aster, M. (1996). *Die Störungen des Rechnens und der Zahlenverarbeitung in der kindlichen Entwicklung.* Unveröffentlichte Habilitationsschrift, Medizinische Fakultät der Universität Zürich.

von Aster, M. (2000). Developmental cognitive neuropsychology of number processing and calculation: varieties of developmental dyscalculia. *European Child and Adolescent Psychiatry, 9 (Suppl. 2)*, 41-57.

von Aster, M. (2001). *ZAREKI, Neuropsychologische Testbatterie für Zahlenverarbeitung und Rechnen bei Kindern. Manual.* Lisse: Swets Test Services.

von Aster, M., Deloche, G., Dellatolas, G. & Meier, M. (1997). Zahlenverarbeitung und Rechnen bei Schulkindern der 2. und 3. Klassenstufe: Eine vergleichende Studie französischsprachiger und deutschsprachiger Kinder. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogischer Psychologie, 24*, 151-166.

von Aster, M., Kucian, K., Schweiter, M. & Martin, E. (2005). Rechenstörungen im Kindesalter. *Monatsschrift Kinderheilkunde, 153*, 614-622.

Vuontela, V., Steenari, M. R., Carlson, S., Koivisto, J., Fjallberg, M. & Aronen, E. T. (2003). Audiospatial and visuospatial working memory in 6-13 year old school children. *Learning and Memory, 10*, 74-81.

Wagner, R. K. & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin, 101*, 192-212.

Walther, G., Geiser, H., Langeheine, R. & Lobemeier, K. (2003). Mathematische Grundbildung am Ende der vierten Jahrgangsstufe. In W. Bos, E.-M. Lankes, M. Prenzel, K. Schwippert, G. Walther & R. Valtin (Hrsg.), *Erste Ergebnisse aus IGLU. Schülerleistungen am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich* (S. 189-226). Münster: Waxmann.

Warren, H. C. (1897). The reaction time of counting. *Psychological Review, 4*, 569-590.

Weber, J.-M., Marx, P. & Schneider, W. (2002). Profitieren Legastheniker und allgemein lese-rechtschreibschwache Kinder in unterschiedlichem Ausmaß von einem Rechtschreibtraining? *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 49*, 56-70.

Weinert, F. E. (1998). *Entwicklung im Kindesalter.* Weinheim: Beltz.

Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessung in Schulen* (S. 17-31). Weinheim: Beltz.

Weinert, F. E. & Helmke, A. (1997). *Entwicklung im Grundschulalter.* Weinheim: Beltz.

Weinert, F. E. & Schneider, W. (1999). *Individual development from 3 - 12: Findings from the Munich Longitudinal Study*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Weinert, F. E. & Stefanek, J. (1997). Entwicklung vor, während und nach der Grundschulzeit - Ergebnisse aus dem SCHOLASTIK-Projekt. In F. E. Weinert & A. Helmke (Hrsg.), *Entwicklung im Grundschulalter* (S. 423-452). Weinheim: Beltz.

Weinhold Zulauf, M., Schweiter, M. & von Aster, M. (2003). Das Kindergartenalter: Sensitive Periode für die Entwicklung numerischer Fertigkeiten. *Kindheit und Entwicklung, 12*, 222-230.

Weiß, R. H. (1998). *Grundintelligenztest Skala 2 (CFT 20)* (4. Auflage). Göttingen: Hogrefe.

White, C. S., Alexander, P. A. & Daugherty, M. (1998). The relationship between young children's analogical reasoning and mathematical learning. *Mathematical Cognition, 4*, 103-123.

Whitney, P., Arnett, P. A., Driver, A. & Budd, D. (2001). Measuring central executive functioning: What's in a reading span? *Brain and Cognition, 45*, 1-14.

Wilcox, R. R. (1998). How many discoveries have been lost by ignoring modern statistical methods? *American Psychologist, 53*, 300-314.

Wilson, J. 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.

Wilson, L. R. & Cone, T. (1984). The regression equation method of determining academic discrepancy. *Journal of School Psychology, 22*, 95-110.

Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition, 36*, 155-193.

Wynn, K. (1992a). Addition and subtraction by human infants. *Nature, 358*, 749-750.

Wynn, K. (1992b). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology, 24*, 220-251.

Wynn, K. (1996). Infants' individuation and enumeration of actions. *Psychological Science, 7*, 164-169.

Wynn, K., Bloom, P. & Chiang, W.-C. (2002). Enumeration of collective entities by 5-month-old infants. *Cognition, 83*, B55-B62.

Zentall, S. S. (1990). Fact-retrieval automatization and math problem solving by learning disabled, attention-disordered, and normal adolescents. *Journal of Educational Psychology, 82*, 856-865.

Zentall, S. S., Smith, Y. N., Lee, Y.-b. B. & Wieczorek, C. (1994). Mathematical outcomes of attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of Learning Disabilities, 27*, 510-519.

Anhang A: Materialien zu den Gruppentests

A.1 Instruktion DIRG, CFT 20 und WLLP

Tests & Testteile 1. Teststunde	Netto-Testzeit
CFT 20 Reihenfortsetzen	4 min
CFT 20 Klassifikationen	4 min
CFT 20 Matrizen	3 min
CFT 20 topologische Schlussfolgerungen	3 min
Summe	14 min

Tests & Testteile 2. Teststunde	Netto-Testzeit
DIRG Aufgabe 1: Addition im ZR bis 10	3 min
DIRG Aufgabe 2: Addition im ZR 10 bis 20	3 min
DIRG Aufgabe 3: Subtraktion im ZR bis 10	3 min
DIRG Aufgabe 4: Subtraktion im ZR 10 bis 20	3 min
WLLP	5 min
Summe	17 min

Achtung:
- **Testzeiten für das DIRG-BM je Aufgabe nur 3 Minuten**
- **beim DIRG-BM erst abwarten, bis umgeblättert wurde, dann das Los!-Signal geben**

1. Teststunde

Material und Hilfsmittel
- Jede/r Schüler/in sollte zwei Schreibgeräte (möglichst Bleistifte) bereit halten.
- Jede/r Schüler/in erhält ein Testheft (Form A und B im Wechsel) und einen Antwortbogen; der Antwortbogen ist vor der Testdurchführung in das Testheft einzulegen.
- Die/der TL benötigt eine Stoppuhr.

Einleitung
- In dieser Stunde arbeiten wir ein Heft mit Rätselaufgaben durch, die nur aus kleinen Zeichnungen bestehen. An euch wurde ein Rätselheft mit einem Antwortbogen ausgeteilt.
- Für die Bearbeitung der Rätsel benötigt jeder zwei Bleistifte; ein Stift als Reserve, falls der erste mal runterfällt oder abbricht.
- Nehmt bitte den Antwortbogen heraus und vergleicht zuerst, ob die Testform mit der des Heftes übereinstimmt.
- Ganz wichtig ist: ihr dürft auf keinen Fall etwas auf oder in das Rätselheft schreiben, sondern nur auf den Antwortbogen
- Tragt nun auf dem Antwortbogen neben "Name" euren Codenamen (Tiernamen) und neben "Klasse" eure Klasse ein, also z.B. 3b oder 3a.
- Legt die Stifte noch mal zur Seite und lasst mich etwas darüber erzählen, was ihr jetzt machen sollt.
- Wir bearbeiten heute vier verschiedene Rätselsorten. Ich erkläre euch immer genau, wie die Rätsel gehen. Wenn ihr anfangen sollt, sage ich "Los!", wenn ihr aufhören müsst, weil die Zeit um ist, sage ich "Stopp!" Sobald ich Stopp! gesagt habe, legt jeder die Stifte zur Seite und es darf nicht mehr weitergearbeitet werden.

- Bei allen Rätselarten stehen die leichten vorne und die schwierigen hinten. Wahrscheinlich wird niemand alle Aufgaben richtig lösen können. Versucht aber immer, so viele Rätsel wie möglich zu lösen. Wenn ihr euch bei einer Lösung nicht sicher seid, ist es besser, die Lösung auszuwählen, die euch am besten erscheint, als die Aufgabe überhaupt nicht zu beantworten.
- Alle Aufgaben haben immer nur eine richtige Lösung. Für die Bearbeitung der Rätselarten steht nur eine begrenzte Zeit zur Verfügung. Wer trotzdem vor Ablauf dieser Zeit mit den Aufgaben fertig ist, sollte die anderen nicht stören, sondern die Aufgaben noch einmal überprüfen.
- Alle Lösungen werden auf dem Antwortbogen (je Rätselart eine Seite) eingetragen. In das Rätselheft darf nichts geschrieben oder gezeichnet werden. Es darf auch nicht umgeblättert werden, bevor dazu aufgefordert wird!

Test 1: Reihenfortsetzen (4 Minuten)
- Blättert bitte in dem Rätselheft auf Seite 3. (Heft hochhalten und Seite zeigen)
- Zeigt mit dem Finger auf das erste Beispiel in der ersten Zeile.

Beispiel 1 (Lösung a)
- Könnt ihr sehen, dass der dicke schwarze Strich in den drei Kästchen immer länger wird?
- Ihr sollt jetzt von den fünf Kästchen rechts daneben das Kästchen angeben, das an die Stelle des leeren gestrichelten Kästchens gesetzt werden muss. (zeigen)
- Bei diesem Beispiel ist (a) die richtige Lösung. Es ist der ganz lange Strich im ersten Kästchen, weil dieser noch länger ist.
- Die Lösung ist auf eurem Antwortbogen bereits angestrichen. Seht bitte auf eurem Antwortbogen nach.
- Sind dazu noch Fragen?

Beispiel 2 (Lösung c)
- So, jetzt schaut auf die zweite Zeile. Seht ihr, dass die kleine gebogene Linie erst nach links, dann nach rechts und dann wieder nach links gebogen ist?
- Wer kann mir sagen, wie die nächste gebogene Linie aussehen muss?
- Ja, sie muss nach rechts gebogen sein. Streicht nun die richtige Antwort auf dem Antwortbogen an.
- Welche Antwort ist richtig? – Ja, Buchstabe (c) ist richtig.

Beispiel 3 (Lösung a)
- Jetzt schaut auf die dritte Zeile. Stellt euch vor, dass sich dieses kleine schwarze Dreieck wie der Zeiger einer Uhr dreht.
- Es fängt oben an und bewegt sich immer weiter runter. – So, ihr sucht jetzt die richtige Antwort. Welche ist es?
- Ja, richtig, Kästchen (a). Streicht wieder diese Antwort im Antwortbogen an. Ihr seht, dass sonst keine andere Stellung in dieser Zeile stimmt.
- Legt bitte den Stift zur Seite und blättert noch nicht um!

Allgemein
- Die Aufgaben, die ihr nun lösen sollt, stehen auf den beiden folgenden Seiten. In jeder Reihe soll immer diejenige von den 5 Figuren auf der rechten Seite ausgewählt werden, die zu den drei Figuren auf der linken Seite am besten passt. Den Buchstaben, der zu dieser Figur gehört, sollt ihr dann jeweils auf eurem Antwortbogen anstreichen.
- Auf den beiden nächsten Seiten findet ihr 12 Aufgaben, die ihr genauso lösen sollt, wie wir das eben geübt haben.
- Bitte noch nicht umblättern, ich muss erst noch etwas erklären. Schaut dazu oben auf den Antwortbogen: die richtige Antwort streicht ihr mit einem Strich an. Wenn ihr eine Antwort verbessern wollt, so streicht ihr einfach den falschen Strich durch, so dass ein Kreuz entsteht und streicht dann die richtige Lösung an. Radiert nicht, weil ihr sonst zu viel Zeit verliert.
- Ihr werdet wahrscheinlich nicht genug Zeit haben, alle Aufgaben zu bearbeiten. Arbeitet aber so schnell und so sorgfältig wie möglich.
- Wenn eine Aufgabe zu schwierig ist, so könnt ihr sie auch überspringen und gleich zur nächsten weitergehen.

- Ihr könnt die Aufgaben so lange lösen und berichtigen, bis ich "Stopp!" sage. Dann ist Schluss. Schreibt bitte nichts in das Heft, sondern streicht immer nur auf dem Antwortbogen an.
- So, hat jetzt noch jemand eine Frage? (bei Fragen dürfen nur die obigen Teile wiederholt werden)
- Seid ihr fertig? Dann im Rätselheft bitte auf Seite 4 umblättern und links oben mit der ersten Aufgabe beginnen. Wenn ihr mit den Aufgaben auf dieser Seite fertig seid, macht ihr auf der rechten Seite (Seite 5) weiter bis ich "Stopp!" sage. (Nach ca. 1 Minute eftl. nochmals darauf hinweisen, dass auch die Aufgaben auf der rechten Seite (Seite 5) zu bearbeiten sind.)
- Nach 4 Minuten: Stopp! Die Zeit ist um. Stifte bitte zur Seite legen.

Test 2: Klassifikationen (4 Minuten)

- Blättert bitte im Antwortbogen auf die Rückseite der ersten Seite, unten steht dann Seite 2 (vormachen, wie weitergeblättert und die Seite umgeschlagen wird) und legt den Antwortbogen neben das Rätselheft.
- Blättert im Rätselheft bitte um, auf Seite 7 findet ihr die Übungsbeispiele für die nächsten Rätselaufgaben.

