

*Binding* von Objekt- und Lokalisationsinformationen im  
Arbeitsgedächtnis

- Eine Studie zum Einfluss kognitiver Fähigkeiten  
auf das Memorieren von *Binding*-Informationen -

Dissertation

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

vorgelegt von

Christina Petras

aus Göttingen

Göttingen 2006

D 7

Referent: Prof. Dr. Gerd Lüer

Korreferentin: Prof. Dr. Uta Lass

Tag der mündlichen Prüfung: 05.07.2006

## **Danksagung**

An erster Stelle möchte ich mich bei Prof. Dr. Gerd Lüer bedanken, der mir diese Promotion erst ermöglichte und mich stets in theoretischen und praktischen Fragen bei der Umsetzung dieses Forschungsvorhabens unterstützt hat. Mein besonderer Dank gilt außerdem Prof. Dr. Uta Lass für ihre wertvollen Anregungen und ihre Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit sowie für die Übernahme des Korreferats. Weiterhin möchte ich mich sehr bei Dr. Song Yan bedanken, die nicht nur durch fachliche Diskussionen viel zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen hat.

Dr. Dietrich Becker und Dr. Thomas Schmidt danke ich sehr für die hilfreiche Beratung bei der statistischen Auswertung. Den studentischen Hilfskräften der Abteilung für Arbeits- und Kognitionspsychologie danke ich für ihre Bereitschaft, an diesem Versuch als Probanden mitzuwirken. Im Hinblick auf die fachliche Beratung und Unterstützung bei der Auswahl und Erstellung einiger der Arbeitsgedächtnisaufgaben bzw. ihrer Adaption an das vorliegende Untersuchungsvorhaben möchte ich mich sehr bei Dr. Nicolas Sander von der Universität Mannheim bedanken.

Meinen Freundinnen Nadine Helmbold und Leila Bekhit gebührt für das Korrekturlesen dieser Arbeit sowie für ihre sonstige Unterstützung besonderer Dank. Meinem Lebensgefährten André Heider danke ich sehr für seine Hilfe während der gesamten Erstellung dieser Dissertation. Meiner Familie, insbesondere meiner Mutter Ingrid Petras, danke ich für die liebevolle Unterstützung.

## Inhalt

Abkürzungsverzeichnis.....	vii
Verzeichnis englischer Begriffe.....	ix
Abbildungsverzeichnis.....	xi
Tabellenverzeichnis .....	xii
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Theoretischer und empirischer Hintergrund.....</b>	<b>3</b>
2.1 Das <i>Binding</i> -Problem.....	3
2.2 <i>Binding</i> von Objekt- und Lokalisationsinformationen .....	6
2.3 Das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley .....	11
2.3.1 Das Sketchpad.....	13
2.3.2 Die Zentrale Exekutive .....	14
2.3.3 Der Episodic Buffer .....	15
2.4 Die Theorie der Arbeitsgedächtniskapazität von Engle .....	17
2.5 Die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit .....	20
2.6 Zusammenfassung der Untersuchungsziele.....	21
<b>3. Methode .....</b>	<b>23</b>
3.1 Allgemeine methodische Vorüberlegungen .....	23
3.2 Grundidee des <i>Binding</i> -Experiments .....	24
3.3 Theoretische Überlegungen zu den eingesetzten Aufgaben .....	26
3.3.1 Exekutive Fähigkeiten .....	26
3.3.2 Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.....	27
3.3.3 Kurzzeitgedächtniskapazität .....	28
3.3.4 Arbeitsgedächtniskapazität .....	29
3.4 Zusammenfassung der verwendeten Aufgaben .....	30
3.5 Versuchsdurchführung.....	33
3.5.1 Stichprobe .....	33
3.5.2 Allgemeiner Ablauf des Experiments.....	33
3.5.3 Durchführung des <i>Binding</i> -Experiments .....	36

3.5.4	Durchführung der Aufgaben zur Erfassung exekutiver Fähigkeiten, der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität sowie der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit .....	41
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>51</b>
4.1	Ergebnisse des <i>Binding</i> -Experiments .....	52
4.1.1	Vergleich der Gedächtniskapazitäten für Lokalisations-, Identitäts- und <i>Binding</i> -Informationen .....	52
4.1.2	Reaktionszeiten.....	60
4.1.3	Ergebnisse der Post-hoc Interviews.....	62
4.2	Ergebnisse der Tests zur Erfassung exekutiver Fähigkeiten, der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität und der Verarbeitungsgeschwindigkeit .....	63
4.2.1	Visuelles vs. räumliches Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis .....	71
4.2.2	Korrelative Analysen .....	72
4.2.3	Ergebnisse zur Faktorenstruktur der Aufgaben .....	74
4.3	Zusammenhang zwischen den Gedächtnisleistungen des <i>Binding</i> -Experiments und den Aufgaben zur Erfassung exekutiver Fähigkeiten, der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität und der Verarbeitungsgeschwindigkeit .....	78
4.3.1	Zusammenhang zwischen exekutiven Fähigkeiten und der Gedächtniskapazität für <i>Binding</i> -Informationen .....	80
4.3.2	Zusammenhang zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und der Gedächtniskapazität für <i>Binding</i> -Informationen .....	80
4.3.3	Zusammenhang zwischen der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und der Gedächtniskapazität für <i>Binding</i> -Informationen.....	82
4.4	Zusammenhang zwischen exekutiven Fähigkeiten und der Arbeits- und Kurzzeitgedächtniskapazität .....	83

<b>5. Diskussion .....</b>	<b>84</b>
5.1 Gedächtniskapazität für die Lokalisationen und Objekte sowie für die Kombination beider Informationsdimensionen .....	84
5.2 Beteiligung der Zentralen Exekutive beim <i>Binding</i> -Prozess .....	90
5.3 Zusammenhang zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und der Gedächtniskapazität für <i>Binding</i> -Informationen .....	92
5.4 Der Einfluss der individuellen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit auf das simultane Memorieren von <i>Binding</i> -Informationen .....	93
5.5 Integration des <i>Binding</i> in das Working-Memory-Modell .....	95
5.6 Zusammenhänge zwischen Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis, exekutiven Fähigkeiten und Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit .....	96
<b>6. Zusammenfassung .....</b>	<b>100</b>
Literaturverzeichnis .....	102
Anhang .....	114
Curriculum Vitae .....	123

## Abkürzungsverzeichnis

A	Adjacency-Index
AG	Arbeitsgedächtnis
all.	allein (Durchführung der Wahlreaktionszeitaufgabe ohne Zweitaufgabe)
ANOVA	Varianzanalyse
cd	Candela (Leuchtdichte)
cm	Zentimeter
CRT-Aufgabe	Choice-Reaction-Time-Aufgabe bzw. Wahlreaktionszeitaufgabe
Durchg.	Versuchsdurchgänge
DS	Digit-Symbol-Test
fMRI	functional magnetic resonance imaging bzw. Magnetresonanztomographie
getr.	getrennt
HAWIE-R	Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene
HZ	Hertz
Ident.	Objektidentität
isol.	isoliert
KZG	Kurzzeitgedächtnis
komb.	kombiniert
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
Mix-Block	Block innerhalb des <i>Binding</i> -Experiments, bei dem die drei verschiedenen Aufgabenarten in einer zufälligen Reihenfolge vorkommen.
ms	Millisekunden
MSA	Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium
NSQ	Guttman's Null-Score-Quotient
Pbn	Probandinnen und Probanden
Pos.	Positionen

PS	Processing Speed bzw. Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit
R	Redundanz-Index
räum.	räumlich
RGapMean/Median/Modal	Mittelwert/Median bzw. Modalwert des Repetition-Gap-Index („Wiederholungs-Lücken-Index“)
RNG-Aufgabe	Random-Number-Generation-Aufgabe
RNG-Index	Random-Number-Generation-Index
RNG-2-Index	Random-Number-Generation-2-Index
s	Sekunde
Switch, allg./spez.	allgemeine bzw. spezifische Switching-Kosten
TPI	Turning-Point-Index bzw. Wendepunkt-Index
vis.	visuell
ZE	Zentrale Exekutive
ZVT	Zahlen-Verbindungs-Test
ZVT-123	ZVT, bei der die Zahlen von 1 bis 90 miteinander zu verbinden sind.
ZVT-179	Variante des ZVT, bei dem die Zahlen von 179 rückwärts in Zweisritten miteinander zu verbinden sind.
ZVT-26z	Variante des ZVT, bei dem die Zahlen von 1 bis 26 und die Buchstaben des Alphabets rückwärts miteinander verbunden werden müssen.
◦	Grad

