

**Zur Messung
sich entwickelnder zentral-exekutiver Basisprozesse
bei Vor- und Grundschulkindern
mit der Random Generation Aufgabe**

**Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Philosophisch-Pädagogischen Fakultät**

der
Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt

vorgelegt von
Christof Zoelch
Am Hessental 18
85072 Eichstätt

2005

Referent: Prof. Dr. Ruth Schumann-Hengsteler

Korreferent: Prof. i.K. Dr. Georg Kerkhoff

Tag der letzten mündlichen Prüfung: 18. Juli 2005

(Gemäß § 15 Abs. 1)

Für Bea

Inhaltsverzeichnis

I. EINLEITUNG	6
II. THEORETISCHER RAHMEN	8
1. ARBEITSGEDÄCHTNIS – ALLGEMEINE DEFINITIONSKRITERIEN	8
2. ARBEITSGEDÄCHTNISMODELLE	9
3. DAS ARBEITSGEDÄCHTNISMODELL VON BADDELEY UND HITCH	12
3.1 <i>Phonologische Schleife (Phonological Loop)</i>	13
3.2 <i>Visuell-räumlicher Skizzenblock (Visual-spatial Sketchpad)</i>	18
3.3 <i>Episodic Buffer</i>	21
3.4 <i>Zentrale Exekutive (Central Executive)</i>	23
4. DIE ENTWICKLUNG DES ARBEITSGEDÄCHTNISSES	30
4.1 <i>Die Entwicklung der phonologischen Schleife</i>	31
4.2 <i>Die Entwicklung des visuell-räumlichen Notizblocks</i>	34
4.3 <i>Die Entwicklung des Episodic Buffers</i>	37
4.4 <i>Die Entwicklung der zentralen Exekutive</i>	38
5. RANDOM GENERATION	44
6. FRAGESTELLUNG	56
III. EMPIRISCHE STUDIEN	63
1. EXPERIMENT 1	63
1.1 <i>Methode</i>	63
1.2 <i>Ergebnisse</i>	70
1.3 <i>Diskussion</i>	82
2. EXPERIMENT 2	85
2.1 <i>Methode</i>	85
2.2 <i>Ergebnisse</i>	87
2.3 <i>Diskussion</i>	102
3. EXPERIMENT 3	106
3.1 <i>Methode</i>	107
3.2 <i>Ergebnisse</i>	109
3.3 <i>Diskussion</i>	127
4. EXPERIMENT 4	130
4.1 <i>Methode</i>	131
4.2 <i>Ergebnisse</i>	132
4.3 <i>Diskussion</i>	139

5.	EXPERIMENT 5.....	142
	5.1 Methode.....	143
	5.2 Ergebnisse.....	150
	5.3 Diskussion.....	162
IV.	GESAMTDISKUSSION	167
V.	ZUSAMMENFASSUNG	178
VI.	LITERATUR.....	182
VII.	ANHANG.....	205
1.	ANHANG 1: EXPERIMENT 1	205
	1.1 <i>Untersuchungsmaterial</i>	205
	1.2 <i>Tabellen</i>	207
2.	ANHANG 2: EXPERIMENT 2	208
	2.1 <i>Mittelwerte und Standardabweichungen</i>	208
	2.2 <i>Effektgrößen</i>	211
3.	ANHANG 3: EXPERIMENT 3	215
	3.1 <i>Mittelwerte und Standardabweichungen</i>	215
	3.2 <i>Effektgrößen</i>	217
4.	ANHANG 4: EXPERIMENT 4	221
	<i>Tabellen</i>	221
5.	ANHANG 5: EXPERIMENT 5.....	223
	<i>Tabellen</i>	223

I. Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Kontrollprozessen im Arbeitsgedächtnis bei Kindern im Vor- und Grundschulalter. Dabei stehen die Frage der altersadäquaten Messbarkeit exekutiver Kontrollprozesse und die daraus resultierende Abbildung entwicklungsbezogener Veränderungen im Fokus des Interesses.

Nicht zuletzt seit der vieldiskutierten Bildungsmisere an deutschen Schulen werden Ursachen für schulische Minderleistungen in den unterschiedlichsten Teilbereichen pädagogischer und psychologischer Forschung untersucht. Gerade im Gebiet der kognitiven Entwicklungspsychologie werden Lern- und Teilleistungsstörungen im Sinne gestörter kognitiver System- und Prozesskomponenten betrachtet (Geary, Hoard, & Hamson, 1999). Ein System, das sich im Zusammenhang mit höherrangigen kognitiven Fertigkeiten wie Lese- oder Rechenfähigkeit (vgl. Kaufmann, 2002; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2002; Swanson, 1993; Swanson & Sachse-Lee, 2001) als bedeutsam erwiesen hat, ist das Arbeitsgedächtnis. Dieser Instanz des Gedächtnisses werden neben kurzzeitigen Behaltens- und Auffrischungsprozessen auch Koordinationsfunktionen zugesprochen, wie sie etwa an der Schnittstelle zwischen neu eingehender Information und Langzeitgedächtnis oder bei der Ausführung zweier simultaner mentaler Tätigkeiten anfallen (Baddeley & Logie, 1999). Der Nachweis der Bedeutsamkeit von Arbeitsgedächtnisprozessen für komplexe kognitive Leistungen impliziert auch die Möglichkeit der frühzeitigen Identifikation von Kindern mit einer Disposition zu Schulleistungsstörungen noch im Vorschulalter (Hasselhorn, Grube, Mähler, Zoelch, Gaupp & Schumann-Hengsteler, 2003). Damit einhergehend kann bei frühzeitiger Diagnose auch einer Förderung gestörter Prozesse Rechnung getragen werden (Hasselhorn, Schneider, & Marx, 2000a; Gathercole & Pickering, 2000b; Gathercole & Pickering, 2000a). Eine wirkungsvolle Diagnostik gestörter Arbeitsgedächtnisfunktionen im Vor- und Grundschulalter erfordert neben der Konzeption von altersadäquaten Diagnoseinstrumenten auch ein grundlegendes Verständnis der Entwicklung von Arbeitsgedächtnisprozessen.

An diesem Punkt will diese Arbeit mit folgenden Grundfragen ansetzen: Lassen sich zentral-exekutive Arbeitsgedächtnisprozesse im Bereich des Vor- und Grundschulalters altersadäquat mit bereits bestehenden Operationalisierungen aus Studien an Erwachsenen messen? Welche Aussagen über die Entwicklung und Ausdifferenzierung derartiger Prozesse lassen sich auf Basis derartiger Messungen anstellen?

Dazu werden im theoretischen Teil dieser Arbeit zunächst neben einer allgemeinen Definition des Arbeitsgedächtnisses (Kapitel II.1) verschiedene Arbeitsgedächtnisansätze hinsichtlich ihres Entwicklungsbezugs und ihrer Konzepte zu exekutiven Kontrollprozessen gegenübergestellt (Kapitel II.2). In Kapitel II.3 wird auf Basis des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley und Hitch das für diese Arbeit grundlegende Konzept der zentralen Exekutive dargestellt. Kapitel II.4 beschäftigt sich mit der Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses sensu Baddeley und im letzten Kapitel des theoretischen Teils wird der Fokus auf die so genannte *Random Generation Aufgabe*, einer Operationalisierungen zur zentralen Exekutive gelegt. Ausgehend von bisherigen Befunden zu dieser Aufgabe wird zunächst eine Analyse im Sinne genereller Aufgabenanforderungen vorgenommen. Diese Anforderungen werden schließlich unter dem Gesichtspunkt sich entwickelnder Arbeitsgedächtnisleistungen aufgegriffen. Zusammen mit weiteren Einflussfaktoren auf die Aufgabenleistung wird die Fragestellung der Arbeit erläutert. Im empirischen Teil der Arbeit werden fünf Experimente zum Einsatz von Random Generation an Vor- und Grundschulkindern dargestellt. Dazu werden leistungsdeterminierende Aspekte der Eingangs- und Verarbeitungsmodalität (Experimente 1, 3 & 4) sowie die Reliabilität von *Random Generation Aufgaben* untersucht (Experiment 2). Der Zusammenhang von Random Generation zu anderen zentral-exekutiven Operationalisierungen sowie die generelle Abbildbarkeit sich entwickelnder zentral-exekutiver Prozesse wird in Experiment 5 aufgegriffen. Im letzten Teil der Arbeit wird neben einer Zusammenfassung der Ergebnisse der Einsatz von Random Generation als Messmethode sich entwickelnder zentral-exekutiver Prozesse diskutiert.

II. Theoretischer Rahmen

1. *Arbeitsgedächtnis – allgemeine Definitionskriterien*

Unter dem Begriff „Arbeitsgedächtnis“ werden eine Vielzahl theoretischer Konzepte zum Enkodieren, temporären Speichern und Abrufen von Information subsumiert. Ihnen gemein ist die Annahme eines grundlegenden kognitiven Systems, das für „maintenance of task-relevant information during the performance of a cognitive task.“ (Miyake & Shah, 1999, S. 1; vgl. auch Baddeley & Hitch, 1974; Daneman & Carpenter, 1980) zuständig ist. Einig sind sich die Vertreter der unterschiedlichen theoretischen Konzepte über die Bedeutsamkeit des Arbeitsgedächtnisses für die menschliche Kognition. Haberlandt (1997) spricht vom „hub of cognition“ (S. 212) und Goldmann-Rakic (1992) weist dem Arbeitsgedächtnis die Bedeutung eines „most significant achievement of human mental evolution“ (S. 111) zu. Baddeley und Logie (1999) sprechen im Kontext ihrer Arbeitsgedächtnisdefinition von den funktionellen Komponenten der Kognition, welche Problemlösen, mentale Repräsentation, Zielerreichen, Wissenserwerb und das Bereithalten unmittelbarer Erfahrung erst ermöglichen. Damit ist das Arbeitsgedächtnis mit seiner Vielzahl an Prozessen zur aktiven Manipulation von temporär bereitgehaltener Information deutlich von einem passiven Kurzzeitspeicher abzugrenzen.

Die theoretische Unterscheidung zwischen Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis wird auch durch empirische Befunde untermauert: Kail und Hall (2001) konnten mit Hilfe eines faktorenanalytischen Designs die beiden Gedächtniskonzepte strukturell voneinander trennen. Ihrer Meinung nach definiert sich ein eher passiv zu betrachtender Kurzzeitspeicher als System, das Information aus dem Langzeitgedächtnis über eine Basiserregungsschwelle aktiviert. Gegenüber dem Kurzzeitgedächtnis beinhaltet das Arbeitsgedächtnis zusätzlich noch zwei weitere Aspekte: Zum einen machen (kontrolliert einsetzbare) Prozesse des Arbeitsgedächtnisses erst eine Aktivierung und Aufrechterhaltung von langfristig abgelegten Gedächtnisspuren möglich, zum anderen verfügt das Arbeitsgedächtnis über eine kontrollierte Aufmerksamkeitsfunktion (vgl. auch Engle, Kane, Tuholski, & Stephen, 1999; Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999). Trotz derartiger konzeptueller Unterscheidungen werden die Begriffe „Arbeitsgedächtnis“ und „Kurzzeitgedächtnis“ in der Literatur oft schwammig und austauschbar verwendet (vgl. hierzu auch die März-Ausgabe, 1993, der Zeitschrift *Memory und Cognition*).

2. Arbeitsgedächtnismodelle

Hinsichtlich der Trennung des Gedächtnisses in einen langfristigen und kurzzeitigen Speicher herrschte bereits in vorwissenschaftlichen Konzeptionen weitgehend Einigkeit. William James (1890) griff in seinen „Principles of Psychology“ diese Unterscheidung in der Konzeption eines „primary“ und „secondary memory“ auf. Systematische Belege für die Dichotomie des Gedächtnisses wurden mit dem Aufkommen des Informationsverarbeitungsansatzes Anfang der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts geliefert: Neben einem Kurzzeitgedächtnis mit temporär und quantitativ begrenztem Speicherumfang wurde ein multimodales, in Speicherumfang und -dauer scheinbar unbegrenztes Langzeitgedächtnis vorgeschlagen. Dieses Langzeitgedächtnis umfasst explizites, deklaratives Wissen – Fakten, Konzepte, Ziele aber auch biographische Daten des eigenen Lebens – und implizites, non-deklaratives Wissen wie prozedurale oder perzeptuelle Information (vgl. hierzu eine Übersicht bei Jaffard, 2002). In so genannten Mehrspeichermodellen des Gedächtnisses wurde auch das Zusammenwirken der einzelnen Gedächtnisteilkomponenten näher spezifiziert. Die Autoren des wohl bekanntesten Mehrspeichermodells des Gedächtnisses (Atkinson & Shiffrin, 1968) weisen dabei der kurzzeitigen Gedächtnisinstanz eine entscheidende Mittlerrolle zu. Neben einem sensorischen Register – einem Eingangspuffer mit Filterfunktion – und dem Langzeitgedächtnis – propagieren sie einen kurzzeitigen Speicher der Information sowohl aus dem sensorischen Register als auch aus dem Langzeitgedächtnis zur temporären Aktivierung erhält. Gerade über neu eingehende Information kann langfristig abgelegte Information temporär aktiviert oder neu eingehende Information zum Inhalt des Langzeitgedächtnisses werden. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden verfügt der Kurzzeitspeicher über Kontroll- und strategische Prozesse um das unmittelbare Einspeichern und den späteren Wissensabruf zu optimieren. Damit geht dieser Speicher funktionell über einen reinen, passiven Kurzzeitspeicher hinaus. Atkinson und Shiffrin sprechen deswegen hier von einem temporären Arbeitsgedächtnis, einer Bezeichnung, die bereits bei Miller, Galanter und Pribram (1960) Verwendung findet.

Anfang der 70er Jahre wird die einheitliche Struktur des Arbeitsgedächtnisses sensu Atkinson und Shiffrin durch das Aufkommen sog. Mehrkomponentenmodelle in Frage gestellt. Die Annahme eines einheitlichen vs. eines modularen Auf-

baus stellt bis heute ein wesentliches, kontrovers diskutiertes Kriterium unterschiedlicher Arbeitsgedächtniskonzepte dar (Daneman & Tardif, 1987; Engle, Cantor, & Carullo, 1992; zu einer Übersicht vgl. Miyake & Shah, 1999). Modulare Modelle gehen von der Vorstellung unterschiedlich gearteter Verarbeitungsprozesse auf Basis unterschiedlicher Informationsarten aus und propagieren eine dementsprechende Fragmentierung des Arbeitsgedächtnisses in spezialisierte Teilsysteme. Das unterschiedlich geartete Zusammenspiel der einzelnen Teilsysteme sowie die Betonung einzelner domainspezifischer Komponenten definieren weitere Unterschiede zwischen unterschiedlichen Modellannahmen.

Ebenfalls von Einfluss auf die Ausprägung unterschiedlicher Modellannahmen ist die empirische Herangehensweise an das Arbeitsgedächtnis. Hier stehen einer genuin experimentellen Forschungstradition psychometrische Paradigmen gegenüber, in denen interindividuelle Unterschiede und deren Ursachen betont werden (vgl. Dempster & Zinkgraf, 1982; Engle et al., 1992; Ericsson & Kintsch, 1995; Just & Carpenter, 1992). Klinische Forschungsperspektiven beinhalten die oft einzelfallbasierte Betrachtung differenzieller Ausfälle bei neuropsychologischen Patienten. Die Schädigung eng umschriebener Hirnregionen und die damit einhergehenden Funktionsausfälle liefern die Basis für Modellannahmen zur Struktur beteiligter kognitiver Systeme (vgl. Baddeley, Logie, Bressi, Della Sala, & Spinnler, 1986; Baddeley, Della Sala, Papagno, & Spinnler, 1997; Van der Linden, Coyette, & Seron, 1992). Bei einer entwicklungspsychologischen Herangehensweise werden Entwicklungsbeginn und -geschwindigkeit von Arbeitsgedächtnisprozessen untersucht und vor dem Hintergrund kapazitärer, strategischer, metakognitiver und wissensbasierter Faktoren diskutiert (vgl. Hitch, 1990; Pascual-Leone & Baillargeon, 1994; Gathercole, 1998; Gathercole & Hitch, 1993).

Als beispielhaft für entwicklungsbezogene Arbeitsgedächtnismodelle sind die Konzeptionen von Pascual-Leone (Pascual-Leone & Baillargeon, 1994) und Case (Case, 1985) zu nennen. Beide stammen aus einer neopiagetianischen Tradition, fokussieren jedoch unterschiedliche Aspekte in ihren Modellen: Pascual-Leone konstatiert den Zuwachs reiner Arbeitsgedächtniskapazität mit zunehmender Entwicklung, Case hingegen propagiert bei gleich bleibenden Kapazitäten eine Effizienzsteigerung des Arbeitsspeichers.

Pascual-Leones mathematisches Modell der Aufmerksamkeitsentwicklung enthält Schemata und Hardware-Operatoren die er als grundlegend für kognitive

Leistungen erachtet. Entwicklung von Gedächtnisleistung wird mit Hilfe des Konzepts der *M-capacity* erklärt, der maximalen Anzahl von Informationseinheiten, die simultan in einer mentalen Operation aktiviert werden können. *M-capacity* (oder auch *M-space*) nimmt mit zunehmender Entwicklung bzw. biologischer Reifung zu und umfasst bei Erwachsenen etwa sieben Informationseinheiten (vgl. hierzu auch eine aktuelle Diskussion bei Kempfs, De Rammelaere, & Desmet, 2000; Pascual-Leone, 2000).

Case (1985) hingegen geht von einer über das Lebensalter mehr oder weniger gleich bleibenden Arbeitsgedächtniskapazität aus. Diese wird sowohl von Speicher- als auch Verarbeitungsprozessen genutzt. Case und Kollegen (Case, Kurland, & Goldberg, 1982) interpretieren den Befund einer ansteigenden Gedächtnisspanne als Ergebnis einer effizienteren Nutzung vorhandener Ressourcen: Durch eine entwicklungsbedingte Zunahme der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und einer Automatisierung von mentalen Verarbeitungsprozessen verändert sich das Verhältnis von Speicher- und Verarbeitungsprozessen. Der geringer werdende Kapazitätsbedarf für die Verarbeitungsprozesse setzt Ressourcen für die Speicherprozesse frei. Somit kann mit den gleichen Ressourcen mehr Information gespeichert werden (vgl. dazu auch den Ansatz von Cowan, Saults, & Elliott, 2002).

Die Bedeutung der Modelle von Case und Pascual-Leone für die Untersuchung entwicklungsbedingter Veränderungen im Arbeitsgedächtnis zeigt sich sowohl in aktuellen theoretischen Diskussionen (Kempfs et al., 2000), aber vor allem in der Übernahme des Methodeninventars durch Vertreter anderer Arbeitsgedächtniskonzepte (Gathercole & Pickering, 2000a): Spannenaufgaben wie die Zählspanne (Case et al., 1982), die Lesespanne (Daneman & Carpenter, 1983) oder die Mister Peanut Aufgabe (Kempfs et al., 2000; de Ribaupierre & Bailleux, 1995, 1994) finden mittlerweile relativ theoriefern ihren Einsatz im Kontext unterschiedlichster Arbeitsgedächtnismodelle. Denn ursprünglich waren diese komplexen Spannenaufgaben von der Warte eines unitären Arbeitsgedächtnissystems aus konzipiert worden, um die globalen, kurzzeitigen Verarbeitungsressourcen abschätzen zu können (vgl. dazu Cowan, 2001; Cowan et al., 2002). Dabei standen aber korrelative Ansätze bei der Analyse interindividueller Unterschiede im Vordergrund. Eine prozessorientierte Betrachtung der ursächlichen Verarbeitungsmechanismen wird nun eher auf Basis von Mehrkomponentenmodellen des Arbeitsgedächtnisses vorgenommen. Auf das bekannteste dieser Mehrkomponentenmodelle, das Ar-

beitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch, soll im Folgenden eingegangen werden. Dieses Modell stellt auch den theoretischen Rahmen der vorliegenden Arbeit dar.

3. Das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch

Trotz der steigenden Anzahl neuer Arbeitsgedächtnismodelle in den letzten 20 Jahren (zu einem dezidierten Überblick vgl. Miyake & Shah, 1999), gilt das modulare Modell von Baddeley und Hitch (Baddeley & Hitch, 1974, 1994) als das bekannteste und am weitesten verbreitete. Eine Serie klinischer und empirischer Befunde (Baddeley & Warrington, 1970), die mit bestehenden Ansätzen wie dem Mehrspeichermodell von Atkinson und Shiffrin (1971) nicht zu erklären waren, veranlassten Baddeley und Hitch (Baddeley & Hitch, 1974, 2000) zur Konzeption ihres Arbeitsgedächtnismodells. Seit diesem Zeitpunkt ist dieses Modell immer wieder spezifiziert und weiter elaboriert worden (Baddeley, 1986, 1996, 2000a; Logie, 1995) und erwies sich als fruchtbare Basis für experimentelle, klinische sowie entwicklungsbezogene Forschung. Die bis heute ungebrochene Attraktivität des Modells rührt sicherlich von seinem einfachen strukturellen Aufbau und der damit verbundenen Möglichkeit der anschaulichen Beschreibung kurzzeitiger Informationsverarbeitung her. Der Erklärungswert des Modells veranschaulicht sich bei komplexen kognitiven Leistungen wie dem Sprachverständnis (Gathercole & Baddeley, 1993), dem syllogistischen Schlussfolgern (Gilhooly, 1998) und der mentalen Arithmetik (Logie, Gilhooly, & Wynn, 1994; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2002). Ferner lassen sich normale Entwicklungsveränderungen wie z.B. der Wortschatzerwerb (Gathercole & Baddeley, 1993) als auch Störungsbilder wie die Dyskalkulie auf Grundlage des Modells einordnen (Geary, 1999; Gaupp, Zoelch, & Schumann-Hengsteler, 2004).

Im ursprünglichen Arbeitsgedächtnismodell sensu Baddeley und Hitch (1974) lassen sich zwei Subsysteme für phonologische und visuell-räumliche Information und eine zentrale Kontrollinstanz, die zentrale Exekutive, unterscheiden. Durch das Postulat der beiden Subsysteme, der phonologischen Schleife und des visuell-räumlichen Notizblocks, propagieren die Autoren ein nicht-unitäres System mit domain-spezifischer Verarbeitungs- und Speicherfunktion. Der hierarchische Aufbau des Systems wird an der übergeordneten zentralen Exekutive deutlich: Sie hat

Koordinations- und Steuerfunktionen und kontrolliert damit neben den Subsystemen den jüngst von Baddeley (2000a) postulierten episodischen Puffer („episodic buffer“). Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung des Arbeitsgedächtnismodells in einer modifizierten Version nach Baddeley (2001). Im Folgenden werden nun die einzelnen Instanzen des Modells anhand der zentralen empirischen Befunde näher beschrieben.

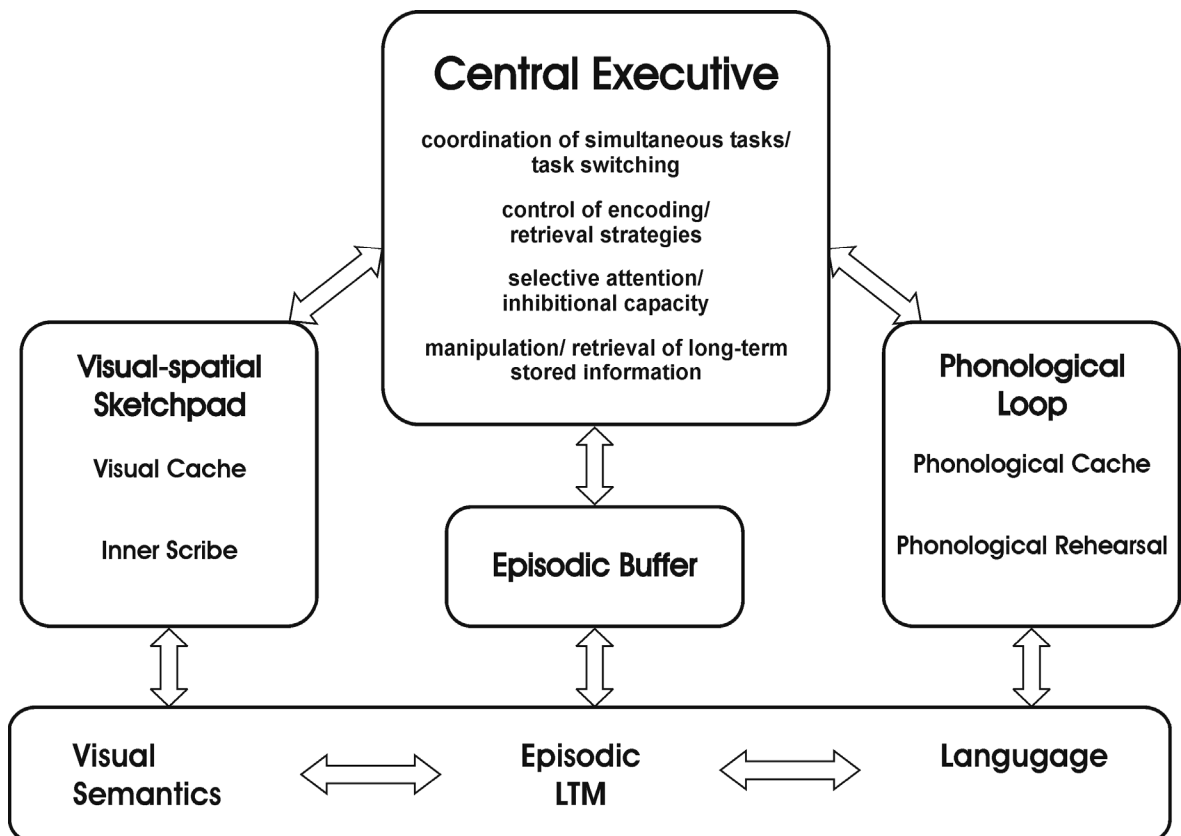


Abbildung 1: Arbeitsgedächtnismodell modifiziert nach Baddeley (2001)

3.1 Phonologische Schleife (Phonological Loop)

In der phonologischen Schleife findet die Verarbeitung sprachlicher Information statt. Ursprünglich ob ihrer Sprachgebundenheit als „artikulatorische Schleife“ bezeichnet (Baddeley, Thomson, & Buchanan, 1975), wird für dieses System mittlerweile die Beteiligung bei der Verarbeitung von Musik (Berz, 1995) und Rhythmus (Saito, 2001; Haas, Zoelch, & Schumann-Hengsteler, 2003) oder serieller Information (Burgess & Hitch, 1992; vgl. hierzu auch Burgess & Hitch, 1996) diskutiert.

Die Funktionsweise der phonologischen Schleife wurde bald nach dem Aufkommen des Modells ausführlich untersucht und anhand einschlägiger Effekte de-

monstriert. Sie gliedert sich in zwei Subkomponenten, den „phonological cache“ – einen passiven phonologischen Speicher, und einen aktiven subvokalen artikulatorischen Kontrollprozess („phonological rehearsal“). Auditiv präsentierte verbale Information bleibt im phonologischen Cache für ca. 1,5 - 2 Sekunden bestehen bevor sie verfällt. Durch den subvokalen Rehearsalprozess, eine Art „inneres Sprechen“ kann die Information des phonologischen Cache auch länger der bewussten Verarbeitung zugänglich gemacht werden. Visuell dargebotene sprachliche Information wird über den phonologische Kontrollprozess phonetisch rekodiert (Gathercole & Baddeley, 1993). Die Leistungsfähigkeit des Systems definiert sich über das Funktionslevel sowie das Zusammenwirken von phonologischem Cache und artikulatorischem Kontrollprozess (Hasselhorn, Grube, & Mähler, 2000).

Als Schätzer für die Verarbeitungskapazität der phonologischen Schleife werden meist Serial Recall Aufgaben in Form auditiv oder visuell präsentierter Ziffern-, Wort- oder Buchstabenfolgen eingesetzt. Die seriellen Sequenzen müssen unter Übernahme der Präsentationsreihenfolge unmittelbar wiedergegeben werden. Dabei wird, um eine möglichst valide Kapazitätsmessung vornehmen zu können, überwiegend ein spannenbasiertes Vorgehen gewählt: Der Umfang der Items (Wörter, Zahlen) in den präsentierten Sequenzen wird allmählich gesteigert, bis eine Sequenz (bei einmaliger Präsentation) nicht mehr korrekt wiedergegeben werden kann. Die Itemanzahl der längsten, richtig wiedergegebenen Sequenz definiert die Gedächtnisspanne. Phonologische Spannenmaße sind trotz einer hohen interindividuellen Variabilität intraindividuell relativ stabil und finden daher traditionell, als Bestandteil vieler Intelligenztests, in der Diagnostik interindividueller Differenzen weit verbreiteten Einsatz. Die diagnostische Relevanz der phonologischen Gedächtnisspanne zeigt sich in der validen Trennung kognitiv leistungsbeeinträchtigter von normalen Stichproben. Reduzierte phonologische Gedächtnisspannen konnten bei Personen mit dem hyperkinetischen Syndrom (Korkman & Pesonen, 1994), Kindern mit Lese-Rechtschreib-Schwäche (Klicpera & Gasteiger-Klicpera, 1995) und Dysgrammatikern (Hasselhorn & Mähler, 2001) sowie gerontopsychologischen Subgruppen (Chen, Han, & Wang, 2003; Salthouse, 2001) gefunden werden.

Hasselhorn, Grube und Mähler (2000) nehmen eine Spezifizierung des phonologischen Arbeitsgedächtnisses sensu Baddeley vor: Sie differenzieren innerhalb des phonologischen Cache zwischen Größe und Verarbeitungspräzision und hinsichtlich des artikulatorischen Rehearsalprozesses zwischen der Geschwindigkeit

des Prozesses und seiner Aktivierbarkeit bzw. seinem Automatisierungsgrad. Neben den traditionellen ziffern- oder wortbasierten Spanneaufgaben, die eine relativ globale Kapazitätsschätzung der phonologischen Schleife darstellen, plädieren Hasselhorn, Schneider und Marx (2000b) für den Einsatz von Kunstwörtern, um die Speicherkomponente der phonologischen Schleife zu testen. Beim Nachsprechen bedeutungsfreier Kunstwörter spielen etwaige höherrangige strategische Prozesse, wie sie etwa bei Wort- oder Zahlenspannen zum Einsatz kommen können, eine eher untergeordnete Rolle (Hasselhorn, Seidler-Brandler, & Körner, 2000). Die Kapazität des phonologischen Cache lässt sich über die Länge der Kunstwörter erschließen, die gerade noch richtig artikuliert werden können. Allerdings befindet sich die Messung der Verarbeitungspräzision des phonologischen Speichers bislang noch im experimentellen Stadium. Hasselhorn und Körner (1997) veränderten die Darbietungsqualität der Kunstwörter indem sie die Hälfte der Items akustisch verzerrt präsentierten. Die Interpretation des Einflusses verzerrter Kunstwörter auf die nachgesprochenen Wörter ist nach ihrer Aussage noch unklar. Zur Erfassung der Geschwindigkeit des phonologischen Rehearsalprozesses wird die maximale Geschwindigkeit erfasst, mit der Versuchspersonen Wörter nachsprechen können. Meist werden dazu einfach Wort-Tripel verwendet, die mehrfach hintereinander nachgesprochen werden müssen (vgl. Gathercole, Adams, & Hitch, 1994; Cowan, 1997a). Die funktionelle Spezifizierung des phonologischen Subsystems wurde durch eine Reihe empirischer Evidenzen vorgenommen, die im Folgenden kurz vorgestellt werden sollen.

Der Phonologische Ähnlichkeitseffekt (Phonological Similarity Effect). Zusammenhängende Reihen aus phonologisch ähnlichen Items sind schwerer zu behalten als phonologisch distinkte Itemreihen. Versuchspersonen zeigten im Durchschnitt größere Schwierigkeiten bei der unmittelbaren Wiedergabe der Sequenz „P-G-T-B-C-D“ als bei der Reihe „R-H-X-K-W-Y“ (Conrad & Hull, 1964; Baddeley, 1966b). Dieser Effekt wurde als Beleg für eine modalitätsabhängige subsystemspezifische Kodierung sprachlicher bzw. phonologisch dargebotener Information diskutiert. Zur Verarbeitung phonologisch ähnlicher Items ist also eine größere Diskriminationsleistung erforderlich. Dies zeigt sich nicht nur in einer geringeren Speicherleistung sondern auch in einer erhöhten Fehlerrate bei der Wiedergabe der Sequenzen: Hier werden verstärkt phonologisch ähnliche Vertauschungen vorgenommen.

Der Effekt irrelevanter Sprache (Irrelevant Speech/ Sound Effect). Salamé und Baddeley (1982) verglichen die Behaltensleistung für visuell dargebotene Zahlenreihen bei gleichzeitiger auditiver Präsentation von sinnlosen Silben oder Wörtern mit einer Kontrollbedingung ohne Hintergrundschaall. Da beide Bedingungen mit Hintergrundschaall zu einer Leistungsabnahme im phonologischen Speicher führten, wurde dies als Beleg für einen phonologischen Code innerhalb der phonologischen Schleife gewertet. Zur Erklärung des Effekts postulieren die Autoren einen sprachsensitiven Filtermechanismus, der verhindert, dass nicht-periodische Schalle wie z.B. weißes oder rosa Rauschen in den phonologischen Speicher gelangen. Somit scheint die Intensität der Hintergrundschaalle weniger bedeutsam für die Störwirkung zu sein als die qualitative Beschaffenheit. Weiterhin diskutieren die Autoren als Ursache des Effektes das Ausmaß der phonologischen Ähnlichkeit zwischen dem irrelevanten Schalle und den zu behaltenden Items. Dieser Zusammenhang wurde in späteren Studien jedoch so nicht nachgewiesen und führte zu grundsätzlichen Diskussionen des von Baddeley und Salamé postulierten Effektes (vgl. LeCompte & Shaibe, 1997; Jones & Macken, 1995).

Der Effekt irrelevanter Hintergrundsprache wurde auch mittels fremdsprachlicher, für die Versuchspersonen nicht verständlicher Hintergrundschaalle untersucht (vgl. auch Colle & Welsh, 1976). Nachdem semantische Interferenzeffekte ausgeschlossen werden konnten, wurde die Frage aufgeworfen, ob nicht-sprachliche, auditive Information wie einfacher Lärm oder Musik ähnliche Leistungsbeeinträchtigungen im phonologischen Speicher hervorrufen können (Salamé & Baddeley, 1987, 1989). Erwartungsgemäß zeigte *unattended noise* keinen Effekt auf die Behaltensleistung, wohingegen ein bei der Einspielung von Musik entstehender Effekt näher differenziert werden musste. Vokalmusik, egal welcher Art, zeigte einen deutlichen, dem Irrelevant Speech Effect vergleichbaren leistungsmindernden Einfluss. Die Verwendung von Instrumentalmusik als irrelevanter Hintergrundbeschallung zeigte einen wesentlich geringeren Effekt. Auch dieser *irrelevant music effect* konnte nicht eindeutig repliziert werden (vgl. Klatter & Hellbrück, 1993; Klatter, Kilcher, & Hellbrück, 1995). In der Folge wurden alternative Erklärungsansätze für die von Baddeley und Salamé postulierten Effekte diskutiert (vgl. Jones, Macken, & Murray, 1993; LeCompte, Neely, & Wilson, 1997).

Der Wortlängeneffekt (Word Length Effect). Weitere Evidenzen für den phonologischen Rehearsalprozess ergaben sich aus dem Wortlängeneffekt. Baddeley, Thomson und Buchanan (1975) wiesen nach, dass fünf einsilbige Worte besser behalten werden können als fünf mehrsilbige Worte. Als entscheidenden Faktor für diesen Effekt wertet Baddeley (1990) nicht die reine Silbenzahl oder Wortlänge sondern die Artikulationsdauer, also die Zeit, die für die Aussprache der Worte aufgewandt wird. Die unmittelbare Behaltensleistung für phonologische Information definiert sich damit über die „number of items of whatever length that can be uttered in about two seconds“ (Baddeley, 1990, S. 74). Nicolson (1981) konnte einen direkten Zusammenhang zwischen Artikulationsgeschwindigkeit und Spannenmaß nachweisen. Belege differenzieller Natur stammen u.a. vom Ellis und Hennelly (1980): Sie machten die Beobachtung, dass walisische Kinder eine deutlich niedrigere Zahlenspanne als ihre amerikanischen Altersgenossen aufwiesen. Zwar haben walisische Zahlen dieselbe Anzahl von Silben wie englische Zahlen, jedoch ist bei Erstgenannten die durchschnittliche Artikulationsrate wesentlich länger. Als Beleg für diese Hypothese diente auch eine Untersuchung mit zweisprachig aufwachsenden Schülern, die eine signifikant niedrigere Spanne in ihrer walisischen Muttersprache aufwiesen als im erst später erlernten Englischen. Hasselhorn, Grube und Mähler (2000) werten den Wortlängeneffekt als Schätzer für den Automatisierungsgrad des Rehearsalprozesses.

Die artikulatorische Unterdrückung (Articulatory Suppression). Bei offener oder verdeckter Artikulation eines irrelevanten Wortes oder einer unsinnigen Silbe während einer Gedächtnisaufgabe mit vokalisierbarem Inhalt ergibt sich eine Störung oder Blockade des phonologischen Rehearsalprozesses. Die zu memorierende Information kann somit nicht über einen phonologischen Rehearsalprozess aufrechterhalten werden (Gathercole & Baddeley, 1993), eine Abnahme der verbalen Gedächtnisspannenleistung ist die Folge. Die selektive Inhibition wurde unter anderem dazu eingesetzt um die Bedeutung des subvokalen Rehearsalprozesses für den Wortlängeneffekt zu untermauern. Dieser verschwand unter artikulatorischer Suppressionsbedingung ebenso wie die Leistung, visuell präsentiertes Material phonologisch zu rekodieren (Baddeley & Hitch, 1994; vgl. zu neueren Befunden auch Russo & Grammatopoulou, 2003; Klatt, Lee, & Hellbrück, 2002). Der phonologische Ähnlichkeitseffekt ist jedoch unempfindlich gegenüber artikulatorischer Suppression, scheint damit nicht maßgeblich auf dem phonologischen Rehear-

salprozess zu basieren. Die artikulatorische Suppression hat sich ob ihrer inhibitorischen Funktion für den phonologischen Rehearsalprozess als Zweitaufgabe im *Dual Task*-Paradigma bewährt. Um die Beteiligung phonologischer Prozesse an komplexen kognitiven Leistungen wie z.B. dem Kopfrechnen zu untersuchen, müssen Versuchspersonen während dem Rechenprozess artikulatorische Suppression als Zweitaufgabe ausführen. Wird eine Leistungsbeeinträchtigung bei der Primäraufgabe festgestellt, deutet dies auf eine Beteiligung des phonologischen Rehearsalprozesses hin (vgl. Logie et al., 1994; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2002).

3.2 Visuell-räumlicher Skizzenblock (Visual-spatial Sketchpad)

Beim visuell-räumlichen Skizzenblock, auch visual-spatial scratchpad oder visual-spatial sketchpad (VSSP) genannt, handelt es sich um das Subsystem des Arbeitsgedächtnisses zur Speicherung und Verarbeitung visueller und räumlicher Information. Darüber hinaus wird das Generieren mentaler Vorstellungsbilder - *mental imagery* - als weitere Hauptaufgabe (Bruyer & Scailquin, 1998; Logie, 1995; Logie & Baddeley, 1990) des VSSP angesehen.

Erste Untersuchungen mittels der Brooks-Matrix-Aufgabe (Brooks, 1967) sprachen für separate Verarbeitungsinstanzen für phonologische und visuell-räumliche Information. Dazu kombinierten Baddeley, Grant, Wight & Thomson (1975) jeweils eine verbale und visuell-räumliche Variante der Brooks-Aufgabe mit einer visuell-räumlichen Interferenzaufgabe. Diese hatte eine Leistungsbeeinträchtigung in der räumlichen Aufgabenversion, nicht aber in der verbalen Version zur Folge. Dieser Befund wurde von Baddeley und seinen Kollegen als Nachweis des visuell-räumlichen Anforderungscharakters interpretiert. Daraufhin kombinierten Baddeley und Liebermann (1980) die räumliche Brooks-Aufgaben-Version jeweils mit einer visuellen (Helligkeitsurteile) und einer räumlichen, nicht-visuellen Zweitaufgabe (räumliches Tracking eines beweglichen, auditiven Signals). Die räumliche Aufgabe zeigte keinen Interferenzeffekt durch den Helligkeitsvergleich, wohl aber durch das räumliche Tracking. Logie und Kollegen (Logie & Marchetti, 1991; Logie, Zucco, & Baddeley, 1990) plädieren aufgrund selektiver Interferenzeffekte in vergleichbaren Experimenten für eine Trennung des VSSP in ein visuelles und ein räumliches System.

Belege für die Dissoziation in ein visuelles und ein räumliches System wurden in der Folge über unterschiedlichste Zugänge erzielt. Im Kontext des *Develop-*

mental Fractionation-Ansatzes (Logie & Pearson, 1997) wurden unterschiedliche Entwicklungsverläufe bzw. Geschwindigkeiten für das visuelle und räumliche System nachgewiesen. Kinder im Alter von fünf bis zwölf Jahren wurden mit der Matrix-Spanne – einer visuellen Musterrekonstruktionsaufgabe – und der Corsi-Block-Spanne – einem Schätzer für temporäre, räumliche Verarbeitungskapazität – untersucht. Mit zunehmendem Alter fielen die Unterschiede zwischen den beiden Spannaufgaben deutlicher aus. Die Autoren interpretieren dies als unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeiten visueller und räumlicher Arbeitsgedächtnisleistungen und werten dies als Beleg für die Trennung der zugrunde liegenden Systeme (vgl. auch Pickering, Gathercole, Hall, & Lloyd, 2001).

Befunde aus dem Bereich klinisch-neuropsychologischer Forschung legen ebenfalls eine Dissoziation in ein visuelles und räumliches System nahe. Differenzielle Funktionsausfälle nach Schädigungen eng umschriebener Hirnareale werden als Belege getrennter Speicher- und Verarbeitungskanäle für visuelle und räumliche Information diskutiert (Farah, Levine, & Calvanio, 1988; Farah, 1988; Hanley, Young, & Pearson, 1991). Ferner deuten Studien mittels bildgebender Verfahren an Normalpersonen (Courtney, Ungerleider, Keil, & Haxby, 1996; Jonides & Smith, 1997) auf eine Beteiligung unterschiedliche Hirnareale sowie gesonderter Prozesskomponenten bei kurzzeitigen visuellen und räumlichen Gedächtnisanforderungen hin.

Die einschlägigsten Befunde zur Dissoziation des VSSP wurden allerdings experimentell erzielt: Mittels selektiv interferierender Zweitaufgaben wurden visuelle und räumliche Verarbeitungsprozesse bei kurzzeitigen visuellen oder räumlichen Gedächtnisaufgaben blockiert (vgl. Hecker & Mapperson, 1997). Hier sind vor allem die Arbeiten von Logie (Logie et al., 1990; Logie, 1995), Quinn (Quinn, 1988; Quinn & McConnell, 1996a, 1996b) und Postma (Postma & De Haan, 1996) wegen ihrer unterschiedlichen Herangehensweisen zu nennen.

Logie (1995) greift in seinem Konzept des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses die Separation des VSSP in ein getrenntes räumliches und visuelles System auf. In Analogie zur phonologischen Schleife unterscheidet er einen passiven *visual cache* und einen aktiven *inner scribe*. Der *visual cache* ist für die Speicherung von statisch-visueller Information, also Farbe, Form und Aussehen eines Objektes zuständig, während der *inner scribe* in Analogie zum phonologischen Rehearsalprozess die Verarbeitung von räumlich-dynamischer Information vornimmt.

Logie geht in seiner Suche nach Analogien des VSSP zum phonologischen Subsystem noch einen Schritt weiter und postuliert auf Basis einer Interferenzstudie einen Effekt of *irrelevant visual input* (Logie, 1986; vgl. auch eine dezidierte Studie neueren Datums zu diesem Effekt von Toms, Morris, & Foley, 1994) für den visuellen Teil des VSSP. Eine neuere Arbeit von Andrade und Kollegen (Andrade, Kemps, Werniers, May, & Szmalec, 2002) stellt den Effekt irrelevanten Inputs sowie die gesamte strukturelle Analogie des visuell-räumlichen Subsystems zum phonologischen Subsystem jedoch kritisch in Frage: Die Beeinträchtigung einer statischen Matrix-Aufgabe durch zeitgleich dargebotenen *dynamic visual noise* – einer passiven visuellen Interferenzform, ähnlich dem Flickern eines Fernsehschirms – konnte von Ihnen nicht gefunden werden. Überhaupt existieren zum Effekt des *irrelevant visual input* generell relativ heterogene Befunde, die je nach Art der verwendeten Primäraufgabe und Art und Frequenz des Flickermusters im *dynamic visual noise* (Quinn & McConnell, 1996b; McConnell & Quinn, 2000) unterschiedlich ausfallen (vgl. zu den aufgabenimmanenten Voraussetzungen für den *irrelevant visual picture effect* die Arbeit von Zimmer & Speiser, 2002).

Der *visual similarity effect* wurde von Logie (1995) auf Basis eines Experiments von Hue und Ericson (1988) postuliert. Chinesische Schriftzeichen konnten bei gezielter Unterdrückung einer phonologischen Rekodierung dann schlechter erinnert werden, wenn die Präsentationsreihe aus visuell ähnlicheren Stimuli bestand (vgl. auch Logie, Della Sala, Wynn, & Baddeley, 2000; Walker, Hitch, & Duroe, 1993). Neben der Ähnlichkeit konnte auch die Komplexität visueller Anordnungen als Einflussfaktor auf die Behaltensleistung bei der Erinnerung von Matrix-Mustern nachgewiesen werden (Phillips, 1974). Gerade bei visuell-statischen Anordnungen deutet sich die hohe Relevanz der Aufgabenkomplexität an, wie in Studien von Wilson und Logie demonstriert wurde (Wilson, Scott, & Power, 1987; Logie et al., 1990). Die bei der Mustererkennung oft eingesetzte Rekognitions-Anforderung ist methodisch jedoch kritisch zu sehen. Gegenüber einer für kurzzeitige Gedächtnisaufgaben typischen Recall-Anforderung kann sie zu Verzerrungen bei der Prüfung der Erinnerungsleistung führen.

Entgegen nicht ganz eindeutigen Befunden für das visuelle System des Arbeitsgedächtnisses mehrten sich Befunde für einen Komplexitätseffekt im räumlichen Teil des VSSP: Über Studien mit seriell-räumlichen Behaltensaufgaben konnte ein Leistungsabfall bei Zunahme der Aufgabenkomplexität nachgewiesen werden

(Stiles & Stern, 2001; Kemps, 1999, 2001; Zoelch & Schumann-Hengsteler, 1999). Entscheidend hierfür scheint die Art räumlicher Rehearsalprozesse in Form mentaler räumlicher Pfade zu sein. Die Natur von Rehearsalprozessen im Kontext des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses wird bis heute kontrovers diskutiert. Bedeutende Hinweise stammen von Smyth (1996; Smyth & Scholey, 1992): Sie postuliert ein räumliches Rehearsal in Form dynamischer Aufmerksamkeitsverlagerungen (vgl. auch Logie, 1989), eine Idee, die mittlerweile sowohl von neurokognitiver (Awh & Jonides, 2001) als auch experimenteller Warte (Klauer & Stegmaier, 1997) diskutiert wird. Vor allem Klauer und Stegmaier betonen die Bedeutung von Aufmerksamkeits- bzw. zentral-exekutiven Prozessen für seriell-räumliche Rehearsalprozesse (Logie & Marchetti, 1991). Schumann-Hengsteler, Strobl und Zoelch (2004) greifen die Idee eines auf mentalen Verbindungspfaden basierenden dynamisch-spatialen Rehearsals auf und konnten anhand der Corsi-Block-Aufgabe derartige Prozesse bereits für Grundschulkindern nachweisen. Empirische Evidenzen für die Rolle von Aufmerksamkeitsprozessen bei temporärer räumlich-dynamischer Verarbeitung konnte über den Nachweis einer zentral-exekutiver Beteiligung an der Corsi-Block-Aufgabe aufgezeigt werden (Zoelch, Jung, & Schumann-Hengsteler, 2000; Vandierendonck, Kemps, Fastame, & Szmalec, 2004). Für die Existenz eines aufmerksamkeitsbasierten räumlichen Rehearsalprozesses sprechen aber auch Untersuchungen auf Basis des *Dual Task*-Paradigmas. Die Interferenz bei spatio-temporalen Verarbeitung konnte in vielen Fällen nur dann nachgewiesen werden, wenn die räumlich-dynamischen Zweitaufgaben intentional oder auf Basis einer vorgestellten Bewegung vorgenommen wurden (Smyth & Pendleton, 1989; Smyth & Pelky, 1992). Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Dissoziation des VSSP als gesichert angesehen werden kann, das prozessuale Zusammenwirken der einzelnen Teilkomponenten sowie die Natur eines visuell-räumlichen Rehearsalprozesses werden hingegen weiterhin Gegenstand wissenschaftlicher Forschung sein.

3.3 Episodic Buffer

In neueren Publikationen (Baddeley, 2000a, 2001) postuliert Baddeley eine weitere Arbeitsgedächtnisinstanz mit begrenzten Speicherkapazitäten: den *Episodic Buffer*. Zur Erweiterung des ursprünglichen Drei-Komponenten-Modells kam es, da sich empirische Befunde ergaben, die sich nur unzulänglich über die Funktion der

Exekutiven als Schnittstellenverwalter zwischen Langzeitgedächtnis und den Subsystemen erklären ließen. Baddeley und Wilson (2002) präzisieren fünf Problembereiche die die Revision des Modells einleiteten:

1. Auf welche Weise können visuelle und phonologische Faktoren gleichzeitig die Wortspanne beeinflussen (vgl. Logie et al., 2000)?

2. Wie lassen sich das Phänomen des Chunkings und sein Einfluss auf die Gedächtnisspanne erklären? So kann sich bei hoher Bedeutungshaltigkeit des zu memorierenden Materials, etwa bei Prosapassagen, die Wortspanne von durchschnittlich fünf auf 16 Item erhöhen (Baddeley, Vallar, & Wilson, 1987). Wie werden chunks temporär gespeichert (Miller, 1956)?

3. Wie können interindividuellen Unterschieden in der satzbasierten Lesespannenaufgabe (Daneman & Carpenter, 1980) über Einbezug des Arbeitsgedächtnisses Rechnung getragen werden?

4. Wie kann die hohe prognostische Validität der Lesespannenaufgabe in Bezug auf Leseverständnis und andere komplexe kognitive Leistungen vor dem Hintergrund kurzfristiger Speicherung und Manipulation erklärt werden (Kyllonen & Christal, 1990)?

5. Inwieweit kann mit dem Dreikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses bewusster Kognition Rechnung getragen werden (Baddeley & Andrade, 2000)?

Kernpunkt der offenen Fragen war die sinnvolle Integration eines chunking-Mechanismus auf Basis von sinnhaftigem Material in das bestehende Arbeitsgedächtnismodell. Die ursprüngliche Erklärung über das Zusammenwirken von Langzeitgedächtnis und phonologischer Schleife in einem chunking-Mechanismus, wurde von Baddeley auf Basis einer Studie mit amnestischen Patienten verworfen: Diese hatten zwar ein beeinträchtigt Langzeitgedächtnis, aber eine normale Wiedergabeleistung bei prosaischen Wortreihen (Baddeley & Wilson, 2002). Da Baddeley das direkte und komplexe Zusammenspiel von Langzeitgedächtnis und Phonologischer Schleife ausschließt, zielen seine Überlegungen auf einen „Backup-Store“ ab.

Für einen Backup-Speicher spricht auch die durch andere Instanzen des Arbeitsgedächtnisses nur schwer zu realisierende multimodale Integrationsfunktion: das Zusammenführen verschiedenster Informationsarten aus unterschiedlichsten Eingangs- und Verarbeitungskanälen sowie von Information aus dem Langzeitgedächtnis zu einem einheitlichen Code. Um die notwendig gewordene integrative

Funktion auszufüllen schlägt Baddeley (Baddeley, 2000a) die vierte Komponente des Arbeitsgedächtnisses vor, den Episodic Buffer.

Der Episodic Buffer ist ein temporär und kapazitär beschränktes Speichersystem unter der Kontrolle der zentralen Exekutive. In ihm werden Information aus unterschiedlichsten Quellen zu chunks oder Episoden zusammengefasst bzw. für eine weitere Speicherung vorbereitet. Die Fähigkeit unterschiedlichste Codes zu integrieren, zu kombinieren und abzuspeichern machen es zu einer Art Schnittstelleninstanz. Der zentralen Exekutive kommen dabei nicht nur steuernde Funktionen beim Abspeichern von Information im Episodic Buffer zu; sie koordiniert vielmehr auch bewusstes Abrufen, Reflexion, Manipulation und Modifikation von Information.

Baddeley beschreibt die Bedeutung von Tulvings (1989) Modell des episodischen Gedächtnisses für die Konzeption des Episodic Buffers, grenzt die beiden Instanzen aber auch dahingehend voneinander ab, als dass es sich beim Episodic Buffer eindeutig um einen kurzzeitigen Speicher handelt. Dieser stünde jedoch mit dem Langzeitgedächtnis und gerade auch mit dem episodischen Langzeitgedächtnis in Verbindung (vgl. hierzu auch die Studie von Jefferies, Lambon Ralph, & Baddeley, 2004). Zur Differenzierung des Systems greift Baddeley auf die Unterscheidung in kristalline kognitive Systeme (Episodisches Langzeitgedächtnis, visuell-semantic Information, Sprache) und fluide kognitive Ressourcen (zentrale Exekutive, VSSP, Phonologische Schleife und Episodic Buffer) zurück. Die Implementierung einer neuen Komponente des Arbeitsgedächtnisses entlastete das komplexe und kontrovers diskutierte Konzept der zentralen Exekutive.

Aus dem Bereich neurophysiologischer Studien zu exekutiven Prozessen des Arbeitsgedächtnisses ergeben sich ebenfalls Hinweise für einen kurzzeitigen Speicher mit integrativer Funktion (Prabhakaran, Narayanan, Zhao, & Gabrieli, 2000). Zimmer, Speiser & Seidler (2003) diskutieren anhand von drei Experimenten mittels des Interferenzparadigmas die Rolle des Episodic Buffers für kurzzeitige räumliche Konfigurationsleistungen.

3.4 Zentrale Exekutive (Central Executive)

Bei der zentralen Exekutive handelt es sich um die komplexeste, aber auch am wenigsten spezifizierte Instanz des Arbeitsgedächtnisses. Während eine erhebliche Anzahl empirischer Studien die Funktionen und Prozesse der Subsysteme präzisierten, führte die zentrale Exekutive als „area of residual ignorance“ (Baddeley

& Hitch, 1977, S. 77) lange Zeit ein konzeptionelles und empirisches Schattenda-sein. Wurde ihr bereits in frühen Versionen des Arbeitsgedächtnismodells eine Steuer- und Koordinationsfunktion in Bezug auf die Subsysteme zugeschrieben, so umschreibt Baddeley ihre wahre Bedeutung rückblickend als Homunkulus mit Lumpensammlerfunktion (Baddeley, 1986, 2000b): All diejenigen Funktionen, die sich über die Subsysteme nicht erklären ließen, würden dieser Instanz zugeschrieben. Die Vorzüge einer derartigen Sichtweise bestünden darin, dass wesentliche Probleme bei der Spezifizierung der Subsysteme so mit Verweis auf die Exekutive erst einmal beiseite gelassen werden konnten. Eine derartige Durchgangslösung schlie-ße eine spätere Untersuchung der Exekutiven jedoch nicht aus (Baddeley, 2001, 2000b).

Neben der bereits angesprochenen Rolle als Koordinationsinstanz der Sub-systeme wurde in der ersten Fassung des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley & Hitch, 1974) noch postuliert, dass die Exekutive neben prozessualen auch eigene Spei-cherkapazitäten besitzt. Die Vorstellung eigener Speicherressourcen wurden zu-gunsten einer reinen, die Aufmerksamkeit steuernden Funktion aufgegeben (Baddeley, 1986). Hierbei stand das *supervisory attentional system* (SAS) von Nor-man und Shallice (Norman & Shallice, 1986) maßgeblich Pate. Weitere Prozess-spezifikationen in den 90er Jahren räumten der Exekutive eine Rolle bei Speiche-rung und Abruf von Information in den Subsystemen und sowie eine Mittlerfunktion zur Wissensbasis (Baddeley, 1993; Baddeley & Hitch, 1994) ein. Ein entschei-dender Vorstoß zur Fragmentierung der zentralen Exekutive wurde von Baddeley (1996) mit seinem Postulat der folgenden vier Hauptprozesse unternommen:

1. *Koordinationskapazität bei der Bearbeitung zweier simultan ablau-fender Aufgaben*
2. *Flexibilität beim Wechsel von Enkodierungs- und Abrufstrategien*
3. *Selektive Inhibition irrelevanter Information/ Fokussierung der Auf-merksamkeit*
4. *Selektive Aktivierung von Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis*

Als Beleg für die *Koordinationskapazität* der zentralen Exekutive führt Badde-ley Studien mit Morbus Alzheimer-Patienten an. Diese weisen im Vergleich zu glei-chaltrigen Gesunden eine generelle Beeinträchtigung in visuell-räumlichen und ver-balen Arbeitgedächtnisaufgaben auf (Spinnler, Della Sala, Bandera, & Baddeley, 1988), was unter anderem auch auf Leistungsdefizite in der zentralen Exekutive

zurückgeführt wurde. Um ein derartiges Leistungsdefizit nachweisen zu können untersuchten Baddeley und Kollegen (1986) das Verhalten von Alzheimer-Patienten bei der simultanen Ausführung zweier Aufgaben. Dazu mussten die Patienten neben einer visuell-räumlichen Tracking-Aufgabe artikulatorische Suppression, eine einfache Reaktionsaufgabe und eine Zahlenspannaufgabe ausführen. Im Vergleich zu gleichaltrigen Gesunden und jüngeren Erwachsenen zeigte sich eine ungleichmäßig stärkere Beeinträchtigung der Patienten durch die Reaktionszeitaufgabe und die Zahlenspanne. In weiteren Studien konnte Baddeley diese Befunde weiter ausbauen (Della Sala, Baddeley, Papagno, & Spinnler, 1995; vgl. hierzu auch Belleville, Peretz, & Malenfant, 1996) und ein ähnliches Störungsmuster, das so genannte *dysexecutive syndrome*, an Patienten mit Läsionen im frontalen Kortex identifizieren (Baddeley et al., 1997). Die Verbindung eines zentral exekutiven Prozesses zu einer Hirnregion führte in der Folge zu kontroversen Diskussionen über die eindeutige neuroanatomische Lokalisation zentral-exekutiver Prozesse und das damit verbundene Konzept der zentralen Exekutive (vgl. Parkin, 1998; Baddeley, 1998). Mittlerweile hat sich die Ansicht durchgesetzt, dass ein nicht-unitäres System wie die zentrale Exekutive neuroanatomisch nicht eindeutig zu lokalisieren ist.

Die *Kontrolle von Retrieval Strategien* sieht Baddeley über frühe eigene Befunde mittels der *Random Generation Aufgabe* (Baddeley, 1966a) als operationalisiert an. Auf diese Aufgabe und ihren Bezug zum SAS-Modell von Norman & Shallice (1986) soll aber ob ihrer Bedeutung für die vorliegende Arbeit an späterer Stelle gesondert eingegangen werden. Baddeley verweist auf den *Trail Making Test B* (Reitan, 1958) als eine weitere Aufgabe, die den Wechsel von Abrufplänen erfordert. Bei dieser Aufgabe müssen Versuchspersonen auf einem Blatt abgebildete Zahlen- und Buchstabenreihen intermittierend anstreichen. Beginnend bei „1“ muss mit einem Stift zum „A“ gefahren werden, dann zur „2“, zum „B“ usw.. Baddeley (1996) verweist auf eine verbale Version dieser Aufgabe, spezifiziert aber nicht, inwieweit der Abruf von Information aus dem Langzeitgedächtnis eine Rolle spielt oder Unterschiede zwischen der ursprünglichen Papierversion und der verbalen Version determiniert (vgl. die Studie von McLean & Hitch, 1999 mit unterschiedlichen Versionen dieses Tests).

Als Belege für den dritten Teilprozess der Exekutive, die *Fokussierung der selektiven Aufmerksamkeit* bzw. das *Ausblenden irrelevanter Stimuli* führt Baddeley (1996) Studien an gesunden älteren Erwachsenen an. Gerade ältere Versuchspersonen

sonen hatten bei der Inhibition unimodal dargebotener irrelevanter Stimuli, mehr Schwierigkeiten als jüngere Erwachsene. Wird die Salienz zwischen relevanten und irrelevanten Stimuli erhöht, etwa durch Darbietung der Stimulusgruppen in unterschiedlichen Modalitäten, verschwindet der Alterseffekt. Baddeley begründet diesen Effekt mit dem von Hasher und Zacks (1988) postulierten altersbedingten Nachlassen der Inhibitionskapazität. Der von Baddeley unternommene Verweis auf die *Inhibitionskapazität* sowie die inhaltliche Nähe zentral-exekutiver Funktionen zu Aufmerksamkeitsprozessen wie geteilter Aufmerksamkeit, Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus und Fokussierung der Aufmerksamkeit (Baddeley, 2001) haben zu weiteren Operationalisierungen geführt, die genuin aus der Aufmerksamkeitsforschung stammen. Mähler und Hasselhorn (2001) schlagen eine *Go/NoGo Aufgabe* vor, da diese neben der Aufmerksamkeitsfokussierung die Inhibition einer Reaktionstendenz erfordere. Eine starke Betonung der Inhibitionskomponente findet sich bei der *Stroop Aufgabe* (Stroop, 1935): Eine automatisierte Reaktionstendenz – das Lesen eines Farbwortes im Falle der klassischen *Stroop Aufgabe* – muss zugunsten einer weniger nahe liegenden Reaktion – der Nennung der Farbe des Farbwortes – unterbunden werden (vgl. Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000).

Hinsichtlich der vierten Prozesskomponente, der *selektiven Aktivierung von Inhalten aus dem Langzeitgedächtnis*, spricht Baddeley von einer Rolle der zentralen Exekutive, die implizit vielen Prozessen des Arbeitsgedächtnisses zugrunde liege. Trotzdem sei das „setting up, maintaining, and retrieving [of] temporary representations in long-term memory“ (Baddeley, 1996, S. 23) eine bislang empirisch vernachlässigte Prozesskomponente des Arbeitsgedächtnisses. Die Satzspannen-Aufgabe von Daneman und Carpenter (Daneman, Carpenter, & Just, 1982; Daneman & Carpenter, 1980) stellt eine mögliche Operationalisierung dar und wurde vor dem Hintergrund eines unitären Arbeitsgedächtniskonzepts entwickelt. Prinzip der Aufgabe, wie auch anderer *complex span tasks*, ist neben dem Speichern serieller Information die Manipulation der zu speichernden Information. Konkret müssen bei der Satzspanne unzusammenhängende Sätze mittels Information aus dem Langzeitgedächtnis verifiziert werden. Das jeweils letzte Wort der Sätze muss behalten werden und im Anschluss an die Präsentation der Sätze müssen sämtliche Endwörter der Sätze in der korrekten Reihenfolge wiedergegeben werden. Der Wechsel aus Speichern und Verarbeiten wird durch die Spannenanforderung bis an die Kapazitätsgrenzen ausgedehnt und umfasst bei gesunden Versuchspersonen etwa

vier bis fünf Worte. Mittlerweile existiert eine Vielzahl an Spannenaufgaben nach dem gleichen Prinzip, wie z.B. die *operation span* (Turner & Engle, 1989), die *reading span* (Case et al., 1982) und die *listening span* (Gathercole & Pickering, 2000a). Baddeley betont die hohen Korrelationen derartiger Spannenaufgaben mit Intelligenztestwerten (vgl. Kyllonen & Christal, 1990), sowie die hohe interindividuelle Variabilität in komplexen Spannenleistungen. Demzufolge eigne sich der Test zur Feststellung interindividueller Differenzen im Arbeitsgedächtnis. Diese, so mutmaßt Baddeley, kämen möglicherweise über interindividuell unterschiedlich ausgeprägte Aktivierungsmuster sowie unterschiedlich geartete Zugriffsstrategien auf langfristig abgelegte Information zustande. Die Frage nach interindividuell unterschiedlichen Erregungsmustern sieht Baddeley als möglichen Link zur inhibitorischen Komponente der Exekutive. Gerade die Arbeitsgruppe um Engle (vgl. Engle et al., 1992; Engle & Conway, 1998; Turner & Engle, 1989; Tuholski, Engle, & Baylis, 2001) habe hierzu wertvolle Beiträge geliefert, die sich neben komplexen Spannenaufgaben auch auf den *fan effect* und den *Sternberg effect* beziehen. Die Rolle der zentralen Exekutive als Mittler zwischen temporären Speicherprozessen und langfristig abgelegter Information wurde in jüngerer Zeit stärker thematisiert und führte in der Folge zur Erweiterung des Arbeitsgedächtnismodells um eine vierte Komponente – den episodic Buffer.

Baddeley selbst reflektiert an späterer Stelle kritisch (Baddeley & Logie, 1999) über sein 1996 geäußertes Konzept. Er zieht in Erwägung, ob eine eindeutige Trennung der zentralen Exekutive in vier Teilprozesse wirklich sinnvoll ist, oder diesen vier Prozessen noch fundamentalere Prozesse zugrunde liegen. Dieser Überlegung verleiht er in einer späteren Konzeption der zentralen Exekutive Ausdruck (2001) indem er, wie bereits erwähnt, drei basale Aufmerksamkeitsprozesse als wesentlich erachtet: Fokussierung der Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und der flexible Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus sind nun Kernprozesse der Exekutiven.

Towse und Houston-Price (2001) greifen bis dato in der Literatur diskutierte Prozesse der Exekutive auf. Zunächst reflektieren die Autoren vor dem Hintergrund unitärer Arbeitsgedächtnismodelle über eine mögliche Funktion der Exekutive als *general purpose processor*. Obwohl die zentrale Exekutive keine eigene Speicherressourcen besitzt, so die Autoren, existiert die Sichtweise, dass das, was bei Baddeley die zentrale Exekutive ausmacht, bei bestimmten unitären Ansätzen das ge-

samte Arbeitsgedächtnis darstellt (vgl. Just & Carpenter, 1992). Somit wird gemeinhin angenommen, dass das Arbeitsgedächtnis respektive die zentrale Exekutive eine wichtige Rolle bei der Verwaltung von Speicher- und Verarbeitungsressourcen einnimmt. Getragen wird diese Annahme durch einen Speicher-Verarbeitungs Trade-Off wie er bei komplexen Spannenaufgaben vorzufinden ist (Case et al., 1982): Bei steigender Komplexität nimmt die Verarbeitungsanforderung zu und die Speicherleistung des gesamten Systems ab. Fraglich sei indes, ob ein derartiger Trade-Off wirklich über eine parallele Belegung vorhandener Kapazitäten (*Resource Sharing*) komme oder eine *Task Switching*-Strategie plausibler erscheine. Towse und Hitch (1995) konnten diese Frage über einen Vergleich der *Resource Sharing*- und *Task Switching*-Annahmen angehen. Eine Steigerung der Komplexität impliziere eine längere Verarbeitung und führe daher, wegen zeitgebundener Verfallsprozesse zu einer schlechteren Leistung in komplexen Aufgaben. Trage man der Zeitkomponente Rechnung, verschwinde der Trade-Off (Towse, Hitch, & Hutton, 1998, 2000). Towse und Hutton schätzen die Sichtweise der zentralen Exekutive als Prozessoreinheit mit *Resource Sharing*-Charakter als problematisch ein. Daher wäre auch die Rolle der Exekutive bei der Interferenz zweier simultaner Aufgaben kritisch zu betrachten.

Trotzdem sprechen die Autoren der zentralen Exekutive eine entscheidende Funktion bei der Koordination der beiden Subsysteme zu. Diese lässt sich am besten über die *Combination Span* erfassen, eine Kombination aus Corsi- und Zahlenspannen. Seriell präsentierte Zahlen erscheinen in unterschiedlichen Lokationen. Sowohl die Zahlenreihe als auch ihre räumliche Abfolge müssen erinnert werden. Das besondere an einer derartigen Aufgabe sei die Kombination von unterschiedlicher Gedächtnisinformation in unterschiedlichen Systemen und die dadurch induzierte Integration der beiden Anforderungen. Ähnliche Aufgaben wurden von Martein, Kemps und Vandierendonck (1999) sowie von Loisy und Roulin (2003) vorgeschlagen. Kritisch ist hierbei jedoch anzumerken, dass die Kombination zweier Informationsarten auch bereits bei einfacheren Spannenaufgaben notwendig ist. Neben der spezifischen Iteminformation – Zahl, Wort, Position – erfordern gängige Spannenaufgaben meist auch die Übernahme der Präsentationsreihenfolge, also der seriellen Information, und stellen bei Annahme getrennter Verarbeitungssysteme für Item- und serielle Information eine Anforderung an die Koordinationskapazität. Gerade verbale Spannenaufgaben mit der Anforderung der umgekehrten Rei-

henfolgewiedergabe dürften die Koordinationskapazität der zentralen Exekutive in erheblichem Maß beanspruchen. Gathercole und Pickering (2000b) verwenden denn auch in der von ihnen entwickelten Arbeitsgedächtnistestbatterie die *Zahlenspanne rückwärts* als zentral-exekutiven Funktionstest.

Fournier, Larigauderie, Gaonac'h (2004) untersuchten mittels eines faktoranalytischen Designs den strukturellen Aufbau des Arbeitsgedächtnisses bzw. der Zentralen Exekutive sensu Baddeley. Ihre Befunde werten die Autoren im Sinne eines non-unitären exekutiven Kontrollsystems des Arbeitsgedächtnisses, das mehrere voneinander unabhängige Teilprozesse umfasst, darunter „inhibiting prepotent responses in association with long-term memory strategic retrieval, inhibiting distracting information, coordinating storage and processing of verbal information, coordinating storage and processing of visuospatial information and finally, coordinating different processing operations that do not involve storage.“ (Fournier et al., 2004, p. 159). Darüber hinaus werten sie bisherige theoretische Fraktionierungen der Zentralen Exekutiven vor dem eigenen empirischen Befunden als zu verkürzt und fordern weitere Studien zur Dissoziation der zentralen Exekutive auf Teilprozessebene.

Miyake und seine Kollegen (2000) postulieren drei exekutive Prozesse: Der flexible Wechsel zwischen Aufgaben („mental set shifting“), die Aktualisierung und das Monitoring von Information im Arbeitsgedächtnis („information updating and monitoring“) und die Inhibition nahe liegender oder dominierender Antwortalternativen („inhibition of prepotent responses“). In einer strukturellen Analyse über klassische Arbeitsgedächtnis- und exekutive Funktionstests konnten sie die drei Prozesse bestätigen. Dabei ergeben sich schwerpunktmäßige Zuordnungen einzelner Tests zu den drei Prozessen: „WCST performance was related most strongly to shifting, TOH to inhibition, RNG to inhibition and updating, and operation span to updating. Dual task performance was not related to any of the 3 target functions“ (Miyake et al., 2000, S. 50). Moderate Zusammenhänge in einem Strukturgleichungsmodell sprechen für den Zusammenhang eines exekutiven Konzepts an sich und die Diversität der einzelnen Teilprozesse. Somit legen diese Analysen ein nicht-unitäres Konzept der zentralen Exekutive nahe.

Die Befunde von Miyake und Kollegen zeigen andererseits aber auch auf, dass das Konzept einer zentralen Exekutive offensichtlich nicht nur von einem methodischen sondern auch von einem konzeptionellen Pluralismus geprägt ist. Der

Einfluss angrenzender Modellvorstellungen wie des Konzepts der exekutiven Funktionen (vgl. Avons, Nunn, Chan, & Armstrong, 2003; Hart, Schwartz, & Mayer, 1999; Zelazo, Mueller, Frye, & Marcovitch, 2003) trägt nicht zur Aufklärung zentral-exekutiver Funktionen und Prozesse bei, sondern führt auch zur Aufweichung des Konzepts. Daher kritisiert Andrade (2001): „The concept of the central executive proved problematic ... because it has been open to many different interpretations.“ (S. 300). Einer der wesentlichen Schwachpunkte der zentralen Exekutive sei, dass sie immer noch nicht ausreichend eng umschrieben sei. Ohne eine ausreichende funktionale Spezifizierung sei eine empirische Herangehensweise nur schwer möglich. Eine Analyse der zentral-exekutiven Prozessanteile an lebensnahen kognitiven Aufgaben erschwere sich damit ungemein.

Es bleibt festzuhalten, dass trotz der Fortschritte in der Konzeptualisierung der letzten Jahre die zentrale Exekutive ihren *Ragbag*-Charakter noch immer nicht verloren zu haben scheint. Wurden ihr früher ob der fehlenden funktionalen Spezifizierung alle nicht erklärbaren Arbeitsgedächtnisphänomene zugeschrieben, so scheint sie zusehends Sammelbecken für viele oder fast alle Funktionen außerhalb eines Speichers zu werden: Die Abgrenzung und Anwendbarkeit des Konzeptes wird damit nicht gerade erleichtert.

4. Die Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses

Innerhalb der neopiagetianischen Tradition haben sich einige Ansätze etabliert, die entwicklungsbedingte Veränderungen im Arbeitsgedächtnis vor dem Hintergrund kapazitärer und prozessorientierter Veränderungen diskutieren (Pascual-Leone & Baillargeon, 1994; Case, 1985; Case et al., 1982). In diesen Ansätzen wird Arbeitsgedächtnis als ein unitäres System betrachtet, dessen theoretische Konzeption in erster Linie an der Erklärung entwicklungsbedingter Veränderungen ausgerichtet ist (vgl. auch Kap. II.2). Dies zeigt sich unter anderem in der empirischen Methodik: Als Schätzer für *die* generelle Arbeitsgedächtniskapazität werden überwiegend komplexe Spannaufgaben eingesetzt. Modalitätsspezifische Prozesse oder strukturelle Unterschiede spielen sowohl in den Modellen als auch bei der Beschreibung von entwicklungsbedingten Veränderungen eine untergeordnete Rolle.

Demgegenüber weist das modulare Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch modalitätsspezifische Teilsysteme und Prozessspezifikationen auf, die

sich bei der Beschreibung und Untersuchung der Entwicklung kurzzeitiger Gedächtnisleistungen bei Kindern als fruchtbar erwiesen haben. Daher soll hier ausschließlich auf die Entwicklung der vier Gedächtnisinstanzen sensu Baddeley eingegangen werden.

4.1 Die Entwicklung der phonologischen Schleife

Generell lässt sich ein starker Anstieg der phonologischen Gedächtnisspanne über einen Altersbereich von vier bis zwölf Jahren (Gathercole, 1998) verzeichnen. Gathercole und Baddeley (1993) beschreiben für die häufig eingesetzte Zahlenspanne einen Anstieg von etwa zwei bis drei Items im Alter von vier Jahren auf durchschnittlich etwa sechs bis sieben Items im Alter von 14 Jahren. Dabei findet der größte Leistungszuwachs vor allem vom unmittelbaren Vorschulalter bis zum Ende des Grundschulalters statt, danach seien nur noch moderate Veränderungen zu verzeichnen. Ähnliche Trends werden von Isaacs und Vargha-Khadem (1989) berichtet: Sie konnten in einer normativen Studie an 288 Kindern eine Zahlenspanne von 5.2 Items für Siebenjährige und eine Spanne eine von 6.7 Items für 15-Jährige nachweisen.

Als Ursachen für diese enorme Steigerung der phonologischen Gedächtniskapazität werden sowohl allgemeine, kognitive Veränderungen als auch spezifische, systemimmanente Veränderungen im phonologischen Arbeitsgedächtnis diskutiert. Zu Letzteren werden die Entwicklung modalitätsspezifischer strategischer Prozesse, Veränderungen in der Artikulationsrate, der Zuwachs domainspezifischen, lexikalischen Wissens sowie die Automatisierung des Rehearsalprozesses gerechnet (Gathercole & Adams, 1994; Hasselhorn et al., 2003). Generelle Veränderungen umfassen unter anderem einen allgemeinen Wissenszuwachs, metakognitive Veränderungen, Entwicklung der Seriationsleistung und die Automatisierung grundlegender Verarbeitungsprozesse (vgl. Brown, Vousden, McCormack, & Hulme, 1999; Cowan, 1997b).

Der Beginn des Einsatzes von Rehearsal ist bis heute Gegenstand heftiger Debatten. Flavell, Beach und Chinsky (1966) untersuchten in ihrer Studie den spontanen Einsatz einer Rehearsalstrategie bei Kindergartenkindern, Zweit- und Fünftklässlern und fanden heraus, dass nur 10% der Kindergartenkinder, jedoch 85% der Fünftklässler diese Wiederholungsform einsetzen. Bei dem von Ihnen untersuchten Rehearsal handelt es sich um eine „explizit“ einzusetzende Memorierstrategie, die

sich im Verlauf des Grundschulalters von einer passiven Einwortrepetition zu einer automatisierten kumulativen Sequenzwiederholung entwickelt (Ornstein, Naus, & Stone, 1977).