Beispiel 1 (Lösung d)

- Seht auf die oberste Zeile und zeigt mit dem Finger darauf. Ihr seht, dass vier Figuren in irgendeiner Weise gleich sind, eine unterscheidet sich dagegen von den anderen. In diesem Test geht es also darum herauszufinden, welches Kästchen sich in irgendeiner Weise von den anderen unterscheidet.
- Im ersten Beispiel ist die Antwort schon gegeben. Welche ist es? (Antwort geben lassen) Ja, es ist das vierte Kästchen. Und warum? (Antwort geben lassen)
- Ja, weil dieser Balken aufrecht steht und die anderen nicht.
- Beim ersten Beispiel ist (d) die richtige Lösung. Sie ist auf eurem Antwortbogen unter Test 2 bereits angestrichen.

Beispiel 2 (Lösung a)

- Nun, wie ist es bei der zweiten Zeile? Welche Figur unterscheidet sich hier von den anderen? (Antwort geben lassen) Ja, es ist die erste. Sie ist schwarz, während alle anderen weiß sind. Die anderen sind zwar auch verschieden groß, sind aber alle weiß und so kann man von ihnen keine besonders herausheben. Streicht also Antwort (a) im Antwortbogen an. (Antwort kontrollieren)

Allgemein

- In jeder Reihe sollt ihr also herausfinden, welche der Figuren in den fünf Kästchen sich von den anderen vier Figuren in irgendeiner Weise unterscheidet, also nicht zu den anderen Figuren passt. Es kann immer nur ein Kästchen in Frage kommen.
- Diesmal findet ihr 14 Aufgaben, die ihr in der gleichen Weise lösen sollt.
- Beachtet bitte, dass die Aufgaben wieder auf zwei Seiten stehen. Wenn ihr mit der ersten Seite fertig seid, arbeitet gleich auf der nächsten Seite weiter.
- Arbeitet zügig und sorgfältig und versucht so viele Aufgaben wie möglich zu lösen bis ich Stopp! sage.
- Hat noch einer eine Frage? Wenn nicht, dann bitte auf Seite 8 umblättern und anfangen.
- Nach 4 Minuten: Stopp! Die Zeit ist um. Stifte bitte zur Seite legen.

Test 3: Matrizen (3 Minuten)

- Schlagt bitte den Antwortbogen einfach um, unten steht Seite 3. (vormachen, wie weitergeblättert und die Seite umgeschlagen wird) Legt den Antwortbogen neben das Rätselheft.
- Blättert im Rätselheft bitte um, auf Seite 11 findet ihr die Übungsbeispiele für die nächsten Rätselaufgaben.

Beispiel 1 (Lösung c)

- Zeigt mit dem Finger auf das große Viereck, in dem die großen schwarzen Punkte sind.
- Ihr seht, ein Kästchen im Viereck ist leer geblieben. Welches der fünf Kästchen rechts daneben gehört hier hinein? (Antwort geben lassen)
- Ja, es ist das dritte, weil diese Kästchen am besten in das große Viereck hineinpasst und es richtig vervollständigt. Beim ersten Beispiel ist (c) die richtige Lösung. Diese ist auf dem Antwortbogen unter Test 3 schon angestrichen.

Beispiel 2 (Lösung a)

- Nun seht auf das zweite Beispiel! Welches Kästchen gehört hier in das leere, damit das Viereck vollständig ist? (Antwort geben lassen) Ja, es ist das erste. Streicht nun den richtigen Buchstaben im Antwortbogen an. (Antwort (a))

Beispiel 3 (Lösung d)

- Nun nehmen wir uns das dritte Beispiel vor. Welches ist hier die richtige Antwort? (Antwort geben lassen) Richtig, die vierte, also (d). Streicht auf dem Antwortbogen das richtige Kästchen an.

Allgemein

- Bei jeder Aufgabe sollt ihr also rechts ein Kästchen mit einer Zeichnung auswählen, die in das leere Kästchen links am besten hineinpasst, um den Kasten richtig zu vervollständigen
- Diesmal sind es wieder 12 Aufgaben, die ihr auf den beiden nächsten Seiten auf diese Weise lösen sollt. Versucht, möglichst viele davon zu lösen!
- Seid ihr fertig? Dann bitte auf Seite 12 umblättern und anfangen.
- Nach 3 Minuten: Stopp! Die Zeit ist um. Stifte bitte zur Seite legen.

Test 4: topologische Schlussfolgerungen (3 Minuten)

- Blättert bitte im Antwortbogen auf die Rückseite der zweiten Seite, unten steht dann Seite 4 (vormachen, wie weitergeblättert und die Seite umgeschlagen wird) und legt den Antwortbogen neben das Rätselheft.
- Blättert im Rätselheft bitte um, auf Seite 15 findet ihr die Übungsbeispiele für die nächsten Rätselaufgaben.

Beispiel 1 (Lösung c)

- Ihr seht hier im obersten Kästchen links einen Kreis, einen Punkt und ein Viereck. Der Punkt ist im Kreis, aber außerhalb des Vierecks.
- Nun seht in den fünf Kästchen rechts daneben nach, wo man einen Punkt in einen Kreis hineinsetzen kann, ohne dass er gleichzeitig im Viereck liegt.
- Wie steht es mit dem ersten Kästchen (a)? – Hier geht es nicht, weil ein Punkt im Kreis auch gleichzeitig im Viereck liegen würde.
- Würde es beim zweiten gehen? (Antwort geben lassen) Auch nicht, ein Punkt im Kreis würde auch hier wieder im Viereck liegen.
- Und beim dritten Kästchen (c)? (Antwort geben lassen) Richtig, hier ist der Punkt im Kreis, aber nicht im Viereck. Man hat den Punkt hier eingezeichnet, damit es anschaulich ist.
- Bei diesem Beispiel ist also (c) die richtige Lösung, weil man nur hier den Punkt in den Kreis setzen kann, ohne dass er gleichzeitig im Viereck liegt. Auf eurem Antwortbogen ist deshalb der Buchstabe (c) unter Test 4 bereits angestrichen.
- Bei den folgenden Beispielen und Aufgaben dürft ihr den Punkt aber nicht einzeichnen, sondern nur den entsprechenden Buchstaben auf eurem Antwortbogen anstreichen.

Beispiel 2 (Lösung b)

- So, nun seht euch in der zweiten Zeile das Kästchen genau an. Hier ist der Punkt im Ei, aber unter der Linie. Wir müssen jetzt ein Kästchen suchen, in dem ein Punkt auch im Ei,

aber unter der Linie liegen würde. Welches ist es? (Antwort geben lassen) Ja, das zweite, also (b), und dieses ist das einzig richtige. Streicht die Antwort (b) im Antwortbogen an.

Beispiel 3 (Lösung c)

- Nun die dritte Zeile. – Diesmal muss der Punkt in beiden Vierecken zugleich liegen, aber außerhalb des Kreises.
- Im ersten Bild bei (a) könnte man den Punkt zwar zugleich in beide Vierecke setzen, aber dann würde er auch im Kreis liegen.
- Im Kästchen (b) könnte man den Punkt zwar zugleich in beide Vierecke setzen, aber auch hier würde er im Kreis liegen, und das soll er ja nicht.
- Und das Kästchen (c)? Ja, das ist das einzig richtige, bei dem man den Punkt gleichzeitig in beide Vierecke, aber nicht in den Kreis setzen könnte. Streicht also auf dem Antwortbogen den Buchstaben (c) an.

Allgemein

- Bei jeder Aufgabe sollt ihr zunächst genau hinsehen, wo der Punkt liegt und dann unter den 5 Auswahlfiguren diejenige heraussuchen, in welcher der Punkt genauso liegen könnte. Den Lösungsbuchstaben tragt ihr dann auf eurem Antwortbogen ein.
- Diesmal sind nur 8 Aufgaben zu bearbeiten. Denkt aber daran, dass ihr nichts in das Rätselheft zeichnen dürft, also bitte keine Punkte in die Aufgaben einzeichnen!
- Habt ihr noch irgendwelche Fragen? Wenn nicht, dann im Rätselheft bitte auf Seite 16 umblättern und anfangen.
- Nach 3 Minuten: Stopp! Die Zeit ist um. Stifte bitte zur Seite legen. Das waren die letzten Aufgaben für diese Stunde. Ich hoffe, es hat euch etwas Spaß gemacht. Vielen Dank für eure tolle Mitarbeit.

2. Teststunde

Material und Hilfsmittel
- Zwei Testhefte (DIRG-BM und WLLP) für jede/r Schüler/in (abwechselnd Form A und B des DIRG-BM verteilen).
- Die/der TL benötigt eine Stoppuhr zur genauen Einhaltung der Testzeiten.

Einleitung
- Ich bin nun zu Euch gekommen, um zu gucken, wie gut ihr schon rechnen und lesen könnt. Dazu bekommt jeder von euch zwei Hefte: ein kleineres mit einem gelben Umschlag und ein großes Heft. Wir fangen mit dem gelben Heft an.
- In diesem Heft sind so viele Rechenaufgaben, dass keiner es schaffen wird, alle Aufgaben zu lösen. Das ist also gar nicht schlimm!
- (Es gibt zwei verschiedene gelbe Hefte. Das heißt, ihr braucht gar nicht bei eurem Nachbarn zu gucken, weil der sowieso andere Aufgaben lösen muss.)
- Ich werde Euch immer erklären, wie die einzelnen Aufgaben gehen. Fangt bitte immer erst an, wenn ich "Los!" sage. Wenn ich "Stopp!" sage, hört bitte sofort auf zu rechnen.
- Nehmt jetzt alle zwei Bleistifte heraus, alles andere nehmt bitte vom Tisch. (möglichst Bleistifte!)
- Wenn wir gleich anfangen zu rechnen, dann habt ihr nur eine bestimmte Zeit für die Aufgaben. Es kommt also darauf an, dass ihr genau rechnet, das Ergebnis schnell aufschreibt und zügig zur nächsten Aufgabe weitergeht. Deswegen ist es wichtig, dass ihr nicht anfangt, Euren Bleistift anzuspitzen. Wenn Euer Stift nicht mehr gehen sollte, nehmt einfach den anderen.
- Wenn ihr Euch verschrieben habt, fangt bitte nicht an zu radieren, sondern streicht das Falsche durch und schreibt einfach das Richtige daneben.
- Versucht bitte, die Aufgaben der Reihe nach zu bearbeiten. Lasst eine Aufgaben nur dann weg, wenn ihr sie wirklich nicht lösen könnt.
- Ich verteile jetzt die Hefte und ihr könnt alle schon mal euren Codenamen (den Tiernamen) und eure Klasse vorne drauf schreiben. Schlagt das Heft aber bitte noch nicht auf!

Smilies-Aufgabe (20 Sekunden)
(dient dazu, die Kinder von den vorhergehenden Rechenaufgaben abzulenken)
- Habt ihr alle Euren Namen und die Klasse vorne auf das Heft geschrieben? Dann schlagt bitte die erste Seite auf.
- (Evtl. Gesichter an die Tafel malen und daran demonstrieren)
- Dort sieht man auf der linken Seite ganz viele Gesichter, die man auch Smilies nennt. Legt mal alle Euren Finger auf das erste Gesicht. Dieses Gesicht hat einen lachenden Mund, das ist ein Rechenfreund. Das zweite Gesicht, direkt daneben, hat eher ein ernstes und ganz cooles Gesicht. Das ist ein cooler Rechner. Eure Aufgabe ist es jetzt, allen coolen Rechnern, eine Sonnenbrille zu malen, dann werden die noch viel cooler. Das könnt ihr ganz einfach machen, indem ihr die beiden Augenpunkte miteinander verbindet, das sieht dann aus wie eine Sonnenbrille.
- Fangt bitte auf Kommando damit an. Achtung – Fertig – Smilies!
- Nach ca. 20 Sekunden: Und Stopp!
- Diese Aufgabe wird später noch häufiger im Heft vorkommen. Das heißt jedes Mal, wenn ich "Smilies!" rufe, sollt ihr im Heft weiterblättern bis die nächste Smilies-Aufgabe kommt. Dort malt ihr dann wieder allen coolen Rechnern eine Sonnenbrille.

Aufgabe 1 (3 Minuten):
- Jetzt kommt die erste Rechenaufgabe, Aufgabe 1 (Seite 2). Hier sollt ihr immer plus rechnen und die Lösung in das Kästchen schreiben. Wir gucken uns mal die Beispiele an.
- Die erste Aufgabe ist 2 + 4. Zwei plus vier ist sechs, deswegen hat hier jemand schon die sechs in das Lösungskästchen geschrieben.
- Die nächste Aufgabe ist 7 + 2. Wer weiß, was sieben plus zwei ist? ... Genau: Neun. Schreibt bitte alle die Neun in das Kästchen. Ich sage Euch gleich, wann ihr umblättern dürft und dann findet Ihr noch ganz viele solcher Aufgaben, die ihr rechnen könnt. Wenn ihr mit einer Seite fertig seid, dürft ihr umblättern und auf der nächsten Seite weiterrechnen.
- Ihr dürft dann so lange weiterrechnen, bis ich "Stopp!" rufe oder ihr auf eine Seite mit Smilies-Aufgaben trefft. Achtet darauf, dass ihr keine Seite versehentlich überschlagt!
- Alles klar? Achtung, umblättern (warten, bis umgeblättert wurde) und fangt an zu rechnen. Los!
- Nach 3 Minuten: Stopp! – Smilies! Blättert jetzt weiter, bis ihr wieder die nächste Smilies-Aufgabe findet und malt allen coolen Rechnern eine Sonnenbrille.
- Nach ca. 20 Sekunden: Stopp!