## Verzeichnis englischer Begriffe

Adjacency	das Angrenzende
<i>Binding</i>	Bindung (als Verb bezeichnet es das simultane Memorieren von Informationen aus verschiedenen Informationsdimensionen)
<i>Bindings</i>	Verbindungen zwischen verschiedenen Informationsdimensionen
Both	hier: Gedächtniskapazität für <i>Binding</i> -Informationen
Change-Detection-Paradigma	„Aufdeckung einer Veränderung“ (Aufgabe, bei der zwei Displays auf ihre Identität hin beurteilt werden sollen)
Choice-Reaction-Time-Aufgabe	Wahlreaktionszeitaufgabe
Cursor	Eingabezeiger
Digit-Symbol-Test	Zahlensymboltest
Display	Sichtanzeige
Dot-span	Punktespanne
Episodic buffer	episodischer Speicher
Feature	Eigenschaft, Merkmal
Feature-Integration-Theorie	Merkmalsintegrationstheorie
Hit Rate	Trefferrate
Impurity	Unreinheit, Verunreinigung
Item	Element, Einheit
Maintenance-Load	Gedächtnisbelastung, die in diesem Fall durch die Aufrechterhaltung einer größeren Menge an Informationen entsteht
Master map of locations	interne „Karte“ bzw. Repräsentation, auf der die verschiedenen Lokalisationen von Objekten abgespeichert werden
Mean	Mittelwert
n-back-Aufgabe	„n-zurück“-Aufgabe zur Erfassung der Arbeitsgedächtniskapazität
Perceptual speed	Wahrnehmungsgeschwindigkeit

Random-Number-Generation-Aufgabe	„Zahlen-Generierungs-Aufgabe“, bei der Zahlen nacheinander so genannt werden müssen, dass eine möglichst zufällige Zahlenabfolge entsteht.
Rehearsal	ständiges inneres Wiederholen von Informationen, um diese aufzufrischen.
Repetition Gap Mean/Median/Modal	Mittelwert/Median/Modalwert des „Wiederholungs-Lücken“-Index
Sketchpad	Notizblock
Speed	Geschwindigkeit
Spotlight	Scheinwerfer
Switch	„Umschaltung“, hier: Wechsel des Aufgabenkriteriums
Switching	Umschalten
Task	Aufgabe
Working-Memory	Arbeitsgedächtnis

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Die aktuelle Version des Working-Memory-Modells.	12
Abbildung 2	Die geometrischen Figuren als Itemmaterial im <i>Binding</i> -Experiment.	36
Abbildung 3	Beispiel für die im <i>Binding</i> -Experiment verwendete Matrix.	37
Abbildung 4	Schematische Darstellung der Ereignissequenz eines Versuchsdurchgangs im <i>Binding</i> -Experiment.	39
Abbildung 5	Beispiel für ein Figurenpaar der visuellen Wahlreaktionszeit-aufgabe.	43
Abbildung 6	Schematische Darstellung eines Versuchsdurchgangs der räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgabe.	47
Abbildung 7	Schematische Darstellung eines Ausschnitts aus der Switching-Aufgabe.	49
Abbildung 8	Ausschnitt aus der Ereignissequenz der visuellen n-back-Aufgabe.	50
Abbildung 9	Prozentsatz korrekt reproduzierter Items der jeweils explizit abgefragten Informationsdimensionen (Positionen, Identität und <i>Binding</i> ).	55
Abbildung 10	Prozentsatz korrekt reproduzierter Positionen in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenanforderung (Positionen, Identität und <i>Binding</i> ).	57
Abbildung 11	Prozentsatz korrekt reproduzierter Figuren in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenanforderung (Positionen, Identität und <i>Binding</i> ).	58
Abbildung 12	Prozentsatz korrekt reproduzierter <i>Binding</i> -Informationen in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenanforderung (Positionen, Identität und <i>Binding</i> ).	59
Abbildung 13	Mittlere Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenanforderung (Positionen, Identität und <i>Binding</i> ).	62

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Überblick über die verwendeten Aufgaben.	32
Tabelle 2	Ablauf der Untersuchung und Reihenfolge der verwendeten Aufgaben.	35
Tabelle 3	Deskriptive Daten der korrekt reproduzierten Informationsdimensionen der isolierten Blöcke.	53
Tabelle 4	Deskriptive Daten der korrekt reproduzierten Informationsdimensionen des Mix-Blocks.	53
Tabelle 5	Deskriptive Daten der mittleren Reaktionszeiten in ms für jede Aufgabenanforderung (Positionen, Identität, <i>Binding</i> ).	61
Tabelle 6	Varimaxrotierte Mustermatrix der Hauptkomponentenanalyse über die RNG-Indizes.	69
Tabelle 7	Deskriptive Daten der eingesetzten Tests zur Messung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit in Bezug auf die korrekten Antworten.	70
Tabelle 8	Deskriptive Daten der CRT-Aufgaben und der Switching-Aufgabe in Bezug auf die Reaktionszeiten in ms.	71
Tabelle 9	Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen den Aufgaben zur Erfassung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität, exekutiver Fähigkeiten und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.	73
Tabelle 10	Oblique rotierte Mustermatrix der Hauptkomponentenanalyse über einige der Gedächtnisleistungen im <i>Binding</i> -Experiment und den Aufgaben zur Erfassung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität, exekutiver Fähigkeiten und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.	76
Tabelle 11	Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen den einzelnen Gedächtnisleistungen im <i>Binding</i> -Experiment und Aufgaben zur Erfassung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität, exekutiver Fähigkeiten und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.	79

Tabelle 12	Ergebnisse der multiplen schrittweisen Regressionsanalyse für die Vorhersage der Gedächtniskapazität für die <i>Binding</i> -Informationen unter Einbezug der Arbeitsgedächtniskapazität.	81
Tabelle 13	Ergebnisse der multiplen schrittweisen Regressionsanalyse für die Vorhersage der Gedächtniskapazität für die <i>Binding</i> -Informationen unter Einbezug der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.	82

## 1. Einleitung

Das Greifen nach einer Kaffeetasse, ohne gleichzeitig einen Blick in die betreffende Richtung zu werfen, oder das blinde Tasten im Dunkeln nach dem Wecker zeigen, dass der Mensch eine kognitive Repräsentation seiner Umgebung besitzt, die den Objekten in seiner Nähe jeweils eine bestimmte Position zuordnet. Wie uns allerdings auch die eigene Erfahrung lehrt, ist das Langzeitgedächtnis für derartige Informationen zwar noch relativ gut, wenn aber vertraute Gegenstände auf einmal neue, ungewohnte Plätze einnehmen, fällt es wesentlich schwerer, sich diese Veränderung kurzfristig zu merken.

Das Memorieren von Objekten in Verbindung mit ihren jeweiligen Lokalisationen stellt offensichtlich eine komplexe Gedächtnisanforderung dar, denn es müssen hierbei sowohl die isolierten Informationsdimensionen, d. h. das Aussehen der Objekte und die verschiedenen Lokalisationen, als auch die spezifischen Verbindungen zwischen den Objekten und ihren Positionen korrekt gespeichert werden. Diese Annahme steht im Einklang mit bisherigen Studien, die zeigen konnten, dass die Gedächtniskapazität für die integrierte Speicherung von Objekten und ihren Positionen niedriger ausfällt als für die isolierten Informationsdimensionen (z. B. Mitchell, Johnson, Raye, Mather & D'Esposito, 2000). Die Hypothese einer erhöhten Schwierigkeit bei dem simultanen Memorieren beider Informationsdimensionen wird auch durch Ergebnisse aus hirnelektrischen Untersuchungen gestützt, die zeigen, dass die visuellen Objektinformationen wie z. B. die Form und Farbe im Gehirn getrennt von den räumlichen Informationen über den Ort eines Gegenstandes verarbeitet werden (Ungerleider & Mishkin, 1982). Wie es dem Gehirn gelingt, diese Objekte in Verbindung mit ihren jeweiligen Lokalisationen dennoch korrekt zu memorieren, ist ein Aspekt des sog. *Binding-Problems*, das noch zahlreiche ungeklärte Fragen aufwirft.