Nicht immer wird klar, ob es sich bei dem in vielen Studien untersuchten phonologischen Rehearsalprozess um die (explizit) eingesetzte Memorierstrategie oder um einen grundlegenden (impliziten) Prozess handelt, der möglicherweise eine Basis für die von Flavell untersuchte Wiederholungsstrategie darstellt. Gathercole und Kollegen (1994) gehen davon aus, dass trotz der Funktionsfähigkeit der phonologischen Schleife ab einem Alter von etwa drei Jahren ein subvokales Rehearsal erst ab sieben Jahren allmählich einsetzt. Als Belege für den subvokalen Rehearsalprozess werden das Auftreten des phonologischen Ähnlichkeitseffekts und des Wortlängeneffekts gewertet. Letzterer ist bereits ab einem Alter von drei Jahren zu beobachten (Gathercole & Hitch, 1993). Die Autoren diskutieren als Ursache für diesen Befund jedoch einen qualitativ anders garteten, primitiveren Rehearsalprozess für jüngere Kinder. Als mögliche Belege könne die geringere Wirkung von artikulatorischer Unterdrückung auf die Behaltensleistung von Fünfjährigen angesehen werden (Henry & Millar, 1991). Neben der Frage, ab welchem Alter und in welcher Form subvokales Rehearsal zum Einsatz kommt, ist es von Bedeutung, unter welchen Darbietungsarten es eher auftreten kann (vgl. Ornstein et al., 1977; Hitch, Halliday, & Littler, 1984).

Als wesentlicher Faktor für einen Anstieg der kurzzeitigen phonologische Recall-Leistung gilt die entwicklungsbedingte Steigerung der Artikulationsrate (Hulme, Thomson, Muir, & Lawrence, 1984). Da sich die Kapazität des phonologischen Speichers über die Informationsmenge definiert, die in 1,5 - 2 Sekunden artikuliert werden kann und sich diese Spanne über das Lebensalter nicht verändert, kann die Kapazität des passiven Speichers nur über eine Steigerung der Artikulationsrate ausgedehnt werden. Die Autoren schließen dabei die Relevanz verkürzter Pausen zwischen den einzelnen Worten aus. Aufgrund der höheren Artikulationsgeschwindigkeit seien auch subvokale Rehearsalprozesse effektiver einsetzbar. Hasselhorn, Grube und Mähler (2000) betonen ebenfalls den Zusammenhang zwischen Wortlängeneffekt und phonologischem Rehearsalprozess. Sie unterscheiden jedoch innerhalb der Speicherkomponente der Phonologischen Schleife zwischen Größe und Verarbeitungspräzision und hinsichtlich des artikulatorischen Rehearsalprozesses zwischen der Geschwindigkeit des Prozesses und seiner Aktivie-

rungsschwelle bzw. seinem Automatisierungsgrad. So bildet nach Meinung der Autoren die Sprechrates die Geschwindigkeit des Rehearsalprozesses ab, wohingegen der Wortlängeneffekt als Schätzer für den Automatisierungsgrad des Rehearsalprozesses zu werten ist. Die Zunahme der phonologischen Gedächtnisleistung im Grundschulalter ist nach ihrem Modell daher nicht nur von der Artikulationsgeschwindigkeit abhängig, sondern gerade bezüglich der Unterschiede zwischen Vor- und Grundschulalter, durch den Automatisierungsgrad des Rehearsalprozesses determiniert. Die Autoren argumentieren über das Ausbleiben eines Wortlängeneffektes bei lernbehinderten Zehnjährigen (Hasselhorn et al., 2003): Im Vergleich mit normalen Siebenjährigen des gleichen Intelligenzalters wiesen die lernbehinderten Zehnjährigen zwar eine deutlich höhere Sprechrates auf, ein Wortlängeneffekt ließ sich jedoch nur für die Kontrollgruppe der Siebenjährigen finden. Daher sei zwischen der Artikulationsrate und dem Automatisierungsgrad des subvokalen Rehearsals zu unterscheiden (vgl. auch Mähler & Hasselhorn, 2003).

Die Entwicklung der Rekodierungsfähigkeit visueller Stimuli in einen phonologischen Code wurde von Hitch, Halliday, Dodd, & Littler in einem Experiment mit vier bis elfjährigen Kindern untersucht (1989): Sie fanden einen Wortlängeneffekt bei auditiver Präsentation für alle Altersgruppen. Bei bildhafter Präsentation des Stimulusmaterials trat der Effekt erst ab einem Alter von acht Jahren auf (vgl. hierzu auch Hitch & Halliday, 1983, die bei einem ähnlichen Design mit Sechs- bis Zehnjährigen einen Wortlängeneffekt bei bildhafter Präsentation erst für die Zehnjährigen finden konnten). Die Autoren konstatieren, dass eine spontane phonologische Rekodierung erst ab einem Alter von acht Jahren einsetzt. Mit zunehmender Entwicklung kommt es sowohl zu einer qualitativen Veränderung des phonologischen Rehearsalprozesses, als auch zu einer zunehmenden Flexibilisierung desselben in Anwendung auf bestimmte Kontexte und Informationsarten. Dass die phonologische Rekodierung bildhaften Materials von jüngeren Kindern im Sinne eines Produktionsdefizits zwar schon beherrscht aber noch nicht spontan eingesetzt wird, konnten Johnston, Johnson und Gray (1987) belegen: Sie konnten bei ihren Versuchspersonen – fünfjährigen Kindergartenkindern – die phonologische Rekodierung bildhaften Materials induzieren und einen Wortlängeneffekt aufzeigen. Interessanterweise konnte über ein Training sowohl offenes als auch verdecktes Rehearsal hervorgerufen werden. In beiden Bedingungen war ein Wortlängeneffekt nachweisbar.

Die Bedeutung spezifischen lexikalischen Wissens für die phonologische Spanne wird von Gathercole betont (Gathercole, 1998). Der über das Grundschulalter zunehmende Abstand zwischen einer Zahlenspanne und einer Spanne für Nichtwörter spräche für die Bedeutung der Wissensbasis. Gerade für die Entwicklung des Rehearsalprozesses sei eine Bindung der zu memorierenden Information an die Wissensbasis wichtig. So geht die Autorin gerade für Vier- bis Fünfjährige davon aus, „that rehearsal operates on a highly material-specific basis at this age.“ (Gathercole & Adams, 1994, S. 672).

4.2 Die Entwicklung des visuell-räumlichen Notizblocks

Auch für das visuell- räumliche Subsystem lassen sich entwicklungsbedingte Veränderungen vom Vorschulalter bis in die Adoleszenz aufzeigen, jedoch sind die Leistungszuwächse im Vergleich zu den Veränderungen im phonologischen Arbeitsgedächtnis vergleichsweise moderat.

Das kurzfristige Behalten von räumlich-dynamischen Sequenzen, gemessen mit der Corsi-Block-Spanne, entwickelt sich von etwa vier Blöcken zu Beginn des Grundschulalters bis zu etwa sechs Blöcken (Isaacs & Vargha-Khadem, 1989; Zoelch & Schumann-Hengsteler, 2003) im Alter von 15 Jahren. Die statisch-visuelle Komponente des VSSP wird mittels einer Matrix-Aufgabe untersucht und zeigt eine durchschnittliche Behaltensleistung von Mustern mit siebeneinhalb Elementen am Ende der Grundschulzeit bis etwa zehn Elementen zu Beginn des Erwachsenenalters (vgl. auch Strobl, Strametz, & Schumann-Hengsteler, 2002). Wie bereits erwähnt, konnte die von Logie (1995) postulierte Unterscheidung in ein statisch-visuelles und dynamisch-räumliches Arbeitsgedächtnis über unterschiedliche Entwicklungstrends für die jeweiligen Systeme – der *Developmental Fractionation* – nachgewiesen werden (Logie & Pearson, 1997). Sie konnten bei den von ihnen untersuchten Fünfjährigen eine Block-Spanne von drei Items nachweisen, für die älteste ihrer Stichproben, Elf- bis Zwölfjährige, fanden sie eine Corsi-Block-Spanne von fünf bis sechs Blöcken. Im Vergleich dazu verzeichneten sie für das visuell-statische System einen steileren Entwicklungstrend mittels der Matrix-Spannenaufgabe: Hier stieg die Leistung von drei Items für die Fünfjährigen auf acht Items für die Elf- bis Zwölfjährigen.

In einer neueren Arbeit wurde diese Dissoziation von Pickering und Kollegen (2001) ebenfalls mittels *Developmental Fractionation* aufgegriffen. Sie verwendeten

jeweils eine Matrix- und eine Labyrinth-Aufgabe; entgegen dem Vorgehen von Logie und Pearson wählten sie jedoch für beide Aufgaben jeweils eine statische und eine dynamische Präsentationsform. Dies sollte unterschiedliche Leistungen nicht auf den Unterschied in der Aufgabenform sondern auf das unterschiedlich gearbete Präsentationsformat zurückführen lassen. Ihre Ergebnisse deuten ebenfalls auf sich differenzierende Entwicklungslinien für das visuell-statische und für das räumlich-dynamische System hin.

Der Einsatz von strategischen Prozessen bei der kurzzeitigen Verarbeitung von visueller und räumlicher Information wird auch für Kinder weithin als gesichert angesehen (Schumann-Hengsteler, 1993). Auftreten und Natur derartiger Strategien wurden im Bereich räumlich-dynamischer Arbeitgedächtnisaufgaben bislang überwiegend in Studien an Erwachsenen Versuchspersonen untersucht. Diskutiert werden Rehearsalmechanismen, die über räumliche Aufmerksamkeitsverlagerungen ablaufen (Smyth, 1996; Awh, Jonides, & Reuter-Lorenz, 1998; Klauer & Stegmaier, 1997), automatisierte Verarbeitungsannahmen (Naveh-Benjamin, 1987) sowie gestaltpsychologische Organisationsprinzipien (Kemps, 1999).

Schumann-Hengsteler, Strobl und Zoelch (2004) untersuchten die Entwicklung visuell-räumlicher Rehearsalstrategien: Sie konnten Altersunterscheide zwischen Sechs- und Zehnjährigen sowie Erwachsenen bezüglich der seriellen Reihenfolgeübernahme in einer Musterrekonstruktionsaufgabe feststellen. Während die Stichprobe der Sechsjährigen die serielle Präsentationsvorgabe überwiegend nicht nutzte sondern zur Rekonstruktion der Muster vornehmlich auf konfigurale Aspekte zurückgriff, zeigten die zehnjährigen Versuchspersonen deutliche Anzeichen für die Nutzung visuell-räumlicher Rehearsalstrategien. Die Strategienutzung bei den Zehnjährigen scheint aber nur dann wirkungsvoll stattfinden zu können, wenn serielle Reihenfolge der Präsentation und räumliche Konfiguration in einem engen Zusammenhang stehen. Wird der mittels der Darbietung induzierte mentale Abtastpfad aufgrund vieler enthaltener Pfadkreuzungen und langer Distanzen zwischen den einzelnen Lokationen zu komplex, kann das visuell-räumliche Rehearsal nicht leistungssteigernd eingesetzt werden oder bleibt ganz aus. Erwachsene Versuchspersonen nutzen durchwegs serielle visuell-räumliche Strategien, profitieren jedoch nicht immer davon. Ähnliche Ergebnisse fanden die Autoren bei der Untersuchung der gleichen Altersgruppen mittels einer Computerversion der Corsi-Block-Aufgabe. Die dargebotenen Sequenzen variierten in der Komplexität. Diese wurde operatio-

nalisiert über die absolute Pfadlänge (unabhängig von der Anzahl der enthaltenen Blöcke), der Anzahl von Pfadkreuzungen und Barrieren (Blöcke die nicht unmittelbar der Sequenz angehören, aber von dem mentalen Verbindungspfad übersprungen werden). Sowohl für Erwachsene als auch für die Zehnjährigen stellte sich ein Effekt der Komplexität respektive der Pfadlänge ein. Dieser Befund wird von den Autoren im Sinne eines visuell-räumlicher „Wortlängeneffekts“ als Indikator für visuell-räumliche Strategien gewertet. Für die Sechsjährigen blieb ein derartiger Effekt gering und wird von den Autoren als mögliches Produktionsdefizit gewertet. Wird nämlich die Pfadvorgabe in der Corsi-Block-Computerversion durch einen wandernden Smiley expliziert, kann auch in dieser Altersgruppe die Nutzung serieller Information beobachtet werden.

Einen differenziell auftretenden Effekt der visuellen Ähnlichkeit konnten Hitch, Halliday, Schaafstal und Schraagen (1988) nachweisen. Sie untersuchten das kurzzeitige Gedächtnis für visuelle, gegenständliche Information und konnten einen visuellen Ähnlichkeitseffekt bei Fünfjährigen nicht aber bei Zehnjährigen nachweisen. Hingegen konnte für die Zehnjährigen ein deutlicher Wortlängeneffekt gefunden werden, der bei den Fünfjährigen nur schwach ausgeprägt war. Dieser Befund spricht für die Präferenz älterer Kinder für eine sprachgebundene Verarbeitung bildhaften Materials mittels phonologischer Rekodierung. Entsprechend legt die Studie aber auch eine schwerpunktmäßige Präferenz visueller Verarbeitungsprozesse bei jüngeren Kindern nahe (vgl. Schumann-Hengsteler, 1995).

Die Bedeutung der Verarbeitungsgeschwindigkeit für die Leistung kurzzeitiger visuell-räumlicher Gedächtnisprozesse scheint – ähnlich wie im sprachlichen Subsystem – eine Rolle zu spielen und wird von Kail (1997) thematisiert. Er bringt mittels eines pfadanalytischen Designs die allgemeine Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, die mentale Vorstellungsgenerierung und die Leistung in visuell-räumlichen Gedächtnisspannen in Verbindung. Zwar steht Kail mit seinem Ansatz nicht im theoretischen Kontext des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley und Hitch, doch liefert er mögliche Hinweise auf die entwicklungsbedingte Automatisierung und Effizienzsteigerung visuell-räumlicher Verarbeitungsprozesse im VSSP.

Ob die Zunahme in der Speicherkapazität kurzzeitiger visueller und räumlicher Gedächtnisprozesse nun auf systemimmanente Veränderungen im VSSP zurückzuführen sind oder auf die stärkere Involvierung der zentralen Exekutive in der Verarbeitung visuell-räumlicher Information, ist nicht eindeutig geklärt (vgl. Gather-

cole & Hitch, 1993; Gathercole & Baddeley, 1993). Die Bedeutung zentral-exekutiver Prozesse bei visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgaben wurde mittlerweile mehrfach nachgewiesen (vgl. Logie & Marchetti, 1991; Miyake, Friedman, Rettinger, Shah, & Hegarty, 2001; Vandierendonck et al., 2004; Zoelch et al., 2000). Befunde zum Zusammenwirken der zentralen Exekutive mit den Subsystemen stehen für Vor- und Grundschulkindern jedoch noch aus. Einen Anfang können die strukturellen Arbeitsgedächtnisuntersuchen aus der Arbeitsgruppe um Susanne Gathercole darstellen (Gathercole & Pickering, 2000a): In Studien an sechs- und siebenjährigen Versuchspersonen wurde die Dissoziation der Instanzen des Arbeitsgedächtnismodells sensu Baddeley und Hitch mittels struktureller Analysen untersucht. In konfirmatorischen Faktorenanalysen und Strukturgleichungsmodellen konnte zwar eine hohe Konstruktvalidität für das phonologische und das zentral-exekutive System nachgewiesen werden, nicht aber für das visuell-räumliche Subsystem. Zwar konnte in späteren Studien (Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004; Alloway, Gathercole, Willis, & Adams, 2004) an mehreren Altersgruppen auch eine Trennung der Subsysteme voneinander aufgezeigt werden, die Pfadkoeffizienten zwischen den subsystemspezifischen Faktoren und dem Faktor für die zentrale Exekutive deuten aber auch auf Zusammenhänge in Form gemeinsamer Prozesse zwischen den Instanzen hin.

4.3 Die Entwicklung des Episodic Buffers

Da es sich beim Episodic Buffer um die jüngste Komponente des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley und Hitch handelt, existieren bislang keine Studien, welche die Entwicklung dieser Instanz zusammenhängend dokumentieren. Die Problematik bei der Untersuchung des Buffers mit kindlichen Versuchspersonen dürfte in der Wahl geeigneter Operationalisierung liegen. Ein erster Versuch dazu wird von Alloway und Kolleginnen (2004) berichtet. In ihrer Studie zum strukturellen Aufbau des Arbeitsgedächtnisses von Vier- bis Sechsjährigen Kindern setzen sie eine Satz wiederholungsaufgabe zur Operationalisierung des Episodic Buffers ein. Dabei geben sie sowohl grammatikalisch einfache Sätze („*The cup is in the box*“) oder Sätze mit komplexeren grammatikalischen Strukturen wie Passiv oder Aktiv mit variiertem Objekt-/ Subjekteinbindung („*The boy rode a horse at the zoo*“) vor. Jeweils zehn einfache und zehn komplexe Sätze wurden vorgegeben, wobei die Satzlänge zwischen sechs und neun Wörtern variiert wurde. Unabhängig von der

Wortanzahl wurden richtig wiedergegebene Sätze mit einem Punkt gewertet. Als richtig wurde eine Satzwiedergabe dann gewertet, wenn alle präsentierten Wörter in der richtigen Reihenfolge wiedergegeben wurden. Die durchschnittliche Punkteanzahl für die einfachen Sätze liegt bei 6.7, die für die komplexen Sätze bei 7.9. Ob der Fragestellung liefern die Autoren keine altersspezifischen Leistungsausprägungen für die Alterssubgruppen. Mehrere Pfadmodelle werden vorgeschlagen, darunter ein fünf-faktorielles Modell, das nach den Autoren die beste Modellanpassung aufweist. In diesem Modell werden Faktoren für die zentrale Exekutive, den Episodic Buffer, die Phonologische Schleife sowie die phonologische Bewusstheit und nonverbale Fähigkeiten unterschieden.

Der Episodic Buffer stellt sicherlich eine der neuen Herausforderungen des Arbeitsgedächtnismodells sensu Baddeley und Hitch dar. Dies gilt vor allem vor dem Hintergrund der sich entwickelnden Systemkomponenten, da die integrative Funktion des Episodic Buffers entscheidende Anteile an der Effizienzsteigerung strategischer Arbeitsgedächtnisprozesse haben dürfte. Gerade die für die allgemeine Gedächtnisentwicklung als wesentlich erachtete Rolle der Wissensbasis kann mittels des Episodic Buffers nun auch bei der Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses sinnvoll integriert werden.

4.4 Die Entwicklung der zentralen Exekutive

Während Untersuchungen zum Konzept der zentralen Exekutive in den letzten 15 Jahren Fortschritte verzeichneten, steht die Erforschung entwicklungsbedingter Veränderungen für die zentrale Instanz des Arbeitsgedächtnisses erst in ihren Anfängen. Die Relevanz der zentralen Kontrolleinheit für die kognitive Entwicklung im Allgemeinen und die Entwicklung schulischer Fertigkeiten wird mittlerweile als erwiesen angesehen, nach Thorn und Gathercole (Thorn & Gathercole, 2000) kommt ihr dabei eine Schlüsselrolle zu.

So konnten Bourke und Adams (2003) die Bedeutung von Arbeitsgedächtnisprozessen für die schriftsprachige Leistung bei Sechs- und Siebenjährigen demonstrieren. Die Güte der Textproduktion wurde über die Diversität des verwendeten Wortsschatzes, die durchschnittliche Satzlänge anhand der Morpheme und Klarheit der Gesamtstruktur bzw. des Inhalts beurteilt. Interindividuelle Unterschiede in zentral-exekutiven Leistungen konnten die textlichen Leistungen am besten vorhersagen. Swanson und Howell (2001) zeigten die Relevanz phonologi-

scher und zentral-exekutiver Arbeitsgedächtnisleistungen für die Leseleistung und das Textverstehen neun- und vierzehnjähriger Schüler auf. Die Bedeutsamkeit exekutiver Prozesse für die mentale Arithmetik bei Sechs- bis Achtjährigen konnte von Bull und Scerif (2001) mittels korrelativer Analysen nachgewiesen werden. Ähnliche Befunde fand Biewald (1998) mittels des *Dual Task*-Paradigmas: Sie konnte die Beteiligung phonologischer und zentral-exekutiver Prozesse für mentale Multiplikation und Addition bei Kindern der dritten und vierten Jahrgangsstufe belegen.

Zeitgleich zum Nachweis der Bedeutsamkeit zentral-exekutiver Prozesse bei normaler kognitiver Entwicklung ergaben sich Befunde zur Bedeutung der zentralen Exekutive bei allgemeinen Lernstörungen (Gathercole & Pickering, 2000b; Pickering & Gathercole, 2004; Swanson, 1993) als auch für spezifische Leistungsbeeinträchtigungen (Gaupp, 2003; McLean & Hitch, 1999).

Legt man die von Baddeley (Baddeley, 1996) vorgenommene Spezifizierung zentral-exekutiver Prozesse zugrunde, fällt auf, dass es kaum entwicklungsbezogene Arbeiten gibt, die versuchen die unterschiedlichen Prozesse in ihrer Gesamtheit und ihrem Zusammenwirken zu betrachten. Auch beschränken sich empirische Untersuchungen trotz der theoretischen Annahme einer nicht-unitären Exekutive auf wenige, im Sinne der beteiligten Prozesse nicht spezifizierten Operationalisierungen. Interessanterweise kommen entscheidende Befunde zur Entwicklung zentral-exekutiver Prozesse aus den angrenzenden Bereichen der Aufmerksamkeitsforschung und der Forschung zur Entwicklung der exekutiven Funktionen (vgl. Zelazo et al., 2003; Zelazo & Mueller, 2003). Hierin zeigt sich neben der durchaus inspirierenden Nähe der Konzepte zueinander auch die Problematik der Forschung zur zentralen Exekutive: In Ermangelung einer klaren Abgrenzung des Modells, werden unter ähnlichen Terminologien völlig unterschiedliche Konzepte verstanden. Dies zeigt sich etwa darin, dass im Bereich der exekutiven Funktion ähnliche Operationalisierungen wie zur Untersuchung der zentralen Exekutive sensu Baddeley zum Einsatz kommen, das Arbeitsgedächtnis aber als Teilkomponente exekutiver Funktionen verstanden wird (vgl. Lehto, 1996). Deswegen soll auf entwicklungspsychologische Befunde zu einzelnen exekutiven Prozessen eingegangen werden, bevor die Möglichkeit einer integrativen Annäherung an die sich entwickelnde zentrale Exekutive erörtert wird.

Mähler und Hasselhorn (2001) untersuchten die selektive Aufmerksamkeitskomponente der zentralen Exekutiven mittels einer *Go/NoGo Aufgabe*. Kinder der ersten bis vierten Grundschulklasse mussten selektiv auf einen visuell präsentierten Stimulus reagieren. Es zeigte sich eine deutliche Veränderung der selektiven Aufmerksamkeitsleistung über das Grundschulalter, wobei die stärksten Veränderungen zwischen den Kindern der ersten und zweiten Jahrgangsstufe auftraten. Die Autoren interpretieren dies als Beleg für die entwicklungsbedingte Zunahme zentral-exekutiver Leistungsfähigkeit. Ausgehend vom Konzept der exekutiven Funktionen untersuchten Beveridge, Jarrold und Pettit (2002) die Unabhängigkeit der Speicher- und Inhibitionskomponenten sechs- und achtjähriger Schulkinder. Neben einer Version des *Continuous Performance Tests* und einer modifizierten *Stroop Aufgabe* kam eine *Start/Stop Aufgabe* zu Einsatz. Alle drei Aufgaben wiesen eine zweistufige Variation des *Memory Loads* und eine ebenfalls zweistufige Variation der inhibitorischen Anforderung auf. Neben einem Alterseffekt konnte sowohl der Einfluss des *Memory Loads* als auch der Inhibitionsanforderung gefunden werden. In ihrer Interpretation vermuten die Autoren voneinander unabhängige Inhibitions- und Speicherressourcen. Wrigth und Kollegen (Wright, Waterman, Prescott, & Murdoch-Eaton, 2003) beschäftigen sich mit der Inhibitionskapazität von drei- bis sechzehnjährigen Kindern. Ihre Messungen mittels unterschiedlicher *Stroop Aufgaben* ergeben deutliche Entwicklungsunterschiede. Auch Archibald und Kerns (Archibald & Kerns, 1999) setzen u.a. unterschiedliche *Stroop-* und *Go/NoGo Aufgaben* ein und finden für ihre sieben- bis zwölf-jährigen Versuchspersonen deutliche Alterseffekte, die jedoch je nach Test unterschiedlich stark ausfallen (vgl. Demetriou, Spanoudis, Christou, & Platsidou, 2001). Dowsey und Livesey (2000) interessieren sich für die Trainierbarkeit der Inhibitionskapazität Drei- bis Fünfjähriger. Neben einem Alterseffekt berichten sie von einem Trainingseffekt. Zusammenfassend ergibt sich ein Anstieg der selektiven Aufmerksamkeitsleistung vom Kindergartenalter bis zur Adoleszenz. Wenig ist jedoch zum Verhältnis der beiden Komponenten der selektiven Aufmerksamkeitsleistung – Fokussierung der Aufmerksamkeit auf relevante Reize und Inhibition irrelevanter Information bzw. Unterdrückung unerwünschter Reaktionstendenzen – zueinander bekannt. Ob es sich dabei um komplementäre, fest miteinander verknüpfte Prozesskomponenten handelt oder um voneinander unabhängige, aber interagierende Prozesse, ist innerhalb der kognitiven Psychologie bislang nicht thematisiert worden.

Zur Messung eines weiteren zentral-exekutiven Prozesses, des flexiblen Wechsels zwischen Abrufstrategien, schlägt Baddeley (Baddeley, Emslie, Kolodny, & Duncan, 1998; Baddeley, 1996) den Einsatz der *Random Generation Aufgabe* vor. Towse und Mclachlan (Towse & Mclachlan, 1999b; Towse & Mclachlan, 1999a) finden in einer später noch genauer vorzustellenden Studie Altersunterschiede zwischen ihren fünf- bis zwölfjährigen Versuchspersonen. Zoelch, Gaupp und Schumann-Hengsteler (2003) setzen neben anderen zentral-exekutiven Tests ebenfalls die *Random Generation Aufgabe* bei fünf- bis zehnjährigen Kindern ein und finden einen Alterseffekt. Dieser, so die Autoren, komme allerdings fast ausschließlich über die starken Unterschiede zwischen Kindergarten- und Grundschulkindern zustande. Der Trailmaking Test B ist eine weitere Aufgabe zur Messung des flexiblen Wechsels zwischen Abrufstrategien und wird von Lehto und Kollegen (Lehto, Juujarvi, Kooistra, & Pulkkinen, 2003) bei Acht- bis Dreizehnjährigen eingesetzt. Sie finden einen deutlichen Leistungsanstieg in diesem Test erst ab einem Alter von zehn Jahren, darunter sind nur unwesentliche Altersunterschiede zu verzeichnen (vgl. auch zum Einsatz dieses Tests McLean & Hitch, 1999).

Die Arbeitsgruppe um Marcus Hasselhorn (Sykulla, Mähler, & Hasselhorn, 2001) entwickelte in Anlehnung an Martein, Kemps und Vandierendonck (1999) eine Aufgabe zur Messung der zentral-exekutiven Koordinationskapazität. Diese besteht aus der Kombination einer räumlichen und einer verbalen Spannenaufgabe. In einer 3x3-Zellen-Matrix werden an unterschiedlichen Positionen benennbare Objekte seriell präsentiert. Aufgabe der Versuchspersonen ist es, die Objekte in der richtigen Reihenfolge an den richtigen Orten wiederzugeben. Leider stehen gegenwärtig altersvergleichende Studien mit dieser Aufgabe noch aus, bisherige Experimente beschränkten sich auf Grundschulkindern mit Lernstörungen.

Die Koordination zweier simultaner Aufgaben wurde von Hale, Bronik und Fry (1997) untersucht. Sie gaben ihren Versuchspersonen, Acht-, Zehn- und Neunzehnjährigen, sprachliche und räumliche Spannenaufgaben in Kombination mit einer sprachlichen oder räumlichen Zweitaufgabe vor. Wie erwartet erzielten sie deutliche modalitätsspezifische Interferenzeffekte für alle Altersgruppen, d.h. die sprachliche Interferenz störte die sprachbasierte Spanne und die visuell-räumliche Interferenz störte die räumliche Spanne. Zusätzlich zu diesen Effekten konnte bei den Achtjährigen auch ein unspezifischer Störeffekt festgestellt werden, d.h. sowohl sprachliche wie auch räumliche Primäraufgaben wurden durch jede der Zweitaufga-

ben interferiert. Dieser Beleg kann im Sinne qualitativ unterschiedlich gearteter Koordinationsprozesse in der zentralen Exekutive bei jüngeren Kindern gewertet werden. Er deutet aber möglicherweise auch darauf hin, dass Teilprozesse die zur Ausführung der Primär- oder Sekundäraufgaben notwendig sind, in geringerem Maß automatisiert sind als dies bei älteren Kindern oder Erwachsenen der Fall ist. Mögliche Kandidaten für weniger automatisierte Prozesse könnten serielle Verarbeitungsprozesse sein, die bei Spannaufgaben erforderlich sind (vgl. McCormack, Brown, Vousden, & Henson, 2000). Somit sind mehr Aufmerksamkeitsressourcen zur Ausführung der Teilaufgaben notwendig, die zur Koordination der beiden Aufgaben dann nicht mehr zur Verfügung stehen.

Ebenfalls ressourcenorientiert im Sinne zweier zeitgleicher Anforderungen werden die so genannten *complex span tasks* betrachtet. Diese Aufgaben entstammen einer unitären Sichtweise des Arbeitsgedächtnisses und werden als umfassende Operationalisierungen kurzzeitiger Speicher- und Verarbeitungskomponenten gesehen. Mittlerweile existieren Adaptionen der ursprünglichen Lesespannaufgabe (Daneman & Carpenter, 1980) an die spezifischen Erfordernisse kindlicher Versuchspersonen. Gathercole und Pickering (Gathercole & Pickering, 2000a) berichten vom Einsatz zweier komplexer Spannaufgaben, der so genannten *listening span* und der *counting span*. Bei der *listening span* (Hörspanne) werden Dreiwortsätze mit einer Verifikationsanforderung präsentiert („chairs have legs“ – „yes“; „bananas have teeth“ – „no“). Im Anschluss an die letzte Verifikation müssen die jeweils letzten Worte der einzelnen Sätze in der korrekten seriellen Reihenfolge wiedergegeben werden („legs, teeth“). Die Anzahl der Sätze wird gesteigert bis zu dem Zeitpunkt, an dem die letzten Wörter der Sätze nicht mehr korrekt wiedergegeben werden können. In der *counting span* (Zählspanne) werden Punktemuster seriell dargeboten. Aufgabe ist es, die Punkte zu zählen und sich die Zahlen in der Erscheinungsreihenfolge zu merken. Analog zur Hörspanne sind hier intermittierend Speicher- und Verarbeitungsprozesse erforderlich, der Unterschied zwischen den beiden Aufgaben besteht in der unterschiedlichen Involvierung des Langzeitgedächtnisses: Nur für die Satzverifikation, nicht aber für die Zählforderung, ist die Einbindung einer Wissensbasis im höheren Maße erforderlich. Damit operationalisiert eigentlich nur die Hörspanne den von Baddeley (Baddeley, 1996) postulierten zentral-exekutiven Prozess des Abrufs und Abgleichs von Information aus dem Langzeitgedächtnis mit aktuell bereitgehaltener Information.

Gathercole und Kollegen (Gathercole et al., 2004) liefern Daten zur Zähl- und Hörspanne sowie zur Zahlenspanne rückwärts für sechs- bis fünfzehnjährige Kindern. Allerdings summieren die Autoren die richtigen Einzeldurchgänge ohne Rücksicht auf die Spannstufe auf, wählen also als Testwert nicht die maximal erreichte Spannenstufe. Damit ist ein Vergleich des erzielten Testwertes mit anderen klassischen Spannenmaßen nicht möglich. Generell berichten die Autoren von einem deutlichen Leistungsanstieg in allen drei Spannenmaßen über das Alter hinweg. Isaacs und Vargha-Khadem (1989) untersuchten ihre sieben- bis fünfzehnjährige Stichprobe unter anderem ebenfalls mit der Zahlenspanne rückwärts. Sie finden einen moderaten Anstieg der Spanne von drei Items bei den Siebenjährigen über vier Items bei den Zehnjährigen bis zu fünf Items bei den Fünfzehnjährigen.

Einen integrativen Ansatz zur Messung der sich entwickelnden zentralen Exekutive schlagen Zoelch, Seitz und Schumann-Hengsteler (2005) vor. Sie beziehen sich auf Baddeley Konzept der zentralen Exekutive (Baddeley, 1996) und betrachten die Entwicklung unterschiedlicher Teilprozesse der zentralen Exekutive mittels unterschiedlicher Operationalisierungen. Eine korrelative Analyse bestätigt die von Baddeley postulierten Prozesse der zentralen Exekutive, und lässt die Autoren vermuten, dass es neben unterschiedlichen Entwicklungsgeschwindigkeiten der zentral-exekutiven Einzelprozesse auch zu einer entwicklungsbedingten funktionalen Ausdifferenzierung der Exekutive kommt.

Trotz derartiger Versuche, die Entwicklung der zentralen Exekutive zu beschreiben, fehlen theoretische Ansätze zur Erklärung des Entwicklungsgeschehens. Thorn und Gathercole (2000) nehmen Anleihen aus anderen Arbeitsgedächtnisansätzen, um zentral-exekutive Entwicklungsvorgänge zu beschreiben: Mit Rückgriff auf Case et al. (1982) führt eine Veränderung in der Verarbeitungseffizienz zu einer Entlastung der Systemressourcen. Somit steht mehr Speicherkapazität zur Verfügung. Die zweite Erklärungsalternative von Thorn und Gathercole bezieht sich auf die von Swanson (1999) postulierten Entwicklungsveränderungen in den Aufmerksamkeitsressourcen. Demzufolge sind die Steigerungen in der Verarbeitungs- und Speichernutzungseffizienz auf die steigende Verfügbarkeit und Ausdifferenzierung von Aufmerksamkeitsprozessen zurückzuführen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es im Bereich zentral-exekutiver Prozesse vom Kindergartenalter bis in die Adoleszenz starke Entwicklungsveränderungen gibt. Diese fallen jedoch qualitativ und quantitativ prozessbezogen unter-

schiedlich aus. Bei genauerer Sichtung der dargestellten Befunde ergibt sich trotz großer Fortschritte bei der entwicklungsbezogenen Betrachtung der zentralen Exekutive die Notwendigkeit, eine Dissoziation der Exekutive über weitere Prozessspezifikationen sensu Baddeley (1996) vorzunehmen und nach geeigneten prozessspezifischen Operationalisierungen zu suchen. Adaptiert an die Bedürfnisse von Kindern, können solche Operationalisierungen helfen, zentral-exekutive Entwicklung darzustellen und theoretisch zu beschreiben. Dabei dürfte es entscheidend sein, ob zentral-exekutive Prozesse im Kindes- und Jugendalter überhaupt separierbar sind. Falls dies der Fall ist, sollten sich unterschiedliche Entwicklungslinien aufzeigen lassen und zur Fragmentierung der Exekutive beitragen.

5. *Random Generation*

Das Generieren von Zufallsreihen – *Random Generation* – stellt eine der wichtigsten Operationalisierungen zentral-exekutiver Prozesse dar. Trotz ihrer Wichtigkeit sei die Aufgabe jedoch „only one of a varied armoury of tests of executive capacity“ (Baddeley et al., 1998, S. 849). Ihre Bedeutung und weite Verbreitung verdankt diese Aufgabe ihrem Einsatz zur Messung kurzzeitiger Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsprozesse, obschon seit den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts (Luh, 1931) Versuche existieren, diese Aufgabe auch diagnostisch einzusetzen (zur Übersicht vgl. Brugger, 1997). Gerade in der Arbeitsgedächtnisforschung erfährt sie im Rahmen des *Dual Task*-Paradigmas als zentral-exekutive Zweitaufgabe weit reichenden Einsatz (vgl. Azouvi, Jokic, Van der Linden, & Marlier, 1996; Logie et al., 1994; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2002). Dabei verdankt sie ihre weite Verbreitung zur Messung von kurzzeitigen Speicher- und Aufmerksamkeitsprozessen sicherlich auch der Tatsache, dass der Prozess der Zufallsgenerierung im Vergleich zu anderen Aufgaben mit Aufmerksamkeitsbezug nicht automatisierbar ist. Demzufolge absorbiert sie gerade als Zweitaufgabe im Rahmen des *Dual Task*-Paradigmas verlässlich Inhibitions- und Speicherkapazitäten.

Bei der *Random Generation Aufgabe* (im Folgenden auch: *RG*) muss aus einer Reihe vorgegebener Items, eine zufällige Reihe erstellt werden. Die Anzahl der vorgegebenen Items, der so genannte Itempool oder auch Ereignisraum, kann variieren. Als Items kommen normalerweise alle diskreten Elemente einer Reihe oder Gruppierung in Frage. Dabei gibt es unterschiedliche Sichtweisen, was zufällige

Generierung eigentlich bedeutet. Moosbrugger konstatiert, die Generierung einer Zufallssequenz sei „ein stochastischer Prozess mit Gleichwahrscheinlichkeitsgesetzen für alle Elemente“ (Moosbrugger, 1972, S. 215), d.h. im Sinne des Bernoulli-Theorems (vgl. Bortz, 1993) sollten sich bei einer zufälligen Produktion die Häufigkeiten aller Entscheidungsalternativen (Items) im Ereignisraum (Itempool) mit zunehmendem Produktionsumfang zunehmend gleichverteilen. Montare (1999) nennt unterschiedliche Arten des Zufallsbegriffs. Neben der bereits erwähnten stochastischen Zufälligkeit führt er unter anderem eine „maschinelle“ und eine „menschliche“ Zufälligkeit an. Erstere meint die Zufälligkeit computergenerierter, pseudo-zufälliger Reihen, Letztere entspricht dem menschlichen Versuch, sich zufälligem Verhalten anzunähern. Zufallsreihen lassen sich jedoch nicht anhand eines Verifikationskriteriums in ihrer Zufälligkeit beurteilen, sondern lediglich in ihrer Abweichung von der (stochastischen) Zufälligkeit falsifizieren. Ein „nicht-zufälliger“ Trend in einer Zufallsreihe genügt, eine Reihe als nicht zufällig zu klassifizieren. Dies wird auch in der algorithmischen Zufallsdefinition von Chaitin (1975) deutlich: „a series of numbers is random, if the smallest algorithm capable of specifying it to a computer has about the same ... information as the series itself ... a random series of numbers cannot be ‚compressed‘“ (zitiert nach Ginsburg & Lesner, 1999, S. 337).

Beim Einsatz von Random Generation in psychologischen Experimenten werden für gewöhnlich Modalität und Größe des zu verwendenden Itempools, Länge der Zufallssequenz und die Frequenz der zufälligen Produktion vorgegeben. Weit verbreitet sind dabei sprachbasierte Ereignisraumvorgaben mittels Ziffern oder Buchstaben (vgl. Baddeley, 1966a; Brugger, Monsch, Salmon, & Butters, 1996; De Zubicaray et al., 1998; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2002) oder räumlich-motorische Zufallsproduktionen wie random keypressing - das Drücken von Tasten auf einem Keyboard (vgl. Heuer, Kohlisch, & Klein, 2005; Baddeley et al., 1998), motorische Handlungen (Annoni & Pegna, 1997; Zoelch et al., 2000) oder verschiedene räumliche Positionen (Mittenecker, 1958; Zoelch, Seitz, & Schumann-Hengsteler, 2001). Das besondere an räumlich-motorischen Ereignisräumen, ist, dass sie ob ihrer Beschaffenheit (distinkte räumliche Positionen) meist eine mehr oder weniger deutliche Begrenzung des Ereignisraums beinhalten. Damit ist eine Nennung von Alternativen außerhalb des Ereignisraumes - wie z.B. bei verbalen Zahlenproduktionen - nur schwer oder unmöglich. Es entsteht also in derartigen Zufallsproduktionen für die Versuchsperson nicht die Anforderung, nahe liegende

aber nicht im Ereignisraum enthaltene Items aus der Produktionssequenz auszuschließen. Die Arbeitsgruppe um Andre Vandierendonck kritisiert bei herkömmlichen *Random Generation Aufgaben* eine Beteiligung modalitätsspezifischer Prozesse und schlägt eine amodale Aufgabe vor (Vandierendonck, De Vooght, & Van der Goten, 1998a): Bei der *Random Time Intervall Generation* sollen zufällige Intervalle produziert werden, d.h. es gibt keinen festen Ereignisraum mit diskreten Items.

Die Größe des verwendeten Itempools bei diskreten Ereignisräumen umfasst in vielen Studien zwei bis zehn Items (Weiss, 1964; Towse, 1998) und selten mehr als 26 Items (Baddeley, 1966a; vgl. auch die Übersicht bei Brugger, 1997). Bezüglich der Produktionsfrequenz kamen bislang Intervalle von weniger als einer Sekunde (Towse, 1998) über ein oftmals verwendetes Intervall von ein bis zwei Sekunden (Baddeley et al., 1998) bis hin zu einem mehrstündigen Nennungsabstand (Sugimura & Iwahara, 1958) zum Einsatz. Die vorgegebene Länge der produzierten Zufallssequenzen variierte zwischen 20 (Ross & Levy, 1958) und 2520 Items (Chapanis, 1953; vgl. zu einer Übersicht Wagenaar, 1972).

Die menschliche Randomisierungsleistung wird sowohl von aufgabenimmanenten als auch von individuellen Faktoren beeinflusst. Innerhalb der aufgabenimmanenten Leistungsdeterminanten sind sicherlich die Itempoolgröße und die Produktionsfrequenz empirisch am besten belegt (vgl. Übersichten bei Brugger, 1997; Tune, 1964; Weiss, 1965). Dabei ist bereits an dieser Stelle kritisch anzumerken, dass sich die hier dargestellten Befunde zu Leistungsdeterminanten in der *Random Generation Aufgabe* fast zur Gänze auf Studien an Erwachsenen beziehen. Gerade die für die Aufgabe relevanten Aufmerksamkeits- und Gedächtnisleistungen weisen jedoch starke Entwicklungsveränderungen auf. Demzufolge erscheint die *Random Generation Aufgabe* zur Abbildung entwicklungsbedingter Aufmerksamkeits- und Gedächtnisunterschiede geradezu prädestiniert. Daher mutet es unverständlich an, warum bislang Untersuchungen zur Zufallsgenerierung bei Kindern eher Seltenheitswert besitzen (vgl. Towse & Valentine, 1997; Rabinowitz, Dunlap, Grant, & Campione, 1989).

In seiner zweiten Studie zur Random Generation konnte Baddeley (1966a) einen Effekt der Itempoolgröße nachweisen. Er fand einen Anstieg stereotyper Zufallssequenzen bei Steigerung des Itempoolumfangs von zwei über vier auf acht Items. Bei einer weiteren Steigerung der Itempoolgröße auf 16 und 26 Entscheidungsalternativen blieb eine weitere Zunahme stereotyper Antwortmuster aus. Bad-

deley interpretiert dies als Beleg für einen kapazitätär begrenzten Antwortauswahlmechanismus. Sowohl Slak, Hirsch und Syria (1979) als auch Wiegersma (1976) bestätigen diesen Trend. Wiegersma findet stereotype Antworttendenzen allerdings erst ab einer Itempoolgröße von zehn Elementen. Neben stereotypen Antwortmustern, die sich etwa durch die Wiederholung gleicher Itemkonfigurationen oder – im Bereich der Random Letter Generation – durch die Nennung gängiger Abkürzungen wie „BBC“ oder „LCD“ zeigen, konnte Wagenaar (1970) bei Vergrößerung des Ereignisraumes eine Wiederholungsvermeidung, also die überdurchschnittlich häufige Unterdrückung einer unmittelbaren Itemwiederholung des gleichen Items feststellen. Dies konnte von Towse (1998) bestätigt werden, der seine Versuchspersonen u.a. mit Random Number Generation bei einer Itempoolgröße von zehn und 15 Items untersuchte. Darüber hinaus fand er eine Häufigkeitszunahme benachbarter Itempaare („3-4“; „8-7“) bei ansteigender Itempoolgröße in den analysierten Zufallsreihen.

Baddeley (1966a) konnte die Bedeutung der Produktionsfrequenz für die Güte menschlicher Zufallsreihen nachweisen. Er variierte die Produktionsfrequenz zwischen 0.5, 1, 2 und 4 Sekunden. Bei Verkürzung der Zeit zwischen den einzelnen Antwortennennungen erhielt Baddeley bei einem konstanten Itempool der 26 Buchstaben des Alphabets eine lineare Zunahme redundanter und stereotyper Antworten. Towse (Towse, 1998) variierte in seiner Studie nicht nur die Antwortfrequenzen zwischen 0.75, 1.5 und 3 Sekunden sondern ließ seine Versuchspersonen sowohl aus einem Itempool von zehn als auch von 15 Zahlen randomisieren. Er findet keine Interaktion der Faktoren Itempoolgröße und Produktionsfrequenz, wohl aber signifikante Haupteffekte. Interessanterweise schlägt sich die Zunahme des Itempools in einer ungleichen Häufigkeit der einzelnen Antwortalternativen nieder, während die Steigerung der Antwortfrequenzen sich in einer Häufung stereotyper Antwortmuster, speziell die Nennung benachbarter Antwortpaare auswirkt. Eine steigende Vermeidung von Itemwiederholungen konnte in einer frühen Studie von Luh (1931) bei einem Anstieg des Produktionsintervalls von 1 auf 6 Sekunden festgestellt werden. Der Effekt der Antwortgeschwindigkeit konnte mehrfach bestätigt und für unterschiedlichste Stichproben nachgewiesen werden (Baddeley et al., 1998; Towse & Mclachlan, 1999b; Van der Linden, Beerten, & Pesenti, 1998; Warren & Morin, 1965). Sowohl Baddeley (Baddeley et al., 1998) als auch Towse (1998) sprechen sich angesichts dieses Effekts und der damit verbundenen Variationsmöglichkeiten

für Random Generation als geeignete Operationalisierung einer kapazitätär beschränkten zentralen Exekutive aus. Kritisch zum Effekt der Antwortfrequenz bleibt anzumerken, dass die Einhaltung der Frequenz meist durch Vorgabe eines Kontrollstimulus, beispielsweise eines Metronoms, induziert wird. Bislang wurde der dadurch zusätzlich entstehende Kontrollbedarf nicht explizit thematisiert, es ist jedoch zu vermuten, dass bei erhöhten Anforderungen durch hohe Frequenz und große Itempools das Aufrechterhalten der Produktionsfrequenz über einen Abgleich mit einem externen Stimulus zusätzlich leistungsbeeinträchtigend wirkt.

Neben der bereits beschriebenen Variation der Modalität des Ereignis- und Produktionsraumes gibt es Präferenzen für bestimmte Aufgabenkonfigurationen. Bei Standarduntersuchungen zur Random Number Generation haben sich Ereignisraumgrößen von zehn Items und Sequenzlängen von 100 durchgesetzt (vgl. Brugger, 1997). Brugger präferiert in eigenen Studien die so genannte *mental dice task*, also die Vorstellung eines mentalen Würfels, der immer wieder geworfen wird. Als Ursache dafür führt er die Verständlichkeit des speziellen, mit dem Würfel verbundenen Zufallskonzepts an. Ferner läge der Umfang des Ereignisraumes mit sechs Elementen noch unter der durchschnittlichen Gedächtnisspanne von sieben Items.

Towse (1998) beschäftigt sich mit dem Vergleich zweier gebräuchlicher Randomisierungsmodalitäten, dem Random Keypressing und der Random Number Generation. Er findet eine weitaus geringere Ausprägung des Effekts der Itempoolgröße und der Produktionsfrequenz bei der Keypressing Aufgabe. Dies führt er auf mehrere Merkmale der Aufgabe zurück. Beim Keypressing ist der Ereignisraum stetig sichtbar, während bei einer zahlen- oder buchstabenbasierten Generierung der Itempool über kurzzeitige Gedächtnisprozesse bereitgehalten werden müsse. Durch die erhöhte Vertrautheit mit Zahlen- oder Buchstabenreihen liege auch die Tendenz zur Bildung stereotyper Sequenzen näher. Im Vergleich dazu seien bei einer Randomisierung über Tastendrücken weniger Auswahlüberlegungen und semantische Interferenzen anzunehmen, wie sie bei Zahlen- oder Buchstabenstereotypen nahe lägen. Towse diskutiert daher kritisch, ob der Einsatz des Keypressing eine geeignete Möglichkeit zur Belegung der zentralen Exekutive darstelle. Kritisch ist dazu anzumerken, dass die von Towse angeführten Aspekte sich überwiegend auf eine Involvierung von Speicher- aber nicht Verarbeitungskapazitäten beziehen. Baddeley hält trotz der Kritik von Towse weiterhin an der Keypressing-Version fest,

ändert aber die Vorgaben der Aufgabe dahingehend, dass Versuchspersonen nun mehrere Finger zum Keypressing benutzen müssen. Unklar bleibt dabei jedoch, inwiefern die bei Ausführung beteiligten motorischen und räumlichen Prozesse sowie unterschiedlich geartete Strategien zu Leistungsunterschieden beitragen können.

Die Rolle von kurzzeitigen Speicherprozessen bei Random Number Generation wurde von Towse ebenfalls in einem 1998 erschienen Artikel thematisiert (Towse, 1998). Zusätzlich zur Anforderung, über einen Itempool von zehn oder 15 Zahlen zu randomisieren, wurde den Versuchspersonen der Ereignisraum visuell präsentiert. Towse verglich diese Anordnung mit der Standardversion eines nicht unmittelbar bildhaft präsentierten Ereignisraumes. Neben einem Effekt der Itempoolgröße konnte er eine unterstützende Funktion der Itempoolpräsentation feststellen. Beide Faktoren interagierten dahingehend miteinander, dass der unterstützende Effekt der Itempoolpräsentation bei dem größeren Ereignisraum von 15 Items stärker war. Dies deutet auf kapazitätär begrenzte, modulare Speicherprozesse beim Bereithalten des Itempools hin.

Die Arbeitsgruppe um Andre Vandierendonck kritisiert an den herkömmlichen *Random Generation Aufgaben* eine mehr oder weniger starke Beteiligung modalitätsspezifischer Prozesse (Vandierendonck, De Vooght, & Van der Goten, 1998b; Vandierendonck et al., 1998a; Vandierendonck, 2000) und schlägt eine modalitätsunabhängige Aufgabe vor. Bei der *Random Intervall Production* (Vandierendonck et al., 1998b) muss die Versuchsperson fortwährend zufällige Intervalle produzieren. Die Autoren konnten in *Dual Task*-Studien nur eine geringfügige Beteiligung subsystemspezifischer Prozesse finden. Daher sei die von ihnen vorgeschlagene Aufgabe eine zentral-exekutive Operationalisierung in Reinform ohne nennenswerte phonologische oder visuell-räumliche Anteile.

Nicht oder nur marginal untersucht wurde in bisherigen Arbeiten die Rolle der Vertrautheit einer Versuchsperson mit dem Ereignisraum. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, dass die Itempools meist aus Buchstaben oder Zahlen bestehen und als bekannt vorausgesetzt werden. Zwar vermutet Towse (1998) beim Vergleich von Random Number Generation mit Random Keypressing den negativen Einfluss von alltäglichen Zahlensequenzen auf die Zufallsgüte bei der Number Generation, andererseits stehen Studien mit weniger vertrautem oder neu zu lernendem Sequenzmaterial noch aus. Erst diese können zeigen, in welchem Maß die Automati-

sierung einer Itempoolsequenz die Güte von Zufallssequenzen beeinflusst. Der von Baddeley konstatierte Habit, den es bei der Zufallsreihengenerierung zu durchbrechen gilt, muss ja per definitionem einen gewissen Automatisierungsgrad aufweisen. Inwieweit ein weniger vertrauter Ereignisraum zusätzliche Speicherressourcen erfordert oder weniger inhibitorische Prozesse nahe legt, bleibt bislang spekulativ. Die Frage nach dem Automatisierungsgrad des Itempools dürfte nicht zu letzt deswegen wenig thematisiert worden sein, da der überwiegende Teil der Studien mit gängigen Itempools wie Zahlen- oder Buchstabenreihen an Erwachsenen durchgeführt wurde. Eine weitaus größere Bedeutung der Automatisierung des Ereignisraumes dürfte sich für die Randomisierungsleistung von Kindern ergeben. Speziell bei jüngeren Kindern ist eine andere geartete Organisation und Repräsentation gängiger Itempools wie den Zahlenreihen anzunehmen. Deshalb dürfte der flexible Umgang mit seriell repräsentierten Ereignisräumen ungleich höhere Kontroll- und Inhibitionsanforderungen an Kinder stellen, als diese für Erwachsenen der Fall ist.

Die Bedeutung der Instruktion auf die Randomisierungsleistung griff Tune (1964) auf. Er betont die Wichtigkeit einer adäquaten Instruktion bei der Generierung von Zufallsreihen, schließt jedoch die Gefahr bestimmter Produktionsstrategien als Folge von einseitigen Instruktionen nicht aus. Zur Vermeidung eines derartigen Einflusses zieht Falk (Falk, 1991) prozessbetonende Instruktionen den oftmals verwendeten produktorientierten Instruktionen vor. Brugger (1995) unterscheidet explizite und implizite Instruktionen, kann aber genauso wenig wie Tune oder Falk Belege für die differenzielle Wirkung unterschiedlicher Instruktionstypen anführen. Diesen Makel machten Towse und Mclachlan (1999b) wett, indem sie Standardinstruktionen mit Instruktionen verglichen, die einerseits einen Bezug zur Lebenswelt des Individuums herstellten und andererseits bestimmte Aspekte bei der Produktion von Zufallsreihen wiederholten. Sie fanden jedoch keinen Einfluss der Instruktion auf die Zufallsgüte. Dies mutet umso erstaunlicher an, als dass selbst dann kein Einfluss zu verzeichnen war, wenn explizite Aspekte wie z.B. die Wiederholungsvermeidung innerhalb einer Reihe in der Instruktion angesprochen wurden. Generell scheint Random Generation relativ robust gegen einen Instruktionsbias zu sein.

Der Einfluss des individuellen Zufallskonzepts für interindividuelle Leistungsunterschiede, wurde von Chapanis (1953) anhand von Mathematikexperten untersucht. Collegestudenten mit Kenntnissen in Kombinatorik produzierten gegenüber einer studentischen Vergleichsgruppe bessere Zufallsreihen. Generell gilt zwar die

Annahme, dass menschliches Verhalten bei der Generierung von Zufallsreihen nie absolut zufällig ist, trotzdem geht Neuringer (1986) davon aus, dass „pseudozufälliges“ Verhalten mittels Feedback induzierbar sei. Durch die Beurteilung der Zufälligkeit von vorgegeben Itemreihen sollten Neuringers Versuchspersonen lernen, „wahre“ Zufallsreihen zu erkennen und selbst zu produzieren. In einem weiteren Schritt, produzierten die Probanden in insgesamt 6000 Durchgängen Zufallssequenzen, erhielten aber nach jeweils 100 Trials ein Feedback über die Abweichungen der eigenen Reihen von zufälligen Reihen. Ein Großteil der Versuchspersonen zeigte daraufhin keine Verbesserung der Zufallsgüte, einige wenige Versuchspersonen jedoch schon, eine Tatsache, die von Neuringer als Beleg für die Trainierbarkeit von Zufallskonzepten gesehen wird. Okura und Ikuta (in press) konnten ebenfalls einen Einfluss des Feedbacks nachweisen, geben aber zu, dass die im Anschluss an das Feedback produzierten Sequenzen immer noch weit entfernt von einer zufälligen Reihe sind. Kurzfristige Veränderungen im Zufallskonzept über Feedback oder Instruktion wirken sich offensichtlich nur in geringem Maß auf die Qualität der Zufallsproduktionen aus. Hierzu sind langfristige Trainingsstudien erforderlich, die möglicherweise Veränderungen in der Kompetenz auch auf die Performanz übertragen können (vgl. Herzog, 1989).

Klinische Studien mit Patienten, die an Morbus Alzheimer erkrankt waren oder Läsionen im frontalen Kortex aufwiesen, ergaben Leistungsdefizite bei der Ausführung der *Random Generation Aufgabe* (Brugger et al., 1996; Robertson, Hazlewood, & Rawson, 1996). Dies wird als Beleg für die Beeinträchtigung exekutiver Prozesse bei diesen Patienten diskutiert. Damit ergäbe sich nach Brugger eine diagnostische Bedeutung des Generierens von Zufallsreihen bei der Diagnose von Hirnschäden (Zucha, 1969) oder Morbus Alzheimer (Brugger et al., 1996). Baddeley fasst den Zusammenhang zwischen Ausfällen in frontalen Kortexarealen und die damit verbundenen funktionalen Defizite unter dem Oberbegriff des „dysexecutive syndrome“ zusammen (vgl. Baddeley & Wilson, 1988; Baddeley, della Sala, & Spinnler, 1991; Baddeley et al., 1997; Van der Linden et al., 1992). Zusätzlich zu derartigen Befunden lassen sich ebenfalls beeinträchtigte Randomisierungsleistungen bei klinischen Stichproben mit komorbiden Störungen der Aufmerksamkeit finden (Bayliss & Roodenrys, 2000; Azouvi et al., 1996).

Neben den genannten aufgabenimmanenten und individuellen Faktoren, stellt sich die Frage, welche weiteren kognitiven Prozesse bei der Generierung von

Zufallsreihen eine Rolle spielen. Tune (1964) und Weiss (1965) weisen ebenso wie Baddeley (1966a) der Aufmerksamkeit beim Generieren von Zufallsreihen eine Schlüsselposition zu. Wagenaar (1970), Evans und Graham (1980) machen individualspezifische Aktivierungsmuster und Perseverationstendenzen für interindividuelle Unterschiede in den Randomisierungsleistungen verantwortlich. Dabei können temporäre Aufmerksamkeitsschwankungen im Individuum ebenfalls zu intraindividuellen Schwankungen bei Zufallsproduktionen führen. Eine nähere Differenzierung der beteiligten kurzzeitigen Gedächtnisprozesse wird von Brugger (1997) in Anlehnung an Tune (1964) vorgeschlagen: Neben der Erinnerung des Ereignisraumes findet auch eine Erinnerung bisheriger Nennungen im stetigen Abgleich mit dem eigenen Zufallskonzept statt. Derartige Kontrollprozesse seien aber eher hinderlich bei der Generierung zufälliger Reihen. Brugger geht noch weiter und gibt zu bedenken: „If a living being could ever manage to forget immediately every past reaction, we would expect perfect sequential randomness in situations of repeated choice“ (1997, S. 646).

Jahanshahi und Dirnberger (1999) sprechen der Aufmerksamkeit ebenfalls eine Schlüsselrolle zu und präzisieren die beteiligten Prozesse in einem Verlaufsmodell: Demnach muss die dem Ereignisraum zu Grunde liegende Itemsequenz mit langfristig abgelegten Reihen sowie dem eigenen Zufallskonzept in Einklang gebracht werden. Während der Zufallsgenerierung ist ein ständiges Bereithalten des Ereignisraums als auch der subjektiven „Regeln“ für die Randomisierung (auf Basis des Zufallskonzepts) notwendig. Dann kommt es zur Bildung einer Produktionsstrategie. Diese zielt entweder auf die Auswahl angemessener Antwortteilsequenzen oder auf die Suppression von stereotypen, nicht mit der Instruktion oder dem eigenen Zufallskonzept übereinstimmenden Antwortmustern ab. Bereits getätigte Nennungen werden mit aktuell generierten Antworten vor dem Hintergrund des individuellen Zufallskonzepts im Sinne eines Monitoringprozesses abgeglichen. Werden aktuell generierte Antworten über den Monitoringprozess als nicht konform mit dem eigenen Zufallskonzept klassifiziert, kommt es zum Wechsel der Produktionsstrategie. Dabei besteht der Kernprozess bei der sequenziellen Randomisierung nach Jahanshahi und Dirnberger in der Inhibition gängiger Antwortstereotypen.

Baddeley (1966a) konstatiert ebenfalls, dass, entgegen einer naiven Annahme, zur Generierung von Zufallsreihen ein hohes Maß an Aufmerksamkeit notwendig ist. Er nimmt zur Erklärung von Random Generation ein kapazitätär begrenztes

System an. Baddeley verweist in diesem Zusammenhang auf das SAS-Modell (*supervisory attentional system*) nach Norman und Shallice (1986). In diesem Modell existieren zwei Arten der Handlungskontrolle. Normalerweise laufen automatisierte Handlungen nach festen Schemata ab und werden durch externe Cues ausgelöst. Diese Schemata weisen je nach Handlungsrelevanz eine hierarchische Organisation auf. Im Kontext eines bestimmten Handlungsmusters kann die hierarchische Organisation der einzelnen Schemata reorganisiert werden und zwar nach der aktuellen Relevanz für die Handlungsausführung. Dabei kann es natürlich bei Konkurrenz zweier Schemata zu Konflikten kommen, welche durch das *contention scheduling system* geregelt werden. Kommt es über neue, wichtigere Informationen zu einem Konflikt, wird das SAS aktiv. Es kann laufende Schemata inhibieren und (wieder) aktivieren also in die Ausführung automatisierter Schemata eingreifen. Bei der Generierung von Zufallsfolgen werden verschiedene nahe liegende Schemata wie das Aufsagen der normalen Zahlenreihe oder der eigenen Telefonnummer durch das SAS inhibiert bzw. unterbrochen. Stereotype, nahe liegende Antworten werden dadurch unterdrückt und zufällige Reihen werden generiert. Baddeley weist dem SAS-Modell einen hohen Erklärungswert in Bezug auf die *Random Generation Aufgabe* zu und setzt in frühen Arbeiten das SAS mit der zentralen Exekutive des Arbeitsgedächtnisses gleich (Baddeley, 1986).

Die Frage, welche Arbeitsgedächtnisprozesse sensu Baddeley bei der Generierung von Zufallsreihen eine Rolle spielen, wird von Baddeley, Emslie, Kolodny und Duncan (1998) in einer *Dual Task*-Studie untersucht. Zeitgleich zu Random Keypressing wird eine zweite *Random Generation Aufgabe* vorgegeben. Dabei erzielen die Autoren einen paradoxen Effekt: Die zusätzliche *Random Generation Aufgabe* beeinträchtigt die Leistung im Random Keypressing weniger, als eine Aufgabe zur Wortflüssigkeit. Um diesen Widerspruch aufzulösen nimmt Baddeley eine Prozessanalyse der Wortflüssigkeitsaufgabe und der *Random Generation Aufgabe* vor: Random Generation erfordert das Generieren eines Abrufplans, das Durchführen desselben und die Kontrolle des potenziellen Outputs über Monitoring-Prozesse. Hält die zufällige Reihe einer Prüfung auf Basis der eigenen Zufallskonzepte stand, kommt es zum Output (vgl. Jahanshahi & Dirnberger, 1999). Ähnliche Abruf- und Kontrollprozesse kommen bei der Wortflüssigkeitsaufgabe zum Einsatz. Da der stetige Wechsel von Abrufplänen in beiden Aufgaben simultan oder im schnellen Wechsel erfolgt, kommt es, ähnlich wie beim Effekt der Produktionsfre-

quenz, zu einer Ressourcenreduktion. D.h. der flexible Wechsel von Abrufplänen kann nicht mehr reibungslos funktionieren, weniger Wechsel der Abrufpläne produzieren stereotype Antwortmuster. Der flexible Wechsel von Abrufstrategien sei jedoch laut Baddeley bei zwei simultanen *Random Generation Aufgaben* eher möglich. Ein intermittierender Wechsel der jeweiligen Abrufpläne kann hier leichter erfolgen.

Um eine weitere Überprüfung des zentral-exekutiven Charakters von Random Keypressing vorzunehmen wurde zeitgleich eine verbale Version des Trailmaking Tests Version B vorgegeben. Da sowohl Random Generation als auch der Trailmaking Test den Wechsel von Abrufplänen erfordern, kam es zu einer Abnahme der Zufallsgüte. Baddeley sieht die Anzahl der verfügbaren Abrufpläne, die Möglichkeit vorhandene Abrufpläne zu aktivieren und die Kapazität frühere Abrufpläne und damit bereits ausgegebene Reihen zu inhibieren als konstituierend für die *Random Generation Aufgabe*. Daher postulieren Baddeley et al. (1998) zwei verschiedene Arten von Inhibition die für die möglichst zufällige Produktion von Itemreihen notwendig sind: die Hemmung unmittelbar verwendeter Schemata und die Hemmung der direkten Wiederholung eines Items. Die letztgenannte Inhibitionsart macht sich durch eine überdurchschnittliche unmittelbare Wiederholungsvermeidung in menschlichen Zufallsreihen bemerkbar und scheint auf einen automatisierten Prozess zurückzuführen zu sein, da sie über unterschiedlichste Stichproben und trotz gegenläufiger Instruktion gefunden werden konnte (vgl. Brugger, 1996; Rabinowitz et al., 1989; Towse, 1998; Towse & Mclachlan, 1999b).

Um die Rolle inhibitorischer Prozesse bei der Generierung von Zufallsreihen zu untersuchen, gaben Towse und Valentine (1997) ihren Versuchspersonen einen Ereignisraum mit zehn Items vor. Dabei handelte es sich um die Zahlenreihe von eins bis zwölf, allerdings mit der Instruktion, zwei bestimmte Zahlen aus dieser Zahlenreihe nicht für die Zufallsproduktion zu verwenden. Zur Kontrolle mussten die Versuchspersonen eine zufällige Reihe aus den Zahlen von eins bis zehn produzieren. Beide Zufallsreihen wiesen die gleiche Anzahl an Wiederholungsvermeidungen auf, in der Bedingung mit der zusätzlichen Inhibitionsanforderung konnten jedoch mehr Reihen aus der normalen Zahlensequenz gefunden werden („3-4-5“). Somit scheint durch die zusätzlich induzierte Inhibitionsanforderung die Vermeidung stereotyper Reihen schwieriger zu sein. Ähnliche Befunde ergaben sich bei älteren Menschen (Zwicklbauer, 2005) und Alzheimerpatienten (Brugger et al., 1996). Tow-

se und Valentine schließen darauf, dass die Inhibition von nicht im Itempool enthaltenen Ziffern dieselbe Anforderung aufweist wie die Inhibition von überlernten Zahlenfolgen.

Beim Einsatz von Random Generation im entwicklungspsychologischen Kontext ergeben sich folgende Fragestellungen: Können mit der *Random Generation Aufgabe* entwicklungsbedingte Veränderungen zentral-exekutiver Prozesse abgebildet werden? Falls dem so ist: Ab welchem Alter sind die Voraussetzungen zur Generierung von Zufallsreihen gegeben? Dazu existieren bislang nur wenige Studien.

Thomas (1969) ließ Versuchspersonen im Alter von sechs bis 18 Jahren Zufallsreihen aus Ziffern bilden. Dabei gab er seinen Versuchspersonen keine explizite Produktionsfrequenz vor. Er konnte nachweisen, dass sowohl die Zufälligkeit, gemessen über die redundanten Anteile der Sequenzen, als auch die individuell präferierten Produktionsraten sich über das Alter veränderten. Rabinowitz und Kollegen (1989) interessieren sich im Rahmen eines mathematischen Modells menschlicher Zufallsgenerierung für Altersunterschiede in der Qualität von Zufallsreihen. Die mit dem Alter zunehmende Zufälligkeit machen sie an unterschiedlichen, altersspezifischen Produktionsstrategien fest. So zeigten die von ihnen untersuchten Erstklässler eine erhöhte Präferenz für einfache Serien, wohingegen Kinder der fünften Jahrgangsstufe eine Tendenz zur Wiederholungsvermeidung aufwiesen. Für beide Altersgruppen sowie für die studentische Kontrollgruppe konnte eine Tendenz zur vollständigen Permutation des Itempools vor der erneuten Nennung eines Elements, dem so genannten *Cycling* nachgewiesen werden. Die Autoren fassen zusammen, dass „the number and complexity of the rules [to randomize] change with age“ (Rabinowitz et al., 1989, S.264) und führen dafür neben generellen kapazitären und prozessualen Faktoren die Veränderung des subjektiven Randomisierungskonzeptes an. Die Fähigkeit, zufällige Reihen zu generieren, attestieren Rabinowitz und Kollegen bereits ihrer jüngsten Experimentalgruppe: „Although conceptions of randomness improved with age, even 7-year-olds had a fairly sophisticated conception of randomness“ (S.265).

Dass Random Generation bereits ab einem Alter von fünf bis sechs Jahren möglich ist, diskutieren Towse und Mclachlan (1999b) in vier Experimenten an Fünf- bis Elfjährigen. In ihrer Studie untersuchen sie die Bedeutung der Produktionsfrequenz, der Itempoolgröße und der Instruktion anhand der Produktion von Zufalls-

zahlensequenzen. Die Produktionsfrequenz erwies sich dabei ebenso wie die Itempoolgröße als bedeutsam für die Qualität der Zufallsreihe und schlug sich etwa bei der Gleichgewichtung von Antwortalternativen nieder. Entwicklungsunterschiede bezüglich der Qualität der Randomisierungsreihen finden die Autoren lediglich in geringer Ausprägung. Deutlichere Unterschiede treten eher im Bereich von Ungleichgewichten von Entscheidungsalternativen oder Falschnennungen auf, also bei Aufnahme eines nicht im Itempool enthaltenen Elements in die Zufallsreihe. Die Autoren halten den Einsatz von Random Generation zur Untersuchung von Entwicklungsunterschieden für geeignet. Im Gegensatz zu Rabinowitz erachten sie nicht unterschiedliche Produktionsstrategien oder die Veränderung im Bereich einzelner Aufgabenaspekte als wesentlich für die Erklärung von Entwicklungsunterschieden. Vielmehr sehen sie quantitative Veränderungen auf Prozessebene als maßgeblich für die von ihnen gefundenen Unterschiede in der Performanz an.

6. Fragestellung

Die Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses im Vor- und Grundschulalter scheint allgemein gut dokumentiert (vgl. Alloway et al., 2004; Baddeley & Hitch, 2000; Gathercole et al., 2004). Lange Zeit wurde dabei ein Hauptaugenmerk auf die Entwicklung phonologischer und visuell-räumlicher Arbeitsgedächtnisleistungen gelegt (Gathercole & Baddeley, 1993; Schumann-Hengsteler, 1995), erst in jüngerer Zeit rücken auch zentral-exekutive Prozesse in den Fokus entwicklungspsychologischer Fragestellungen. Dabei wird implizit folgende Annahme zu Grunde gelegt, die auch für die Arbeit konstituierend sein soll: Zentral-exekutive Prozesse sind bereits im Vorschulalter vorhanden und messbar (vgl. Gathercole & Pickering, 2000a; Towse & Mclachlan, 1999b). Während in Untersuchungen zur Entwicklung subsystemspezifischer Arbeitsgedächtnisleistungen auf ein methodisch fundiertes Aufgabeninventar zurückgegriffen wird, kommen im Bereich entwicklungsbezogener Untersuchungen zur zentralen Exekutive meist unterschiedliche Versionen komplexer Spannaufgaben zum Einsatz (Alloway et al., 2004) deren prozessorale Erfordernisse bislang nur teilweise abgeklärt sind (vgl. Towse et al., 1998). Diese Einschränkung auf wenige Tests mutet insofern als Reduktionismus an, als der zentralen Exekutive eine Vielzahl von Prozessen zugesprochen wird und es, zumindest in Studien an Erwachsenen, einige viel versprechende Operationalisierungen gibt. Baddeley selbst schlägt u.a. die *Random Generation Aufgabe* als eine wesentliche

Operationalisierung zentral-exekutiver Teilprozesse vor. Diese führte in der Folge zu einer weiten Verbreitung der Aufgabe im Rahmen von *Dual Task* Studien zum Arbeitsgedächtnis. Auch bei entwicklungspsychologischen Fragestellungen ist mittlerweile ein vermehrter Einsatz von Random Generation im Rahmen des *Dual Task* Paradigmas zu verzeichnen (Karatekin, 2004; Zoelch et al., 2001; Biewald, 1998). Insofern erscheint es mehr als überfällig, diese Aufgabe zur Untersuchung sich entwickelnder zentral-exekutiver Teilprozesse näher zu betrachten.

Es stellt sich die grundsätzliche Frage, ob die Aufgabe im Vor- und Grundschulbereich einsetzbar ist und wie sie gegebenenfalls zu modifizieren sei, damit entwicklungsbedingte Unterschiede optimal abgebildet werden können. Towse und McLachlan (1999a, 1999b) sprechen sich auf Basis ihrer Befunde an Fünf bis Elfjährigen für den Einsatz von Random Generation bei Kindern aus und mutmaßen, dass die Aufgabe bei entsprechenden Modifikationen möglicherweise auch bei jüngeren Kindern eingesetzt werden kann. Eine wesentliche Voraussetzung zur Generierung von Zufallsreihen, das Verständnis eines zufälligen Prozesses bzw. das Vorhandensein eines Zufallskonzeptes sehen Rabinowitz und Kollegen (1989) für das Vorschulalter und in jedem Fall, das frühe Grundschulalter als gegeben an.

Bei der Frage des Einsatzes von *Random Generation Aufgabe* zur Abbildung sich entwickelnder zentral exekutiver Prozesse ist es maßgeblich, welche Aspekte entwicklungsbedingte Unterschiede in dieser Aufgabe determinieren. Dabei dürften, in Analogie zu den komplexen Spannenaufgaben, sowohl subsystemspezifische Speicher- als auch zentral-exekutive Verarbeitungsprozesse gleichermaßen das Zustandekommen von Entwicklungsunterschieden determinieren.

Inwiefern wirken sich **Art und Modalität des Ereignisraumes** auf die Randomisierungsleistung von Kindern aus? Diese Frage erscheint insofern wichtig, als eine wesentliche Voraussetzung für die Durchführung von Random Generation über einen seriell organisierten Itempool definiert wird. Dieser besteht traditionell meist aus Zahlen, aber auch aus Buchstaben oder zu drückenden Tasten, die zumindest eine ordinale Organisation aufweisen. Unterschiede in der Modalität werden einerseits auf die unterschiedlich geartete mentale Organisation der Ereignisräume aber auch auf die unmittelbare (automatisierte) Verfügbarkeit des Ereignisraumes – dem so genannten *Habit* – zurückgeführt (Towse, 1998). Allerdings werden empirisch gefundene Unterschiede zwischen einer verbalen und motorischen Output-Modalität nicht im Sinne einer natürlichen Begrenzung des Ereignisraumes diskutiert: Wäh-

rend bei der Random Number Generation Aufgaben der Pool der Itemalternativen theoretisch unendlich groß ist, wurde in Studien zum Random Keypressing (vgl. Baddeley et al., 1998) eine begrenzte Anzahl an Entscheidungsalternativen vorgegeben. D.h. in der von Baddeley und Kollegen verwendeten Anordnung gab es entsprechen der Itempoolgröße nur zehn Tasten. Folglich war eine Wahl anderer Tasten außerhalb des Ereignisraumes nicht möglich, eine Inhibition von vorhandenen aber nicht unmittelbar zu verwendenden Items ist damit nicht gefordert. Deshalb stellt sich die Frage, ob neben generellen Unterschieden in der Outputmodalität, die möglicherweise auf subsystemspezifische Arbeitsgedächtnisprozesse hinweist, eine aufgabenimmanente Begrenzung des Ereignisraumes ausschlaggebend für die Leistung in der *Random Generation Aufgabe* ist. Daher sollen in der vorliegenden Arbeit Vor- und Grundschulkindern verbale und räumlich-motorische Ereignisräume mit offenem und begrenztem Ereignisraum vorgegeben werden (Experiment 1). Hierzu wird neben einer konstanten Produktionsfrequenz ein begrenzter Itempool, der die kindlichen, subsystemspezifischen Speicherressourcen nicht überfordert, zur Anwendung kommen.

In bisherigen Studien wurden die Produktionsfrequenz und die Größe des Ereignisraumes als wesentliche Determinanten für die Qualität von Zufallssequenzen nachgewiesen. Als Grundlage für derartige Effekte werden ressourcenbegrenzte Abruf-, Bereithaltens- und Inhibitionsprozesse diskutiert (Towse, 1998). Die Rolle des *Habits* bzw. Automatisierungsgrades des Itempools wird dabei nur am Rande thematisiert. Dieser Aspekt dürfte aber bei Kindern eine entscheidende Rolle spielen, da sich neben motivationalen Komponenten, die sich über die grundsätzliche Vertrautheit mit dem Ereignisraum ergeben können, eine wesentliche Leistungsdeterminante über das kurzzeitige Bereithalten von Entscheidungsalternativen ergibt. Die Rolle begrenzter Speicherressourcen beim Bereithalten von Entscheidungsalternativen wurden u.a. in *Dual Task* Studien nachgewiesen (Towse & Valentine, 1997; Baddeley et al., 1998). Gerade für Kinder im Grundschulalter dürfte ein großer, nicht-automatisierter Itempool auf Grund geringerer Speicherkapazitäten eine unverhältnismäßig höhere Anforderung an die Randomisierungsleistung stellen als bei Erwachsenen. Daher soll soweit wie möglich sowohl bei der Instruktion als auch bei der Auswahl der Itempools auf vertraute kindliche Konzepte zurückgegriffen werden.