Aufgabe 2 (3 Minuten):
- Jetzt geht es weiter mit der Aufgabe 2 (Seite 8). Ihr sollt immer noch plus rechnen, aber jetzt mit anderen Aufgaben. Schaut Euch bitte mal die Beispiele an.
- Beim ersten Beispiel steht das Ergebnis schon im Kästchen, 4 + 9 ist nämlich 13. Wer kann mir denn sagen, wie viel 9 + 7 ist? ... Richtig 16, habt ihr alle die 16 in das Kästchen geschrieben?
- Ich gebe gleich wieder das Kommando zum Umblättern und dann könnt ihr auf der nächsten Seite weiterrechnen. Wenn ihr mit einer Seite fertig seid, dürft ihr umblättern und auf der nächsten Seite weiterrechnen. Und zwar so lange, bis ich "Stopp!" rufe oder ihr auf die Smilies-Aufgaben trefft.
- Achtung, umblättern (warten, bis umgeblättert wurde) und fangt an zu rechnen. Los!
- Nach 3 Minuten: Stopp! – Smilies! Blättert jetzt weiter, bis ihr wieder die nächste Smilies-Aufgabe findet und malt allen coolen Rechnern eine Sonnenbrille.
- Nach ca. 20 Sekunden: Stopp!

Aufgabe 3 (3 Minuten):
- Als nächstes kommt Aufgabe 3. Hier sollt ihr minus rechnen und wieder die Lösung in das Kästchen schreiben. 7 - 2 ist 5, das steht schon da. Wer kann mir denn sagen, was 5 - 3 ist?...Richtig, 2. Schreibt mal alle die 2 in das Kästchen!
- Ich gebe gleich das Kommando zum weiterrechnen und auch hier ist es so, wenn ihr mit einer Seite fertig seid, dürft ihr umblättern und auf der nächsten Seite weiterrechnen.
- Achtung, umblättern (warten, bis umgeblättert wurde) und fangt an zu rechnen. Los!
- Nach 3 Minuten: Stopp! – Smilies! Blättert jetzt weiter, bis ihr wieder die nächste Smilies-Aufgabe findet und malt allen coolen Rechnern eine Sonnenbrille.
- Nach ca. 20 Sekunden: Stopp!

Aufgabe 4 (3 Minuten):
- Bei der Aufgabe 4, sollt ihr wieder minus rechnen. Jetzt sind es aber ein bisschen andere Aufgaben als eben. Schauen wir uns mal die Beispiele an. 17 - 9 ist 8. Wer weiß denn, was 15 - 8 ist?...Richtig, die 7 gehört in das Kästchen.
- Und auch hier ist es so: Wenn ihr gleich mit einer Seite fertig seid, dürft ihr umblättern und auf der nächsten Seite weiterrechnen.
- Achtung, umblättern (warten, bis umgeblättert wurde) und fangt an zu rechnen. Los!
- Nach 3 Minuten: Stopp! Hört bitte auf zu rechnen, schlagt die Hefte zu und legt die Stifte weg!
- Jetzt sind wir mit dem gelben Heft fertig! Vielen Dank, dass ihr so fleißig gerechnet habt!

Überleitung WLLP

- Legt das gelbe Heft zur Seite und nehmt euch das große Heft und legt es vor euch.
- Tragt oben neben "Name" euren Codenamen und darunter eure Klasse ein. Dann kreuzt bitte noch euer Geschlecht an.

Instruktion WLLP (5 Minuten):

- Bei dem nächsten Rätselheft geht es darum, wie gut ihr schon lesen könnt. Und damit ihr wisst, was ihr machen sollt, wollen wir das zuerst einmal hier auf der ersten Seite üben.
- Schaut mal, hier in der ersten Zeile hab' ich euch schon vorgemacht, wie das geht. Vorne steht: (vorlesen lassen), genau, da steht Ei, und dahinter seht ihr vier Bilder, nämlich (benennen lassen) einen Hahn, ein Ei, ein Eis und einen Eimer. Und das Ei habe ich angestrichen, weil es das Bild ist, das zu dem Wort vorne gehört. Ist das klar?
- Die nächste Aufgabe wollen wir zusammen machen (Wort vorlesen lassen). Wer kann mir sagen, welches das richtige Bild ist? Genau, das letzte. Und das dürft ihr auch mit einem Strich ganz schnell anstreichen. Und wir üben jetzt einmal bei den nächsten Zeilen ganz schnelle Striche zu machen, denn bei diesem Spiel geht es um Zeit! (An der Tafel "schnelle" Striche vormachen, bzw. auf den Antwortbogen des CFT verweisen.)
- Einige Aufgaben noch machen lassen, bis den Kindern klar ist, wie die Aufgaben funktionieren. Dann die Kinder die restlichen Übungsaufgaben auf der Vorderseite bearbeiten lassen, die Lösungen kontrollieren (Aufgaben reihum lösen lassen).

(Mit den Kindern die restlichen Beispiele bearbeiten:
- Kamm (Kamel, Baum, Katze, Kamm), Bild 4
- Stern (Stern, Schirm, Stuhl, Schwein), Bild 1
- Rose (Hose, Nase, Rose, Hase), Bild 3
- Knopf (Gesicht, Knopf, Hose, Topf), Bild 2
- gehen (Gewehr, stehender Mann, Geweih, gehen), Bild 4
- Haus (Haus, Maus, Tür, Hund), Bild 1
- Kuh (Wurm, Kuh, Schuh, Bahn), Bild 2
- Boot (Brot, Boot, Bär, Buch), Bild 2
- Pfeile (Pferd, Pfeife, Pfeile, Kreise), Bild 3

und dabei folgendes betonen:)

- Bei diesem Spiel geht es also darum, dass ihr ganz besonders **schnell** und **genau** seid. Ihr müsst also, wenn ihr ein Wort gelesen habt, ganz schnell das Bild anstreichen, das dazu gehört. Wenn ihr mal ein Wort nicht lesen könnt, dann lasst es einfach aus und macht beim nächsten weiter. Wichtig ist, dass ihr keine Zeit verliert. Auch wenn ihr ein Wort gelesen habt und das passende Bild nicht entdecken könnt, dürft ihr einfach zur nächsten Zeile gehen. Natürlich sollt ihr auch nicht radieren, denn das würde ja viel zu viel Zeit kosten. Wenn ihr mal aus Versehen etwas Falsches angestrichen habt, streicht ihr das einfach noch mal durch (an der Tafel vormachen: aus / wird X) und streicht dann das richtige Bild an. Nach jeder Seite, die ihr geschafft habt, müsst ihr so schnell wie möglich umblättern, auf der anderen Seite geht's dann weiter. Erst wenn ich "Stopp!" sage, legt ihr ganz schnell den Stift hin, dann darf nicht mehr weitergearbeitet werden.
- Nach 5 Minuten: Stopp! Die Zeit ist um, legt den Stift zur Seite und schließt das Heft. Vielen Dank für eure Teilnahme. Ich hoffe, es hat euch auch ein bisschen Spaß gemacht.

A.2 Protokollbogen CFT 20

Name: ..... Klasse: .....

Bitte den Buchstaben, der im Testheft bei der richtigen Lösung steht, auf diesem Antwortbogen durchstreichen:

~~a~~ b c d e

Wenn falsch durchgestrichen wurde, bitte so durchkreuzen:

a ~~b~~ c d e

Test 1

Beispiele	erstes Beispiel	~~a~~	b	c	d	e
	zweites Beispiel	a	b	c	d	e
	drittes Beispiel	a	b	c	d	e
	1.	a	b	c	d	e
	2.	a	b	c	d	e
	3.	a	b	c	d	e
	4.	a	b	c	d	e
	5.	a	b	c	d	e
	6.	a	b	c	d	e
	7.	a	b	c	d	e
	8.	a	b	c	d	e
	9.	a	b	c	d	e
	10.	a	b	c	d	e
	11.	a	b	c	d	e
	12.	a	b	c	d	e

Test 2

Beispiele	erstes Beispiel	a	b	c	~~d~~	e
	zweites Beispiel	a	b	c	d	e

1.	a	b	c	d	e
2.	a	b	c	d	e
3.	a	b	c	d	e
4.	a	b	c	d	e
5.	a	b	c	d	e
6.	a	b	c	d	e
7.	a	b	c	d	e
8.	a	b	c	d	e
9.	a	b	c	d	e
10.	a	b	c	d	e
11.	a	b	c	d	e
12.	a	b	c	d	e
13.	a	b	c	d	e
14.	a	b	c	d	e

Test 3

Beispiele	erstes Beispiel	a	b	~~c~~	d	e
	zweites Beispiel	a	b	c	d	e
	drittes Beispiel	a	b	c	d	e
	1.	a	b	c	d	e
	2.	a	b	c	d	e
	3.	a	b	c	d	e
	4.	a	b	c	d	e
	5.	a	b	c	d	e
	6.	a	b	c	d	e
	7.	a	b	c	d	e
	8.	a	b	c	d	e
	9.	a	b	c	d	e
	10.	a	b	c	d	e
	11.	a	b	c	d	e
	12.	a	b	c	d	e

Test 4

Beispiele	erstes Beispiel	a	b	~~c~~	d	e
	zweites Beispiel	a	b	c	d	e
	drittes Beispiel	a	b	c	d	e
	1.	a	b	c	d	e
	2.	a	b	c	d	e
	3.	a	b	c	d	e
	4.	a	b	c	d	e
	5.	a	b	c	d	e
	6.	a	b	c	d	e
	7.	a	b	c	d	e
	8.	a	b	c	d	e

A.3 Instruktion zum Kettenrechner 3-4

Generelles

- In einem Speed-Test ist es praktisch nicht möglich, alle Aufgaben zu schaffen. Grundschulkinder sind es im Allgemeinen aber nicht gewohnt, eine Arbeit 'mittendrin' abzubrechen. Am besten bereitet man die Kinder vorab auf diese 'frustrierende' Situation vor, indem man ihnen mitteilt, dass die Zeit gezielt so kurz gewählt wurde, dass nicht alles zu schaffen ist.
- In diesem Test ist es ganz wichtig, dass die Kinder nicht selbständig weiterblättern, wenn sie eine Seite fertig haben sollten (im Unterschied zu den Rechenheften oder der WLLP). Umblättern ist nur auf Kommando durch die/den Versuchsleiter/in erlaubt. Das Startsignal für die Bearbeitung der Aufgaben darf erst dann gegeben werden, wenn alle Kinder umgeblättert haben. Hier ist natürlich auch wichtig, dass kein Kind mit der Bearbeitung der Aufgaben anfängt, bevor das Startsignal gegeben wurde.
- Nach dem Stoppsignal dürfen die Kinder nicht weiterarbeiten. Um dies zu verhindern, hat sich in früheren Untersuchungen die 'Armübung' bewährt: die Kinder legen den Stift hin, strecken die Arme nach vorne aus und schütteln die Hände ein wenig aus.
- Die Seiten im Testheft enthalten entweder kurze Aufgaben mit nur einer Operation oder sog. Kettenaufgaben mit zwei Operationen. Je nach Aufgabenart sind die Testzeiten unterschiedlich gewählt (2 oder 4 Minuten). Es ist daher ganz wichtig, dass sich keines der Kinder 'verblättert'.
- Die Grundidee der Aufgaben ist, dass die Kinder die Aufgabenlösungen aus dem Gedächtnis abrufen können und die Lösungen nicht berechnen müssen. Dieser Annahme wird in der Instruktion an einigen Stellen mehr oder weniger subtil über den Passus "aus dem Kopf lösen" Rechnung getragen. Ggf. kann hier ein sprachliche Betonung angemessen sein, eine Blockade bei Kindern, die nicht so gut aus dem Gedächtnis abrufen können, muss aber verhindert werden.

Materialien

Die/der Testleiter/in benötigt eine Stoppuhr. Die Schülerinnen und Schüler benötigen jeweils ein Testheft sowie zwei Stifte, mit denen sie schnell schreiben können (am besten Bleistifte).