Da unserem eigenen Empfinden nach der Integrationsprozess verschiedener Informationsdimensionen völlig automatisch abläuft, wird für uns selbst erst bei einer schwerwiegenden Störung der Informationsverarbeitung, wie beispielsweise im Falle des Balint-Syndroms deutlich, welche tief greifenden Probleme bei der Bewältigung des Alltags auftreten können (Treisman, 1998). Patienten, die aufgrund eines Schlaganfalls an dieser neurologischen Störung leiden, sind u. a. nicht mehr in der Lage, gezielt nach einem Glas Wasser auf dem Tisch zu greifen, da es ihnen unmöglich ist, Gegenstände und ihre Positionen zusammen als eine integrierte Einheit wahrzunehmen.

Neben der offensichtlichen Beteiligung des visuellen und räumlichen Kurzzeitgedächtnisses am simultanen Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen erscheint es aufgrund der Komplexität dieser Gedächtnisanforderung als wahrscheinlich, dass noch weitere kognitive Fähigkeiten involviert sind. Dieser Fragestellung wurde allerdings von der bisherigen Forschung im Sinne einer umfassenden Aufklärung möglicher Zusammenhänge nur unzureichend nachgegangen. Bestimmte kognitive Fähigkeiten wurden zudem bisher noch nicht mit der Gedächtniskapazität für diese sog. *Binding*-Informationen in Verbindung gebracht, obwohl ein entsprechender Zusammenhang nahe liegt. Dies gilt z. B. für die individuell unterschiedliche Geschwindigkeit, mit der Informationen im Gehirn verarbeitet werden. Weiterhin stellt die Fähigkeit zur Kontrolle von Aufmerksamkeitsprozessen bei vielen kognitiven Vorgängen einen relevanten Einflussfaktor dar. Entsprechend ist zu erwarten, dass auch diese Fähigkeit neben dem Kurzzeitgedächtnis für die simultane Speicherung von Objekt- und Lokalisationsinformationen benötigt wird.

Im Fokus der vorliegenden Arbeit steht die Frage, inwiefern die Gedächtnisleistung für *Binding*-Informationen nicht nur vom Kurzzeitgedächtnis, sondern auch noch von weiteren kognitiven Fähigkeiten abhängt. In einem anschließenden Schritt wird der Versuch unternommen, die Befunde dieser Arbeit in ein aktuelles Modell der Kognitionspsychologie, dem Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (2000), zu integrieren.

## 2. Theoretischer und empirischer Hintergrund

Die Darstellung des theoretischen und empirischen Hintergrunds dieser Untersuchung gliedert sich in folgende Abschnitte: Zunächst wird das *Binding*-Problem in seinen Grundzügen kurz erläutert. Darauf aufbauend wird insbesondere auf das *Binding* von Objekten und Lokalisationen sowie auf seine neuropsychologischen Grundlagen näher eingegangen. Dabei werden auch die Unterschiede in der Verarbeitung und Speicherung von visuellen vs. räumlichen Informationen dargestellt. Es folgt eine kurze Abhandlung des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley (2000), bei der die für das *Binding* relevanten Komponenten in Form des visuell-räumlichen Notizblocks, der Zentralen Exekutive und des Episodic Buffers eingehender beschrieben werden. Anschließend wird der Schwerpunkt auf die Theorie zur Arbeitsgedächtniskapazität von Engle (2002) und den möglichen Einfluss der individuellen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit auf das simultane Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen gelegt. Den Abschluss des Theorieteils bildet eine Zusammenfassung der konkreten Fragestellungen und Hypothesen im Hinblick auf die vorliegende Untersuchung.

### 2.1 Das *Binding*-Problem

Das sog. *Binding*-Problem bezeichnet in seiner allgemeinen Form die Frage, wie es möglich ist, dass der Eindruck von integrierten, ganzheitlichen Objekten in einer kohärent aufgebauten Umwelt entsteht, obwohl die verschiedenen Merkmale (features) eines Objekts, wie z. B. die Form und Farbe, in unterschiedlichen Arealen im Gehirn verarbeitet werden. Anhand von bestimmten experimentellen Anordnungen wird offensichtlich, dass das *Binding*-Problem nicht nur ein theoretisches Konstrukt darstellt, sondern tatsächlich sowohl bei der visuellen Wahrnehmung als auch bei Gedächtnisrepräsentationen eine Rolle spielt (vgl. Robertson, 2003).

Die Schwierigkeiten, die bei der Integration von Informationen aus verschiedenen Dimensionen auftreten, werden insbesondere bei dem Paradigma der visuellen Suche deutlich. Bei dieser Aufgabe muss ein Display, das verschiedene Objekte enthält, nach einem Zielitem abgesucht werden, welches sich durch die Kombination bestimmter Merkmale auszeichnet. Wenn das entsprechende Item durch ein Merkmal gekennzeichnet ist, in dem es sich von allen anderen Objekten unterscheidet, wie z. B. ein grünes X unter vielen roten X, fällt es beim Absuchen des Displays sehr schnell auf. In

diesem Fall ist die Suchgeschwindigkeit außerdem unabhängig von der Anzahl der Objekte im Display. Die Entdeckung eines Zielreizes, der sich durch eine Kombination von zwei oder mehr Merkmalen von den anderen Objekten unterscheidet, wie z. B. ein grünes X unter lauter grünen O's und roten X, fällt hingegen wesentlich schwerer. Zu seiner Identifikation ist eine *Binding*-Leistung im Hinblick auf diese beiden Merkmale erforderlich. Entsprechend reicht ein schnelles Absuchen des Displays nicht aus, sondern es muss Aufmerksamkeit gezielt auf jedes Item gerichtet werden. Demzufolge zeigt sich hier mit zunehmender Itemanzahl im Display ein linearer Anstieg der Suchzeit (Treisman & Gelade, 1980).

Die Feature-Integration-Theorie von Treisman und Gelade (1980) ist eine der bekanntesten Theorien, die für die Erklärung des Vorgangs beim *Binding* von verschiedenen Objektmerkmalen herangezogen werden. Die zentrale Größe im *Binding*-Prozess stellt die Aufmerksamkeit dar, die benötigt wird, um Objekte, die sich aus zwei oder mehreren Merkmalen zusammensetzen, korrekt als Einheiten wahrzunehmen und erinnern zu können. Ein weiteres Beispiel, das das *Binding*-Problem illustriert, ist das Auftreten sog. Scheinverbindungen. Wenn ein Display mit Objekten, die sich durch die Kombination unterschiedlicher Merkmale auszeichnen, lediglich kurz dargeboten wird, kann die Aufmerksamkeit nicht ausreichend auf die einzelnen Objekte fokussiert werden, um sie korrekt als Einheiten wahrzunehmen. Dementsprechend berichten Probanden, Verbindungen von bestimmten Eigenschaften wahrgenommen zu haben, die in dem Display zwar tatsächlich vorhanden waren, aber nicht in der entsprechenden Kombination auftraten. Auf die unverzichtbare Rolle der Aufmerksamkeit beim *Binding* von verschiedenen Features weist auch ein weiterer Befund von Treisman und Schmidt (1982) hin: Hindert man Probanden experimentell an der Fokussierung der Aufmerksamkeit, kommt es vermehrt zu der Wahrnehmung illusorischer Scheinverbindungen.