Um Random Generation zur Untersuchung von längerfristigen Entwicklungsunterschieden bei zentral-exekutiven Prozessen einzusetzen, interessiert die **Stabilität** bzw. **Reliabilität** dieser Aufgabe. Bisher existiert nur eine Studie, die die intraindividuelle Konsistenz bei der Produktion von Zufallsreihen zum Thema hatte: Wolitzky und Spence (1968) konnten für erwachsene Versuchspersonen eine bedeutsame Stabilität bei der Produktion von Zufallsreihen nachweisen. Dabei interpretierten sie ihre Befunde sowohl als Beleg für eine intraindividuelle Konsistenz als auch im Sinne konstanter interindividueller Unterschiede. Sie beschränkten sich allerdings bei der Analyse der Zufallsgüte auf lediglich eine Messgröße, nämlich der Gleichgewichtung aller Entscheidungsalternativen in der Zufallsreihe. Die von Neuringer (1986) vorgenommenen Trainingsversuche von Zufallskonzepten ergaben nur für Teile der untersuchten Stichprobe wesentlich Veränderungen und diese auch nur über eine Vielzahl von Durchgängen. Bei einer derartigen Robustheit der Aufgabe selbst unter der versuchten Einflussnahme mittels Feedback ist von einer relativ ausgeprägten Stabilität auszugehen. Zum Einsatz der Aufgabe bei **Vor- und Grundschulkindern** soll die **Stabilität** über drei wiederholte Messungen untersucht werden (Experiment 2).

Neben der **Beteiligung subsystemspezifischer Prozesse**, die vor allem beim Bereithalten des Ereignisraumes und dem Output der Zufallssequenzen eine Rolle spielen dürften (Brugger, 1997; Tune, 1964), werden Monitoringprozesse zur Kontrolle des Outputs diskutiert (vgl. Jahanshahi & Dirnberger, 1999). Um eine Gleichverteilung aller Handlungsalternativen und die Inhibition stereotyper oder bereits getätigter Reihen zu inhibieren muss der aktuell zu generierende Output mit der bereits unmittelbar getätigten Ausgabe verglichen werden. Dies geschieht vor dem Hintergrund eines individuellen Zufallskonzeptes und erfordert kurzzeitige Speicherprozesse. Towse (1998) konnte eine bessere Gleichverteilung von Antwortalternativen bei visueller Präsentation des Itempools erzielen – offensichtlich entlastet diese Form der Unterstützung die Speicheranforderung der Aufgabe. In einem weiteren Experiment des gleichen Autors (Towse & Valentine, 1997) wurde versucht die Bedeutung kurzzeitiger Speicherprozesse für das Outputmonitoring nachzuweisen: Erwachsene Versuchspersonen erhielten die Anweisung, nach der Produktion einer Zufallsreihe die Verwendungshäufigkeit der einzelnen Itemalternativen zu schätzen. Es ergab sich eine hohe Korrelation zwischen adäquater Schätzung der Produktionsfrequenz einzelner Items und der Randomisierungsgüte. Die Autoren interpretie-

ren dies als Beleg für die Relevanz von Speicherprozessen beim Monitoring. Aus beiden Experimenten lässt sich folgern, dass eine **Unterstützung von Monitoringprozessen** über eine Entlastung des *Memory Loads* zu einer Leistungssteigerung führen dürfte. Sollten die begrenzten Speicherkapazitäten bei Kindern maßgeblich zu Entwicklungsunterschieden in der *Random Generation Aufgabe* beisteuern, dürfte eine Unterstützung, sofern sie von Kindern effizient genutzt werden kann, ebenfalls zu einem Leistungsanstieg führen. Werden aufgabenspezifische Speicherprozesse reduziert, dürfte dies eine Verringerung von entwicklungsbedingten Leistungsunterschieden zur Folge haben. Verbleibende Unterschiede zwischen einzelnen Altersgruppen die bei einer Reduktion des *Memory Loads* gefunden werden, dürften dann eher auf speicherunabhängige Prozesse der zentralen Exekutive rückführbar sein. Ein **Unterstützungseffekt** sollte umso intensiver ausfallen, je größer die Speicheranforderung der Aufgabe per se ist, somit also beispielsweise bei einem größeren Itempool eine stärkere Entlastung der Speicherressourcen und damit einen stärkeren Leistungszuwachs hervorrufen (Experiment 3).

Die Inhibition von stereotypen Sequenzen sowie die Vermeidung von bereits unmittelbar gewählten Sequenzelementen werden von Baddeley und Kollegen (1998) als entscheidend bei der Produktion von Zufallsreihen erachtet. Towse und Valentine (1997) variierten die Inhibitionsanforderung indem sie von ihren Versuchspersonen verlangten, aus einer festen Zahlensequenz, den Zahlen von eins bis zwölf, zwei Zahlen gezielt auszulassen. Die so erzielten Zufallsreihen enthielten zehn Items und wurden von den Autoren mit einer Zufallsreihe aus den Zahlen eins bis zehn verglichen. Während die Gleichverteilung der einzelnen Itemalternativen in beiden Bedingungen gleich blieb, wurden in der Inhibitionsbedingung mehr Sequenzreihen aus benachbarten Zahlenelementen gebildet, es kam also zu stereotypen Antwortmustern. Die **erhöhte Inhibitionsanforderung** dürfte auch den *Memory Load* der Aufgabe heraufsetzen, da der geänderte Itempool bzw. die zu inhibierenden Items bereitgehalten werden müssen. Käme eine Unterstützung über eine visuelle Präsentation des Ereignisraumes zum Einsatz, müsste sich ein künstlich induzierter Suppressions-/ Inhibitionseffekt, so er sich in hohem Maße über Speicherkapazitäten definiert, kompensieren lassen. Zu diesem Zweck sollen Vor- und Grundschulkindern zunächst gezielt **Items aus einem sequenziellen Itempool inhibieren**. In einem nächsten Schritt sollen über eine zusätzliche Präsentation des Ereignisraumes die so erhaltenen erhöhten Inhibitionsanforderungen kompensiert

werden um die Bedeutung von Speicherprozessen für die Inhibition zu dokumentieren (Experiment 4).

Random Generation findet mittlerweile als Zweitaufgabe auch in entwicklungspsychologischen Fragestellungen vermehrt Verbreitung. Neben diesem eher experimentellen Einsatz im Rahmen des *Dual Task* Paradigmas, stellt sich die grundlegende Frage, ob Random Generation als Primäraufgabe zur **Abbildung von sich entwickelnden zentral-exekutiven Prozessen** eingesetzt werden kann. Diese Frage steckt als Kernfrage in allen Experimenten dieser Arbeit und kann über eine experimentelle Variation zumindest teilweise beantwortet werden. Erst wenn klar ist, in welchem Ausmaß Inhibitions- und Speicherprozesse bei Aufgabenbearbeitung eine Rolle spielen, kann die Aufgabe schrittweise an die spezifischen Besonderheiten kindlicher Informationsverarbeitung adaptiert werden. Dann erst kann die Frage der Abbildung von sich entwickelnden zentral-exekutiven Prozessen befriedigend geklärt werden. Da davon auszugehen ist, dass die an der *Random Generation Aufgabe* beteiligten Prozesse sich in unterschiedlicher Weise entwickeln, erscheint es angeraten zu sein, die entwicklungsbezogene Messung der beteiligten zentral-exekutiven Prozesse auch nicht nur im Rahmen der *Random Generation Aufgabe* zu untersuchen. Zunächst sollte ein Vergleich unterschiedlicher Aufgaben aufzeigen, inwieweit andere Operationalisierungen ähnliche Prozesse messen und entwicklungsbedingte Unterschiede darstellen können. Da die *Random Generation Aufgabe* keine erschöpfende Operationalisierung aller bislang in der Literatur diskutierten Prozesse darstellt, sollte sich eine entwicklungsbezogene Untersuchung der zentralen Exekutive auf mehrere Tests stützen, die unterschiedlichste zentral-exekutive Prozesse messen. Ein Vergleich von Entwicklungslinien die anhand unterschiedlicher zentral-exekutiver Operationalisierungen zustande gekommen sind, kann wertvolle Erkenntnisse zur Dissoziation zentral-exekutiver Prozesse beitragen. Dieser Ansatz, die *Developmental Fractionation* (vgl. Hitch, 1990; Logie & Pearson, 1997) erbrachte im Bereich visuell-räumlicher Gedächtnisleistungen entscheidende Befunde für die Trennung des Systems in eine statisch-visuelle und eine dynamisch-räumliche Teilkomponente (vgl. auch Schumann-Hengsteler et al., 2004; Pickering et al., 2001). Entscheidend für eine Dissoziation zentral-exekutiver Prozesse dürften zwei wesentliche Aspekte sein: Ab wann sind unterschiedliche zentral-exekutive Prozesse messbar und welchen Entwicklungsverlauf nehmen sie? Die Frage nach der Messbarkeit eines Prozesses liefert ungefähre Anhaltspunkte für

das Einsetzen der Entwicklung, aber auch Informationen darüber, wann Prozesse sich ausdifferenzieren beginnen. Dies kann beispielsweise bei Inhibitionsprozessen bedeuten, dass diese sich zunächst nur an der gezielten Ausblendung irrelevanter visueller Information bei Bearbeitung einer sprachlichen Aufgabe messen lassen. Erst später kann die Unterdrückung automatisierter Handlungsfolgen oder Reaktionstendenzen erfolgen. Die Inhibition von irrelevanter Information innerhalb einer Modalität bei gleichzeitiger Fokussierung auf relevante Stimuli kann zu einem noch späteren Punkt einsetzen. Dieses dreiteilige Beispiel zeigt, dass, obwohl ein wesentlicher Prozess, in diesem Fall die Inhibition, möglicherweise früh vorhanden ist, seine qualitative Ausdifferenzierung nur über den Ansatzpunkt unterschiedlicher Operationalisierungen dargestellt werden kann. Das gewählte Beispiel macht aber auch deutlich, dass die im Kontext der zentralen Exekutive oft vernachlässigten modalitätsspezifischen Aufgabenanteile ebenfalls relevante Leistungsanteile darstellen. Dies wird umso deutlicher, wenn die Sprachbezogenheit vieler zentral-exekutiver Tests näher in Betracht gezogen wird. So erfordert die *Stroop Aufgabe* in ihrer ursprünglichen Form eine automatisierte Leseleistung. Um die Aufgabe jedoch mit Vorschulkindern durchführen zu können, muss diese Anforderung im Sinne des kindlichen Leistungsstandes modifiziert werden.

Daher sollen im abschließenden Experiment dieser Arbeit insgesamt sieben zentral-exekutive Tests zum Einsatz kommen. Neben der Kontrastierung der Tests untereinander sollen die Entwicklungslinien unterschiedlicher zentral-exekutiver Prozesse dargestellt und im Sinne einer entwicklungsbezogenen Dissoziation diskutiert werden.

III. Empirische Studien

1. Experiment 1

Ziel des ersten Experiments ist es, den Einfluss unterschiedlicher Ausgabe-modalitäten auf die Leistung in der *Random Generation Aufgabe* zu untersuchen. Dabei wird zwischen der verbalen und der motorischen Outputmodalität unterschieden. Die Existenz von subsystemspezifischen Anteilen an der *Random Generation Aufgabe* wird gemeinhin als gegeben angesehen (Vandierendonck et al., 1998b), jedoch gestalten sich bisherige Befunde zu subsystemspezifischen Arbeitsgedächtnisprozessen bei der *Random Generation Aufgabe* ob der unterschiedlichen methodischen Herangehensweisen als uneinheitlich (Baddeley et al., 1998; Towse, 1998; Towse & Valentine, 1997). Von Relevanz ist über die reine Outputmodalität hinaus die Frage nach der mentalen Repräsentation des Ereignisraumes. Hier dürften Modalitätsunterschiede gerade bei jüngeren Kindern eine Rolle spielen. Zu diesem Zweck sollen Kinder im Vor- und Grundschulalter mit Erwachsenen verglichen werden. Um der niedrigeren subsystemspezifischen Speicherkapazität von Kindern Rechnung zu tragen, wird die Größe des Ereignisraumes entsprechend adaptiert (vgl. Brugger, 1997). Die Frage nach der expliziten Begrenzung des Ereignisraumes dürfte bei Kindern ebenfalls von Relevanz sein: Bei der klassischen Keypressing Aufgabe sensu Baddeley stimmte die Anzahl der Tasten mit dem Ereignisraum überein. Damit können Items außerhalb des Ereignisraumes (andere Tasten) nicht produziert werden, eine selbständige Inhibition von Items außerhalb des Itempools wie bei der zahlenbasierten Zufallsgenerierung ist damit nicht von Nöten. Diesem Aspekt soll Rechnung getragen werden, indem innerhalb der beiden Ausgabemodalitäten jeweils ein explizit begrenzter und ein „offener“ Ereignisraum zum Einsatz kommen.

1.1 Methode

Stichprobe. Insgesamt nahmen 69 Versuchspersonen an der Untersuchung teil, die Stichprobe setzte sich aus drei Altersteilstichproben zusammen: 21 Fünfjährigen ($M = 5;8$, $SD = ;5$), 24 Neunjährigen ($M = 9;4$ $SD = ;8$) und 24 Erwachsenen ($M = 25;3$; $SD = 5;2$). Auf eine Gleichverteilung des Geschlechts innerhalb der einzelnen Teilstichproben wurde soweit wie möglich geachtet.

Material. Die Versuchspersonen mussten Zufallsreihen auf Basis von vier verschiedenen Itempools mit jeweils vier Elementen bilden. Unterschieden wurde einerseits zwischen einer verbalen und einer motorischen Modalität und andererseits zwischen einem explizit „geschlossenen“ und einem „offenen“ Ereignisraum. Die „geschlossenen“ Itempools bestanden aus den vier Jahreszeiten (verbal) und vier Positionen auf einer Schablone (motorisch), die „offenen“ Itempools aus den Zahlen von eins bis vier (verbal) und vier Handbewegungen (vgl. Anhang 1). Die offenen Itempools stammen jeweils aus Itempopulationen, die theoretisch unendlich groß sind. Dies gilt natürlich auch für räumliche Positionen, entscheidend ist aber, dass die Inhibition von nicht zum Itempool gehörigen Elementen bei den offenen Ereignisräumen von der Versuchsperson selbst bewerkstelligt werden muss. Hingegen ist beim geschlossenen Itempool entweder genuin – im Falle der Jahreszeiten – oder durch die Reaktionsumgebung – im Falle begrenzt vorgegebener Positionen – keine vom Itempool abweichende Nennung möglich. Innerhalb jeder Bedingung produzierte jede Versuchsperson mindestens 70 Nennungen von denen jeweils die ersten 60 in die Auswertung aufgenommen wurden.

Exkurs: Indices zur Beurteilung der Zufallsgüte. Zufälligkeit lässt sich nicht beweisen sondern nur falsifizieren (Kap. II.5). Ford (1983) spricht eine zusätzliche Problematik an: „There is no single calculable test that can rigorously prove a sequence to be random“ (S. 338). Auch Towse (Towse, 1998) teilt die Meinung, dass ein einziges Gütemaß nicht ausreiche, um die Zufälligkeit einer Sequenz zu beurteilen, da Random Generation ein multidimensionaler Prozess sei. Mehrere Maße würden den unterschiedlichen Dimensionen der Zufälligkeit gerecht und seien im Sinne einer ergänzenden Komplementarität zu betrachten. Insofern sei auch eine multivariate Betrachtungsweise bei der Beurteilung der Zufallsgüte über mehrere Zufallsmaße die Methode der Wahl.

Bei den im Folgenden dargestellten Indices handelt es sich um eine Auswahl gebräuchlicher Maße zur Beurteilung der Zufälligkeit von Itemsequenzen. Jedes Maß wird vor dem Hintergrund der jeweiligen Messintention und in seiner allgemeinen Bedeutung bei der Beurteilung von Zufallssequenzen dargestellt. Eine dezidierte Übersicht über diese und weitere Maße finden sich bei Towse und Neil (Towse & Neil, 1998) sowie bei Evans (1978) und Ginsburg und Karpiuk (1994).

Redundancy (R). R misst die Gleichverteilung aller möglichen Antwortalternativen in einer Zufallsreihe. Gibt es Unterschiede in den Auftretenshäufigkeiten der einzelnen Antwortalternativen eines Itempools ist die Itemsequenz nicht zufällig oder redundant. R als Maß für die Redundanz einer Reihe im Sinne der Abweichung von der idealen Gleichverteilung der Antwortalternativen errechnet sich nach folgender Formel:

$$R = 100 \times \left(1 - \frac{H_{\text{single}}}{H_{\text{max}}} \right)$$

Formel 1: *Redundancy (R)*

Hierbei beschreibt H_{single} (vgl. Formel 1) den Informationsgehalt erster Ordnung mit n für die Anzahl der Elemente der zu analysierenden Zufallsreihe und n_i für die Auftretenshäufigkeit der i -ten Antwortalternative. Falls $n_i = 0$ ergibt, wird die jeweilige Teilberechnung aus der Gesamtberechnung ausgeschlossen.

$$H_{\text{single}} = \log_{2n} - \frac{\sum (n_i \log_2 n_i)}{n}$$

Formel 2: H_{single}

H_{max} beschreibt den maximal möglichen Informationsgehalt einer Reihe und errechnet sich nach folgender Formel:

$$H_{\text{max}} = \log_2 a$$

Formel 3: H_{max}

R kann Werte zwischen 0 und 100 annehmen, wobei ein Wert von 0 die absolute Gleichverteilung aller Antwortalternativen andeutet und ein Wert von 100 die Nennung nur einer Antwortalternative indiziert. Höhere Werte deuten somit die Präferenz für bestimmte Antwortalternativen an (vgl. Towse & Neil, 1998). R stellt damit ein Maß für die Häufigkeitsverteilung der Antwortalternativen innerhalb einer Sequenz dar und berücksichtigt nicht die Reihenfolge und Relation der einzelnen Sequenzelemente zueinander.

Random Number Generation Index (RNG). RNG berücksichtigt die Relation der einzelnen Sequenzelemente zueinander. Es beschreibt die Häufigkeiten von unmittelbar aufeinander folgenden Zahlenpaaren einer Sequenz vor der Gesamtheit aller möglichen Paarkombinationen, d.h. wie oft folgt jede Antwortalternative auf

eine andere Antwortalternative. Als Index für die gepaarte Redundanz wurde es erstmals bei Evans (1978) beschrieben und errechnet sich nach der Formel:

$$RNG = \frac{\sum f_{ij} \log f_{ij}}{\sum f_i \log f_i}$$

Formel 4: *Random Number Generation Index (RNG)*

Alle möglichen Paarkombinationen ergeben sich aus einer Kombinationsmatrix. Nach Evans muss dabei auch die letzte mit der ersten Antwortalternative eines I-tempools kombiniert werden, um die Menge aller Paarkombinationen zu erhalten. Bei f_{ij} handelt es sich um die Auftretenshäufigkeit jeder Paarkombination in der Zufallsreihe, f_i gibt die entsprechende Häufigkeit der Alternative i an. Der *RNG* Index lässt sich theoretisch auch für drei oder mehrere aufeinander folgende Antwortitems berechnen. Der *RNG* Wert reicht von 0 bis 1, wobei 0 die absolute Gleichverteilung aller möglichen Antwortpaare signalisiert und 1 die Nutzung nur einer Antwortpaarkombination.

Adjacency (A). Durch A wird der Anteil von stereotypen Antwortpaaren an der Zufallssequenz ausgedrückt. Unter stereotypen Paaren werden jene verstanden, die in der ursprünglichen, den Itempool definierenden ordinalen Reihe unmittelbar benachbart sind, also z.B. in einer Zahlenreihe 1 – 2 oder 8 – 7. Es ergeben sich unter Berücksichtigung der Reihenfolge der benachbarten Paare eines Itempools drei verschiedene Arten von *Adjacency* Indizes: $A_{ascending}$ umfasst alle aufsteigenden Paare, $A_{descending}$ alle absteigenden Paare und $A_{combined}$ sowohl auf- als auch absteigende Paare. Normalerweise handelt es sich bei Angabe des *Adjacency* Wertes um $A_{combined}$ (vgl. Formel 5).

$$A = \left(\frac{n_{\text{adjacent pairs}}}{n_{\text{response pairs}}} \right) \times 100$$

Formel 5: *Adjacency* Index mit $n_{\text{adjacent pairs}}$ als Häufigkeit aller beobachteten, benachbarten auf- und absteigenden Paare und $n_{\text{response pairs}}$ als Anzahl aller produzierten Paare.

A wird als Prozentwert angegeben, wobei ein Wert von 0% die Vermeidung sämtlicher benachbarter Paare indiziert und ein Wert von 100% die ausschließliche Nut-

zung benachbarter Paare anzeigt. A kann als Sonderfall des RNG -Index angesehen werden.

Phi 2 Index (ϕ). Die unterschiedlichen ϕ -Indices stellen ein Maß für die Wiederholungstendenz der einzelnen Antwortalternativen nach d Itemnennungen dar. $Phi\ 2$ stellt somit ein Maß für das Verhältnis tatsächlich beobachteter zu erwarteten unmittelbaren Itemwiederholungen dar.

$$frequency(r_1, r_2, \dots, r_d)_{expected} = \frac{f(r_1 \dots r_{d-1}) \times f(r_2 \dots r_d)}{f(r_2 \dots r_{d-1})}$$

Formel 6: Theoretisch erwartete Frequenzen. r_x bezeichnet die Nennung für das x -te Item in der Sequenz.

$$\phi = \sqrt{\frac{\chi^2}{T}} \times 100$$

Formel 7: Berechnung von Phi . T ist die Gesamtlänge der Sequenz.

Der Wert für ϕ kann zwischen -100 und 100 schwanken, wobei ein negativer Wert anzeigt, dass entgegen einem theoretischen Erwartungswert weniger Wiederholungen im Abstand von d Nennungen gemacht wurden, entsprechend deutet ein positiver Wert mehr Wiederholungen an.

Wichtig für die Interpretation der Indices ist neben ihrer spezifischen Messintention auch die Frage nach ihrem Zusammenhang. Neben theoretisch begründeten Zusammenhängen wie demjenigen zwischen *Adjacency* und dem RNG -Index (s.o.) ergaben sich mittlerweile auch empirische Evidenzen, die das Verhältnis der Maße untereinander beleuchteten. Towse und Neil (Towse & Neil, 1998) führten eine exploratorische Faktorenanalyse über 18 Indices zur Messung der Zufallsgüte durch. Sie extrahierten vier Faktoren auf denen die überwiegende Anzahl der Indices in hohem Maße luden. Die vier Faktoren wurden entsprechend der theoretischen Messintention der Indices betitelt. Auf Faktor 1 – „Ausgewogenheit der Antwortalternativen“ – luden u.a. der RNG -Index und *Redundancy*. Faktor 2 – als „kurze Wiederholung“ betitelt – wies eine hohe Ladung des $Phi\ 2$ -Index auf, während auf Faktor 3 („vorherrschende Assoziationen“) die Indices *Adjacency* als auch RNG jeweils hoch luden. Der vierte Faktor wurde mit „lange Wiederholung“ bezeichnet und wies u.a. hohe Ladungen von $Phi\ 5$, $Phi\ 6$ und $Phi\ 7$ auf, allesamt Maße, welche die generelle, über mehrere Durchgänge verzögerte Wiederholungstendenz

innerhalb einer Reihe messen. Dies zeigt, dass die Maße trotz gewisser Zusammenhänge (*RNG* und *A*), unterschiedliche Faktoren innerhalb einer Zufallsreihe messen.

Über die eben beschriebenen Maße hinaus gibt es noch eine Reihe von Indices wie *Random Number Generation 2* (Neuringer, 1986), *Turning Point Index* (Azouvi et al., 1996), *Runs* (Ginsburg & Karpiuk, 1994), *Coupon Index* (Ginsburg & Karpiuk, 1994), *Repetition Gap* (Ginsburg & Karpiuk, 1994), *Guttman's Null Score Quotient* (Brugger et al., 1996), *Phase Length* (Kendall & Ord, 1993), *First Order Differences* (Treisman & Faulkner, 1987; Wiegersma, 1984) und *Repetition Distance* (Wagenaar, 1972) auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, da sie für die vorliegende Arbeit eine untergeordnete Rolle spielen.

Versuchsdesign. Jede Versuchsperson absolvierte zwei verbale und zwei motorische Produktionsbedingungen, jeweils eine mit offenem und eine mit geschlossenem Ereignisraum. Es ergibt sich damit ein dreifaktorielles Design über die Zwischensubjektvariable *Altersgruppe* und die Innersubjektvariablen *Modalität* und *Geschlossenheit des Ereignisraumes*.

Versuchsablauf. Jede Versuchsperson absolvierte in vier aufeinander folgenden Durchgängen jeweils eine Random Generation Bedingung. Die Abfolge der Durchgänge war zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten für jede Versuchsperson randomisiert. Bei den Kinderstichproben wurde eine Pause von mindestens zwei Minuten zwischen der zweiten und der dritten Untersuchungsbedingung vorgegeben. Auf Wunsch konnte nach jeder Untersuchungsbedingung eine Pause vorgenommen werden. Die Testung fand in einem ruhigen Raum statt. Jeder Durchgang beinhaltete eine der vier Aufgaben zu einer der beiden Outputmodalitäten mit begrenztem oder offenem Ereignisraum. Alle vier Aufgaben hatten einen identischen Itempoolumfang von vier Items. Das Produktionsintervall war ebenfalls für jede Bedingung identisch und betrug zwei Sekunden pro Item. Insgesamt mussten die Versuchspersonen pro Bedingung zweieinhalb Minuten lang randomisieren. Wurden fehlerhafte Nennungen getätigt (falsche Handbewegungen, Zahlen außerhalb des Itempools) so wurde dies protokolliert und die Versuchspersonen mussten entsprechend länger randomisieren. Es wurde darauf geachtet, dass jede Versuchsperson pro Durchgang einen etwa 30 Sekunden dauernden Übungsdurchgang absolvierte, um sich einerseits mit der Modalität vertraut zu machen und andererseits an die Produkti-

onsfrequenz von zwei Sekunden zu gewöhnen. Dabei wurde entgegen der gängigen Praxis aus Studien mit Erwachsenen während der eigentlichen Untersuchung kein externer Taktgeber verwendet. Dies geschah zur Vermeidung eines höheren Kontrollaufwandes, der beim stetigen Abgleich einer eigenen Produktionsfrequenz mit einer extern vorgegebenen Taktfrequenz entstehen würde. Um trotzdem ein konstantes Produktionsintervall zu gewährleisten, wurde vor dem jeweiligen Probedurchgang das Aufrechterhalten der Produktionsfrequenz trainiert. Dazu gab der Versuchsleiter durch gleichmäßiges Klopfen einen Zweisekundenrhythmus vor. Die wurde von der Versuchsperson nachgeklopft und dann im Probedurchgang für die Produktion der Items übernommen. Gleichzeitig gab der Versuchsleiter noch den Rhythmus vor und blendete das Klopfsignal dann aus, wenn die Versuchsperson die Produktionsfrequenz selbständig einhielt. Während der Testung wurde durch den Versuchsleiter anhand eines visuellen Taktgebers kontrolliert, ob die Produktionsfrequenz eingehalten wurde, bei Abweichungen von einer halben Sekunde, gab der Versuchsleiter ein kurzes Signal die Frequenz zu beschleunigen oder abzu-bremsen. Führt dies zu keiner Veränderung oder vergrößerte sich die Abweichung von der Zweisekundenfrequenz, so deutete der Versuchsleiter den Takt kurzzeitig an, um der Versuchsperson die Annäherung an das die Zweisekundenfrequenz zu erleichtern. Es wurde darauf geachtet, dass jede Versuchsperson in der eigentlichen Produktionsbedingung mindestens 70 Nennungen erzielte. Die Zufallsreihen der Versuchspersonen wurden entweder im Falle der Handbewegungen per Video aufgezeichnet, bei der räumlichen Zufallsgenerierung per Touchscreen über einen Laptop protokolliert oder im Rahmen der sprachgestützten Zufallsreihen per Mini-Disk-Gerät aufgezeichnet.

In der Instruktion (vgl. Anhang 1) wurde sowohl auf den Prozess als auch auf das Produkt der Zufallsgenerierung eingegangen. Zur Einführung der Bedingungen erhielten die Versuchspersonen einzelne Bildkarten auf denen die jeweiligen Items des Ereignisraumes in einer ordinalen Abfolge abgebildet waren. Dabei wurde darauf geachtet, die Itemreihe nicht im Sinne einer waagrecht oder senkrecht angeordneten Abfolge mit Anfang oder Ende einzuführen, sondern als Kreis oder Viereck ohne erkennbaren Anfangs- und Endpunkt zu präsentieren. Im Falle der Zahlen- und Jahreszeitenbedingung wurde bei den Kinderstichproben die Bekanntheit der einzelnen Items sowie der ursprünglichen Reihenfolge der Items abgeprüft, um zu gewährleisten, dass alle Items gleichermaßen bekannt waren. Die einzelnen Hand-

bewegungen wurden während der Instruktions- und Übungsphase nicht nur in Form von Bildkarten vorgelegt, sondern auch durch den Versuchsleiter demonstriert. Vor dem Probedurchgang wurde der komplette Itempool der Handbewegungen mindestens dreimal und maximal fünfmal mit jeder Versuchsperson geübt.

Zur Erklärung der Zufallsnennung der einzelnen Items wurden alle Itemkarten in einen Zylinder geworfen und aus diesem einzeln gezogen und wieder zurückgelegt. Zusätzlich kam noch eine Abbildung zum Einsatz (vgl. Anhang 1), auf der dargestellt wurde, wie die Items im Hut/Sack kräftig durchgemischt würden und man vorher nie wisse, welches Item dann als nächstes gezogen würde. In der Instruktion wurde auch betont, dass es durchaus vorkommen könne, dass ein Item zweimal hintereinander gezogen würde. Bei der räumlichen Bedingung wurde den Kinderstichproben die Zufälligkeit über ein „Fang-Mich-Spiel“ mittels zweier Spielfiguren zusätzlich erklärt. Aufgabe sei es, die Spielfigur so hüpfen zu lassen, dass ihr Pfad nicht vorausgeahnt werden könne. Zur Bedingung der vier räumlichen Positionen wurde vor den Versuchspersonen ein Touchscreen waagrecht positioniert. Dieser war mit einer Schablone abgedeckt, die vier Aussparungen enthielt, welche die vier zu randomisierenden Positionen darstellten. Da es zwischen den Altersgruppen erhebliche Unterschiede in den Handgrößen gab, konnten die Schablonen gewechselt werden, um es der Versuchsperson zu ermöglichen, beide Hände auf die Schablone abzulegen und mit den Zeigefingern und Daumen der rechten und linken Hand jeweils eine Position fest zu belegen und durch Drücken auf den Touchscreen anzusteuern.

1.2 Ergebnisse

Aus den einzelnen bedingungsspezifischen Zufallssequenzen wurden jeweils 20 Indices zur Beurteilung der Zufallsgüte errechnet, von denen vier in einer multivariaten Varianzanalyse ausgewertet wurden. Eine multivariate Auswertung ist im Falle der Beurteilung von Zufälligkeit deswegen notwendig, da Zufälligkeit nicht direkt beobachtbar ist und als Absenz von Ordnung im Sinne eines mehrdimensionalen Prozesses zu verstehen ist. Nach Towse und Neil (1998) kann nur eine multivariate Betrachtung dem multidimensionalen Aspekt der Zufälligkeit gerecht werden. Im Einzelnen wurden dazu zwei Maße zur Beurteilung der Gleichverteilung von Antwortalternativen und Itempaarungen (*Redundancy*, *RNG*), ein Maß zur Messung stereotyper Antwortsequenzen (*Adjacency*) und ein Index zur Indikation der unmit-

telbaren Itemwiederholung (Φ^2) hinzugezogen. Neben der multivariaten Überprüfung wurden die einzelnen Faktoren anhand jedes Index univariat betrachtet. Zur Überprüfung der Mittelwertsunterschiede wurden t-Tests für abhängige bzw. unabhängige Stichproben angewandt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Effekte wurden für die Haupteffekte Effektgrößen auf Basis der Varianzanalysen und Mittelwertvergleiche berechnet. Die Effektgröße f basiert auf der varianzanalytischen Auswertung, wobei Werte von f um .10 einem schwachen, Werte um .25 einem mittleren und Werte um .50 einem starken Effekt entsprechen. Die Effektgröße für t-Tests bei abhängigen und unabhängigen Stichproben wird als ε bzw. ε' angegeben und entspricht mit $\varepsilon / \varepsilon' = .20$ einem kleinen Effekt, $\varepsilon / \varepsilon' = .50$ einem mittleren Effekt und $\varepsilon / \varepsilon' = .80$ einem großen Effekt (vgl. Bortz & Döring, 1995; Bortz, 1993).

Die dreifaktorielle multivariate Varianzanalyse über die Faktoren *Altersgruppe*, *Modalität* und *Geschlossenheit des Ereignisraumes* (im Folgenden auch *Ereignisraum*) ergab sowohl einen signifikanten *Alterseffekt* ($F(8, 124) = 9.92, p < .001, f = 0.80$) als auch jeweils einen bedeutsamen Effekt der *Modalität* ($F(4, 63) = 4.29, p < .01, f = .52$) sowie der *Geschlossenheit des Ereignisraumes* ($F(4,63) = 5.71, p < .001, f = .60$). Die altersspezifische Wirkung der Haupteffekte deutet sich über eine bedeutsame Interaktion der Faktoren *Modalität* und *Altersgruppe* ($F(8, 124) = 5.03, p < .001$) sowie der dreifachen Interaktion der Faktoren *Modalität*, *Ereignisraum* und *Altersgruppe* ($F(8, 124) = 4.19, p < .001$) an. Die Innersubjektfaktoren *Modalität* und *Ereignisraum* interagieren ebenfalls signifikant miteinander ($F(4, 63) = 6.03, p < .001$) und weisen auf eine modalitätsspezifische Wirkung des Faktors *Ereignisraum* hin. Da bezüglich der Faktoren *Modalität* und *Ereignisraum* von einer disordinalen Interaktion auszugehen ist, verbietet sich eine globale Interpretation der beiden Faktoren. Nähere Information zur Wirkrichtung der Faktoren soll nun die univariate Analyse erbringen. Sie basiert auf einer dreifaktoriellen Varianzanalyse über jeweils einen Index. Dabei wird bei vorliegen signifikanter Einzeleffekte näher auf die Unterschiede zwischen den Faktorabstufungen eingegangen werden.

Redundancy. Mit diesem Maß wird die Gleichverteilung der Antwortalternativen gemessen. Ein gegen 0 gehender Wert deutet die absolute Gleichverteilung aller Items an. Abbildung 2 zeigt die Redundancy-Werte für alle Bedingungen und Altersgruppen (vgl. Tabelle 1 in Anhang 1). Die dreifaktorielle Varianzanalyse zeigt einen signifikanten Effekt der Altersgruppe ($F(2, 66) = 10.24, p < .001, f = .56$), nicht

jedoch bei den Faktoren der *Modalität* ($F(1, 66) = 2.08, p > .05, f = .18$) oder des *Ereignisraumes* ($F(1, 66) = 2.27, p > .05, f = .19$). Interaktionen zwischen den Faktoren *Modalität* und *Altersgruppe* ($F(2, 66) = 3.30, p < .05$) sowie *Modalität* und *Ereignisraum* ($F(1, 66) = 19.23, p < .001$) deuten auf eine uneinheitliche Wirkung der Faktoren hin.

Diese uneinheitliche Wirkung der Faktoren *Modalität* und *Ereignisraum* zeigt sich auch bei der Analyse der Mittelwertsdifferenzen innerhalb der Altersgruppen. Dabei ergaben sich für die Erwachsenen beim Vergleich innerhalb der motorischen Modalität signifikante Unterschiede ($t(23)=2.26, p < .05, \epsilon' = .65$). Weitere Differenzen ergaben sich zwischen den Bedingungen *motorisch-offen* und *verbal-offen* ($t(23)=3.17, p < .01, \epsilon' = .92$) sowie *motorisch-offen* und *verbal-geschlossen* ($t(23)=-2.92, p < .05, \epsilon' = .84$). Damit hebt sich bei den Erwachsenen die Randomisierungsleistung im Itempool *motorisch-offen* (Handbewegungen) von allen anderen Bedingungen statistisch signifikant ab.

Bei den Grundschulkindern zeigte sich lediglich beim Vergleich der Bedingung *motorisch-offen* und *verbal-offen* eine bedeutsame Mittelwertsdifferenz ($t(23)=-2.69, p < .05, \epsilon' = .78$). Innerhalb der motorischen und verbalen Bedingungen ergaben sich keinerlei statistisch signifikante Mittelwertsunterschiede, auch wenn sich gegenläufige Effekte für den Faktor *Geschlossenheit des Ereignisraumes* vermuten lassen (vgl. Abb. 2).

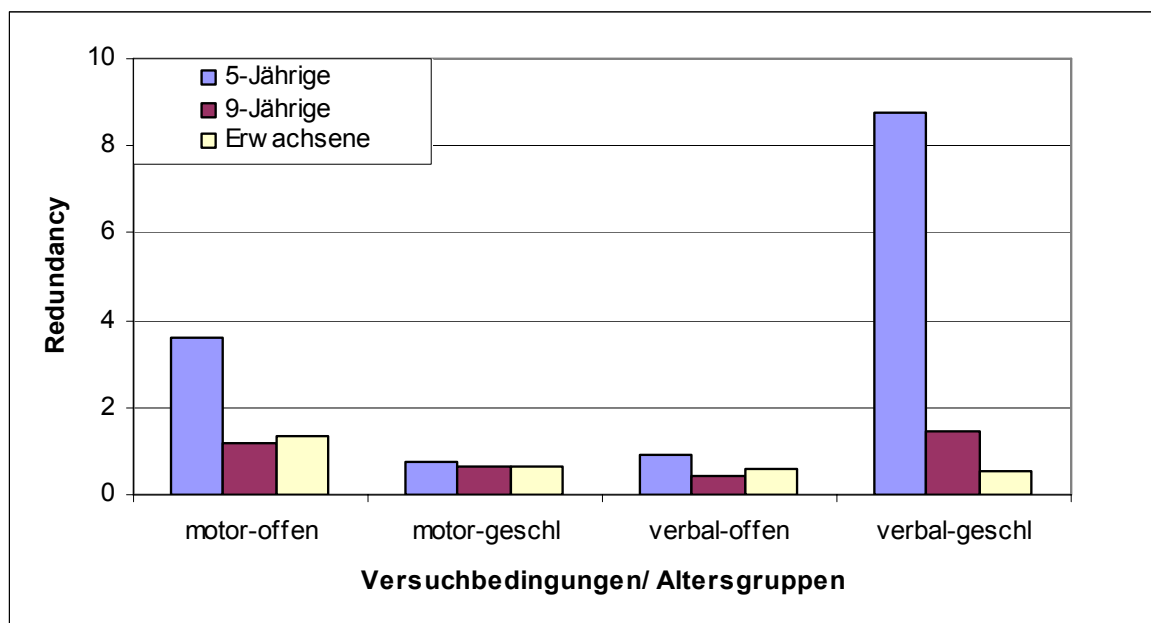


Abbildung 2: *Redundancy* nach *Altersgruppen* *Modalität* und *Begrenzung des Ereignisraumes* (motor-offen = Handbewegungen; motor-geschl = räumlich; verbal-offen = 4 Zahlen, verbal-geschl = Jahreszeiten)

Bei der jüngsten Altersteilstichprobe ließen sich sowohl innerhalb der motorischen Modalität ($t(20) = 2.42$, $p < .05$, $\epsilon' = .75$) als auch innerhalb der sprachlichen Modalität ($t(20) = 2.68$, $p < .05$, $\epsilon' = .83$) signifikante Mittelwertsunterschiede für den Faktor *Geschlossenheit des Ereignisraumes* nachweisen. Diese Effekte sind jedoch bei gerichteter Betrachtung gegenläufig und tragen zur Interaktion der Faktoren *Modalität* und *Geschlossenheit des Ereignisraumes* bei. Ebenfalls als bedeutsam präsentierten sich die Vergleiche zwischen den Bedingungen *motorisch-offen* und *verbal-offen* ($t(20) = 2.51$, $p < .05$, $\epsilon' = .77$) und den Bedingungen *motorisch-geschlossen* und *verbal-geschlossen* ($t(20) = 2.73$, $p < .05$, $\epsilon' = .84$). Auch hier ist bei Betrachtung der Wirkrichtung ein gegenläufiger Effekt des Faktors *Geschlossenheit des Ereignisraumes* zu beobachten. Die varianzanalytisch ermittelte Interaktion stellt sich damit als disordinale Interaktion dar. Somit können die Faktoren *Modalität* und *Geschlossenheit des Ereignisraumes* nicht global interpretiert werden.

Der Altersvergleich über die einzelnen Teilbedingungen ergab bedeutsame Mittelwertsunterschiede für die Altersgruppen der Kindergarten- und Grundschul-kinder bei der Bedingung *verbal-geschlossen* ($t(23.31) = 2.36$, $p < .05$, $\epsilon = .73$) und für die Kindergartenkinder und Erwachsenen ebenfalls in der Bedingung *verbal-geschlossen* ($t(20.03) = 2.78$, $p < .05$, $\epsilon = .86$). Damit definieren sich die Altersunterschiede über die Vergleiche zwischen der jüngsten und den beiden älteren Teilstichproben, nicht aber für den Vergleich zwischen Grundschulkindern und Erwachsenen. Konkret zeigte sich der Unterschied zwischen den Kindergartenkindern und den älteren Teilstichproben dergestalt, dass Kindergartenkinder mindestens eine Antwortalternative in ihren Zufallsreihen überbetonten oder ausließen. Bezogen auf die Handbewegungen werden also bestimmte Antwortalternativen häufiger gewählt, manche möglicherweise gar nicht. Auch bei den Jahreszeiten tritt ein derartiges Phänomen auf: Eine Analyse der Nennungen ergab für einige Kinder das selektive Auslassen einer Jahreszeit über zwei Drittel der gesamten Reihe.

RNG. Der *Random Number Generation* Index beschreibt die Verteilungen von Paarkombinationen in der Zufallssequenz. Ein geringer Wert (Minimum = 0) deutet die Gleichverteilung aller Itempaare an, ein gegen 1 (Maximum) tendierender Wert, zeigt eine Präferenz für gleiche Paarkombinationen und damit für stereotype Antwortsequenzen an. Abbildung 3 zeigt die *RNG*-Werte für alle Bedingungen und Altersgruppen (vgl. Tabelle 2 in Anhang 1). Die dreifaktorielle univariate Varianzanalyse weist auf einen signifikanten Effekt der *Altersgruppe* ($F(2, 66) = 31.17$, $p < .001$, f

= .97) hin. Die Faktoren der *Modalität* ($F(1, 66) = .86, p > .05, f = .11$) und *Ereignisraum* ($F(1, 66) = .04, p > .05, f = .02$) sind nicht statistisch bedeutsam. Eine Interaktion zwischen den Faktoren *Modalität* und *Altersgruppe* ($F(2, 66) = 14.21, p < .001$) sowie zwischen *Modalität* und *Ereignisraum* ($F(1, 66) = 19.23, p < .001$) deutet ebenso wie die Interaktion aller drei Faktoren ($F(2, 66) = 10.25, p < .001$) auf ein altersspezifisches Zusammenwirken der Hauptfaktoren hin.

Die gesonderten Mittelwertsvergleiche über die einzelnen Experimentalbedingungen innerhalb der Altersgruppe der Erwachsenen weisen auf eine differenzielle Wirkung des Faktors *Modalität* hin: Die Vergleiche zwischen den einzelnen Modalitäten erwiesen sich allesamt bedeutsam (*motorisch-offen* vs. *verbal-offen*: $t(23) = 3.24, p < .001, \epsilon' = .93$; *motorisch-geschlossen* vs. *verbal-geschlossen*: $t(23) = -2.76, p < .05, \epsilon' = .80$; *motorisch-offen* vs. *verbal-geschlossen*: $t(23) = -3.60, p < .01, \epsilon' = .97$; *motorisch-geschlossen* vs. *verbal-offen* : $t(23) = 2.43, p < .05, \epsilon' = .70$). Innerhalb der verbalen Modalität ergaben sich keine und innerhalb der motorischen Modalität lediglich tendenzielle Unterschiede.

Ein übereinstimmendes Muster ergab sich für die Grundschul Kinder: Hier wurden alle intermodalen Vergleiche signifikant (*motorisch-offen* vs. *verbal-offen*: $t(23) = 5.77, p < .001, \epsilon' = 1.54$; *motorisch-geschlossen* vs. *verbal-geschlossen*: $t(23) = -2.35, p < .05, \epsilon' = .92$; *motorisch-offen* vs. *verbal-geschlossen*: $t(23) = -3.17, p < .01, \epsilon' = .68$; *motorisch-geschlossen* vs. *verbal-offen*: $t(23) = 5.34, p < .001, \epsilon' = 1.66$) jedoch keiner der intramodalen Vergleiche. Das Ausbleiben eines Haupteffektes des Faktors *Modalität* mutet hier auf den ersten Blick erstaunlich an, lassen sich doch in den einzelnen Altersstichproben diesbezügliche Mittelwertsdifferenzen finden. Die gefundenen zweifachen und die dreifache Interaktion sowie unterschiedliche Dispersionen der Einzelwerte in den Altersgruppen können als mögliche Erklärungsansätze für das Ausbleiben eines Gesamteffektes diskutiert werden.

Auch in der Kindergartenstichprobe konnte kein Effekt des Faktors *Geschlossenheit des Ereignisraumes* innerhalb der Modalitäten gefunden werden. Jedoch ergaben sich mit dem signifikanten Mittelwertsunterschied zwischen der Bedingung *verbal-geschlossen* vs. *motorisch-offen* ($t(20) = 2.24, p < .05, \epsilon' = .69$) und *verbal-geschlossen* vs. *motorisch-geschlossen* ($t(20) = 2.25, p < .05, \epsilon' = .69$) Effekte des Faktors *Geschlossenheit des Ereignisraumes* zwischen den Modalitäten. Bei der Betrachtung der Richtung der Mittelwertsunterschiede klärt sich die Interaktion zwischen *Modalität* und *Altersgruppe*: Gegenüber den motorischen Bedingungen

kommt es bei den Kindergartenkindern in den verbalen Bedingungen zu Leistungsabnahmen, hingegen zu Leistungszuwächsen bei den Grundschulkindern und Erwachsenen. Die höheren *RNG*-Indices der jüngsten Versuchsteilnehmer deuten auf die Verwendung immer gleich Antwortpaare und damit auf eine Stereotypisierung der sprachbasierten Antwortreihen hin.

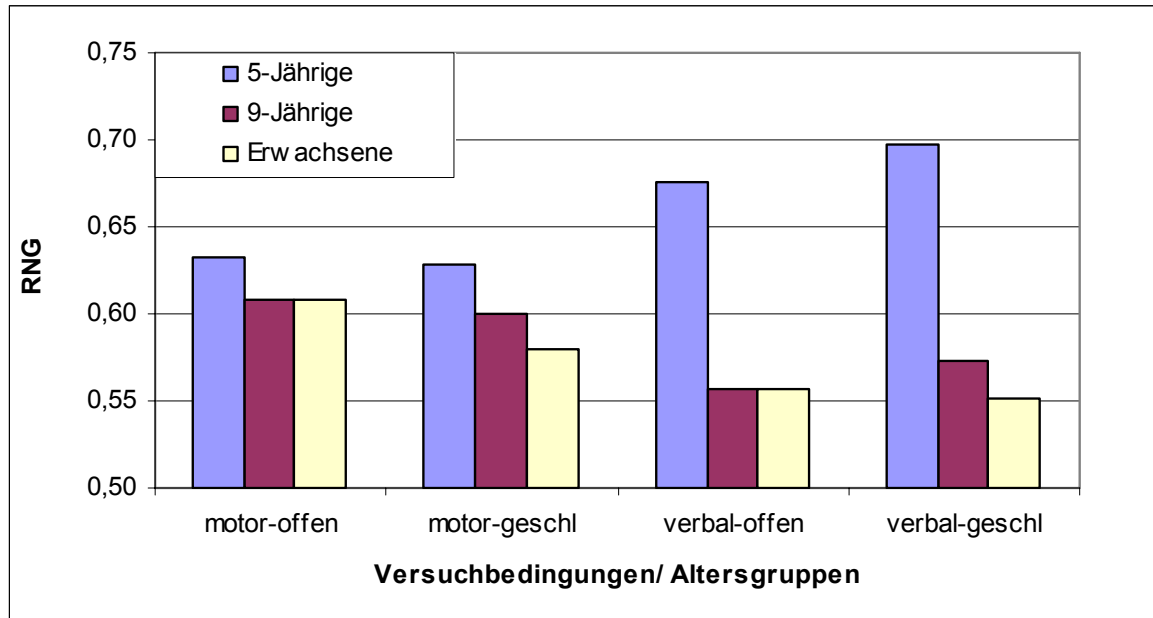


Abbildung 3: *RNG* nach Altersgruppen, Modalität und Begrenzung des Ereignisraumes (motor-offen = Handbewegungen; motor-geschl = räumlich; verbal-offen = 4 Zahlen, verbal-geschl = Jahreszeiten)

Die Altersvergleiche zwischen den Grundschulkindern und den Kindergartenkindern erbrachten signifikante Mittelwertsunterschiede für die sprachgestützten Bedingungen *verbal-offen* ($t(21.16) = 4.46$, $p < .001$, $\epsilon = 1.37$) und *verbal-geschlossen* ($t(25.01) = 4.39$, $p < .001$, $\epsilon = 1.34$). Im Vergleich der Leistungen zwischen Kindergartenkindern und Erwachsenen stellten sich die Bedingungen *verbal-offen* ($t(22.36) = 4.42$, $p < .001$, $\epsilon = 1.36$) *verbal-geschlossen* ($t(21.40) = 5.35$, $p < .001$, $\epsilon = 1.65$) und *motorisch-geschlossen* ($t(31.12) = 2.77$, $p < .001$, $\epsilon = .84$) als statistisch signifikant dar. Zwischen der Stichprobe der Grundschul Kinder und jener der Erwachsenen ergaben sich keinerlei statistische Mittelwertsunterschiede. Damit deutet sich an, dass bereits Grundschul Kinder in der Lage sind, die einzelnen Antwortpaare in vergleichbarer Weise wie Erwachsene zu Reihen zu kombinieren, jedoch Kindergarten Kinder bestimmte Antwortpaare stärker betonen, also eher stereotype Reihen zu bilden. Diese Tendenz wird gerade bei der sprachgestützten Randomisierung deutlich.

Adjacency. Der Index Adjacency (im Folgenden auch „A“) beschreibt den prozentualen Anteil von benachbarten Itempaaren an allen Gesamtpaaren. Unter benachbarten Paaren werden all diejenigen verstanden, die in der Ursprungssequenz des Itempools unmittelbar nebeneinander stehen. Im Falle einer Zahlenreihe gilt beispielsweise das Paar „2 – 3“ als benachbart. Für eine Gleichverteilung aller Antwortpaare ergibt sich ein theoretischer Wert von A in Abhängigkeit der Itempoolgröße. Bei vier Items beträgt dieser Wert 37,5%. Abbildung 4 zeigen die A Werte für alle Bedingungen und Altersgruppen (vgl. Tabelle 3 in Anhang 1). An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass ein gegen 0 gehender *Adjacency*-Wert die Vermeidung sämtlicher benachbarter Paare indiziert und ein gegen 100 gehender Wert die ausschließliche Nutzung benachbarter Paare und anzeigt.

Die univariate Varianzanalyse über die drei Hauptfaktoren *Alter*, *Modalität* und *Geschlossenheit des Ereignisraumes* konnte wie für Redundancy und RNG einen signifikanten Effekt des Alters nachweisen ($F(2, 66) = 7.93, p < .001, f = .49$), ebenso einen Effekt des Faktors *Geschlossenheit des Ereignisraumes* ($F(1, 66) = 22.09, p < .001, f = .58$) jedoch keinen bedeutsamen Einfluss des Faktors *Modalität* ($F(1, 66) = .01, p > .05, f = .01$). Die Faktoren *Modalität* und *Altersgruppe* interagieren bedeutsam miteinander ($F(2, 66) = 4.07, p < .05$) und die drei Hauptfaktoren zeigen ebenfalls ein bedeutsames Zusammenwirken ($F(2, 66) = 9.30, p < .001$).

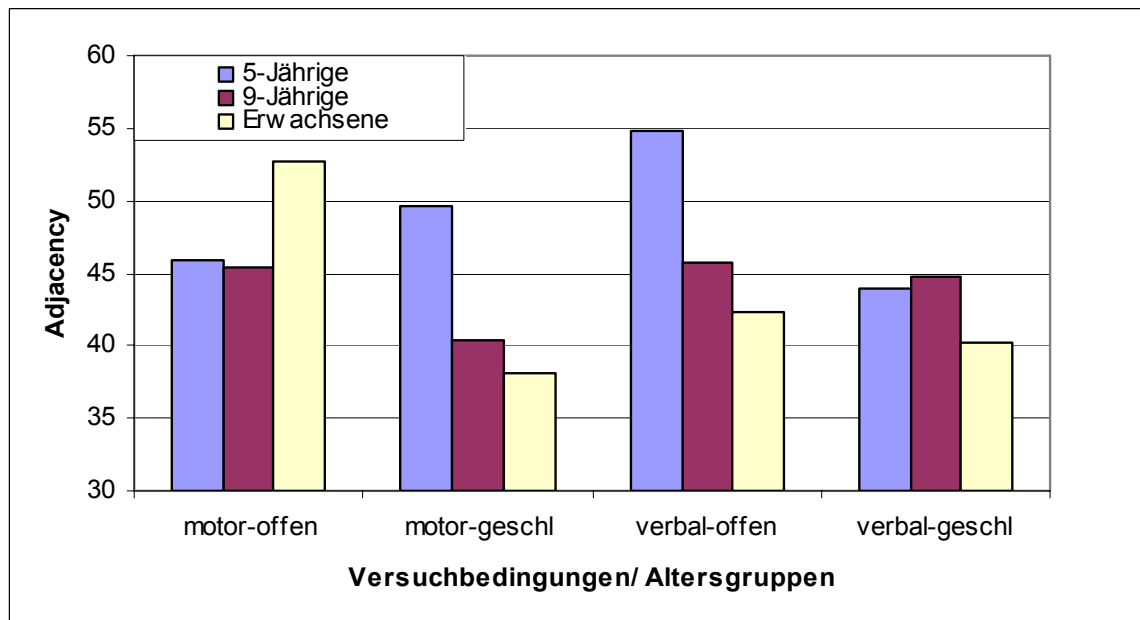


Abbildung 4: *Adjacency* nach *Altersgruppen*, *Modalität* und *Begrenzung des Ereignisraumes* (motor-offen = Handbewegungen; motor-geschl = räumlich; verbal-offen = 4 Zahlen, verbal-geschl = Jahreszeiten)

Beim Vergleich über die vier unterschiedlichen Bedingungen für die Erwachsenenstichprobe zeigt sich ein bedeutsamer Unterschied für den Vergleich *motorisch-offen* vs. *motorisch-geschlossen* ($t(23) = 4.46, p < .001, \epsilon' = 1.29$). Die beiden sprachgestützten Bedingungen unterscheiden sich ebenfalls bedeutsam von der *motorischen-offnen* Bedingung der Handbewegung (*motorisch-offen* vs. *verbal-offen*: $t(23) = 3.31, p < .01, \epsilon' = .96$; *motorisch-offen* vs. *verbal-geschlossen*: $t(23) = -4.03, p < .001, \epsilon' = 1.16$). Zudem unterscheidet sich die *verbal-offene* Version von der *motorisch-geschlossenen* ($t(23) = -2.45, p < .05, \epsilon' = .71$). Damit lässt sich die Interaktion der Faktoren *Modalität* und *Ereignisraum* für die Stichprobe der Erwachsenen als ordinale Interaktion klassifizieren. Diese Interaktion rührt maßgeblich von dem Extremwert der Erwachsenen in der Bedingung *motorisch-offen* (Handbewegungen) in der sehr viele benachbarte Handsequenzen produziert wurden.

Ein anderes Ergebnismuster der Bedingungsfaktoren zeigt sich für die Grundschul Kinder: Innerhalb der motorischen Modalität ergibt sich lediglich ein tendenzieller Effekt zwischen offenem und geschlossenem Durchgang ($t(23) = 1.86, p = .08, \epsilon' = .54$). Signifikante Unterschiede waren für den Vergleich *verbal-geschlossen* vs. *motorisch-geschlossen* ($t(23) = 2.04, p < .05, \epsilon' = .59$) ebenso nachzuweisen wie für *motorisch-geschlossen* vs. *verbal-offen* ($t(23) = -3.00, p < .05, \epsilon' = .87$).

Die jüngste Stichprobe ergab im Mittelwertvergleich bedeutsame Unterschiede für den intramodalen Vergleich der offenen und geschlossenen verbalen Bedingung ($t(20) = -2.60, p < .05, \epsilon' = .80$). Bedeutsame Unterschiede ergaben sich zwischen den Modalitäten für den Vergleich *motorisch-offen* vs. *verbal-offen* ($t(20) = -2.76, p < .05, \epsilon' = .85$) sowie für *motorisch-geschlossen* vs. *verbal-offen* ($t(20) = -2.18, p < .05, \epsilon' = .67$). Die altersgruppenspezifischen Vergleiche für die motorische Bedingung weisen für die Kindergarten Kinder gegenläufige Trends im Vergleich zu den Grundschulkindern und Erwachsenen auf. Innerhalb der verbalen Bedingungen zeigen sich für alle Altersgruppen ähnliche Verläufe, wenn auch in anderen Ausprägungen.

Vergleiche zwischen den Altersgruppen der Kindergarten- und Grundschul Kinder ergaben einen statistisch bedeutsamen Unterschied für die Bedingungen *motorisch-geschlossen* ($t(35.39) = 2.96, p < .05, \epsilon = .89$) und *verbal-offen* ($t(35.16) = 3.23, p < .01, \epsilon = .98$). Der statistische Mittelwertvergleich zwischen die Grundschulkindern und Erwachsenen führte zum Erhalt eines bedeutsamen Unterschied

für den *verbal-geschlossen* ($t(43.18) = 2.40, p < .05, \epsilon = .62$) und den *motorisch-offenen* Durchgang ($t(38.55) = -2.28, p < .05, \epsilon = .66$). Im Vergleich der Erwachsenen mit den Kindergartenkindern erwiesen sich die Altersunterschiede für die Bedingungen *verbal-offen* ($t(28.36) = 4.82, p < .01, \epsilon = 1.47$), *motorisch-geschlossen* ($t(31.67) = 3.88, p < .001, \epsilon = 1.18$) und *motorisch-offen* ($t(37.48) = -2.15, p < .05, \epsilon = .63$) als bedeutsam.

Insgesamt zeigt sich damit für die Bedingungen *motorisch-geschlossen* (räumliche Positionen) und *verbal-offen* (4 Zahlen) ein linearer Alterstrend, wenn auch nicht in allen Einzelvergleichen signifikant. Unsystematisch erscheinen hingegen die Bedingungen *motorisch-offen* (Handbewegungen) und *verbal-geschlossen* (Jahreszeiten). Hier ergaben sich zwischen den jüngeren Altersgruppen keinerlei Unterschiede, jedoch zwischen den beiden Kinderstichproben und den Erwachsenen, wenngleich in jeweils unterschiedliche Richtungen. Produzieren Erwachsene bei den Handbewegungssequenzen mehr benachbarte Itempaare, so vermeiden sie dies bei den Jahreszeiten in verstärktem Maße.

Phi 2. Der Index Phi² gibt die Tendenz zur unmittelbaren Wiederholung der Items an. Wert für Phi-Indices können zwischen -100 und 100 liegen, negative Werte zeigen weniger direkte Wiederholungen, positive Werte entsprechend mehr direkte Wiederholungen als theoretisch erwartet an. Beobachtet Werte von 0 geben somit eine perfekte Annäherung an die theoretisch erwartete Häufigkeit von direkten Itemwiederholungen an. Phi² wird als Indikator zur Wiederholungsvermeidung bzw. für den Einsatz direkter Itemwiederholungen eingesetzt. Die Werte für alters- und bedingungsspezifischen Werte für Phi² sind in Abbildung 5 aufgeführt (vgl. Tabelle 4 in Anhang 1).

Über die dreifaktorielle ANOVA konnte ein bedeutsamer Effekt der *Altersgruppe* nachgewiesen werden ($F(2, 66) = 13.44, p < .001, f = .64$), ebenso einen Effekt der *Modalität* ($F(1, 66) = 10.86, p > .01, f = .41$) und einen tendenziellen Einfluss des Faktors *Geschlossenheit des Ereignisraumes* ($F(1, 66) = 3.31, p = .07, f = .22$). Eine Interaktion der Faktoren *Altersgruppe* und *Modalität* ($F(2,66) = 9.90, p < .001$) deutet eine altersspezifische Wirkung der Modalität an.

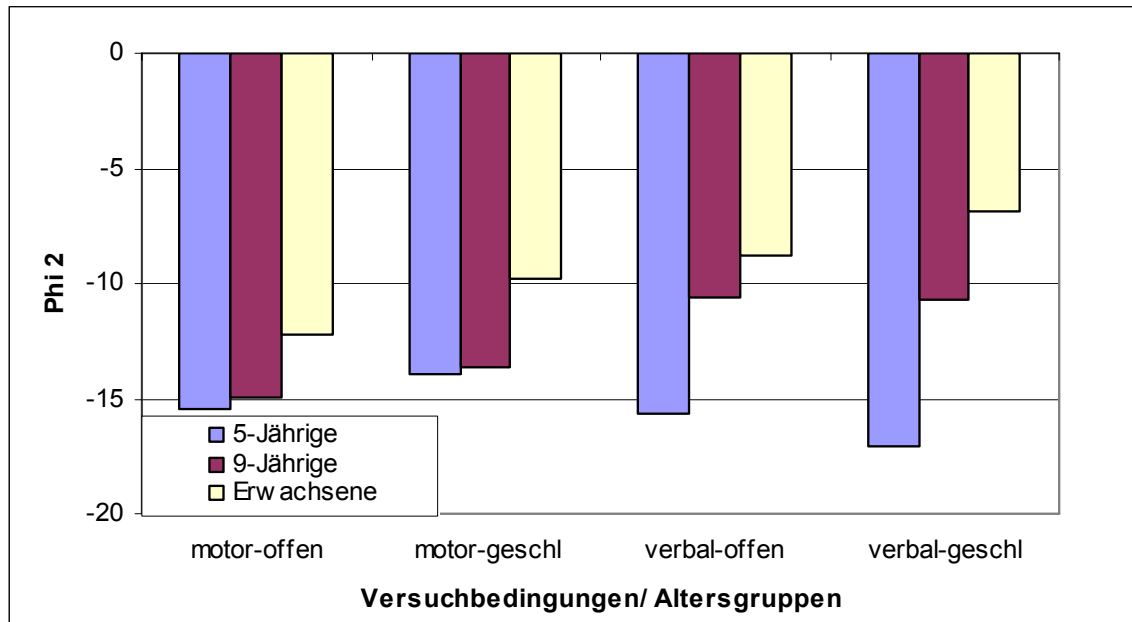


Abbildung 5: nach Altersgruppen, Modalität und Begrenzung des Ereignisraumes (motor-offen = Handbewegungen; motor-geschl = räumlich; verbal-offen = 4 Zahlen, verbal-geschl = Jahreszeiten)

Für die Erwachsenenteilstichprobe erbrachte der Vergleich der beiden motorischen sowie der beiden verbalen Itempools keinen bedeutsamen Unterschied. Zwischen der motorischen und der sprachgestützten Modalität ergaben signifikante Differenzen in der Leistung bei *motorisch-offenem* und *verbal-offenem* Ereignisraum ($t(23) = -2.89, p < .05, \epsilon' = .83$). Ferner zeigte sich eine bedeutsame Mittelwertsdifferenz für beim Vergleich der *verbal-geschlossenen* und *motorisch-offenen* Bedingungen ($t(23) = 3.93, p < .001, \epsilon' = 1.14$).

Mittelwertsunterschiede beim Vergleich der einzelnen Bedingungen innerhalb der Grundschulstichprobe konnten für die beiden Bedingungen *motorisch-offen* vs. *verbal-offen* ($t(23) = -4.38, p < .001, \epsilon' = 1.26$) nachgewiesen werden. Ebenso wie für die Erwachsenenstichprobe erwies sich der Vergleich zwischen *verbal-geschlossenem* und *motorisch-offenem* Itempool als signifikant ($t(23) = 3.69, p < .001, \epsilon' = 1.07$). Die Mittelwerte der *motorisch-geschlossenen* Itempoolbedingung unterschieden sich signifikant von den Mittelwerten der *verbal-offenen* Bedingung ($t(23) = -2.66, p < .05, \epsilon' = .77$).

Innerhalb der jüngsten Stichprobe ergab sich lediglich eine bedeutsame Mittelwertsdifferenz zwischen der *verbal-geschlossenen* und *motorisch-geschlossenen* Bedingung ($t(20) = -2.55, p < .05, \epsilon' = .79$). Bleibt die Tendenz zur Wiederholungsvermeidung bei den Kindergartenkindern mit der eben beschriebenen Ausnahme rela-

tiv konsistent, so zeigte sie sich für die Grundschul Kinder und Erwachsenen im Sinne der varianzanalytisch gefundenen Interaktion von *Altersgruppe* und *Modalität* durch eine Tendenz zur geringeren Wiederholungsvermeidung in den sprachlichen Bedingungen.

Die Interaktion zwischen Alter und Modalität wird auch beim Einzelvergleich der Altersgruppen in den verschiedenen Bedingungen deutlich. Kindergarten- und Grundschul Kinder unterschieden sich signifikant in den beiden verbalen Bedingungen (*verbal-geschlossen*: $t(42.26) = -3.98$, $p < .001$, $\varepsilon = 1.19$; *verbal-offen*: $t(38.16) = -5.58$, $p < .001$, $\varepsilon = 1.64$). Kinder der dritten Jahrgangsstufe unterschieden sich lediglich innerhalb der Bedingung *verbal-geschlossen*, also bei dem Itempool der Jahreszeiten statistisch signifikant von den Erwachsenen ($t(44.49) = -2.27$, $p < .001$, $\varepsilon = .65$). Die Leistungen von Erwachsenen und Kindergartenkindern wichen in allen Itempoolbedingungen außer bei den *motorisch-offenen*, also der Bedingung mit den Handbewegungen (*verbal-offen*: $t(27.72) = -4.37$, $p < .001$, $\varepsilon = 1.27$; *verbal-geschlossen*: $t(42.88) = -5.82$, $p < .001$, $\varepsilon = 1.73$; *motorisch-geschlossen*: $t(31.73) = -2.24$, $p < .05$, $\varepsilon = .65$) bedeutsam voneinander ab.

Für *Phi 2* als Maß für die unmittelbare Wiederholung einer Antwortalternative ergaben sich Altereffekt zwischen den Kindergartenkindern und beiden älteren Gruppen. Innerhalb der beiden älteren Stichproben konnten Modalitätseffekte im Sinne einer stärkeren direkten Wiederholungsvermeidung in den motorischen Bedingungen nachgewiesen werden. Offensichtlich vermeiden gerade Erwachsene in den motorischen Bedingungen unmittelbare Itemwiederholungen in stärkerem Maße als bei den verbalen Itempoolversionen. Dieser Effekt lies sich nicht für die jüngste Altersgruppe bestätigen.

Zusammenfassung der Ergebnisse. In Experiment 1 wurde die Wirkung unterschiedlicher Ereignisräume auf die Zufallsreihenbildung von Fünfjährigen, Neunjährigen und Erwachsenen untersucht. Dabei kamen vier verschiedene Ereignisräume zum Einsatz, die sich anhand der *Ausgabemodalität* (sprachgestützt und motorisch) und der expliziten *Begrenzung des Ereignisraumes* (geschlossen vs. offen) unterschieden. Vier Indices zur Beurteilung der Zufallsgüte wurden zunächst in einer multivariaten Auswertung gemeinsam verrechnet und ergaben bedeutsame Haupteffekte für die Faktoren *Altersgruppe*, *Modalität* und *Geschlossenheit des Ereignisraumes*. Die getrennte Auswertung über jeden einzelnen Index konnte den Faktor *Al-*

tersgruppe zwar durchwegs bestätigen, auf Grund von Interaktionen mit den beiden anderen Hauptfaktoren ergab sich jedoch eine eingeschränkte Interpretierbarkeit dieses Haupteffekts.

Als abhängiges Maß für die Gleichverteilung der Antwortitems wurde der Index Redundancy betrachtet. Die Wirkungen der Faktoren *Modalität* und *Geschlossenheit des Ereignisraumes* sind nicht einheitlich und divergieren über das Alter. Der Alterseffekt kommt über Unterschiede zwischen der Altersgruppe der Fünfjährigen im Vergleich mit den Neunjährigen und den Erwachsenen zustande. Generell ist eine starke Abweichung der jüngsten Altersgruppen in den Bedingungen *verbal-geschlossen* (Jahreszeiten) und *motorisch-offen* (Handbewegungen) zu konstatieren. Diese Abweichung impliziert, dass gerade jüngere Kinder in diesen Bedingungen bestimmte Antwortitems stärker betonen, oder wie vereinzelt beobachtet, Items nahezu völlig aus ihren Antwortreihen ausblenden. Damit ist die Gesamtreihe weniger zufällig, da nicht alle Items gleichverteilt sind.

Als zweite Maß wurde der *Random Number Generation Index (RNG)* zur Messung der Gleichverteilung von Antwortpaaren verwendet. Unterschiede zwischen der sprachlichen und motorischen Modalität untermauern den generellen Effekt der *Modalität* in allen Altersgruppen. Ein Trend zur größeren Gleichverteilung von Antwortpaaren für sprachliche gegenüber motorischen Itempools ergab sich innerhalb der Erwachsenen- und Grundschulkind-Teilstichproben. Ein gegenläufiger Verlauf zugunsten der motorischen Itempools konnte für die jüngste Teilstichprobe der Kindergartenkinder gefunden werden. Der Faktor *Geschlossenheit des Itempools* ergab nur marginale Einzeleffekte. Altersunterschiede zeigten sich zwischen der jüngsten Gruppe und den Erwachsenen und Schulkindern. Signifikante Alterseffekte zwischen den beiden letztgenannten Gruppen blieben aus.

Zur Messung stereotyper Antwortmuster wurde der *Adjacency Index* ausgewertet. Für diesen Index bot sich ein relativ uneinheitliches Bild: Im Bereich der konventionellen Ereignisräume *verbal-offen* (4 Zahlen) und *motorisch geschlossen* (4 Positionen) zeigten sich Alterstrends. Dies konnte für die Bedingungen *motorisch-geschlossen* so nicht belegt werden. Hier blieben entweder Unterschiede aus oder ergaben sich gegenläufig im Sinne einer schlechteren Leistung der Erwachsenen (motorisch-offene Bedingung).

Der *Phi2* Index beschreibt die Tendenz zur unmittelbaren Wiederholung eines Items. Hier ergaben sich für die beiden älteren Stichproben Modalitätseffekte im

Sinne einer stärkeren direkten Wiederholungsvermeidung in den motorischen Bedingungen. Ein derartiger Effekt blieb für die jüngste Altersgruppe jedoch aus. Der Alterseffekt konnten zwischen allen drei Stichproben jedoch wiederum am deutlichsten zwischen der jüngsten Altersgruppe und den beiden älteren gefunden werden.

1.3 Diskussion

Bei der Betrachtung der Gleichverteilung der Antwortitems fallen zwei Aspekte auf: Die relative Homogenität der beiden älteren Altersgruppen in allen vier Bedingungen und die Geschlossenheit aller drei Altersgruppen in den Bedingungen *motorisch-geschlossen* und *verbal-offen*. Hierbei handelt es sich um die leicht modifizierten traditionellen Bedingungen des Random Keypressings und der Random Number Generation. Offensichtlich ist es bereits jüngeren Kindern im Vorschulalter möglich, Zufallsreihen mit einer annähernden Gleichverteilung der Antwortalternativen zu bilden. Andererseits darf diese Maß nicht überinterpretiert werden, spricht es nur die Gleichverteilung und nicht die Kombination der einzelnen Antwortitems an. Auffällig sind die eklatanten Unterschiede zwischen den Fünfjährigen und dem Rest der Stichprobe in den Bedingungen *motorisch-offen* (Handbewegungen) und *verbal-geschlossen* (Jahreszeiten). Diese Unterschiede sind möglicherweise auf zweierlei zurückzuführen: Neu gelernte Reihen wie die der Handbewegungen sind durch jüngere Kinder schwerer aufzubrechen und führen zu Perseverationen bei bestimmten Items. Ähnliches kann sich auch bei den Jahreszeiten abgespielt haben: Entweder sind die Einzelitems noch nicht ausreichend überlernt oder aber in ihrer seriellen Abfolge so überlernt, dass ein Aufbrechen der Sequenz zur Perseveration auf bestimmte Items oder zum Außerachtlassen eines Items führen kann.

Der in altersbezogenen Einzelvergleichen gefundene Effekt der Modalität im Bereich des *Random Number Generation Index (RNG)* für die Altersgruppen der 9-Jährigen und Erwachsenen spricht für eine bessere Gleichverteilung von Antwortpaaren in der sprachlichen Modalität. Möglicherweise tragen hierzu sprachspezifische Monitoringprozesse zur Kontrolle des Outputs bei, die sich erst im Altersbereich der Grundschule ausbilden. Für die Kindergartenkinder ist ein gegenläufiger Effekt bemerkbar: Sie schneiden in den sprachgestützten Bedingungen schlechter als in den motorischen. Neben der Erklärung über fehlende Monitoringprozesse könnten geringere Inhibitionskapazitäten zur Unterdrückung stereotyper Antwortpaare die Altersunterschiede maßgeblich definieren. Um Inhibition bei einer Seriativ-

onsanforderung adäquat bewerkstelligen zu können, müssen Antwortpaare über mehrere Nennungen hinweg gespeichert werden können. Dies könnte bei der geringeren Speicherkapazität gerade für die jüngeren Kinder zum entscheidenden Faktor werden. Damit erklärt sich jedoch ein genereller Altersunterschied. Unterschiede zwischen den Modalitäten sind über subsystemspezifische Speicherprozesse in diesem Alter nur schwer zu erklären.

Die Vermeidung stereotyper Antwortmuster über die Verwendung benachbarter Itempaare gestaltet sich, wie anhand der Analyse des Adjacency Index deutlich wird, uneinheitlich über die Bedingungen und Altersgruppen. Unterscheiden sich die Fünfjährigen und Neunjährigen jeweils in den Bedingungen *motorisch-offen* und *verbal-geschlossen* nicht, so zeigen sich zwischen den Bedingungen *motorisch-geschlossen* und *verbal-offen* Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Uneinheitlich zeigt sich auch die Leistung der Erwachsenen: Sie zeigen in der Bedingung *motorisch-geschlossen* und den beiden verbalen Bedingungen (tendenziell) bessere Leistungen als die Kinderstichproben, sind jedoch in der *motorisch-offenen* Bedingung bedeutsam schlechter als die kindlichen Versuchspersonen. Spielt bei der Inhibition von benachbarten Itemalternativen die *Modalität* oder *Geschlossenheit des Ereignisraumes* eine Rolle? Oder mindern ungenügend automatisierte Ereignisräume bei Erwachsenen die Inhibitionsleistung? Wenn davon ausgegangen werden kann, dass die Handbewegungssequenz bei den meisten erwachsenen Versuchsteilnehmern ein Novum darstellte, könnte dieser Befund plausibel damit erklärt werden. Dazu müssten aber weitere Versuche mit nicht automatisierten Ereignisräumen durchgeführt werden. Für subsystemspezifische Monitoringprozesse oder Strategien bei der Bildung von Zufallsreihen sprechen die Unterschiede beim Index Adjacency für die Bedingungen *motorisch-geschlossen* vs. *verbal-offen*. In allen Altersgruppen zeigen sich hier signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen den Bedingungen. So könnten die von Towse (1998) nachgewiesenen Unterschiede zwischen Random Keypressing und Random Number Generation unter Umständen nicht nur auf formale Unterschiede wie die externe visuelle vs. mentale Repräsentation des Ereignisraumes zurückgeführt werden, sondern auf subsystemspezifische Speicher-, Verarbeitungs- und Repräsentationsprozesse.