Testformen

Testblätter	Testform A	Testform B	Testform C	Testform D
Blatt 1	BF 1	BF 2	BF 1	BF 2
Blatt 2	KR 1	KR 4	KR 3	KR 2
Blatt 3	KR 3	KR 2	KR 1	KR 4
Blatt 4	BF 2	BF 1	BF 2	BF 1
Blatt 5	KR 2	KR 3	KR 4	KR 1
Blatt 6	KR 4	KR 1	KR 2	KR 3

Testzeiten

Testseite	Inhalt	Klassenstufe 3, Testzeit (netto)
Blatt 1	Aufgaben mit nur einer Operation	2 Min.
Blatt 2	Aufgaben mit zwei Operationen	4 Min.
Blatt 3	Aufgaben mit zwei Operationen	4 Min.
Blatt 4	Aufgaben mit nur einer Operation	2 Min.
Blatt 5	Aufgaben mit zwei Operationen	4 Min.
Blatt 6	Aufgaben mit zwei Operationen	4 Min.
	Gesamttestzeit, netto:	**20 Min.**

Stichpunkte	Instruktion
Begrüßung	Heute habe ich euch ein Rätselheft mit Rechenaufgaben mitgebracht. In dem Heft sind sehr viele Aufgaben, daher wird es vermutlich keiner schaffen, alle Aufgaben zu bearbeiten.
Stifte (am besten Bleistifte)	Für die Aufgaben braucht ihr zwei Stifte, mit denen ihr schnell schreiben könnt. Den zweiten Stift benötigt ihr, falls euch der erste mal abbricht oder runterfällt. Alles andere nehmt bitte vom Tisch.
Einführung	Wenn wir gleich anfangen, dann habt ihr nur eine bestimmte Zeit für die Aufgaben. Es ist also sehr wichtig, dass ihr genau arbeitet, das Ergebnis schnell aufschreibt und zügig zur nächsten Aufgabe übergeht.
Umgang mit Fehlern	Falls ihr euch mal verrechnet habt, dann streicht die falsche Lösung einfach durch und schreibt die richtige Lösung daneben. Fangt bitte nicht an zu radieren, da das zu viel Zeit kosten würde.
Aufgaben der Reihe nach	Versucht bitte die Aufgaben der Reihe nach zu lösen. Lasst eine Aufgabe nur dann aus, wenn ihr sie wirklich nicht lösen könnt.
Hefte austeilen, Name und Klasse	Ich verteile jetzt mal die Hefte, aber ihr dürft die Hefte noch nicht aufschlagen. Wer sein Heft schon hat, schreibt vorne auf das Heft den Namen und die Klasse.
Los und Stopp Armübung vormachen und zweimal mit den Kinder üben	Wir gehen das Heft gleich Seite für Seite durch. Ich werde euch immer genau sagen, wann ihr anfangen sollt die Aufgaben zu lösen. Dazu sage ich "Los!" Wenn ich "Stopp!" sage, müsst ihr sofort den Stift beiseite legen und dürft nicht mehr weiterarbeiten. Und damit wirklich keiner mehr weiterarbeiten kann, nehmt ihr alle die Arme nach vorne und schüttelt die Hände aus.
Einleitung Übungsaufgaben	Bevor wir nun anfangen, werde ich euch genau erklären, wie die Aufgaben gehen. In diesem Heft gibt es Aufgaben, die ganz kurz sind, so wie die Aufgabe 1 und 2. Und es gibt Aufgaben, die länger sind, so wie die Aufgaben 3 und 4. Bei allen Aufgaben gibt es am Ende eine Linie, auf der ihr die richtige Zahl eintragen sollt.
Übungsaufgabe 1 2 + 5 = 7 Lösung von einem Kind nennen lassen.	Guckt euch bitte mal die Aufgabe 1 an: da steht 2 + 5 ist gleich? Wer weiß die Lösung aus dem Kopf? … Richtig, 2 + 5 ist gleich 7, daher muss auf die Linie die 7 eingetragen werden. Wie ihr seht, hat bereits ein Kind für euch die 7 dort eingetragen.
Übungsaufgabe 2 18 – 6 = 12 Aufgabe von einem Kind lösen lassen.	Wer kann denn die Aufgabe 2 aus dem Kopf lösen? Dort steht 18 – 6 ist gleich? … Richtig, 18 – 6 ist gleich 12, daher müsst ihr auf die Linie die 12 eintragen.
Übungsaufgabe 3 3 + 6 = 7 + 2 Vorderen Teil der Aufgabe lösen lassen. Hinteren Teil der Aufgabe lösen lassen.	Nun guckt euch mal die Aufgabe 3 an. Das ist eine längere Aufgabe. Dort steht: 3 + 6 ist gleich 7 + ? Hier müsst ihr erst wissen, wie viel 3 + 6 ist. Wer weiß es? … Genau 3 + 6 ist gleich 9. Nun geht die Aufgabe aber weiter: 7 + was ist denn auch 9? … Genau, 7 + 2 ist auch gleich 9, daher muss auf die Linie die 2 eingetragen werden. Wie ihr seht, hat bereits ein Kind für euch die 2 dort eingetragen.

Stichpunkte	Instruktion
Übungsaufgabe 4 7 – 2 = 11 – 6 Aufgabe von einem Kind lösen lassen.	Wer kann denn die Aufgabe 4 lösen? Dort steht: 7 – 2 ist gleich 11 – was? … Genau, 7 – 2 ist gleich 5. Und 11 – 6 ist auch gleich 5, daher müsst ihr auf die Linie die 6 eintragen.
Übungausaufgabe 5 5 · 2 = 10 Aufgabe von einem Kind laut lösen lassen. Haben die Kinder die Aufgaben noch nicht verstanden, dann die Aufgabe analog zu den vorherigen Aufgaben erklären.	Habt ihr verstanden wie die Aufgaben zu lösen sind? Wer möchte denn mal die Aufgabe 5 laut lösen?
Übungsaufgabe 6 8 + 5 = 13 Vorgehen hier und im Folgenden analog zu Aufgabe 5, bis die Kinder die Aufgaben verstanden haben.	Wer möchte denn mal die Aufgabe 6 laut lösen?
Übungsaufgabe 7 8 + 8 = 12 + 4	Wer möchte denn mal die Aufgabe 7 laut lösen?
Übungsaufgabe 8 9 – 4 = 5	Wer möchte denn mal die Aufgabe 8 laut lösen?
Übungsaufgaben 9 bis 18 (9) 8 · 1 = 8 (10) 9 – 3 = 8 – 2 (11) 16 – 4 = 12 (12) 1 + 1 = 4 – 2 (13) 6 · 2 = 3 · 4 (14) 10 – 1 = 5 + 4 (15) 2 + 5 = 1 · 7 (16) 11 · 1 = 18 – 7 (17) 3 · 6 = 11 + 7 (18) 8 – 4 = 2 · 2 Lösungen kurz durchsprechen und vergleichen.	Die nächsten Aufgaben **auf dieser Seite** löst bitte jeder für sich. Versucht die Aufgaben aus dem Kopf zu lösen. Wer fertig ist, legt den Stift zur Seite und verhält sich ruhig. Es wird noch nicht umgeblättert!
Überleitung, kurze und längere Aufgaben Richtiges Umblättern und Weiterblättern (in Abgrenzung zu den Rechenheften und der WLLP) Ggf. Fragen beantworten lassen.	Auf den folgenden Seiten findet ihr entweder **nur** kurze oder **nur** längere Aufgaben. Achtet bitte unbedingt darauf, dass ihr immer nur eine Seite weiterblättert. Ihr fangt immer erst an, wenn ihr die Seite umgeblättert habt und ich "Los!" sage. Wenn ich "Stopp!" rufe, legt ihr den Stift zur Seite und dürft nicht mehr weiterarbeiten. Sollte jemand fertig sein, bevor ich "Stopp!" rufe, so verhält er sich ruhig und wartet bis es weitergeht. **Weiterblättern ist erst erlaubt, wenn ich es sage!** Sind noch Fragen?
Blatt 1 (Testzeit 90 od. 120 Sek.) Kinder umblättern lassen.	Dann blättert bitte um. Es kommt eine Seite mit kurzen Aufgaben. Los!
nach 90 / 120 Sekunden	Stopp! Alle legen den Stift zur Seite und nehmen die Arme nach vorne.

Stichpunkte	Instruktion
Blatt 2 (Testzeit 3 od. 4 Min.) Kinder umblättern lassen.	Blättert bitte eine Seite weiter. Es kommt eine Seite mit längeren Aufgaben. Ihr habt dafür auch etwas mehr Zeit. Los!
nach 3 / 4 Minuten	Stopp! Alle legen den Stift zur Seite und nehmen die Arme nach vorne.
Blatt 3 (Testzeit 3 od. 4 Min.) Kinder umblättern lassen.	Blättert bitte eine Seite weiter. Es kommt eine Seite mit längeren Aufgaben. Los!
nach 3 / 4 Minuten	Stopp! Alle legen den Stift zur Seite und nehmen die Arme nach vorne.
Blatt 4 (Testzeit 90 od. 120 Sek.) Kinder umblättern lassen.	Blättert bitte eine Seite weiter. Es kommt nun eine Seite mit kurzen Aufgaben. Los!
nach 90 / 120 Sekunden	Stopp! Alle legen den Stift zur Seite und nehmen die Arme nach vorne.
Blatt 5 (Testzeit 3 od. 4 Min.) Kinder umblättern lassen.	Blättert bitte eine Seite weiter. Es kommt wieder eine Seite mit längeren Aufgaben. Los!
nach 3 / 4 Minuten	Stopp! Alle legen den Stift zur Seite und nehmen die Arme nach vorne.
Blatt 6 (Testzeit 3 od. 4 Min.) Kinder umblättern lassen.	Blättert bitte eine Seite weiter. Es kommt die letzte Seite mit längeren Aufgaben. Los!
nach 3 / 4 Minuten	Stopp! Alle legen den Stift zur Seite und nehmen die Arme nach vorne.
nach letzter Seite	So, das waren die letzten Aufgaben. Schließt bitte die Hefte und reicht sie durch. Ihr habt wirklich alle großartig mitgearbeitet. Dafür möchte ich mich ganz herzlich bei euch bedanken.

(1)	3 + 2 = ____	(21)	3 + 14 = ____
(2)	11 – 3 = ____	(22)	17 – 8 = ____
(3)	6 · 3 = ____	(23)	8 · 2 = ____
(4)	8 + 9 = ____	(24)	8 + 12 = ____
(5)	11 – 7 = ____	(25)	15 – 8 = ____
(6)	12 + 3 = ____	(26)	6 + 2 = ____
(7)	17 – 7 = ____	(27)	13 – 9 = ____
(8)	5 · 4 = ____	(28)	2 · 5 = ____
(9)	6 + 3 = ____	(29)	5 + 7 = ____
(10)	18 – 4 = ____	(30)	9 – 6 = ____
(11)	3 + 4 = ____	(31)	5 + 14 = ____
(12)	17 – 16 = ____	(32)	11 – 9 = ____
(13)	6 · 2 = ____	(33)	2 · 3 = ____
(14)	8 + 5 = ____	(34)	7 + 6 = ____
(15)	18 – 16 = ____	(35)	6 – 5 = ____
(16)	12 + 7 = ____	(36)	2 + 9 = ____
(17)	15 – 10 = ____	(37)	12 – 9 = ____
(18)	5 · 3 = ____	(38)	2 · 7 = ____
(19)	4 + 2 = ____	(39)	6 + 12 = ____
(20)	13 – 2 = ____	(40)	19 – 3 = ____

S T O P P !
Erst umblättern, wenn du dazu aufgefordert wirst!

(1)	2 + 4 = ____	(21)	16 + 3 = ____
(2)	13 – 9 = ____	(22)	17 – 3 = ____
(3)	5 · 3 = ____	(23)	10 · 2 = ____
(4)	4 + 5 = ____	(24)	2 + 3 = ____
(5)	18 – 17 = ____	(25)	16 – 5 = ____
(6)	11 + 6 = ____	(26)	7 + 9 = ____
(7)	16 – 14 = ____	(27)	18 – 11 = ____
(8)	8 · 2 = ____	(28)	3 · 6 = ____
(9)	5 + 6 = ____	(29)	3 + 12 = ____
(10)	13 – 5 = ____	(30)	15 – 12 = ____
(11)	6 + 14 = ____	(31)	5 + 3 = ____
(12)	13 – 6 = ____	(32)	9 – 8 = ____
(13)	2 · 6 = ____	(33)	4 · 3 = ____
(14)	7 + 12 = ____	(34)	6 + 7 = ____
(15)	19 – 2 = ____	(35)	14 – 9 = ____
(16)	11 + 7 = ____	(36)	7 + 2 = ____
(17)	7 – 3 = ____	(37)	19 – 17 = ____
(18)	3 · 2 = ____	(38)	7 · 2 = ____
(19)	4 + 9 = ____	(39)	8 + 2 = ____
(20)	19 – 9 = ____	(40)	6 – 3 = ____

S T O P P !
Erst umblättern, wenn du dazu aufgefordert wirst!

Anhang B: Materialien der Individualuntersuchung

B.1 Protokollbogen Mengenerfassung

Proband: ..... FIN: .....
Schule: ..... Klasse: .....
Testleiter/in: .....

Instruktion

Instruktion starten, warten bis sich erstes Bild mit Kuni und dem Baum aufgebaut hat (Bild 1 der Instruktion Mengenerfassung).

Bei diesem Spiel sollst du Kobold Kuni im Zauberwald helfen. Noch vor ein paar Tagen standen nur gelbe Tannenbäume im Wald, so wie dieser hier … *(auf den aufrecht stehenden gelben Tannenbaum zeigen)*. Aber nun ist an manchen Stellen im Wald ein richtiges Durcheinander.

Leertaste betätigen, warten bis sich nächstes Bild aufbaut (Bild 2 der Instruktion Mengenerfassung).

Auf den Bildern siehst du gleich immer genau in der Mitte ein Kreuz, auf das du genau gucken sollst. Dann zeigt dir Kuni ein Bild vom Wald. Kannst du ihm sagen, wie viele der aufrecht stehenden gelben Tannenbäume zu sehen sind?! Du musst die richtige Zahl laut ins Mikrofon sagen.

Hier siehst du noch mal, welche Bäume wichtig sind: du darfst nur auf die **aufrecht stehenden gelben Tannenbäume** achten. Wie viele von diesen kannst du hier sehen?! *(Kind antworten lassen - vier.)* Die anderen Bäume hier unten sind nicht wichtig.