Die bisherige Vorstellung über den vermuteten Ablauf beim *Binding* sieht vor, dass nur ein Objekt zur gleichen Zeit kodiert und seine Eigenschaften „zusammengebunden“ werden, während weitere Objekte, die sich an anderen Positionen befinden, kurzfristig nicht beachtet werden (Treisman, 1998). Dabei wird eine sog. „Master map of locations“ angelegt, in der die jeweiligen Lokalisationen der Objekte gespeichert werden. Daneben werden noch weitere Karten, die sog. „Feature maps“ erstellt, die zwei verschiedene Arten von Informationen enthalten. Zum einen geben sie Auskunft darüber, ob das Merkmal überhaupt in dem dargebotenen Feld vorhanden ist und zum anderen beinhalten sie implizite Informationen über die gegenwärtige räumliche Anord-

nung der Features. Nach der Annahme von Treisman (1998) ist es beim *Binding* erforderlich, dass die Verbindungen zu der sog. „Map of locations“ abgerufen werden. Dazu wird ein sog. Aufmerksamkeitsfenster verwendet, das sich über dieser Karte bewegt. Von der Feature map werden dann die jeweiligen Features ausgewählt, die sich an der gerade beachteten Stelle befinden, während die Merkmale aller anderen Objekte ausgeschlossen werden. Wird allerdings diese Aufmerksamkeit abgezogen, zerfällt das jeweilige *Binding* wieder. Ergebnisse zahlreicher Studien zeigen, dass die räumliche Aufmerksamkeit, die für das *Binding* nötig ist, vom Parietallappen gesteuert wird (z. B. Ashbridge, Walsh & Cowey, 1997; Shafritz, Gore & Marois, 2002). Wie an dem Fall des Patienten R. M. deutlich wird, ist bei einer Zerstörung des Parietallappens das *Binding* verschiedener Features zu einem Objekt nicht mehr möglich, wenn gleichzeitig mehrere Objekte im Gesichtsfeld vorhanden sind. Es erscheint somit plausibel, dass der Parietallappen auch für die Master map of locations unabdingbar ist (Treisman, 1998).

Im Hinblick auf das *Binding*-Phänomen muss jedoch weiterhin zwischen dem sog. perzeptuellen *Binding*, wie es auch bei dem Paradigma der visuellen Suche erfasst wird, und dem *Binding* in Bezug auf das Memorieren dieser *Binding*-Informationen (z. B. Gold, Wilk, McMahon, Buchanan & Luck, 2003) differenziert werden. Beim Memorieren von Objekten müssen nicht nur die verschiedenen Features, aus denen sich die Items jeweils zusammensetzen, korrekt enkodiert und memoriert werden, sondern auch die spezifischen Verbindungen bzw. *Bindings* zwischen den Features in einer gemeinsamen Gedächtnisrepräsentation gespeichert werden.

Eines der wichtigsten Merkmale des visuellen Kurzzeitgedächtnisses ist seine Kapazitätslimitierung. Die Gedächtniskapazität für visuelle Informationen scheint dabei durchschnittlich auf drei bis vier Items begrenzt zu sein, wobei ihre jeweilige Größe auch sehr von der Komplexität der zu memorierenden Items abhängt (Jiang, Olson & Chun, 2000). Im Zusammenhang mit dem *Binding*-Problem wird insbesondere die Frage nach der Einheit oder der Form, in der visuelle Informationen im Kurzzeitgedächtnis gespeichert werden, diskutiert. Mit einer Reihe von Experimenten konnten Luck und Vogel (1997) zeigen, dass Objekte, die durch mehrere Features definiert sind, im Arbeitsgedächtnis in einer integrierten Form gespeichert werden. Dementsprechend können sechzehn verschiedene Features, wie z. B. die Farbe und Orientierung, die auf vier Objekte verteilt sind, genauso gut memoriert werden, wie vier Objekte, die lediglich durch eine einzelne Eigenschaft definiert sind. Ihrer Theorie zufolge werden im Kurzzeitgedächtnis integrierte Objekte als Einheiten gespeichert.

Gegen diese Annahme wenden sich allerdings Wheeler und Treisman (2002), die die Feature-Integration-Theorie erweitert haben und davon ausgehen, dass die verschiedenen Features einer Dimension in dimensionsspezifischen Speichern gespeichert werden. Dabei konkurrieren dieselben Features verschiedener Objekte in ihren dimensionsspezifischen Speichern um eine begrenzte Speicherkapazität. Zwischen den Features aus verschiedenen Dimensionen gibt es hingegen keine oder nur eine sehr geringe Konkurrenz im Hinblick auf die Gedächtniskapazität. Für die Aufrechterhaltung der Informationen in einer integrierten Form wird hinsichtlich der Features keine oder kaum zusätzliche Gedächtniskapazität benötigt. Allerdings erfordert die *Binding*-Information, welche der Features zu demselben Objekt gehören, fokussierte Aufmerksamkeit und ist dementsprechend auch anfällig für Interferenz. Diese Aufmerksamkeit dient sozusagen als ein „Kleber“, der die zusammengebundenen Informationen zusammenhält (Johnston & Pashler, 1990). Der Erklärungsansatz von Wheeler und Treisman (2002) stellt somit eine Alternativtheorie zu der Annahme von Luck und Vogel (1997) dar.

Ein neurophysiologischer Erklärungsansatz für das *Binding*-Problem wurde von Singer und Gray (1995) entwickelt. Ausgangspunkt dieses Ansatzes ist die Annahme, dass die Kodierung der Merkmale desselben Objekts auf neuronaler Ebene durch synchrones Feuern von Neuronen bzw. Zellverbänden beschreibbar ist (Raffone & Walters, 2001; Singer, 2003). Die neuronalen Einheiten, die gleichzeitig reizabhängig feuern, kodieren die Features desselben Objekts. Dieser Theorie zufolge müsste es allerdings zu vielen Fehlern beim *Binding* kommen, wenn mehrere Objekte dieselben Eigenschaften haben. Dementsprechend scheint dieser Ansatz allein nicht ausreichend zu sein, um das *Binding*-Problem vollständig zu lösen (Treisman, 1998). Nachdem einige Aspekte des *Binding* von verschiedenen Features näher dargestellt wurden, wird nun im nächsten Abschnitt auf das *Binding* von Objekten und Positionen näher eingegangen.

## **2.2 *Binding* von Objekt- und Lokalisationsinformationen**

Eine Trennung zwischen der Verarbeitung und Speicherung visueller und räumlicher Informationen konnte anhand von zahlreichen Befunden überzeugend demonstriert werden (z. B. Mecklinger & Müller, 1996; Tresch, Sinnamon & Seamon, 1993). Nach der Verarbeitung der retinalen Informationen in den frühen visuellen Arealen des Occipitallappens verläuft ein sog. ventraler Pfad zum inferioren Temporallappen, der für die weitere Verarbeitung von visuellen Objektinformationen („was“), wie z. B. Form und Farbe

zuständig ist. Der dorsale Pfad endet hingegen im posterioren Parietallappen und verarbeitet räumliche Informationen über die Lokalisation („wo“) von Objekten (Courtney, Ungerleider, Keil & Haxby, 1996; Ungerleider & Mishkin, 1982). Goodale und Milner (1992) haben eine modifizierte Version der dorsalen Bahn vorgeschlagen, bei der diese sog. „Wo“-Bahn auch für die Steuerung von Bewegungen zuständig ist. Inwiefern sich die Trennung zwischen visueller und räumlicher Informationsverarbeitung auch im Frontallappen fortsetzt, ist allerdings eine Frage, die bisher noch nicht abschließend geklärt werden konnte. Studien konnten eine Dissoziation zwischen der Verarbeitung von visuellen und räumlichen Informationen im präfrontalen Cortex nicht durchgehend demonstrieren (vgl. Wager & Smith, 2003). Es scheint auch spezifische Regionen des lateralen präfrontalen Cortex zu geben, die sowohl bei der Verarbeitung von visuellen als auch von räumlichen Informationen identische exekutive Funktionen ausüben (Owen et al., 1998). Insbesondere im Falle des Balint-Syndroms, bei dem beide Parietallappen betroffen sind, wird deutlich, welche Schwierigkeiten auftreten können, wenn ein *Binding* von Objekten und Lokalisationen nicht mehr möglich ist. Diese Störung ist u. a. dadurch gekennzeichnet, dass nicht mehr als ein Objekt zur gleichen Zeit gesehen werden kann, was als Simultanagnosie bezeichnet wird. Weiterhin können die Patienten auch einen Gegenstand nicht mehr korrekt lokalisieren und sind nicht in der Lage, gezielt nach ihm zu greifen (Robertson, 2003).