Die in der Analyse zum Phi2-Index gefundene generelle Wiederholungsvermeidung fällt altersspezifisch unterschiedlich aus. Die beiden älteren Stichproben zeigen einen Modalitätseffekt im Sinne einer stärkeren direkten Wiederholungsver-

meidung in den motorischen Bedingungen. Dies kann im Sinne differenzieller modalitätsspezifischer Speicherprozesse interpretiert werden. Auch für diesen Index waren direkte Effekte des Faktors *Geschlossenheit des Ereignisraumes* nicht nachweisbar. Es stellt sich damit die Frage ob dieser Faktor als Unterscheidungskriterium für die unterschiedlichen Bedingungen sinnvoll ist. Zwar konnte er in den varianzanalytischen Auswertungen teilweise nachgewiesen werden, Interaktionen mit den anderen Faktoren schränken eine Interpretierbarkeit erheblich ein. Möglicherweise lassen sich Unterschiede innerhalb der Modalitäten auch erklären über den Aspekt der Vertrautheit mit einem Ereignisraum, der unmittelbaren Verfügbarkeit der Items, der Repräsentationsform von Items und der Anwendbarkeit von Itemspezifischen Zufallsgenerierungsstrategien. Hierauf deuten extreme Leistungsunterschiede für die Kindergartenkinder zwischen den vertrauten Bedingungen 4 Zahlen/ 4 Positionen und den weniger vertrauten Bedingungen 4 Jahreszeiten/ 4 Handbewegungen im *Redundancy-Index* hin. Es bleibt jedoch anzunehmen, dass neben der Vertrautheit des Ereignisraumes ein wesentlicher Anteil der Bedingungsunterschiede über die altersspezifisch unterschiedlich gearbete Nutzung der Arbeitsgedächtnissubsysteme zu Stande kommt. Gerade bei den jüngeren Kindern zeigte sich auch für den *RNG-Index* eine höhere Häufigkeit an stereotypen Itempaarverwendungen. Offensichtlich sind gerade in der sprachlichen Modalität Bereithaltensprozesse, wie sie durch ein Outputmonitoring gefordert sind, für diese Altersgruppe geringer ausgeprägt. Dies dürfte auf eine geringere Speicherkapazität der phonologischen Schleife für dieses Lebensalter rückführbar sein. Somit deutet sich die Relevanz subsystemspezifischer Speicher bei der Ausführung der *Random Generation Aufgabe* an. Inwieweit die individuell unterschiedlich ausgeprägte subsystemspezifische Arbeitsgedächtniskapazität eine wesentliche Leistungsdeterminante bei der *Random Generation Aufgabe* darstellt, könnten korrelative Ansätze näher ergründen.

2. Experiment 2

Zentral-exekutive Prozesse sind bereits im Kindesalter messbar und entwickeln sich vom frühen Vorschulalter bis in die Adoleszenz hinein (vgl. Gathercole et al., 2004; Zoelch et al., 2005). Bei der Messung entwicklungsbedingter Veränderungen im Bereich zentral-exekutiver Prozesse ist auch die Frage der intraindividuellen Stabilität derartiger Prozesse über kürzere Zeiträume von Interesse. Erst wenn diese in ausreichendem Maße gewährleistet ist, werden langfristige intraindividuelle Veränderungen oder interindividuelle Vergleiche über mehrere Entwicklungsstufen verlässlich. Gerade die *Random Generation Aufgabe* als Operationalisierung zentral-exekutiver Teilprozesse stellt hier möglicherweise einen Sonderfall dar, denn sie erfordert zufälliges Verhalten, das per definitionem eigentlich zeitlichen Schwankungen unterworfen sein müsste. Begreift man menschliche Zufallsproduktion als mehr oder weniger stark ausgeprägte Abweichung von der Zufälligkeit, dann könnte diese Abweichung innerhalb einer Person durchaus stabil sein. Daher stellt sich die Frage, wie konsistent die Leistungen unterschiedlicher Altersgruppen in der *Random Generation Aufgabe* sind.

Dazu soll bei vier Altersgruppen über drei Messzeitpunkte hinweg die Stabilität in der *Random Generation Aufgabe* untersucht werden. Zusätzlich interessiert auch, ob die in Experiment 1 gefundenen Unterschiede zwischen verschiedenen Aufgabenmodalitäten konsistent sind.

2.1 Methode

Stichprobe. An Experiment 2 nahmen insgesamt 74 Versuchspersonen aus vier Altersgruppen teil: 19 Sechsjährige ($M = 6;1$, $SD = ;5$), 11 Achtjährige ($M = 8;4$ $SD = ;6$), 15 Zehnjährige ($M = 10;4$ $SD = ;4$) und 30 Erwachsenen ($M = 23;0$; $SD = 3;2$). Auf eine Gleichverteilung des Geschlechts innerhalb der einzelnen Teilstichproben wurde soweit wie möglich geachtet. Die geringe Stichprobengröße bei den Acht- und Zehnjährigen erklärt sich über eine relativ große Stichprobenmortalität bedingt durch kurzfristige schulinterne Veranstaltungsänderungen. Im Gegensatz zu Experiment 1 wurden zwei Grundschulstichproben untersucht. Dies geschah zum einen, um die Altersabstände zwischen den Kinderstichproben zu homogenisieren, zum anderen um den in Experiment 1 gefundenen Entwicklungssprung zwischen

den Neunjährigen und den Fünfjährigen näher abklären und zeitlich präzisieren zu können .

Material. Ebenso wie in Experiment 1 mussten die Versuchspersonen Zufallsreihen bilden. Im Gegensatz zu Experiment 1 wurden nur drei unterschiedliche Itempools verwendet, diese enthielten aber wiederum jeweils vier Items. Zum Einsatz kamen die Ereignisräume „Zahlen 1-4“, „4 räumliche Positionen“ und „4 Handbewegungen“. Die Bedingung „4 Jahreszeiten“ wurde in dieser Untersuchung nicht mehr miteinbezogen, da gerade in Experiment 1 für die jüngste Altersgruppe nicht ausgeschlossen werden konnte, ob für das Konzept der Jahreszeiten eine vergleichbare mentale Repräsentation wie die anderen Itempools vorauszusetzen ist. Innerhalb jeder Bedingung produzierte jede Versuchsperson wiederum mindestens 70 Nennungen von denen jeweils die ersten 60 in die Auswertung aufgenommen wurden. Die Instruktionen sowie die Aufzeichnung der Itemnennungen waren identisch zu Experiment 1.

Versuchsdesign. Insgesamt wurde jede Versuchsperson jeweils dreimal getestet, in jeder Testung waren drei Randomisierungsreihen auf Basis von drei unterschiedlichen Itempools zu produzieren. Damit ergibt sich ein dreifaktorielles Design über die Zwischensubjektvariable *Altersgruppe* und die Innersubjektvariablen *Modalität* und *Testzeitpunkt*.

Versuchsablauf. Jede Versuchsperson wurde dreimal im Abstand von jeweils einer Woche getestet. Dabei wurde darauf geachtet, dass neben dem Retest-Intervall von einer Woche jede Versuchsperson möglichst genau zur jeweils gleichen Tageszeit getestet wurde. Innerhalb einer Testung wurden jeweils drei unterschiedliche Random Generation Bedingung (verbal: 4 Zahlen; motorisch: 4 Handbewegungen und räumlich: 4 Positionen) vorgegeben. Die Abfolge der Bedingungen war zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten für jede Versuchsperson und zu jedem Testzeitpunkt randomisiert. Auf Wunsch der Versuchspersonen konnte nach jeder Untersuchungsbedingung eine Pause vorgenommen werden. Die Testung fand in einem ruhigen Raum statt. Das Produktionsintervall betrug wie in Experiment 1 zwei Sekunden pro Item. Instruktion, Dauer der Einzelbedingungen und Vorgehen in den einzelnen Testzeitpunkten waren übereinstimmend zu Experiment 1. Die Instruktion wurde ebenfalls identisch wie in Experiment 1 vorgenommen, sie wurde bei dem

zweiten und dritten Testzeitpunkt in den wesentlichen Punkten, die die Randomisierung und die unterschiedlichen Bedingungen betreffen wiederholt. Auch die jeweiligen Übungsdurchgänge wurden zu jedem Testzeitpunkt wiederholt.

2.2 Ergebnisse

Als abhängige Variablen in einer dreifaktoriellen multivariaten Varianzanalyse über die Faktoren *Altersgruppe*, *Modalität* und *Testzeitpunkt* wurden in Analogie zu Experiment 1 die Indices *Redundancy*, *RNG*, *Adjacency* und *Phi 2* verwendet. Die Überprüfung der einzelnen Faktoren wurde in univariaten Analysen gesondert auf Basis jedes der vier Indices vorgenommen. Wurden in den univariaten Varianzanalysen bedeutsame Effekte festgestellt, so wurden diese über Einzelvergleiche näher untersucht. Um die Zusammenhänge identischer Bedingungen zwischen den einzelnen Testzeitpunkten näher zu beleuchten, wurden Effektgrößen errechnet.

Eine dreifaktorielle multivariate Varianzanalyse über die Faktoren *Altersgruppe*, *Modalität* und *Testzeitpunkt* erbrachte sowohl einen signifikanten *Alterseffekt* ($F(30, 188) = 4.61, p < .001, f = 0.86$) als auch einen bedeutsamen Effekt der *Modalität* ($F(20, 54) = 13.32, p < .001, f = 2.22$). Der Faktor *Testzeitpunkt* erbrachte einen bedeutsamen Einfluss auf die Randomisierungsleistung ($F(20,54) = 2.53, p < .001, f = .97$), d.h. es gibt Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten. Eine altersspezifische Wirkung der unterschiedlichen Itempools auf die Randomisierungsleistung wird durch die bedeutsame Interaktion der Faktoren *Modalität* und *Altersgruppe* ($F(60, 158) = 2.29, p < .001$) angedeutet. Weitere Interaktionen der Hauptfaktoren waren nicht zu verzeichnen. Um weitere Anhaltspunkte über die Wirkung der Inner-subjektfaktoren *Modalität* und *Testzeitpunkt* zu erhalten, wurde für jede der vier Altersgruppen eine zweifaktorielle multivariate Varianzanalyse durchgeführt. In allen Altersgruppen konnte ein signifikanter Effekt der Modalität gefunden werden (vgl. Tabelle 5), nur in der jüngsten Versuchspersonengruppe der Vorschulkinder ergab sich ein bedeutsamer Effekt des Faktors *Testzeitpunkt* (vgl. Tabelle 5). Eine Interaktion der beiden Hauptfaktoren *Testzeitpunkt* und *Modalität* konnte in keiner der Teilstichproben nachgewiesen werden.

Tabelle 5: Altersspezifische Effekte für den Faktoren *Modalität* und *Testzeitpunkt* auf Basis von zweifaktoriellen ANOVAs

	<i>Modalität</i>	<i>Testzeitpunkt</i>
Erwachsene	F(8, 108) = 8.82, p < .001, f = 0.81	F(8, 108) = 1.33, p = .24, f = 0.31
4. Klasse	F(8, 48) = 5.79, p < .001, f = 0.98	F(8, 48) = 0.65, p = .74, f = 0.33
2. Klasse	F(8, 32) = 5.08, p < .001, f = 1.13	F(8, 32) = 1.40, p = .24, f = 0.59
Kindergarten	F(8, 64) = 14.17, p < .001, f = 1.33	F(8, 64) = 2.99, p < .01, f = 0.61

Bei Betrachtung der Effektgröße f für die einzelnen Altersgruppen fällt auf, dass sowohl für den Faktor *Testzeitpunkt* als auch für den Faktor *Modalität* ein Zuwachs der Effekte mit abnehmendem Alter zu verzeichnen ist. Ebenfalls deutlich wird, dass der Faktor *Testzeitpunkt* für die Altersgruppen der Sechs- und Achtjährigen einen starken Effekt ($f > .5$) aufweist. Das Fehlen eines signifikanten Ergebnisses bei den Achtjährigen ist ob der geringen Stichprobengröße in dieser Stichprobe insofern zu relativieren.

Redundancy. Die univariate dreifaktorielle Varianzanalyse über die Faktoren *Altersgruppe*, *Modalität* und *Testzeitpunkt* für die abhängige Variable *Redundancy* erbrachte signifikante Effekte für die Faktoren *Altersgruppe* ($F(3, 71) = 8.30, p < .05, f = .59$) und *Testzeitpunkt* ($F(2, 142) = 5.06, p < .05, f = .22$), jedoch nicht für den Faktor *Modalität* ($F(2, 142) = 1.26, p = .29, f = .13$). Bei Betrachtung der Effektgröße sind die Effekte für die Faktoren *Altersgruppe* und *Testzeitpunkt* als mittelgroße Effekte einzuordnen. Es ergaben sich keine signifikanten Interaktionen der Hauptfaktoren, wenn auch das Zusammenwirken der Faktoren *Modalität* und *Altersgruppe* tendenziell auf einen Effekt hindeutet ($F(6, 142) = 2.17, p = .06$). Die nach Altersgruppen getrennt vorgenommene Analyse der Faktoren *Modalität* und *Testzeitpunkt* ergab für die Erwachsenen keine bedeutsame Wirksamkeit des Testzeitpunktes, aber einen bedeutsamen Modalitätseffekt ($F(2, 58) = 5.63, p < .05, f = .44$). Dieser ist in erster Linie bedingt durch signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen der verbalen und der motorischen Bedingung zu allen drei Zeitpunkten (T1: $t(29) = 3.09, p < .001, \epsilon' = .83$; T2: $t(29) = 2.55, p < .05, \epsilon' = .68$; T3: $t(29) = 2.12, p < .05, \epsilon' = .55$). Ein tendenzieller Effekt der Modalität deutet sich für die Kindergartenkinder an, war statistisch aber nicht bedeutsam ($F(2, 36) = 1.82, p = .18, f = .32$).

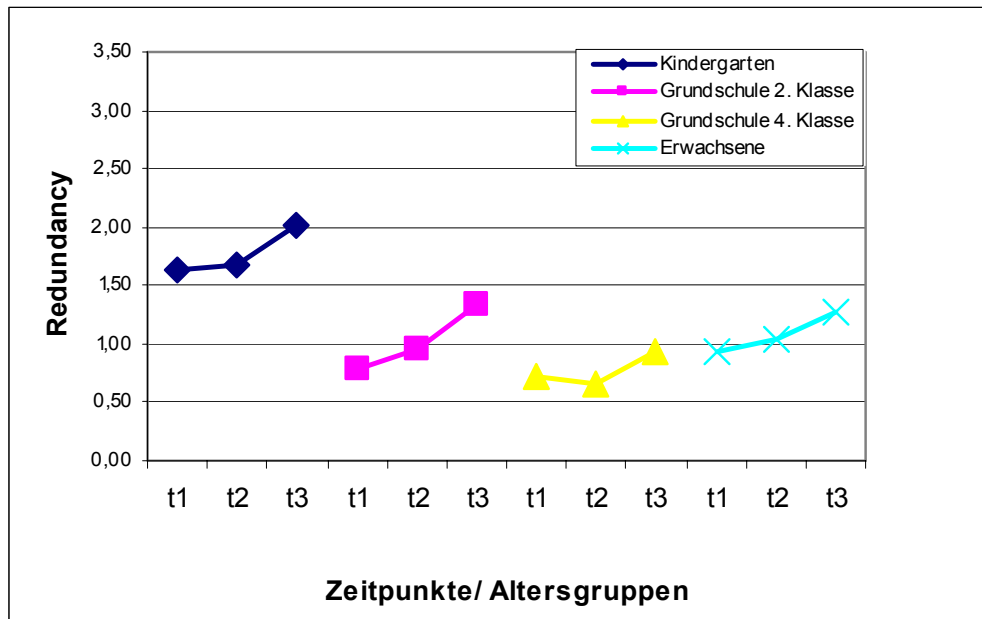


Abbildung 6: Altersunterschiede und Verlauf über drei Testzeitpunkte für *Redundancy* motorisch

In den beiden Grundschulstichproben gab es keinerlei signifikante Haupteffekte. Interaktionen der beiden Hauptfaktoren konnten in der zweifaktoriellen ANOVA für keine der Altersstichproben festgestellt werden. Damit lässt sich die tendenzielle Interaktion der Faktoren *Altersgruppe* und *Modalität* in der dreifaktoriellen Varianzanalyse in erster Linie über den für die Erwachsenen gefundenen Modalitätseffekt aufklären.

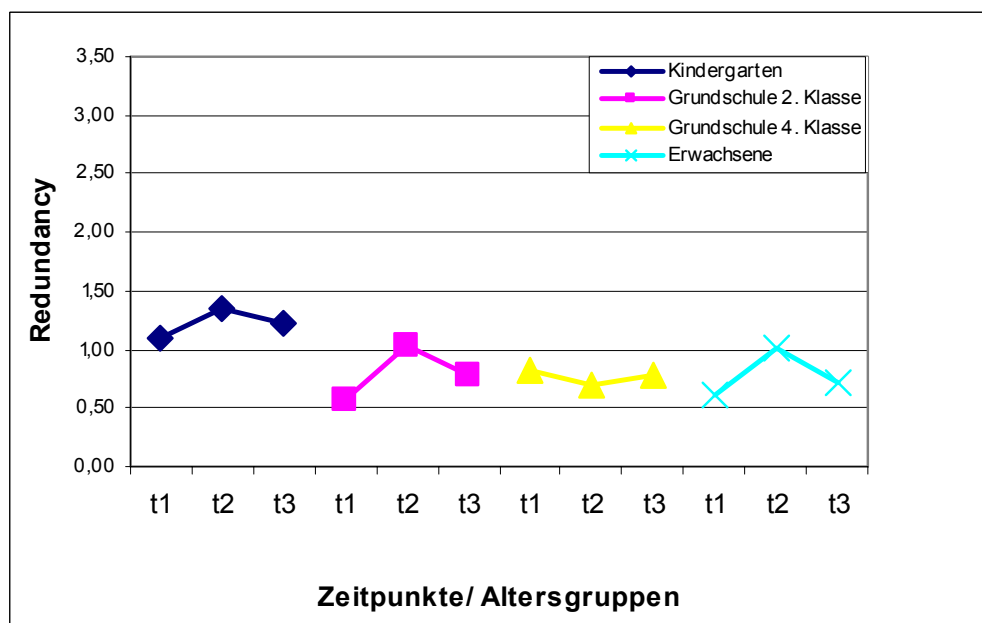


Abbildung 7: Altersunterschiede und Verlauf über drei Testzeitpunkte für *Redundancy* räumlich

Die Abbildungen 6 - 8 zeigen die Mittelwerte der unterschiedlichen Stichproben über die Bedingungen und Testzeitpunkte (vgl. Tabellen 6 - 8 im Anhang). Der varianzanalytisch nachgewiesene Effekt der *Altersgruppe* wurde in post hoc t-Tests für unabhängige Stichproben überprüft. Innerhalb der motorischen Bedingungen gibt es mittlere Alterseffekte zwischen den Kindergartenkindern und den beiden Grundschulklassen und moderate Effekte zwischen den Erwachsenen und den Kindergartenkindern. Ebenfalls im mittleren bis schwachen Bereich sind die Altersunterschiede in der räumlichen Bedingung. Hier heben sich die Kindergarten Kinder von den drei restlichen Altersgruppen ab, Effektgrößen weisen diese Unterschiede als mittleren bis schwachen Effekt aus. Die deutlichsten Altersunterschiede ergaben sich für die sprachliche Bedingung. Hier unterscheiden sich die Kindergartenkinder von den Viertklässlern und den Erwachsenen im Sinne eines starken Effektes und die Zweitklasskinder von den Viertklasskindern im mittleren bis starken Effektgrößenbereich. Auch zwischen Erwachsenen und Kindern der vierten Jahrgangsstufe zeigen sich mittlere Alterseffekte. In Anhang 2 findet sich eine Tabelle zur Übersicht über die Effektgrößen für die modalitäts- und testzeitpunktspezifischen Einzelvergleiche zwischen den Altersgruppen.

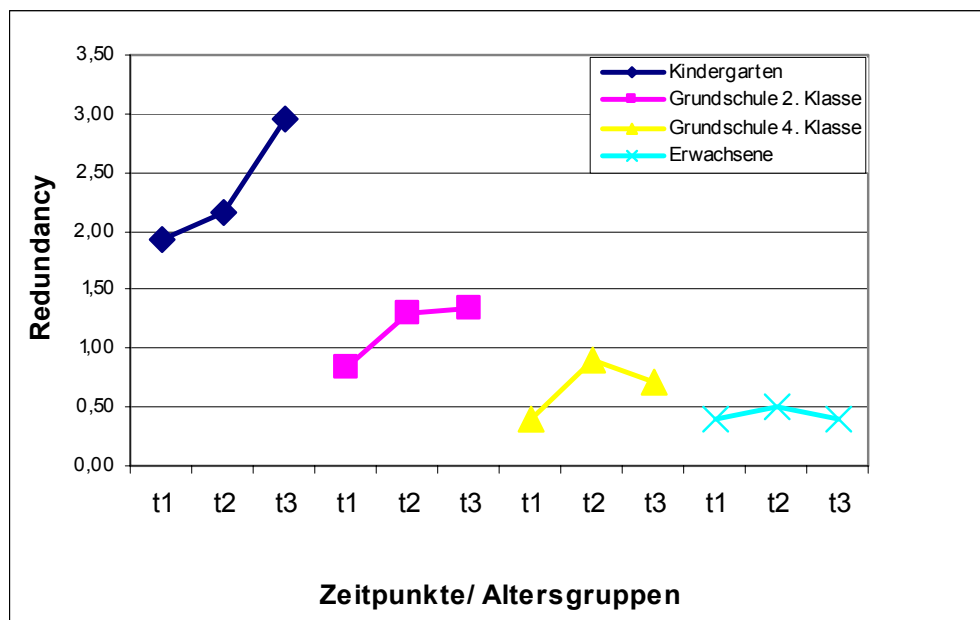


Abbildung 8: Altersunterschiede und Verlauf über drei Testzeitpunkte für *Redundancy* verbal

Die Gleichverteilung der Antwortalternativen zeigt sich für die einzelnen Altersgruppen relativ ausgewogen. Einzelanalysen legen eine Tendenz für eine modalitätsabhängige Randomisierungsleistung nahe. Diese war jedoch varianzanaly-

tisch nicht über die gesamte Altersstichprobe nachweisbar, sondern blieb auf die Gruppe der Erwachsenen beschränkt. Die Tendenz deutet eine relative Homogenität bei der Randomisierungsleistung für die räumliche Modalität an. Im Bereich der Randomisierung über Handbewegungen sind moderate Altersunterschiede auffindbar. Schließlich bietet sich im Einzelvergleich für die verbal gestützte Zufallsproduktion der bedeutsamste Altersunterschied, dass die Gleichverteilung von Antwortalternativen bei den Kindergartenkindern weniger ausgewogen ist. Tendenziell nimmt die Gleichverteilung der 4 Zahlen damit über das ansteigende Alter zu. Ebenfalls über das Alter steigt die Konsistenz der Gleichverteilung über mehrere Messzeitpunkte.

RNG. Die dreifaktorielle ANOVA über die Hauptfaktoren *Altersgruppe*, *Modalität* und *Testzeitpunkt* erbrachte signifikante Resultate für die Faktoren *Modalität* ($F(2, 142) = 35.92, p < .001, f = .71$) und *Testzeitpunkt* ($F(2, 142) = 5.92, p < .01, f = .29$). Der Faktor *Altersgruppe* erwies sich ebenfalls als signifikant ($F(3, 71) = 3.57, p < .05, f = .39$) wenn gleich mit einer mittleren Effektgröße. Zwei- oder dreifache Interaktionen der Hauptfaktoren lagen nicht vor. Separate Varianzanalysen für die vier Altersgruppen erbrachten eine Bestätigung des Faktors *Modalität* (vgl. Tabelle 9) mit durchwegs großen Effektgrößen. Abbildung 9 - 10 zeigen die Mittelwerte für die einzelnen Altersgruppen getrennt nach Bedingungen und Testzeitpunkten (vgl. auch Tabellen 10 -12 im Anhang).

Tabelle 9: Altersspezifische Effekte für die Faktoren *Modalität* und *Testzeitpunkt* auf Basis von dreifaktoriellen ANOVAs über die abhängige Variable *RNG*

	<i>Modalität</i>	<i>Testzeitpunkt</i>
Erwachsene	$F(2, 58) = 19.73, p < .001, f = .82$	$F(2, 58) = 1.43, p = .25, f = .22$
4. Klasse	$F(2, 28) = 11.49, p < .001, f = .91$	$F(2, 28) = .08, p = .92, f = .08$
2. Klasse	$F(2, 20) = 5.75, p < .05, f = .76$	$F(2, 20) = 3.10, p = .07, f = .56$
Kindergarten	$F(2, 36) = 13.09, p < .001, f = .85$	$F(2, 36) = 7.43, p < .01, f = .64$

Bei differenzieller Auswertung nach den einzelnen Altersgruppen bot sich bezüglich des Faktors *Testzeitpunkt* ein anderes Bild. Nur für die Altersgruppe der Kindergartenkinder ergab sich eine signifikante Wirkung des Faktors (vgl. Tabelle 9), für Zweitklässler ein tendenzieller Effekt (der jedoch ob der geringen Teilstich-

probengröße nicht signifikant geworden sein dürfte) und innerhalb der beiden älteren Teilstichproben blieb der Effekt völlig aus. Eine Interaktion der beiden Faktoren konnte in keiner der Altersgruppen nachgewiesen werden. Die differenzielle Wirkung des Faktors *Testzeitpunkt* erstaunt insofern, als in der dreifaktoriellen ANOVA über alle Hauptfaktoren sonst keine bedeutsamen Interaktionen gefunden werden konnten. Ungleiche Stichprobengrößen oder heteroskedastizitäre Wertverteilungen könnten hierbei möglicherweise eine Rolle spielen. Um der Wirkung der Faktoren dezidiert auf den Grund zu gehen, wurden post-hoc t-Tests für abhängige bzw. unabhängige Stichproben sowie Effektgrößen berechnet.

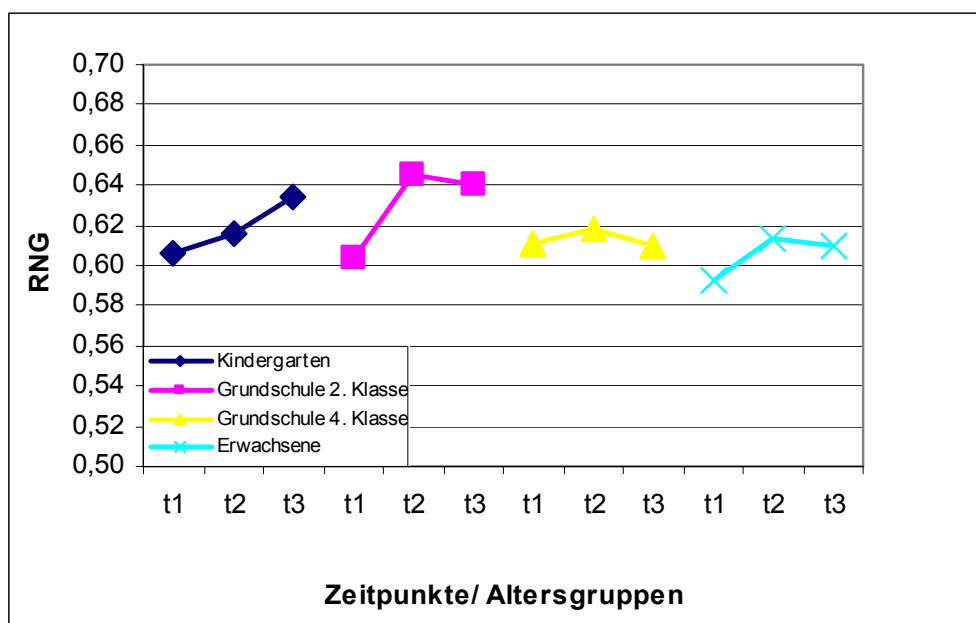


Abbildung 9: Altersunterschiede und Verlauf über drei Testzeitpunkte für *RNG* motorisch

Die Einzelvergleiche belegten den altersspezifischen Effekt des Faktors *Testzeitpunkt* insofern, als dass für die vierte Jahrgangsstufe keine Testzeiteffekte feststellbar waren und für die Erwachsenen lediglich Differenzen zwischen den Testzeitpunkten innerhalb der sprachlichen Randomisierungsbedingung. Diese Effekte sind im mittleren bis großen Effektgrößenbereich anzusiedeln. Keine Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten der sprachgestützten Randomisierungsbedingung fanden sich für die Kindergartenkinder und Zweitklässler. Dafür konnte für die Kindergartenkinder ein mittelgroßer Testzeiteffekt in der motorischen Randomisierungsbedingung gefunden werden. In der gleichen Modalität verschlechterten sich die Kinder der zweiten Jahrgangsstufe zwischen dem ersten und zweiten Testzeit-

punkt ($\epsilon' = 1.66$). Einen ähnlich großen Effekt bot sich für die gleiche Altersgruppe im Vergleich des ersten und zweiten Testzeitpunkts der räumlichen Bedingung.

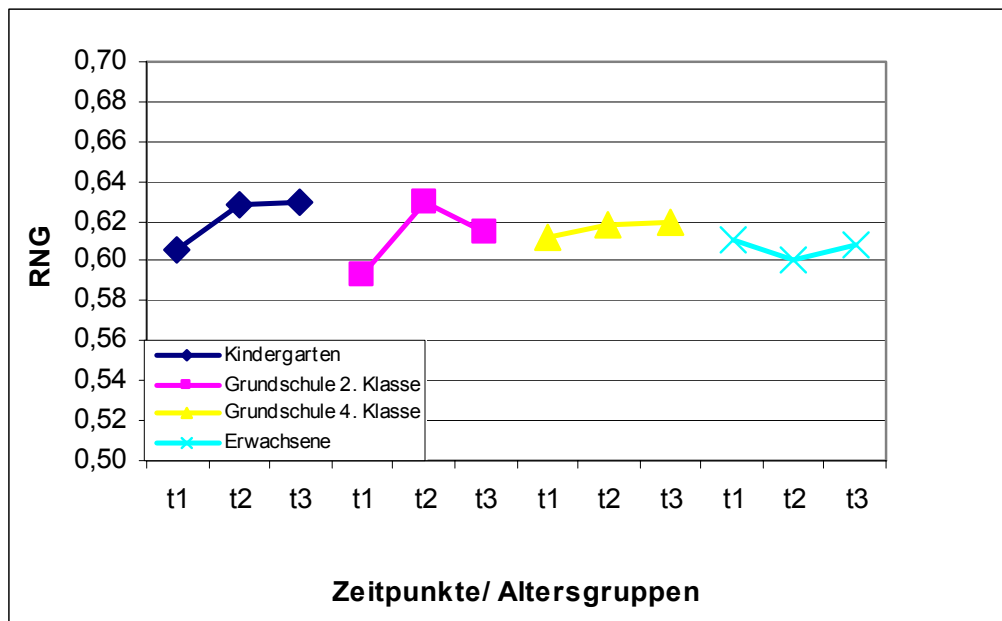


Abbildung 10: Altersunterschiede und Verlauf über drei Testzeitpunkte für *RNG* räumlich

Beim Vergleich zwischen den drei Modalitäten bot sich ein überwiegend einheitliches Muster: Im Bereich des zweiten und dritten Testzeitpunkts unterschieden sich in allen Altersgruppen jeweils die motorischen und räumlichen Produktionsbedingungen signifikant von der sprachlichen Bedingung. Diese Differenzen lagen überwiegend im großen bis sehr großen Effektgrößenbereich ($\epsilon' = .75 - 1.69$). Für die Kindergartenkinder und die Erwachsenen konnten diese Unterschiedsmuster bereits für den ersten Testzeitpunkt nachgewiesen werden. Unterschiede zwischen der räumlichen und motorischen Bedingung konnten für keine Altersgruppe nachgewiesen werden.

Der allgemeine Alterseffekt fiel mit einer über die Varianzanalyse ermittelten Effektgröße $f = .39$ mittelgroß aus. Im Einzelvergleich zeigten sich bei der sprachgestützten Randomisierungsbedingung vor allem Unterschiede zwischen den drei Kinderstichproben und den Erwachsenen. Diese waren im den ersten Testzeitpunkt noch groß ($\epsilon' = 1.09 - 1.22$) nahmen dann aber bis zum dritten Testzeitpunkt ab ($\epsilon' = .52 - .66$). Die Altersdifferenzen im räumlichen Bereich waren überwiegend moderat. Lediglich im zweiten Testzeitpunkt ergab sich zwischen Erwachsenen und Kindergartenkindern/ Zweitklässlern ein Mittelwertsunterschied im mittelgroßen bis großen Effektgrößenbereich. Die motorische Bedingung produzierte Mittelwertsdifferenzen

im mittleren Effektbereich ($\epsilon' = .51 - .69$) zwischen allen Altersbereichen, wenn auch nicht konsistent über die Testzeitpunkte hinweg.

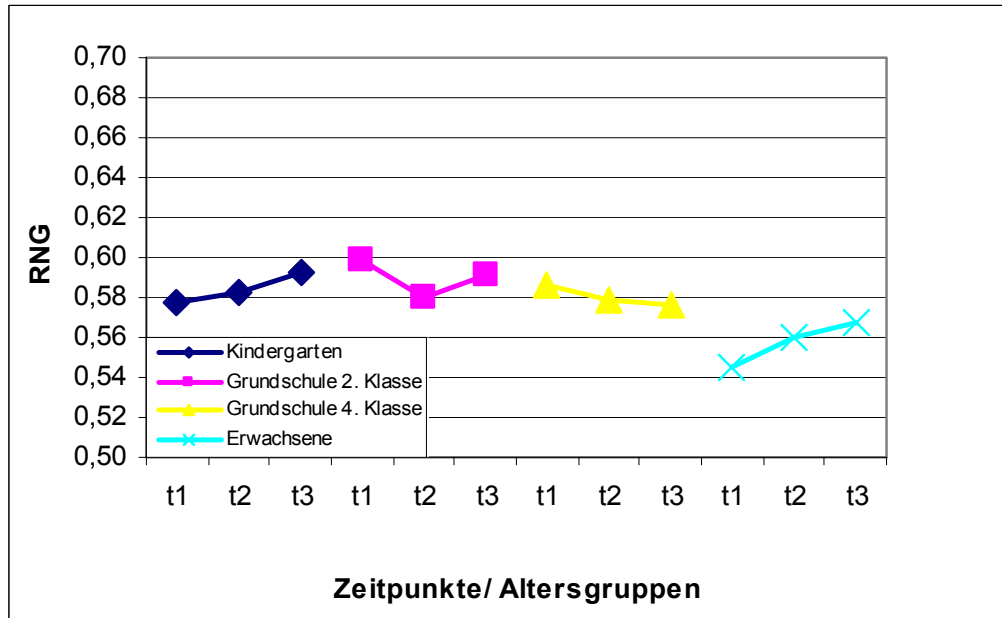


Abbildung 11: Altersunterschiede und Verlauf über drei Testzeitpunkte für *RNG* verbal

Die Gleichverteilung von Antwortpaaren, gemessen über den *RNG*-Index zeichnet sich durch einen moderaten Alterseffekt vorwiegend im motorischen und sprachlichen Bereich aus. Unterschiede zwischen den Modalitäten zeigten sich über alle Altersgruppen für den Vergleich der beiden nonverbalen Bedingungen mit der sprachgestützten Bedingung. Die Konsistenz der Leistung, Antwortpaare gleichzuverteilen, nimmt tendenziell mit dem Alter zu. Während die beiden jüngsten Stichproben starke Leistungsschwankungen über die drei Messzeitpunkte im nonverbalen Randomisierungsbereich aufwiesen, konnten für die Erwachsenen mittlere Leistungseinbußen in der verbalen Produktionsbedingung gefunden werden. Während es dabei bei den jüngeren Stichproben zum zweiten Messzeitpunkt zu einer Abnahme der Gleichverteilung von Antwortpaaren und zum dritten Messzeitpunkt wiederum zu einer Annäherung der Leistung an den ersten Messzeitpunkt kam, zeigte sich bei den Erwachsenen der konstante Trend einer Abnahme der Gleichverteilung von Zahlenpaaren vom ersten bis zum dritten Messzeitpunkt.

Adjacency. Mittels einer dreifaktorielle Varianzanalyse über den Zwischensubjektfaktor *Altersgruppe* und die Innersubjekt Faktoren *Modalität* und *Testzeitpunkt* konnte

ein signifikanter Effekt für den Einfluss der *Altersgruppe* ($F(3, 71) = 13.73, p < .001, f = .76$) und der *Modalität* ($F(2, 142) = 55.17, p < .001, f = .88$) auf die abhängige Variable *Adjacency* nachgewiesen werden. Der Faktor *Testzeitpunkt* zeigte keinen Einfluss ($F(2, 142) = .19, p = .83, f = .05$) auf die Leistung. Eine Interaktion zwischen den Faktoren *Altersgruppe* und *Modalität* bot sich als statistisch bedeutsam dar ($F(6, 142) = 4.42, p < .001$). Weitere bedeutsame Interaktionen konnten nicht nachgewiesen werden.

Separate Varianzanalysen für die vier Altersgruppen erbrachten eine generelle Bestätigung des Faktors *Modalität* (vgl. Tabelle 13) mit durchwegs großen Effektgrößen. Hierbei lässt sich feststellen, dass der Effekt mit steigendem Alter abnimmt.

Tabelle 13: Altersspezifische Effekte durch den Faktor *Modalität* auf *Adjacency*

	<i>Modalität</i>	<i>Testzeitpunkt</i>
Erwachsene	$F(2, 58) = 7.38, p < .01, f = .50$	$F(2, 58) = .48, p = .62, f = .13$
4. Klasse	$F(2, 28) = 9.90, p < .001, f = .84$	$F(2, 28) = .44, p = .65, f = .18$
2. Klasse	$F(2, 20) = 17.50, p < .001, f = 1.32$	$F(2, 20) = .09, p = .92, f = .09$
Kindergarten	$F(2, 36) = 35.67, p < .001, f = 1.41$	$F(2, 36) = .28, p = .75, f = .13$

Der Faktor *Testzeitpunkt* zeigt keinen Einfluss auf die Leistung in der abhängigen Variablen *Adjacency*, die Leistung über die Testzeitpunkte erscheint stabil. Interaktionen der beiden Faktoren konnten in keiner der Altersgruppen gefunden werden. Die Abbildungen 12 - 14 zeigen die Mittelwerte getrennt nach Bedingungen und Testzeitpunkten für den Index *Adjacency* (vgl. auch Tabellen 14 – 16 im Anhang). Der Faktor *Testzeitpunkt* wirkt sich auch im alters- und bedingungsspezifischen Einzelvergleich der einzelnen Testzeitpunkte nicht auf die abhängige Variable aus. Die relative Stabilität der Leistung über die Testzeitpunkte schlägt sich auch beim Vergleich der Bedingungen in den vier Altersgruppen nieder: Der Unterschied zwischen der motorischen und räumlichen Randomisierungsbedingung sowie der motorischen und der sprachlichen Bedingung war für die beiden jüngsten Altersstichproben zu allen drei Testzeitpunkten statistisch bedeutsam ($\epsilon' = .88 - 2.04$). Auch für die beiden älteren Gruppen konnte ein statistischer Bedingungseffekt beim Vergleich von motorischer und räumlicher Bedingung über alle Testzeitpunkte nachgewiesen werden, jedoch in geringerer Ausprägung ($\epsilon' = .65 - 1.33$). Der Unter-

schied zwischen der motorischen und der *sprachgestützten* Zufallsgenerierung zeigte sich bei den Zehnjährigen ebenfalls als bedeutsam, wenn auch nicht stabil über alle drei Messzeitpunkte. Für die Erwachsenen konnte in den beiden letzten Zeitpunkten eine bedeutsame Differenz zwischen räumlicher und verbaler Bedingung gefunden werden. Generell nimmt die Ausprägung der Modalitätseffekte über das ansteigende Alter geringfügig ab.

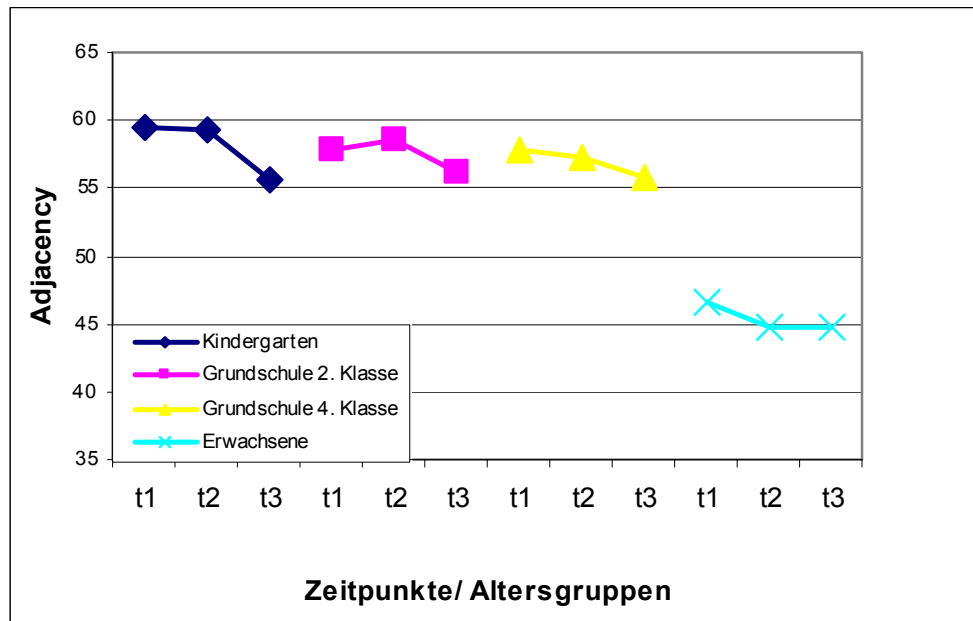


Abbildung 12: Altersunterschiede und Verlauf über drei Testzeitpunkte für *Adjacency* motorisch

Beim Vergleich der Altersgruppen bot sich ein scheinbar linearer Alterstrend: Sechs- und Achtjährige unterschieden sich von Erwachsenen und in Teilen von den Zehnjährigen (vgl. Anhang 2). Bei näherer Betrachtung zeigte sich, dass entwicklungsbedingte Unterschiede in der motorischen Bedingung ausschließlich über den Vergleich Kinder vs. Erwachsene zustande kamen, dann aber durchwegs bedeutsam und mit einer Effektgröße zwischen .92 und 1.40. Bereits in Experiment 1 konnte ein bedeutsamer Unterschied zwischen der Leistung von Kindern und Erwachsenen in der motorischen Bedingung für *Adjacency* gefunden werden. Dort zeigten aber die Erwachsenen eine signifikant schlechtere Leistung, während sie im aktuellen Experiment konsistent besser abschnitten. Ein schlechteres Abschneiden von älteren gegenüber jüngeren Altersgruppen findet sich in der räumlichen Randomisierungsversion. Hier boten sich über die ersten beiden Testdurchgänge bedeutsame Unterschiede zwischen den beiden jüngeren Altersgruppen und den Viertklässlern.

Auch die Erwachsenen unterschieden sich bedeutsam von der vierten Jahrgangsstufe in der motorischen Version zu allen drei Testzeitpunkten ($\epsilon = .99 - 1.35$). Altersdifferenzen in ebenjener Randomisierungsbedingung konnten zwischen den Erwachsenen und den zwei jüngeren Altersstichproben innerhalb des zweiten und dritten Testzeitpunkts gefunden werden.

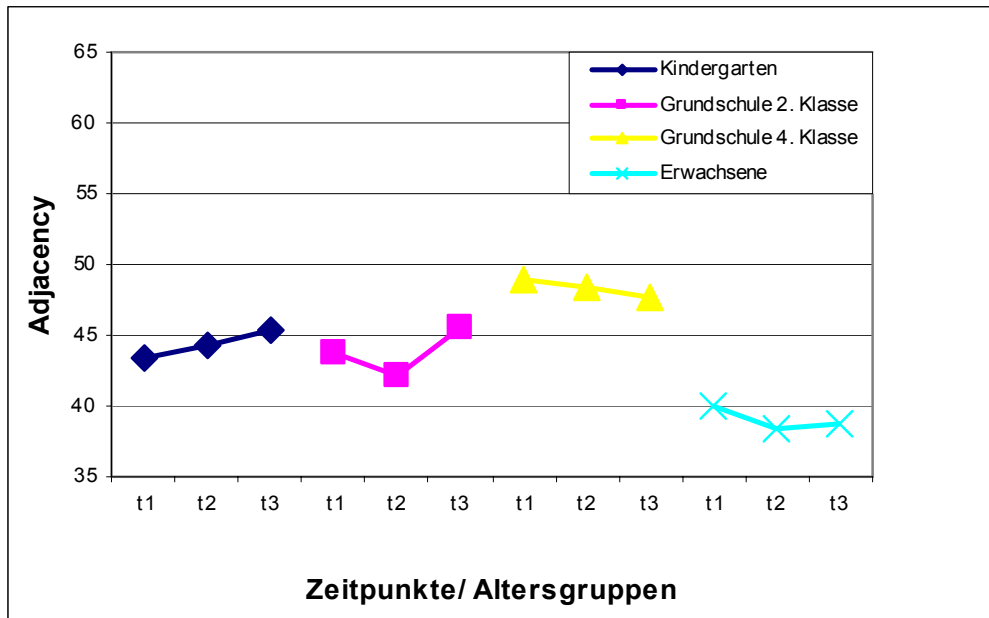


Abbildung 13: Altersunterschiede und Verlauf über drei Testzeitpunkte für Adjacency räumlich

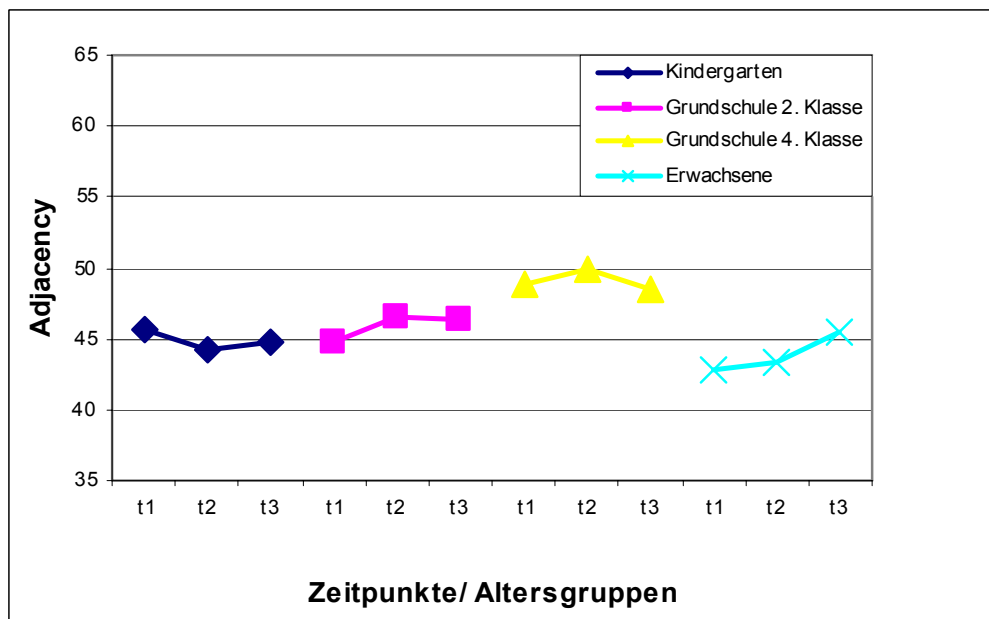


Abbildung 14: Altersunterschiede und Verlauf über drei Testzeitpunkte für Adjacency verbal

Entwicklungsbedingte Mittelwertsdifferenzen waren in der sprachgestützten Randomisierungsbedingung eher moderat anzutreffen. Einzig zum ersten und zweiten Testzeitpunkt unterschieden sich Erwachsene und Grundschul Kinder der vierten Jahrgangsstufe signifikant voneinander.

Moderate Unterschiede zwischen Viertklässlern und beiden jüngeren Gruppen fanden sich ebenfalls zum ersten und zweiten Testzeitpunkt. Danach waren die Mittelwertsdifferenzen in allen Altersbereichen ausgeglichen. Die Fähigkeit, seriell benachbarte Antwortpaare gleichverteilt einzusetzen wurde mittels des *Adjacency-Index* abgeprüft. Dabei erwies sich die Leistung über die Testzeitpunkte als stabil für alle Altersgruppen. Wesentliche Unterschiede ergaben sich zwischen der motorischen und der räumlichen bzw. der motorischen und der sprachlichen Modalität in allen Altersgruppen. Der Effekt der *Altersgruppe* äußert sich in Unterschieden zwischen Erwachsenen und den beiden jüngsten Altersgruppen der Kindergarten Kinder und Zweitklässler. Unterschiede zwischen der vierten Klasse und allen anderen Jahrgangsstufen waren in der räumlichen und sprachlichen Bedingung anzutreffen. Hier erwiesen sich die Kinder der vierten Jahrgangsstufe als schlechter als die übrigen Versuchsteilnehmer.

Phi2. Die univariate Analyse der Variable *Phi2* zum Nachweis von Wiederholungsvermeidungstendenzen erbrachte signifikante Effekte für die Faktoren *Altersgruppe* ($F(3, 71) = 5.26, p < .01, f = .47$) *Modalität* ($F(2, 142) = 12.86, p < .001, f = .43$) und *Testzeitpunkt* ($F(3, 71) = 5.25, p < .01, f = .29$). Innerhalb der Altersgruppen konnte die Wirkung des Faktors *Modalität* durchwegs bestätigt werden, hingegen der Effekt des *Testzeitpunkts* nur für die beiden jüngeren Altersgruppen (vgl. Tabelle 17).

Tabelle 17: Altersspezifische Effekte der Faktoren *Modalität* und *Testzeitpunkt* auf *Phi2*

	<i>Modalität</i>	<i>Testzeitpunkt</i>
Erwachsene	$F(2, 58) = 3.87, p < .05, f = .37$	$F(2, 58) = 2.52, p = .09, f = .29$
4. Klasse	$F(2, 28) = 5.09, p < .05, f = .60$	$F(2, 28) = 1.35, p = .28, f = .31$
2. Klasse	$F(2, 20) = 3.80, p < .05, f = .62$	$F(2, 20) = 4.98, p < .05, f = .71$
Kindergarten	$F(2, 36) = 6.85, p < .01, f = .62$	$F(2, 36) = 4.28, p < .05, f = .49$

Uneinheitlich gestaltet sich die Wirkung des Faktors *Testzeitpunkt* auf die Randomisierungsleistung: Während bei den Zweitklässlern und Vorschulkindern ein

bedeutsamer Einfluss im großen Effektgrößenbereich vorzufinden ist, zeigt sich der Einfluss des Faktors bei den beiden älteren Versuchsteilnehmergruppen mit einer mittleren Effektgröße als statistisch nicht bedeutsam (vgl. auch Abb. 15 -16 sowie die Tabellen 18 -20 im Anhang). Die Analyse des Verlaufs der *Phi 2*-Werte über die Testzeitpunkte ergab eine relative Stabilität in allen Altersgruppen. Jedoch konnten für die Erwachsenen in der sprachlichen Bedingung Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten festgestellt werden.

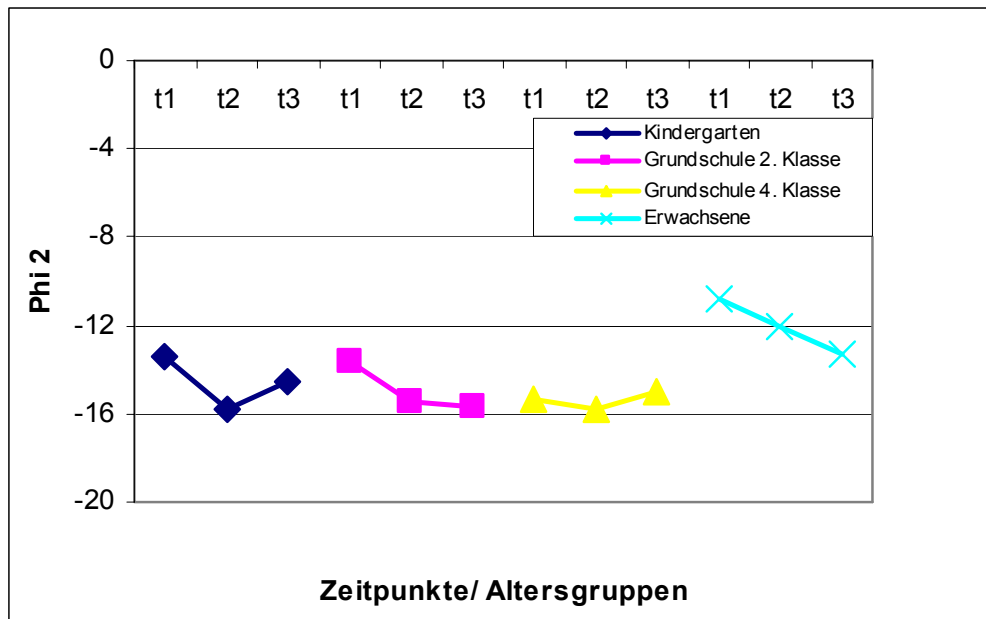


Abbildung 15: Altersunterschiede und Verlauf über drei Testzeitpunkte für *Phi 2* motorisch

Ein Effekt des *Testzeitpunktes* bot sich in der Altersgruppe der Zweitklässler zwischen allen drei Zeitpunkten innerhalb der räumlichen Randomisierungsbedingung. Keine bedeutsamen Mittelwertsunterschiede bezüglich des Testzeitpunktes konnten jedoch für die Kindergartenkinder gefunden werden. Der in der ANOVA gefundene Testzeitpunkteffekt für diese Altersgruppe lässt sich aber über tendenzielle Mittelwertsunterschiede in der räumlichen und motorischen Bedingung aufklären. Diese liegen im mittleren Effektgrößenbereich von $\epsilon = .5 - .6$. Der in allen Altersgruppen vorliegende Modalitätseffekt definiert sich maßgeblich über Unterschiede zwischen den Itempoolbedingungen *motorisch* und *verbal*. Die hier gefundenen Unterschiede traten bedeutsam in allen Altersgruppen auf ($\epsilon = .69 - 1.55$), wengleich die Effektgröße des Modalitätsunterschiedes über alle Testzeitpunkte variierte. Ebenso schwankte das Ausmaß des Unterschieds zwischen der räumlichen und sprachlichen Modalität über die drei Testzeitpunkte: Der Unterschied konnte für Kindergartenkinder, Zweitklässler und Erwachsene gefunden werden.

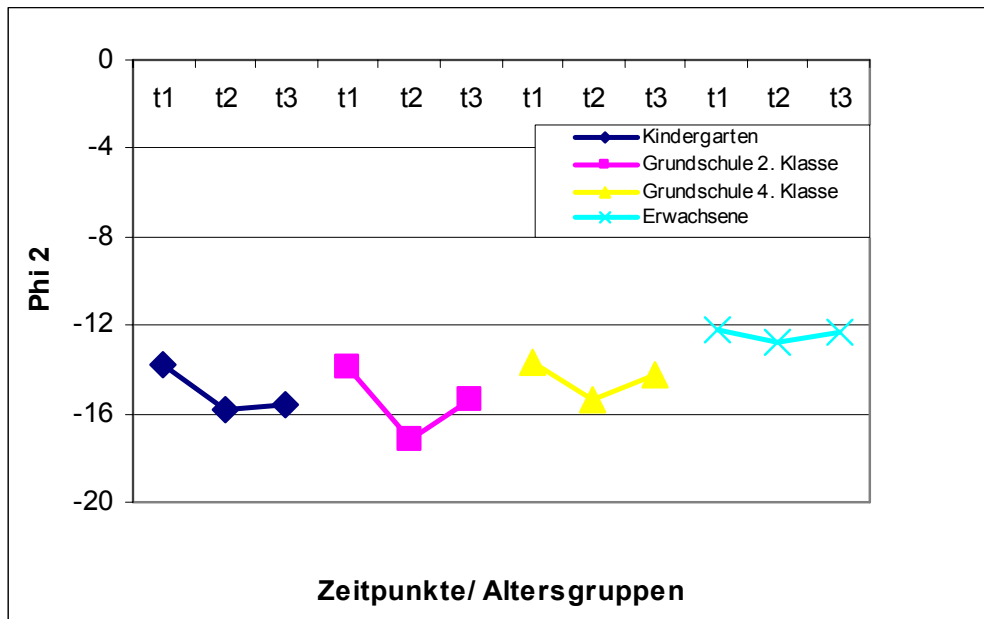


Abbildung 16: Altersunterschiede und Verlauf über drei Testzeitpunkte für *Phi 2* räumlich

Der generelle Effekt des Faktors *Altersgruppe* lässt sich über post hoc t-Tests näher spezifizieren. Innerhalb der motorischen Modalität zeigten sich bedeutsame Altersdifferenzen lediglich zwischen den erwachsenen und den zehnjährigen Versuchspersonen. Unterschiede zwischen den jüngeren Kindern und den Erwachsenen waren im mittleren Effektgrößebereich anzusiedeln und zeitlich nicht stabil.

Innerhalb der räumlichen Modalität definieren sich die Alterseffekte überwiegend über die Differenzen zwischen den Erwachsenen und den beiden jüngeren Stichproben, allerdings nur in den beiden letzten Testzeitpunkten. Ebenfalls nicht zeitlich konsistent erwiesen sich die bedeutsamen Unterschiede zwischen den Erwachsenen und den Grundschulkindern in der sprachgestützten Bedingung: Lediglich zu den beiden ersten Testzeitpunkten waren diese Effekte statistisch bedeutsam.

Die Tendenz, unmittelbare Itemwiederholungen zu vermeiden, wurde über den Index *Phi 2* untersucht. Dabei zeigten sich Modalitätsunterschiede in erster Linie zwischen den nonverbalen Bedingungen und der sprachlichen Randomisierungsversion. Die gefundenen Altersdifferenzen definieren sich in erster Linie über die Unterschiede zwischen den Kinderstichproben und den Erwachsenen. Testzeitpunkteffekte waren innerhalb der zweiten Jahrgangsstufe anzutreffen und in abgeschwächter Form bei Erwachsenen und Vorschulkindern.

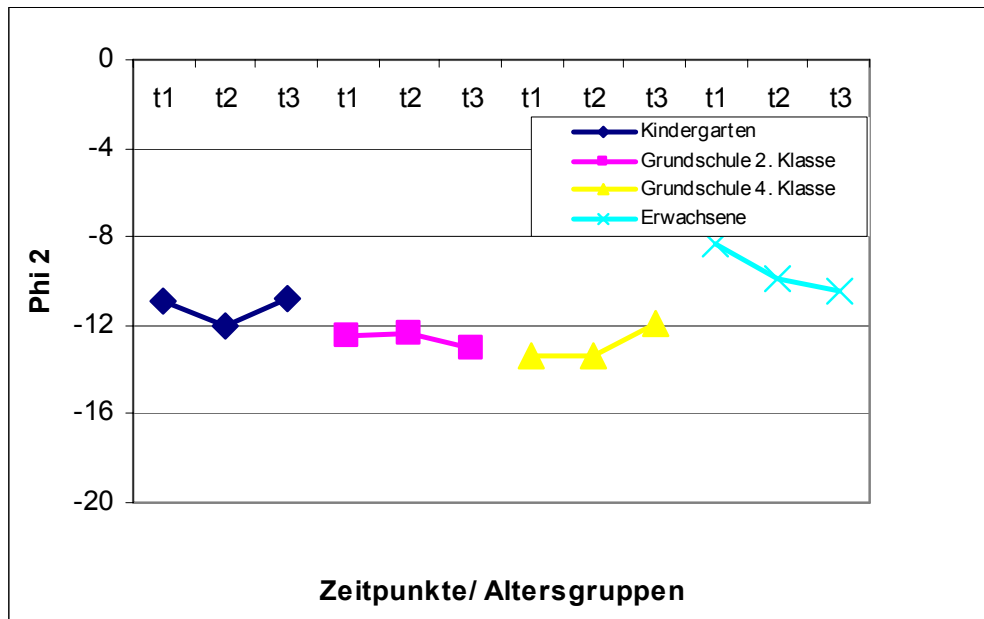


Abbildung 17: Altersunterschiede und Verlauf über drei Testzeitpunkte für *Phi 2* verbal

Zusammenfassung der Ergebnisse. Experiment 2 diente der Untersuchung der Stabilität von Modalitäts- und Altersgruppeneffekten in der *Random Generation Aufgabe*. Dazu wurde der Effekt dreier unterschiedlicher Ereignisräume auf die Randomisierungsleistung von Sechs-, Acht- und Zehnjährigen sowie Erwachsenen über drei Testzeitpunkte im einwöchentlichen Abstand untersucht. Bei den drei Ereignisräumen handelte es sich um zwei nonverbale Itempools (4 Handbewegungen und 4 Positionen) und eine sprachgestützte Version (Zahlen 1-4). Ebenso wie in Experiment 1 wurden vier Indices zur Beurteilung der Zufallsgüte in einer multivariaten Auswertung untersucht und erbrachten bedeutsame Haupteffekte für die Faktoren *Altersgruppe*, *Modalität* und *Testzeitpunkt*. Univariate Analysen über jeden einzelnen Index konnten den Faktor *Altersgruppe* bestätigen. Innerhalb der Altersgruppen zeigte sich der Einfluss der Aufgabenmodalität als stabile Größe, die Wirkung des Faktors *Testzeitpunkt* hingegen nahm mit zunehmendem Alter generell ab. Das heißt, dass im Grundsatz die Leistungen von Erwachsenen bei der Generierung von Zufallsreihen geringeren Schwankungen unterliegen, somit also im Vergleich zu den jüngeren Kinderstichproben wesentlich stabiler sind.

Die Analyse des Index *Redundancy* ergab für die einzelnen Altersgruppen eine relative Gleichverteilung aller Items in sämtlichen Itempoolbedingungen und über die Bedingungen hinweg. Lediglich in der Gruppe der Erwachsenen unterschieden sich die Leistungen über die Modalitäten hinweg. Die gefundenen Alters-

unterschiede sind im Bereich der motorischen Randomisierung zwar moderat, aber deutlicher ausgeprägt als in der sprachlichen Modalität.

Bei Untersuchung der Gleichverteilung von Antwortpaaren wurden mittlere Alterseffekte in den Bereichen motorischer und sprachlicher Zufallsproduktion nachgewiesen. Modalitätsunterschiede waren einheitlich über alle Altersgruppen zwischen nonverbalen Bedingungen und sprachgestützten Bedingungen anzutreffen. Generell steigt die Stabilität des *RNG*-Index mit dem Alter an: Bei jüngeren Kindern ergaben sich gerade im nicht-sprachlichen Bereich Leistungsschwankungen über die Zeit, wohingegen die Erwachsenen geringfügigere Inkonsistenzen bei der Zufallsreihenbildung im sprachlichen Ereignisraum boten.

Die Tendenz zu stereotypen Reihen wurde über den *Adjacency* Index geprüft. Hier ergaben sich stabile Leistungen über alle Altersgruppen. Unterschiede zwischen den Modalitäten konnten konsistent über alle Altersgruppen zwischen der motorischen und der räumlichen/ sprachlichen Modalität gefunden werden. Altersdifferenzen wurden zwischen Erwachsenen und den beiden jüngsten Altersgruppen sowie zwischen der vierten Klasse und allen anderen Altersgruppen nachweisbar. Der letztgenannte Unterschied bezieht sich jedoch ausschließlich auf den räumlichen und sprachlichen Bereich.

Der *Phi 2*-Index beschreibt die Tendenz zur unmittelbaren Wiederholung eines Items. Unterschiede in der Aufgabenmodalität waren wiederum zwischen der sprachlichen und den nonverbalen Bedingungen anzutreffen. Alterseffekte wurden zwischen den Kinderstichproben und den Erwachsenen angetroffen. Die Leistungsstabilität über die Testzeitpunkte schwankt altersspezifisch moderat.

2.3 Diskussion

Ähnlich wie in Experiment 1 fanden sich im vorliegenden Experiment Modalitäts- und Altersgruppenunterschiede. Über die Testzeitpunkte waren diese Unterschiede relativ stabil, wenngleich ein allgemeiner Trend andeutet, dass mit dem Alter auch die Konsistenz der Leistungen zunimmt. Damit scheinen die Aufgaben im Großen und Ganzen verlässliche Messungen zu ermöglichen.

Die unterschiedliche Leistung in sprachlichen und nicht-sprachlichen Item-pools belegt den bereits in Experiment 1 nachgewiesenen Modalitätseffekt. Da dieser Effekt für mehrere Indices auch über die Altersgruppen hinweg anzutreffen ist, stellt sich die Frage nach seinem Zustandekommen. Neben modalitätsspezifischen

Repräsentationsformen des Itempools dürften Outputmonitoringprozesse ebenfalls eine Rolle spielen. Das Outputmonitoring dient u.a. der Inhibition stereotyper Antwortmuster. Dazu sind laut Brugger (1997) ebenfalls Speicherprozesse notwendig. Diese dienen dem Abgleich der zu erstellenden Sequenz mit dem bereits getätigten Output und dürften modalitätsspezifisch sein. Sowohl Brugger als auch Towse und Valentine (Towse & Valentine, 1997) sprechen hierbei von „Speicherprozessen“, spezifizieren aber nicht näher, welcher Art diese Prozesse sind. Dies verwundert insofern, als Towse der britischen Arbeitsgedächtnistradition um Baddeley entstammt, die sich genuin mit subsystem- und modalitätsspezifischen Speicherprozessen auseinandersetzt. Geht es um das Bereithalten eines Itempools, dürften sich allein schon auf Grund der eher seriellen Betonung von sprachlichen Prozessen Unterschiede ergeben. Die Verfallsdauer von Information in der phonologischen Schleife ist mit etwa zwei Sekunden relativ kurz. In normalen Gedächtnisuntersuchungen kann oft die längere Behaltensdauer in der phonologischen Schleife angeführt werden. Diese kommt über Rehearsal oder anders geartete Wiederauffrischungsprozesse zustande. Sprachliches Rehearsal tritt aber erst im Verlauf des frühen Grundschulalters spontan in Erscheinung und verhilft erst im Verlauf des weiteren Grundschulalters zu einer maßgeblichen Leistungssteigerung. D.h. die schlechtere Leistung jüngerer Kinder in sprachbasierten *Random Generation Aufgaben* lässt sich damit auch über das Fehlen phonologischer Rehearsalprozesse erklären. Es dürfte erschwerend hinzukommen, dass durch die stetige verbale Produktionsbedingung eine Form der artikulatorischen Unterdrückung des bereitzuhaltenden Ereignisraumes induziert werden kann. Daher stellt sich die Frage, ob wirklich das Bereithalten des Ereignisraumes oder vielmehr die Speicheranforderung beim Monitoring, die sich ja ständig neu ergibt, durch die artikulatorische Suppression gestört wird. Hier sollten Befunde mit einem vergrößerten Ereignisraum und der damit verbundenen erhöhten Bereithaltensanforderung Klarheit schaffen. Insofern erscheint der hier untersuchte, aus vier Elementen bestehende Ereignisraum die phonologische Arbeitsgedächtniskapazität der älteren Versuchspersonen nicht nennenswert zu fordern. Auch in der motorischen Bedingung zeigten sich Alterseffekte (vgl. *Redundancy*), wenngleich in schwächerem Ausmaß als für die sprachliche Modalität. Generell kann dies im Sinne einer subsystembezogenen Speicheranforderung zweierlei bedeuten. Entweder wird der motorische Itempool anders repräsentiert und involviert damit den visuell-räumlichen Notizblock in geringerem Maße,

oder aber, die Repräsentation erfolgt über das visuell-räumliche Subsystem des Arbeitsgedächtnisses. Dann ist zu fragen, ob ein vergleichbarer Wiederauffrischungsprozess wie im sprachlichen System notwendig ist oder ob die Verfallsdauer ohne Wiederauffrischung im visuell-räumlichen Notizblock wesentlich länger ist. Sollte eine Art räumlich-motorisches Rehearsal stattfinden, ist die Frage nach seiner Natur zu klären. Bisherige Ausführungen dazu beziehen sich weniger auf motorische als vielmehr auf visuell-räumliche Prozesse. Für eine andere Repräsentationsform sprechen die vergleichsweise geringen Altersunterschiede in der räumlichen Bedingung. Möglicherweise stellt hier das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis einen Sonderfall dar, denn die dynamische Produktion – motorisch und räumlich – kann über den räumlichen Teil des Systems im Sinne eines Handlungsentwurfs mit getragen werden, wohingegen das Bereithalten des Itempools über die statisch-visuellen Komponenten vorgenommen werden kann.

Auch in Experiment 2 konstituierten sich die gefundenen Alterseffekte meist über die Unterschiede zwischen jüngeren Kindern bzw. der gesamten Kinderstichprobe und den Erwachsenen. Dies lässt vermuten, dass Unterschiede innerhalb des Grundschulalters entweder nicht vorhanden oder aber nur ungenügend über die Aufgabe bzw. die Indices gemessen werden. Auffällig ist jedoch, dass es auch Ausnahmen in dem eben beschriebenen Alterstrend gab. So konnte im Bereich des *Adjacency*-Index für den räumlichen und sprachlichen Itempool eine jeweils schlechtere Leistung der vierten Jahrgangsstufe gegenüber den jüngeren Kindern nachgewiesen werden. Spielen hierbei Veränderungen in den der Zufallsproduktion zugrunde liegenden strategischen Prozessen eine Rolle? Dann wäre bei einem Umschwung der Strategienutzung möglicherweise zunächst ein Leistungseinbruch im Sinne eines Utilisationsdefizits vorzufinden. Oder ist etwa davon auszugehen, dass jüngere Kinder bei der Zufallsgenerierung generell andere Prozesse nutzen als ältere Kinder und Erwachsene (vgl. Rabinowitz et al., 1989)? Dass damit also möglicherweise nicht von Strategien im herkömmlichen Sinne gesprochen werden kann? Es erscheint aber vor der Klärung der Frage nach unterschiedlichen Randomisierungsstrategien angebracht, grundlegendere Prozesse in ihrer Wirkung auf die Zufallsgenerierung zu untersuchen.

Grundsätzlich wurde durch Experiment 2 deutlich, dass die Unterschiede zwischen den Altersgruppen relativ stabil sind und modalitätsabhängig divergieren. Damit drängen sich zur Erklärung von Alters- und Modalitätsunterschieden zwei

Argumentationslinien auf. Die eine Linie betont subsystemspezifische Speicheranteile bei der Ausführung von Random Generation. Diese spielen bei dem Bereithalten und bei übergeordneten Outputmonitoringprozessen eine Rolle. Demgegenüber bezieht sich die andere Argumentationslinie auf die Rolle zentral-exekutiver Prozesse, speziell Anforderung der Inhibition. Zu beiden Argumenten soll nun in Experiment 3 und 4 die Rolle kurzzeitiger Speicherprozesse und der Inhibition geklärt werden.

3. Experiment 3

Welche mentalen Prozesse spielen bei der Generierung von Zufallsreihen eine Rolle? Darüber existieren in der Literatur unterschiedliche Ansichten. Zum einen werden verschiedene Inhibitionsprozesse als relevant erachtet, etwa die Suppression von stereotypen Antwortmustern oder die Vermeidung von unmittelbaren Itemwiderholungen (vgl. Baddeley et al., 1998). Zum anderen werden kurzzeitige Abruf- und Gedächtnisprozesse als bedeutsam angesehen. Während die Rolle von Abrufplänen eine wesentliche Bedeutung bei Generierung von Zufallsreihen aus bekannten Itempools haben dürfte, ist die Rolle von kurzzeitigen Speicherprozessen vielschichtiger. Bereits Tune (1964) sah in kurzzeitigen Behaltensprozessen eine sehr wichtige Leistungsdeterminante bei der Generierung von Zufallsreihen (vgl. Brugger, 1997 zu einer kritischen Revision dieser Position). Towse und Valentine (1997) wiesen kurzzeitigen Gedächtnisprozessen eine ähnlich bedeutende Rolle wie der Inhibition zu. Diese Ansicht teilen auch Jahanshahi und Dirnberger (1999) in ihrer Beschreibung von Prozessen bei der *Random Generation Aufgabe*. Demnach sind Gedächtnisprozesse beim Bereithalten des Itempools von entscheidender Bedeutung. Kritisch anzumerken ist, dass selbst Forscher aus der Arbeitsgedächtnis-tradition die kurzzeitigen Gedächtnisanforderungen im Sinne beteiligter Subsystem nicht näher spezifizieren (vgl. Towse & Valentine, 1997; Baddeley et al., 1998). Algorithmen des subjektiven Zufallskonzepts einer Person in Form einer Produktionsstrategie müssen ebenfalls über Speicherprozesse bereitgehalten werden. Ferner erfordere auch die Inhibition von stereotypen Antwortmustern oder bereits getätigten Antwortfolgen kurzzeitige Bereithaltensprozesse, denn, nur wenn über ein Monitoring ein fortlaufender Abgleich des aktuellen mit dem bereits getätigten Output vorgenommen wird, können stereotype Muster inhibiert werden.

Die Bedeutung kurzzeitiger Gedächtnisprozesse wurde in zahlreichen Studien über die experimentelle Manipulation eines zusätzlichen *Memory Loads* nachgewiesen. Bislang existiert jedoch nur eine Studie, in der gezielt versucht wurde, die Speicheranforderung in der *Random Generation Aufgabe* zu minimieren. Towse (1998) konnte die Leistung in der Random Number Generation Aufgabe steigern, wenn der Itempool während der Ausführung visuell präsentiert wurde. Er interpretiert die Leistungssteigerung über eine entlastende Funktion bei der Repräsentation des Ereignisraumes. Mit Jahanshahi und Dirnberger (1999) ist davon auszugehen,

dass über eine visuelle Präsentation von Itemalternativen auch Prozesse des Outputmonitoring unterstützt werden können. Gesetzt den Fall, dass die unterschiedliche phonologische und visuell-räumliche Arbeitsgedächtniskapazität von Kindern und Erwachsenen eine wesentliche Determinante von Unterschieden in der *Random Generation Aufgabe* darstellt, müsste eine Entlastung von dieser kurzzeitigen Gedächtnisressourcen zur Verringerung oder Aufhebung von Leistungsunterschieden beitragen. Im Folgenden soll daher eine dynamisch-visuelle Itempräsentation während der Aufgabenausführung an der *Random Generation Aufgabe* bei Vor- und Grundschulkindern vorgenommen werden. Zusätzlich soll über die Variation der Itempoolgröße die Anforderung der Itempoolrepräsentation variiert werden.

3.1 Methode

Stichprobe. 98 Versuchspersonen aus vier Altersgruppen nahmen an Experiment 3 teil: 23 Sechsjährige ($M = 6;4$, $SD = ;6$), 23 Achtjährige ($M = 8;6$ $SD = ;5$), 25 Zehnjährige ($M = 10;5$ $SD = ;4$) und 27 Erwachsene ($M = 27;3$; $SD = 6;3$). Auf eine Gleichverteilung des Geschlechts innerhalb der einzelnen Teilstichproben wurde bei der Rekrutierung der Versuchspersonen soweit wie möglich geachtet.

Material. Ebenso wie in Experiment 1 und 2 mussten die Versuchspersonen Zufallsreihen bilden. Es wurden drei unterschiedliche Itempools verwendet. Zwei davon, die Bedingungen „Zahlen 1 - 4“ und „4 Handbewegungen“, waren identisch mit den zwei Teilbedingungen in Experiment 1 und 2. Die Wahl fiel auf diese beiden Bedingungen, da bei ihnen im Gegensatz zu der räumlichen Itempoolversion in Experiment 1 und 2 („4 Positionen“) sich die Produktionsmodalität von der Repräsentationsmodalität unterscheidet. Eine dritte Itempoolversion enthielt zehn Items, die Zahlen von 1 bis 10. Diese Version wurde eingeführt, um die Gedächtnisanforderung (im folgenden auch „*Memory Load*“) bei der Itempoolrepräsentation zu erhöhen. Zusätzlich zu den drei Standardversionen der Itempools, bei denen die Versuchspersonen die einzelnen Ereignisräume jeweils mental repräsentieren mussten, kam jeweils eine zweite Version für jeden Itempool zum Einsatz. Hier wurde der Ereignisraum in Form einer regelmäßigen Anordnung auf einem Computerbildschirm dynamisch präsentiert. Produzierte die Versuchsperson ein Item, wurde dies aus dem am Bildschirm abgebildeten Itempool ausgeblendet und erschien dann langsam wieder innerhalb eines festgelegten Intervalls, indem es über mehrere

Grautöne die Farbe bis hin zum ursprünglichen Schwarz wechselte. Das Intervall der allmählichen Wiedereinblendung richtete sich nach der Itempoolgröße und betrug 2,5 Sekunden für die beiden Ereignisräume mit vier Elementen und 6,5 Sekunden für die Bedingung mit 10 Zahlen. Damit waren, ausgehend von einem zweisekündigen Produktionsintervall, zu jedem Zeitpunkt 75% des jeweiligen Itempools vollständig sichtbar. Die Gestaltung des Präsentationsintervalls wurde auf Basis von Vorversuchen unternommen. Hierbei stellte sich bei erwachsenen Versuchspersonen heraus, dass eine noch langsamere Einblendung zwar eine ebenso gute Gleichverteilung der Antwortalternativen wie bei schnellerer Einblendung zur Folge hatte, jedoch eine stärkere Wiederholungsvermeidung und eine Häufung bestimmter Antwortpaare induzierte. Dies wurde auch von den Versuchspersonen berichtet: Sie gaben an, dass der subjektiv wahrgenommen unterstützende Effekt sich bei zu langsamer Einblendung in das Gegenteil verkehrte. Da die dynamische Präsentation sowohl das Bereithalten des Ereignisraumes aber auch die kurzzeitigen Speicherprozesse beim Outputmonitoring unterstützen sollte, jedoch nur einen geringen direkten Einfluss auf die Wahl der Itemalternativen ausüben durfte, wurde das Präsentationsintervall entsprechend angepasst. Die dynamische Präsentation des Itempools wurde über ein Java-Programm vorgenommen und lief auf einem Dell Notebook mit 1,7 MHz getaktetem Pentium 4 Mobile Prozessor. Die Größe des Laptopdisplays betrug 15 Zoll. Innerhalb jeder Bedingung produzierte jede Versuchsperson wiederum mindestens 70 Nennungen, von denen jeweils die ersten 60 in die Auswertung aufgenommen wurden. Die Instruktionen sowie die Aufzeichnung der Itemnennungen waren identisch zu Experiment 1.