Deine Aufgabe ist es also, möglichst **genau und schnell** die richtige Anzahl ins Mikrofon zu sagen. Beachte aber nur auf die aufrecht stehenden gelben Tannenbäume!

Hast du noch Fragen? *(Ggf. die Instruktion oben erneut durchgehen.)*

Anschließend vom Kind die Übungsaufgaben bearbeiten lassen. Sofern ersichtlich wird, dass das Kind die Aufgabe nicht verstanden hat, die Instruktion erneut durchgehen.

Trial	Antwort	Trial	Antwort	Trial	Antwort
Ü1	(3)	Ü3	(4)	Ü5	(7)
Ü2	(8)	Ü4	(5)	Ü6	(2)

Bei späteren Blöcken folgendermaßen vorgehen:
Kannst du dich noch daran erinnern, wie du Kobold Kuni immer dir richtige Anzahl der aufrecht stehenden gelben Tannenbäume gesagt hast. Dies sollst du jetzt noch mal machen, denn Kobold Kuni hat noch mehr Bilder vom Wald. Weißt du noch wie diese Aufgabe geht? *(Vom Kind kurz erklären lassen, was es zu tun hat; ggf. die Instruktion oben wiederholen.)*

Mengenerfassung Block 1

Testdatum: ----------

Testtag: 1 2

Testeinheit: 1 2 3 4 5

Trial	Antwort	Trial	Antwort	Trial	Antwort
1		22		43	
2		23		44	
3		24		45	
4		25		46	
5		26		47	
6		27		48	
7		28		49	
8		29		50	
9		30		51	
10		31		52	
11		32		53	
12		33		54	
13		34		55	
14		35		56	
15		36		57	
16		37		58	
17		38		59	
18		39		60	
19		40		61	
20		41		62	
21		42		63	

Mengenerfassung Block 2

Testdatum: ----------

Testtag: 1 2

Testeinheit: 1 2 3 4 5

Trial	Antwort	Trial	Antwort	Trial	Antwort
1		22		43	
2		23		44	
3		24		45	
4		25		46	
5		26		47	
6		27		48	
7		28		49	
8		29		50	
9		30		51	
10		31		52	
11		32		53	
12		33		54	
13		34		55	
14		35		56	
15		36		57	
16		37		58	
17		38		59	
18		39		60	
19		40		61	
20		41		62	
21		42		63	

Mengenerfassung Block 3

Testdatum: ----------

Testtag: 1 2

Testeinheit: 1 2 3 4 5

Trial	Antwort	Trial	Antwort	Trial	Antwort
1		22		43	
2		23		44	
3		24		45	
4		25		46	
5		26		47	
6		27		48	
7		28		49	
8		29		50	
9		30		51	
10		31		52	
11		32		53	
12		33		54	
13		34		55	
14		35		56	
15		36		57	
16		37		58	
17		38		59	
18		39		60	
19		40		61	
20		41		62	
21		42		63	

Mengenerfassung Block 4

Testdatum: ----------

Testtag: 1 2

Testeinheit: 1 2 3 4 5

Trial	Antwort	Trial	Antwort	Trial	Antwort
1		22		43	
2		23		44	
3		24		45	
4		25		46	
5		26		47	
6		27		48	
7		28		49	
8		29		50	
9		30		51	
10		31		52	
11		32		53	
12		33		54	
13		34		55	
14		35		56	
15		36		57	
16		37		58	
17		38		59	
18		39		60	
19		40		61	
20		41		62	
21		42		63	

B.2 Protokollbogen Corsi-Block-Spannen-Aufgabe

Proband: FIN:
Schule: Klasse:
Testleiter/in: .....

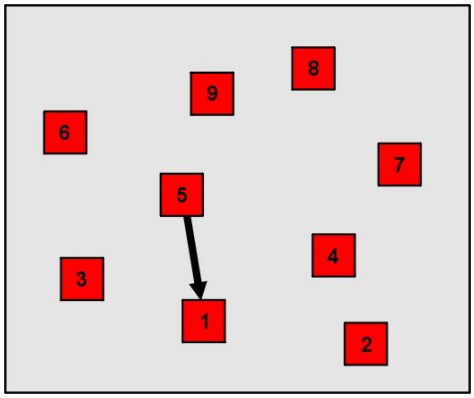
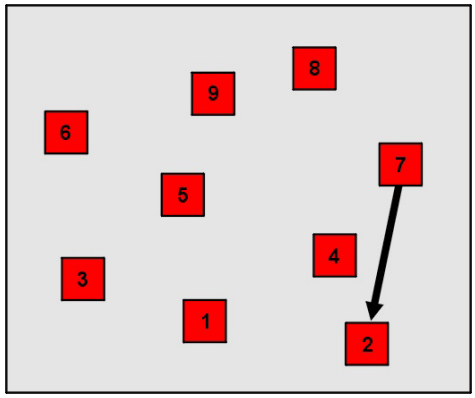
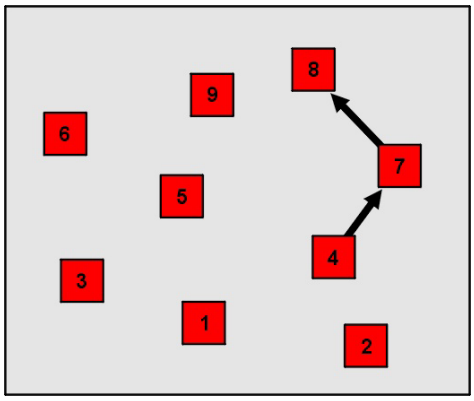
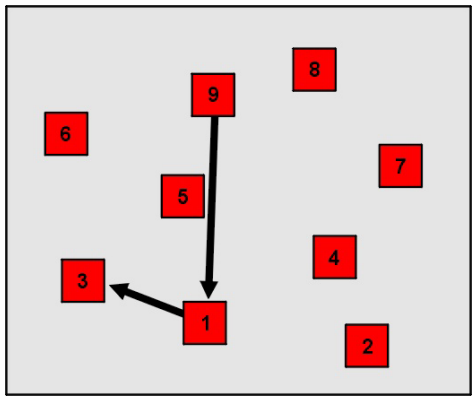
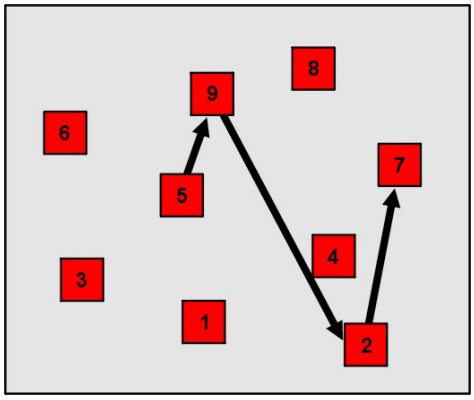
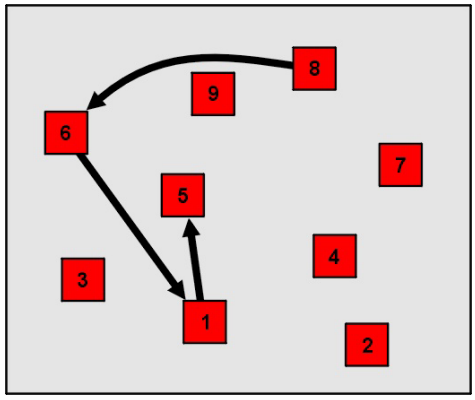
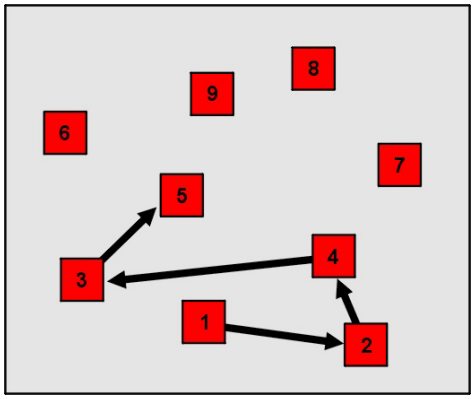
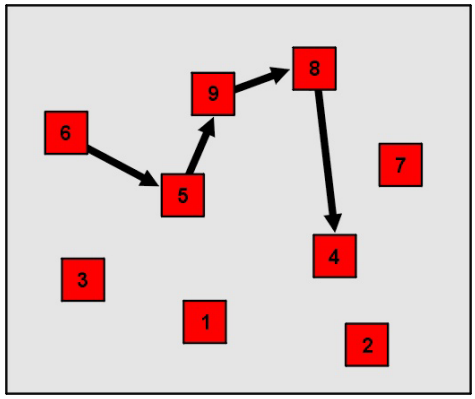
Instruktion
Bei der folgenden Aufgabe sollst du Kobold Kuni helfen, sich Wege zu merken. Dazu brauchen wir dieses Brett mit den 9 roten Blöcken. Ich werde dir gleich auf diesem Brett Wege zeigen. Ein Weg läuft über mehrere Blöcke. Die Wege können unterschiedlich lang sein. Ich sage dir immer vorher, über wie viele Blöcke der Weg verläuft. Die Blöcke werden kurz von mir angetippt *(Zeigefinger des Versuchsleiters auf rechte Schraube, 3er-Sequenz 4 – 1 – 3 zeigen, wieder auf Schraube)*.

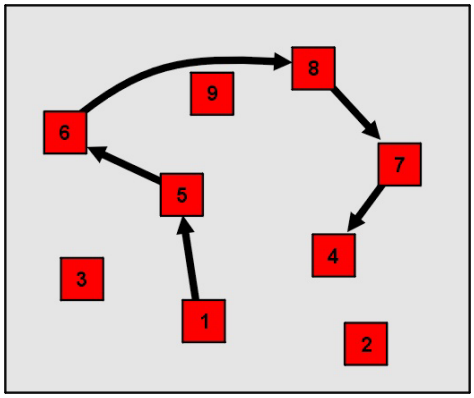
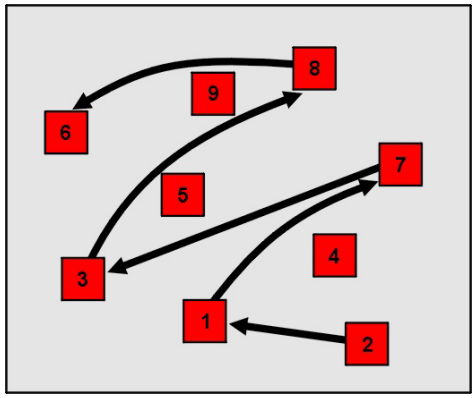
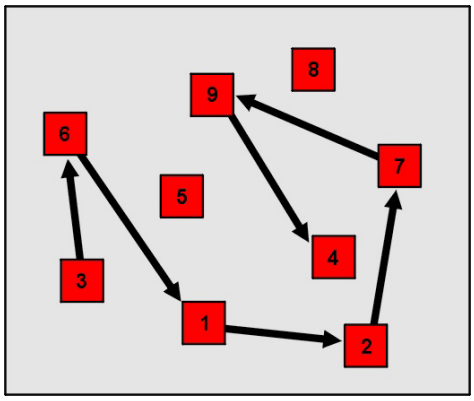
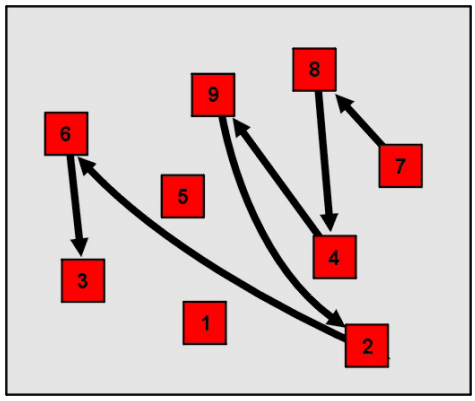
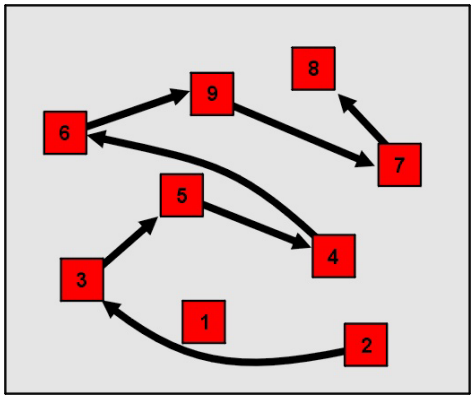
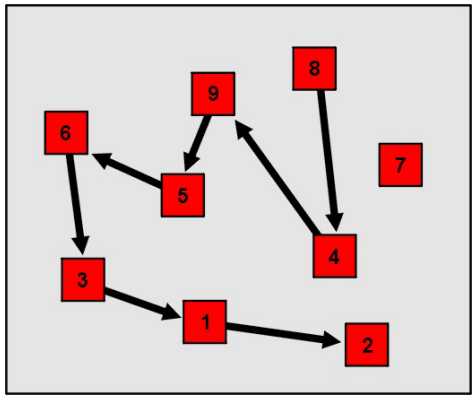
Merke dir den Weg gut und tippe ihn mit dem Zeigefinger nach, wenn mein Finger wieder auf der Schraube liegt *(ggf. erklären: die gleichen Blöcke in der gleichen Reihenfolge antippen)*.