Ein weiterer Unterschied zwischen visuellem und räumlichem Kurzzeitgedächtnis ist die unterschiedliche Kapazitätsbegrenzung. Während das Kurzzeitgedächtnis für visuelle Informationen nur eine sehr begrenzte Zahl an Items speichern kann, ist die Kapazität des räumlichen Kurzzeitgedächtnisses größer (Simons, 1996). Es muss hierbei allerdings berücksichtigt werden, dass es sehr schwer ist, die reine Kapazität des visuellen Kurzzeitgedächtnisses zu bestimmen. Bei der Verarbeitung visueller Objektinformationen ist zu beachten, dass oftmals auch automatisch ein verbaler Code aktiviert wird, während dies für räumliche Informationen nicht gilt. Verbale Interferenzaufgaben wirken sich negativ auf die Gedächtniskapazität für Objektinformationen aus, auch wenn es sich um schwer zu verbalisierende, unregelmäßige Formen handelt (Postle, D’Esposito & Corkin, 2005).

Während es zu der Verarbeitung und Speicherung visuell-räumlicher Informationen inzwischen eine relativ breite empirische Basis gibt, wurde das *Binding* von Objekt- und Positionsinformationen lange Zeit vernachlässigt und findet erst seit einigen Jahren vermehrt Beachtung. Dabei zeigte sich in der Mehrzahl der Untersuchungen eine

schlechtere Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen im Vergleich zu der höheren Gedächtnisleistung für die isolierten Informationsdimensionen (Burglen et al., 2004; Mitchell, Johnson, Raye, Mather et al., 2000). Das *Binding* von Objekten und ihren jeweiligen Positionen wurde u. a. von Postma und De Haan (1996) näher untersucht, die zwischen zwei verschiedenen Prozessen differenzieren. Zum einen müssen die korrekten Positionen erinnert, zum anderen die ursprünglichen Objekte aus allen vorhandenen Items den richtigen Positionen zugeordnet werden. Bei diesem Experiment zeigte sich eine wesentlich höhere Leistung für die alleinige Rekonstruktion der Positionen als für die korrekte Zuordnung der Objekte zu den Positionen. Eine parallele artikulatorische Unterdrückungsaufgabe interferierte mit dieser *Binding*-Bedingung, während sie sich auf die Reproduktion der Lokalisationen nicht auswirkte. Auch bei einer hohen Setgröße konnten die Lokalisationen noch ohne signifikante Leistungsverschlechterung memoriert werden, während dies für die simultane Speicherung von Objekten und ihren Positionen nicht galt. Diese Befunde deuten darauf hin, dass den beiden Aufgaben unterschiedliche Prozesse zugrunde liegen.

Um näheren Aufschluss über spezifische Defizite beim *Binding* in Abhängigkeit von bestimmten Dysfunktionen im Gehirn zu erhalten, wurde auch die Gedächtnisleistung für *Binding*-Informationen bei Extremgruppen, wie z. B. Korsakoff-Patienten, untersucht (Kessels, Postma, Wester & De Haan, 2000). Bei Burglen et al. (2004) zeigte sich z. B., dass Probanden mit einer schizophrenen Störung ein besonderes Defizit beim Memorieren der Kombination beider Dimensionen zu haben scheinen, wobei die genaue Ursache für dieses *Binding*-Defizit noch nicht geklärt werden konnte. Aufgrund der Ergebnisse wird die Schlussfolgerung gezogen, dass die Prozesse, die beim *Binding* zweier Informationsdimensionen eine Rolle spielen, über einfache Speicherprozesse hinausgehen. Burglen et al. (2004) nehmen an, dass bei Schizophrenie auch eine Dysfunktion des Episodic Buffer (siehe 2.3.3) vorliegen könnte. Daneben diskutieren sie im Hinblick auf das *Binding*-Defizit eine ursächliche Beteiligung der Verbindungen zwischen Frontallappen und Hippocampus, welcher beim *Binding* eine wichtige Rolle spielt.

In diesem Zusammenhang wurde ebenfalls untersucht, auf welche möglichen neurologischen Veränderungen das altersabhängige *Binding*-Defizit für die Kombination von Objekt- und Lokalisationsinformationen zurückzuführen sein könnte (Mitchell, Johnson, Raye & D'Esposito, 2000). Eine fMRI-Untersuchung weist auf die Rolle des linken anterioren Hippocampus beim *Binding* von Features hin. Weiterhin wurden zwei

cerebrale Regionen in Form des linken anterioren Cortex cingularis und des linken prä-centralen Gyrus gefunden, die in der *Binding*-Bedingung stärker aktiviert waren und nicht mit dem Alter interagierten. Es wird hier ebenfalls vermutet, dass die wechselseitigen Verbindungen zwischen frontalen und hippocampalen Regionen eine wichtige Rolle beim *Binding* spielen.

Ein weiterer Aspekt, der anscheinend in bisherigen Untersuchungen zum *Binding* nur selten systematisch untersucht wurde, ist der Einfluss vorheriger Kenntnis der zu reproduzierenden Informationsdimensionen auf die Gedächtnisleistung. In der Mehrzahl der bisherigen *Binding*-Experimente wurde den Probanden entweder vor der Darbietung der Items mitgeteilt, welche der Informationen anschließend zu reproduzieren sind (Martein, Kemps & Vandierendonck, 1999; Postma & De Haan, 1996) oder dieser Hinweis erfolgte erst unmittelbar vor der Antwortwiedergabe (Postma, Izendoorn & De Haan, 1998). Ein Vergleich dieser beiden Instruktionsvarianten in einem Experiment wurde jedoch bisher nur äußerst selten durchgeführt (Mitchell, Johnson, Raye, Mather et al., 2000). Bei Kenntnis der Aufgabenanforderung vor der Darbietung der Items ist davon auszugehen, dass die Aufmerksamkeit gezielt auf die jeweils relevante Dimension gerichtet wird. Dementsprechend wird z. B. die Objektinformation nicht memoriert, wenn nur die Lokalisationen reproduziert werden müssen, und es wird somit keine Gedächtniskapazität für irrelevante Informationen „verbraucht“. Da das simultane Memorieren von Objekten und ihren jeweiligen Lokalisationen allerdings dadurch gekennzeichnet ist, dass eine größere Menge an Informationen memoriert werden muss, ist es wichtig zu untersuchen, inwiefern diese höhere Gedächtnislastung für die schlechtere Reproduktionsleistung bei *Binding*-Informationen verantwortlich ist. Falls erst zum Zeitpunkt der Wiedergabe durch einen Hinweisreiz angegeben wird, welche Dimension zu reproduzieren ist, müssen alle Informationsdimensionen simultan enkodiert und in einer integrierten Form gespeichert werden, um eine maximale Gedächtnisleistung zu erzielen. Bei diesem Vorgehen kann die Konfundierung zwischen einer größeren Gedächtnislastung und der spezifischen Schwierigkeit, die Zuordnung der jeweiligen Objekte zu den Positionen zu memorieren und abzurufen, aufgelöst werden. Der Vergleich dieser beiden Instruktionsvarianten bietet die Möglichkeit, zu untersuchen, inwiefern sich das zusätzliche Memorieren der jeweiligen Positionen negativ auf die isolierte Behaltensleistung für die Objekte auswirkt.