Versuchsdesign. Die Kombination der drei Itempools und der zwei Präsentationsversionen führte zu sechs Untersuchungsbedingungen. Damit ergibt sich ein dreifaktorielles Design über die Zwischensubjektvariable *Altersgruppe* und die Innersubjektvariablen *Modalität* und *Unterstützung*.

Versuchsablauf. Jede Versuchsperson wurde in einem ruhigen Raum getestet. Die Abfolge der Bedingungen war zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten für jede Versuchsperson und zu jedem Testzeitpunkt randomisiert. Auf Wunsch der Versuchspersonen konnte nach jeder Untersuchungsbedingung eine Pause vorgenommen werden, bei den Kinderstichproben wurde nach der dritten Untersuchungsbedingung eine feste Pause von eineinhalb Minuten vorgenommen. Das

Produktionsintervall betrug wie in den vorangegangenen Experimenten zwei Sekunden pro Item. Instruktion, Dauer der Einzelbedingungen und Vorgehen in den einzelnen Testzeitpunkten waren übereinstimmend zu Experiment 1. Die Bedingungen mit dynamisch-visueller Darbietung des Itempools wurden gesondert eingeführt. In der Instruktion wurde betont, dass die Versuchspersonen die visuelle Unterstützung nutzen sollten, um einerseits einen Überblick über alle verwendbaren Items zu haben und andererseits eine Erleichterung bei der Vergegenwärtigung von Items zu erfahren, welche man unlängst verwendet habe. Vor jeder Bedingung erhielten die Versuchspersonen einen halbminütigen Übungsdurchgang, der bei Bedarf zusammen mit der jeweiligen Instruktion wiederholt werden konnte.

3.2 Ergebnisse

In Übereinstimmung mit den vorangegangenen Experimenten wurden die Indices *Redundancy*, *RNG*, *Adjacency* und *Phi 2* als abhängige Variablen verwendet. Zunächst wurde eine dreifaktorielle multivariate Varianzanalyse über die Faktoren *Altersgruppe*, *Modalität* und *Unterstützung* gerechnet. Der Einfluss der Faktoren auf die Indizes wurde in univariaten Analysen gesondert untersucht. Bedeutsame Effekte in den univariaten Analysen wurden über Einzelvergleiche näher überprüft. Bei der Darstellung der Einzelvergleiche wird im Falle bedeutsamer Effekte auf die Effektgrößen eingegangen. Um einen Vergleich von Indices aus unterschiedlich großen Itempools zu ermöglichen, müssen diese standardisiert werden, da die Größe des Ereignisraumes die Verteilung von Zufallsvariablen beeinflusst. Die Standardisierung der Indices wurde auf Basis einer computer-gestützten Monte Carlo Simulation 2000 Zufallsreihen mit jeweils 60 Nennungen für die beiden Ereignisräume mit vier und zehn Elementen vorgenommen. Diese stellten neben theoretisch errechneten Werten (für den Index *Adjacency*) die Grundlage für die Standardisierung der Indices dar. Diese wurde nach der Formel 8 vorgenommen (vgl. Towse, 1998).

$$S = \frac{(B - E)}{\sqrt{E}}$$

Formel 8: Formel zur Standardisierung von Zufallsindices auf Basis theoretisch erwarteter bzw. simulierter Werte; *S* ist der standardisierte Wert, *B* der beobachtete Wert und *E* der erwartete Wert

Die dreifaktorielle multivariate Varianzanalyse über die Faktoren *Altersgruppe*, *Modalität* und *Unterstützung* erbrachte signifikante Effekte der *Altersgruppe* ($F(12, 269) = 11.55, p < .001, f = 0.72$), der *Modalität* der Randomisierung ($F(8, 87) = 229.40, p < .001, f = 4.50$) und der *Unterstützung* durch die dynamische Präsentation der Itempools ($F(4, 91) = 52.83, p < .001, f = 1.52$).

Eine altersgruppenspezifische Wirkung der Innersubjektfaktoren *Modalität* und *Unterstützung* deutet sich über signifikante Interaktionen der beiden Faktoren mit dem Zwischensubjektfaktor *Altersgruppe* an (*Modalität* x *Altersgruppe*: $F(24, 257) = 6.30, p < .001$; *Unterstützung* x *Altersgruppe*: $F(12, 269) = 5.73, p < .001$). Eine differenzielle Wirkung des Faktors *Unterstützung* innerhalb unterschiedlicher Ereignisräume wird durch die Interaktion der beiden Innersubjektfaktoren signalisiert ($F(8, 87) = 9.96, p < .001$). Schließlich deutet eine dreifache Interaktion der Hauptfaktoren eine Moderatorfunktion des Faktors *Altersgruppe* bei der Interaktion der Innersubjektfaktoren an ($F(24, 257) = 2.28, p < .001$). Ein erster Schritt zur weiteren Aufklärung des Zusammenwirkens der drei Hauptfaktoren bestand in separaten dreifaktoriellen MANOVAs mit jeweils zweigestuftem Vergleich des Faktors *Modalität*. Sowohl bei der zweifachen Abstufung des Faktors *Modalität* über die Faktorstufen *motorisch* – *4 Zahlen* als auch bei der zweifachen Abstufung des gleichen Faktors über die Bedingungen *4 Zahlen* - *10 Zahlen* bestätigten sich die Faktoren wie auch ihr Zusammenwirken. Um die Art des Zusammenwirkens der Faktoren als eine ordinale, disordinale oder hybride Interaktion klassifizieren zu können, soll dazu zunächst eine multivariate Betrachtung der Innersubjektfaktoren getrennt nach Altersgruppen und dann eine univariate Analyse auf Basis der vier Indices unternommen werden.

Eine getrennt für alle Altersgruppen vorgenommene multivariate Varianzanalyse für die Faktoren *Modalität* und *Unterstützung* ergab eine signifikante Bestätigung der beiden Hauptfaktoren in allen Altersgruppen (vgl. Tabelle 21 und 22). Das Zusammenwirken der beiden Faktoren erwies sich ebenfalls als signifikant für die Grundschul Kinder und Erwachsenen, jedoch nur als tendenziell bedeutsam für die Vorschul Kinder (vgl. Tabelle 23). Die für die Hauptfaktoren errechneten Effektgrößen f sind allesamt sehr groß, es fällt jedoch eine Zunahme der Effektgröße für den Faktor *Unterstützung* bei den jüngeren Stichproben auf. Dies deutet genauso wie das Ausbleiben einer bedeutsamen Interaktion bei den Kindergartenkindern auf die Richtung des altersspezifischen Zusammenwirkens der Hauptfaktoren hin.

Tabelle 21: Altersspezifische Effekte für den Faktor *Modalität* auf Basis von zweifaktoriellen MANOVAs

Erwachsene	$F(8, 19) = 57.57, p < .001, f = 4.92$
4. Klasse	$F(8, 17) = 66.88, p < .001, f = 5.61$
2. Klasse	$F(8, 15) = 67.16, p < .001, f = 5.98$
Kindergarten	$F(8, 15) = 38.75, p < .001, f = 5.55$

Tabelle 22: Altersspezifische Effekte für den Faktor *Unterstützung* auf Basis von zweifaktoriellen MANOVAs

Erwachsene	$F(4, 23) = 5.59, p < .01, f = 0.99$
4. Klasse	$F(4, 21) = 19.89, p < .001, f = 1.95$
2. Klasse	$F(4, 19) = 12.21, p < .001, f = 1.60$
Kindergarten	$F(4, 19) = 22.59, p < .001, f = 2.18$

Tabelle 23: Interaktionen der Faktoren *Modalität* und *Unterstützung*

Erwachsene	$F(8, 19) = 7.77, p < .001$
4. Klasse	$F(8, 17) = 8.60, p < .001$
2. Klasse	$F(8, 15) = 8.15, p < .05$
Kindergarten	$F(8, 15) = 1.01, p = .13$

Einer differenziellen Wirkung der Hauptfaktoren soll nun auf Basis von getrennten univariaten Varianzanalysen über die vier abhängigen Variablen vorgenommen werden.

Redundancy. Zur Analyse der Effekte der Hauptfaktoren wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit der einzelnen Modalitätsbedingungen standardisierte Daten verwendet (vgl. Formel 8). Mittelwerte und Standardabweichung der standardisierten *Redundancy* Werte sind in Tabelle 4 wiedergegeben. Die dreifaktorielle ANOVA über die Faktoren *Altersgruppe*, *Modalität* und *Unterstützung* erbrachte bedeutsame Einflüsse der Faktoren *Altersgruppe* ($F(3, 94) = 17.07, p < .001, f = .74$), *Modalität* ($F(2, 188) = 5.41, p < .05, f = .24$) und *Unterstützung* ($F(1, 94) = 89.79, p < .001, f = .98$) auf die abhängige Variable *Redundancy*. Ähnlich wie bei der MANOVA über alle drei Hauptfaktoren waren sämtliche zweifachen Interaktionen bedeutsam (*Mo-*

dalität x Altersgruppe: $F(6, 188) = 2.77, p < .05$; *Unterstützung x Altersgruppe*: $F(3, 188) = 11.32, p < .001$; *Modalität x Unterstützung*: $F(2, 188) = 3.88, p < .05$), nicht jedoch die dreifache Interaktion.

Bei gesonderter Analyse der beiden Innersubjektfaktoren *Modalität* und *Unterstützung* getrennt nach Altersgruppen zeigten sich mittlere Effekte für den Faktor *Modalität* im Grundschul- und Kindergartenalter und ein starker Einfluss des Faktors *Modalität* für die erwachsenen Versuchspersonen (vgl. Tabelle 25).

Tabelle 25: Altersspezifische Effekte für *Redundancy* durch den Faktor *Modalität* und *Unterstützung*

	<i>Modalität</i>	<i>Unterstützung</i>
Erwachsene	$F(2, 52) = 10.89, p < .001, f = .65$	$F(1, 26) = 11.13, p = .01, f = .65$
4. Klasse	$F(2, 48) = 2.24, p = .12, f = .31$	$F(1, 24) = 10.55, p = .01, f = .66$
2. Klasse	$F(2, 44) = 3.58, p < .05, f = .40$	$F(1, 22) = 34.04, p < .001, f = 1.24$
Kindergarten	$F(2, 44) = 2.89, p = .07, f = .36$	$F(1, 22) = 38.11, p < .001, f = 1.32$

Eine bedeutsam Wirkung des Faktors *Unterstützung* konnte für alle Altersgruppen gefunden werden (vgl. Tabelle 25), auffällig ist dabei bei Betrachtung der Effektgrößen, dass die Effekte für die beiden jüngeren Altersgruppen sehr stark ausfallen. Das Zusammenwirken der beiden Hauptfaktoren war nur für die Erwachsenenstichprobe bedeutsam ($F(2, 52) = 3.41, p < .05$).

Um die altersspezifische Wirkung der Faktoren näher zu beleuchten, wurden Einzelvergleiche in Form von t-Tests für unabhängige und abhängige Stichproben vorgenommen. Vorschulkinder und Kinder der zweiten Jahrgangsstufe profitieren in allen drei Itempoolbedingungen von der dynamischen Unterstützung (vgl. Abbildung 18 - 20)¹, es kommt zu signifikanten Leistungsunterschieden zwischen den Versionen mit und ohne Unterstützung ($\epsilon' = .73 - 1.36$). Auch die Erwachsenen und die Viertklässler profitieren von der Unterstützung in dem Itempool *10 Zahlen* (4. Klasse: $\epsilon' = 1.97$, Erwachsene: $\epsilon' = .66$), darüber hinaus zeigt sich der Unterstützungseffekt bei den Erwachsenen in der motorischen Version und bei den Kindern der 4. Jahrgangsstufe in dem Ereignisraum *4 Zahlen*.

¹ Zur besseren Anschaulichkeit wurden bei der Darstellung der einzelnen Modalitäten die nicht standardisierten Daten verwendet, die Auswertung bezieht sich jedoch auf die standardisierten Werte.

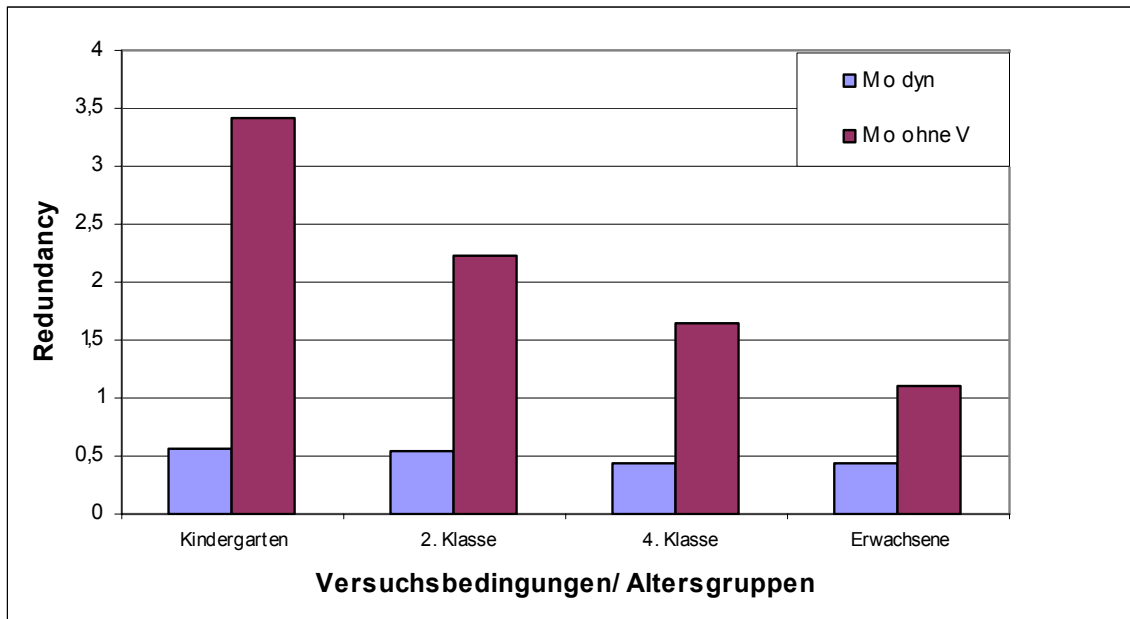


Abbildung 18: *Redundancy motorisch* für vier Altersgruppen und zwei Unterstützungsbedingungen (die Abbildung basiert auf nicht-standardisierten Werten)

Moderate bis starke Altersunterschiede in der motorischen Itempoolbedingung ohne Unterstützung finden sich zwischen Erwachsenen und den beiden jüngeren Altersgruppen sowie zwischen der vierten Jahrgangsstufe und den beiden jüngeren Altersteilstichproben ($\epsilon = .46 - .77$). Durch die dynamische Unterstützung verschwinden diese Altersunterschiede vollkommen, es kommt zur Nivellierung der Leistung aller Altersgruppen (vgl. die Effektgrößetabellen in Anhang 3).

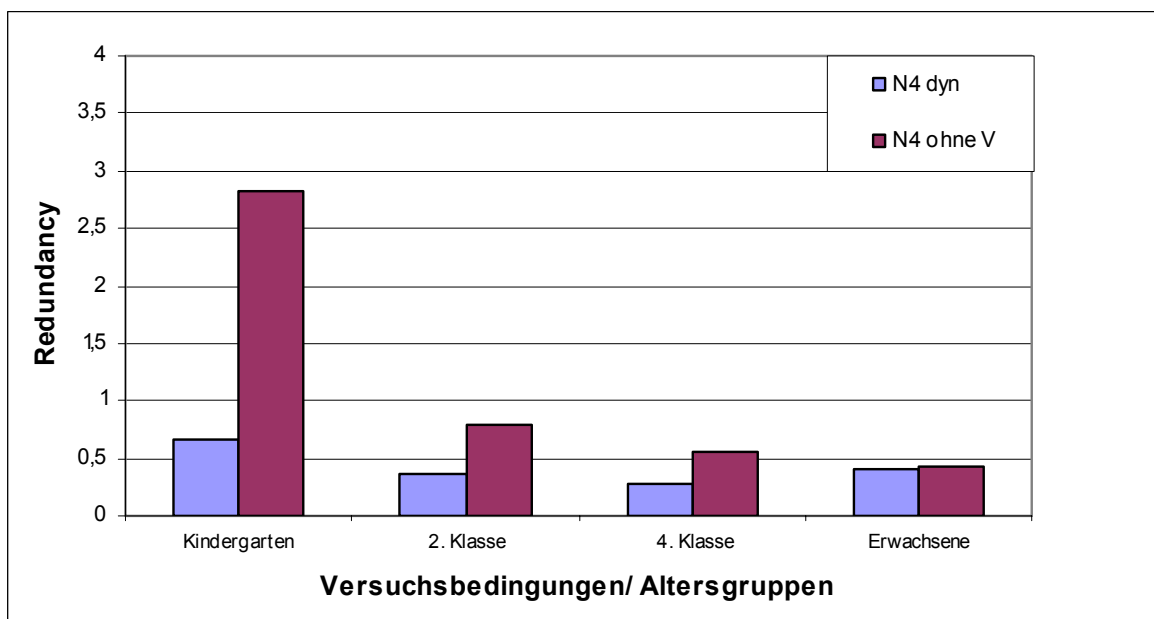


Abbildung 19: *Redundancy 4 Zahlen* für vier Altersgruppen und zwei Unterstützungsbedingungen (die Abbildung basiert auf nicht-standardisierten Werten)

Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Itempoolbedingung *4 Zahlen* (vgl. Abbildung 19): Hier zeigen sich für die Bedingung ohne Unterstützung, wie bereits in Experiment 1 und 2, Leistungsunterschiede zwischen den Kindergartenkindern und den drei anderen Altersgruppen ($\epsilon = .80 - .95$). Diese verschwinden durch die dynamische Unterstützung durchwegs, lediglich zwischen der jüngsten Altersgruppe und den Viertklässlern deutet sich ein mittelstarker Unterschied an ($\epsilon = .50$).

Auch bei der Vergrößerung des Itempools und der damit verbundenen Steigerung des *Memory Loads* zeigen sich zunächst signifikante Unterschiede zwischen den Kindergartenkindern und allen anderen Altersgruppen ($\epsilon = .98 - 2.00$). Ebenfalls unterscheiden sich die beiden Grundschulstichproben von den Erwachsenen signifikant (Viertklässler: $\epsilon = 1.06$; Zweitklässler: 1.27), jedoch nicht untereinander ($\epsilon = .30$). Wiederum kommt es zu einer Nivellierung der entwicklungsbedingten Unterschiede durch die dynamische Ereignisraumpräsentation, in diesem Fall aber lediglich zwischen den Grundschulkindern und den Erwachsenen (vgl. auch Abbildung 20). Die Kindergartenkinder unterscheiden sich von allen anderen Versuchspersonen nach wie vor signifikant, jedoch zeigt die Betrachtung der Effektgröße einen Rückgang des Alterseffektes an ($\epsilon = .79 - .85$).

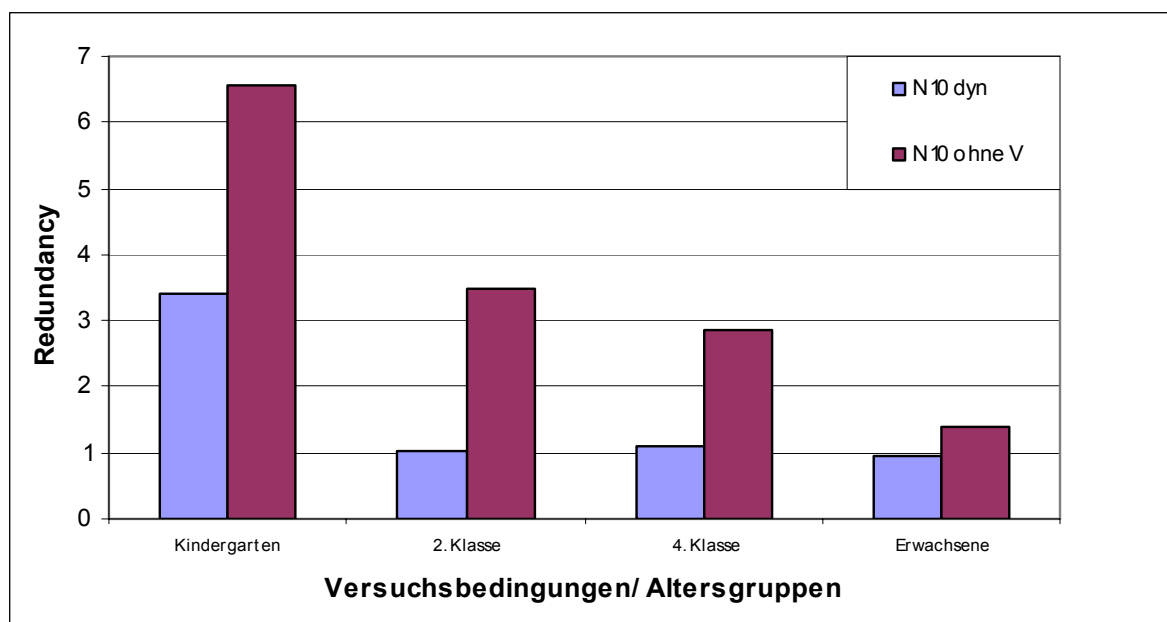


Abbildung 20: *Redundancy 10 Zahlen* für vier Altersgruppen und zwei Unterstützungsbedingungen (die Abbildung basiert auf nicht-standardisierten Werten)

Die Gleichverteilung der Antwortalternativen konnte generell durch eine dynamische Ereignisraumpräsentation gesteigert werden, wenn auch alters- und modalitätsspezifisch in unterschiedlich starkem Ausmaß. Dieses Zusammenwirken der

Faktoren deutet auf eine hybride Interaktion hin, d.h. der Faktor *Modalität* sollte nicht global interpretiert werden, wohingegen der Faktor *Unterstützung* über einzelne Faktorstufenkombinationen gedeutet werden kann. Generell führte die dynamische Unterstützung zu einer größeren Gleichverteilung der Antwortalternativen und zu einer Minimierung von Altersgruppendifferenzen, es sei denn der Ereignisraum wird zu umfangreich.

RNG. Ebenso wie für die Variable *Redundancy* wurden zur Analyse der Haupteffekte für den RNG-Index standardisierte Daten verwendet. Mittelwerte und Standardabweichung der standardisierten *Redundancy* Werte sind in Tabelle 26 im Anhang wiedergegeben. Die Varianzanalyse über die Faktoren *Altersgruppe*, *Modalität* und *Unterstützung* wies bedeutsame Einflüsse der Faktoren *Altersgruppe* ($F(3, 94) = 21.12, p < .001, f = .82$), *Modalität* ($F(2, 188) = 36.62, p < .001, f = .62$) und *Unterstützung* ($F(1, 94) = 12.94, p < .001, f = .37$) nach. Bedeutsame Interaktionen ergaben sich für alle Faktoren (*Unterstützung* x *Altersgruppe*: $F(3, 188) = 5.51, p < .01$; *Modalität* x *Altersgruppe*: $F(6, 188) = 28.62, p < .001$; *Modalität* x *Unterstützung*: $F(2, 188) = 21.05, p < .001$; *Altersgruppe* x *Modalität* x *Unterstützung*: $F(6, 188) = 5.00, p < .001$). Wiederum wurde zunächst eine nach Altersgruppen getrennte Analyse der beiden Innersubjektfaktoren *Modalität* und *Unterstützung* vorgenommen (vgl. Tabelle 27-29). Es ergaben sich starke Effekte für den Faktor *Modalität* für die Kindergartenkinder, Zweitklässler und Erwachsenen. Bei den Kindern der vierten Jahrgangsstufe war der Effekt zwar bedeutsam, jedoch nur im Sinne einer mittleren Effektgröße.

Tabelle 27: Altersspezifische Effekte für RNG durch den Faktor *Modalität*

Erwachsene	$F(2, 52) = 40.11, p < .001, f = 1.24$
4. Klasse	$F(2, 48) = 4.93, p < .05, f = .45$
2. Klasse	$F(2, 44) = 21.87, p < .001, f = 1.00$
Kindergarten	$F(2, 44) = 32.81, p < .001, f = 1.22$

Der Faktor *Unterstützung* zeigte je nach Altersgruppe einen unterschiedlich starken Einfluss: Für die beiden jüngeren Altersgruppen ergaben sich signifikante

Effekte, während für die beiden älteren Stichproben lediglich ein tendenzieller Einfluss gefunden werden konnte.

Tabelle 28: Altersspezifische Effekte für *RNG* durch den Faktor *Unterstützung*

Erwachsene	$F(1, 26) = 3.61, p = .07, f = .37$
4. Klasse	$F(1, 24) = 1.55, p = .22, f = .22$
2. Klasse	$F(1, 22) = 9.04, p < .05, f = .64$
Kindergarten	$F(1, 22) = 6.06, p < .05, f = .52$

Tabelle 29: Interaktionen der Faktoren *Modalität* und *Unterstützung*

Erwachsene	$F(2, 52) = 3.77, p < .05$
4. Klasse	$F(2, 48) = 4.58, p < .05$
2. Klasse	$F(2, 44) = 13.37, p < .001$
Kindergarten	$F(2, 44) = 6.55, p < .01$

Die Interaktion der beiden Hauptfaktoren war für alle Altersgruppen bedeutsam (vgl. Tabelle 29).

Innerhalb der Bedingung *motorisch ohne Unterstützung* zeigten sich bedeutsame Altersdifferenzen zwischen den beiden jüngeren Teilstichproben und den Viertklässlern ($\epsilon = .70 / .73$). Tendenzuelle Unterschiede konnten auch zwischen den Erwachsenen und den Kindern der vierten Jahrgangsstufe gefunden werden ($\epsilon = .49$), allerdings mit einem Leistungsvorteil für die Viertklässler (vgl. Abbildung 21). Bei der motorischen Bedingung mit dynamischer Unterstützung verringerte sich der Alterseffekt zwischen den beiden jüngeren Stichproben und den Viertklässlern ($\epsilon = .51 / .59$). Dies deutet sich auch durch das Ausbleiben eines bedeutsamen Unterstützungseffektes auf Ebene einzelner t-Tests an.

Die Wirkung des Faktors *Unterstützung* auf die Gleichverteilung von Antwortpaaren bei der Itempoolbedingung *4 Zahlen* erweist sich dagegen auf den ersten Blick als stärker (vgl. Abbildung 22): Beide Grundschulstichproben sowie die Erwachsenen zeigen bedeutsame Unterschiede zwischen den beiden Unterstützungsbedingungen ($\epsilon' = .63 - 1.25$).

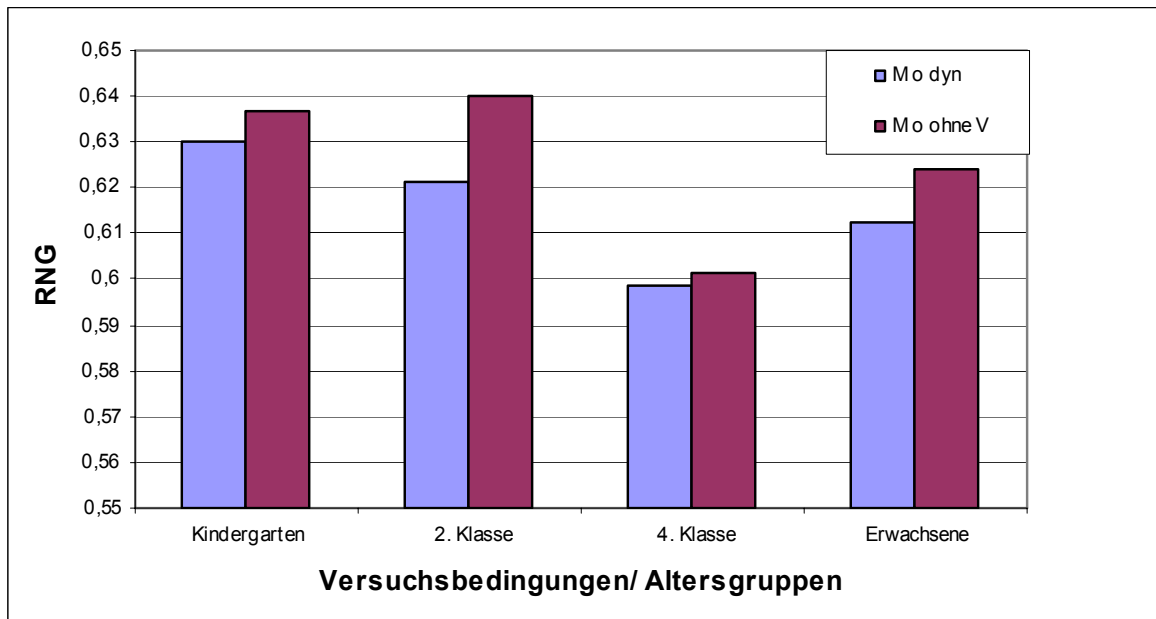


Abbildung 21: *RNG motorisch* für vier Altersgruppen und zwei Unterstützungsbedingungen (die Abbildung basiert auf nicht-standardisierten Werten)

Bei Betrachtung der Richtung der Unterschiede kann jedoch ein Leistungsvorteil für die Bedingung ohne Unterstützung festgestellt werden. Altersunterschiede in der *4 Zahlen*-Version des sprachlichen Itempools zeigen sich innerhalb der Bedingung ohne Vorlage: Hier weichen die Leistungen der Kindergartenkinder signifikant von denen der Erwachsenen und Viertklässler ab ($\epsilon = .66/ .64$).

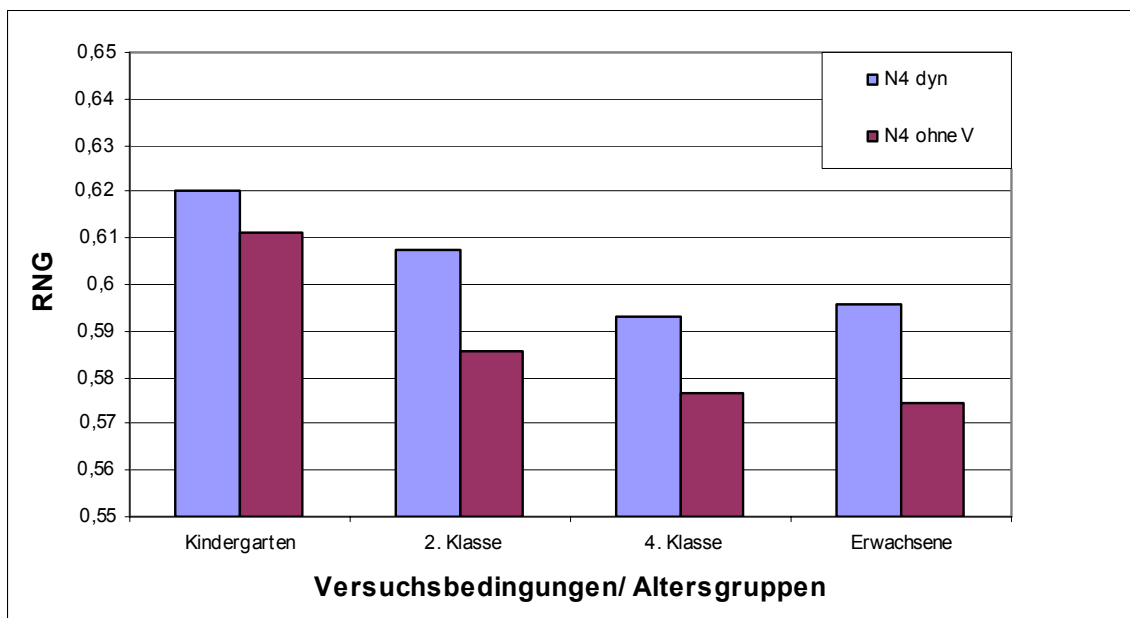


Abbildung 22: *RNG 4 Zahlen* für vier Altersgruppen und zwei Unterstützungsbedingungen (die Abbildung basiert auf nicht-standardisierten Werten)

Diese Unterschiede verringern sich im Sinne einer ordinalen Interaktion bei der Unterstützungsbedingung: Zwar verändern sich in allen Altersgruppen die Leistungen durch den Einfluss der Unterstützungsbedingung, diese fällt jedoch für die Kindergartenkinder weitaus schwächer im Sinne eines tendenziellen Effektes aus (vgl. Abbildung 22).

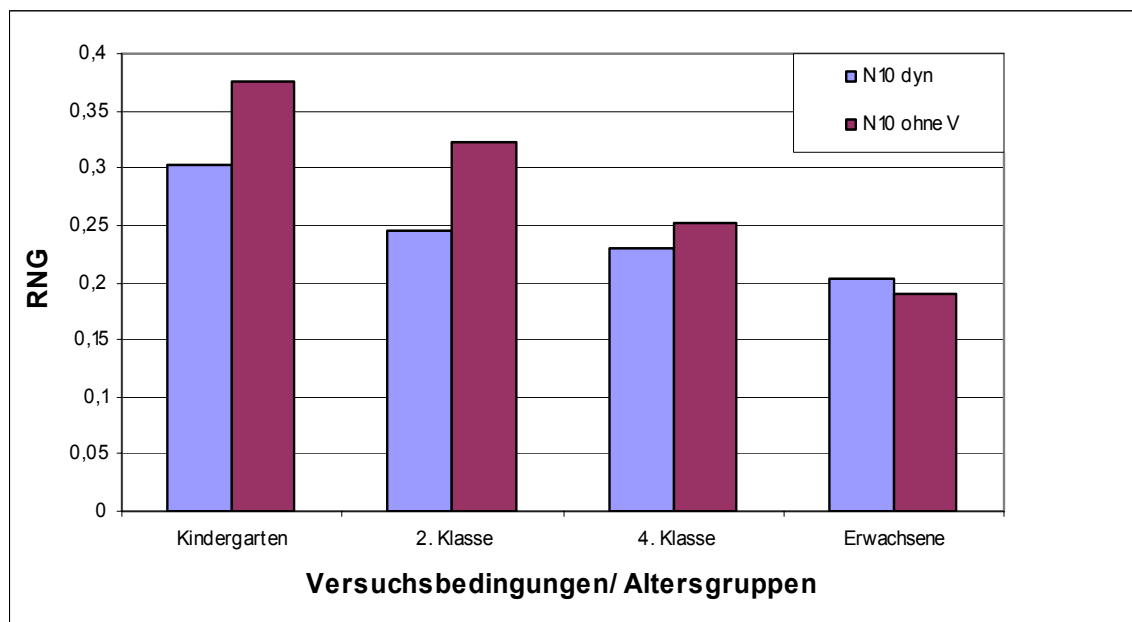


Abbildung 23: RNG 10 Zahlen für vier Altersgruppen und zwei Unterstützungsbedingungen (die Abbildung basiert auf nicht-standardisierten Werten, daher verbietet sich ein direkter, wertebasierter Vergleich mit den Versionen 4 Zahlen und motorisch)

Um eine ordinale Interaktion handelt es sich auch bei der Betrachtung der Bedingung 10 Zahlen (vgl. Abbildung 23). Der Unterstützungseffekt ist in den beiden jüngeren Altersgruppen ausgeprägt vorhanden, nimmt dann jedoch über das ansteigende Alter ab (Kindergarten: $\varepsilon' = .82$; 2. Klasse: $\varepsilon' = 1.07$; 4. Klasse: $\varepsilon' = .59$; Erwachsene: $\varepsilon' = .45$). Die Interaktion wird darüber hinaus bedingt durch den generellen Alterseffekt in den beiden Unterstützungsbedingungen (ohne Unterstützung: $\varepsilon = 1.03 - 2.40$; dynamische Unterstützung: $\varepsilon' = .70 - 1.27$).

Zwischen den Itempoolbedingungen ergaben sich altersübergreifende Unterschiede beim Vergleich der sprachgestützten Bedingungen ohne Unterstützung (4 Zahlen vs. 10 Zahlen: $\varepsilon' = 1.05 - 1.86$). Ähnlich, aber nicht für alle Altersgruppen bedeutsam, war die Unterscheidung des motorischen mit dem Zehner-Itempool ohne Unterstützung ($\varepsilon' = 1.87 - 2.15$). Differenzen zwischen dem motorischen und dem Zehner-Itempool für die dynamische Unterstützungsbedingung ergaben sich nur innerhalb der Altersgruppen der Kindergartenkinder und der Erwachsenen ($\varepsilon' = .66 -$

1.07). Für die beiden gleichen Altersgruppen erwies sich der Vergleich der beiden zahlenbasierten Itempools in der dynamischen Bedingung als bedeutsam ($\epsilon' = .96 - 1.00$). Die sprachbasierte und motorische Version des Vierer-Itempool ohne visuelle Unterstützung unterschied sich bei den Grundschulkindern und Erwachsenen ($\epsilon' = 1.36 - 1.83$), die dynamischen Versionen lediglich bei den Erwachsenen ($\epsilon' = .62$).

Die Gleichverteilung von Itempaaren in Zufallsreihen wurde über die Variable *RNG* überprüft. Ein genereller Alterseffekt zeigte sich in unterschiedlicher Ausprägung innerhalb der drei Itempoolversionen. Die Randomisierungsleistung zwischen den Itempoolversionen unterscheidet sich bedeutsam, wobei sehr starke Unterschiede zwischen den Itempools mit vier Elementen und dem Itempool mit zehn Elementen nachgewiesen werden konnten. Der Einfluss der dynamischen Unterstützung gestaltete sich innerhalb der motorischen Bedingung uneinheitlich und innerhalb der des Zehner-Itempools in Abhängigkeit von der Altersgruppe. Innerhalb der *4 Zahlen*-Version konnte zwar ein Effekt des Faktors *Unterstützung* nachgewiesen werden, dieser gestaltete sich jedoch als gegenläufig: Versuchspersonen zeigten unter der dynamischen Unterstützung eine Abnahme der Gleichverteilung von Antwortpaaren.

Adjacency. Eine univariate Varianzanalyse über die Faktoren *Altersgruppe*, *Modalität* und *Unterstützung* auf Basis von standardisierten Werten der Variable *Adjacency* (vgl. Tabelle 30 im Anhang) erbrachte bedeutsame Einflüsse der Faktoren *Altersgruppe* ($F(3, 94) = 21.49, p < .001, f = .83$), *Modalität* ($F(2, 188) = 39.78, p < .001, f = .65$) und *Unterstützung* ($F(1, 94) = 63.80, p < .001, f = .82$). Auch die Interaktionen der Faktoren erwiesen sich allesamt als bedeutsam (*Unterstützung* x *Altersgruppe*: $F(3, 188) = 4.85, p < .01$; *Modalität* x *Altersgruppe*: $F(6, 188) = 14.37, p < .001$; *Modalität* x *Unterstützung*: $F(2, 188) = 16.63, p < .001$; *Altersgruppe* x *Modalität* x *Unterstützung*: $F(6, 188) = 3.27, p < .01$).

Zur Aufklärung der Interaktionen der Hauptfaktoren erfolgte eine altersgruppenspezifische Analyse der Hauptfaktoren *Modalität* und *Unterstützung* (vgl. Tabelle 31- 33). Bedeutsame Effekte ergaben sich für den Faktor *Modalität* über alle Altersgruppen hinweg.

Tabelle 31: Altersspezifische Effekte für *Adjacency* durch den Faktor *Modalität*

Erwachsene	$F(2, 52) = 20.41, p < .001, f = .89$
4. Klasse	$F(2, 48) = 10.85, p < .001, f = .67$
2. Klasse	$F(2, 44) = 13.62, p < .001, f = .79$
Kindergarten	$F(2, 44) = 27.04, p < .001, f = 1.11$

Auch der Faktor *Unterstützung* zeigte einen bedeutsamen Einfluss auf die abhängige Variable, die Größe des Effektes war für die Grundschul Kinder deutlich höher als für die Erwachsenen und die Kindergarten Kinder.

Tabelle 32: Altersspezifische Effekte für *Adjacency* durch den Faktor *Unterstützung*

Erwachsene	$F(1, 26) = 5.75, p < .05, f = .47$
4. Klasse	$F(1, 24) = 51.50, p < .001, f = 1.46$
2. Klasse	$F(1, 22) = 22.12, p < .001, f = 1.00$
Kindergarten	$F(1, 22) = 4.40, p = .05, f = .45$

Tabelle 33: Altersspezifische Interaktionen der Faktoren *Modalität* und *Unterstützung*

Erwachsene	$F(2, 52) = 9.26, p < .001$
4. Klasse	$F(2, 48) = 14.82, p < .001$
2. Klasse	$F(2, 44) = 5.04, p < .05$
Kindergarten	$F(2, 44) = 1.36, p = .27$

Hinsichtlich der Interaktionen zwischen *Modalität* und *Unterstützung* ergab sich ein altersabhängiges Auftreten: Bei den Zweit- und Viertklässlern sowie den Erwachsenen wurden bedeutsame Interaktionen errechnet, für die Kindergarten Kinder blieben diese jedoch aus.

Die Einzelvergleiche zwischen den Altersgruppen (vgl. auch Abbildung 24) mittels adjustierter t-Tests für unabhängige Stichproben erbrachten innerhalb der motorischen Bedingung ohne Unterstützung bedeutsame Altersdifferenzen zwischen den Erwachsenen und sämtlichen Kinderstichproben ($\epsilon = .65 - 1.14$) sowie für Viertklässler und Kindergarten Kinder ($\epsilon = .61$). Die Größe dieser Effekte verringerte sich bei dynamischer Ereignisraumpräsentation ($\epsilon = .48 - .75$). Beim Vergleich

der beiden Unterstützungsbedingungen ergaben sich nur für die Kindergartenkinder signifikante Versionsunterschiede ($\varepsilon' = .84$).

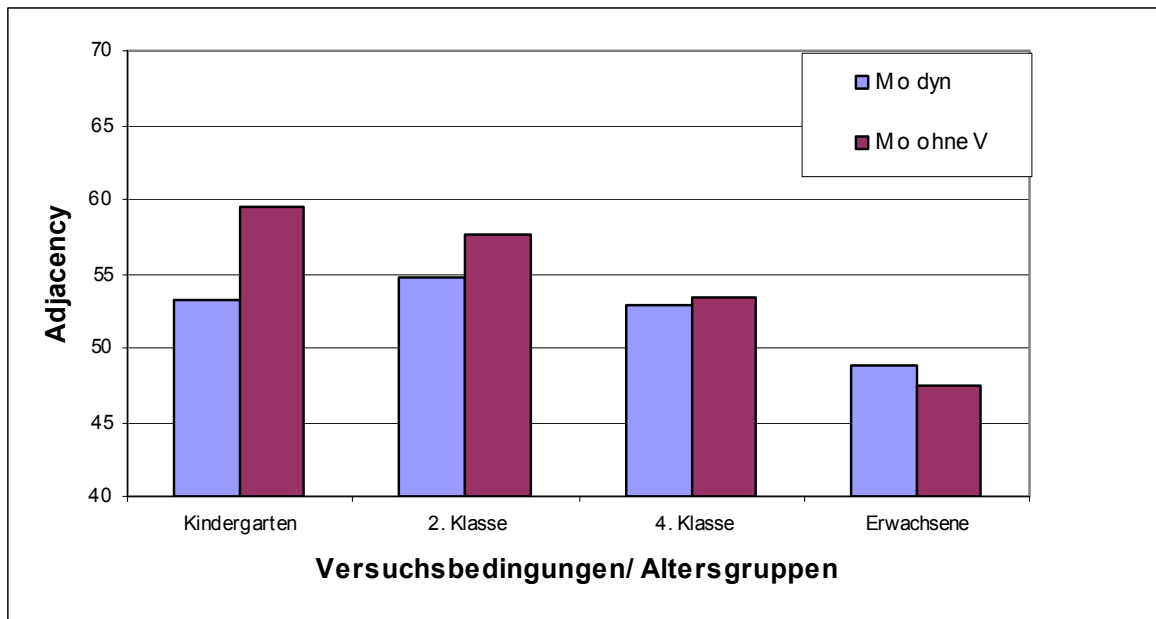


Abbildung 24: *Adjacency motorisch* für vier Altersgruppen und zwei Unterstützungsbedingungen (die Abbildung basiert auf nicht-standardisierten Werten)

Versionsunterschiede zwischen den beiden Unterstützungsbedingungen fanden sich innerhalb des Ereignisraumes *4 Zahlen*, allerdings nur in den beiden Grundschulstichproben (2. Klasse: $\varepsilon' = 1.08$; 4. Klasse: $\varepsilon' = 1.01$). Bedeutsame Altersdifferenzen innerhalb der *4 Zahlen*-Version fanden sich unsystematisch sowohl in der Version ohne Unterstützung zwischen den Zweitklässlern und den beiden älteren Stichproben ($\varepsilon = .63 - 1.14$), als auch tendenziell in der dynamischen Präsentationsform des Ereignisraumes zwischen den Kindergartenkindern und den Viertklässlern ($\varepsilon = .58$). Generell verminderten sich bei dynamischer Ereignisraumpräsentation die Altersdifferenzen oder blieben ganz aus (vgl. auch Abbildung 25).

Für den Ereignisraum *10 Zahlen* konnte in der Präsentationsbedingung ohne Unterstützung ein deutlicher Alterseffekt zwischen den Erwachsenen und allen anderen Altersgruppen gefunden werden ($\varepsilon = 1.19 - 1.63$).

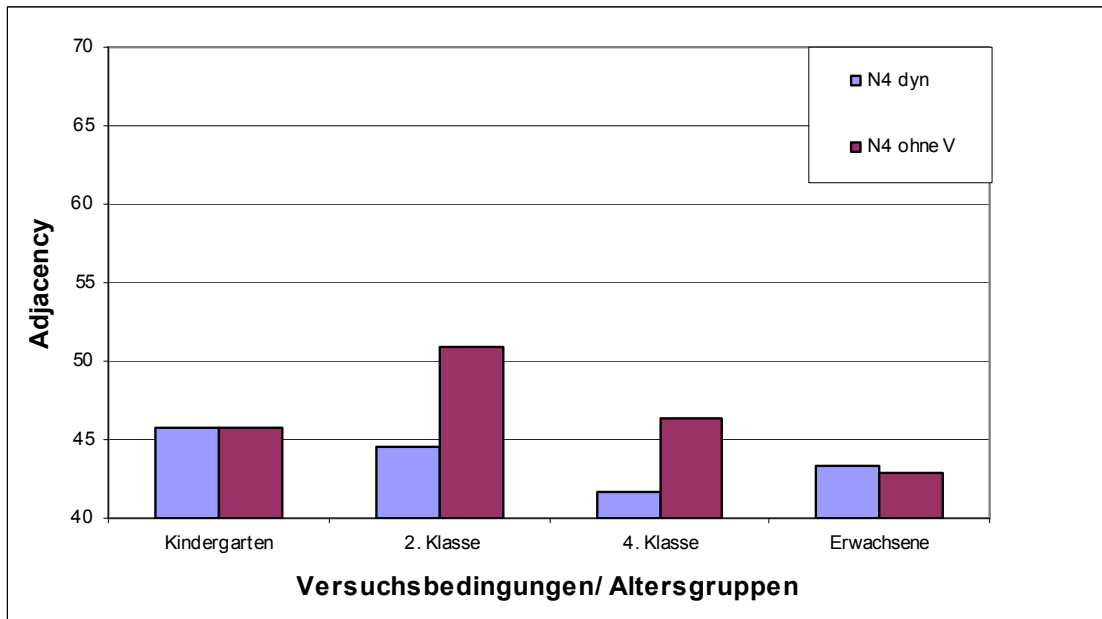


Abbildung 25: *Adjacency 4 Zahlen* für vier Altersgruppen und zwei Unterstützungsbedingungen (die Abbildung basiert auf nicht-standardisierten Werten)

Bedeutsame entwicklungsbedingte Differenzen ergaben sich auch zwischen den Viertklässlern und den Kindergartenkindern ($\epsilon = .71$) nicht aber zwischen zweiter und vierter Klasse bzw. zweiter Klasse und Kindergartenkindern. Bei dynamischer Vorgabe des Ereignisraumes fanden sich zwischen allen Altersgruppen signifikante Mittelwertsunterschiede ($\epsilon = .68 - 2.73$).

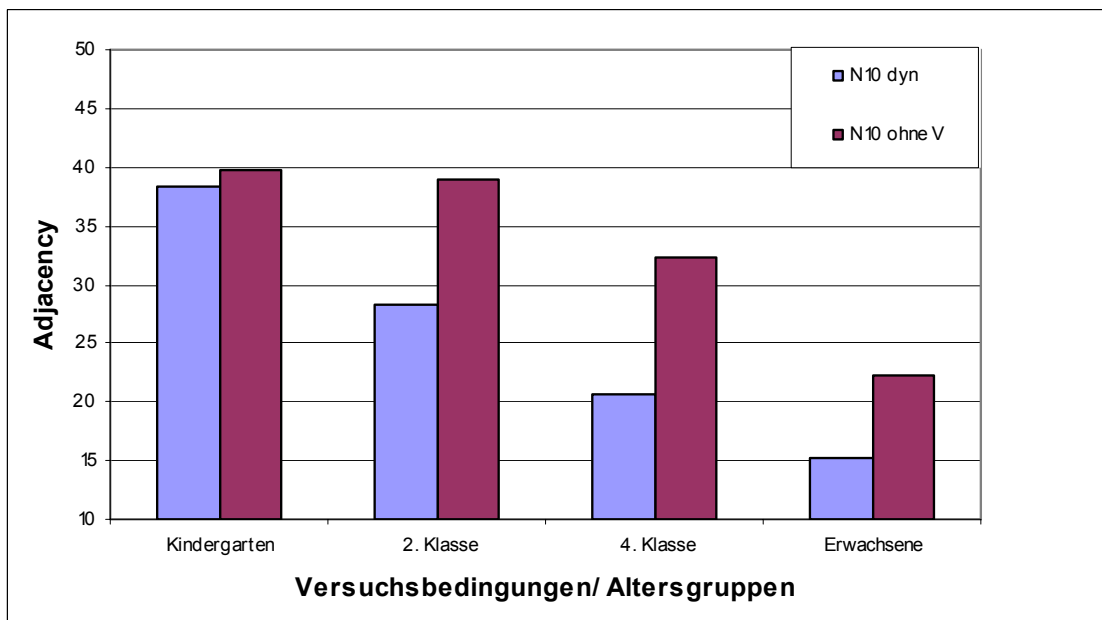


Abbildung 26: *Adjacency 10 Zahlen* für vier Altersgruppen und zwei Unterstützungsbedingungen (die Abbildung basiert auf nicht-standardisierten Werten)

Da sich für Grundschul Kinder und Erwachsene jeweils signifikante Veränderungen durch die dynamische Ereignisraumpräsentation ergeben ($\epsilon' = 1.06 - 1.58$), dies aber für die Kindergarten Kinder nicht nachgewiesen werden konnte, lässt sich die varianzanalytisch gefundene Interaktion als ordinale Interaktion beschreiben (vgl. Abbildung 26).

Die Unterschiede zwischen den drei Itempoolbedingungen lassen sich für das Kindergartenalter und die zweite Klasse noch durchwegs statistisch bestätigen ($\epsilon' = .69 - 1.56$). Bei Erwachsenen konnten itempoolbasierte Unterschiede für alle dynamischen Bedingungen nachgewiesen werden ($\epsilon' = 1.03 - 1.98$). Hingegen ergaben sich für die Viertklässler nur bei den Vergleichen der beiden dynamischen Vierer-Itempools mit dem Zehner-Itempool ($\epsilon' = 1.09 - 2.07$) bedeutsame Differenzen. Für die letztgenannte Altersgruppe lassen sich auch in der Bedingung ohne Unterstützung itempoolbasierte Versionsunterschiede feststellen: Die Bedingung *4 Zahlen* unterscheidet sich von der *motorischen* und der *10 Zahlen*-Bedingung.

Der Anteil von ursprünglich seriell benachbarten Itempaaren an den Zufallssequenzen wurde mittels des *Adjacency*-Index überprüft. Die Altersgruppenunterschiede innerhalb der Itempoolbedingungen *4 Zahlen* und *4 Handbewegungen (motorisch)* waren nicht durchwegs bedeutsam, bewegten sich aber überwiegend im mittleren bis großen Effektgrößenbereich. Hingegen zeigten sich in der *10 Zahlen*-Itempool-Version über alle Altersteilstichproben signifikante Mittelwertsunterschiede. Innerhalb des letztgenannten Itempools erwies sich der Faktor *Unterstützung* als bedeutsam, wohingegen der Einfluss des Unterstützungsfaktors in den beiden Itempools *4 Zahlen* und *motorisch* nicht in allen Altersgruppen nachgewiesen werden konnte. Hier zeigte sich für die jüngste Altersgruppe ein inkonsistentes Bild: Während in der motorischen Unterstützungsbedingung ein Leistungsanstieg zu konstatieren war, veränderte sich mit zusätzlicher Unterstützung der *Adjacency*-Wert in den sprachlichen Bedingungen nicht.

Phi 2. Für den Index *Phi 2* wies die dreifaktorielle ANOVA einen signifikanten Effekt der Faktoren *Modalität* ($F(2, 188) = 874.05, p < .001, f = 3.05$) und *Unterstützung* ($F(1, 94) = 16.31, p < .001, f = .42$) aus. Ein Alterseffekt konnte nicht gefunden werden ($F(3, 94) = .52, p = .67, f = .13$). Statistisch bedeutsame Interaktionen ergaben sich für die beiden Hauptfaktoren *Modalität* und *Unterstützung* ($F(2, 188) = 8.20, p < .001$). Ein direkter Vergleich der Altersgruppen innerhalb der einzelnen Bedingun-

gen ergab keinerlei signifikante Alterseffekte (vgl. auch Tabelle 34 im Anhang). Innerhalb der motorischen Unterstützungsbedingung zeigte sich lediglich für die Altersgruppe der Viertklässler ein bedeutsamer Effekt des Faktors *Unterstützung* ($\varepsilon' = .70$) (vgl. auch Abbildung 27).

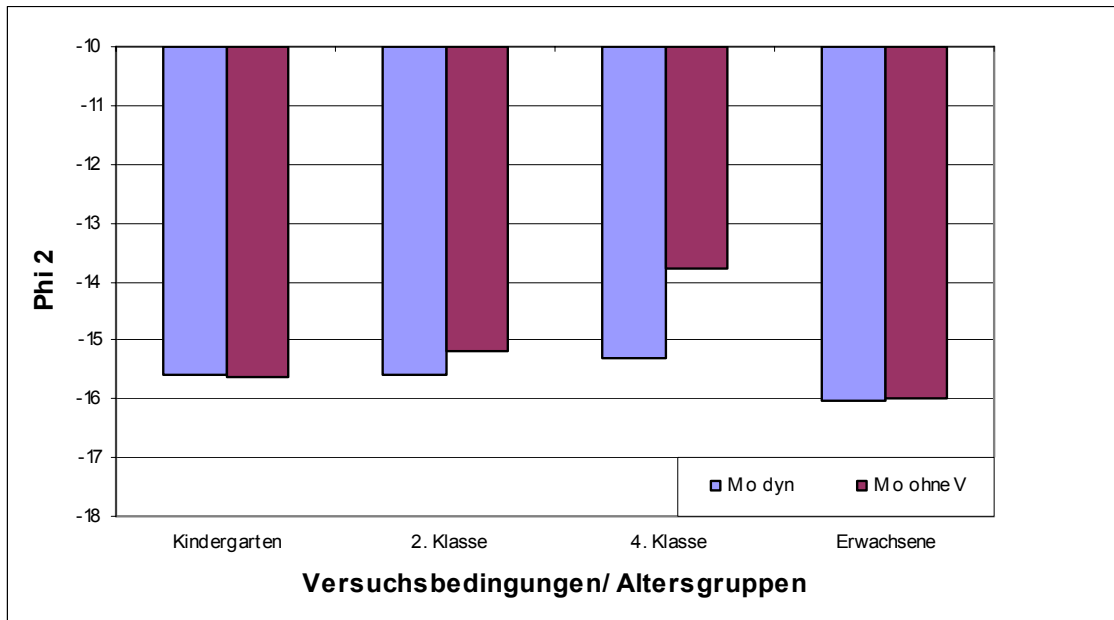


Abbildung 27: *Phi 2 motorisch* für vier Altersgruppen und zwei Unterstützungsbedingungen (die Abbildung basiert auf nicht-standardisierten Werten)

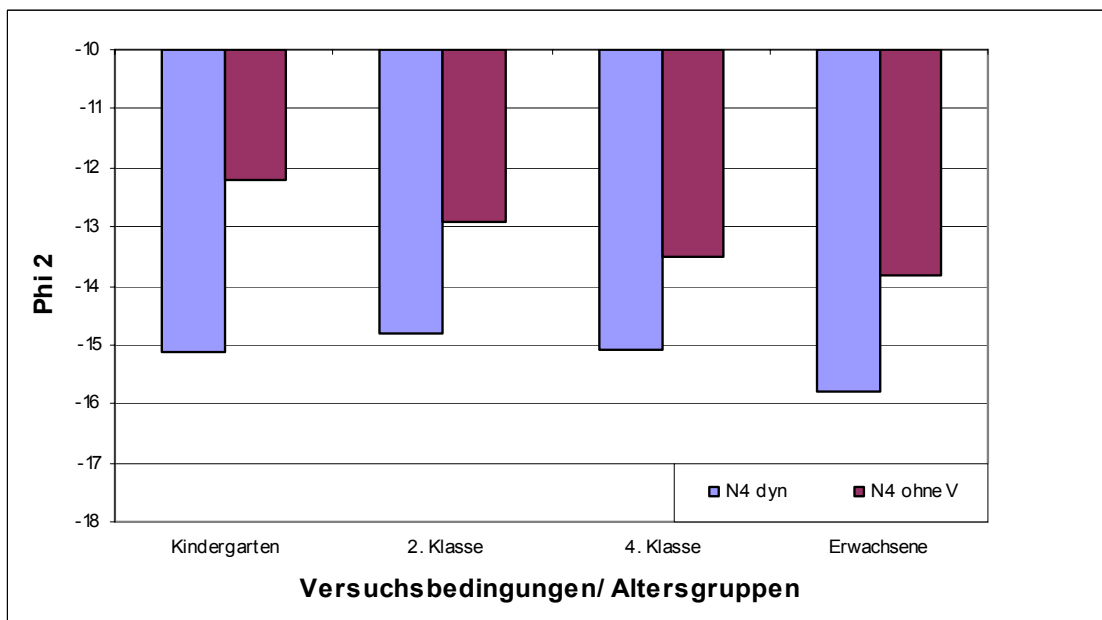


Abbildung 28: *Phi 2 4 Zahlen* für vier Altersgruppen und zwei Unterstützungsbedingungen (die Abbildung basiert auf nicht-standardisierten Werten)

Ein konsistenter Unterstützungseffekt über alle Altersgruppen hinweg konnte sich für den Itempool *4 Zahlen* feststellen lassen (Kindergarten: $\varepsilon' = .63$; Zweitkläss-

ler: $\varepsilon' = .69$; Viertklässler: $.82$; Erwachsene: $\varepsilon' = 1.19$) (vgl. auch Abbildung 28). Innerhalb des Ereignisraumes *10 Zahlen* ergaben sich keine bedeutsamen Bedingungsunterschiede zwischen den beiden Präsentationsarten (vgl. Abbildung 29), ein tendenzieller Unterschied fand sich jedoch für die Altersgruppe der Vorschulkinder ($\varepsilon' = .51$) (vgl. auch Abbildung 12).

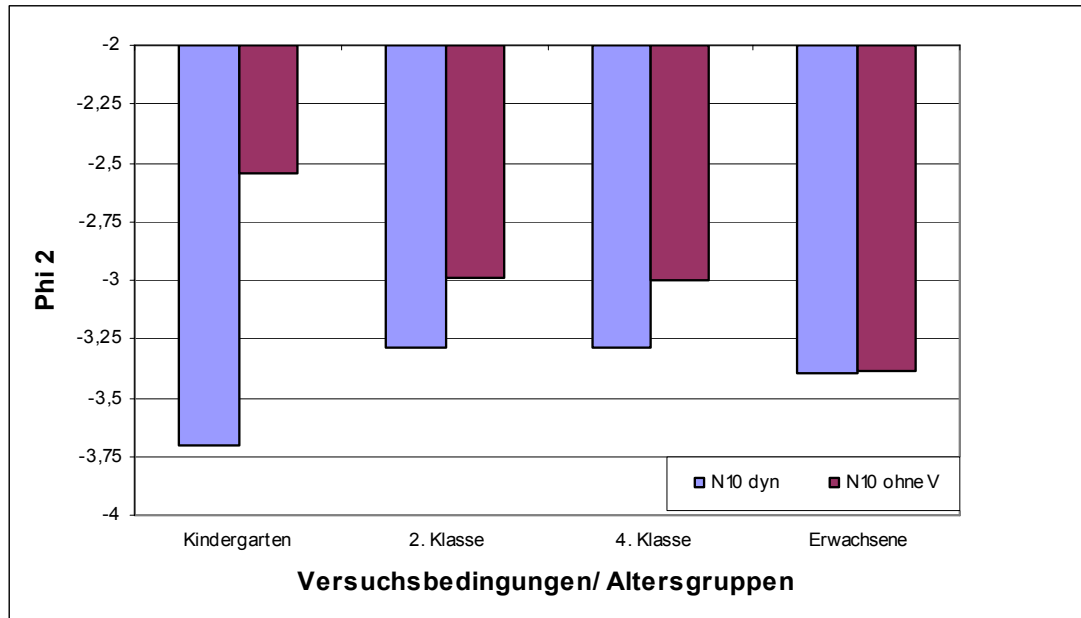


Abbildung 29: *Phi 2 10 Zahlen* für vier Altersgruppen und zwei Unterstützungsbedingungen (die Abbildung basiert auf nicht-standardisierten Werten)

Beim Vergleich der drei Itempoolversionen ergaben sich innerhalb der dynamischen Präsentationsart für alle Altersgruppen bedeutsame Unterschiede zwischen den beiden sprachbasierten Itempools (Kindergarten: $\varepsilon' = 4.51$; Zweitklässler: $\varepsilon' = 4.92$; Viertklässler: 6.59 ; Erwachsene: $\varepsilon' = 6.06$). Ein Vergleich von motorischem und Zehner-Itempool erwies sich ebenfalls für alle Altersgruppen als signifikant ($\varepsilon' = 4.73 - 6.59$). Innerhalb der Randomisierungsversionen ohne visuelle Unterstützung zeigten sich fast alle Mittelwertsdifferenzen für alle Altersgruppen als bedeutsam ($\varepsilon' = .74 - 6.59$). Lediglich für die Grundschul Kinder war der Vergleich zwischen den beiden Itempools mit vier Elementen nicht bedeutsam.

Die Tendenz zur unmittelbaren Wiederholung von Items innerhalb einer Zufallsreihe wurde mittels des *Phi 2*-Index gemessen. Abgesehen von dem völligen Ausbleiben eines Alterseffektes, ergab sich lediglich in der Itempoolversion *4 Zahlen* ein bedeutsamer Effekt des Faktors *Unterstützung*. Dieser wirkte jedoch im Sinne einer Wiederholungsvermeidungstendenz. Sehr große Effekte zeigten sich für den Vergleich zwischen den drei Itempoolversionen. Hierbei ergaben sich bedeutsame

Unterschiede zwischen den Itempools mit vier Elementen und der 10 Zahlen-Itempoolversion.

Zusammenfassung der Ergebnisse. In Experiment 3 wurde die Frage nach kurzzeitigen Speicherprozessen beim Bereithalten des Itempools und dem Outputmonitoring bei motorischer und verbaler Random Generation untersucht. Dazu wurde, entgegen einem gängigen Vorgehen, nicht versucht, die kurzzeitige Speicherleistung zu beeinträchtigen, sondern sie über eine Unterstützung von Bereithaltensprozessen zu entlasten. Dabei interessierte die Frage, ob sich die Leistung von Kindern in der *Random Generation Aufgabe* durch eine dynamische Unterstützung an die Leistung von Erwachsenen heranführen ließe. Dazu wurde für jeden Itempool neben der Bedingung ohne Unterstützung jeweils eine Random Generation Version mit dynamischer Ereignisraumdarbietung verwendet. Diese Version beinhaltete nicht nur den Ereignisraum in bildlicher Form, sondern zeigte auch die unmittelbar getätigten Antwortalternativen an.

Im Vergleich der beiden Modi des Faktors *Unterstützung* („ohne Unterstützung“ und „dynamische Präsentation“) konnte ein genereller Einfluss auf die Gleichverteilung der Antwortalternativen im Sinne einer Optimierung verzeichnet werden. Dabei fiel je nach Itempool und Altersgruppe die Unterstützung durch die dynamische Präsentation unterschiedlich stark aus. Ebenfalls bedeutsam ist die Minimierung von Altersgruppendifferenzen bei dynamischer Unterstützung. So unterschieden sich Grundschulkinder und Erwachsene bei der dynamischen Unterstützung in allen Bedingungen nicht mehr voneinander. Unterschiede zwischen den Itempoolversionen konnten ebenfalls gefunden werden, sie erwiesen sich jedoch über die Altersgruppen als wenig konsistent.

Bei der Gleichverteilung von Itempaaren fand sich ein über die Itempoolversionen unterschiedlich ausgeprägter Alterseffekt. Die Randomisierungsleistung zwischen den Itempoolversionen divergierte, wobei ein Itempoolgrößeneffekt beim Vergleich des Itempools mit vier Elementen und dem Itempool mit zehn Elementen nachgewiesen werden konnte. Ebenfalls differenziell wirkte die dynamische Unterstützung: Uneinheitlich war die Unterstützung innerhalb der motorischen und der Vierzahlenversion, innerhalb des Zehner-Itempools wirkte die Unterstützungsbedingung altersgruppenabhängig. Für die *4 Zahlen*-Version verschlechtert die dynamische Unterstützung die Gleichverteilung der Antwortpaare.

Die Tendenz zu stereotypen Antwortmustern variierte über die Itempools hinweg. Altersbedingte Unterschiede hinsichtlich dieses Merkmals ergaben sich bei der *10 Zahlen*-Itempoolversion. Hier induzierte auch die dynamische Unterstützung einen Leistungsvorteil.

Bei der Tendenz, Items unmittelbar zu wiederholen, konnte das völlige Ausbleiben eines Alterseffektes nachgewiesen werden. Der Einfluss der dynamischen Unterstützungsbedingung war nicht über alle Bedingungen konsistent. Lediglich in der Itempoolversion *4 Zahlen* konnte über alle Versuchspersonen ein Einfluss der Unterstützung festgestellt werden. Dieser wirkte jedoch im Sinne einer Wiederholungsvermeidungstendenz, also einer Leistungsminderung. Im Vergleich zwischen den drei Itempool-Versionen ergaben sich bedeutsame Unterschiede.

3.3 Diskussion

Wie die beiden vorangehenden Experimente konnte Experiment 3 die Bestätigung eines Unterschieds zwischen motorischer und verbaler Outputmodalität erbringen. Damit lassen sich subsystemspezifische Verarbeitungsprozesse belegen, die über Inhibitions- und Speicherprozesse hinaus bei der *Random Generation Aufgabe* von Bedeutung sein dürften. Hier ist an die in Experiment 2 bereits thematisierten phonologischen und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisprozesse zu denken. Es ist aber angesichts der Größe der Effekte eher davon auszugehen, dass die Modalität des Itempools und des Outputs eine untergeordnete Rolle spielt. Wesentlicher dürfte die Bedeutung des modalitätsspezifischen *Memory Loads* für die Randomisierungsleistung sein. Als Beleg hierfür kann der so genannte „set size effect“ gewertet werden (Towse, 1998): Die Größe des Itempools determiniert die Zufälligkeit der Antwortreihe. Je größer der zur Verfügung stehende Ereignisraum ist, desto redundanter sind die produzierten Reihen. Theoretisch wird der Effekt der Itempoolgröße über eine größere kapazitäre Auslastung des Systems durch die erhöhten Speicherungs- und Inhibitionsanforderungen diskutiert. Konkret besteht bei einem größeren Itempool eine erhöhte Anforderung bei der Generierung von neuen, zufälligen Itemreihen, da zur Auswahl eines Items theoretisch alle Alternativen gleichwahrscheinlich gewählt werden können müssten. Dies erfordert aber eine adäquate Repräsentation von Items, die zum einen über einen vertrauten Itempool gewährleistet werden kann, zum anderen über einen Itempool, der die natürlichen Speicherressourcen nicht überfordert. Im vorliegenden Experiment konnte ein Effekt

der Itempoolgröße über einen Vergleich der *4 Zahlen*-Version mit der *10 Zahlen*-Version nachgewiesen werden. Diese äußerte sich in Alterseffekten bezüglich der Redundanz und der Gleichverteilung von Antwortalternativen.

Ein entscheidender Aspekt des vorliegenden Experiments war der Nachweis der Wirkung von dynamischer Unterstützung auf die Randomisierungsleistung. Towse (1998) dokumentierte die Wirkung einer „extern“ unterstützten Repräsentation des Ereignisraumes. Er fand in einem Experiment an erwachsenen Versuchspersonen, dass der Effekt der Itempoolgröße in der Random Number Generation Aufgabe bei visueller Präsentation des Ereignisraumes ausblieb. Damit böte sich nach Meinung des Autors eine Erklärung für die Unterschiede zwischen der Random Keypressing Aufgabe und der sprachgestützten Random Number Generation. Dass die Kompensation des Itempoolgrößeneffektes nicht vollständig sein muss, belegen Unterschiede zwischen den Itempools *4 Zahlen* und *10 Zahlen* im vorliegenden Experiment. Auch bei dynamischer Unterstützung waren die Leistungen der Versuchspersonen in beiden Itempools nicht identisch. Hier kam auch die moderierenden Wirkung des Alters zusätzlich zum tragen. Dies äußerte sich in altersspezifisch unterschiedlichen Annäherungen der Leistungswerte bei den beiden verbalen Itempoolbedingungen.

Um auch mögliche speichergebundene Outputmonitoringprozesse zu entlasten, wurde der Itempool im vorliegenden Experiment dynamisch präsentiert. D.h. neben der normalen Itempoolpräsentation wurden die unmittelbar aus dem Itempool gewählten Items zusätzlich als solche kenntlich gemacht. Generell führte die dynamische Unterstützung zu einer besseren Gleichverteilung der Items. Der unterstützende Effekt der dynamischen Präsentation deutet auf die hohe Relevanz von Speicherprozessen hin. Die Tatsache, dass bei dynamischer Unterstützung die Leistungsunterschiede zwischen Erwachsenen und Kindern minimiert wurden, wirft die Frage auf, ob interindividuelle Leistungsunterschiede sich ursächlich auf Speicherprozesse zurückführen lassen, oder ob Speicherprozesse vielmehr die Bedingung für höherrangige Prozesse wie etwa die Inhibition darstellen. Wie auch immer das Zusammenwirken von Inhibition und Speicherung bewerkstelligt ist, eine Unterstützung der Speicherung erleichtert zumindest bei den älteren Kindern die Inhibitionsprozesse derart, dass ihre Leistungen sich auch bei größeren Itempools denen der Erwachsenen annäherten. Bei den kleineren Itempools gelang es auch der jüngsten Stichprobe, ihr Leistungslevel an das von Erwachsenen anzugleichen.

Es ergaben sich jedoch nicht nur leistungssteigernde Folgen durch die dynamische Präsentation. Innerhalb der *4 Zahlen*-Itempoolversion führte die dynamische Unterstützung zu einer Abnahme der Gleichverteilung von Antwortpaaren bei allen Altersgruppen. Da dieser Effekt ausschließlich für diese Itempoolversion gefunden wurde, könnte sich bei einem kleinen sprachbasierten Itempool eine andersgeartete Nutzung der Unterstützung abzeichnen, als für einen großen Itempool. Möglicherweise greifen Versuchspersonen nur dann auf eine externe visuelle Unterstützung zurück, wenn der Itempool die Speicherressourcen des Systems durch erhebliche Anforderungen belegt. Dies kann entweder bei nicht vertrautem Material oder bei größeren Itempools der Fall sein. Bei kleineren vertrauten Itempools wird möglicherweise die externe Unterstützung nicht eingesetzt, da das Bereithalten des Itempools über den phonologischen Cache ohne Probleme bewerkstelligt werden kann. Die externe Präsentation des Ereignisraumes könnte daher in diesem Fall eine subsystemspezifische Interferenz der mentalen Itempoolrepräsentation zur Folge haben. Dass dieser Effekt für die Kindergartenkinder geringer ausfiel als für die älteren Altersgruppen, kann darauf zurückgeführt werden, dass die für den Interferenzeffekt bzw. die Nutzung der Unterstützung notwendige phonologische Rekodierungsfähigkeit in dieser Altersgruppe noch nicht ausreichend entwickelt ist. Für ein Nutzungsdefizit bei den Sechsjährigen spricht auch das Ausbleiben eines Unterstützungseffektes beim Index *Adjacency* in den sprachbasierten Itempools. Da jedoch ein Unterstützungseffekt in der motorischen Version festgestellt werden konnte, liegt die Vermutung eines modalitätsspezifischen Strategienutzungsdefizits nahe.

Ebenfalls leistungsmindernd wirkte die dynamische Unterstützung im Bereich der Wiederholungsvermeidung. Versuchspersonen aller Altersgruppen produzierten signifikant weniger unmittelbare Itemwiederholungen in der *4 Zahlen*-Itempoolversion. Neben dem soeben diskutierten Interferenzeffekt, könnte dies möglicherweise über den dynamischen Charakter der Präsentation und der damit implizit induzierten Strategie zusammenhängen: Das unmittelbar gewählte Item wird kurzzeitig aus dem Itempool ausgeblendet und hat daher nicht die gleiche Wahrscheinlichkeit wiedergewählt zu werden, wie die Items bei mentaler oder statischer Ereignisraumpräsentation. Somit würde eine direkte Itemwiederholung bei dynamischer Präsentation ein erhöhtes Maß an Inhibition erfordern.

4. Experiment 4

Das vierte Experiment dient der Untersuchung der Inhibitionsanforderungen der *Random Generation Aufgabe*. Baddeley und Kollegen (1998) beschreiben zwei wesentliche prozessuale Anforderungen der *Random Generation Aufgabe*: Zum einen bestünden diese aus der Aktivierung und dem flexiblen Wechseln zwischen Itemabrufstrategien, zum anderen aus der Inhibition früherer Abrufpläne und Antwortreihen. Hinsichtlich der Inhibitionsprozesse unterscheiden die Autoren zwei Arten von Inhibition: Die Hemmung unmittelbar verwendeter Abrufpläne und Produktionsstrategien sowie die Hemmung der direkten Wiederholung eines Items. Letztere Inhibitionsart macht sich durch eine überzufällige, unmittelbare Wiederholungsvermeidung bemerkbar und wird als automatisierter Prozess angesehen (vgl. Brugger, 1996; Rabinowitz et al., 1989). Die Inhibition früherer Abrufpläne und -strategien betrachtet Baddeley als aktiven und ressourcenintensiven Aufmerksamkeitsprozess. Dieser sei leicht zu beeinträchtigen durch zeit- und aufmerksamkeitssfordernde Aspekte, wie die Erhöhung der Produktionsfrequenz, die Vergrößerung des Itempools oder die simultanen Bearbeitung einer Zweitaufgabe.

Towse und Valentine (1997) wiesen über eine experimentelle Variation die Bedeutung inhibitorischer Prozesse bei der Generierung von Zufallsreihen nach. Sie forderten ihre Versuchspersonen unter anderem dazu auf, aktiv Elemente eines seriell organisierten Itempools aus der Zufallsproduktion auszuschließen und erzielten damit in den Zufallsreihen eine Häufigkeitszunahme benachbarter Antwortelemente. Somit scheint durch die zusätzlich induzierte Inhibitionsanforderung die Vermeidung stereotyper Reihen schwieriger zu werden. Towse und Valentine schließen anhand ihrer Befunde darauf, dass die Inhibition von nicht im Itempool enthaltenen Ziffern dieselbe Anforderung aufweist wie die Inhibition von überlernten Zahlenfolgen.

In Experiment 4 sollen daher die Inhibitionsanforderungen der *Random Generation Aufgabe* variiert werden. Dazu werden die Randomisierungsleistungen auf Basis zweier unterschiedlicher Itempools miteinander verglichen. Neben einem normalen aus vier Zahlen bestehenden Ereignisraum, kommt dabei ein Ereignisraum mit Inhibitionsanforderung zum Einsatz. Bei diesem müssen aus den Zahlen von 1 bis 8 jeweils vier vorab festgelegte Items aus der Zufallsreihenbildung ausgeschlossen werden. Somit bleiben durch die kleine Itempoolgröße die Gedächtnisan-

forderungen vergleichsweise gering, die Inhibitionsanforderung wird jedoch heraufgesetzt. Zusätzlich soll über den Vergleich der bereits in Experiment 3 untersuchten Unterstützungsbedingungen die kurzzeitige Speicheranforderung der Aufgabe variiert werden, um damit das Zusammenwirken von Inhibitions- und Speicherprozessen zu kontrollieren. Ausgehend von einer entwicklungsbedingt geringeren Inhibitionsleistung bei den Vor- und Grundschulkindern, sollte es damit unter erhöhter Inhibitionsanforderung zu einer Leistungsverschlechterung kommen, die durch eine dynamische Unterstützung (vgl. Experiment 3) nur teilweise kompensiert werden dürfte.