Alles klar? Gut, dann fangen wir an.

Testdatum: ..... Testtag: 1 2 Testeinheit: 1 2 3 4 5

Trial	Spanne	Item	Lösung/Lösungsweg	
1	2-B	7 – 2		
2	4-A	5 – 9 – 2 – 7		
3	3-A	4 – 7 – 8		
4	6-A	1 – 5 – 6 – 8 – 7 – 4		
5	5-B	6 – 5 – 9 – 8 – 4		
6	5-A	1 – 2 – 4 – 3 – 5		
7	2-A	5 – 1		
8	8-A	2 – 3 – 5 – 4 – 6 – 9 – 7 – 8		
9	3-B	9 – 1 – 3		
10	7-B	7 – 8 – 4 – 9 – 2 – 6 – 3		
11	4-B	8 – 6 – 1 – 5		
12	7-A	3 – 6 – 1 – 2 – 7 – 9 – 4		
13	6-B	2 – 1 – 7 – 3 – 8 – 6		
14	8-B	8 – 4 – 9 – 5 – 6 – 3 – 1 – 2		

Spanne	Item A	Item B
2	5 – 1 	7 – 2 
3	4 – 7 – 8 	9 – 1 – 3 
4	5 – 9 – 2 – 7 	8 – 6 – 1 – 5 
5	1 – 2 – 4 – 3 – 5 	6 – 5 – 9 – 8 – 4 

Spanne	Item A	Item B
6	1 – 5 – 6 – 8 – 7 – 4 	2 – 1 – 7 – 3 – 8 – 6 
7	3 – 6 – 1 – 2 – 7 – 9 – 4 	7 – 8 – 4 – 9 – 2 – 6 – 3 
8	2 – 3 – 5 – 4 – 6 – 9 – 7 – 8 	8 – 4 – 9 – 5 – 6 – 3 – 1 – 2 

B.3 Protokollbogen für Trail-Making-Aufgabe (Reihenverbindungstest)

Proband: ..... FIN: .....
Schule: ..... Klasse: .....
Testleiter/in: .....

Testdatum: ..... Testtag: 1 2 Testeinheit: 1 2 3 4 5

Instruktion
Jetzt kommt eine andere Aufgabe, bei der du Kobold Kuni helfen kannst. Hier ist eine Maus, die lange nichts gefressen hat und deshalb großen Hunger hat. Um den Käse zu erreichen, muss die Maus in einer bestimmten Reihenfolge durch die Mauselöcher laufen. Du sollst ihr dabei helfen. Vorher üben wir das mal an drei Beispielen.

Beispiel 1:
Im ersten Beispiel hat jedes Mauseloch eine Zahl. Die Maus muss also erst durch Loch 1, dann durch Loch 2, dann durch Loch 3 usw. Deine Aufgabe ist es nun, der Maus den Weg weiter vorzuzeichnen und die Mauselöcher möglichst schnell in der richtigen Reihenfolge zu verbinden. Da die Maus großen Hunger hat, beeile dich und arbeite möglichst schnell.

Zeige der Maus so schnell du kannst den richtigen Weg durch die Mauselöcher! Und LOS! *(Erstes Beispiel bearbeiten lassen.)*

Beispiel 2:
Im zweiten Beispiel sieht du, dass die Mauselöcher Buchstaben haben. Die Maus muss von A nach B usw. Auch hier sollst du die Mauselöcher in der richtigen Reihenfolge verbinden.

Zeichne bitte den Weg weiter bis zum Käse. Zeige der Maus so schnell du kannst den richtigen Weg durch die Mauselöcher! Und LOS! *(Zweites Beispiel bearbeiten lassen.)*

Beispiel 3:
Diesmal ist die Aufgabe ein wenig schwieriger, weil nicht nur Zahlen, sondern auch Buchstaben auf den Mauselöchern stehen. Für die Maus musst du die Mauslöcher nun so verbinden: 1-A-2-B usw.

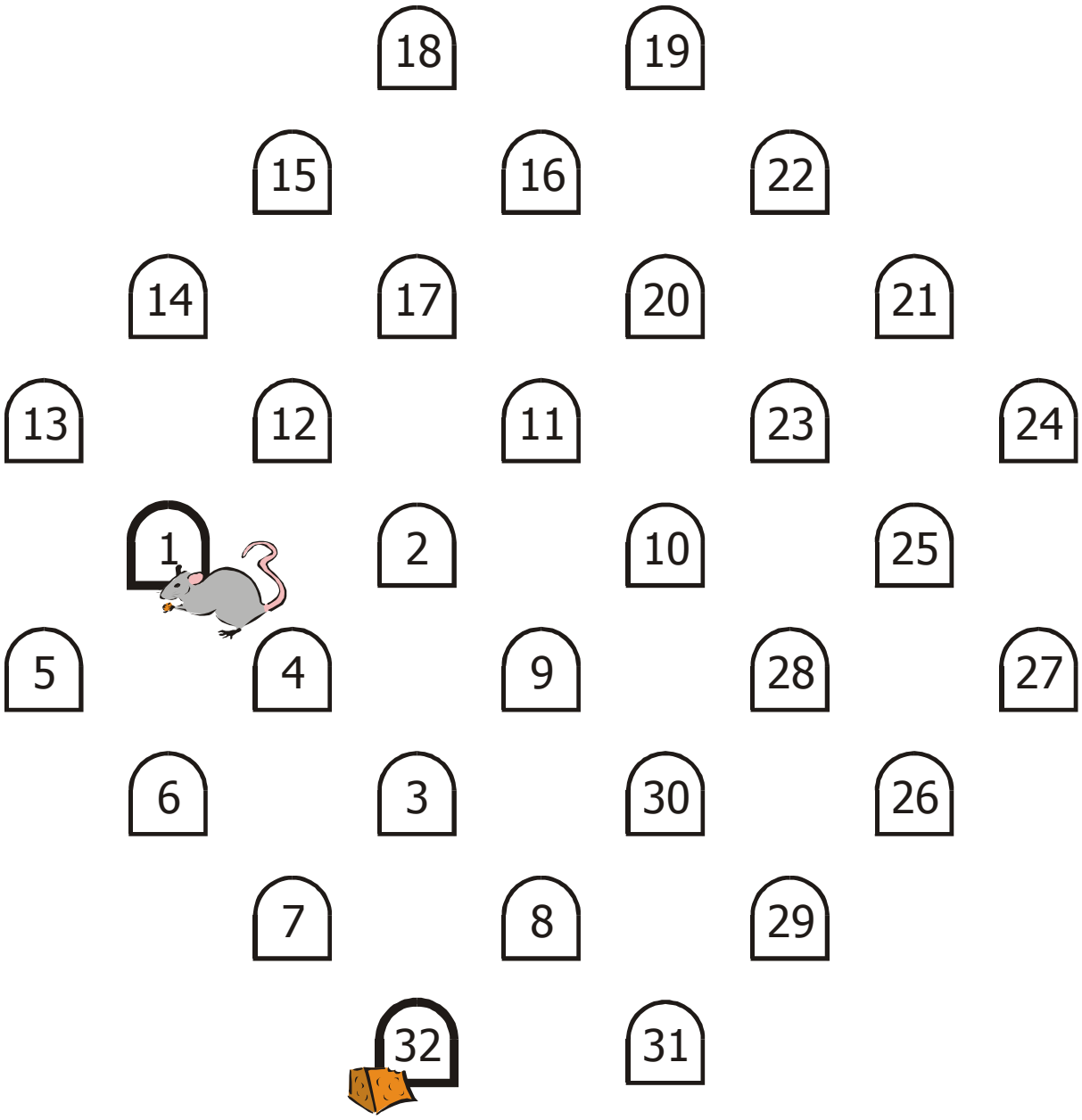
Zeige der Maus so schnell du kannst den richtigen Weg durch die Mauselöcher! Und LOS! *(Drittes Beispiel bearbeiten lassen.)*

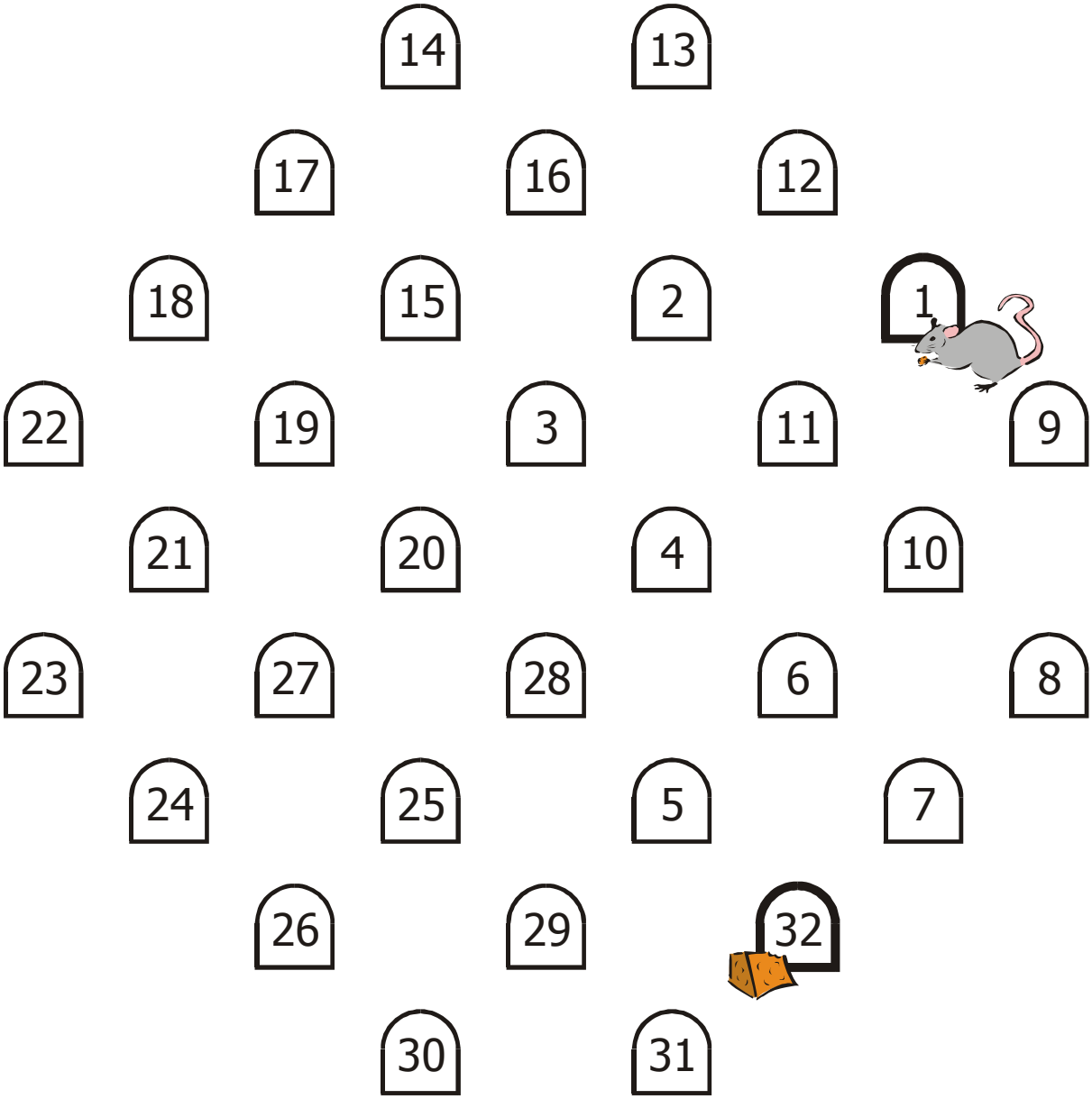
Überleitung Testaufgaben
Auf den nächsten Seiten kommen weitere Wege, die auch viel länger sind. Auf dem Blatt sind entweder nur Buchstaben oder nur Zahlen oder aber Zahlen und Buchstaben. Zeichne immer so schnell du kannst den richtigen Weg durch die Mauselöcher. Arbeite möglichst schnell und genau! Versuche, den Stift nicht abzusetzen und kein Feld auszulassen. Wenn du aber trotzdem mal ein Feld vergisst, arbeite einfach bis zum Ende weiter. Du darfst aber immer erst anfangen, wenn ich LOS sage.

Bitte umblättern. … Und LOS! … usw. *(immer erst umblättern lassen, dann sich das Kind bereit machen lassen und erst dann starten; dem Kind immer vorher sagen, ob als Aufgabe nun Zahlen, Buchstaben oder Zahlen & Buchstaben kommen)*.