Diese sog. „Maintenance-Load“-Hypothese wurde von Mitchell, Johnson, Raye, Mather et al. (2000) im Zusammenhang mit der Untersuchung altersabhängiger Unter-

schiede bei dem simultanen Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen näher geprüft. Bei dieser Studie zeigte sich, dass die schlechte Gedächtnisleistung für *Binding*-Informationen bei älteren Menschen nicht auf eine verringerte Kapazität für die isolierten Informationsdimensionen zurückzuführen ist. Hingegen ließ sich nachweisen, dass sowohl ein Defizit beim Enkodieren als auch beim Abruf der *Binding*-Informationen für ihre schlechtere *Binding*-Leistung größtenteils verantwortlich ist. Das Zutreffen der Maintenance-Load-Hypothese konnte hingegen weitestgehend ausgeschlossen werden. Da allerdings die empirische Basis zu diesem Aspekt relativ schwach ist, sollte diese Fragestellung auch im Rahmen der vorliegenden Untersuchung aufgegriffen werden.

#### *Automatische Speicherung der Lokalisationsinformation?*

Ein weiterer Aspekt, der für das simultane Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen von Interesse ist, betrifft die Frage, inwiefern die räumlichen Lokalisationen von Objekten ggf. automatisch enkodiert und memoriert werden. Aus dem aktuellen Forschungsstand lassen sich hierzu noch keine eindeutigen Schlussfolgerungen ableiten und das Thema wird weiterhin kontrovers diskutiert. Wie bereits anhand der Feature-Integration-Theorie deutlich wurde, spielt die räumliche Aufmerksamkeit eine wichtige Rolle beim *Binding* von Features. Es scheint, dass die Aufmerksamkeit unweigerlich auf die Lokalisation eines Objektes fällt, auch wenn diese nicht aufgabenrelevant ist. Im Vergleich dazu werden die Eigenschaften eines Objekts nur dann beachtet, wenn dies von der Aufgabe erfordert wird (Lamy & Tsal, 2001). Auch Johnston und Pashler (1990) konnten zeigen, dass nur sehr selten die Wahrnehmung des Objektinhalts ohne gleichzeitige Registrierung des jeweiligen Orts stattfindet. Dennoch scheint die Enkodierung und Speicherung räumlicher Informationen kein automatischer Prozess zu sein, da die diesbezügliche Gedächtnisleistung bei einer expliziten Lerninstruktion höher ausfällt als unter einer inzidentellen Enkodierungsbedingung (Naveh-Benjamin, 1987). Dies zeigt auch, dass fokussierte Aufmerksamkeit das Enkodieren räumlicher Informationen fördert (siehe aber auch Hasher & Zacks, 1979).

Auf eine weitere wichtige Differenzierung in Bezug auf das automatische Enkodieren der Lokalisationsinformationen bzw. der Itemidentität weisen Köhler, Moscovitch und Melo (2001) hin. Der Unterschied zwischen den absoluten und relativen Lokalisationen von Objekten scheint einen moderierenden Einfluss auf die mögliche Speicherung dieser Objekte zu haben. Beim Memorieren von absoluten Positionen ist für ihre Enkodierung auch eine Identifikation der Objekte erforderlich, da diese beiden In-

formationsarten aneinander gekoppelt sind. Das Memorieren der relativen Objektpositionen stellt hingegen einen von der Objektidentifikation unabhängigen Prozess dar, denn räumliche Beziehungen werden im Gedächtnis als von den jeweiligen Elementen getrennte Konfigurationen repräsentiert. Dieser Annahme zufolge werden somit bei räumlichen Konfigurationen die einzelnen Objekte nicht weiter enkodiert (Köhler et al., 2001).

Nachdem die bisherigen Erkenntnisse und einige der Experimente zum *Binding* von verschiedenen Objektmerkmalen und speziell zum *Binding* von Objekten und ihren Lokalisationen dargestellt wurden, sollen in den folgenden Abschnitten weitere Überlegungen zur Integration dieser Form des *Binding* in das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (2000) angestellt werden. Von dieser Möglichkeit der sinnvollen Eingliederung des *Binding* hängt auch die Relevanz des Modells für die zukünftige Forschung ab. In Bezug auf die Theorie zur Arbeitsgedächtniskapazität von Engle (2002) soll weiterhin überlegt werden, welche möglichen Zusammenhänge es zwischen der individuellen Arbeitsgedächtniskapazität und der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen geben könnte. Da die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit bei vielen kognitiven Prozessen eine wichtige Einflussgröße darstellt, soll auch ihre mögliche Bedeutung aufgezeigt werden.

### 2.3 Das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley

Das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (2000) stellt das bekannteste Gedächtnismodell in der Kognitionspsychologie dar. In der vorliegenden Arbeit soll es als übergeordnetes Rahmenkonzept für die Beantwortung der entsprechenden Fragestellungen fungieren. Obwohl angesichts der Möglichkeiten die bildgebende Verfahren bieten, in der entsprechenden Forschung oftmals die Einordnung in psychologische Theorien und Konzepte in den Hintergrund tritt, gelang es diesem Modell in den nun mehr drei Jahrzehnten, in denen es Anlass zu vielfältigen empirischen Untersuchungen gab, seine Relevanz zu behaupten. Es lieferte nicht nur schlüssige Erklärungen für zahlreiche psychologische Phänomene, sondern der Forschung gelang es größtenteils auch, die verschiedenen Konstrukte des Modells mit anatomischen Strukturen in Einklang zu bringen (Henson, 2001). Allerdings wird erst seit kurzem versucht, dieses Arbeitsgedächtnismodell ebenfalls auf das Phänomen des *Binding* anzuwenden. Daher ist derzeit noch

nicht hinreichend geklärt, wie gut die Integration der entsprechenden Befunde in das Modell gelingt.

Die ursprüngliche Konzeption des Working-Memory-Modells von Baddeley und Hitch (1974) ging davon aus, dass das Arbeitsgedächtnis für die simultane Speicherung und Verarbeitung von Informationen zuständig ist und aus drei Komponenten, d. h. einer sog. Phonologischen Schleife, einem Sketchpad und einer Zentralen Exekutive besteht. Das Memorieren von verbalen und akustischen Informationen wird von der Phonologischen Schleife übernommen, die sich weiterhin in einen Phonologischen Speicher und einen artikulatorischen Kontrollprozess aufteilen lässt (Baddeley, 1997). Mit Hilfe des artikulatorischen Rehearsalprozesses, durch den die vorhandene Gedächtnisspur immer wieder aufgefrischt wird, können sprachliche Informationen über längere Zeit gespeichert werden. Auf die Phonologische Schleife soll jedoch im Folgenden nicht näher eingegangen werden, da diese Komponente für die hier interessierende Fragestellung nicht weiter relevant ist.

Das Sketchpad ist als zweites Subsystem für die Speicherung von visuellen und räumlichen Informationen zuständig, während die Zentrale Exekutive als eine übergeordnete Kontrollinstanz u. a. die Koordination der beiden Sklavensysteme und die Verteilung von Aufmerksamkeit übernimmt. Eine vierte Komponente, die als Episodic Buffer bezeichnet wird, wurde nachträglich von Baddeley (2000) postuliert, da empirische Befunde auf die Existenz einer weiteren Instanz hindeuten, die für das Speichern von Informationen aus verschiedenen Modalitäten zuständig ist. Eine schematische Darstellung des Arbeitsgedächtnismodells findet sich in Abbildung 1.

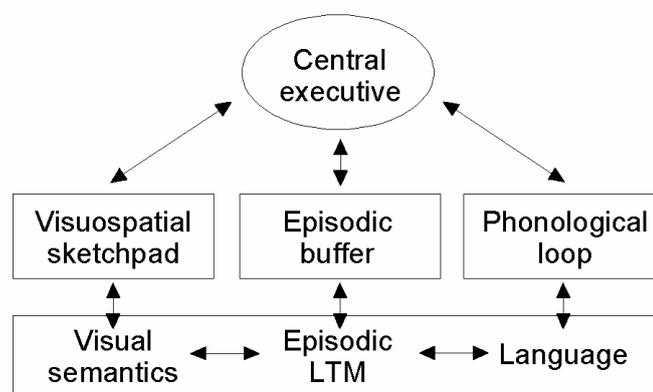


Abbildung 1. Die aktuelle Version des Working-Memory-Modells (Baddeley, 2001, p. 421).