4.1 Methode

Stichprobe. 58 Versuchspersonen aus vier Altersgruppen nahmen an Experiment 4 teil: 15 Sechsjährige ($M = 6;5$, $SD = ;5$), 15 Achtjährige ($M = 8;7$ $SD = ;4$), 14 Zehnjährige ($M = 10;6$ $SD = ;3$) und 14 Erwachsene ($M = 23;0$; $SD = 2;3$). Auf eine Gleichverteilung des Geschlechts innerhalb der einzelnen Teilstichproben wurde bei der Rekrutierung der Versuchspersonen soweit wie möglich geachtet.

Material. Die Versuchspersonen mussten Zufallsreihen auf Basis zweier verschiedener Itempoolanforderungen in jeweils zwei unterschiedlichen Präsentationsmodi (vgl. Experiment 3) bilden. Als Kontrollbedingung kam eine normale zahlenbasierte Itempoolversion („Zahlen 1 - 4“) zum Einsatz. Der Itempool mit der erhöhten Inhibitionsanforderung bestand aus vier Zahlen aus dem Zahlenraum von 1 bis 8. Dabei wurde darauf geachtet, dass der Itempool durchwegs aus zwei geraden und zwei ungeraden Zahlen besteht, um stereotype Zahlenreihen („2-4-6-8“) zu vermeiden. Um artikulationsbedingte Unterschiede in der Randomisierung auszuschließen, war die Zahl 7 in keinem Itempool enthalten, da das Zahlenwort „sieben“ zweisilbig ist. Insgesamt wurden zwei asymmetrische Itempools konzipiert. Dies geschah, um über die einzelnen Faktorstufenkombinationen mit Inhibitionsanforderung keine Lernvorgänge bezüglich des Itempools zuzulassen. Die beiden asymmetrischen Itempools wurden versuchspersonenspezifisch mit den beiden Präsentationsmodi „ohne visuelle Unterstützung“ und „mit dynamischer Unterstützung“ kombiniert. Die Präsentationsmodi waren identisch mit denen in Experiment 3.

Versuchsdesign. Die Kombination der zwei Itempools und der zwei Präsentationsversionen führte zu vier Untersuchungsbedingungen. Damit ergibt sich ein dreifakto-

rielles Design über die Zwischensubjektvariable *Altersgruppe* und die Innersubjektvariablen *Inhibition* und *Unterstützung*.

Versuchsablauf. Jede Versuchsperson wurde in einem ruhigen Raum getestet. Die Abfolge der Bedingungen war zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten für jede Versuchsperson randomisiert. Innerhalb der drei Kinderstichproben wurde nach der zweiten Untersuchungsbedingung eine feste Pause von eineinhalb Minuten vorgegeben, auf Wunsch konnte jede Versuchsperson nach jeder Untersuchungsbedingung eine Pause einlegen. Das Produktionsintervall betrug wie in den vorangegangenen Experimenten zwei Sekunden pro Item. Instruktion, Dauer der Einzelbedingungen und Vorgehen in den einzelnen Testzeitpunkten waren übereinstimmend zu den Experimenten 1 - 3. Die Instruktion war ebenfalls vergleichbar zu denen der vorangegangenen Experimente, wurde jedoch um einen Teil zur Einführung und Erklärung der Inhibitionsbedingungen ergänzt. Dabei wurde instruiert, aus den Zahlen von 1 bis 8 vier bestimmte Zahlen herauszulassen. Mit den verbliebenen vier Zahlen solle dann eine Zufallsreihe gebildet werden. Die Instruktion zu Prozess und Produkt einer Zufallsreihenbildung war identisch mit den Instruktionen der Experimente 1 - 3. Die Bedingung der dynamisch-visuellen Darbietung des Itempools wurde in Analogie zu Experiment 3 gesondert eingeführt. Vor jeder Bedingung erhielten die Versuchspersonen einen halbminütigen Übungsdurchgang, der bei Bedarf zusammen mit der jeweiligen Instruktion wiederholt werden konnte.

4.2 Ergebnisse

Eine multivariate Varianzanalyse mit den abhängigen Variablen *Redundancy*, *RNG*, *Adjacency* und *Phi 2* über die Faktoren *Altersgruppe*, *Inhibition* und *Unterstützung* ergab signifikante Einflüsse der Faktoren *Altersgruppe* ($F(12, 149) = 4.51$, $p < .001$, $f = 0.60$) und *Unterstützung* ($F(4, 51) = 11.97$, $p < .001$, $f = .97$) nicht aber für den Faktor *Inhibition* ($F(4, 51) = 1.18$, $p = .33$, $f = .30$). Die Betrachtung der Effektgrößen deutet an, dass sich die Wirkung der beiden signifikanten Hauptfaktoren im sehr starken Effektgrößenbereich bewegt, wohingegen der Einfluss des Faktors *Inhibition* im mittleren Effektgrößenbereich anzusiedeln ist.

Es traten keine statistisch bedeutsamen Interaktionen zwischen den einzelnen Faktoren auf, wenngleich sich auch ein tendenzielles Zusammenwirken der Faktoren *Altersgruppe* und *Unterstützung* abzeichnete ($F(12, 149) = 1.69$, $p = .07$).

Daher wurde zunächst eine weitere multivariate Analyse der Hauptfaktoren *Inhibition* und *Unterstützung* getrennt für die einzelnen Altersstichproben unternommen. Während der Faktor *Inhibition* auch in den altersbezogenen MANOVAs durchwegs keinen Effekt zeigte, äußerte sich die in der dreifaktoriellen MANOVA angedeutete Interaktion zwischen *Altersgruppe* und *Unterstützung* durch das Ausbleiben des Unterstützungseffektes bei den Kindergartenkindern (vgl. Tabelle 35).

Tabelle 35: Altersspezifische Effekte für den Faktor *Unterstützung* auf Basis von zweifaktoriellen MANOVAs

	<i>Unterstützung</i>	<i>Inhibition</i>
Erwachsene	F(4, 10) = 5.75, p < .05, f = 1.52	F(4, 10) = .74, p = .58, f = .55
4. Klasse	F(4, 10) = 5.82, p < .05, f = 1.53	F(4, 10) = .80, p = .55, f = .57
2. Klasse	F(4, 11) = 7.11, p < .01, f = 1.61	F(4, 11) = 1.31, p = .32, f = .69
Kindergarten	F(4, 11) = 1.99, p = .17, f = .87	F(4, 11) = .23, p = .91, f = .29

Eine Interaktion der Hauptfaktoren konnte in den altersbezogenen multivariaten Varianzanalysen nicht nachgewiesen werden. Die Effektgrößen für die beiden Hauptfaktoren sind im mittleren bis starken Effektgrößenbereich. Dies erscheint insofern verwunderlich, als dass auch bei den deutlich nicht signifikanten Werten (vgl. Tabelle 35) noch überwiegend große Effekte zu verzeichnen sind. Da die geringe Teilstichprobengröße für derartige Effektgrößen bei nicht-bedeutsamen Signifikanzprüfungen nicht ausschließlich verantwortlich gemacht werden kann, soll eine univariate Auswertung weiter zur Aufklärung der Effekte beitragen.

Redundancy. Die Analyse der Hauptfaktoren mittels einer dreifaktoriellen ANOVA erbrachte bedeutsame Einflüsse der Faktoren *Altersgruppe* ($F(3, 54) = 8.85, p < .001, f = .70$) und *Unterstützung* ($F(1, 54) = 15.44, p < .001, f = .53$) jedoch nicht für den Faktor *Inhibition* ($F(1, 54) = 0.00, p = .95, f = .01$) auf die abhängige Variable *Redundancy*. Eine Analyse der Interaktionen ergab einen bedeutsamen Einfluss des Zusammenwirkens der Faktoren *Altersgruppe* und *Unterstützung* ($F(3, 54) = 4.07, p < .05$). Weitere Interaktionen konnten statistisch nicht bestätigt werden.

Die einzelnen Stufen der Faktoren wurden mittels t-Tests verglichen (vgl. auch die Mittelwerte und Standardabweichungen in Tabelle 36 im Anhang bzw. die Darstellung in Abbildung 30).

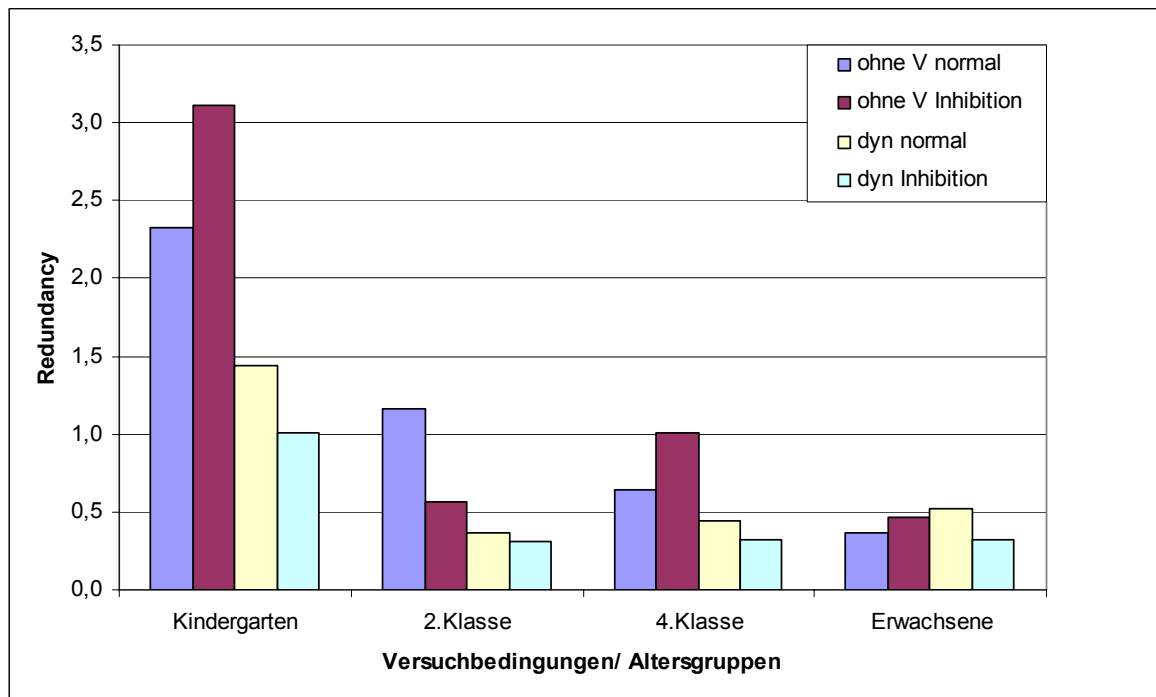


Abbildung 30: *Redundancy* für vier Altersgruppen in zwei Unterstützungs- und zwei Itempoolbedingungen

Zwischen den einzelnen Bedingungen ergaben sich kaum signifikante Mittelwertsunterschiede, lediglich bei der Altersgruppe der Kindergartenkinder erwiesen sich die Vergleiche zwischen den Bedingungen ohne und mit dynamischer Vorlage für beide Itempoolbedingungen als signifikant bzw. als tendenziell signifikant ($\epsilon' = .78 - 1.33$). Altersdifferenzen konnten überwiegend für den Vergleich der Kindergartenkinder mit den übrigen Altersgruppen nachgewiesen werden. Dabei ergaben sich die bedeutsamen Altersunterschiede innerhalb der beiden dynamischen Bedingungen ($\epsilon = .73 - 1.04$).

Durch die beiden Itempoolversionen *normal* und *Inhibition* ergaben sich keine nennenswerten Einflüsse auf die Gleichverteilung von Antwortalternativen. Bedeutsame Unterschiede zwischen den Versionen mit und ohne dynamische Unterstützung fanden sich nur für die jüngste Altersteilstichprobe. Diese unterschied sich auch von allen anderen Altersgruppen bedeutsam. Dieser auf die univariate Analyse bezogene Befund deckt sich nicht mit dem multivariaten Gesamteffekt und dürfte auf altersbezogenen ungleichen Dispersionen sowie eine generell geringere Versuchspersonenzahl zurückzuführen sein. Dieser Verdacht bestätigt sich auch bei Betrachtung der einzelnen Effektgrößen. Diese liegen trotz nicht signifikanten Effekten im mittleren bis hohen Bereich.

RNG. Die dreifaktorielle univariate Varianzanalyse erbrachte einen bedeutsamen Einfluss des Faktors *Altersgruppe* ($F(3, 54) = 9.64, p < .001, f = .73$) und einen tendenziellen Einfluss des Faktors *Unterstützung* ($F(1, 54) = 3.47, p = .07, f = .25$) auf den Index *RNG*. Der Faktor *Inhibition* erwies sich, wie bereits in der multivariaten Auswertung, als nicht bedeutsam ($F(1, 54) = .04, p = .84, f = .03$). Ein Zusammenwirken der Faktoren *Altersgruppe* und *Unterstützung* deutet sich tendenziell an ($F(1, 54) = 2.81, p = .05, f = .39$), weitere Interaktionen konnten statistisch nicht nachgewiesen werden. Abbildung 31 zeigt altersbezogene Bedingungeffekte für den *RNG*-Index (vgl. auch Tabelle 37 im Anhang).

Im Einzelvergleich zwischen den Faktorabstufungen ergaben sich innerhalb der beiden älteren Altersgruppen signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen den beiden Unterstützungsbedingungen im Bereich des Itempools *4 Zahlen* ($\epsilon' = .83$ bzw. $.85$). Für die Altersgruppe der Viertklässler fanden sich auch innerhalb der Inhibitionsbedingung Unterschiede zwischen den beiden Unterstützungsversionen.

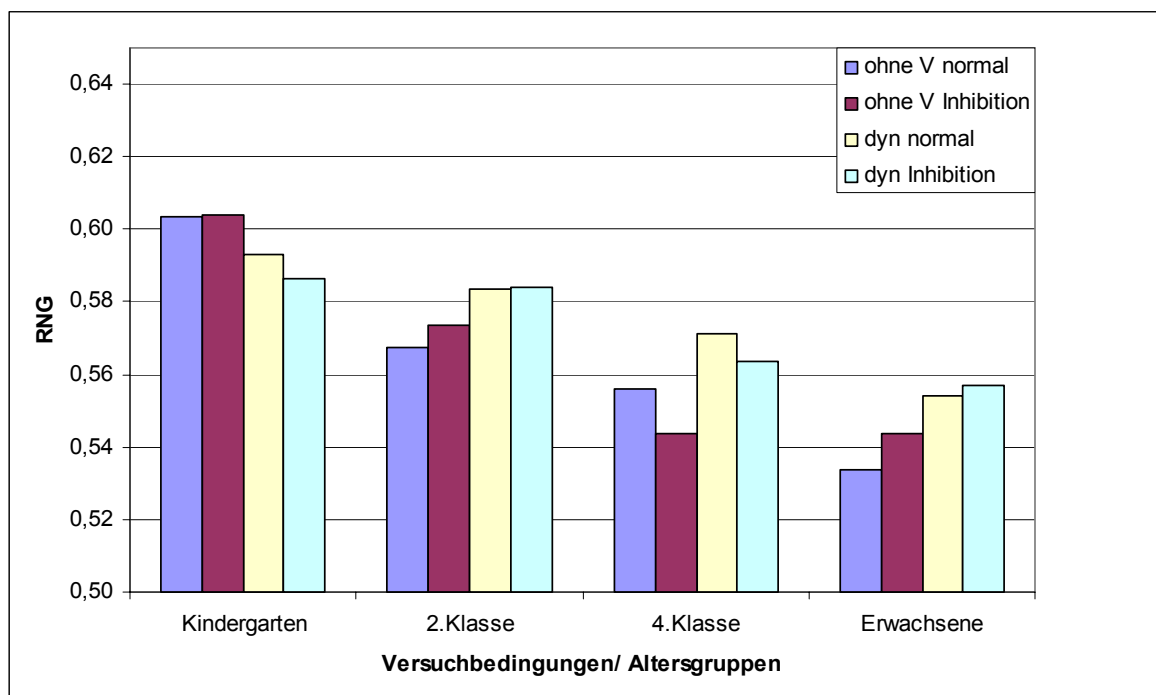


Abbildung 31: *RNG* für vier Altersgruppen in zwei Unterstützungs- und zwei Itempoolbedingungen

Einzelvergleiche zwischen den Altersgruppen mittels t-Tests für unabhängige Stichproben erbrachten bedeutsame Unterschiede zwischen den Erwachsenen und allen anderen Altersgruppen innerhalb der normalen Itempoolversion ohne Unterstützung ($\epsilon' = 1.02 - 1.88$). Auch die Grundschulkindergruppen unterschieden sich

innerhalb dieser Bedingung von den Kindergartenkindern ($\epsilon' = .85$ bzw. 1.20). Innerhalb der Inhibitionsbedingung des Itempools ohne Unterstützung unterschieden sich jeweils Kindergartenkinder und Zweitklässler bedeutsam von Viertklässlern und Erwachsenen ($\epsilon' = .99 - 1.05$). Die tendenzielle Interaktion zwischen den Hauptfaktoren *Altersgruppe* und *Unterstützung* findet ihr Korrelat auf Einzelvergleichebene in wesentlich geringeren Altersgruppenunterschieden zwischen den Bedingungen mit dynamischer Unterstützung. So konnten lediglich Unterschiede zwischen Kindergartenkindern und Erwachsenen bzw. Zweitklässlern und Erwachsenen in der normalen Itempoolversion mit dynamischer Unterstützung nachgewiesen werden ($\epsilon' = .77 - 1.21$). Innerhalb der Inhibitionsversion des Itempools mit dynamischer Unterstützung unterschieden sich die beiden älteren Altersgruppen jeweils von den Kindergartenkindern ($\epsilon' = .84 - .94$).

Die Gleichverteilung von Zahlenpaaren zeigte deutliche Altersunterschiede zwischen allen Altersgruppen im Sinne einer besseren Gleichverteilung von Antwortpaaren bei den älteren Versuchspersonen. Diese variierten über die Bedingungen. Altersunterschiede waren im verstärkten Maß zwischen den Bedingungen ohne dynamische Unterstützung vorzufinden und blieben bei dynamischer Unterstützung lediglich im Vergleich zwischen extremen Altersgruppen erhalten. Zwischen den beiden Itempoolversionen *normal* und *Inhibition* konnten keine bedeutsamen Unterschiede nachgewiesen werden.

Adjacency. Für die abhängige Variable *Adjacency* ergaben sich im varianzanalytischen Vergleich weder ein bedeutsamer Alterseffekt ($F(3, 54) = .42, p = .74; f = .15$), noch ein signifikanter Einfluss des Faktors *Inhibition* ($F(1, 54) = 1.26, p = .27; f = .15$). Der Faktor *Unterstützung* ($F(1, 54) = 4.15, p = .05; f = .28$) zeigte einen schwachen bis mittleren Effekt auf die Ausprägung der abhängigen Variable *Adjacency*. Das Zusammenwirken der beiden Hauptfaktoren *Altersgruppe* und *Unterstützung* erwies sich tendenziell von Einfluss auf die Verwendungshäufigkeit seriell benachbarter Items ($F(3, 54) = 2.53, p = .07$). Weitere Interaktionen konnten statistisch nicht nachgewiesen werden. Abbildung 32 zeigt den Einfluss von Inhibitions- und Unterstützungsbedingungen auf den Index *Adjacency* in verschiedenen Altersgruppen (vgl. auch Tabelle 38 im Anhang).

Das Ausbleiben signifikanter Haupteffekte äußerte sich auch auf Einzelvergleichebene: Nur für die Altersgruppe der Erwachsenen fand sich ein bedeutsamer

Unterschied zwischen dynamischer und unterstützungsloser Bedingung innerhalb der Itempoolversion *Inhibition* ($\epsilon' = .89$) Alle anderen Bedingungsunterschiede erwiesen sich als nichtsignifikant. Dies gilt in ähnlicher Weise für die Altersvergleiche: Hier lies sich lediglich ein bedeutsamer Unterschied zwischen Kindergartenkindern und Erwachsenen für die dynamisch unterstützte Inhibitionsbedingung finden ($\epsilon = .81$).

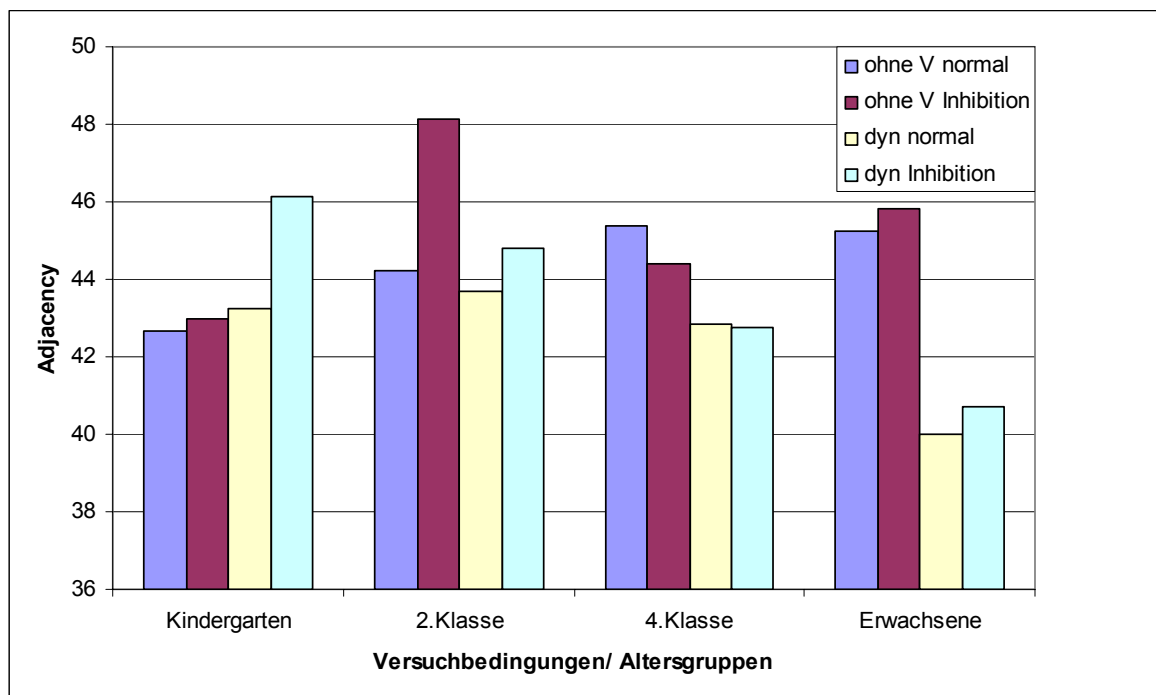


Abbildung 32: *Adjacency* für vier Altersgruppen in zwei Unterstützungs- und zwei Itempoolbedingungen

Der Anteil von seriell benachbarten Items an der gesamten Zufallsreihe war überwiegend robust gegenüber Einflüssen durch die Faktoren *Altersgruppe* und *Inhibition*. Der tendenzielle Einfluss des Unterstützungsfaktors konnte auf Einzelvergleichsebene nicht konsistent nachgewiesen werden und gestaltet sich innerhalb der Altersgruppen und Itempoolversion als nicht systematisch.

Phi 2. Der Index *Phi 2* wurde in seiner Ausprägung weder durch den Zwischensubjektfaktor *Altersgruppe* ($F(3, 54) = .94$; $p = .43$; $f = .23$) noch durch den Innersubjektfaktor *Inhibition* ($F(1, 54) = 2.21$; $p = .14$; $f = .20$) bedeutsam beeinflusst. Nur der Faktor *Unterstützung* zeigte sich von Einfluss auf die abhängige Variable ($F(1, 54) = 22.43$; $p < .001$; $f = .64$). Interaktionen zwischen den Faktoren waren nicht bedeutsam. Abbildung 33 zeigt den altersspezifischen Einfluss der Faktoren *Inhibition* und *Unterstützung* auf *Phi 2* (vgl. auch Tabelle 39 im Anhang).

Beim Vergleich unterschiedlicher Bedingungen konnte in den beiden Altersgruppen der Grundschul Kinder jeweils ein bedeutsamer Mittelwertsunterschied zwischen den beiden Unterstützungsbedingungen „ohne Unterstützung“ und „dynamische Unterstützung“ gefunden werden. Die Unterschiede waren sowohl innerhalb der *normalen* Itempoolversion als auch der *Inhibitions*-Version nachweisbar ($\epsilon' = .85 - 1.42$). Bei Betrachtung der Unterschiedsausprägung fällt auf, dass die Grundschul Kinder durch Einfluss der Unterstützungsbedingung eine signifikant stärkere Wiederholungsvermeidungstendenz aufweisen. Bezüglich des Faktors *Altersgruppe* fanden sich statistisch bedeutsame Unterschiede lediglich zwischen den Zweitklässlern und den Erwachsenen in der dynamisch unterstützten Inhibitions-Bedingung.

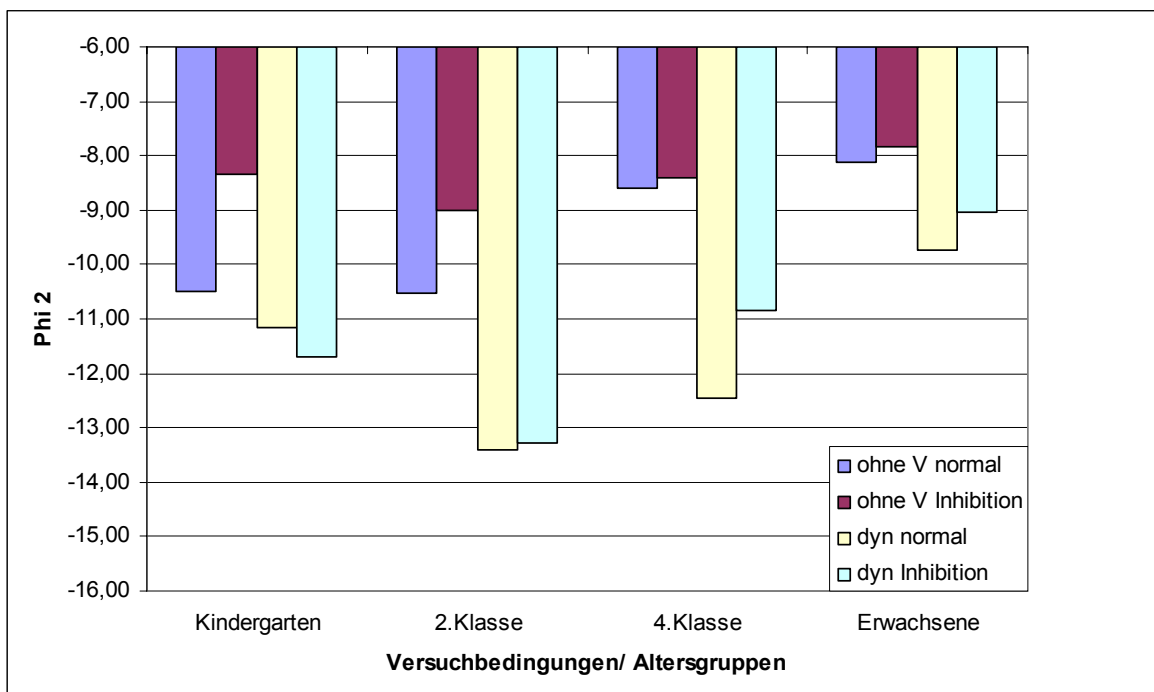


Abbildung 33: *Phi 2* für vier Altersgruppen in zwei Unterstützungs- und zwei Itempoolbedingungen

Die Wirkung des Faktors *Unterstützung* auf die Tendenz zur unmittelbaren Itemwiederholung zeigt sich in einer Zunahme der Wiederholungstendenz bei dynamischer Ereignisraumpräsentation. Dieser Effekt ergab sich allerdings nur für die Grundschul Kinder. Nennenswerte Effekte der Hauptfaktoren *Altersgruppe* und *Inhibition* blieben aus.

Zusammenfassung der Ergebnisse. In Experiment 4 wurde die Bedeutung der Inhibition für die Randomisierungsleistung untersucht. Dazu wurden zwei unter-

schiedliche Itempool verwendet. Neben eine Kontrollbedingung, bestehend aus dem Itempool *4 Zahlen*, kam ein ebenfalls aus vier, seriell nicht benachbarten Elementen bestehender Itempool zum Einsatz. Dabei handelte es sich um vier ausgewählte Zahlen aus der Zahlenreihe von 1 bis 8. Der ebenfalls zweifach gestufte Faktor *Unterstützung* beinhaltete die Anforderung, entweder den Itempool mental bereitzuhalten, oder eine dynamische Itempoolpräsentation zu nutzen. Die vier Faktorstufenkombinationen der beiden Faktoren *Unterstützung* und *Inhibition* wurden jeweils Kindergartenkindern, Zweit- und Viertklässlern sowie Erwachsenen vorgegeben und anhand der vier abhängigen Variablen *Redundancy*, *RNG*, *Adjacency* und *Phi 2* untersucht.

Generell konnte in Experiment 4 kein Einfluss des Faktors *Inhibition* auf die Randomisierungsleistung festgestellt werden. Der Einfluss der dynamischen Unterstützung fiel ebenso wie der Faktor *Altersgruppen* je nach Index unterschiedlich aus. Unterschiede zwischen den Itempoolversionen mit und ohne dynamische Unterstützung fanden sich hinsichtlich der Gleichverteilung von Antwortalternativen nur für Kindergartenkinder. Diese unterschieden sich bei der Gleichverteilung der Items auch von allen anderen Altersgruppen. Bei der Gleichverteilung von Zahlenpaaren zeigten sich die deutlichsten Altersunterschiede, variierten allerdings über die Inner-subjektbedingungen. Allgemein zeigten sich Altersdifferenzen deutlicher zwischen den Bedingungen ohne dynamische Unterstützung. Der Anteil von seriell benachbarten Items an der gesamten Zufallsreihe wurde weder durch den Faktor *Altersgruppe* noch durch den Faktor *Inhibition* beeinflusst. Auch der Faktor *Unterstützung* zeigte sich von eher untergeordneter Bedeutung für die Verwendung benachbarter Items. Die dynamische Unterstützung bei der Repräsentation des Itempools erwies sich bedeutsam auf die Tendenz zur unmittelbaren Itemwiederholung. Der Effekt zeigte sich allerdings in einer Zunahme der Wiederholungstendenz bei dynamischer Ereignisraumpräsentation. Auch hierbei blieben nennenswerte Effekte der Hauptfaktoren *Altersgruppe* und *Inhibition* aus.

4.3 Diskussion

Eine entwicklungsbedingte Zunahme der Randomisierungsleistung, wie sie in allen bisherigen Experimenten gefunden werden konnte, erscheint angesichts der vorliegenden Befunde von Experiment 4 nur eingeschränkt bestätigt zu werden. Zwar zeigten sich anhand der Indices *RNG* und *Redundancy* Alterseffekte. Diese

sind aber lediglich bei *Redundancy*, also der Gleichverteilung von Antwortalternativen, wirklich konsistent zwischen allen Altersgruppen nachweisbar. Dies wirft erneut die Frage der Trennschärfe der *Random Generation Aufgabe* zur Feststellung entwicklungsbedingter Unterschiede auf. Gerade für Random Generation auf Basis des Itempools *4 Zahlen* scheint die Dissoziation von Altersgruppen nicht in ausreichendem Maße gegeben zu sein. Damit stellt sich wiederum die Frage, warum Alterseffekte im Bereich der Bedingung *4 Zahlen* generell nur über wenige Indices hinweg bedeutsam ausfallen. Diese Frage ist möglicherweise über den Anforderungscharakter der Aufgabe zu beantworten. Mit dem relativ kleinen Itempool von vier Elementen dürften auch die eingeschränkten kurzzeitigen Gedächtniskapazitäten von Kindern beim Bereithalten des Ereignisraumes nicht überfordert sein. Dies war auch eines der entscheidenden Kriterien für die Auswahl dieses Itempools. Ferner kann die Repräsentation des Zahlenraums von 1 bis 4 auch für Fünf- bis Sechsjährige sicherlich als gegeben angesehen werden. Damit dürften sich Altersunterschiede in dieser Aufgabe nicht so sehr über speicherrelevante Prozesse sondern über Verarbeitungsaspekte definieren. Einer der wesentlichen Prozesse bei Random Generation ist die Inhibition. Diese wurde im Experiment über unterschiedliche Itempoolvorgaben variiert. Allerdings konnte entgegen bisheriger Befunde in der Literatur (Towse & Valentine, 1997) kein Effekt der Inhibitionsanforderung nachgewiesen werden. Gründe hierfür mögen in der speziellen Aufgabenkonzeption liegen. Die zu inhibierenden Items wurden zwar als solche eingeführt, im Gegenzug wurde jedoch auch die zu randomisierenden Items als solche dargestellt. D.h. neben dem Bereithalten eines (ungewöhnlichen, da nicht gängigen) Itempools traten möglicherweise keine über das normale Maß hinausgehenden Inhibitionsanforderungen auf. Alternativ könnte sich eine erhöhte Inhibitionsanforderung erst dann einstellen, wenn eine „Invertierungsstrategie“ bezüglich der zu inhibierenden Items nicht mehr möglich ist. Damit ist die eben beschriebene und im Experiment möglicherweise induzierte Strategie gemeint, sich die zu inhibierenden Items nicht zu merken und zu unterdrücken, sondern lediglich die zu randomisierenden Items mental bereitzuhalten. Erst wenn die Itempoolgröße derart ansteigt, dass eine Invertierung keinen Leistungsvorteil mehr bringt, könnte die Inhibitionsleistung im stärkeren Maße gefordert sein. Dies wäre aber wahrscheinlich erst bei Itempoolgrößen über zehn Elementen der Fall. Diese Ereignisraumgrößen stellen aber gerade jüngere Kinder vor unverhältnismäßige Speicheranforderungen. Alternativ dazu könnte eine Inhibition-

sanforderung experimentell über einen Wechsel der zu inhibierenden Items während des Randomisierungsvorgangs, etwa über eine bildhafte Einblendung, vorgenommen werden. Dies würde möglicherweise die Anwendung von Invertierungsstrategien minimieren, andererseits weitere Prozesse erfordern, die wiederum leistungsmindernd wirken könnten. Eine weitere Erklärung für die fehlende Wirkung der Inhibition erscheint einfach aber gewagt: Möglicherweise spielen Inhibitionsprozesse bei der *Random Generation Aufgabe* eine weitaus geringere Rolle als bislang angenommen, denn alle in den bisherigen Experimenten gefundenen Unterschiede lassen sich in erster Linie über Unterschiede in den interindividuell verschiedenen Speicherprozessen erklären. Dafür spräche auch die Tatsache, dass jüngere Kinder, trotz der erwiesenermaßen geringeren Inhibitionskapazitäten, die *Random Generation Aufgabe* in vielen Punkten passabel bewerkstelligen. Somit erscheint ein Vergleich der *Random Generation Aufgabe* mit anderen Maßen zur Inhibitionskapazität bzw. zu zentral-exekutiven Prozessen geboten. Dieser Vergleich soll im folgenden Experiment vorgenommen werden.

5. Experiment 5

Die *Random Generation Aufgabe* war lange Zeit Synonym für die Messung zentral-exekutiver Prozesse und diente insbesondere im Kontext von *Dual Task* Studien an Erwachsenen als interferierende Zweitaufgabe. Im Zuge der Weiterentwicklung des Konzepts der zentralen Exekutive (vgl. Baddeley, 1996; Baddeley, 2002) entstand die Notwendigkeit, auch auf empirischer Seite der zunehmenden Differenzierung der zentralen Exekutive Rechnung zu tragen (Towse & Houston-Price, 2001). Ausgehend von der grundsätzlichen Schwierigkeit, zentral-exekutive Prozesse im Sinne einer empirischen Umsetzbarkeit genau und eng zu umschreiben, ergab sich eine zunehmende Kluft zwischen der theoretischen Umschreibung und der konkreten Operationalisierungen zentral-exekutiver Prozesse. Oft wird immer noch ein globales Maß zur Messung „der“ zentralen Exekutive verwendet. Ferner werden Operationalisierungen nicht im Sinne der beteiligten zentral-exekutiven Teilprozesse spezifiziert. Erste, viel versprechende Ansätze zu einer dezidierten Prozessspezifikation sind bislang jedoch fast ausschließlich an Erwachsenen vorgenommen worden (Baddeley, 2002; Miyake et al., 2001; Towse & Houston-Price, 2001). Zwar kommen auch im Bereich entwicklungspsychologischer Fragestellungen zentral-exekutive Aufgaben zum Einsatz (Gathercole & Pickering, 2000a), diese sind aber, analog zu zentral-exekutiven Untersuchungen an Erwachsenen, nicht oder nur ungenau im Sinne der beteiligten Prozesse spezifiziert. In den letzten beiden Jahren ergaben sich neue Impulse bezüglich der entwicklungsbezogenen Messung zentral-exekutiver Prozesse (Alloway et al., 2004; Lehto et al., 2003). Das Plädoyer für eine auf mehreren Tests gestützte Untersuchung zentral-exekutiver Basisprozesse wird für den entwicklungspsychologischen Bereich von Hasselhorn und Kollegen (2003) vertreten. Neben gängigen Operationalisierungen wie der Lese- oder Rechenspanne, der Zahlenspanne rückwärts, der *Random Generation Aufgabe* und dem *Trail Making Test*, schlagen sie auch bis dato eher nicht mit der zentralen Exekutive assoziierte Aufgaben wie den *Stroop Test*, eine *Go/NoGo* Aufgabe und eine Doppespannaufgabe vor (vgl. Martein et al., 1999). Die Autoren unternehmen auch den Versuch, die Aufgaben im Sinne der beteiligten zentral-exekutiven Prozesse zu spezifizieren.

Das vorliegende Experiment dient der Umsetzung von zwei Intentionen: Einerseits soll die *Random Generation Aufgabe* mit anderen zentral-exekutiven Tests

im Sinne gemeinsamer Prozessanforderungen in Bezug gesetzt werden. Zum anderen sollen über verschiedene Operationalisierungen die Entwicklungslinien unterschiedlicher zentral-exekutiver Prozesse dokumentiert werden. Die daraus abgeleiteten Befunde werden dann vor dem Hintergrund einer entwicklungsbasierten Fragmentierung der zentralen Exekutive diskutiert.

Um die Bezüge zwischen der *Random Generation* und anderen zentral-exekutiven Maßen herzustellen, sollen zunächst sechs Operationalisierungen neben der *Random Generation Aufgabe* auf ihre prozessualen Anforderungen hin analysiert werden. Die insgesamt sieben Tests werden dann zur Untersuchung von fünf unterschiedlichen Altersstichproben im Vor- und Grundschulalter eingesetzt. Zusammenhänge und Unterschiede zwischen den Aufgaben sollen aufzeigen, inwiefern unterschiedliche zentral-exekutive Prozesse über unterschiedliche Altersgruppen hinweg abbildbar sind und welche Entwicklungstrends die einzelnen Prozesse einschlagen. Ferner interessiert die Frage ob es in Analogie zu subsystem-spezifischen Prozessen zu einer zunehmenden Spezifizierung und Ausdifferenzierung von zentral-exekutiven Basisprozessen kommt.

5.1 Methode

Stichprobe. 102 Versuchspersonen aus fünf Altersgruppen nahmen an Experiment 5 teil: 17 Fünfjährige ($M = 5;4$, $SD = ;6$), 19 Sechsjährige ($M = 6;6$, $SD = ;3$), 24 Achtjährige ($M = 8;3$, $SD = ;9$), 18 Zehnjährige ($M = 10;5$, $SD = ;7$) und 24 Erwachsene ($M = 22;8$, $SD = 2;11$). Auf eine Gleichverteilung des Geschlechts innerhalb der einzelnen Teilstichproben wurde bei der Rekrutierung der Versuchspersonen soweit wie möglich geachtet.

Material. Die Versuchspersonen bearbeiteten sieben zentral-exekutive Aufgaben. Bei diesen Aufgaben handelt es sich um überwiegend aus der Literatur entnommenen Tests, die an die spezifischen kindlichen Bedürfnisse und Möglichkeiten adaptiert wurden. Im Einzelnen kamen eine *Random Generation Aufgabe*, eine Version des *Trail Making Test* (Reitan, 1958), eine *Stroop Aufgaben Version* (Jansen, Mannheim, Marx, & Skowronek, 1999), eine *Spannenaufgabe rückwärts*, eine *Entscheidungsaufgabe*, eine *Mentale Fusionierungsaufgabe* (Brandimonte, Hitch, & Bishop, 1992b) und eine *komplexe Spannenaufgabe* zum Einsatz. Sie diente als Basis-

Aufgabenpool zu Messung der vier von Baddeley (1996) postulierten zentral-exekutiven Prozesse.

Bei der *Random Generation Aufgabe* handelt es sich um eine Version auf Basis des Itempools der Zahlen von 1 bis 4. Die durch diese Aufgabe operationalisierten Teilprozesse der zentralen Exekutive sind, wie bereits in Experiment 3 und 4 kritisch diskutiert, die Kontrolle von Abrufstrategien und die selektive Inhibition von stereotypen Antwortreihen sowie von unmittelbaren Wiederholungen (vgl. Baddeley, 1996). Beim *Trail Making Test* Version B handelt es sich um einen von Reitan (1958) entwickelten Test in ursprünglich zwei Versionen. Bei Version A hat die Versuchsperson die Aufgabe, scheinbar zufällig auf einem Blatt verteilte Zahlen in aufsteigender serieller Reihenfolge mit einem Stift zu verbinden. In Version B wird die Anforderung des Tests erschwert, indem nicht nur eine Zahlenreihe, sondern eine Zahlen- und eine Buchstabenreihe abwechselnd verbunden werden müssen. Als abhängige Variable wird die Lösungszeit erhoben. Dieser Test wurde u.a. von McLean und Hitch (1999) als zentral-exekutiver Test eingesetzt und erfordert bei seiner Bearbeitung den Wechsel zwischen unterschiedlichen Abrufplänen (Alphabet und Zahlenreihe) und damit die Koordination oder das Hin- und Herschalten zwischen zwei simultanen Aufgaben, sowie, bis zu einem gewissen Grad, den Abruf von Information aus dem Langzeitgedächtnis. Die Schwierigkeit bei der Anwendung mit Kindern liegt in der Sprachgebundenheit sowie in der Kenntnis des Alphabets. Deswegen wurde eine Modifikation des Tests dahingehend vorgenommen, dass auf Zahlen- und alphabetische Reihen verzichtet wurde. Stattdessen mussten die Versuchspersonen auf einem Papier verteilte Kreise unterschiedlicher Größe und Farbe verbinden. Zu diesem Zweck sollten Kreise in aufsteigender Größe und der Farbreihenfolge gelb und grün verbunden werden. Auch diese Aufgabe erfordert einen stetigen Wechsel zwischen zwei Prozessen, das so genannte *Task Switching*. Im Gegensatz zur ursprünglichen Version erfordert der Test keine Abrufprozesse aus dem Langzeitgedächtnis.

Zur Messung von Inhibitionsprozessen wurde die *Stroop Aufgabe* eingesetzt. In der ursprünglichen Version (Stroop, 1935) werden der Versuchsperson farbig-kongruente und farbig-inkongruente Farbwörter präsentiert. Aufgabe ist es, die Farbe der Wörter zu benennen und dabei das automatisierte Lesen des (inkongruenten) Farbworts zu unterdrücken. Im Allgemeinen steigt bei der Präsentation inkongruenter Farbwörter die Lösungszeit erheblich an (vgl. auch einen Überblick bei

MacLeod, 1991). Im Sinn der von Baddeley spezifizierten zentral-exekutiven Prozesse erfordert diese Aufgabe die selektive Aufmerksamkeitszuwendung zu der Wortfarbe bei gleichzeitiger Inhibition des Farbwortes. Der Test existiert in mehreren weniger sprachgebundenen Versionen und ist in seiner Anwendbarkeit auf Kinderstichproben gut dokumentiert (Jansen et al., 1999; Lehto et al., 2003; Archibald & Kerns, 1999; Wright et al., 2003). In dem vorliegenden Experiment kam eine Version von Jansen und Kollegen (Jansen et al., 1999) zum Einsatz. Kinder werden zunächst vier verschiedenen Obst- bzw. Gemüsearten präsentiert: Eine rote Tomate, ein grüner Salat, eine gelbe Zitrone und eine blaue Pflaume. Das Kind bekommt im Anschluss eine Abbildung vorgelegt, bei der es die Farben der z.T. farbig präsentierten vier Obst- und Gemüsegegenstände benennen muss. Hierbei sind die farbigen Items in der kongruenten Farbe des Items abgebildet. Im nächsten Schritt werden die gleichen vier Gegenstände farblos präsentiert. Wiederum besteht die Aufgabe in der Nennung der ursprünglichen Itemfarbe. Im letzten und eigentlichen Testdurchgang werden die Frucht- und Gemüse-Items in inkongruenten Farben präsentiert, d.h. die Zitrone ist beispielsweise rot. Auch hier müssen die Versuchspersonen die Originalfarben nennen, also bei dem genannten Beispiel „gelb“. In jedem Aufgabendurchgang werden jeweils 32 Items präsentiert und die Versuchspersonen erhalten die Aufforderung, die Aufgabe so schnell und richtig wie möglich zu erledigen. Die Fehlerzahl dient zur Trade-Off-Kontrolle, als abhängige Variable wird die Gesamtlösungszeit für die inkongruente Version gemessen. Ebenso wie das farbwortbasierte Original erfordert diese *Stroop Aufgaben* Version die selektive Aufmerksamkeitszuwendung auf den zu bearbeitenden Stimulus bei gleichzeitiger Inhibition der inkongruenten Farbinformation.

Eine klassische zentral-exekutive Aufgabe ist die *Zahlenspanne rückwärts*. Ihr werden zentral-exekutive Prozesse wie die Koordination zweier simultaner Prozesse zugesprochen. Dabei handelt es sich um die Speicherung und Transformation der Zahlenreihen, sowie der Inhibition der ursprünglichen Reihenfolge beim Abruf (Gaupp, 2003). Zwar existieren Versuche, diese Aufgabe auch im Vorschulbereich einzusetzen, dabei werden entweder Bodeneffekte bei jüngeren Kindern erzielt oder aber das Spannenvorgehen und die damit verbundene Vergleichbarkeit zu anderen Spannaufgaben wird aufgegeben (vgl. Gathercole & Pickering, 2000a). Die Transformation der seriellen Reihenfolge stellt sicherlich eine wesentliche Schwierigkeitsdeterminante des Tests dar. Ursachen für das schlechtere Ab-

schneiden jüngerer Kinder dürften darüber hinaus in subsystemspezifischen, sprachgebundenen Prozessen zu suchen sein. Daher wurde für das vorliegende Experiment eine Spannenaufgabe konzipiert, die in der Darbietung der Einzelitems und der Einführung der seriellen Reihenfolgeinformation nicht ausschließlich sprachgebunden ist. Die Versuchspersonen bekamen Plättchen mit unterschiedlichen Farben präsentiert. Aufgabe war es, in Analogie zur *Zahlenspanne rückwärts*, die Farben in umgekehrter Präsentationsreihenfolge wiederzugeben. Dabei werden wie bei der *Zahlenspanne rückwärts* die gleichen zentral-exekutiven Prozesse angesprochen. Ferner dürften beim Abruf der Items phonologische Rekodierungsprozesse eine Rolle spielen.

Einen ähnlichen Anforderungscharakter haben *komplexe Spannenaufgaben*: Sie fordern neben kurzzeitigen Speicherprozessen ebenfalls die Manipulation von Information. Dabei kann es sich entweder um die Verifikation von Sätzen (Daneman et al., 1982), die Lösung von Rechenaufgaben (Turner & Engle, 1989) oder das Zählen von Items (Case et al., 1982) handeln. Allen Aufgaben gemeinsam ist, dass ein Wechsel zwischen Speicher- und Manipulationsprozessen stattfindet. So muss beispielsweise bei der Hörspanne (vgl. Gathercole & Pickering, 2000a) direkt im Anschluss an die Verifikation eines Satzes das letzte Wort des Satzes gespeichert werden. In Analogie zu anderen Spannenaufgaben wird die Speicheranforderung allmählich gesteigert, indem immer mehr Sätze präsentiert werden, die jeweils verifiziert werden und deren jeweils letztes Wort gespeichert werden muss. Im Anschluss an die Präsentation der Sätze müssen alle Wörter in der korrekten seriellen Abfolge wiedergegeben werden. Im Sinne der von Baddeley (Baddeley, 1996) vorgenommenen Prozessspezifikation, ist bei komplexen Spannenaufgaben in erster Linie die Kontrolle von Enkodierungs- und Abrufstrategien gefordert. Daneben dürfte auch die koordinierende Funktion der zentralen Exekutive beim Wechseln zwischen der Manipulations- und der Speicheranforderung ebenso von Bedeutung sein, wie der Abruf und die Manipulation von Information aus dem Langzeitgedächtnis bei der Satzverifikation. Um nun die Aufgabe an die spezifischen Bedürfnisse von jüngeren Kindern zu adaptieren, wurde für den Manipulationsteil der komplexen Spannenaufgabe eine einfache Verifikationsanforderung gewählt. Die Versuchspersonen bekamen Karten mit jeweils einem bildhaft dargestellten Gegenstand für die Dauer von 2 Sekunden präsentiert und mussten im Anschluss angeben, ob der Gegenstand essbar sei oder nicht. Im Anschluss an die Präsentation mussten alle Gegenstände

in der Reihenfolge ihrer Präsentation wiedergegeben werden. Es wurde deswegen auf eine bildhafte Präsentation sowie das Konzept der Essbarkeit zurückgegriffen, um die Aufgabe auch für Kinder im Alter von fünf Jahren verständlich und zugänglich zu machen. Diese *komplexe Spannenaufgabe* weist dabei im Grundsatz die gleichen Prozessanforderungen auf wie traditionelle *komplexe Spannenaufgaben*.

Die *Mentale Fusionierungsaufgabe* wurde ursprünglich konzipiert, um *mental Imagery* Prozesse zu operationalisieren. Da sie aber neben visuell-räumlichen Anteilen erhebliche zentral-exekutive Prozessfordernisse aufweist (vgl. Brandimonte, Hitch, & Bishop, 1992a; Brandimonte et al., 1992b), wurde sie in die vorliegende Testauswahl aufgenommen. Bei der Aufgabe wird einer Versuchsperson zunächst eine Karte mit einem abstrakt erscheinenden einfachen Schema, z.B. einem Halbkreis dessen flache Seite nach oben weist, für zwei Sekunden präsentiert. Im Anschluss wird eine weitere Karte mit einer anderen Darstellung, z.B. einem mit der Spitze nach oben weisenden Dreieck, ebenfalls zwei Sekunden dargeboten. Dann erfolgt nochmals die Präsentation der ersten Karte mit der Anweisung, die beiden dargestellten Gegenstände mental zusammenzufügen und zu berichten, welcher sinnvolle Gegenstand daraus entstanden sein könnte („ein Segelschiff“; vgl. Abbildung 34).

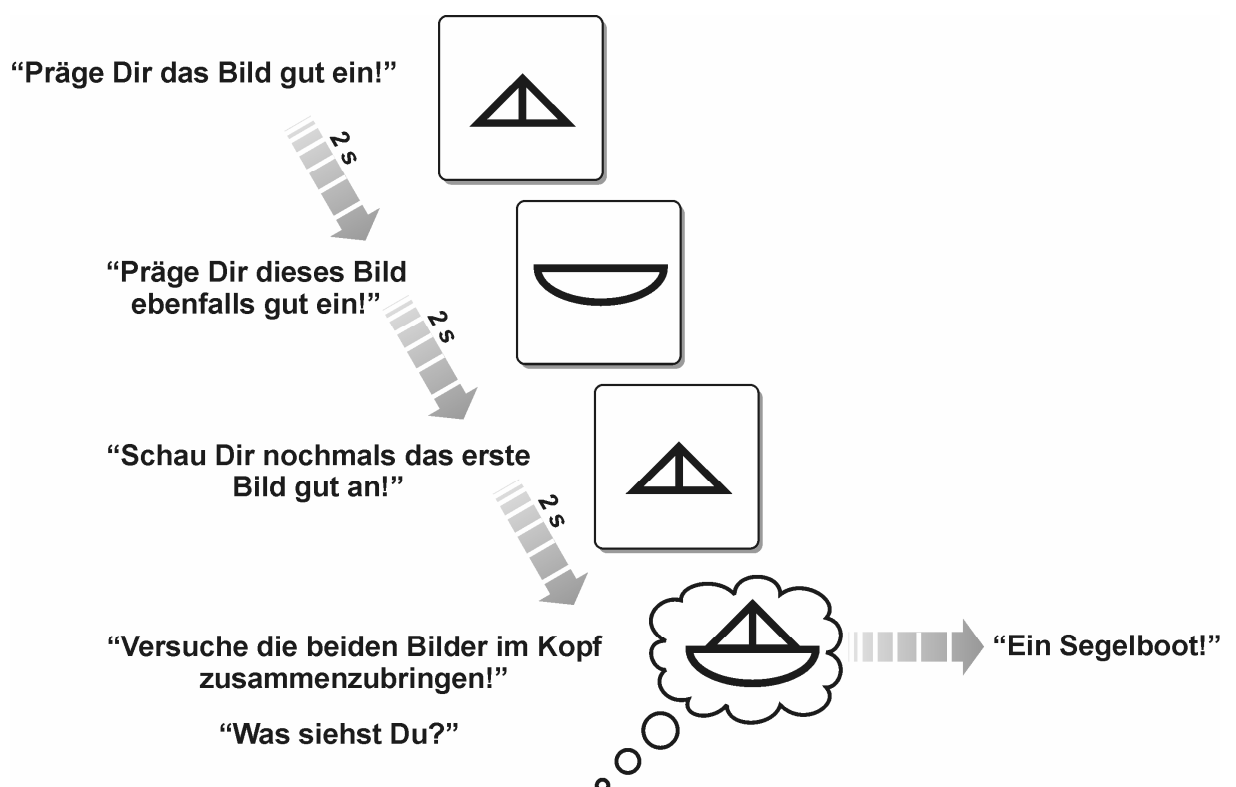


Abbildung 34: Schematisierter Ablauf einer *Mentalen Fusionierungsaufgabe*

Somit erfordert die Aufgabe neben der kurzzeitigen Speicherung die Manipulation von Information sowie den Abgleich der fusionierten Einzelelemente mit Information aus dem Langzeitgedächtnis (Erkennen und Benennung der fusionierten Gegenstände). Insgesamt kamen zehn unterschiedliche Durchgänge auf Basis unterschiedlicher Gegenstände zum Einsatz. Im Anschluss an die Testung wurde die Benennung der Gegenstände abgeprüft, um sicherzustellen, dass auch den jüngeren Kindern alle Gegenstände bekannt waren und korrekt benannt werden konnten. Als abhängige Variable wurde die Anzahl der korrekt fusionierten Gegenstände ausgewertet.

Die Fähigkeit zur selektive Aufmerksamkeitsfokussierung und Inhibition nahe liegender Reaktionstendenzen wurde im vorliegenden Experiment über eine *Entscheidungsaufgabe* abgeprüft (vgl. Seybel-Kröber, 2005; Vandierendonck, Szmalec, & Kemps, 2002). Zu Beginn der Aufgabe werden ein oder mehrere Entscheidungskriterien (z.B. „gelbe Jacke“, „grüne Hose“ und „blaue Stiefel“) präsentiert bei deren Vorliegen innerhalb der nachfolgend präsentierten Stimuli („Kind mit gelber Jacke, grüner Hose und blauen Stiefel“) mit „ja“ reagiert werden muss. Die Reaktion „nein“ soll erfolgen, wenn ein Stimulus entweder ein oder mehrere Kriterien nicht aufweist oder die entsprechenden Kriterien in einer anderen Erscheinungsform („gelbe“ statt „grüne Hose“) auftreten (vgl. Abbildung 35). Damit ähnelt die Aufgabe traditionellen Entscheidungs- und Suchaufgaben im Kontext des *Go/NoGo-Paradigma* (vgl. Mähler & Hasselhorn, 2001; Foeldnyi, Giovanoli, Tagwerker-Neuenschwander, Schallberger, & Steinhausen, 2000). Im Unterschied zu derartigen Aufgaben muss jedoch eine der beiden möglichen Reaktionen nicht unterdrückt werden. Insgesamt wurden sechs Durchgänge mit jeweils zehn Stimuli vorgegeben. Jeder Durchgang enthielt unterschiedliche Stimuli und Suchkriterien. Der Anforderungsgehalt der Aufgabe wurde über die Anzahl der beteiligten Suchkriterien (1 - 3), die Charakteristik des Suchkriteriums („der gelbe Ball“, „der Ball“) sowie die Salienz zwischen Distraktoren und Treffern variiert.

“Schau, ob das Kind alle folgenden Gegenstände trägt! Wenn das der Fall ist, musst Du so schnell wie möglich ‘ja’ sagen! Sonst sagst Du ‘nein!’”

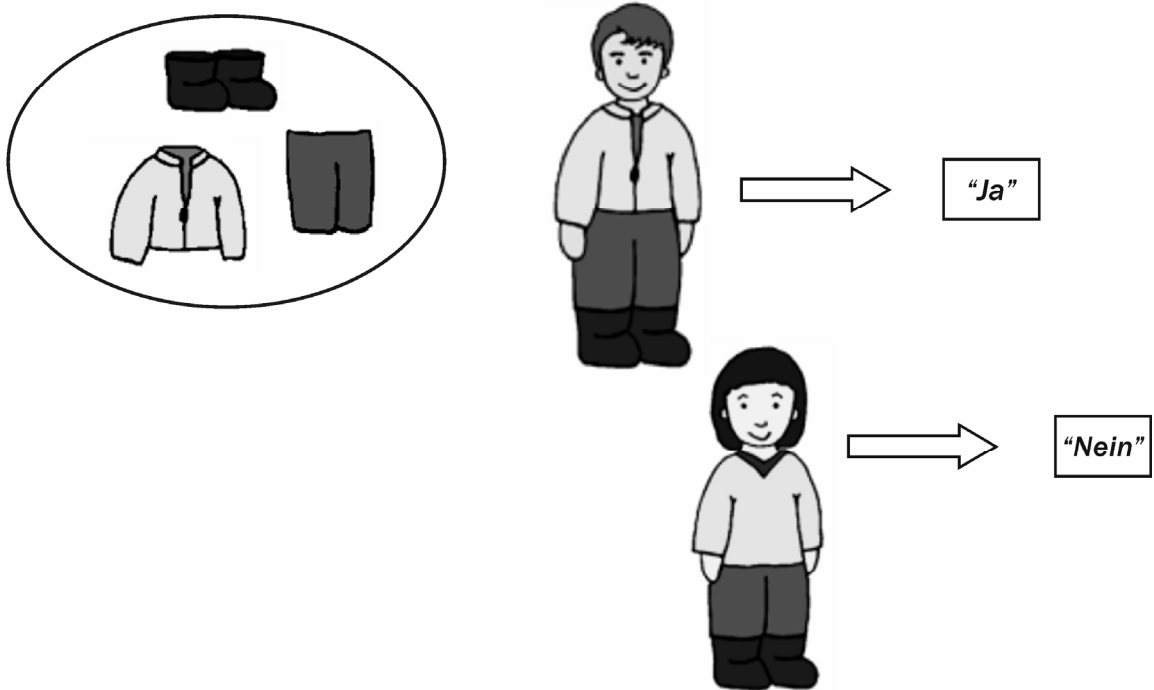


Abbildung 35: Beispiele für die *Entscheidungsaufgabe*

Abbildung 36 zeigt eine zusammenfassende Übersicht der in Experiment 5 verwendeten Tests und den ihnen zugesprochenen zentral-exekutiven Prozessen.

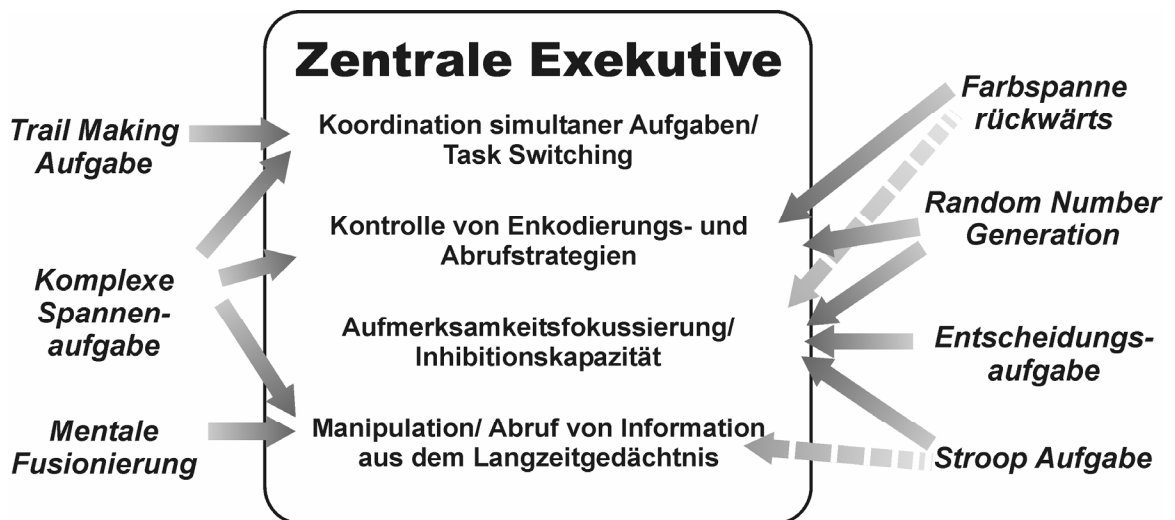


Abbildung 36: Zentral-exekutive Prozesse nach Baddeley (1996) und die in Experiment 5 verwendeten Operationalisierungen. Durchgehende Pfeile bezeichnen Primärprozesse, gestrichelte Pfeile Prozessanteile.

Versuchsdesign. Fünf unterschiedliche Altersgruppen werden über sieben zentral-exekutive Aufgaben miteinander verglichen. Damit ergibt sich ein einfaktorielles Design über die Zwischensubjektvariable *Altersgruppe*.

Versuchsablauf. Jede Versuchsperson wurde in einem ruhigen Raum getestet. Die Abfolge der Aufgaben war zur Vermeidung von Reihenfolgeeffekten für jede Versuchsperson randomisiert. Alle Altersteilstichproben wurden über zwei Messzeitpunkte verteilt untersucht, der Abstand der Messzeitpunkte betrug maximal eineinhalb Wochen. Feste Pausen von etwa drei Minuten waren für alle Versuchspersonen nach etwa 12 bis 15 Minuten vorgegeben, auf Wunsch konnte jede Versuchsperson nach jeder Aufgabe eine Pause einlegen. Die Instruktionen wurden altersspezifisch adaptiert. Vor jeder Aufgabe gab es Übungsdurchgänge, die im Falle von Unklarheiten zusammen mit der Instruktion wiederholt werden konnten.

5.2 Ergebnisse

Der allgemeine Alterseffekt wurde für jede der sieben zentral-exekutiven Aufgaben zunächst über eine einfaktorielle Varianzanalyse ausgewertet. Lediglich bei der *Random Generation Aufgabe* kam zusätzlich eine multivariate Varianzanalyse zum Einsatz, um das Zusammenwirken der vier abhängigen Variablen *RNG*, *Redundancy*, *Adjacency* und *Phi 2* zu beleuchten. Zur Untersuchung der Unterschiede zwischen den Altersgruppen wurden t-Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt bzw. Effektgrößen für die Mittelwertsunterschiede berechnet. Um den Zusammenhängen zwischen den verschiedenen zentral-exekutiven Subtests auf den Grund zu gehen, wurde eine korrelative Analyse durchgeführt. Dazu wurden neben Korrelationen nullter Ordnung auch um den Einfluss des Alters bereinigte Partialkorrelationen errechnet.

Altersvergleiche

Random Generation. Eine multivariate Varianzanalyse mit den abhängigen Variablen *Redundancy*, *RNG*, *Adjacency* und *Phi 2* ergab einen signifikanten Einfluss des Faktors *Altersgruppe* ($F(16, 370) = 3.34, p < .001, f = 0.38$). Bei univariater Betrachtung der einzelnen abhängigen Variablen ergaben sich signifikante Alterseffekte für die Indices *Redundancy* ($F(4, 97) = 5.63, p < .001, f = 0.48$), *RNG* ($F(4, 97)$

= 6.63, $p < .001$, $f = 0.52$) und *Adjacency* ($F(4, 97) = 2.88$, $p < .05$, $f = 0.34$). Für den *Phi 2*-Index konnte kein bedeutsamer Einfluss der Altersgruppe nachgewiesen werden ($F(4, 97) = .74$, $p = .57$, $f = 0.17$). Die Betrachtung der Effektgrößen des Alterseinflusses auf die abhängigen Variablen deutet für die signifikanten Befunde einen mittleren bis starken Effekt an ($f = .34 - .52$). Da die Mittelwerte für die einzelnen Altersgruppen (vgl. Tabelle 40) verschiedene Altersunterschiede nahe legen, wurde, um die Konsistenz der Hauptfaktorwirkung näher zu untersuchen, Vergleiche zwischen den einzelnen Altersgruppen mittels adjustierter t-Tests unternommen. Dabei ergaben sich für den Index *Phi 2* keinerlei signifikante Mittelwertsunterschiede und für die Variable *Adjacency* Unterschiede lediglich für den Vergleich zwischen den Fünfjährigen und den Erwachsenen ($\epsilon = .89$). Die Vergleiche innerhalb des Index' *Redundancy* erbrachten signifikante Unterschiede zwischen den Fünfjährigen und den Zweit- und Viertklässlern sowie den Erwachsenen ($\epsilon = .90 - 1.07$), für den *RNG*-Index zwischen den Fünfjährigen und allen anderen Altersgruppen ($\epsilon = .84 - 1.23$).

Tabelle 40: Altersspezifische Mittelwerte und Standardabweichungen für *Redundancy*, *RNG*-Index, *Adjacency* und *Phi 2*

	Redundancy		RNG-Index		Adjacency		Phi 2	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	4.22	4.07	0.66	0.11	51.47	14.26	-8.96	9.84
6-Jährige	2.59	2.28	0.59	0.05	45.61	7.27	-10.17	6.28
8-Jährige	1.09	1.11	0.57	0.08	46.04	9.93	-8.50	5.10
10-Jährige	1.08	2.23	0.57	0.05	46.11	6.79	-6.58	7.13
Erwachsene	1.22	2.38	0.56	0.03	41.46	7.21	-7.37	7.20

Damit kommt der Haupteffekt durch den Faktor *Altersgruppe* in erster Linie über die Unterschiede zwischen den Fünfjährigen und den übrigen Altersgruppen zustande. Dies wird bestätigt, wenn man die univariaten Varianzanalysen unter Ausschluss der jüngsten Teilstichprobe vornimmt: Die Wirkung des Hauptfaktors bleibt aus bzw. geht in den kleinen bis mittleren Effektgrößebereich zurück ($f = .20 - .31$).

Stroop Aufgabe. Die einfaktorielle Varianzanalyse über die abhängige Variable *Lösungszeit* erbrachte einen bedeutsamen Einfluss des Faktors *Altersgruppe* ($F(4, 97) = 72.35$, $p < .001$, $f = 1.73$). Die nähere Untersuchung der Mittelwertsunterschiede (vgl. Abbildung 37 sowie Tabelle 41 im Anhang) mit post hoc t-Tests, ergab

signifikante Unterschiede zwischen den beiden jüngsten und den drei älteren Altersgruppen sowie den Erwachsenen und allen anderen Altersgruppen. Tabelle 42 liefert einen Überblick über die Effektgrößen für die Einzelvergleiche zwischen den Altersgruppen.

Tabelle 42: Effektgrößen ε für die Einzelvergleiche zwischen Altersgruppen in der *Stroop Aufgabe*

	5-Jährige	6-Jährige	8-Jährige	10-Jährige	Erwachsene
5-Jährige					
6-Jährige	1.42				
8-Jährige	2.36	1.63			
10-Jährige	2.94	2.94	1.03		
Erwachsene	3.47	4.23	2.33	2.39	

Der nahezu konsistente Alterseffekt zeigt sich auch bei Varianzanalysen unter Ausschluss der Erwachsenen ($F(3, 74) = 48.78, p < 001, f = 1.41$) bzw. der Fünfjährigen ($F(3, 81) = 70.06, p < 001, f = 1.61$). In beiden Fällen zeigt sich jeweils ein starker Effekt.

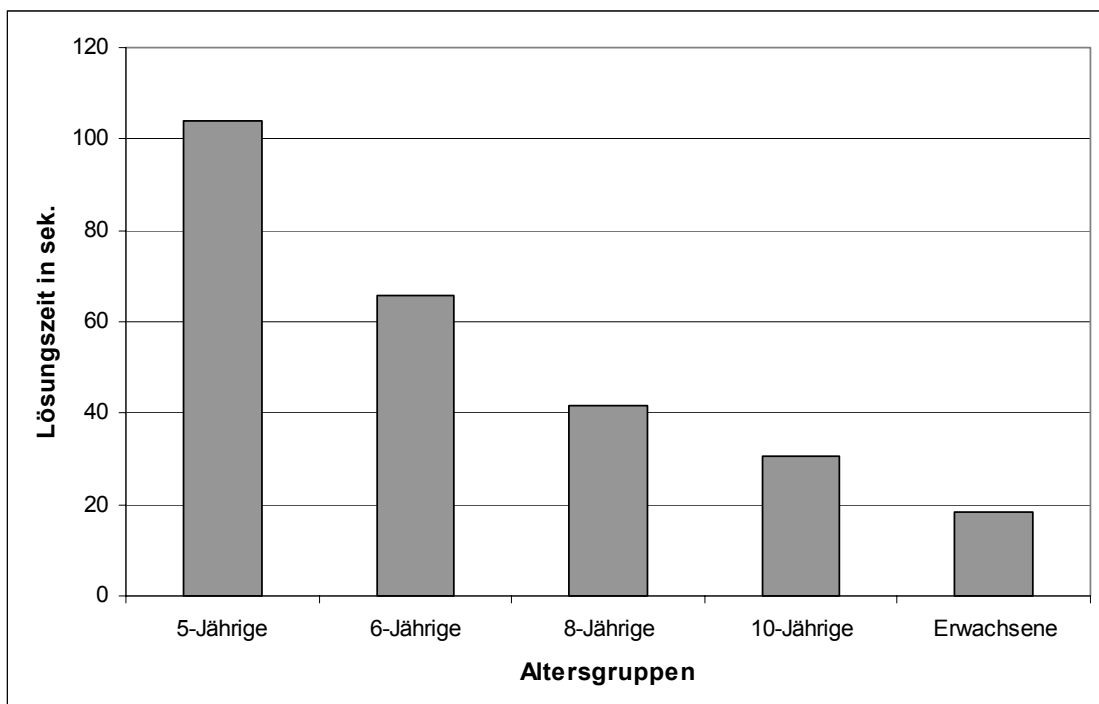


Abbildung 37: Altersspezifische Lösungszeiten für die farb-inkongruente Bedingung der *Stroop Aufgabe*

Farbspanne rückwärts. Die varianzanalytische Auswertung der Lösungsgüte erbrachte für die *Farbspanne rückwärts* einen bedeutsamen Einfluss des Faktors

Altersgruppe ($F(4, 97) = 31.33, p < 001, f = 1.14$). Separate Mittelwertsvergleiche (vgl. Abbildung 38 und Tabelle 43 in Anhang 5) mit post hoc t-Tests, erbrachten signifikante Unterschiede zwischen den Fünfjährigen und den Grundschulkindern sowie zwischen den Erwachsenen und allen übrigen Altersgruppen. Nicht bedeutsam waren die Unterschiede innerhalb der beiden Kindergartenstichproben und innerhalb der Grundschulstichproben. Die Sechsjährigen unterschieden sich ebenfalls nicht bedeutsam von den Achtjährigen. Tabelle 44 gibt einen Überblick über die Effektgrößen im Einzelvergleich zwischen den Altersgruppen.

Tabelle 44: Effektgrößen ε für die Einzelvergleiche zwischen Altersgruppen in der *Farbspanne rückwärts*

	5-Jährige	6-Jährige	8-Jährige	10-Jährige	Erwachsene
5-Jährige					
6-Jährige	0.53				
8-Jährige	1.06	0.35			
10-Jährige	1.99	1.19	1.12		
Erwachsene	2.79	2.12	2.18	1.36	

Der diskontinuierliche Altersverlauf bestätigt sich auch bei separaten ANOVAs unter dem jeweiligen Ausschluss der jüngsten ($F(3, 81) = 28.98, p < 001, f = 1.04$) bzw. ältesten Stichprobe ($F(3, 74) = 11.24, p < 001, f = .68$).

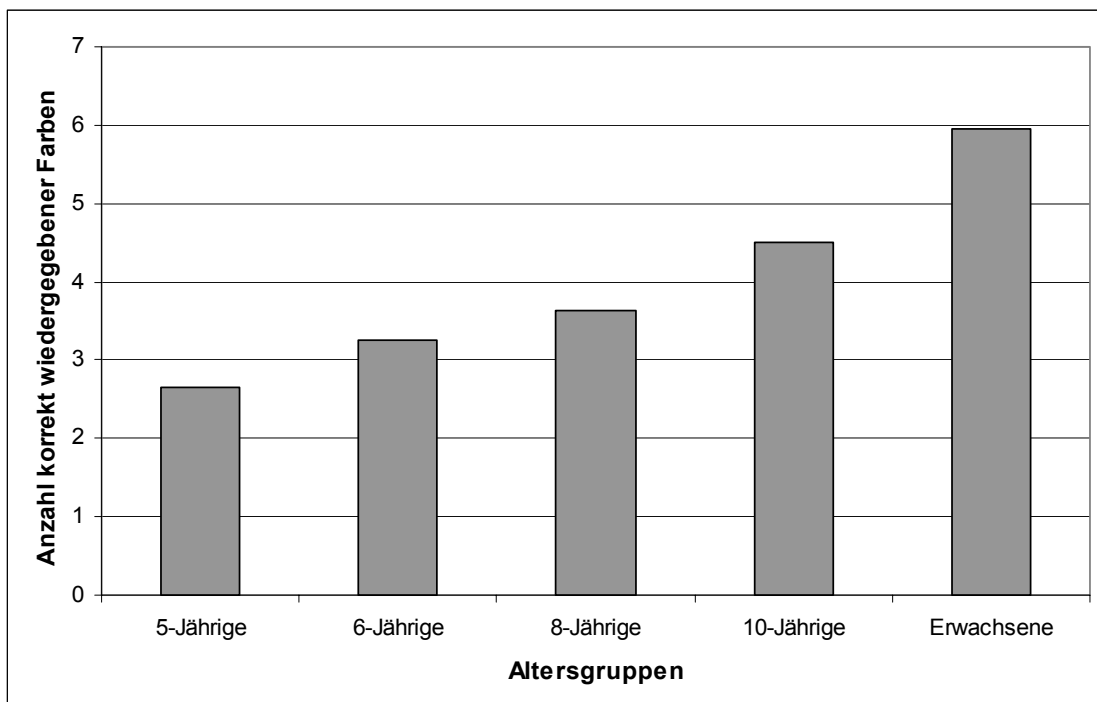


Abbildung 38: Altersspezifische Lösungsraten für die Farbspannenaufgabe

Vor allem bei der Analyse ohne die Erwachsenen sinkt die Effektgröße erheblich ab. Dies deutet auf den großen Unterschied zwischen den Erwachsenen und der Reststichprobe hin.

Komplexe Spanne. Die varianzanalytische Auswertung der abhängigen Variablen erbrachte eine bedeutsame Wirkung des Faktors *Altersgruppe* ($F(4, 97) = 29.26, p < 001, f = 1.10$). Mittelwertsvergleiche (vgl. Abbildung 39 und Tabelle 45 in Anhang 5) zwischen den Altersgruppen mittels post hoc t-Tests, boten ein ähnliches Bild wie für die *Farbspanne rückwärts*: Die Gruppen der Erwachsenen und der Zehnjährigen unterschieden sich bedeutsam von allen anderen Altersgruppen, signifikante Unterschiede zwischen den jüngsten Altersgruppen der Fünf- bis Achtjährigen waren statistisch nicht bedeutsam. Tabelle 46 zeigt die Effektgrößen für die einzelnen Altersvergleiche.

Tabelle 46: Effektgrößen ε für die Einzelvergleiche zwischen Altersgruppen in der *Komplexen Spanne*

	5-Jährige	6-Jährige	8-Jährige	10-Jährige	Erwachsene
5-Jährige					
6-Jährige	0.31				
8-Jährige	0.46	0.12			
10-Jährige	1.25	1.00	0.99		
Erwachsene	2.62	2.40	2.50	1.22	

Der Entwicklungsverlauf mit Plateau im Bereich des Vor- und frühen Grundschulalters weist Ähnlichkeiten zum Entwicklungsverlauf der *Farbspanne rückwärts* auf. Ebenso wie im letztgenannten Test ergibt die getrennte varianzanalytische Auswertung ohne die Gruppe der Erwachsenen bzw. die Gruppe der Fünfjährigen ähnliche Effekte (ohne Erwachsene: $F(3, 74) = 7.11, p < 001, f = .54$; ohne Fünfjährige: $F(3, 81) = 30.97, p < 001, f = 1.07$). Damit ist ein wesentlicher Anteil des Altersgruppeneffektes über die Unterscheidung zwischen Erwachsenen und der Reststichprobe determiniert.