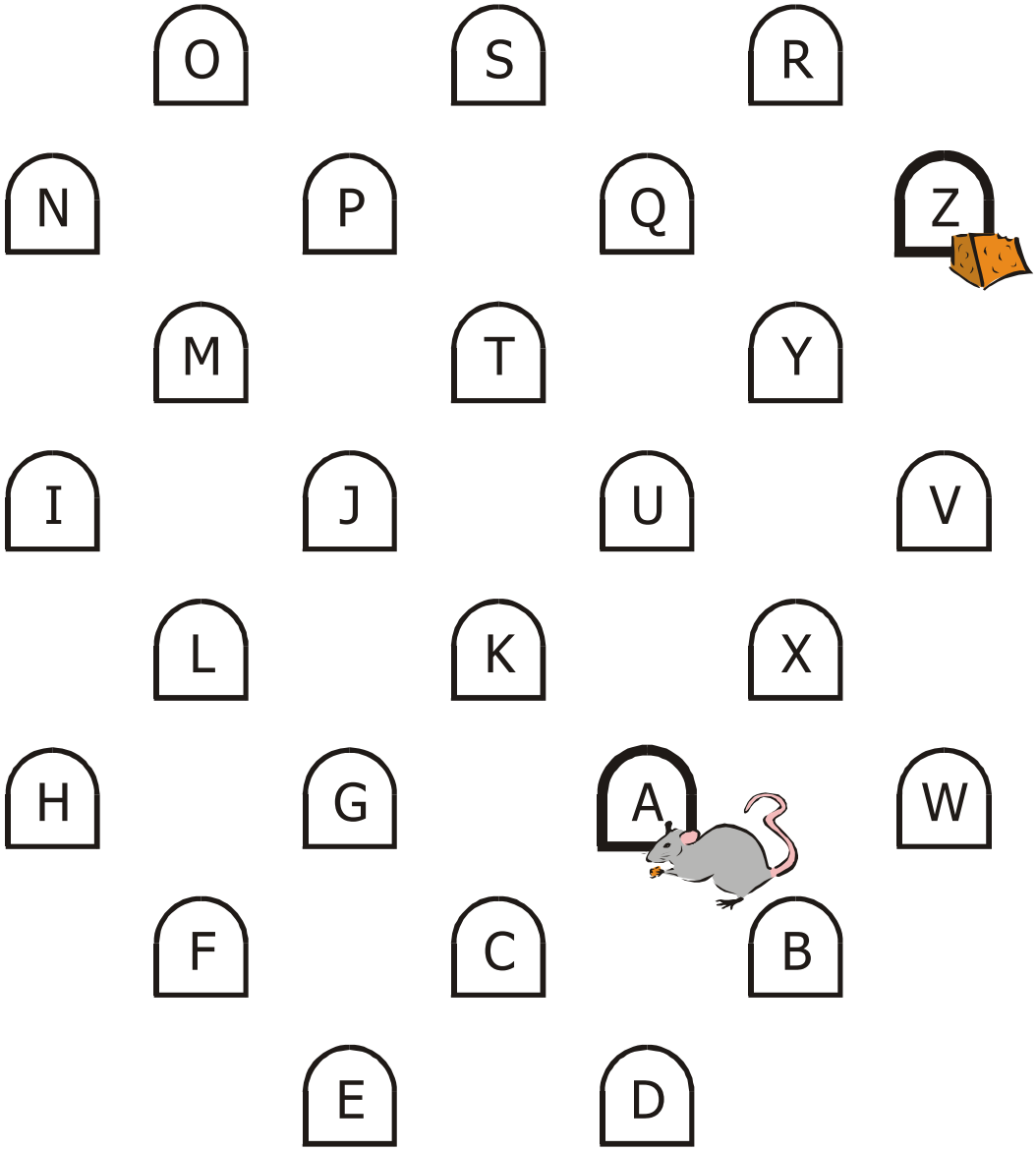
Blatt	Testform (bitte ankreuzen)						Bearbeitungs-zeit in min:sec	Fehler	Aus-lassungen
	A	B	C	D	E	F			
1	Z-A	ZB-A	B-A	Z-B	ZB-B	B-B			
2	B-A	Z-A	ZB-A	B-B	Z-B	ZB-B			
3	ZB-A	B-A	Z-A	ZB-B	B-B	Z-B			
4	Z-B	ZB-B	B-B	Z-A	ZB-A	B-A			
5	B-B	Z-B	ZB-B	B-A	Z-A	ZB-A			
6	ZB-B	B-B	Z-B	ZB-A	B-A	Z-A			

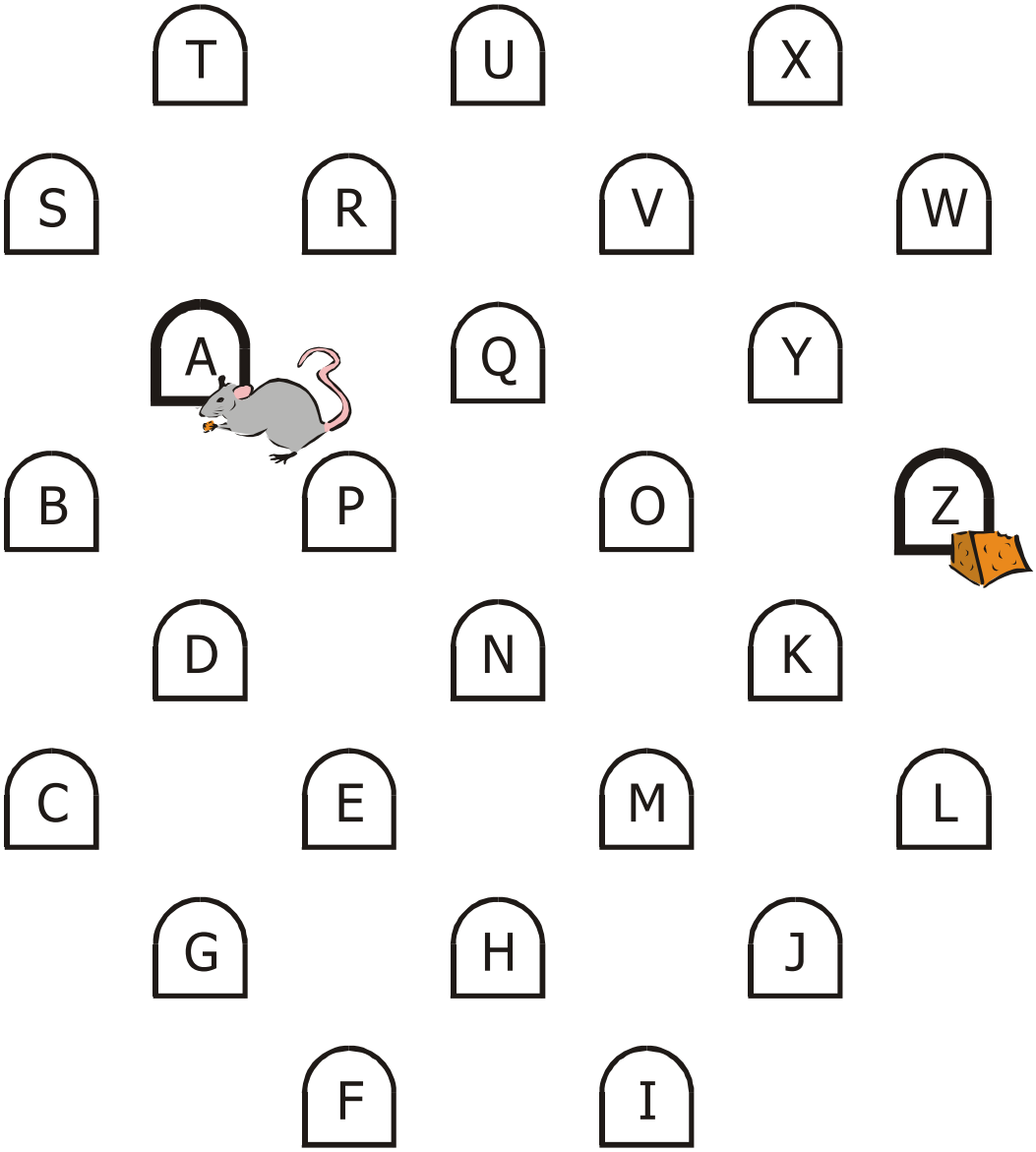
B.4 Testbögen der Trail-Making-Aufgabe (Reihenverbindungstest)

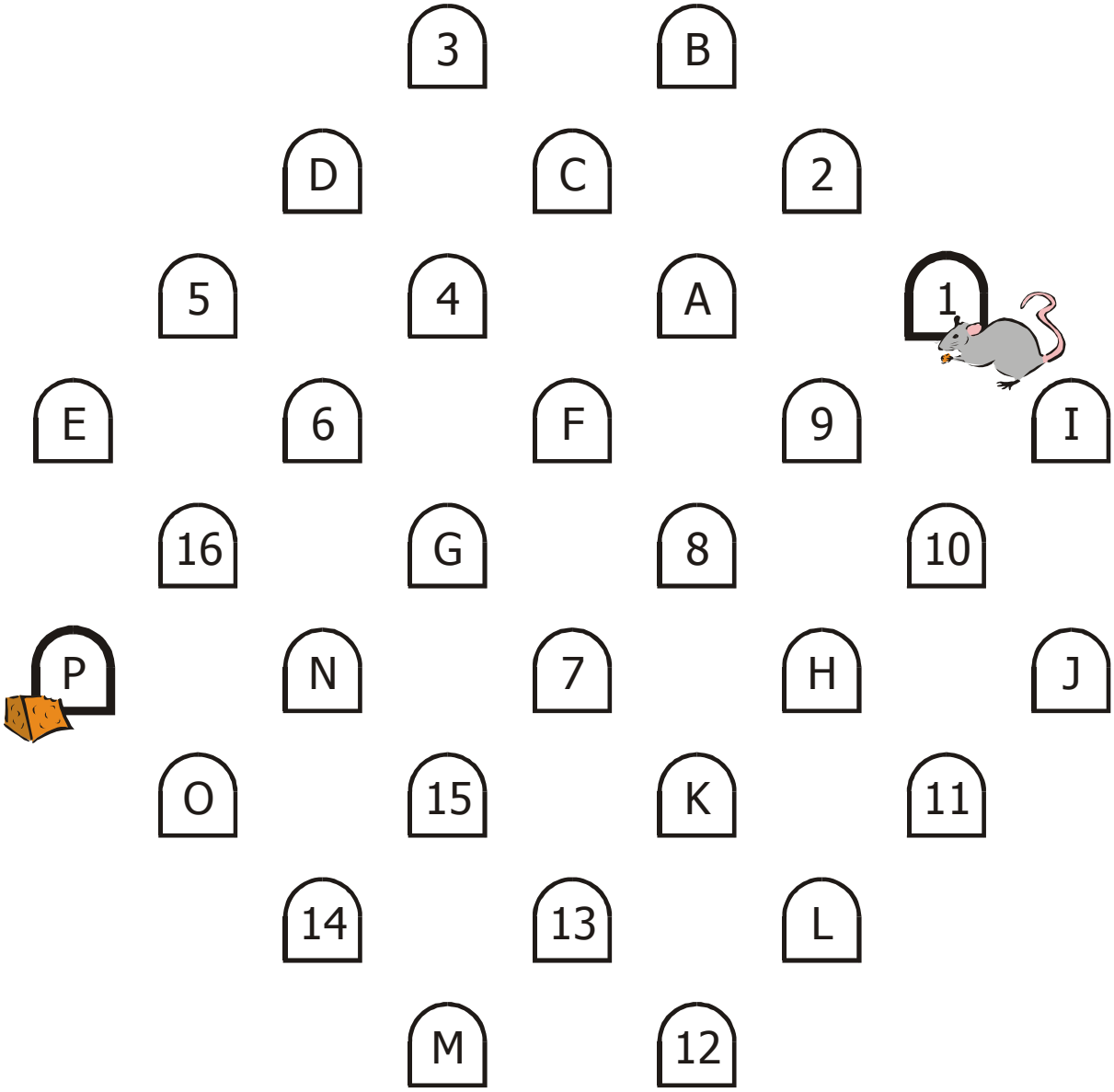



14
13
17
16
12
18
15
2
1
22
19
3
11
9
21
20
4
10
23
27
28
6
8
24
25
5
7
26
29
32
30
31