### 2.3.1 Das Sketchpad

Das Sketchpad, das für die Speicherung visueller und räumlicher Informationen zuständig ist, wurde aufgrund zahlreicher empirischer Befunde weiter ausdifferenziert, so dass man inzwischen von zwei getrennten Subkomponenten ausgeht. Experimente, in denen Interferenzaufgaben Anwendung fanden, konnten eindeutig zeigen, dass parallele räumliche Aufgaben, wie z. B. simultanes Klopfen oder Armbewegungen, sich selektiv auf die Gedächtnisleistung für räumliche Informationen auswirken. Im Gegensatz dazu führen visuelle Interferenzaufgaben einseitig zu einer schlechteren Behaltensleistung für visuelle Items, während sie das Memorieren von räumlichen Informationen nicht negativ beeinflussen (z. B. Baddeley & Lieberman, 1980; Della Sala, Gray, Baddeley, Allamano & Wilson, 1999; Klauer & Zhao, 2004). Diese Dissoziation wird ebenfalls durch neuropsychologische Studien mit Patienten bestätigt (z. B. Farah, Hammond, Levine & Calvanio, 1988; Newcombe, Ratcliff & Damasio, 1987).

Die weitere Fraktionierung des Sketchpads in zwei Komponenten, von denen die eine für die Speicherung visueller und die andere für das Memorieren räumlicher Informationen zuständig ist, findet sich, wie weiter oben bereits dargelegt, in der Unterscheidung zwischen einem ventralen und einem dorsalen Pfad wieder. Logie (1995) formulierte diese Fraktionierung des Sketchpads näher und postulierte die Existenz eines sog. Visual cache, der für die Speicherung von visuellen Informationen wie z. B. Form und Farbe zuständig ist. Der sog. Inner scribe als zweites Subsystem übernimmt als aktiver räumlicher Rehearsalmechanismus zum einen die Auffrischung der Informationen, die sich in dem visuellen Speicher befinden, zum anderen speichert er selbst Bewegungen und die Abfolge von sequentiellen Positionen. An dieser Konzeption ist allerdings zu kritisieren, dass sie die Speicherung von statischen räumlichen Positionen nicht berücksichtigt. Dementsprechend wird hier noch eine Erweiterung der Modellvorstellung benötigt. Eine Aufteilung des Arbeitsgedächtnisses in getrennte Subsysteme für verbale Informationen, visuelle Objektidentität und räumliche Lokalisationen wurde u. a. von Hartley, Speer, Jonides, Reuter-Lorenz und Smith (2001) auf experimentellen Wege demonstriert. Zudem geht man inzwischen davon aus, dass selektive räumliche Aufmerksamkeit als Rehearsalmechanismus für räumliche Informationen dient (Awh, Jonides & Reuter-Lorenz, 1998).

### 2.3.2 Die Zentrale Exekutive

Die Zentrale Exekutive als die wichtigste Komponente des Arbeitsgedächtnismodells stellt kein einheitliches Konzept dar, sondern lässt sich empirischen Untersuchungen zufolge in weitere Subfunktionen fraktionieren (Baddeley, 1996; Lehto, 1996). Als die vier Hauptfunktionen werden die Fokussierung, die Teilung und das Hin- und Herschalten von Aufmerksamkeit sowie die Fähigkeit, die aktiven Inhalte des Arbeitsgedächtnisses mit dem Langzeitgedächtnis in Verbindung zu bringen, angesehen (Repovš & Baddeley, 2006). Die Fokussierung von Aufmerksamkeit wird insbesondere mit Hilfe der sog. Random-Number-Generation-Aufgabe untersucht, bei der in einer hohen Geschwindigkeit Zahlen so generiert werden müssen, dass eine zufällige Zahlenabfolge entsteht. Bei der Ausführung von Doppelaufgaben, die die parallele Bearbeitung von zwei verschiedenen Aufgaben beinhalten, wird diese notwendige Teilung der Aufmerksamkeit von der Zentralen Exekutive gesteuert. Das Hin- und Herschalten von Aufmerksamkeit erfordert dabei von der Exekutive, bei Bedarf die korrekte Aufgabe zu aktivieren und auszuführen (Repovš & Baddeley, 2006). Die Rolle der Exekutive bei der Integration von aktiven Informationen des Arbeitsgedächtnisses mit Inhalten des Langzeitgedächtnisses sowie ihre mögliche Beteiligung beim *Binding* wird im nächsten Abschnitt im Zusammenhang mit dem Episodic Buffer näher erläutert. Studien zur möglichen anatomischen Lokalisierung der Exekutive haben wiederholt auf die Bedeutung des Frontallappens hingewiesen (Fletcher & Henson, 2001). Die Zentrale Exekutive kontrolliert und koordiniert das Sketchpad und die Phonologische Schleife, ohne eine eigene Speicherkapazität zu besitzen. Es wird davon ausgegangen, dass höchstwahrscheinlich die Aufrechterhaltung von Informationen unabhängig von der Zentrale Exekutive abläuft, während jedoch beim *Binding* und bei der Integration von Informationen auf sie zurückgegriffen wird: „Simple representation and maintenance (...) may be independent of the central executive, unless it requires the complex binding and integration of information“ (Repovš & Baddeley, 2006, p. 10). Kritikpunkte an dem Konzept der Zentralen Exekutive werden von Andrade (2001) zusammengefasst, die u. a. die mangelnde Spezifizierung der Beziehungen zwischen der Exekutive und den Subsystemen betreffen. So ist beispielsweise noch nicht eindeutig geklärt, unter welchen Umständen die Exekutive für den Rehearsalprozess von Informationen benötigt wird.

Ungeachtet der Bedeutung, die gemäß dem Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (2000) der Zentralen Exekutive beim *Binding*-Prozess beigemessen wird, gibt es

nur relativ wenige Studien, die ihre Beteiligung näher untersucht haben. Hierbei konnten sowohl Loisy und Roulin (2003) als auch Martein et al. (1999) zeigen, dass die Gedächtniskapazität für simultan zu memorierende Lokalisationen und Bilder bzw. Wörter niedriger ist als für die isolierten Informationsdimensionen. Eine Interferenzaufgabe für die Zentrale Exekutive, bei der ein zufälliger Rhythmus geklopft werden musste, wirkte sich beispielsweise in der *Binding*-Bedingung stärker aus als in den Bedingungen, die lediglich eine Reproduktion der isolierten Informationsdimensionen erforderten (Martein et al., 1999). Die vorliegende Untersuchung setzt an dieser Stelle an, um eine Beteiligung der Exekutive beim *Binding* mit einem alternativen methodischen Vorgehen zu untersuchen.

### 2.3.3 Der Episodic Buffer

Die Einbettung des *Binding*-Problems in das Arbeitsgedächtnismodell wurde, wie bereits erwähnt, sehr lange vernachlässigt und erst in jüngster Zeit aufgegriffen. Empirische Befunde machten schließlich Überlegungen im Hinblick auf diesen Aspekt unumgänglich, denn Logie, Della Sala, Wynn und Baddeley (2000) konnten zeigen, dass ein visueller Ähnlichkeitseffekt beim Memorieren von Buchstaben auftritt, und zwar unabhängig von einer parallel auszuführenden artikulatorischen Unterdrückungsaufgabe. Ein kombiniertes Enkodieren verbaler und visueller Informationen bei einer verbalen Gedächtnisspannungsaufgabe wurde auch von Chincotta, Underwood, Abd Ghani, Papadopoulou und Wresinski (1999) nachgewiesen. Das Vorliegen eines integrierten Codes kann durch das ursprüngliche Modell nicht erklärt werden, da die Phonologische Schleife und das Sketchpad zwei getrennte Subsysteme darstellen. Demzufolge muss es nicht nur einen Mechanismus geben, der beide Informationsdimensionen integriert, sondern es wird auch ein weiteres Subsystem benötigt, um diese Repräsentation zu speichern. Weiterhin können bei Kurzzeitgedächtnisaufgaben auch Inhalte des Langzeitgedächtnisses eine Rolle spielen. Somit wird eine Schnittstelle benötigt, um aktive Informationen des Arbeits- und des Langzeitgedächtnisses miteinander zu verbinden (Hulme, Roodenrys, Brown & Mercer, 1995). Diese theoretischen Überlegungen und empirischen Befunde führten zu der Entwicklung einer zusätzlichen Komponente.