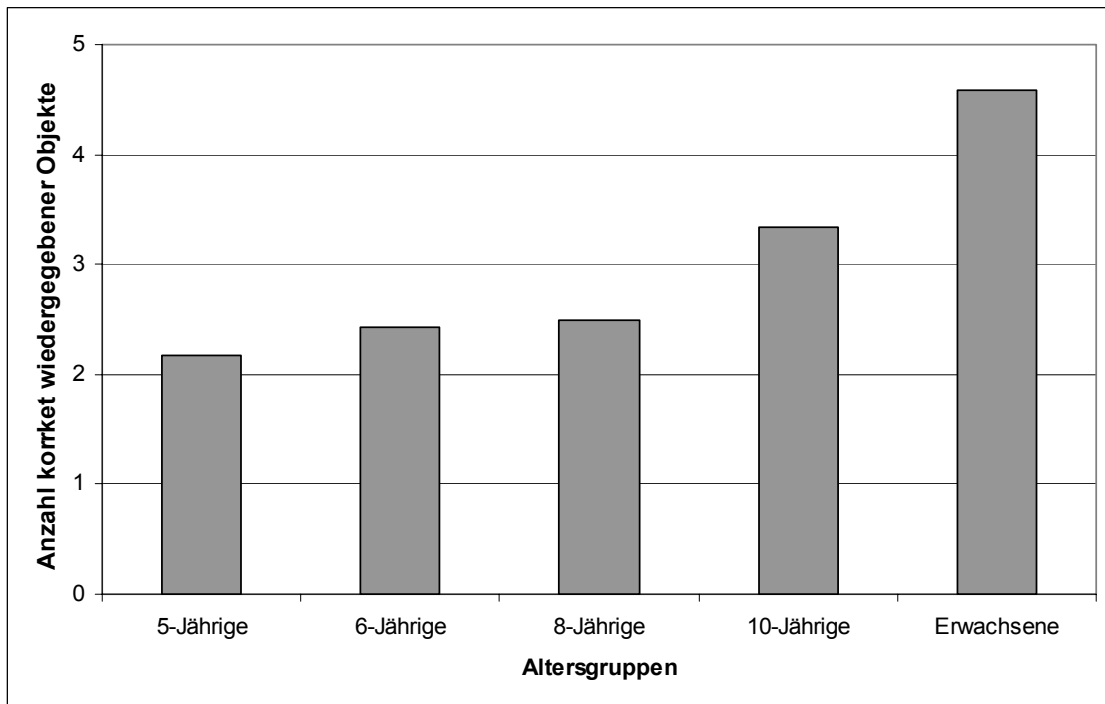


Abbildung 39: Altersspezifische Lösungsraten für die *Komplexe Spannaufgabe*

Trail Making Test. Ein bedeutsamer Einfluss des Faktors *Altersgruppe* ($F(4, 97) = 42.97, p < 001, f = 1.33$) auf die Lösungszeit im *Trail Making Test* konnte mittels einer einfaktoriellen Varianzanalyse nachgewiesen werden. Dabei waren die über post hoc t-Tests ermittelten Unterschiede zwischen den Fünfjährigen und den übrigen Altersgruppen durchwegs signifikant. Vorschulkinder und Viertklässler sowie Vorschulkindern und Erwachsene zeigten ebenso bedeutsame Mittelwertsdifferenzen wie Zweitklässler und Erwachsene (vgl. Abbildung 40 und Tabelle 47 im Anhang). Tabelle 48 zeigt die Effektgrößen für die t-Test-basierten Einzelvergleiche.

Tabelle 48: Effektgrößen ε für die Einzelvergleiche zwischen Altersgruppen in der *Trail Making Test*

	5-Jährige	6-Jährige	8-Jährige	10-Jährige	Erwachsene
5-Jährige					
6-Jährige	1.22				
8-Jährige	1.82	0.64			
10-Jährige	2.46	1.48	1.06		
Erwachsene	3.08	2.37	2.35	1.99	

Auffällig ist dabei, dass die Unterschiede zwischen Acht- und Zehnjährigen trotz einer als groß zu wertenden Effektgröße nicht statistisch bedeutsam sind, eine

Tatsache, die neben heterogenen Dispersionen auf unterschiedliche Zellenbesetzungen des Faktors *Altersgruppe* zurückzuführen sein dürfte.

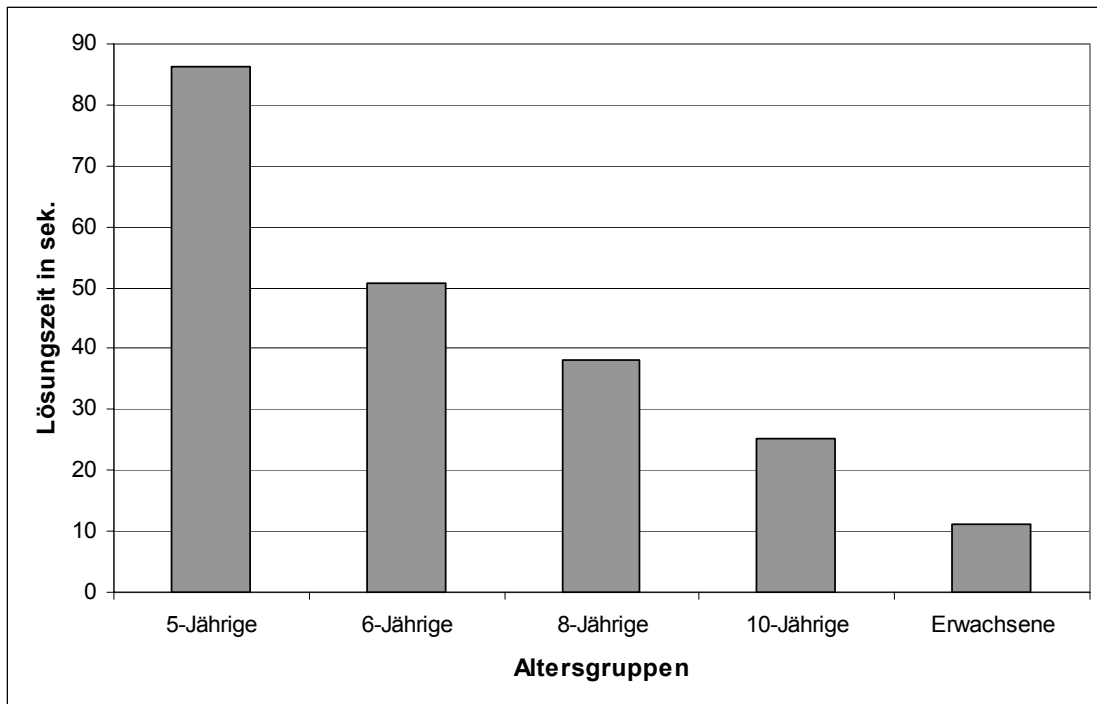


Abbildung 40: Altersspezifische Lösungszeiten für den *Trail Making Test*

Auch für den *Trail Making Test* wurden getrennte Analysen unter Ausschluss der Erwachsenen sowie der Fünfjährigen durchgeführt und erbrachten beim Ausschluss der jüngsten Altersgruppe ($F(3, 81) = 30.09, p < 001, f = 1.06$) eine geringfügige Abnahme der Effektgröße. Bei gesonderter Analyse der Kinderstichproben unter Ausschluss der Erwachsenenstichprobe ($F(3, 74) = 26.15, p < 001, f = 1.03$) ergab sich ebenfalls eine leichte Abnahme der Effektgröße. Dies verblieb in ihrem Rückgang jedoch auf einem vergleichbaren Niveau wie beim Ausschluss der Fünfjährigen. Beide Effekte sind immer noch bedeutsam und deuten einen etwa linearen Entwicklungsverlauf an.

Mentale Fusionierungsaufgabe. Der Einfluss des Faktors *Altersgruppe* konnte auch auf die Leistung in der *Mentalen Fusionierungsaufgabe* nachgewiesen werden ($F(4, 97) = 51.38, p < 001, f = 1.46$). Im Einzelvergleich zwischen den einzelnen Faktorstufen konnten signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen den Erwachsenen und allen anderen Altersgruppen nachgewiesen werden. Die Vergleiche zwischen Zehn- und Fünfjährigen, sowie zwischen Acht- und Fünfjährigen gestalteten sich ebenfalls als statistisch bedeutsam (vgl. Tabelle 50 zur Übersicht über die

Effektgrößen im Mittelwertsvergleich). Der von allen übrigen Mittelwerten erheblich abweichende Mittelwert der Erwachsenen im Bereich der Maximalpunktzahl deutet einen Deckeneffekt an (vgl. Abbildung 41 und Tabelle 49 im Anhang). Die bedeutende Rolle der Erwachsenen deutet sich in einer einfaktoriellem ANOVA unter Ausschluss der Erwachsenen an ($F(3, 74) = 4.91, p < 01, f = .45$): Zwar immer noch statistisch bedeutsam, sinkt die Effektgröße gegenüber der Gesamtanalyse unter Einbezug aller Altersgruppen erheblich ab. Im Vergleich dazu bleibt die Effektgröße bei einer ANOVA ohne die Fünfjährigen ($F(3, 74) = 52.67, p < 001, f = 1.40$) relativ deutlich im Bereich der Effektgröße der Gesamtanalyse.

Tabelle 50: Effektgrößen ϵ für die Einzelvergleiche zwischen Altersgruppen in der *Mentalen Fusionierungsaufgabe*

	5-Jährige	6-Jährige	8-Jährige	10-Jährige	Erwachsene
5-Jährige					
6-Jährige	0.59				
8-Jährige	0.81	0.40			
10-Jährige	1.44	0.94	0.25		
Erwachsene	4.95	4.87	2.62	3.60	

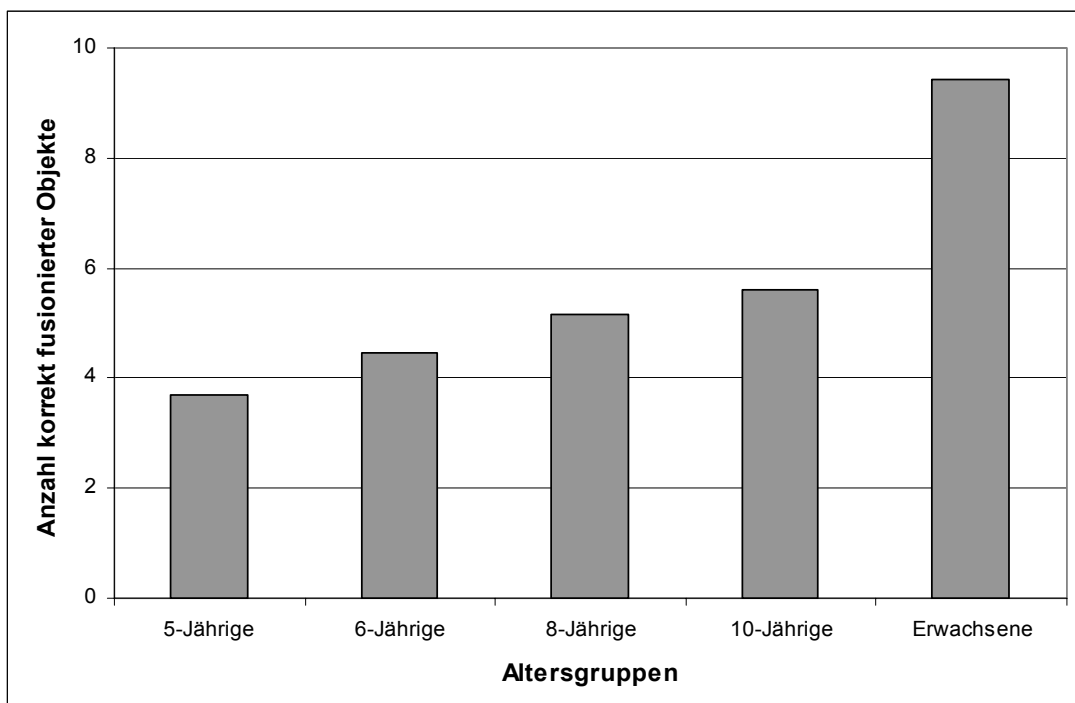


Abbildung 41: Altersspezifische Lösungsraten für die Mentale Fusionierungsaufgabe

Entscheidungsaufgabe. Für die Leistung in der Entscheidungsaufgabe konnte ein bedeutsamer Einfluss durch den Faktor *Altersgruppe* belegt werden ($F(4, 97) = 17.03, p < 001, f = .84$).

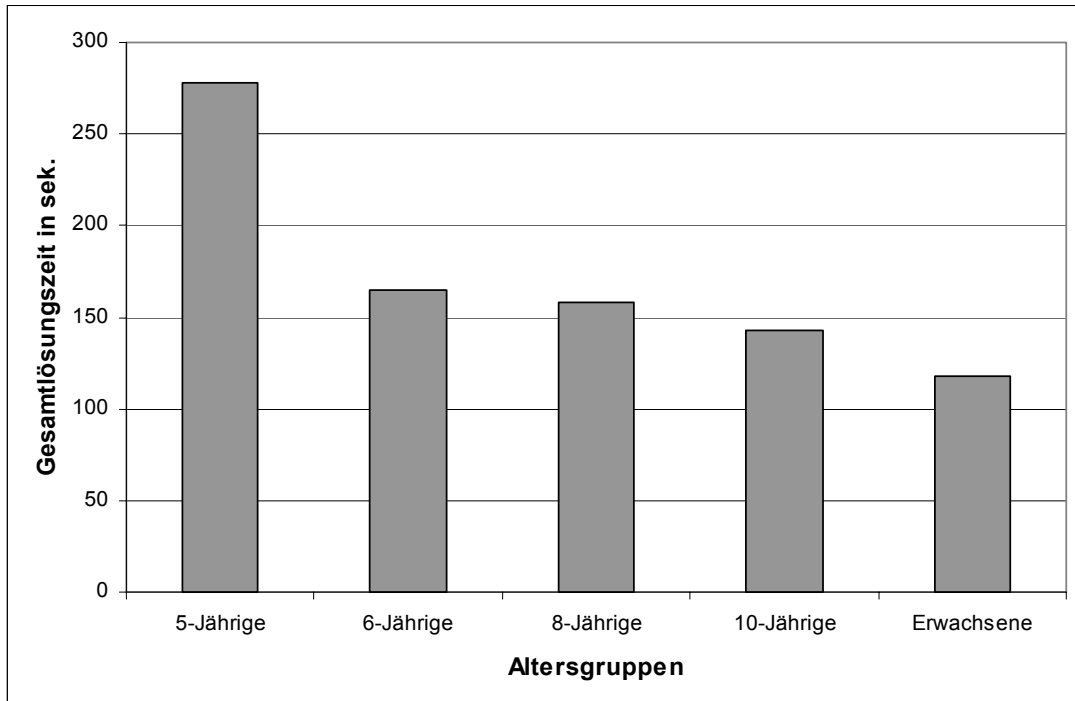


Abbildung 42: Altersspezifische Gesamtlösungszeiten für die Entscheidungsaufgabe

Die im Mittelwertsdiagramm (vgl. Abbildung 42 und Tabelle 51 in Anhang 5) angedeuteten Unterschiede zwischen den Fünfjährigen und allen übrigen Altersgruppen bestätigten sich auch statistisch ($\epsilon = 1.11 - 1.65$). Unterschiede zwischen den anderen Altersgruppen waren statistisch zwar nicht bedeutsam, bewegen sich aber beim Vergleich von Erwachsenen mit den Vor- und Grundschulkindern mit einer Effektgröße $\epsilon = .87 - 1.27$ im großen Bereich. Hier ergaben zwei Varianzanalysen unter Ausschluss der Fünfjährigen bzw. Erwachsenen eine geringfügig stärkere Effektabnahme beim Ausschluss der Fünfjährigen gegenüber den Erwachsenen (ohne Fünfjährige: $F(3, 81) = 7.50, p < 001, f = .53$; ohne Erwachsene: $F(3, 74) = 12.98, p < 001, f = .73$).

Korrelative Analyse

Zur Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den einzelnen zentral-exekutiven Subtests bzw. den ihnen zugrunde liegenden Prozessen wurde eine

korrelative Analyse vorgenommen. Dazu wurden neben Korrelationen nullter Ordnung auch um das Alter in Monaten bereinigte Partial-Korrelationen untersucht. Tabelle 52 gibt die Korrelationen nullter Ordnung sowie die Korrelationen mit herauspartialisierten Alter in Monaten an.

Tabelle : Korrelationsmatrix für zentral-exekutive Subtests

Variable	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
1. Farbspanne rückwärts		0.61**	-0.44**	0.61**	-0.65**	-0.64**	-0.14	-0.41**	-0.29*	0.20*	0.74**
2. Mentale Fusionierung	0.02		-0.46**	0.67**	-0.61**	-0.58**	-0.14	-0.29*	-0.26*	0.20*	0.83**
3. Entscheidungsaufgabe	-0.21*	-0.21*		-0.36**	0.54**	0.50**	0.35**	0.56**	0.26*	-0.12	-0.42**
4. Complex Span	0.21*	0.23*	-0.10		-0.57**	-0.52**	-0.25*	-0.18	-0.22*	0.04	0.69**
5. Stroop	-0.34**	-0.17	0.39**	-0.23		0.81**	0.37**	0.54**	0.37**	-0.10	-0.65**
6. Trail Making Test	-0.33**	-0.14	0.34**	-0.14	0.67**		0.27*	0.61**	0.38**	-0.18	-0.63**
7. Redundancy	-0.02	0.00	0.32*	-0.18	0.35**	0.22		0.28*	0.02	0.14	-0.17
8. RNG Index	-0.31*	-0.11	0.51**	0.02	0.49**	0.58**	0.24*		0.56**	-0.40**	-0.28*
9. Adjacency	-0.14	-0.07	0.17	-0.05	0.26*	0.28*	-0.03	0.52**		-0.40**	-0.27*
10. Phi 2 Index	0.16	0.17	-0.08	-0.06	-0.03	-0.13	0.17	-0.38**	-0.38**		0.13
11. Alter in Monaten											

Hinweis: Korrelationen nullter Ordnung sind in der Hälfte oberhalb der Diagonalen angegeben; nach dem Alter in Monaten angepasste Partialkorrelationen sind in der Hälfte unterhalb der Diagonalen angegeben. Signifikanzen sind durch einen „*“ oder im Falle hochsignifikanter Zusammenhänge durch einen „**“ gekennzeichnet.

Die Aufklärung von generellen, über die verschiedenen Altersgruppen bestehenden Zusammenhängen soll anhand der Partial-Korrelationen vorgenommen werden.

Tests, die sowohl die gleichzeitige Manipulation als auch die Enkodierung und den Abruf von Information erfordern, sind die *Farbspanne rückwärts*, die *Komplexe Spanne* sowie die *Mentale Fusionierungsaufgabe*. Die *Komplexe Spanne* korreliert sowohl mit der *Farbspanne rückwärts* ($r = .21$, $p < .05$) als auch mit der *Mentalen Fusionierungsaufgabe* moderat aber bedeutsam ($r = .23$, $p < .05$). Der Zusammenhang zwischen der *Komplexen Spanne* und der *Mentalen Fusionierungsaufgabe* ist theoretisch durch den in beiden Aufgaben erforderlichen Abruf von Information aus dem Langzeitgedächtnis gegeben. Ein weiterer Aspekt für den Zusammenhang kann aber auch die visuelle Verarbeitungskomponente der beiden

Aufgaben sein: Die Stimuli zur weiteren Verarbeitung werden visuell präsentiert. Die visuelle Eingangsmodalität dürfte auch eine wesentliche Gemeinsamkeit zwischen der Entscheidungsaufgabe und der Mentalen Fusionierungsaufgabe sein und zu dem bedeutsamen Zusammenhang ($r = -.21, p < .01$) geführt haben. Gleiches gilt für die Zusammenhänge zwischen der *Farbspanne rückwärts*, der *Entscheidungsaufgabe* und dem *Trail Making Test*. Sie weisen jeweils moderate aber bedeutsame Zusammenhänge auf ($r = -.22 - .34; p < .05$). Die Korrelationen zwischen der *Entscheidungsaufgabe* und der *Farbspanne rückwärts* sowie der *Stroop Aufgabe* dürfte über die diesen Aufgaben gemeinsame Inhibitionsanforderung zustande kommen ($r = .21 - .39, p < .01$). Inhibitionsprozesse spielen auch bei der *Random Generation Aufgabe* eine Rolle, daher erscheinen die Zusammenhänge zwischen der *Farbspanne rückwärts* und dem *RNG-Index* ($r = .31, p < .05$) ebenso plausibel, wie zwischen der *Entscheidungsaufgabe* und dem *Redundancy-Index* ($r = .32, p < .01$) sowie zwischen der *Entscheidungsaufgabe* und dem *RNG-Index* ($r = .51, p < .01$). Im Sinne beteiligter Inhibitionsprozesse sind auch die Zusammenhänge zwischen der *Stroop Aufgabe* und den drei Random Generation Variablen *Redundancy* ($r = .35, p < .01$), *RNG-Index* ($r = .49, p < .01$) und *Adjacency* ($r = .26, p < .05$) zu verstehen. Die Korrelationen der Random Generation Indices untereinander spielt sich ebenfalls im moderaten bis mittleren Bereich ab. So korrelieren *Redundancy* und *RNG-Index* ($r = .24, p < .05$) und es deutet sich für diese Indices über die inhibitorische Komponente hinaus eine weitere grundlegende Gemeinsamkeit an: Die Gleichverteilung von Items bzw. Itempaaren. Der Zusammenhang zwischen *Adjacency* und *RNG* ($r = .52, p < .01$) verwundert insofern nicht, als dass *Adjacency* als Maß der Gleichverteilung benachbarter Itempaare als Sonderform des *RNG-Index* interpretiert werden kann. Somit lässt sich die negative Korrelation zwischen dem *RNG-Index* bzw. *Adjacency* und dem *Phi 2-Index* ($r = -.38, p < .01$) über die gemeinsame inhibitorische Anforderung der direkten Wiederholungsvermeidung oder, im weiteren Sinne, der Vermeidung stereotyper Antwortkonstellationen erklären. Ein bedeutsamer Zusammenhang zwischen dem *Trail Making Test* und dem Index *RNG* ($r = .58, p < .01$) sowie zwischen dem *Trail Making Test* und *Adjacency* ($r = .28, p < .05$) deutet auf eine Gemeinsamkeit im Sinne eines Wechsels zwischen Abrufplänen oder intermittierenden Tätigkeiten hin. Eine andere Erklärungsalternative für diesen Zusammenhang könnte in der Zeitgebundenheit der beiden Aufgaben liegen: Entweder müssen die Aufgaben so schnell wie möglich (*Trail Making Test*)

oder aber im Sinne eines festen Zeitintervalls (*Random Generation*) gelöst werden. So ließen sich auch Zusammenhänge zwischen dem *Trail Making Test*, der *Stroop Aufgabe* und der *Entscheidungsaufgabe* ($r = .33 - .67, p < .01$) erklären.

Zusammenfassung der Ergebnisse. Experiment 5 wurde konzipiert, um Zusammenhänge und Unterschiede der *Random Generation Aufgabe* mit anderen z.T. neu konzipierten zentral-exekutiven Operationalisierungen aufzuzeigen. Ferner sollten über die verschiedenen Operationalisierungen die Entwicklungsverläufe unterschiedlicher zentral-exekutiver Prozesse dargestellt werden. Dazu wurden neben der *Random Generation Aufgabe* auf Basis der Zahlen von 1 - 4 zunächst sechs weitere Operationalisierungen in den Aufgabenpool aufgenommen: Eine *Entscheidungsaufgabe*, eine *Farbspanne rückwärts*, eine Version des *Trail Making Tests*, eine Version der *Stroop Aufgabe*, eine *komplexe Spannenaufgabe* und eine *Mentale Fusionierungsaufgabe*. Die Aufgaben wurden im Hinblick auf die Anwendung mit jüngeren Vorschulkindern modifiziert oder neu konzipiert. Für jede Aufgabe wurde eine Spezifikation der beteiligten Prozesse sensu Baddeley (1996) vorgenommen. Fünf unterschiedlichen Altersstichproben im Vor-, Grundschul- und Erwachsenenalter wurden mit den sieben zentral-exekutiven Tests untersucht. Dabei ergaben sich für jedes der sieben Maße im Gesamtvergleich deutliche Alterseffekte. Diese waren bei Einzelvergleichen zwischen den Altersgruppen jedoch unterschiedlich ausgeprägt. So ergaben sich für die *Mentale Fusionierungsaufgabe*, die *Farbspanne rückwärts* und die *komplexe Spannenaufgabe* jeweils steile Leistungsanstiege zwischen den beiden jüngsten Altersgruppen, den Fünf- und Sechsjährigen. Über die Sechsjährigen stiegen die jeweiligen Leistungskurven dann im Verlauf des Grundschulalters moderat bis zur Altersgruppe der Zehnjährigen an, um zwischen den Zehnjährigen und den Erwachsenen einen weiteren Sprung aufzuzeigen. Annähernd lineare Entwicklungsveränderungen fanden sich für die *Stroop Aufgabe* sowie für den *Trail Making Test*. Während letztere als Operationalisierung für die Koordinations- und *Task Switching*-Funktion der zentralen Exekutive angesehen wird, dient die *Stroop Aufgabe* zu Messung der Inhibitionskapazität der zentralen Exekutive. Beiden ist jedoch gemeinsam, dass sie zeitgebundene Prozesse messen. Ferner waren die Altersunterschiede für beide Aufgaben für die jüngeren Kinder absolut gesehen wesentlich größer als für die älteren Versuchsteilnehmer. Ebenfalls wesentliche Unterschiede zwischen den Fünfjährigen und den älteren Altersgruppen erga-

ben sich für die *Random Generation Aufgabe* und die *Entscheidungsaufgabe*. Hier waren die Unterschiede zwischen den Grundschulern und den Erwachsenen nur noch marginal.

Eine korrelative Analyse erbrachte Zusammenhänge zwischen einzelnen *Random Generation* Indices und dem Test mit inhibitorischer Anforderung, der *Stroop Aufgabe*. Ferner ergaben sich Zusammenhänge für die Aufgaben mit kombinierter Speicher- und Verarbeitungsanforderung wie etwa die *Mentale Fusionierungsaufgabe*, die *Farbspanne rückwärts* und die *komplexe Spannenaufgabe*. Eine Korrelation zwischen der *Trail Making* und der *Random Generation Aufgabe* wurde im Sinne der gemeinsamen Anforderung der Kontrolle von Abrufplänen gedeutet. Weitere Zusammenhänge zwischen Tests ergaben sich auf Basis gemeinsamer Darbietungs- und Verarbeitungsmodalitäten sowie im Sinne einer zeitgebundenen Verarbeitungsanforderung.

5.3 Diskussion

Experiment 5 konnte nachweisen, dass die Messung zentral-exekutiver Basisprozesse bereits ab einem Alter von fünf Jahren möglich ist. Dazu wurden neben der *Random Generation Aufgabe* sechs weitere zentral-exekutive Operationalisierungen eingesetzt. Als *Random Generation Aufgabe* kam dabei eine verbale, auf die Zahlen von 1 bis 4 gestützte Version zum Einsatz. Altersunterschiede in dieser Aufgabenversion traten vor allem zwischen den beiden Kindergartenstichproben und den Grundschulkindern sowie den Erwachsenen auf, jedoch nicht zwischen den Grundschulkindern und den Erwachsenen. Im Gegensatz dazu konnten beim überwiegenden Teil der übrigen zentral-exekutiven Aufgaben auch Unterschiede zwischen den älteren Altersgruppen nachgewiesen werden.

Das Ausbleiben von Altersunterschieden zwischen Erwachsenen und Grundschulkindern wurde bereits in früheren Experimenten für die vorliegende Aufgabenversion nachgewiesen und dürfte im Zusammenhang mit phonologischen Speicherprozessen und ihrer Rolle beim Bereithalten des Itempools zu interpretieren sein. Bereits im Grundschulalter ist die phonologische Schleife in der Lage den aus vier (vertrauten) Zahlen bestehenden Ereignisraum problemlos bereitzuhalten. Dafür spricht auch die in Experiment 3 nachgewiesene Entlastung der kurzzeitigen Speicherressourcen durch eine externe Unterstützung bei jüngeren Kindern. Sie näherten sich bei einer Speicherentlastung an das Leistungsniveau der älteren Kinder an.

Für die Bedeutung der Speicherkomponente als Determinante von Altersunterschieden sprechen auch die geringen Zusammenhänge zwischen den *Random Generation* Indices und der *Komplexen Spanne* bzw. der *Mentalen Fusionierungsaufgabe*. Offensichtlich führt neben anders gearteten Prozessanforderungen das unterschiedliche Ausmaß an Speicheranforderungen zu den geringen Korrelationen. Dass die *Random Generation Aufgabe* Inhibitions- sowie Abruf- und Koordinationsprozesse abbildet, lassen die bedeutsamen Korrelationen zwischen verschiedenen *Random Generation*-Indices und anderen Tests wie der *Stroop Aufgabe*, der *Entscheidungsaufgabe* und dem *Trail Making Test* vermuten. Somit dürfte die subsystemspezifische Speicherleistung maßgeblich am Zustandekommen von Entwicklungsunterschieden beteiligt sein. Dafür sprechen auch die Altersunterschiede in einer *10 Zahlen Random Generation* Version in Experiment 3.

Im vorliegenden Experiment konnten aber auch bedeutsame Unterschiede zwischen allen Altersgruppen anhand weniger speicherintensiver Tests gefunden werden (*Trail Making*, *Stroop Aufgabe*, *Entscheidungsaufgabe*). Somit scheinen subsystembezogene Speicherprozesse nicht allein für das Zustandekommen von Altersunterschieden verantwortlich zu sein.

Unterschiede in der Inhibitionskapazität konnten beispielsweise über die *Stroop Aufgabe* nachgewiesen werden. Ein wesentlicher Entwicklungssprung ergab sich innerhalb des Kindergartenalters bis zu den Achtjährigen, ein flacher werdender aber dennoch bedeutsamer Entwicklungsanstieg war bis in das Erwachsenenalter hinein beobachtbar. Damit scheinen sich Inhibitionsprozesse bereits im Kindergartenalter maßgeblich zu entwickeln (vgl. Wright et al., 2003). Ob spätere Leistungsunterschiede mit einer qualitativen Veränderung von Inhibitionsprozessen einhergehen oder lediglich auf eine Effizienzsteigerung zurückzuführen sind, bleibt dabei jedoch Gegenstand weiterer Diskussionen (vgl. Demetriou, Christou, Spanoudis, & Platsidou, 2002).

Der Abgleich aktuell verarbeiteter Information mit Information aus dem Langzeitgedächtnis wurde sowohl in der *Komplexen Spannaufgabe* über die Verifikationsanforderung als auch in der *Mentalen Fusionierungsaufgabe* über Fusionierungs- und Benennungsprozesse beansprucht. Für beide Aufgaben ergab sich neben einem Entwicklungsanstieg über Vor- und Grundschulalter ein deutlicher Entwicklungssprung zwischen den Zehnjährigen und den Erwachsenen. Dies lässt vermuten, dass diese Entwicklungslinie auch noch über die Adoleszenz bis in das

Erwachsenenalter ansteigt, also relativ langfristig verläuft. Entscheidend für die Erklärung derartiger Entwicklungslinien ist die Frage, ob sich Zugriffsprozesse auf das Langzeitgedächtnis qualitativ verändern oder ob es lediglich zu einer Flexibilisierung beteiligter Prozesse und damit verbunden zu einer Effizienzsteigerung kommt. Ob man im Kontext der zentralen Exekutiven allerdings von generellen Zugriffsprozessen sprechen kann wird kritisch zu diskutieren sein, vielmehr ist nach verarbeitungs- und modalitätsspezifischen Prozessen zu fragen. Veränderungen in der Wissensorganisation, der Automatisierung von Verarbeitungsprozessen und dem zunehmend flexibleren Wechsel zwischen sprachlichen und visuell-räumlichen Codes dürften ebenfalls eine bedeutsame Rolle bei der Interaktion zwischen Arbeitsgedächtnis und Wissensbasis darstellen. Was die integrative Funktion beim Abgleich von langfristig abgelegter und aktueller Information anbelangt, könnte dem von Baddeley (Baddeley, 2000a) jüngst postulierten *Episodic Buffer* eine wesentliche Rolle zufallen. Gegenwärtig erscheinen Überlegungen zum Zusammenwirken von zentraler Exekutive, *Episodic Buffer* und Langzeitgedächtnis ob der fehlenden Empirie jedoch noch spekulativ.

Die entwicklungsbedingten Veränderungen in der *Komplexen Spanneaufgabe* können auch über Veränderungen in der koordinativen Funktion der zentralen Exekutive erklärt werden. Da der Test den stetigen Wechsel zwischen Verarbeitungs- und Speicherprozessen erfordert (Towse, Hitch, & Hutton, 2002), ist die zentral-exekutive Koordination des *Task Switching* Prozesses gefordert. Eine ähnliche Anforderung weist auch der *Trail Making Test* auf. Fehlende Zusammenhänge zwischen den beiden Aufgaben machen eine Interpretation gemeinsamer Aufgaben jedoch schwierig. Zudem ist die Untersuchung der koordinativen Funktion der *zentralen Exekutive* schwierig, da die Kontrolle zweier simultaner Aufgaben von ihrem Automatisierungsgrad, der unterschiedlichen oder gemeinsamen Verarbeitungsmodalität und dem spezifischen Anforderungscharakter im Sinne identischer Prozesse abhängt. Damit erschwert sich die Feststellung eines Entwicklungsverlaufs für eine derartige Funktion (vgl. Howe & Rabinowitz, 1989; Guttentag, 1989).

Die Kontrolle von Enkodierungs- und Abrufplänen wurde im vorliegenden Experiment über die *komplexe Spanne*, die *Farbspanne rückwärts* sowie die *Random Generation Aufgabe* untersucht. Da sich der Entwicklungsverlauf für die *Random Generation Aufgabe* anders gestaltet als für die beiden Spannenaufgaben, ist zunächst zu fragen, ob die beiden Aufgabentypen wirklich ähnliche Anforderungen

beinhalten. Wird bei den Spannaufgaben extern vorgegebene serielle Information enkodiert, verarbeitet und dann abgerufen, so ist bei der *Random Generation Aufgabe* entweder der Abruf bereits vorhandener Reihen aus dem Langzeitgedächtnis (Baddeley et al., 1998) oder die Generierung (neuer) Reihen auf Basis subjektiver Zufallskonzepte erforderlich (Jahanshahi & Dirnberger, 1999). Somit weist die *Random Generation Aufgabe* eine anders geartete Enkodierungs- oder Abrufanforderung auf. Insofern dürfte der von Baddeley (1996) postulierte zentral-exekutive Prozess der Kontrolle von Enkodierungs- und Abrufstrategien eher über die beiden Spannaufgaben abgebildet werden. Bei Betrachtung der Entwicklungsverläufe für die beiden Spannaufgaben fällt auf, dass die Leistung für die Fünfjährigen im Bereich eines Bodeneffektes liegt. Dies dürfte jedoch weniger durch die Enkodierungs- und Abrufbedingungen sondern eher durch die Verarbeitungsanforderung der Spannaufgaben verursacht sein. Einfachen subsystemspezifische Spannenleistungen jenseits eines Bodeneffektes konnten nämlich bereits für Vierjährige (Roebers & Zoelch, in press) verlässlich nachgewiesen werden. Daher liegt die spezifische Problematik bei den beiden vorliegenden Spannaufgaben in der Kontrolle von komplexen Enkodier- und Abrufbedingungen. Damit ist beispielsweise gemeint, dass sich zwischen Enkodier- und Abrufbedingungen wesentliche Unterschiede für die zu speichernde Information ergeben, wie dies über die Reihenfolgeumkehrung und die phonologische Rekodierung bei der *Farbspanne rückwärts* beispielsweise der Fall ist. Generell kann also angenommen werden, dass die Kontrolle von Enkodier- und Abrufstrategien sich mit dem Vor- und beginnenden Grundschulalter entwickelt und über das Grundschulalter hinaus durch zunehmende Flexibilisierung und Automatisierung effizienter gestaltet.

Grundsätzlich zeigen sich über den Effektgrößenvergleich unterschiedliche Entwicklungslinien für die von Baddeley postulierten zentral-exekutiven Prozesse. Während die inhibitorische und aufmerksamszentrierende Funktion der Exekutive sich früh ausdifferenzieren scheinen, zeigen anderen aufmerksamsgestützte Funktionen wie die *Dual Task* Koordination langsame, aber lang anhaltende Entwicklungstrends. Gleiches gilt für den Abruf und die Koordination von Information aus dem Langzeitgedächtnis. Auch dieser scheint im Kindergartenalter möglich, gestaltet sich aber für Fünf- bis Sechsjährige im Kontext einer Arbeitsgedächtnisaufgabe mit Verarbeitungsanforderung als schwierig. Hier dürfte eine zunehmende Automatisierung zur effizienteren Kontrolle von Abruf- und Enkodierungsprozessen

und damit zu Entwicklungsfortschritten führen. Eine Annäherung an sich entwickelnde zentral-exekutive Funktionen mittels unterschiedlicher Operationalisierungen erscheint, wie das vorliegende Experiment demonstrieren konnte, als viel versprechender Ansatz zur Aufklärung entwicklungsbedingter struktureller Veränderungen im Arbeitsgedächtnis (vgl. Alloway et al., 2004; Gathercole et al., 2004).

IV. Gesamtdiskussion

Ist Random Generation zur Messung sich entwickelnder zentral-exekutiver Basisprozesse geeignet? Was gilt es zu beachten wenn man die Aufgabe bei Kindern einsetzt, welche Adaptionen an die Eigenheiten kindlicher Informationsverarbeitung müssen vorgenommen werden und welche Aspekte bei der Durchführung der Aufgabe determinieren Entwicklungsunterschiede? Die Einzeldiskussionen zu den Experimenten haben darauf bereits Ansatzpunkte geliefert, weswegen hier von einer übergeordneten Warte die Befunde in einen Gesamtüberblick diskutiert werden sollen. Ferner soll im Sinne einer kritischen Reflexion der gewählten Methode ein Ausblick zu möglichen weiterführenden Studien angeboten werden.

Welche Prozesse spielen bei Random Generation eine Rolle?

Generell lässt sich eine wesentliche Grundannahme aus anderen Studien bestätigen: Zentral-exekutive Prozesse sind bereits im *Vorschulalter* vorhanden und messbar (vgl. Gathercole & Pickering, 2000a; Towse & Mclachlan, 1999b). Die vorliegenden Befunde an fünf- bis zehnjährigen Kindern konnten bereits für die Fünfjährigen die Fähigkeit zur Generierung von Zufallsreihen nachweisen. Ob ein Einsatz der *Random Generation Aufgabe* auch bei Vierjährigen funktionieren kann, kann auf Basis der vorliegenden Daten nicht beantwortet werden. Es ist allerdings auf Grund der Verhaltensbeobachtungen an Fünfjährigen in den einzelnen Experimenten zu vermuten, dass das Verständnis dafür, Itempools mit einer festen Reihenfolge aufzubrechen und aus den Items neue Reihen zu bilden von jüngeren Kindern möglicherweise nur bedingt akzeptiert wird. Dies müsste über spezielle Instruktionen realisiert werden und selbst dann dürfte der Motivation bei ansonsten positiven Voraussetzungen eine erhebliche Rolle beim Gelingen einer derartigen Untersuchung zukommen. Der Zuschnitt der *Random Generation Aufgabe* auf die jüngeren Versuchspersonen in den vorliegenden Experimenten erscheint wegen der geringen Größe der verwendeten Itempools als geeignet. Dieser Aspekt minimiert allerdings einen Alterseffekt zwischen älteren Altersstichproben. Für den Einsatz von Random Generation bei Grund- und vor allem Vorschulkindern sprechen auch die relativen *Stabilitäten* der Aufgabe über mehrere Messzeitpunkte für die sprachgestützte Randomisierung. Generell steigt die Konsistenz der Randomisierungsleistung mit zunehmendem Alter an. Ebenso nimmt die interindividuelle Variabilität mit steigendem Alter ab.

Bei der Anwendung von Random Generation bei Kindern stellte sich die Frage der Wirkung von *Art und Modalität des Ereignisraumes* auf die Randomisierungsleistung. Neben traditionellen Itempools wie Zahlenreihen und distinkten räumlichen Positionen kamen dazu in Experiment 1 unkonventionellere Ereignisräume wie Jahreszeiten oder Handbewegungen zum Einsatz. Alle Itempools hatten den gleichen Umfang an Elementen und wurden nach Outputmodalität und Geschlossenheit bzw. Offenheit, also nach der aufgabenimmanenten Begrenzung des Ereignisraumes klassifiziert.

Dabei boten sich hinsichtlich der Gleichverteilung von Antwortalternativen Altersunterschiede vor allem in den unkonventionelleren Itempools, hingegen blieben bei den traditionellen Itempoolbedingungen der *4 räumlichen Positionen* und der *4 Zahlen* bedeutsame Unterschiede zwischen den Altersgruppen aus. Generell zeigte sich bei der Gleichverteilung von Antwortpaaren ein altersspezifischer Effekt der Modalität bei den Kindergartenkindern: Sie waren in den sprachgestützten Bedingungen durchwegs schlechter als in den motorischen.

Dies impliziert zweierlei:

1. Die Unterteilung in einen offenen und einen geschlossenen Itempool macht nur theoretisch Sinn, hat aber auf die Randomisierungsleistung keinen systematischen Einfluss. Vielmehr erscheint angesichts des Leistungsabfalls der Fünfjährigen bei den unkonventionellen Itempools die Unterscheidung in vertraute und weniger vertraute Ereignisräume sinnvoller. Diese Unterscheidung macht auch dann Sinn, wenn die Vertrautheit eines Ereignisraumes mit einer stärkeren Automatisierung und damit verbunden mit einem geringeren Ressourceneinsatz bei der Repräsentation desselben gleichgesetzt wird. Ist der Zugriff auf einen Ereignisraum weniger ressourcenintensiv, so können die erhaltenen Kapazitäten im Sinne der Vermeidung stereotyper Antwortmuster verwendet werden. Dies zeigt sich bei den Fünfjährigen insofern, als sie bei den ihnen vertrauten Itempools weniger stereotype Itempaarverwendungen aufwiesen.

2. Modalitätsunterschiede existieren und sind altersspezifisch ausgeprägt. Während Erwachsene und Neunjährige hinsichtlich der Gleichverteilung von Antwortpaaren bei den sprachlichen Bedingungen gegenüber den motorischen Bedingungen tendenziell besser abschnitten, zeigt sich bei den Fünfjährigen ein Leistungsabfall in den sprachlichen Bedingungen. Gerade in der sprachlichen Modalität scheinen Bereithaltensprozesse, wie sie durch ein Outputmonitoring gefordert sind,

für diese Altersgruppe geringer ausgeprägt. Ob dieser Unterschied auf die geringere Speicherkapazität der phonologischen Schleife bei Fünffjährigen zurückzuführen ist, oder weniger flexible und effiziente phonologische Verarbeitungsmechanismen andeutet, bleibt spekulativ. In jedem Fall weisen Modalitätsunterschiede auch auf unterschiedlich gearbete Verarbeitungs- und Speichermechanismen bei der *Random Generation Aufgabe* hin. Demzufolge sind die von Towse (1998) nachgewiesenen Unterschiede zwischen *Random Keypressing* und *Random Number Generation* nicht auf formale Unterschiede wie die externe visuelle vs. mentale Repräsentation des Ereignisraumes zurückführbar, sondern auf subsystemspezifische Speicher- und Verarbeitungsprozesse. Insofern sollte mit Vandierendonck (Vandierendonck et al., 1998a) den modalitätsspezifischen Anteilen von *Random Generation* insbesondere beim Einsatz im *Dual Task* -Paradigma Rechnung getragen werden. Das Ausmaß der subsystemspezifischen Anteile lässt sich dabei über *Dual Task*-Studien mit *Random Generation* als Primäraufgabe und phonologischen oder räumlich-motorischen Zweitaufgaben abklären. Analog dazu könnte versucht werden zentral exekutive Primäraufgaben, wie z.B. mentale Addition, mit modalitätsspezifischen *Random Generation Aufgaben* zu stören, um so den subsystemspezifischen Anteil über einen unterschiedlich ausgeprägten Interferenzeffekt nachzuweisen (vgl. Zoelch et al., 2000; Zoelch et al., 2001). *Subsystemspezifische* Anteile deuten aber auch auf die Relevanz von *Speicherprozessen* bei der *Random Generation Aufgabe* hin.

Diese wurden in Experiment 3 näher untersucht: Dabei wurde zunächst von der Frage ausgegangen, in welcher Weise kurzzeitige Gedächtnisprozesse bei der *Random Generation Aufgabe* von Relevanz sind. Neben der *Repräsentation des Ereignisraumes* erfordert vor allem die *Kontrolle des Outputs* sowie die Generierung neuer Reihen kurzzeitige Speicherprozesse. Konkret wird dabei zur Gleichverteilung aller Handlungsalternativen und zur Inhibition stereotyper oder bereits getätigter Reihen der aktuell zu generierende Output mit der bereits unmittelbar getätigten Ausgabe verglichen. Die grundlegende Überlegung zum Nachweis von kurzzeitigen Gedächtnisanforderungen bei der Kontrolle des Outputs und der Repräsentation des Itempools bestand in der Entlastung der Gedächtnisanforderung. Dazu wurde jeweils der Ereignisraum extern präsentiert. Ferner wurden zur zusätzlichen Entlastung von speicherintensiven *Monitoringprozessen* unmittelbar gewählte Items dy-

namisch kenntlich gemacht. Zusätzlich wurden die Modalität des Ereignisraumes und seine Größe variiert.

Wiederum wurden Belege für den Unterschied zwischen motorischer und verbaler Outputmodalität erbracht. Darüber hinaus wurde die phonologische Arbeitsgedächtnisanforderung von verbaler Random Generation über einen „Setsize-Effekt“ nachgewiesen (vgl. hierzu auch Towse, 1998): Die Größe des Itempools erwies sich als Einflussfaktor auf die Zufälligkeit der Antwortreihen. Je größer der zur Verfügung stehende Ereignisraum ist, desto redundanter sind die produzierten Reihen. Eine Interaktion der Itempoolgröße mit dem Alter der Versuchsperson äußerte sich derart, dass die Altersunterschiede bezüglich der Redundanz und der Gleichverteilung von Antwortalternativen bei dem größeren Itempool stärker ausfielen. Dieser erste Beleg für kurzzeitige Gedächtnisprozesse wurde zusätzlich durch die Wirkung der externen Unterstützung untermauert. Der Effekt der Itempoolgrößen konnte durch die dynamische Unterstützungsbedingung partiell kompensiert werden. Dabei gelang die Angleichung der Leistung der Kinderstichproben an die der Erwachsenen in Itempoolversion *4 Zahlen* vollständig und für die Bedingung *10 Zahlen* zumindest für die Grundschulkinder annähernd. Leistungsunterschiede bei dynamischer Unterstützung zwischen jüngeren Kindern und Erwachsenen lassen sich möglicherweise über eine ineffizientere Nutzung der Unterstützung durch die jüngeren Kinder erklären. Generell führte die *dynamische Unterstützung* zu einer besseren Gleichverteilung der Items dergestalt, dass Leistungsunterschiede zwischen Erwachsenen und Kindern minimiert wurden. Kann damit die Funktionsfähigkeit der *phonologischen Schleife* oder des *visuell-räumlichen Notizblocks* als Prädiktor für die Leistung bei sprachlichen oder motorischen *Random Generation Aufgaben* verwendet werden? Dahinter steht die Frage, ob interindividuelle Leistungsunterschiede sich ursächlich auf Speicherprozesse zurückführen lassen, oder ob Speicherprozesse vielmehr die Voraussetzung für Inhibitions- und Abrufprozesse darstellen. Sowohl der *Setsize-Effekt* als auch der Unterstützungseffekt deuten auf die hohe Relevanz von subsystemspezifischen Arbeitsgedächtnisprozessen hin. Um die Natur der beteiligten Gedächtnisprozesse näher aufzuklären, dürfte neben einem *Dual Task*-basierten Vorgehen ein korrelativer Ansatz wertvolle Erkenntnisse liefern. Ein derartiger Ansatz müsste die Zusammenhänge zwischen Random Generation bei modalitätsspezifischen Itempools unterschiedlicher Größe und gängigen Maßen zur phonologischen und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtniskapazität

untersuchen. Es ist zu vermuten, dass sich hier bedeutsame Zusammenhänge zwischen der Kapazität der Subsysteme und der Güte der Zufallsproduktion ergeben.

Die Unterdrückung von stereotypen Sequenzen sowie die Vermeidung von bereits unmittelbar gewählten Sequenzelementen werden von Baddeley und Kollegen (1998) als die zwei wesentlichen Inhibitionsanforderungen in der *Random Generation Aufgabe* betrachtet. In der vorliegenden Arbeit wurde die Inhibitionsanforderung über eine Variation innerhalb des Itempools bewerkstelligt. Zu diesem Zweck mussten Vor- und Grundschul Kinder sowie Erwachsene gezielt *Items aus einem sequenziellen Itempool inhibieren*. Dies geschah anhand eines Itempools mit vier Elementen. Zusätzlich wurde die dynamische Unterstützungsbedingung aus Experiment 3 angewandt um die *erhöhte Inhibitionsanforderung*, die sich über einen erhöhten *Memory Load* äußert, zu kompensieren. Entgegen bisherigen Befunden in der Literatur (Towse & Valentine, 1997) konnte kein Effekt der Inhibitionsanforderung nachgewiesen werden. Die Ursachen dafür könnten in der speziellen Aufgabenkonzeption liegen: Die zu inhibierenden Items wurden zwar als solche eingeführt, im Gegenzug wurden jedoch auch die zu randomisierenden Items als solche dargestellt. Somit dürfte sich um das Bereithalten eines (ungewöhnlichen, da nicht gängigen) Itempools gehalten haben, jedoch ohne nennenswerte zusätzliche Inhibitionsanforderungen. Eine bedeutsame Inhibitionsanforderung könnte sich erst dann einstellen, wenn die für Experiment 4 diskutierte „Invertierungsstrategie“ der zu inhibierenden Items nicht mehr möglich ist. Mit „Invertierung“ ist eine Strategie gemeint, sich die zu inhibierenden Items nicht zu merken und zu unterdrücken, sondern lediglich die zu randomisierenden Items mental bereitzuhalten. Eine Möglichkeit, die Invertierung zu vermeiden, könnte darin bestehen den *Memory Load* über eine Vergrößerung des Itempools anzuheben. Damit würden sich aber Itempoolgrößen ergeben, die im Grenzbereich des Bewältigbaren von Kindern lägen. Eine andere Möglichkeit zur Variation der Inhibitionsanforderung kann über einen dynamischen Wechsel der zu inhibierenden Items während des Randomisierungsvorgangs stattfinden, z.B. über eine temporäre, bildhafte Einblendung des zu inhibierenden Items vorgenommen werden.

Möglicherweise deuten die Befunde aus Experiment 4 darauf hin, dass Inhibitionsprozesse bei der *Random Generation Aufgabe* eine weitaus geringere Rolle spielen, als bislang angenommen. Dafür spricht auch die Tatsache, dass jüngere Kinder, trotz der erwiesenermaßen geringeren Inhibitionskapazitäten, die *Random*

Generation Aufgabe in vielen Punkten passabel bewerkstelligen. Falls also eine experimentelle Kontrolle der Inhibition gerade für jüngere Stichproben schwierig ist, kann zunächst über einen korrelativen Ansatz die Rolle von Inhibitionsprozessen näher untersucht werden. Ein derartiger Ansatz wurde in dieser Arbeit über Experiment 5 realisiert. Es konnten bedeutsame Korrelationen zwischen der *Random Generation Aufgabe* und einer *Stroop Aufgabe* nachgewiesen werden. Das könnte bedeuten, dass die Entwicklung der Inhibitionskapazität früh einsetzt und sich dann derart schnell entwickelt, dass sich Altersunterschiede in der *Random Generation Aufgabe* nur zwischen den Kindergartenkindern und den Erwachsenen zeigen. Derartige Unterschiede gründen sich dann weniger auf Unterschiede bei inhibitorischen Prozessen, sondern eher auf interindividuelle Differenzen in kurzzeitigen Gedächtnisprozessen. Diese Begründung erscheint zwar plausibel, ist jedoch vor dem Hintergrund der Korrelation zwischen der *Stroop* und der *Random Generation Aufgabe* zu verkürzt. Andererseits könnte sich der Zusammenhang beider Aufgaben über gemeinsame temporäre Speicherprozesse ergeben. Zur Inhibition muss zumindest der zu vermeidende Inhalt bereitgehalten werden. Dies dürfte im Fall der im Experiment 5 vorliegenden *Stroop Aufgabe* relativ leicht sein. Es stellt sich die Frage, ob in Analogie zum *Setsize-Effekt* eine *Stroop Aufgabe* mit mehreren Elementen auch eine erhöhte Inhibitions- oder Speicheranforderung aufweist. Möglicherweise greifen beide Aufgaben auf den gleichen Inhibitionsprozess zurück, nur eben in unterschiedlichem Ausmaß. Worin könnten mögliche Unterschiede zwischen der *Random Generation* und der *Stroop Aufgabe* liegen? Letztere enthält ein stabiles, von außen vorgegebenes Inhibitionsschema, die Unterdrückung der inkongruenten Farbe und Nennung der ursprünglichen Farbe. Demgegenüber erfordert die *Random Generation Aufgabe* ein durch das subjektive Zufallskonzept relativ vage vorgegebenes Inhibitionsschema, das je nach bisherigen Nennungen und freien Ressourcen unterschiedlich stark in Anspruch genommen wird, also relativ dynamisch ist. Demzufolge dürften im Grundsatz ähnliche Inhibitionsprozesse bei beiden Aufgaben eine Rolle spielen, jedoch mit unterschiedlicher Bedeutsamkeit.

Baddeley (Baddeley et al., 1998) ging davon aus, dass man stereotype Antwortmuster inhibieren müsse, um Zufallsreihen bilden zu können. Wenn man also zu einem Ereignisraum keine stereotypen Reihen gespeichert hat, erübrigt sich die Inhibition? Dies erscheint sicherlich zu verkürzt, stellt aber die Rolle von Abrufplänen bei *Random Generation* in ein kritisches Licht. Inhibition könnte sich wenn nicht

in der Suppression von Abrufplänen, in der Unterdrückung von Antwortitems zeigen, die nach dem eigenen Zufallskonzept augenblicklich eine schlechte Wahl darstellen. Trotzdem bleibt zweifelhaft, ob diese Form der Inhibition eine vergleichbare Anforderung innehat wie die Inhibition automatisierter Reaktionstendenzen.

Wenn zwar die Beteiligung von Inhibitionsprozessen bei der *Random Generation Aufgabe* wahrscheinlich ist, das Ausmaß der Beteiligung aber unklar ist, stellt sich erneut die Frage, ob Random Generation zur Messung sich entwickelnder zentral-exekutiver Prozesse geeignet ist.

Diese Frage ist mit „ja“ zu beantworten, denn in Experiment 5 konnten auch Zusammenhänge zwischen Random Generation und anderen zentral-exekutiven Maßen gefunden werden. Allerdings ist zu überlegen, ob zur besseren Differenzierung von Altersgruppen generell ein größerer Itempool oder zumindest ein adaptives Testvorgehen gewählt werden sollte. Alternativ zu einem größeren Itempool wären möglicherweise unterschiedlich automatisierte Ereignisräume einzusetzen. Bevor man nun aber die Automatisierung eines Itempools bei Kindern abprüft, was sich angesichts unzureichender und vager Kriterien relativ schwierig gestalten dürfte, sollte die Wirkung wenig automatisierter Itempools an Erwachsenen untersuchen. Erste Anhaltspunkte für die Wirkung eines nicht automatisierten Itempools ergaben sich in Experiment 1 bei Erwachsenen. Diese wiesen innerhalb des Itempools *Handbewegungen* für die Gleichverteilung benachbarter Antwortalternativen signifikant schlechtere Leistungen als die beiden Kinderstichproben auf. Dieser Befund lies sich in Experiment 2 nicht replizieren, er deutet jedoch an, dass die Vertrautheit mit dem Ereignisraum und die damit verbundene Automatisierung offensichtlich leistungsdeterminierend wirken kann. Ein relativ einfacher weiterführender Ansatz könnte auch darin bestehen, wenig automatisierte Ereignisräume bei Erwachsenen auf ihre modalitätsspezifischen Implikationen hin zu untersuchen. Möglicherweise tritt das Phänomen aber nur bei sprachlichen Ereignisräumen bedeutsam in Erscheinung.

Was lässt sich nun generell zur Entwicklung zentral-exekutiver Prozesse sagen? In Experiment 5 konnte nachgewiesen werden, dass die Messung unterschiedlichster zentral-exekutiver Basisprozesse bereits ab einem Alter von fünf Jahren möglich ist. Dies wurde neben der *Random Generation Aufgabe* anhand von sechs weiteren zentral-exekutiven Tests untersucht. Auch in Experiment 5 wurden für die *Random Generation Aufgabe* nur Altersunterschiede zwischen Vorschulkin-

dern und allen übrigen Altersgruppen gefunden. Das Ausbleiben von Altersunterschieden zwischen den älteren Teilstichproben dürfte im Zusammenhang mit phonologischen Speicherprozessen und ihrer Rolle beim Bereithalten des Itempools zu interpretieren sein. Offensichtlich ist die phonologische Schleife bereits im Grundschulalter in der Lage, die geringen Speicherprozesse bei der Repräsentation des Ereignisraumes *4 Zahlen* problemlos zu bewältigen. Experiment 5 konnte aber Unterschiede zwischen allen Altersgruppen anhand weniger speicherintensiver Tests nachweisen (*Trail Making, Stroop Aufgabe, Entscheidungsaufgabe*). Entweder spielen temporäre Speicherprozesse nicht ausschließliche eine dominierende Rolle bei der Erklärung von Altersunterschieden, oder aber die gemeinsame Zeitkomponente der drei Tests deutet auf den Aspekt der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit hin. Für die *Stroop Aufgabe* ergab sich ein wesentlicher Entwicklungsanstieg innerhalb des Kindergartenalters, der dann stetig aber weniger steil bis in das Erwachsenenalter weiter verlief.

Welche qualitativen Veränderungen mit der Entwicklung der Inhibitionskapazität einhergehen, bleibt spekulativ (vgl. Demetriou et al., 2002). Es ist aber anzunehmen, dass die Entwicklung von Inhibitionsprozessen zwar früh einsetzt, dass dabei aber eine qualitative Differenzierung von inhibitorischen Prozessen stattfindet. So könnte sich die Fähigkeit zur Inhibition von Automatismen möglicherweise später entwickeln, als die zur Inhibition von Distraktoren unterschiedlicher Modalität. Relativ spät dürfte sich dann die Kapazität zur Inhibition unimodaler Distraktoren ausbilden.

Der Abgleich aktuell verarbeiteter Information mit Information aus dem Langzeitgedächtnis wurde in Experiment 5 sowohl in einer *Komplexen Spannenaufgabe* über die Verifikationsanforderung als auch in der *Mentalen Fusionierungsaufgabe* über Fusionierungs- und Benennungsprozesse beansprucht. Neben einem generellen Entwicklungsanstieg über das Vor- und Grundschulalter bot sich für beide Tests ein deutlicher Entwicklungssprung zwischen den Zehnjährigen und den Erwachsenen. Demzufolge dürfte sich der Entwicklungsverlauf relativ langfristig bis in die Adoleszenz hinein vollziehen. Es stellt sich darüber hinaus die Frage, ob Entwicklung mit einer bloßen Effizienzsteigerung des Systems als solches einhergeht, oder ob sich Zugriffsprozesse auf das Langzeitgedächtnis qualitativ verändern. Gerade in diesem Zusammenhang erscheint es allerdings fraglich von einem allgemeinen, von der Informationsart und spezifischen Anforderung losgelösten Prozess zu

sprechen. Auch hier ist ein Bezug zu entwicklungsbedingten Veränderungen in der Wissensorganisation, in der Automatisierung von Verarbeitungsprozessen und in dem zunehmend flexibleren Wechsel zwischen sprachlichen und visuell-räumlichen Codes zu setzen. Gerade die Anforderung, multimodale VerarbeitungsCodes aus den Subsystemen ebenso integrieren zu können wie unterschiedliche Wissensarten aus dem Langzeitgedächtnis, stellt erhebliche Anforderungen an einen derartigen Prozess und hat zur Erweiterung des Arbeitsgedächtnismodells um den jüngst von Baddeley (2000a) postulierten *Episodic Buffer* geführt. Wie eine entwicklungsbedingte Ausdifferenzierung von Zugriffsprozessen auf das Langzeitgedächtnis aussehen kann, bleibt ebenfalls spekulativ. Auch hier dürften sich einfache Prozesse im Sinne eines einfachen Stimulusvergleichs zu erst entwickeln (*Verifikationsforderung in der Komplexen Spanne, Entscheidungsaufgabe*). Komplexere dynamische Abgleichprozesse dürften dann mit Fortschreiten der Entwicklung folgen. Diese sind beispielsweise notwendig, wenn aktuelle, im Arbeitsgedächtnis bereitgehaltene Information manipuliert wird und stetig mit Informationen aus dem Langzeitgedächtnis verglichen werden muss (*Mentale Fusionierungsaufgabe*). Ein derartiger, dynamischer Prozess dürfte im Verlauf der Entwicklung durch Optimierung des *Task Switching*-Verhaltens einen zunehmend flexibleren Zugriff ermöglichen.

Entwicklungsbedingte Veränderungen in der *Komplexen Spannenaufgabe* können aber auch über Veränderungen in der koordinativen Funktion der zentralen Exekutive erklärt werden. Der im Test erforderliche anhaltende Wechsel zwischen Speicher- und Verarbeitungsprozessen involviert die zentrale Exekutive über ihre koordinative Funktion bzw. über *Task Switching*-Prozesse. Ein ähnlich geartetes Anforderungsprofil weist auch der *Trail Making Test* auf. Auch bei der Kontrolle zweier simultaner Anforderungen zeigt sich die besondere Problematik des Entwicklungsbezugs. Die Möglichkeit zur Koordination von zwei Aufgaben hängt wesentlich von ihrem Automatisierungsgrad ab, ferner von der unterschiedlichen oder gemeinsamen Verarbeitungsmodalitäten oder dem spezifischen Anforderungscharakter von simultanen Aufgaben im Sinne identischer Prozesse. Damit erschwert sich die Feststellung eines Entwicklungsverlaufs für eine derartige Funktion. Aufgrund empirischer Befunde zum Einsatz von *Dual Task Aufgaben* (Guttentag, 1989; Howe & Rabinowitz, 1989; Wieland-Eckelmann, Kleinbeck, Schwarz, & Häcker, 1989) ist zu vermuten, dass die Fähigkeit zur Koordination zweier Aufgaben sich im Verlauf des frühen Grundschulalters entwickelt. Dies lassen auch die Tests in Experiment 5

vermuten, die im engeren Sinne die Koordination zweier Prozesse erfordern (*Trail Making* und *Komplexe Spanne*). Sie zeigen, beginnend mit einer Tendenz zum Bodeneffekt bei den Fünfjährigen eine relative langsame Entwicklung. Auch hier dürfte sich die Fähigkeit zur Koordination multimodaler Prozesse später entwickeln als die unimodale Koordinationskapazität. Möglicherweise spielen aber auch in diesem Kontext modalitätsspezifische Aspekte eine wesentliche Rolle: So könnte die Fähigkeit zur Koordination von zwei visuell-räumlichen Prozessen entwicklungsbezogen früher zu bewerkstelligen sein, als die Koordination zweier phonologisch basierter Prozesse.

Die Kontrolle von Enkodierungs- und Abrufplänen wurde im Experiment 5 über die *Komplexe Spanne*, die *Farbspanne rückwärts* sowie die *Random Generation Aufgabe* untersucht. Ob der unterschiedlichen Entwicklungstrends für die *Random Generation Aufgabe* und die beiden Spannaufgaben stellt sich die Frage, ob die beiden Aufgabentypen ein ähnliches Anforderungsprofil beinhalten. Während die Spannaufgaben extern vorgegebene, seriell dargebotene Information enkodieren und manipulieren, ist bei der *Random Generation Aufgabe* der Abruf bereits vorhandener Reihen aus dem Langzeitgedächtnis bzw. die Produktion neuer Reihen über implizite Produktionsstrategien gefordert. Demzufolge tritt bei der *Random Generation Aufgabe* eine anders geartete Enkodierungs- oder Abrufanforderung auf. Damit dürfte der zentral-exekutive Prozess der Kontrolle von Enkodierungs- und Abrufstrategien in höherem Maß durch die beiden Spannaufgaben gefordert sein. Konkret lässt sich vermuten, dass die Kontrolle von Enkodier- und Abrufstrategien sich mit dem Vor- und beginnenden Grundschulalter entwickelt und über das Grundschulalter hinaus durch zunehmende Flexibilisierung und Automatisierung effizienter gestaltet.

Zukünftige empirische Annäherungen an sich entwickelnde zentral-exekutive Basisprozesse sollten der zunehmenden Differenzierung dieser Prozesse als auch ihren modalen Besonderheiten Rechnung tragen. Konkret hieße das, dass bei der empirischen Umsetzung zunächst die Zusammenstellung von eng umschriebenen Operationalisierungen mit unterschiedlichen modalitätsspezifischen Aufgabenanteilen vorgenommen werden sollte. Mit einer Testbatterie, die für jeden Prozess mehrere Operationalisierungen bereithält, lässt sich das Ideal einer *Multitrait-Multimethod-Methode* (vgl. Bortz & Döring, 1995) realisieren. Über ein darauf aufbauendes faktorenanalytisches Design sollten sich theoretische und empirische

Konzepte miteinander abgleichen lassen. Eine Annäherung an sich entwickelnde zentral-exekutive Funktionen mittels unterschiedlicher Operationalisierungen erscheint, wie Experiment 5 demonstrieren konnte, ein versprechender Ansatz zur Aufklärung entwicklungsbedingter struktureller Veränderungen im Arbeitsgedächtnis (vgl. Alloway et al., 2004; Gathercole et al., 2004).

V. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht in der Untersuchung sich entwickelnder zentral-exekutiver Arbeitsgedächtnisprozesse bei Vor- und Grundschulkindern. Dazu wurden fünf Experimente mittels der Random Generation Aufgabe durchgeführt: Hierbei müssen Versuchspersonen Zufallsreihen auf der Grundlage eines vorgegeben Itempools, z.B. Zahlen oder Tasten eines Keyboards, bilden.

In Experiment 1 wurde der Einfluss unterschiedlicher *Ausgabemodalitäten* (sprachgestützt und motorisch) und der expliziten *Begrenzung des Ereignisraumes* (geschlossen vs. offen) auf die Randomisierungsleistung von 5-jährigen, 9-jährigen und Erwachsenen untersucht. Neben einem generellen Alterseffekt zeigte sich für die 5-jährigen sowohl in der motorischen als auch verbalen Modalität Schwierigkeiten mit den weniger bekannten Ereignisräumen. Demgegenüber ergab sich innerhalb der 9-jährigen und Erwachsenen ein genereller, wenngleich geringfügiger Leistungsvorteil zugunsten der sprachlichen Modalität.

Experiment 2 diente zur Untersuchung der Stabilität von Random Generation Maßen. 6-, 8- und 10-Jährige sowie Erwachsene wurden dreimal im einwöchigen Abstand mittels einer verbalen, räumlichen und motorischen Random Generation Aufgabe untersucht. Es ergaben sich ebenso wie in Experiment 1 Alters- als auch Modalitätsunterschiede, ferner zeigte sich eine zunehmende Stabilität bei der Generierung von Zufallsreihen mit ansteigendem Alter.

In Experiment 3 wurden die kurzzeitigen Speicheranforderungen während der Random Generation Aufgabe über die Itempoolgröße sowie eine externe Unterstützung der Ereignisraumrepräsentation variiert. Dabei zeigte sich, dass bei dynamischer Unterstützung die Leistung der 6-jährigen verbessert und die Leistung der 8- und 10-jährigen an das Niveau der Erwachsenen angeglichen werden kann. Damit definieren sich altersbedingte Leistungsunterschiede bei der Random Generation Aufgabe maßgeblich über Speicher und Repräsentationsprozesse.

Die Rolle von Inhibitionsprozessen wurde in Experiment 4 untersucht. Hier mussten 6-, 8-, 10-jährige und Erwachsene aus einem zahlenbasierten Itempool gezielt Items auslassen. Die derart variierte Inhibitionsanforderung zeigte jedoch nur einen geringfügigen Einfluss auf die Randomisierungsleistung. Ebenso wie in Experiment 3 konnte ein Effekt des Alters und der dynamischen Unterstützung gefunden werden.

In Experiment 5 wurde ein Vergleich von Random Generation mit 6 anderen, etablierten zentral-exekutiven Maßen vorgenommen. Dazu wurden 5-, 6-, 8- und 10-jährige sowie Erwachsene untersucht. Neben deutlichen Altersunterschieden in allen zentral-exekutiven Maßen, ergaben sich Zusammenhangsmuster, die den multi-prozessualen Anforderungscharakter der Random Generation Aufgabe bestätigen.

Die Befunde aus den 5 Experimenten zeigen, dass sich zentral-exekutive Entwicklung ab dem 5. Lebensjahr gut abbilden lässt. Darüberhinaus konnte nachgewiesen werden, dass sich Altersdifferenzen bei der Random Generation Aufgabe über unterschiedlich geartete Speicher-, Abruf-, Monitoring- und Inhibitionsprozesse konstituieren.

Abstract

The goal of present study is the examination of developing central-executive working memory processes in pre- and primary school children. For this reason 5 experiments were carried out by using the Random Generation task. Within the Random Generation task subjects are required to generate a random series of items, i.e. by using a given amount numbers or keys of a keyboard.

Experiment 1 was done to disentangle the influence of different *output modalities* (verbal and motor) on randomization performance. Furthermore the aspect of the *explicit limitation* of the item pool (limited vs. open) was also varied. 5-year-olds, 9-year-olds and adults took part in the first experiment. Next to a general age effect the 5-year-olds were found to have difficulties in unfamiliar motor and verbal item pools. Also for the 9-year-olds and adults no linear effect for the factor *explicit limitations* could be found, albeit the *output modality* proved to be slightly relevant as verbally based Random Generation was in general more random.

In Experiment 2 the stability of Random Generation was investigated. 6-year-olds, 8-year-olds, 10-year-olds and adults were tested three times with an inter test interval of one week. The subjects had to do verbal, spatial and motor Random Generation tasks. As in experiment 1 an effect of age and modality could be found. Moreover stability of randomization performance was found to increase in the older subjects.

Experiment 3 was carried out to examine the short-term memory processes within the Random Generation task. This was done by varying the amount of items to be randomized on the one hand and by the presentation of external item pool and monitoring cues on the other hand. Findings indicate that an external support of item representation improves performance of the 6-year-olds and made 8-year-old und 10-year-old subjects perform nearly on an adult level. Therefore it seems that age differences are considerably defined by storage and representation processes.

The role of inhibition processes was analyzed in experiment 4: 6-year-olds, 8-year-olds, 10-year-olds and adults had to randomize numbers orally. Additionally they were told to inhibit some specially designated numbers of the original item pool series. The factor of inhibition showed only a small effect on randomization performance, but as in the previous experiment a clear effect of age and external support could be found.

In experiment 5 a correlational analysis on Random Generation and 6 different, well established central executive operationalizations was done. 5-year-olds, 6-year-olds, 8-year-olds, 10-year-olds and adults took part in the experiment. A clear age effect was proved for all seven central-executive operationalizations. Further more correlational analysis revealed the multi process demands of the random generation task.

The findings from the five experiments indicate that central executive development can be tested and demonstrated from the fifth year of age on. Additionally it could be shown that age differences in the Random Generation task are due to different storage and retrieval processes on the one hand and monitoring and inhibition processes on the other hand.

VI. Literatur

- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Willis, C., & Adams, A.-M. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87(2), 85-106.
- Andrade, J. (2001). The working memory model: Consensus, controversy, and future directions. In J. Andrade (Ed.), *Working memory in perspective* (pp. 281-310). Philadelphia: Psychology Press.
- Andrade, J., Kemps, E., Werniers, Y., May, J., & Szmalec, A. (2002). Insensitivity of visual short-term memory to irrelevant visual information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 55(3), 753-774.
- Annoni, J.-M., & Pegna, A. J. (1997). Random motor generation in a finger tapping task: Influence of spatial contingency and of cortical and subcortical hemispheric brain lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 63(5), 654-659.
- Archibald, S. J., & Kerns, K. A. (1999). Identification and description of new tests of executive functioning in children. *Child Neuropsychology*, 5(2), 115-129.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 90-197). London: Academic Press.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Scientific American*, 225(2), 82-90.
- Avons, S. E., Nunn, J. A., Chan, L., & Armstrong, H. (2003). Executive function assessed by memory updating and random generation in schizotypal individuals. *Psychiatry Research*, 120(2), 145-154.
- Awh, E., & Jonides, J. (2001). Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(3), 119-126.
- Awh, E., Jonides, J., & Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 24(3), 780-790.
- Azouvi, P., Jokic, C., Van der Linden, M., & Marlier, N. (1996). Working memory and supervisory control after severe closed-head injury: A study of dual task performance and random generation. *Journal of Clinical & Experimental Neuropsychology*, 18(3), 317-337.

- Baddeley, A. (1993). Working memory or working attention? In A. D. Baddeley & L. Weiskrantz (Eds.), *Attention: Selection, awareness, and control: A tribute to Donald Broadbent* (pp. 152-170). Oxford: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Baddeley, A. (1998). The central executive: A concept and some misconceptions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4, 523-526.
- Baddeley, A. (2002). Fractionating the central executive. In D. T. K. Stuss & R. T. (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 246-260). London: Oxford University Press.
- Baddeley, A., Della Sala, S., Papagno, C., & Spinnler, H. (1997). Dual-task performance in dysexecutive and nondysexecutive patients with a frontal lesion. *Neuropsychology*, 11(2), 187-194.
- Baddeley, A., della Sala, S., & Spinnler, H. (1991). The two-component hypothesis of memory deficit in Alzheimer's disease. *Journal of Clinical & Experimental Neuropsychology*, 13(2), 372-380.
- Baddeley, A., Emslie, H., Kolodny, J., & Duncan, J. (1998). Random generation and the executive control of working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 51A(4), 819-852.
- Baddeley, A., Logie, R., Bressi, S., Della Sala, S., & Spinnler, H. (1986). Dementia and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38A, 603-618.
- Baddeley, A., Vallar, G., & Wilson, B. (1987). Sentence comprehension and phonological memory: Some neuropsychological evidence. In M. Coltheart (Ed.), *Attention and performance 12: The psychology of reading* (pp. 509-529). Hove: Lawrence Erlbaum.
- Baddeley, A., & Wilson, B. A. (2002). Prose recall and amnesia: Implications for the structure of working memory. *Neuropsychologia*, 40(10), 1737-1743.
- Baddeley, A. D. (1966a). The capacity for generating information by randomization. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18, 119-129.
- Baddeley, A. D. (1966b). Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic and formal similarity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18, 362-365.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1990). *Human memory*. Hove: Erlbaum.

- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49, 5-28.
- Baddeley, A. D. (2000a). The episodic buffer: a new component of working memory. *Trends in Cognitive Science*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. D. (2000b). Short-term and working memory. In E. Tulving & F. I. M. Craik (Eds.), *The Oxford handbook of memory* (pp. 77-92). New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist*, 56(11), 849-864.
- Baddeley, A. D., & Andrade, J. (2000). Working memory and the vividness of imagery. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129(1), 126-145.
- Baddeley, A. D., Grant, W., Wight, E., & Thomson, N. (1975). Imagery and visual working memory. In P. M. A. Rabbitt & S. Dornic (Eds.), *Attention and performance* (pp. 205-217). London: Academic Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 47-89). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1977). Working memory (with "Commentary on 'working memory' " placed in front). In G. Bower (Ed.), *Human memory* (pp. 191-241). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 485-493.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2000). Development of working memory: Should the Pascual-Leone and the Baddeley and Hitch Models be merged? *Journal of Experimental Child Psychology*, 77, 128-137.
- Baddeley, A. D., & Lieberman, K. (1980). Spatial working memory. In R. Nickerson (Ed.), *Attention and performance VIII* (pp. 521-539). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. (1999). Working memory: The multiple-component model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 28-61). New York: Cambridge University Press.
- Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 14(6), 575-589.