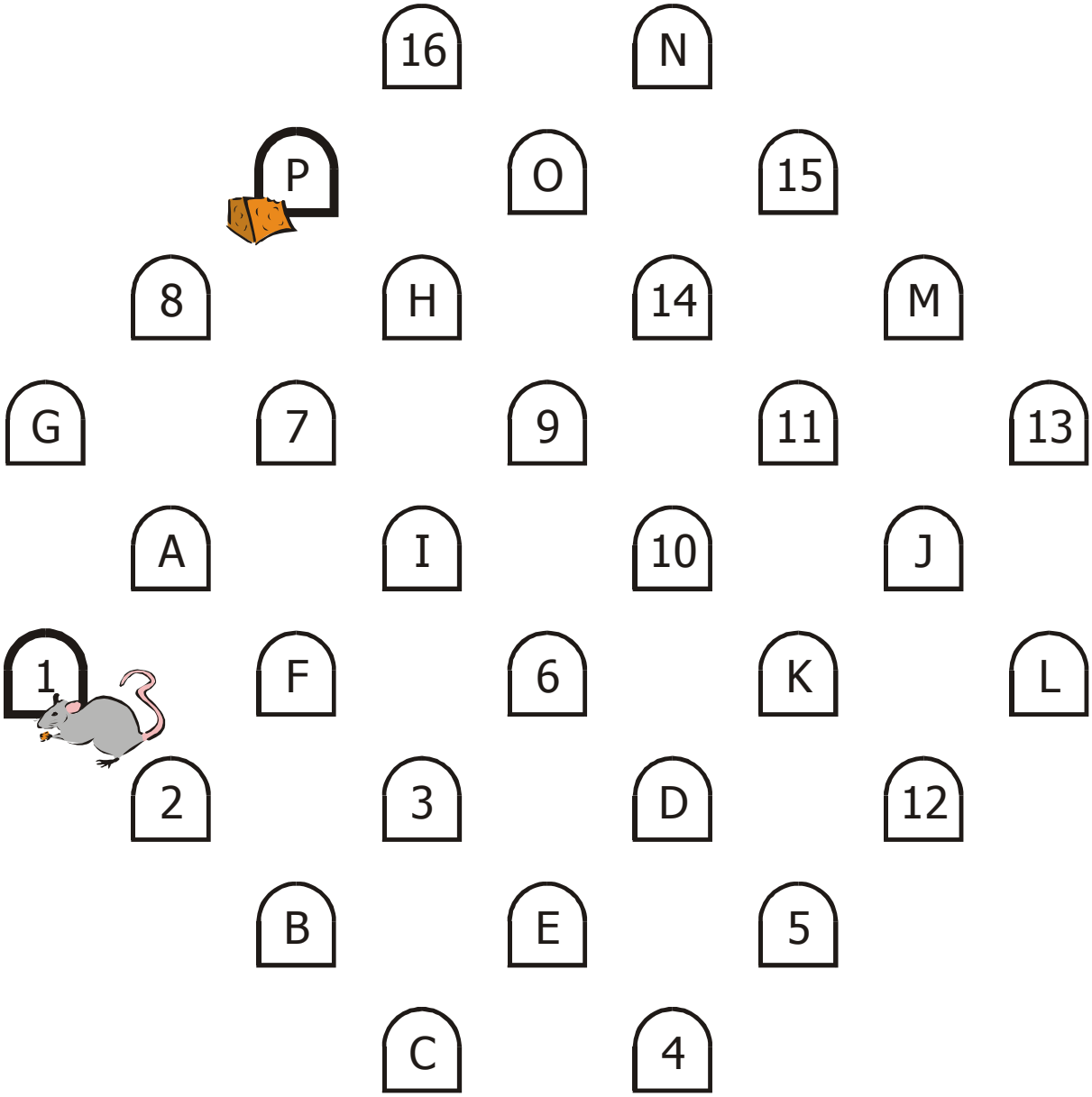
Z-B


O
S
R
N
P
Q
Z
M
T
Y
I
J
U
V
L
K
X
H
G
A
W
F
C
B
E
D


T
U
X
S
R
V
W
A
Q
Y
B
P
O
Z
D
N
K
C
E
M
L
G
H
J
F
I



ZB-A



ZB-B

B.5 Protokollbogen komplexe Wortspanne vorwärts

Proband: ..... FIN: .....
Schule: ..... Klasse: .....
Testleiter/in: .....

Instruktion
Die Aufgabe, bei der du Kobold Kuni nun helfen sollst, lautet: "Sätze prüfen und Wörter merken". Du hörst gleich auf dem Kopfhörer einen Satz. Höre dir den Satz gut an, denn du sollst sagen, ob der Satz richtig ist oder Quatsch. Sobald du das gesagt hast, hörst du ein Wort. Dieses Wort sollst du **wiederholen** und dir dann gut **merken**! Automatisch kommt dann der nächste Satz und du sollst wieder sagen, ob der richtig ist oder Quatsch. Dann kommt wieder ein Wort, welches du wiederholen und dir merken sollst. Dies geht so weiter, bis du einen Ping-Ping-Ping-Ton hörst. Dies ist das Signal für dich, die von dir wiederholten **Wörter in der gleichen Reihenfolge** aufzusagen, wie du sie gehört hast.

Wir wollen das mal an einem Beispiel üben:

Spanne	Satz	Urteil		Target
		W	Q	
Übung 2-A	1. Schnee ist weiß.	x		Kahn
	2. Hühner tragen einen Hut.		x	Band
Übung 2-B	1. Gardinen hängen vor der Tür.	x		Lack
	2. Eine Banane schmeckt süß.	x		Sturm

(Beide Beispiele mit dem Kind durchgehen, ggf. die Instruktion oben und die Beispiele wiederholen. Achtung: beim Beispiel 2-A muss nach der ersten Satz-Target-Kombination die Leertaste für den zweiten Satz gedrückt werden, Beispiel 2-B läuft selbständig weiter.)

Prima, gut gemacht. Genau so geht es weiter. Gleich kommen unterschiedlich viele Sätze und Wörter vor. Ich werde dir vorher immer sagen, wie viele Sätze und Wörter es sind. Sage bei jedem Satz **kurz** "richtig", wenn er richtig ist oder "Quatsch", wenn er nicht stimmt. Merke dir das Wort, welches nach dem Satz kommt, immer gut. Sobald der Ping-Ping-Ping-Ton ertönt, sollst du diese **Wörter in der richtigen Reihenfolge** wiederholen.

Komplexe Wortspanne Pool A
(kleiner abhängiger Itempool für Targets)

Testdatum: _____ Testtag: 1 2 Testeinheit: 1 2 3 4 5

Trial	Spanne	Satz	Urteil		Target		Intrusionen
			W	Q			
	2-A	1. Der Hase jagt den Fuchs.			Haus		
		2. Busse fliegen zum Mond.			Pilz		
	2-B	1. Man schreibt mit dem Mund.			Eis		
		2. Ein Auto ist ein Tier.			Ball		
	3-A	1. Im Sommer liegt Schnee.			Kind		
		2. Schuhe trägt man am Fuß.			Stern		
		3. Eisbären tragen einen Schal.			Pilz		
	3-B	1. Katzen haben ein weiches Fell.			Pilz		
		2. Ein Polizist ist ein Arzt.			Eis		
		3. Motorräder fahren auf dem See.			Ball		
	4-A	1. Auf der Straße fährt ein Keks.			Stern		
		2. Pferde trinken immer Bier.			Pilz		
		3. Ritter leben in einer Burg.			Kind		
		4. Tiger fressen am liebsten Brei.			Haus		
	4-B	1. Blätter fallen im Herbst.			Kind		
		2. Fische schwimmen am Land.			Eis		
		3. Ein Pullover ist aus Holz.			Haus		
		4. Weihnachten isst man häufig Gans.			Ball		
	5-A	1. Am Bahnsteig hält ein Zug.			Ball		
		2. Einen Schal trägt man auf der Stirn.			Haus		
		3. Betten stehen im Bad.			Pilz		
		4. Tiere wohnen im Zoo.			Eis		
		5. Mickey Mouse ist ein Schwein.			Stern		
	5-B	1. Bäume stehen im Wald.			Stern		
		2. Sechs Beine hat ein Bär.			Kind		
		3. Häuser haben eine Tür.			Eis		
		4. Kaninchen leben im Meer.			Ball		
		5. Kühe fressen fast nur Gras.			Haus		

Komplexe Wortspanne Pool B
(großer unabhängiger Itempool für Targets)

Testdatum: _____ Testtag: 1 2 Testeinheit: 1 2 3 4 5

Trial	Spanne	Satz	Urteil W	Urteil Q	Target		Intrusionen
	2-A	1. Ein Dackel ist ein Hund.			Mann		
		2. Der Maurer setzt einen Stein.			Draht		
	2-B	1. Drei Ecken hat ein Kreis.			Kern		
		2. Enten leben am See.			Axt		
	3-A	1. Kühe geben nur Saft.			Glas		
		2. Der Postbote verteilt einen Brief.			Elch		
		3. Der Koch brät einen Stein.			Kuh		
	3-B	1. Der Tischler schleift ein Brett.			Zopf		
		2. Ein Elefant ist kleiner als eine Maus.			Sack		
		3. Im Aquarium fliegt ein Schiff.			Knie		
	4-A	1. Weihnachten feiert man im Mai.			Blitz		
		2. Pinocchio ist eine Gans.			Laub		
		3. Jacken hängen im Flur.			Dorn		
		4. Mit der Zahnbürste putzt man ein Ohr.			Obst		
	4-B	1. Ein Fischer braucht ein Boot.			Flut		
		2. Hunde trinken gerne Tee.			Floh		
		3. Jogurt ist eine Wurst.			Nuss		
		4. Kirchtürme haben eine Uhr.			Hemd		
	5-A	1. Manchmal tragen Frauen einen Rock.			Fels		
		2. Tiere haben keinen Bauch.			Bild		
		3. Computer haben eine Tür.			Wand		
		4. Muscheln gibt es am Strand.			Loch		
		5. Aus dem Wasserhahn kommt Milch.			Dreck		
	5-B	1. In eine Kuchenform kommt Teig.			Fleck		
		2. Der Delfin liest ein Buch.			Frosch		
		3. Meine Mutter ist eine Frau.			Moos		
		4. Das Nilpferd legt ein Ei.			Tal		
		5. Giraffen haben einen langen Hals.			Dach		

B.6 Protokollbogen einfache Wortspanne vorwärts

Proband: ..... FIN: .....
Schule: ..... Klasse: .....
Testleiter/in: .....

Instruktion
Die Aufgabe, bei der du Kobold Kuni nun helfen sollst, lautet: "Wörter nachsprechen". Du hörst gleich auf dem Kopfhörer Worte, die hintereinander gesprochen werden. Ich sage dir immer vorher, wie viele Wörter du hören wirst. Eine Wortreihe beginnt und endet immer mit einem Piepton. Deine Aufgabe ist es, nach dem Piepton die Worte **in der gleichen Reihenfolge** nachzusprechen. Wie schnell du sie nachsprichst, ist egal. Wir probieren es einmal aus.

Spanne	Wort 1		Wort 2	
Übung 2-A	Pelz		Leim	
Übung 2-B	Rad		Wurm	

Prima, gut gemacht. Genau so geht es weiter. Hör gut zu und sprich **nach dem Piepton** die Wörter in der **gleichen Reihenfolge** nach!

Wortspanne Pool A (kleiner abhängiger Itempool für Targets)

Testdatum: ..... Testtag: 1 2 Testeinheit: 1 2 3 4 5

Trial	Spanne	Wort 1		Wort 2		Wort 3		Wort 4		Wort 5		Wort 6	
	2-A	Heu		Schuh									
	2-B	Fisch		Baum									
	3-A	Pfeil		Topf		Schuh							
	3-B	Schuh		Fisch		Baum							
	4-A	Topf		Schuh		Pfeil		Heu					
	4-B	Pfeil		Fisch		Heu		Baum					
	5-A	Baum		Heu		Schuh		Fisch		Topf			
	5-B	Topf		Pfeil		Fisch		Baum		Heu			
	6-A	Heu		Baum		Topf		Schuh		Fisch		Pfeil	
	6-B	Fisch		Heu		Pfeil		Topf		Baum		Schuh	

Wortspanne Pool B (großer unabhängiger Itempool für Targets)

Testdatum: ..... Testtag: 1 2 Testeinheit: 1 2 3 4 5

Trial	Spanne	Wort 1		Wort 2		Wort 3		Wort 4		Wort 5		Wort 6	
	2-A	Müll		Nest									
	2-B	Zahl		Gold									
	3-A	Stuhl		Zahn		Klee							
	3-B	Seil		Mehl		Pfau							
	4-A	Berg		Kinn		Hai		Matsch					
	4-B	Arm		Geld		Salz		Bart					
	5-A	Teich		Pferd		Brot		Turm		Haut			
	5-B	Lamm		Senf		Bank		Dampf		Fluss			
	6-A	Sand		Fass		Hahn		Post		Bein		Stroh	
	6-B	Schild		Bach		Tisch		Helm		Wal		Blatt	

Lebenslauf

Persönliche Daten

geboren am	31. Mai 1968 in Nordhorn
Familienstand	ledig, keine Kinder

Schulausbildung

1974 – 1978	Grundschule Klausheide in Nordhorn
1978 – 1984	Realschule Deegfeld in Nordhorn
1984 – 1987	Fachgymnasium Wirtschaft in Nordhorn (Erlangung der Allgemeinen Hochschulreife am 01. Juni 1987)

Wehrdienst

Oktober 1987 – Oktober 1989	Nachschubkompanie 520 in Lingen

Hochschulstudium

Oktober 1989 – November 1999	Studium der Medizin und Psychologie an der Georg-August-Universität Göttingen (Erlangung des Diploms in Psychologie am 09. November 1999)

Studienbegleitende Praktika und Arbeitstätigkeiten

Juli – August 1993	studienbegleitendes Praktikum in der Abteilung für Neuropsychologie der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Georg-August-Universität Göttingen
August – September 1994	studienbegleitendes Praktikum in der Beratungsstelle für Kinder, Erwachsene und Jugendliche in Nordhorn
Oktober 1993 – September 1995	Beschäftigung als studentische Hilfskraft am Psychologischen Institut der Universität Göttingen bei Prof. Dr. Willi Hager

Berufliche Arbeitstätigkeiten

Dezember 1999 – September 2001	Geprüfte wissenschaftliche Hilfskraft am Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Abteilung 4: Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie (Leiter: Prof. Dr. Marcus Hasselhorn), Georg-August-Universität Göttingen
August 2001 – Juli 2002	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) der Universität Kiel, Abteilung für Pädagogische und Psychologische Methodenlehre (Leiter: Prof. Dr. Jürgen Rost)
seit August 2002	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für empirische Unterrichts- und Schulforschung der Georg-August-Universität Göttingen (ZeUS; Sprecherin: Prof. Dr. Doris Lemmermöhle) sowie am Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Abteilung 4: Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie (Leiter: Prof. Dr. Marcus Hasselhorn), Georg-August-Universität Göttingen