- Baddeley, A. D., & Warrington, E. K. (1970). Amnesia and the distinction between long- and short-term memory. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 9(2), 176-189.
- Baddeley, A. D., & Wilson, B. (1988). Frontal amnesia and the dysexecutive syndrome. *Brain & Cognition*, 7(2), 212-230.
- Bayliss, D. M., & Roodenrys, S. (2000). Executive processing and attention deficit hyperactivity disorder: An application of the supervisory attentional system. *Developmental Neuropsychology*, 17(2), 161-180.
- Belleville, S., Peretz, I., & Malenfant, D. (1996). Examination of the working memory components in normal aging and in dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychologia*, 34(3), 195-207.
- Berz, W. L. (1995). Working memory in music: A theoretical model. *Music Perception*, 12(3), 353-364.
- Beveridge, M., Jarrold, C., & Pettit, E. (2002). An experimental approach to executive fingerprinting in young children. *Infant & Child Development*, 11(2), 107-123.
- Biewald, C. (1998). *Arbeitsgedächtnisprozesse bei mentaler Addition und Multiplikation*. Hamburg: Dr. Kovac.
- Bortz, J. (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J., & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation* (2 Aufl.). Berlin: Springer.
- Bourke, L., & Adams, A.-M. (2003). The relationship between working memory and early writing assessed at the word, sentence and text level. *Educational & Child Psychology*, 20, 19-36.
- Brandimonte, M. A., Hitch, G. J., & Bishop, D. V. (1992a). Verbal recoding of visual stimuli impairs mental image transformations. *Memory & Cognition*, 20(4), 449-455.
- Brandimonte, M. A., Hitch, G. J., & Bishop, D. V. M. (1992b). Manipulation of visual mental images in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 53(3), 300-312.
- Brooks, L. R. (1967). The suppression of visualization by reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 19, 289-299.
- Brown, G. D. A., Vousden, J. I., McCormack, T., & Hulme, C. (1999). The Development of Memory for Serial Order: A Temporal-contextual Distinctiveness Model. *International Journal of Psychology*, 34, 389-402.

- Brugger, P. (1995). Zufall und Gehirn. Neuropsychologische Erkenntnisse regellosen Verhaltens. *Neue Zürcher Zeitung*, p. 65.
- Brugger, P. (1996). Temporal and spatial repetition avoidance. *Perceptual & Motor Skills*, 83(3), 820-822.
- Brugger, P. (1997). Variables that influence the generation of random sequences: An update. *Perceptual and Motor Skills*, 84, 627-661.
- Brugger, P., Monsch, A. U., Salmon, D. P., & Butters, N. (1996). Random number generation in dementia of the Alzheimer type: A test of frontal executive functions. *Neuropsychologia*, 34(2), 97-103.
- Bruyer, R., & Scailquin, J.-C. (1998). The visuospatial sketchpad for mental images: Testing the multicomponent model of working memory. *Acta Psychologica*, 98, 17-36.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 273-293.
- Burgess, N., & Hitch, G. J. (1992). Toward a network model of the articulatory loop. *Journal of Memory & Language*, 31, 429-460.
- Burgess, N., & Hitch, G. J. (1996). A connectionist model of STM for serial order. In S. E. Gathercole (Ed.), *Models of short-term memory* (pp. 51-72). Hove: Erlbaum.
- Case, R. (1985). *Intellectual development*. New York: Academic Press.
- 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.
- Chaitin, G. J. (1975). Randomness and mathematical proof. *Scientific American*, 232, 47-52.
- Chapanis, A. (1953). Random-number guessing behaviour. *American Psychologist*, 8, 332.
- Chen, T., Han, B., & Wang, J. (2003). A review of the aging of working memory. *Psychological Science (China)*, 26, 127-129.
- Colle, H. A., & Welsh, A. (1976). Acoustic masking in primary memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 15, 17-32.
- Conrad, R., & Hull, A. J. (1964). Information, acoustic confusion and memory span. *British Journal of Psychology*, 55, 429-432.

- Courtney, S. M., Ungerleider, L. G., Keil, K., & Haxby, J. V. (1996). Object and spatial visual working memory activate separate neural systems in human cortex. *Cerebral Cortex*, *6*(1), 39 - 49.
- Cowan, N. (1997a). The development of working memory. In N. Cowan (Ed.), *The development of memory in childhood* (pp. 163-199). Hove: Psychology Press.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental. *Behavioral & Brain Sciences*, *24*(1), 87-185.
- Cowan, N. (Ed.). (1997b). *The development of memory in childhood*. Hove: Psychology Press.
- Cowan, N., Saults, J. S., & Elliott, E. M. (2002). The search for what is fundamental in the development of working memory. *Advances in Child Development and Behavior*, *29*, 1 - 49.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, *19*(4), 450-466.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1983). Individual differences in integrating information between and within sentences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *9*(4), 561-584.
- Daneman, M., Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1982). Cognitive processes and reading skills. *Advances in Reading/Language Research*, *1*, 83-124.
- Daneman, M., & Tardif, T. (1987). Working memory and reading skill re-examined. In M. Coltheart (Ed.), *Attention and performance 12: The psychology of reading*. (pp. 491-508). Hove: Lawrence Erlbaum.
- de Ribaupierre, A., & Bailleux, C. (1994). Developmental change in a spatial task of attentional capacity: An essay toward an integration of two working memory models. *International Journal of Behavioral Development*, *17*(1), 5-35.
- de Ribaupierre, A., & Bailleux, C. (1995). Development of attentional capacity in childhood: A longitudinal study. In F. E. Weinert & W. Schneider (Eds.), *Memory performance and competencies: Issues in growth and development*. (pp. 45-70). Hove: Lawrence Erlbaum.
- De Zubicaray, G. I., Williams, S. C. R., Wilson, S. J., Rose, S. E., Brammer, M. J., Bullmore, E. T., et al. (1998). Prefrontal cortex involvement in selective letter generation: A functional magnetic resonance imaging study. *Cortex*, *34*, 389-401.
- Della Sala, S., Baddeley, A., Papagno, C., & Spinnler, H. (1995). Dual-task paradigm: A means to examine the central executive. In J. H. Grafman, K. J.

- (Ed.), *Structure and functions of the human prefrontal cortex*. (Vol. 769, pp. 161-171). New York: New York Academy of Sciences.
- Demetriou, A., Christou, C., Spanoudis, G., & Platsidou, M. (2002). *The development of mental processing: Efficiency, working memory, and thinking*. Boston: Blackwell Publishing.
- Demetriou, A., Spanoudis, G., Christou, C., & Platsidou, M. (2001). Modeling the Stroop phenomenon: Processes, processing flow, and development. *Cognitive Development, 16*(4), 987-1005.
- Dempster, F. N., & Zinkgraf, S. A. (1982). Individual differences in digit span and chunking. *Intelligence, 6*, 201-213.
- Dowsett, S. M., & Livesey, D. J. (2000). The development of inhibitory control in preschool children: Effects of "executive skills" training. *Developmental Psychobiology, 36*(2), 161-174.
- Ellis, N. C., & Hennely, R. A. (1980). A bilingual word length effect: Implications for intelligence testing and the relative ease of mental calculation in Welsh and English. *British Journal of Psychology, 71*, 43-52.
- Engle, R. W., Cantor, J., & Carullo, J. J. (1992). Individual differences in working memory and comprehension: A test of four hypotheses. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 18*(5), 972-992.
- Engle, R. W., & Conway, A. R. A. (1998). Working memory and comprehension. In R. H. Logie & K. J. Gilhooly (Eds.), *Working memory and thinking. Current issues in thinking and reasoning* (pp. 67-90). Hove: Psychology Press/Erlbaum.
- Engle, R. W., Kane, W., Tuholski, M. J., & Stephen, 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. S. Miyake, Priti (Ed.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. (pp. 102-134). New York: Cambridge University Press.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General, 128*(3), 309-331.
- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review, 102*(2), 211-245.
- Evans, F. J. (1978). Monitoring attention deployment by random number generation: An index to measure subjective randomness. *Bulletin of the Psychonomic Society, 12*(1), 35-38.

- Evans, F. J., & Graham, C. (1980). Subjective random number generation and attention deployment during acquisition and overlearning of a motor skill. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 15(6), 391-394.
- Falk, R. (1991). Randomness--an ill-defined but much needed concept. *Journal of Behavioral Decision Making*, 4(3), 215-218.
- Farah, M. J. (1988). The neuropsychology of mental imagery: Converging evidence from brain-damaged and normal subjects. In J. Stiles-Davis & M. Kritchevsky (Eds.), *Spatial cognition: Brain bases and development*. (pp. 33-56). Hove: Lawrence Erlbaum.
- Farah, M. J., Levine, D. N., & Calvanio, R. (1988). A case study of mental imagery deficit. *Brain & Cognition*, 8(2), 147-164.
- Flavell, J. H., Beach, D. R., & Chinsky, J. M. (1966). Spontaneous verbal rehearsal in a memory task as a function of age. *Child Development*, 37(2), 283-299.
- Foeldnyi, M., Giovanoli, A., Tagwerker-Neuenschwander, F., Schallberger, U., & Steinhausen, H.-C. (2000). Reliabilitaet und Retestetstabilitaet der Testleistungen von 7-10jaehrigen Kindern in der computerunterstuetzten TAP. *Zeitschrift fuer Neuropsychologie*, 11(1), 1-11.
- Ford, J. (1983). How random is a coin toss? *Physics Today*, 36, 40-47.
- Fournier, S., Larigauderie, P., & Gaonac'h, D. (2004). Exploring how the central executive works: A search for independent components. *Psychologica Belgica*, 44(3), 159-188.
- Gathercole, S. E. (1998). The development of memory. *Journal of Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*, 39(1), 3-27.
- Gathercole, S. E., & Adams, A.-M. (1994). Children's phonological working memory: Contributions of long-term knowledge and rehearsal. *Journal of Memory & Language*, 33(5), 672-688.
- Gathercole, S. E., Adams, A.-M., & Hitch, G. J. (1994). Do young children rehearse? An individual-differences analysis. *Memory & Cognition*, 22(2), 201-207.
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1993). *Working memory and language*. Hove: Erlbaum.
- Gathercole, S. E., & Hitch, G. J. (1993). Developmental changes in short-term memory: A revised working memory perspective. In A. F. Collins, S. E. Gathercole & et al. (Eds.), *Theories of memory* (pp. 189-209). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

- Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2000a). Assessment of working memory in six- and seven-year-old children. *Journal of Educational Psychology, 92*(2), 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*(2), 177-194.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The Structure of Working Memory From 4 to 15 Years of Age. *Developmental Psychology, 40*(2), 177-190.
- Gaupp, N. (2003). *Dyskalkulie. Arbeitsgedächtnisdefizite und Defizite numerischer Basiskompetenzen rechenschwacher Kinder*. Unpublished Doctoral Thesis, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Eichstätt.
- Gaupp, N., Zoelch, C., & Schumann-Hengsteler, R. (2004). Defizite numerischer Basiskompetenzen bei rechenschwachen Kindern der 3. und 4. Klassenstufe. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 18*(1), 31-42.
- Geary, D. C. (1999). Mathematical disabilities: What we know and don't know. from http://www.ldonline.org/ld_indepth/math_skills/math-skills.html
- 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*(3), 213-239.
- Ginsburg, N., & Karpiuk, P. (1994). Random generation: Analysis of the responses. *Perceptual & Motor Skills, 79*(3), 1059-1067.
- Ginsburg, N., & Lesner, C. (1999). Some conjectures about random numbers. *Perceptual & Motor Skills, 88*(1), 337-341.
- Goldman-Rakic, P. S. (1992). Working memory and the mind. *Scientific American, 267*, 110-117.
- Guttentag, R. E. (1989). Age differences in dual-task performance: Procedures, assumptions and results. *Developmental Review, 9*, 146-170.
- Haas, A., Zoelch, C., & Schumann-Hengsteler, R. (2003, September). *On the involvement of phonological working memory in the processing of rhythms*. Paper presented at the 5th Triennial Conference of the European Society for the Cognitive Sciences of Music, Hannover.
- Haberlandt, K. (1997). *Cognitive psychology (2nd ed.)*. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.

- Hale, S., Bronik, M. D., & Fry, A. F. (1997). Verbal and spatial working memory in school-age children: Developmental differences in susceptibility to interference. *Developmental Psychology*, 33(2), 364-371.
- Hanley, J. R., Young, A. W., & Pearson, N. A. (1991). Impairment of the visuo-spatial sketch pad. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 43(1), 101-125.
- Hart, T., Schwartz, M. F., & Mayer, N. (1999). Executive function: Some current theories and their applications. In N. R. Varney & R. J. Roberts (Eds.), *Evaluation and treatment of mild traumatic brain injury*. (pp. 133-148). Hove: Lawrence Erlbaum.
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G.H. Bower(Ed.). *The psychology of learning and motivation* (pp. 193-224). Orlando: Academic Press.
- Hasselhorn, M., Grube, D., & Mähler, C. (2000). Theoretisches Rahmenmodell für ein Diagnostikum zur differentiellen Funktionsanalyse des phonologischen Arbeitsgedächtnisses. In M. Hasselhorn, W. Schneider & H. Marx (Eds.), *Diagnostik von Lese- Rechtschreibschwierigkeiten. Jahrbuch der pädagogisch- psychologischen Diagnostik. Tests und Trends*. (Vol. 1, pp. 168-181). Göttingen: Hogrefe. Verlag für Psychologie.
- Hasselhorn, M., Grube, D., Mähler, C., Zoelch, C., Gaupp, N., & Schumann-Hengsteler, R. (2003). Differentialdiagnostik basaler Funktionen des Arbeitsgedächtnisses. In G. Ricken, A. Fritz & C. Hofmann (Eds.), *Diagnose: Sonderpädagogischer Förderbedarf*. Lengerich: Pabst.
- Hasselhorn, M., & Körner, K. (1997). Nachsprechen von Kunstwörtern: Zum Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtnis und syntaktischen Sprachleistungen bei Sechs- und Achtjährigen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 29(3), 212-224.
- Hasselhorn, M., & Mähler, C. (2001). *Phonological working memory in children with mild mental retardation*. Unpublished manuscript, Göttingen: Institut für Psychologie.
- Hasselhorn, M., Schneider, W., & Marx, H. (2000a). Früh-, Förder- und Differentialdiagnostik von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten: Eine Einführung. In M. Hasselhorn, W. Schneider & H. Marx (Eds.), *Diagnostik von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik. Tests und Trends* (pp. 1-7). Göttingen: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- Hasselhorn, M., Schneider, W., & Marx, H. (Eds.). (2000b). *Diagnostik von Lese-Rechtschreib-Schwierigkeiten* (Vol. 1). Göttingen: Hogrefe Verlag für Psychologie.

- Hasselhorn, M., Seidler-Brandler, U., & Körner, K. (2000). Ist das "Nachsprechen von Kunstwörtern" für die Entwicklungsdiagnostik der phonologischen Gedächtnisses geeignet? In M. Hasselhorn, W. Schneider & H. Marx (Eds.), *Diagnostik von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten. Jahrbuch der pädagogisch-psychologischen Diagnostik. Tests und Trends* (pp. 119-133). Göttingen: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- Hecker, R., & Mapperson, B. (1997). Dissociation of visual and spatial processing in working memory. *Neuropsychologia*, *35*, 599-603.
- Henry, L. A., & Millar, S. (1991). Memory span increase with age: A test of two hypotheses. *Journal of Experimental Child Psychology*, *51*(3), 459-484.
- Herzog, G. n. R. (1989). Die Zufallskonzepttheorie: Experimente zur Vorstellung vom Aufbau von Zufallsreihen. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, *36*(2), 199-220.
- Heuer, H., Kohlsch, O., & Klein, W. (2005). The effects of total sleep deprivation on the generation of random sequences of key-presses, numbers and nouns. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *58*(2), 275-307.
- Hitch, G. J. (1990). Developmental fractionation of working memory. In G. Vallar & T. Shallice (Eds.), *Neuropsychological impairments of short-term memory*. (pp. 221-246). New York: Cambridge University Press.
- Hitch, G. J., & Halliday, M. S. (1983). Working memory in children. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*, *302*, 325-340.
- Hitch, G. J., Halliday, M. S., Dodd, A., & Littler, J. E. (1989). Development of rehearsal in short-term memory: Differences between pictorial and spoken stimuli. *British Journal of Developmental Psychology*, *7*, 347-362.
- Hitch, G. J., Halliday, M. S., & Littler, J. (1984). *Memory span and the speed of mental operations*. Paper presented at the Netherland Psychonomic Foundation Meeting: Amsterdam.
- Hitch, G. J., Halliday, S., Schaafstal, A. M., & Schraagen, J. M. (1988). Visual working memory in young children. *Memory & Cognition*, *16*(2), 120-132.
- Howe, M. L., & Rabinowitz, F. M. (1989). On the uniterpretability of dual-task performance. *Journal of Experimental Child Psychology*, *47*, 32-38.
- Hue, C., & Ericson, J. R. (1988). Short-term memory for Chinese characters and radicals. *Memory & Cognition*, *16*, 196-205.
- Hulme, C., Thomson, N., Muir, C., & Lawrence, A. (1984). Speech rate and the development of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, *38*(2), 241-253.

- Isaacs, E. B., & Vargha-Khadem, F. (1989). Differential course of development of spatial and verbal memory span: A normative study. *British Journal of Developmental Psychology*, 7, 377-380.
- Jaffard, R. (2002). Das facettenreiche Gedächtnis. *Spektrum der Wissenschaft spezial*, 1, 6-9.
- Jahanshahi, M., & Dirnberger, G. (1999). The left dorsolateral prefrontal cortex and random generation of responses: Studies with transcranial magnetic stimulation. *Neuropsychologia*, 37(2), 181-190.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Henry Holt.
- Jansen, H., Mannhaupt, G., Marx, H., & Skowronek, H. (1999). *BISC Bielefelder Screening zur Früherkennung von Lese-Rechtschreibschwierigkeiten*. Göttingen: Hogrefe.
- Jefferies, E., Lambon Ralph, M. A., & Baddeley, A. D. (2004). Automatic and controlled processing in sentence recall: The role of long-term and working memory. *Journal of Memory & Language*, 51(4), 623-643.
- Johnston, R. S., Johnson, C., & Gray, C. (1987). The emergence of the word length effect in young children: The effects of overt and covert rehearsal. *British Journal of Developmental Psychology*, 5(3), 243-248.
- Jones, D. M., & Macken, W. J. (1995). Phonological similarity in the irrelevant speech effect: Within- or between-stream similarity? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 21(1), 103-133.
- Jones, D. M., Macken, W. J., & Murray, A. C. (1993). Disruption of visual short-term memory by changing-state auditory stimuli: The role of segmentation. *Memory & Cognition*, 21(3), 318-328.
- Jonides, J., & Smith, E. E. (1997). The architecture of working memory. In Rugg, M. D. (Ed). (1997). *Cognitive neuroscience. Studies in cognition*. (pp. 243-276). Cambridge: MIT Press.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99(1), 122-149.
- Kail, R. (1997). Processing time, imagery, and spatial memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 64(1), 67-78.
- Kail, R., & Hall, L. K. (2001). Distinguishing short-term memory from working memory. *Memory & Cognition*, 29(1), 1-9.

- Karatekin, C. (2004). A test of the integrity of the components of Baddeley's model of working memory in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *Journal of Child Psychology & Psychiatry*, 45(5), 912-926.
- Kaufmann, L. (2002). More evidence for the role of the central executive in retrieving arithmetic facts - A case study of severe developmental dyscalculia. *Journal of Clinical & Experimental Neuropsychology*, 24(3), 302-310.
- Kemps, E. (1999). Effects of complexity on visuo-spatial working memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, 11(3), 335-356.
- Kemps, E. (2001). Complexity effects in visuo-spatial working memory: Implications for the role of long-term memory. *Memory*, 9(1), 13-27.
- Kemps, E., De Rammelaere, S., & Desmet, T. (2000). The development of working memory: Exploring the complementarity of two models. *Journal of Experimental Child Psychology*, 77(2), 89-109.
- Kendall, M. G., & Ord, J.K. (1993). *Time series* (3rd. ed.). Sevenoaks: Arnold.
- Klatte, M., & Hellbrück, J. (1993). Der "Irrelevant Speech Effect": Wirkungen von Hintergrundschall auf das Arbeitsgedächtnis. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 40, 91-98.
- Klatte, M., Kilcher, H., & Hellbrück, J. (1995). Wirkungen der zeitlichen Struktur von Hintergrundschall auf das Arbeitsgedächtnis und ihre theoretischen und praktischen Implikationen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 42(4), 517-544.
- Klatte, M., Lee, N., & Hellbrück, J. (2002). Effects of irrelevant speech and articulatory suppression on serial recall of heard and read materials. *Psychologische Beiträge*, 44(2), 166-186.
- Klauer, K. C., & Stegmaier, R. (1997). Interference in immediate spatial memory: Shifts of spatial attention or central-executive involvement? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 50A(1), 79-99.
- Klicpera, C., & Gasteiger-Klicpera, B. (1995). *Psychologie der Lese- und Rechtschreibschwierigkeiten*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Korkman, M., & Pesonen, A.-E. (1994). A comparison of neuropsychological test profiles of children with attention deficit-hyperactivity disorder and/or learning disorder. *Journal of Learning Disabilities*, 27(6), 383-392.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity? *Intelligence*, 14(4), 389-433.

- LeCompte, D. C., Neely, C. B., & Wilson, J. R. (1997). Irrelevant speech and irrelevant tones: The relative importance of speech to the irrelevant speech effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, *23*(2), 472-483.
- LeCompte, D. C., & Shaibe, D. M. (1997). On the irrelevance of phonological similarity to the irrelevant speech effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, *50*(1), 100-118.
- Lehto, J. E. (1996). Are executive function tests dependent on working memory capacity? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *49A*(1), 29-50.
- Lehto, J. E., Juujarvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, *21*, 59-81.
- Logie, R. H. (1986). Visuo-spatial processing in working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *38A*, 229-247.
- Logie, R. H. (1989). Characteristics of visual short-term memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, *1*(4), 275-284.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove: Lawrence Erlbaum.
- Logie, R. H., & Baddeley, A. D. (1990). Imagery and working memory. In P. J. Hampson, D. F. Marks & T. E. Richardson (Eds.), *Imagery* (pp. 103-128). London: Routledge.
- Logie, R. H., Della Sala, S., Wynn, V., & Baddeley, A. D. (2000). Visual similarity effects in immediate verbal serial recall. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *A*, 626-646.
- Logie, R. H., Gilhooly, K. J., & Wynn, V. (1994). Counting on working memory in arithmetic problem solving. *Memory & Cognition*, *22*(4), 395-410.
- Logie, R. H., & Marchetti, C. (1991). Visuo-spatial working memory: Visual, spatial or central executive? In R. H. Logie & M. Denis (Eds.), *Mental images in human cognition*. (pp. 105-115). Oxford: North-Holland.
- Logie, R. H., & Pearson, D. G. (1997). The inner eye and the inner scribe of visuo-spatial working memory: Evidence from developmental fractionation. *European Journal of Cognitive Psychology*, *9*(3), 241-257.
- Logie, R. H., Zucco, G., & Baddeley, A. D. (1990). Interference with visual short-term memory. *Acta Psychologica*, *75*, 55-74.

- Loisy, C., & Roulin, J.-L. (2003). Multiple short-term storage: A task to evaluate the coordination function of the central executive., *International Journal of Psychology*, 38(1), 1-10.
- Luh, C. W. (1931). The avoidance of repetitive responses. *Psychological Review*, 38, 276-279.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163-203.
- Mähler, C., & Hasselhorn, M. (2001, September). "Achte auf den Fuchs - aber nur auf den Fuchs!" Zur Entwicklung einer zentral-exekutiven Arbeitsgedächtnisfunktion im Verlauf der Grundschuljahre. Paper presented at the 15. Tagung der Fachgruppe Entwicklungspsychologie der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Potsdam.
- Mähler, C., & Hasselhorn, M. (2003). Automatische Aktivierung des Rehearsalprozesses im phonologischen Arbeitsgedächtnis bei lernbehinderten Kindern und Erwachsenen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17(3), 255-260.
- Martens, R., Kemps, E., & Vandierendonck, A. (1999). The role of working memory in a double span task. *Psychologica Belgica*, 39(1), 15-27.
- McConnell, J., & Quinn, J. G. (2000). Interference in visual working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 53A(1).
- McCormack, T., Brown, G. D. A., Vousden, J. I., & Henson, R. N. A. (2000). Children's serial recall errors: Implications for theories of short-term memory development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76(3), 222-252.
- 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.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven plus minus two: Some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review*, 63(2), 81-87.
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. New York: Henry Holt.
- Mittenecker, E. (1958). Die Analyse "zufälliger" Reaktionsfolgen. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 5, 45-60.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.

- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., & Hegarty, M. (2001). How Are Visuospatial Working Memory, Executive Functioning, and Spatial Abilities Related? A Latent-Variable Analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 621-640.
- Miyake, A., & Shah, P. (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Montare, A. (1999). A reversed Turing Test of human random number generation. *Perceptual & Motor Skills*, 88(1), 138-146.
- Naveh-Benjamin, M. (1987). Coding of spatial location information: An automatic process? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 13(4), 595-605.
- Neuringer, A. (1986). Can people behave "randomly?": The role of feedback. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115(1), 62-75.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self regulation: Advances in research and theory* (pp. 1-18). New York: Plenum Press.
- Okura, M., & Ikuta, T. (in press). Reproducibility and performance in random number generation. *Tokushima Journal of Experimental Medicine*.
- Ornstein, P. A., Naus, M. J., & Stone, B. P. (1977). Rehearsal training and developmental differences in memory. *Developmental Psychology*, 13, 15-24.
- Parkin, A. J. (1998). The central executive does not exist. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4(5), 518-522.
- Pascual-Leone, J. (2000). Reflections on working memory: Are the two models complementary? *Journal of Experimental Child Psychology*, 77, 138-154.
- Pascual-Leone, J., & Baillargeon, R. (1994). Developmental measurement of mental attention. *International Journal of Behavioral Development*, 17(1), 161-200.
- Phillips, W. A. (1974). On the distinction between sensory storage and short-term visual memory. *Perception and Psychophysics*, 16, 283-290.
- Pickering, S. J., & Gathercole, S. E. (2004). Distinctive working memory profiles in children with special educational needs. *Educational Psychology*, 24(3), 393-408.
- 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. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 54A(2), 397-420.
- Postma, A., & De Haan, E. H. F. (1996). What was where? Memory for object locations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A(1), 178-199.
- Prabhakaran, V., Narayanan, K., Zhao, Z., & Gabrieli, J. D. E. (2000). Integration of diverse information in working memory within the frontal lobe. *Nature Neuroscience*, 3(1), 85-90.
- Quinn, G. (1988). Interference effects in the visuo-spatial sketchpad. In M. Denis, J. Engelkamp & J. T. E. Richardson (Eds.), *Cognitive and neuropsychological approaches to mental imagery* (pp. 181-189). Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Quinn, J. G., & McConnell, J. (1996a). Indications of the functional distinction between the components of visual working memory. *Psychologische Beiträge*, 38(3), 355-367.
- Quinn, J. G., & McConnell, J. (1996b). Irrelevant pictures in visual working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A(1), 200-215.
- Rabinowitz, F. M., Dunlap, W. P., Grant, M. J., & Campione, J. C. (1989). The rules used by children and adults in attempting to generate random numbers. *Journal of Mathematical Psychology*, 33(3), 227-287.
- Reitan, R. M. (1958). Validity of the Trail Making Test as an indicator of organic brain damage. *Perceptual & Motor Skills*, 8, 271-276.
- Robertson, C., Hazlewood, R., & Rawson, M. D. (1996). The effects of Parkinson's disease on the capacity to generate information randomly. *Neuropsychologia*, 34(11), 1069-1078.
- Roebbers, C. M., & Zoelch, C. (in press). Erfassung und Struktur des phonologischen und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses bei 4-jährigen Kindern. *Zeitschrift für Entwicklungs- und Pädagogische Psychologie*, 3.
- Ross, B. M., & Levy, N. (1958). Patterned predictions of chance events by children and adults. *Psychological Reports*, 4, 87-124.
- Russo, R., & Grammatopoulou, N. (2003). Word length and articulatory suppression affect short-term and long-term recall tasks. *Memory & Cognition*, 31(5), 728-737.
- Saito, S. (2001). The phonological loop and memory for rhythms: An individual differences approach. *Memory*, 9(4), 313-322.

- Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1982). Disruption of short-term memory by unattended speech: Implications for the structure of working memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 21, 150-164.
- Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1987). Noise, unattended speech and short-term memory. *Ergonomics*, 30(8), 1185-1194.
- Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1989). Effects of background music on phonological short-term memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 41A(1), 107-122.
- Salthouse, T. A. (2001). A research strategy for investigating group differences in a cognitive construct: Application to ageing and executive processes. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13(1), 29-46.
- Schumann-Hengsteler, R. (1993). Die Bedeutung von Strategien bei visuell-räumlichen Gedächtnisleistungen von Vorschulkindern. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 25(3), 243-252.
- Schumann-Hengsteler, R. (1995). *Die Entwicklung des visuell-räumlichen Gedächtnisses*. Göttingen: Hogrefe-Verlag für Psychologie.
- Schumann-Hengsteler, R., Strobl, M., & Zoelch, C. (2004). Temporal memory for locations: On the encoding of spatio-temporal information in children and adults. In G. L. Allen (Ed.), *Human spatial memory: remembering where*. (pp. 101-124). New York: Erlbaum.
- Seitz, K., & Schumann-Hengsteler, R. (2002). Phonological loop and central executive processes in mental addition and multiplication. *Psychologische Beiträge*, 44(2), 275-302.
- Seybel-Kröber, M. (2005). *Erfassung zentraler exekutiver Aufmerksamkeitsfokussierungs- und Inhibitionskapazität bei vier- bis zehnjährigen Kindern mittels einer Entscheidungsaufgabe*. Unpublished Diploma Thesis, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Eichstätt.
- Slak, S., Hirsch, K. A., & Syria, K. V. (1979). Randomization of univariate and bivariate sequences and baddeley's limited capacity hypothesis. *Journal of Psychology*, 103, 169-182.
- Smyth, M. M. (1996). Interference with rehearsal in spatial working memory in the absence of eye movements. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A(4), 940-949.
- Smyth, M. M., & Pelky, P. L. (1992). Short-term retention of spatial information. *British Journal of Psychology*, 83, 359-374.

- Smyth, M. M., & Pendleton, L. R. (1989). Working memory for movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 41A(2), 235-250.
- Smyth, M. M., & Scholey, K. A. (1992). Determining spatial span: The role of movement time and articulation rate. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 45A(3), 479-501.
- Spinnler, H., Della Sala, S., Bandera, R., & Baddeley, A. (1988). Dementia, ageing, and the structure of human memory. *Cognitive Neuropsychology*, 5(2), 193-211.
- Stiles, J., & Stern, C. (2001). Developmental change in spatial cognitive processing: Complexity effects and block construction performance in preschool children. *Journal of Cognition & Development*, 2(2), 157-187.
- Strobl, M., Strametz, D., & Schumann-Hengsteler, R. (2002). *Effekte der Aufgabenkomplexität und Matrixgröße auf die Matrix-Muster-Aufgabe* (Eichstätter Bericht zur Entwicklungs- und Pädagogischen Psychologie, Nr.22). Eichstätt: Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Sugimura, T., & Iwahara, S. (1958). Studies of spontaneous alternation in human subjects: I. Effects of inter-response intervals and heterogeneity of stimulus objects on response alternation in children. *Japanese Journal of Psychology*, 28, 358-365.
- Swanson, H. L. (1993). Working memory in learning disability subgroups. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56, 87-114.
- Swanson, H. L. (1999). What develops in working memory? A life span perspective. *Developmental Psychology*, 35(4), 986-1000.
- Swanson, H. L., & Howell, M. (2001). Working memory, short-term memory, and speech rate as predictors of children's reading performance at different ages. *Journal of Educational Psychology*, 93(4), 720-734.
- Swanson, H. L., & Sachse-Lee, C. (2001). Mathematical problem solving and working memory in children with learning disabilities: Both executive and phonological processes are important. *Journal of Experimental Child Psychology*, 79(3), 294-321.
- Sykulla, J., Mähler, C., & Hasselhorn, M. (2001, September). *Gedächtnisspanne im Kontext einer Doppelaufgabe: Zur Entwicklung zentral-exekutiver Koordinationskapazität*. Paper presented at the 15. Fachtagung der Fachgruppe Entwicklungspsychologie der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Potsdam.

- Thomas, H. B. (1969). Age and preferred information-rates in a randomization task. *Journal of Child Psychology & Psychiatry*, 10(3), 177-193.
- Thorn, A. S. C., & Gathercole, S. E. (2000). The development and impairment of working memory. *Revue de Neuropsychologie*, 10(3), 417-439.
- Toms, M., Morris, N., & Foley, P. (1994). Characteristics of visual interference with visuospatial working memory. *British Journal of Psychology*, 85, 131-144.
- Towse, J., & Hitch, G. J. (1995). Is there a relationship between task demand and storage space in tests of working memory capacity? *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 48(1), 108-124.
- Towse, J. N. (1998). On random generation and the central executive of working memory. *British Journal of Psychology*, 89(1), 77-101.
- Towse, J. N., Hitch, G. J., & Hutton, U. (1998). A reevaluation of working memory capacity in children. *Journal of Memory and Language*, 39, 195-217.
- Towse, J. N., Hitch, G. J., & Hutton, U. (2000). On the interpretation of working memory span in adults. *Memory & Cognition*, 28(3), 341-348.
- Towse, J. N., Hitch, G. J., & Hutton, U. (2002). On the nature of the relationship between processing activity and item retention in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 82(2), 156-184.
- Towse, J. N., & Houston-Price, C. M. T. (2001). Reflections on the concept of the central executive. In J. Andrade (Ed.), *Working memory in perspective* (pp. 240-260). Philadelphia: Psychology Press.
- Towse, J. N., & Mclachlan, A. (1999a). *A developmental study of random generation in children* (Technical report No. CDRG6). London: Royal Holloway University.
- Towse, J. N., & Mclachlan, A. (1999b). An exploration of random generation among children. *British Journal of Developmental Psychology*, 17, 363-380.
- Towse, J. N., & Neil, D. (1998). Analyzing human random generation behavior: A review of methods used and a computer program for describing performance. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 30(4), 583-591.
- Towse, J. N., & Valentine, J. D. (1997). Random generation of numbers: A search for underlying processes. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9(4), 381-400.
- Treisman, M., & Faulkner, A. (1987). Generation of random sequences by human subjects: Cognitive operations or psychological process? *Journal of Experimental Psychology: General*, 116(4), 337-355.

- Tuholski, S., Engle, R. W., & Baylis, G. (2001). Individual differences in working memory capacity and enumeration. *Memory and Cognition*, 29(3), 484-492.
- Tulving, E. (1989). Memory: Performance, knowledge, and experience. *European Journal of Cognitive Psychology*, 1(1), 3-26.
- Tune, G. S. (1964). A brief survey of variables that influence random-generation. *Perceptual & Motor Skills*, 18(3), 705-710.
- Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory & Language*, 28(2), 127-154.
- Van der Linden, M., Beerten, A., & Pesenti, M. (1998). Age-related differences in random generation. *Brain & Cognition*, 38(1), 1-16.
- Van der Linden, M., Coyette, F., & Seron, X. (1992). Selective impairment of the "central executive" component of working memory: A single case study. *Cognitive Neuropsychology*, 9(4), 301-326.
- Vandierendonck, A. (2000). Is judgment of random time intervals biased and capacity-limited? *Psychological Research*, 63(2), 199-209.
- Vandierendonck, A., De Vooght, G., & Van der Goten, K. (1998a). Does random time interval generation interfere with working memory executive functions? *European Journal of Cognitive Psychology*, 10(4), 413-442.
- Vandierendonck, A., De Vooght, G., & Van der Goten, K. (1998b). Interfering with the central executive by means of a random interval repetition task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 51A(1), 197-218.
- Vandierendonck, A., Kemps, E., Fastame, M. C., & Szmalec, A. (2004). Working memory components of the Corsi blocks task. *British Journal of Psychology*, 95(1), 57-79.
- Vandierendonck, A., Szmalec, A., & Kemps, E. (2002, 25-26 July). *Decision-making as a component of executive control*. Paper presented at the International Symposium on Executive Functions, Konstanz, Germany.
- Wagenaar, W. A. (1970). Subjective randomness and the capacity to generate information. *Acta Psychologica, Amsterdam*, 33, 233-242.
- Wagenaar, W. A. (1972). Generation of random sequences by human subjects: A critical survey of literature. *Psychological Bulletin*, 77(1), 65-72.
- Walker, P., Hitch, G. J., & Duroe, S. (1993). The effect of visual similarity on short-term memory for spatial location: implications for the capacity of visual short-term memory. *Acta Psychologica*, 83, 203-224.

- Warren, P. A., & Morin, R. E. (1965). Random generation: Number of symbols to be randomized and time per response. *Psychonomic Science*, 3(12), 557-558.
- Weiss, R. L. (1964). On producing random responses. *Psychological Reports*, 14(3), 931-941.
- Weiss, R. L. (1965). "Variables that influence Random-Generation": An alternative hypothesis. *Perceptual & Motor Skills*, 20(1), 307-310.
- Wiegersma, S. (1976). Response generation: Type of analysis and the limited capacity hypothesis. *Acta Psychologica*, 40(4), 331-342.
- Wiegersma, S. (1984). Forward and backward continuations in produced number sequences. *Perceptual & Motor Skills*, 58(3), 735-741.
- Wieland-Eckelmann, R., Kleinbeck, U., Schwarz, R., & Häcker, H. (1989). The assessment of mental workload in dual-task performance: Task-specific and task-unspecific influences. In K. Landau & W. Rohmert (Eds.), *Recent developments in job analysis* (pp. 237-251). London: Taylor & Francis.
- Wilson, J. T. L., Scott, J. H., & Power, K. G. (1987). Developmental differences in the span of visual memory for pattern. *British Journal of Developmental Psychology*, 5, 249-255.
- Wolitzky, D. L., & Spence, D. P. (1968). Individual consistencies in the random generation of choices. *Perceptual & Motor Skills*, 26(3), 1211-1214.
- Wright, I., Waterman, M., Prescott, H., & Murdoch-Eaton, D. (2003). A new Stroop-like measure of inhibitory function development: Typical developmental trends. *Journal of Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines*, 44(4), 561-575.
- Zelazo, P. D., & Mueller, U. (2003). Executive function in typical and atypical development. In U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 445-469). Malden: Blackwell Publishers.
- Zelazo, P. D., Mueller, U., Frye, D., & Marcovitch, S. (2003). The development of executive function. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 68(3), 11-27.
- Zimmer, H. D., & Speiser, H. R. (2002). The irrelevant picture effect in visuo-spatial working memory: Fact or fiction?, *Psychologische Beiträge*, 44, 223-247.
- Zimmer, H. D., Speiser, H. R., & Seidler, B. (2003). Spatio-temporal working-memory and short-term object-location tasks use different memory mechanisms. *Acta Psychologica*, 114(1), 41-65.

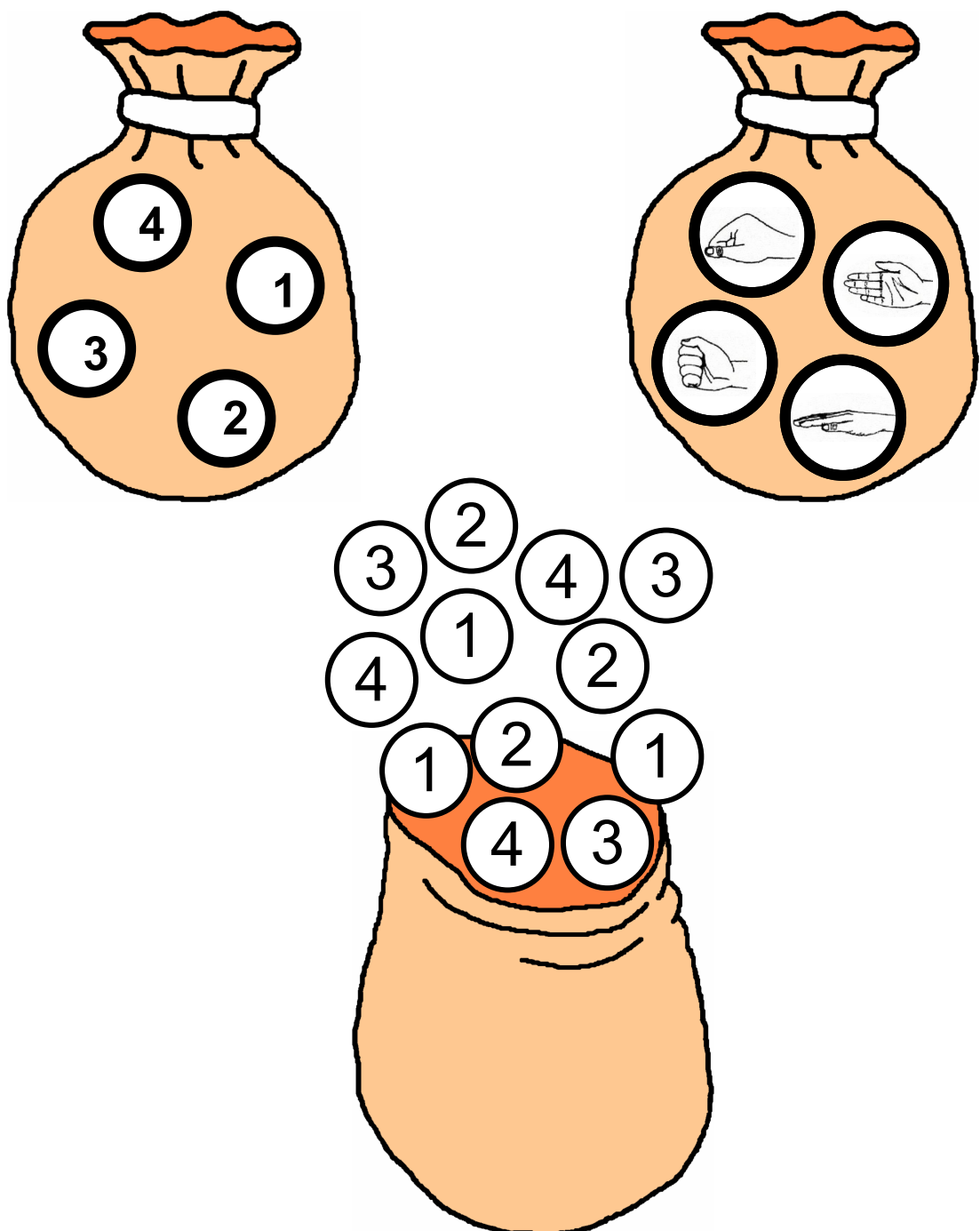
- Zoelch, C., Gaupp, N., & Schumann-Hengsteler, R. (2003, April). *Different course of development for different central executive processes?* Paper presented at the Biennial Meeting of the Society for Research on Child Development, Tampa, FL.
- Zoelch, C., Jung, S., & Schumann-Hengsteler, R. (2000, December). *Central executive interference in a spatial working memory task.* Paper presented at the International Conference on Spatial Cognition, Rome, Italy.
- Zoelch, C., & Schumann-Hengsteler, R. (1999, September). *Determinants of complexity in the Corsi-Block-Tapping-Task.* Paper presented at the European Society for Cognitive Psychology, Gent, Belgium.
- Zoelch, C., & Schumann-Hengsteler, R. (2003, September). *Nutzen jüngere Kinder Strategien zum kurzfristigen Halten visuell-räumlicher Information?* Paper presented at the 16. Tagung der Fachgruppe Entwicklungspsychologie der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Mainz.
- Zoelch, C., Seitz, K., & Schumann-Hengsteler, R. (2001, September). *Arbeitsgedächtnisprozesse beim Erwerb des Kopfrechnens: Die Rolle der zentralen Exekutive.* Paper presented at the 16. Tagung der Fachgruppe Entwicklungspsychologie der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Potsdam.
- Zoelch, C., Seitz, K., & Schumann-Hengsteler, R. (2005). From rag(bag)s to riches: Measuring the developing central executive. In W. Schneider, R. Schumann-Hengsteler & B. Sodian (Eds.), *Young children's cognitive development: Interrelationships among executive functioning, working memory, verbal ability, and theory of mind.* (pp. 39-69): Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Zucha, R. (1969). *Der Zusammenhang zwischen Hirnläsionen und Wahrnehmungs- sowie Koordinationsstörungen.* Wien: Universität Wien.
- Zwicklbauer, C. (2005). *Phonologische, visuell-räumliche und zentral-exekutive Arbeitsgedächtnisleistungen bei jüngeren und älteren Erwachsenen.* Unpublished Diploma Thesis, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Eichstätt.

VII. Anhang

1. Anhang 1: Experiment 1

1.1 Untersuchungsmaterial

Ereignisraumpräsentation 4 Zahlen und 4 Handbewegungen – Abbildung „Sack wird geschüttelt“



Instruktion Experiment 1Ereignisraum: 1, 2, 3, 4

Instruktion	Material
<p>Schau mal, ich habe hier auf dieser Karte Zahlen. Ließ mir die Zahlen doch bitte einmal vor! Gut. Für uns sind jetzt nur die Zahlen 1, 2, 3 und 4 wichtig.</p> <p>Hier auf der nächsten Karte sind ganz viele Kugeln, auf denen die Zahlen 1, 2, 3 und 4 stehen. Schau mal!</p> <p>Jetzt stellen wir uns vor, wir würden die Kugeln in einen großen Sack werfen und den Sack ganz fest schütteln. Was würde da passieren? Genau! Die Zahlenkugeln kommen ganz durcheinander. Das sehen wir, wenn wir den Sack nun ausschütten.</p> <p>Schau mal, wie durcheinander die Zahlen nun sind! Zahlenreihe besprechen - ganz durcheinander - Hier kommt eine Zahl zweimal hintereinander, das ist nicht ungewöhnlich und kann schon mal öfter passieren - alle Zahlen von 1-4 kommen etwa gleich oft vor</p> <p>So eine Zahlenreihe sollst du dir nun ausdenken. Du sollst die Zahlen 1, 2, 3 und 4 ganz durcheinander aufsagen und eine ganz lange Zahlenreihe bilden. Dabei ist es wichtig, dass du die Zahlen ganz durcheinander sagst. Und weil ich die Zahlen aufschreiben möchte, ist es wichtig, dass du langsam sprichst. Du sollst nach jeder Zahl eine kleine Pause machen. Ich mach dir mal vor, wie sich das anhört. ... Probier du das bitte mal! Ich helfe dir auch mit der Geschwindigkeit. Ich klopfe mit dem Finger auf den Tisch und immer wenn ich klopfe sagst du eine Zahl. Wenn du die richtige Geschwindigkeit hast, dann hör ich auf mit dem Klopfen, aber du machst trotzdem weiter.</p> <p>Bevor wir jetzt richtig anfangen, nehme ich die Karte mit den Zahlen, jetzt must die Zahlen im Kopf behalten</p> <p>Alles klar</p> <p>Okay? Dann versuchen wir es mal. (2-Sekunden-Takt vorklopfen und nach etwa 4 Zahlen aufhören) ... Auf Antwort eingehen, verbessern usw.</p> <p>Das war sehr gut. Jetzt können wir richtig anfangen. Hast du noch Fragen? Gut, dann geht es los.</p> <p>Wenn Kind zu schnell oder zu langsam wird, kurzzeitig Takt vorgeben!</p>	<p>Vorlage mit den Zahlen 1, 2, 3, 4</p> <p>Vorlage mit den Zahlen 1, 2, 3, 4 auf Kugeln</p> <p>Vorlage „Alles kommt in einen Sack.“ Vorlage „Der Sack wird geschüttelt.“</p> <p>Vorlage „Der Sack wird ausgeleert“ (Zufallsreihe 1-4)</p> <p>Vorlage 1-4 wegnehmen</p>

1.2 Tabellen

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichung von *Redundancy* in Experiment 1

	motor-offen		motor-geschl		verbal-offen		verbal-geschl	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	3.62	5.56	0.77	1.02	0.93	1.24	8.78	13.63
9-Jährige	1.20	1.44	0.64	1.02	0.44	0.42	1.47	4.19
Erwachsene	1.33	1.24	0.66	0.78	0.58	0.43	0.53	0.37

Tabelle 2: Mittelwerte und Standardabweichung von *Random Number Generation* in Experiment 1

	motor-offen		motor-geschl		verbal-offen		verbal-geschl	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	0.63	0.05	0.63	0.07	0.68	0.12	0.70	0.12
9-Jährige	0.61	0.03	0.60	0.03	0.56	0.03	0.57	0.05
Erwachsene	0.61	0.08	0.58	0.04	0.56	0.03	0.55	0.02

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichung von *Adjacency* in Experiment 1

	motor-offen		motor-geschl		verbal-offen		verbal-geschl	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	45.95	7.63	49.60	11.87	54.76	10.69	43.89	14.30
9-Jährige	45.49	8.29	40.42	8.37	45.76	7.47	44.79	8.33
Erwachsene	52.78	13.28	38.12	7.02	42.36	5.29	40.21	6.41

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichung von *Phi 2* in Experiment 1

	motor-offen		motor-geschl		verbal-offen		verbal-geschl	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	-15.49	3.86	-13.93	3.45	-15.66	2.22	-17.03	5.30
9-Jährige	-14.96	3.98	-13.60	4.62	-10.61	3.74	-10.72	5.32
Erwachsene	-12.25	6.75	-9.82	8.20	-8.78	7.33	-6.86	6.41

2. Anhang 2: Experiment 2

2.1 Mittelwerte und Standardabweichungen

Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichung für *Redundancy* motorisch in Experiment 2

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2		Zeitpunkt 3	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	1.64	1.67	1.68	1.80	2.02	2.90
Grundschule 2. Klasse	0.78	0.55	0.95	1.31	1.33	1.98
Grundschule 4. Klasse	0.72	0.66	0.66	0.43	0.94	0.90
Erwachsene	0.94	0.87	1.04	1.10	1.28	2.17

Tabelle 7: Mittelwerte und Standardabweichung für *Redundancy* räumlich in Experiment 2

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2		Zeitpunkt 3	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	1.10	1.34	1.35	2.29	1.22	1.00
Grundschule 2. Klasse	0.56	0.70	1.04	1.08	0.79	0.52
Grundschule 4. Klasse	0.82	0.84	0.70	1.26	0.78	0.61
Erwachsene	0.62	0.61	1.02	1.09	0.72	1.01

Tabelle 8: Mittelwerte und Standardabweichung für *Redundancy* verbal in Experiment 2

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2		Zeitpunkt 3	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	1.92	3.94	2.17	1.99	2.96	2.88
Grundschule 2. Klasse	0.83	0.72	1.30	2.11	1.35	1.78
Grundschule 4. Klasse	0.39	0.32	0.90	0.58	0.70	0.65
Erwachsene	0.40	0.33	0.50	0.48	0.40	0.41

Tabelle 10: Mittelwerte und Standardabweichung für *RNG* motorisch in Experiment 2

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2		Zeitpunkt 3	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	0.61	0.03	0.62	0.03	0.63	0.04
Grundschule 2. Klasse	0.60	0.04	0.65	0.06	0.64	0.05
Grundschule 4. Klasse	0.61	0.02	0.62	0.04	0.61	0.05
Erwachsene	0.59	0.04	0.61	0.06	0.61	0.05

Tabelle 11: Mittelwerte und Standardabweichung für *RNG* räumlich in Experiment 2

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2		Zeitpunkt 3	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	0.61	0.02	0.63	0.05	0.63	0.05
Grundschule 2. Klasse	0.59	0.05	0.63	0.02	0.61	0.03
Grundschule 4. Klasse	0.61	0.05	0.62	0.04	0.62	0.05
Erwachsene	0.61	0.09	0.60	0.04	0.61	0.07

Tabelle 12: Mittelwerte und Standardabweichung für *RNG* verbal in Experiment 2

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2		Zeitpunkt 3	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	0.58	0.03	0.58	0.03	0.59	0.06
Grundschule 2. Klasse	0.60	0.03	0.58	0.03	0.59	0.04
Grundschule 4. Klasse	0.59	0.04	0.58	0.03	0.58	0.03
Erwachsene	0.55	0.03	0.56	0.03	0.57	0.04

Tabelle 14 Mittelwerte und Standardabweichung für *Adjacency* motorisch in Experiment 2

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2		Zeitpunkt 3	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	59.56	7.99	59.21	10.11	55.53	12.05
Grundschule 2. Klasse	57.88	6.46	58.64	10.87	56.21	8.95
Grundschule 4. Klasse	57.89	8.18	57.22	9.63	55.89	10.14
Erwachsene	46.56	10.39	44.72	10.69	44.83	11.19

Tabelle 15: Mittelwerte und Standardabweichung für *Adjacency* räumlich in Experiment 2

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2		Zeitpunkt 3	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	43.33	7.07	44.30	5.99	45.35	7.73
Grundschule 2. Klasse	43.79	6.24	42.12	5.11	45.61	4.10
Grundschule 4. Klasse	49.00	6.63	48.33	7.01	47.67	8.30
Erwachsene	40.00	11.07	38.44	7.59	38.78	9.59

Tabelle 16: Mittelwerte und Standardabweichung für *Adjacency* verbal in Experiment 2

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2		Zeitpunkt 3	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	45.61	5.48	44.30	7.66	44.74	10.79
Grundschule 2. Klasse	44.70	9.21	46.52	8.86	46.37	10.85
Grundschule 4. Klasse	48.89	7.52	49.89	4.98	48.55	7.15
Erwachsene	42.83	6.64	43.28	8.22	45.39	9.74

Tabelle 18: Mittelwerte und Standardabweichung für *Phi 2* motorisch in Experiment 2

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2		Zeitpunkt 3	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	-13.42	5.13	-15.76	2.48	-14.59	3.53
Grundschule 2. Klasse	-13.59	4.30	-15.50	4.35	-15.67	4.37
Grundschule 4. Klasse	-15.31	4.67	-15.77	2.84	-14.96	3.54
Erwachsene	-10.77	7.39	-11.99	7.84	-13.34	5.64

Tabelle 19: Mittelwerte und Standardabweichung für *Phi 2* räumlich in Experiment 2

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2		Zeitpunkt 3	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	-13.76	6.26	-15.77	3.36	-15.58	3.10
Grundschule 2. Klasse	-13.93	1.48	-17.19	0.81	-15.33	1.79
Grundschule 4. Klasse	-13.63	4.71	-15.32	4.00	-14.25	3.69
Erwachsene	-12.23	6.12	-12.72	5.26	-12.33	6.13

Tabelle 20: Mittelwerte und Standardabweichung für *Phi 2* verbal in Experiment 2

	Zeitpunkt 1		Zeitpunkt 2		Zeitpunkt 3	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	-10.92	5.44	-11.97	3.75	-10.84	5.71
Grundschule 2. Klasse	-12.44	4.27	-12.33	3.74	-13.08	5.02
Grundschule 4. Klasse	-13.42	3.76	-13.36	3.09	-11.90	4.44
Erwachsene	-8.35	4.16	-9.92	4.20	-10.46	5.44

2.2 Effektgrößen

1. Effektgrößen für den *Redundancy*-Index zu Altersunterschieden in Experiment 2

Effektgrößen ε für den Redundancy-Index zu den Altersdifferenzen in den drei Itempools motorisch, räumlich und verbal über drei Testzeitpunkte in Experiment 2

motorisch (4 Handbewegungen)					räumlich (4 Positionen)					verbal (Zahlen 1-4)				
Z1	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z1	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z1	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.69				2. Klasse	0.50				2. Klasse	0.38			
4. Klasse	0.72	0.09			4. Klasse	0.25	0.33			4. Klasse	0.55	0.80		
Erwachs.	0.52	0.23	0.29		Erwachs.	0.47	0.08	0.27		Erwachs.	0.54	0.76	0.05	
Z2	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z2	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z2	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.47				2. Klasse	0.17				2. Klasse	0.42			
4. Klasse	0.78	0.29			4. Klasse	0.35	0.30			4. Klasse	0.86	0.26		
Erwachs.	0.43	0.08	0.46		Erwachs.	0.18	0.02	0.27		Erwachs.	1.15	0.52	0.75	
Z3	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z3	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z3	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.28				2. Klasse	0.54				2. Klasse	0.67			
4. Klasse	0.50	0.25			4. Klasse	0.53	0.01			4. Klasse	1.08	0.48		
Erwachs.	0.29	0.02	0.20		Erwachs.	0.50	0.09	0.08		Erwachs.	1.24	0.73	0.55	

Die Effektgröße für t-Tests bei abhängigen und unabhängigen Stichproben wird als ε bzw. ε' angegeben und entspricht mit $\varepsilon / \varepsilon' = .20$ einem kleinen Effekt, $\varepsilon / \varepsilon' = .50$ einem mittleren Effekt und $\varepsilon / \varepsilon' = .80$ einem großen Effekt (vgl. Bortz & Döring, 1995; Bortz, 1993). Z1 - Z3 = Zeitpunkt 1 – Zeitpunkt 3, Kinderg. = Kindergarten, Erwachs. = Erwachsene

2. Effektgrößen für den RNG-Index zu Altersunterschieden in Experiment 2

Effektgrößen ε für den RNG-Index zu den Altersdifferenzen in den drei Itempools motorisch, räumlich und verbal über drei Testzeitpunkte in Experiment 2

motorisch (4 Handbewegungen)					räumlich (4 Positionen)					verbal (Zahlen 1-4)				
Z1	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z1	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z1	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.04				2. Klasse	0.33				2. Klasse	0.67			
4. Klasse	0.18	0.19			4. Klasse	0.15	0.39			4. Klasse	0.25	0.36		
Erwachs.	0.32	0.25	0.51		Erwachs.	0.08	0.25	0.01		Erwachs.	1.09	1.79	1.22	
Z2	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z2	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z2	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.66				2. Klasse	0.01				2. Klasse	0.07			
4. Klasse	0.04	0.55			4. Klasse	0.23	0.34			4. Klasse	0.12	0.05		
Erwachs.	0.05	0.56	0.08		Erwachs.	0.56	0.81	0.40		Erwachs.	0.72	0.72	0.59	
Z3	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z3	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z3	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.17				2. Klasse	0.37				2. Klasse	0.02			
4. Klasse	0.57	0.66			4. Klasse	0.20	0.13			4. Klasse	0.33	0.41		
Erwachs.	0.61	0.69	0.00		Erwachs.	0.37	0.12	0.20		Erwachs.	0.52	0.66	0.27	

Die Effektgröße für t-Tests bei abhängigen und unabhängigen Stichproben wird als ε bzw. ε' angegeben und entspricht mit $\varepsilon / \varepsilon' = .20$ einem kleinen Effekt, $\varepsilon / \varepsilon' = .50$ einem mittleren Effekt und $\varepsilon / \varepsilon' = .80$ einem großen Effekt (vgl. Bortz & Döring, 1995; Bortz, 1993). Z1 - Z3 = Zeitpunkt 1 – Zeitpunkt 3, Kinderg. = Kindergarten, Erwachs. = Erwachsene

3. Effektgrößen für den Adjacency-Index zu Altersunterschieden in Experiment 2

Effektgrößen ε für den Adjacency-Index zu den Altersdifferenzen in den drei Itempools motorisch, räumlich und verbal über drei Testzeitpunkte in Experiment 2

motorisch (4 Handbewegungen)					räumlich (4 Positionen)					verbal (Zahlen 1-4)				
Z1	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z1	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z1	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.23				2. Klasse	0.07				2. Klasse	0.12			
4. Klasse	0.21	0.00			4. Klasse	0.83	0.81			4. Klasse	0.50	0.50		
Erwachs.	1.40	1.31	1.21		Erwachs.	0.36	0.42	0.99		Erwachs.	0.46	0.23	0.85	
Z2	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z2	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z2	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.05				2. Klasse	0.39				2. Klasse	0.27			
4. Klasse	0.20	0.14			4. Klasse	0.62	1.01			4. Klasse	0.87	0.47		
Erwachs.	1.39	1.29	1.23		Erwachs.	0.86	0.57	1.35		Erwachs.	0.13	0.38	0.97	
Z3	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z3	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z3	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.06				2. Klasse	0.04				2. Klasse	0.15			
4. Klasse	0.03	0.03			4. Klasse	0.29	0.31			4. Klasse	0.42	0.24		
Erwachs.	0.92	1.12	1.04		Erwachs.	0.75	0.93	0.99		Erwachs.	0.06	0.09	0.37	

Die Effektgröße für t-Tests bei abhängigen und unabhängigen Stichproben wird als ε bzw. ε' angegeben und entspricht mit $\varepsilon / \varepsilon' = .20$ einem kleinen Effekt, $\varepsilon / \varepsilon' = .50$ einem mittleren Effekt und $\varepsilon / \varepsilon' = .80$ einem großen Effekt (vgl. Bortz & Döring, 1995; Bortz, 1993). Z1 - Z3 = Zeitpunkt 1 – Zeitpunkt 3, Kinderg. = Kindergarten, Erwachs. = Erwachsene

4. Effektgrößen für den Phi 2-Index zu Altersunterschieden in Experiment 2

Effektgrößen ε für den Phi 2-Index zu den Altersdifferenzen in den drei Itempools motorisch, räumlich und verbal über drei Testzeitpunkte in Experiment 2

motorisch (4 Handbewegungen)					räumlich (4 Positionen)					verbal (Zahlen 1-4)				
Z1	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z1	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z1	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.04				2. Klasse	0.04				2. Klasse	0.31			
4. Klasse	0.39	0.38			4. Klasse	0.02	0.08			4. Klasse	0.53	0.24		
Erwachs.	0.42	0.47	0.73		Erwachs.	0.25	0.38	0.26		Erwachs.	0.53	0.97	1.28	
Z2	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z2	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z2	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.07				2. Klasse	0.58				2. Klasse	0.10			
4. Klasse	0.01	0.08			4. Klasse	0.12	0.65			4. Klasse	0.41	0.30		
Erwachs.	0.65	0.55	0.64		Erwachs.	0.69	1.19	0.56		Erwachs.	0.51	0.61	0.93	
Z3	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z3	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	Z3	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.27				2. Klasse	0.10				2. Klasse	0.42			
4. Klasse	0.10	0.18			4. Klasse	0.39	0.37			4. Klasse	0.21	0.25		
Erwachs.	0.26	0.46	0.34		Erwachs.	0.67	0.66	0.38		Erwachs.	0.07	0.50	0.29	

Die Effektgröße für t-Tests bei abhängigen und unabhängigen Stichproben wird als ε bzw. ε' angegeben und entspricht mit $\varepsilon / \varepsilon' = .20$ einem kleinen Effekt, $\varepsilon / \varepsilon' = .50$ einem mittleren Effekt und $\varepsilon / \varepsilon' = .80$ einem großen Effekt (vgl. Bortz & Döring, 1995; Bortz, 1993). Z1 - Z3 = Zeitpunkt 1 – Zeitpunkt 3, Kinderg. = Kindergarten, Erwachs. = Erwachsene

3. Anhang 3: Experiment 3

3.1 Mittelwerte und Standardabweichungen

Tabelle 24: Mittelwerte und Standardabweichungen für *Redundancy* (standardisiert) in Experiment 3

	motorisch				4 Zahlen				10 Zahlen			
	dynamisch		ohne		dynamisch		ohne		dynamisch		ohne	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	-0.91	0.48	1.24	3.07	-0.82	0.81	0.80	2.65	0.01	2.17	1.73	1.93
2. Klasse	-0.91	0.60	0.36	2.07	-1.04	0.29	-0.74	0.63	-1.28	0.44	0.06	1.45
4. Klasse	-1.00	0.29	-0.09	2.68	-1.11	0.16	-0.90	0.50	-1.24	0.57	-0.29	0.76
Erwachsene	-0.99	0.34	-0.50	0.90	-1.03	0.21	-1.00	0.35	-1.32	0.45	-1.08	0.42

Tabelle 26: Mittelwerte und Standardabweichungen für *RNG* (standardisiert) in Experiment 3

	motorisch				4 Zahlen				10 Zahlen			
	dynamisch		ohne		dynamisch		ohne		dynamisch		ohne	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	0.14	0.11	0.15	0.07	0.12	0.10	0.11	0.10	0.26	0.25	0.43	0.24
2. Klasse	0.13	0.05	0.15	0.08	0.11	0.07	0.08	0.06	0.13	0.12	0.30	0.20
4. Klasse	0.09	0.06	0.10	0.07	0.09	0.04	0.06	0.04	0.09	0.09	0.14	0.10
Erwachsene	0.11	0.07	0.13	0.06	0.09	0.05	0.06	0.04	0.03	0.07	0.00	0.08

Tabelle 30: Mittelwerte und Standardabweichungen für *RNG* (standardisiert) in Experiment 3

	motorisch				4 Zahlen				10 Zahlen			
	dynamisch		ohne		dynamisch		ohne		dynamisch		ohne	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	2.56	1.63	3.59	1.85	1.34	1.45	1.34	1.92	4.78	2.41	5.12	2.93
2. Klasse	2.81	1.19	3.28	2.05	1.14	1.47	2.20	1.26	2.42	2.04	4.93	3.30
4. Klasse	2.51	1.10	2.60	1.39	0.67	0.78	1.44	1.14	0.64	2.24	3.36	1.94
Erwachsene	1.85	1.35	1.62	1.61	0.96	0.95	0.88	1.04	-0.63	1.44	1.02	2.00

Tabelle 34: Mittelwerte und Standardabweichungen für *Phi 2* (standardisiert) in Experiment 3

	motorisch				4 Zahlen				10 Zahlen			
	dynamisch		ohne		dynamisch		ohne		dynamisch		ohne	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	-17.4	3.5	-17.4	4.7	-16.8	4.1	-13.4	7.4	-5.1	1.3	-3.3	5.4
2. Klasse	-17.4	4.6	-16.9	7.1	-16.5	4.6	-14.2	5.1	-4.5	1.9	-4.0	2.2
4. Klasse	-17.0	4.1	-15.3	5.1	-16.8	3.3	-15.0	3.7	-4.5	1.1	-4.0	2.3
Erwachsene	-17.9	3.8	-17.9	4.1	-17.6	3.7	-15.3	4.2	-4.7	1.0	-4.7	1.4

3.2 Effektgrößen

1. Effektgrößen für den Redundancy-Index zu Altersunterschieden in Experiment 3

Effektgrößen ε für den Redundancy-Index zu den Altersdifferenzen in den drei Itempools 4 Handbewegungen, 4 Zahlen und 10 Zahlen in Experiment 2

4 Handbewegungen					Zahlen 1-4					Zahlen 1-10				
dynam.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	dynam.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	dynam.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.01				2. Klasse	0.37				2. Klasse	0.83			
4. Klasse	0.23	0.18			4. Klasse	0.50	0.27			4. Klasse	0.79	0.09		
Erwachs.	0.21	0.17	0.01		Erwachs.	0.35	0.07	0.43		Erwachs.	0.85	0.08	0.15	
ohne V.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	ohne Vorlage	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	ohne Vorlage	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.34				2. Klasse	0.80				2. Klasse	0.98			
4. Klasse	0.46	0.18			4. Klasse	0.89	0.29			4. Klasse	1.38	0.30		
Erwachs.	0.77	0.54	0.21		Erwachs.	0.95	0.52	0.24	0.00	Erwachs.	2.00	1.06	1.27	

Die Effektgröße für t-Tests bei abhängigen und unabhängigen Stichproben wird als ε bzw. ε' angegeben und entspricht mit $\varepsilon / \varepsilon' = .20$ einem kleinen Effekt, $\varepsilon / \varepsilon' = .50$ einem mittleren Effekt und $\varepsilon / \varepsilon' = .80$ einem großen Effekt (vgl. Bortz & Döring, 1995; Bortz, 1993). dynam. = dynamische Itempoolpräsentation; ohne V. = ohne Ereignisraumpräsentation; Kinderg. = Kindergarten, Erwachs. = Erwachsene

2. Effektgrößen für den RNG-Index zu Altersunterschieden in Experiment 3

Effektgrößen ε für den RNG-Index zu den Altersdifferenzen in den drei Itempools 4 Handbewegungen, 4 Zahlen und 10 Zahlen in Experiment 2

4 Handbewegungen					Zahlen 1-4					Zahlen 1-10				
dynam.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	dynam.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	dynam.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.15				2. Klasse	0.22				2. Klasse	0.70			
4. Klasse	0.51	0.59			4. Klasse	0.50	0.35			4. Klasse	0.92	0.35		
Erwachs.	0.28	0.21	0.29		Erwachs.	0.45	0.27	0.09		Erwachs.	1.27	1.01	0.76	
ohne V.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	ohne Vorlage	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	ohne Vorlage	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.06				2. Klasse	0.43				2. Klasse	0.55			
4. Klasse	0.70	0.73			4. Klasse	0.64	0.25			4. Klasse	1.55	1.03		
Erwachs.	0.26	0.31	0.49		Erwachs.	0.66	0.29	0.06		Erwachs.	2.40	2.01	1.59	

Die Effektgröße für t-Tests bei abhängigen und unabhängigen Stichproben wird als ε bzw. ε' angegeben und entspricht mit $\varepsilon / \varepsilon' = .20$ einem kleinen Effekt, $\varepsilon / \varepsilon' = .50$ einem mittleren Effekt und $\varepsilon / \varepsilon' = .80$ einem großen Effekt (vgl. Bortz & Döring, 1995; Bortz, 1993). dynam. = dynamische Itempoolpräsentation; ohne V. = ohne Ereignisraumpräsentation; Kinderg. = Kindergarten, Erwachs. = Erwachsene

3. Effektgrößen für den Adjacency-Index zu Altersunterschieden in Experiment 3

Effektgrößen ε für den Adjacency-Index zu den Altersdifferenzen in den drei Itempools 4 Handbewegungen, 4 Zahlen und 10 Zahlen in Experiment 2

4 Handbewegungen					Zahlen 1-4					Zahlen 1-10				
dynam.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	dynam.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	dynam.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.17				2. Klasse	0.14				2. Klasse	1.06			
4. Klasse	0.04	0.26			4. Klasse	0.58	0.40			4. Klasse	1.78	0.83		
Erwachs.	0.48	0.75	0.53		Erwachs.	0.31	0.14	0.34		Erwachs.	2.73	1.73	0.68	
ohne V.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	ohne Vorlage	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	ohne Vorlage	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.16				2. Klasse	0.52				2. Klasse	0.06			
4. Klasse	0.61	0.39			4. Klasse	0.06	0.63			4. Klasse	0.71	0.58		
Erwachs.	1.14	0.91	0.65		Erwachs.	0.30	1.14	0.51		Erwachs.	1.63	1.43	1.19	

Die Effektgröße für t-Tests bei abhängigen und unabhängigen Stichproben wird als ε bzw. ε' angegeben und entspricht mit $\varepsilon / \varepsilon' = .20$ einem kleinen Effekt, $\varepsilon / \varepsilon' = .50$ einem mittleren Effekt und $\varepsilon / \varepsilon' = .80$ einem großen Effekt (vgl. Bortz & Döring, 1995; Bortz, 1993). dynam. = dynamische Itempoolpräsentation; ohne V. = ohne Ereignisraumpräsentation; Kinderg. = Kindergarten, Erwachs. = Erwachsene

4. Effektgrößen für den Phi 2-Index zu Altersunterschieden in Experiment 3

Effektgrößen ε für den Phi 2-Index zu den Altersdifferenzen in den drei Itempools 4 Handbewegungen, 4 Zahlen und 10 Zahlen in Experiment 2

4 Handbewegungen					Zahlen 1-4					Zahlen 1-10				
dynam.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	dynam.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	dynam.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.00				2. Klasse	0.08				2. Klasse	0.40			
4. Klasse	0.09	0.08			4. Klasse	0.01	0.08			4. Klasse	0.54	0.01		
Erwachs.	0.14	0.12	0.21		Erwachs.	0.20	0.27	0.23		Erwachs.	0.41	0.11	0.16	
ohne V.	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	ohne Vorlage	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.	ohne Vorlage	Kinderg.	2. Klasse	4. Klasse	Erwachs.
Kinderg.					Kinderg.					Kinderg.				
2. Klasse	0.08				2. Klasse	0.13				2. Klasse	0.17			
4. Klasse	0.44	0.27			4. Klasse	0.26	0.16			4. Klasse	0.17	0.00		
Erwachs.	0.10	0.16	0.56		Erwachs.	0.32	0.23	0.09		Erwachs.	0.33	0.34	0.32	

Die Effektgröße für t-Tests bei abhängigen und unabhängigen Stichproben wird als ε bzw. ε' angegeben und entspricht mit $\varepsilon / \varepsilon' = .20$ einem kleinen Effekt, $\varepsilon / \varepsilon' = .50$ einem mittleren Effekt und $\varepsilon / \varepsilon' = .80$ einem großen Effekt (vgl. Bortz & Döring, 1995; Bortz, 1993). dynam. = dynamische Itempoolpräsentation; ohne V. = ohne Ereignisraumpräsentation; Kinderg. = Kindergarten, Erwachs. = Erwachsene

4. Anhang 4: Experiment 4

Tabellen

Tabelle 36: Mittelwerte und Standardabweichungen für *Redundancy* in Experiment 4

	ohne Vorlage				dynamische Vorlage			
	normal		Inhibition		normal		Inhibition	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	2.32	3.09	3.12	3.83	1.44	3.18	1.01	0.91
2.Klasse	1.17	1.80	0.57	0.58	0.37	0.39	0.31	0.29
4.Klasse	0.64	0.54	1.01	1.45	0.44	0.42	0.32	0.34
Erwachsene	0.37	0.21	0.47	0.33	0.52	0.43	0.32	0.23

Tabelle 37: Mittelwerte und Standardabweichungen für *RNG* in Experiment 4

	ohne Vorlage				dynamische Vorlage			
	normal		Inhibition		normal		Inhibition	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	0.60	0.05	0.60	0.08	0.59	0.04	0.59	0.02
2.Klasse	0.57	0.03	0.57	0.03	0.58	0.05	0.58	0.04
4.Klasse	0.56	0.03	0.54	0.02	0.57	0.02	0.56	0.02
Erwachsene	0.53	0.02	0.54	0.02	0.55	0.03	0.56	0.04

Tabelle 38: Mittelwerte und Standardabweichungen für *Adjacency* in Experiment 4

	ohne Vorlage				dynamische Vorlage			
	normal		Inhibition		normal		Inhibition	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	42.67	11.65	43.00	14.19	43.22	9.37	46.11	8.35
2.Klasse	44.22	8.14	48.11	10.37	43.67	6.64	44.78	6.72
4.Klasse	45.36	4.81	44.41	6.08	42.86	5.90	42.74	7.86
Erwachsene	45.24	6.85	45.83	5.54	40.00	7.31	40.72	4.37

Tabelle 39: Mittelwerte und Standardabweichungen für *Phi 2* in Experiment 4

	ohne Vorlage				dynamische Vorlage			
	normal		Inhibition		normal		Inhibition	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Kindergarten	-8.59	5.11	-8.41	3.36	-12.45	2.84	-10.83	4.67
2.Klasse	-8.13	2.64	-7.82	4.28	-9.73	5.31	-9.04	4.25
4.Klasse	-9.47	5.62	-8.40	5.43	-11.70	6.15	-11.25	5.67
Erwachsene	-12.11	5.00	-12.56	5.40	-10.48	6.24	-8.34	7.06

5. Anhang 5: Experiment 5

Tabellen

Tabelle 41: Mittelwerte und Standardabweichungen für die *Lösungszeiten* farbiginkongruenten Bedingung der *Stroop Aufgabe* in Sekunden.

	<i>M</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	103.98	34.79
6-Jährige	65.66	15.57
8-Jährige	41.64	13.83
10-Jährige	30.48	6.61
Erwachsene	18.37	2.75

Tabelle 43: Mittelwerte und Standardabweichungen für die *Lösungsgüte* in der *Farbspanne rückwärts*.

	<i>M</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	2.65	1.06
6-Jährige	3.26	1.24
8-Jährige	3.63	0.77
10-Jährige	4.50	0.79
Erwachsene	5.96	1.30

Tabelle 45: Mittelwerte und Standardabweichungen für die *Lösungsgüte* in der *Komplexen Spannen Aufgabe*.

	<i>M</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	2.18	0.81
6-Jährige	2.42	0.77
8-Jährige	2.50	0.59
10-Jährige	3.33	1.03
Erwachsene	4.58	1.02

Tabelle 47: Mittelwerte und Standardabweichungen für die *Lösungszeiten* im *Trail Making Test* in Sekunden.

	<i>M</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	86.19	34.00
6-Jährige	50.73	22.88
8-Jährige	38.22	15.25
10-Jährige	25.27	8.26
Erwachsene	11.31	5.50

Tabelle 49: Mittelwerte und Standardabweichungen für die *Lösungsgüte* in der *Mentalen Fusionierungsaufgabe*.

	<i>M</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	3.71	1.40
6-Jährige	4.47	1.17
8-Jährige	5.17	2.14
10-Jährige	5.61	1.24
Erwachsene	9.42	0.83

Tabelle 51: Mittelwerte und Standardabweichungen für die *Gesamtlösungszeit* in der *Entscheidungssaufgabe* in Sekunden.

	<i>M</i>	<i>SD</i>
5-Jährige	278.06	135.30
6-Jährige	165.30	47.35
8-Jährige	157.78	38.22
10-Jährige	143.11	33.97
Erwachsene	118.09	22.40

Erklärung

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Schriften und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen kenntlich gemacht habe. Insbesondere habe ich für die Erstellung der Dissertation keine eigentliche Hilfe von Vermittlung- beziehungsweise Beratungsdiensten (Promotionsberatern oder anderen Personen) in Anspruch genommen.

Eichstätt, den 18.5.2005