Der Episodic Buffer lässt sich als einen kapazitätsbegrenzten Speicher charakterisieren, der auf einen multimodalen Code zurückgreift und in der Lage ist, Informationen aus den verschiedenen Subsystemen und dem Langzeitgedächtnis in einer integrier-

ten Form zu speichern. Wie man anhand der Darstellung in Abbildung 1 erkennen kann, bestehen zwischen ihm und dem episodischen Langzeitgedächtnis reziproke Verbindungen. Der Episodic Buffer ist als ein getrenntes Subsystem konzipiert, kann aber auch als die Speicherkomponente der Zentralen Exekutiven angesehen werden (Baddeley, 2003). Es wird davon ausgegangen, dass das Memorieren integrierter Objekte durch einen *Binding*-Mechanismus vermittelt wird, der von begrenzten Aufmerksamkeitsressourcen abhängt. Die Zentrale Exekutive übernimmt gemäß den Modellvorstellungen das *Binding* der Informationen aus verschiedenen Subsystemen und Modalitäten: „The integration and maintenance of information within the episodic buffer depends on a limited capacity attentional system, namely the central executive“ (Repovš & Baddeley, 2003, p. 11). In Anbetracht der Fraktionierung der Zentralen Exekutiven fehlt bislang leider eine genauere Definition der beim *Binding* benötigten Aufmerksamkeit. Es ist wahrscheinlich, dass lediglich bestimmte Subfunktionen der Exekutiven für die Kontrolle der Aufmerksamkeit verantwortlich sind. Im Hinblick auf den Episodic Buffer und seine Funktionsweise sind allerdings noch viele Fragen ungeklärt, da es bisher nur sehr wenige Studien gibt, die sich mit seiner Erforschung beschäftigen. Die mögliche anatomische Lokalisation des Episodic Buffers wurde in einer Studie von Prabhakaran, Narayanan, Zhao und Gabrieli (2000) näher untersucht. Wenn verbales und räumliches Material in einer integrierten Form gespeichert werden musste, wurde eine Aktivierung des rechten präfrontalen Cortex gefunden. Insbesondere der rechte mittlere und superiore frontale Gyrus scheinen dabei eine wichtige Rolle zu spielen. Bei einer isolierten Speicherung räumlicher Informationen zeigten sich hingegen rechtshemisphärische Aktivierungen in frontalen Regionen und bilateral in superioren Parietalregionen.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird eine Aufgabe verwendet, bei der Objekte und ihre Positionen simultan memoriert werden müssen. Das Kriterium für Aufgaben, bei denen der Episodic Buffer beteiligt ist, besteht darin, dass die komplexe Integration von Informationen erforderlich wird. Somit kann auch der Episodic Buffer näher untersucht werden, da eine Aufgabe, bei der Objekte an ihre ursprüngliche Lokalisation gesetzt werden müssen, als eine Gedächtnisanforderung gilt, für die der Episodic Buffer benötigt wird (Repovš & Baddeley, 2006; Zimmer, Speiser & Seidler, 2003).

## 2.4 Die Theorie der Arbeitsgedächtniskapazität von Engle

Während bei dem MultispeichermodeLL von Atkinson und Shiffrin (1968) lediglich die Speicherung von Informationen im Vordergrund steht, fokussiert das Arbeitsgedächtnis-modell von Baddeley und Hitch (1974) sowohl die Aufrechterhaltung der Informationen aus verschiedenen Modalitäten als auch ihre simultane Verarbeitung. Dementsprechend lässt sich das Arbeitsgedächtnis noch anhand eines weiteren Aspekts ausdifferenzieren: Zum einen umfasst es Prozesse des Kurzzeitgedächtnisses wie die Memorierung von Informationen über die Phonologische Schleife und das Sketchpad. Hierbei geht man von domänenspezifischen Speichervorgängen wie Rehearsalprozessen aus, was sich auch in der Dissoziation von verbalem und visuellem Kurzzeitgedächtnis widerspiegelt (Hartley et al., 2001). Zum anderen sind neben der Aufrechterhaltung dieser Informationen auch noch weitere komplexere kognitive Operationen wie z. B. die simultane Verarbeitung von neuen Informationen möglich, wofür jedoch auf eine allgemeine Aufmerksamkeitsressource zurückgegriffen werden muss (Conway, Cowan, Bunting, Theriault & Minkoff, 2002). Diese Aufmerksamkeitsressource wird nach der entsprechenden Modellvorstellung im Arbeitsgedächtnis durch die Zentrale Exekutive repräsentiert, die die notwendigen Kontrollprozesse ausübt (Kane et al., 2004).

An diesem Punkt setzt die Theorie zur Arbeitsgedächtniskapazität von Engle (2002) an, bei der nicht die verschiedenen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses im Vordergrund stehen, sondern der Schwerpunkt auf der Rolle der Aufmerksamkeit und der Differenzierung zwischen Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität liegt. Die unterschiedlich ausgeprägte Fähigkeit zur Kontrolle von Aufmerksamkeitsprozessen wird nach der Auffassung von Engle (2002) als die relevante Einflussgröße in Bezug auf die Arbeitsgedächtniskapazität angesehen. Wenn Aufgaben lediglich automatisierte Verarbeitungsprozesse erfordern, ist kein Leistungsunterschied zwischen Individuen mit einer niedrigen bzw. hohen Arbeitsgedächtniskapazität zu beobachten. Erst bei der Bearbeitung von Aufgaben, die eine kontrollierte Verarbeitung notwendig machen, wie z. B. die Stroop-Aufgabe, führt eine höhere Arbeitsgedächtniskapazität zu einer besseren Leistung (Tuholski, Engle & Bayliss, 2001). Sogar ein Einfluss der Arbeitsgedächtniskapazität auf die Verteilung der visuellen Aufmerksamkeit konnte inzwischen nachgewiesen werden (Bleckley, Durso, Crutchfield, Engle & Khanna, 2003). Individuen mit einer geringen Kapazität fokussieren ihre Aufmerksamkeit in Form eines sog. Spotlights, während bei dem Vorliegen einer hohen Arbeitsgedächtniskapazität die Vertei-

lung der Aufmerksamkeit auf flexible Weise geschieht. Dieses Ergebnis wird als ein weiterer Hinweis dafür gesehen, dass das Arbeitsgedächtnis mit dem Konzept der kontrollierten Aufmerksamkeit gleichgesetzt werden kann.

Die Unterteilung von Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität gab Anlass zu der Entwicklung von Aufgaben, die über die Messung der reinen Gedächtnisleistung hinausgehen. Diese Arbeitsgedächtnisaufgaben zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine Kurzzeitgedächtnisaufgabe beinhalten, bei der verschiedene Materialien wie Wörter oder Punkte in einer Matrix memoriert werden müssen. Zwischen der sequentiellen Darbietung dieser Items müssen jedoch zusätzlich noch einfache Aufgaben, die z. B. aus einer elementaren Rechenoperation bestehen, bearbeitet werden (Turner & Engle, 1989). In zahlreichen Studien konnte dabei wiederholt aufgezeigt werden, dass diese Arbeitsgedächtnisaufgaben positiv mit fluider Intelligenz und Textverständnis korrelieren, während dies für die Kurzzeitgedächtnisspanne nicht oder nur in einem sehr geringen Maße gilt (Daneman & Merikle, 1996; Engle, Tuholski, Laughlin & Conway, 1999). Wenn im Rahmen dieser Arbeit von Kurzzeitgedächtniskapazität oder Kurzzeitgedächtnisaufgaben gesprochen wird, ist dieser Begriff demzufolge auf die „einfache“ Speicherung von Informationen bezogen, während die Arbeitsgedächtniskapazität neben der Speicherung von Informationen auch Prozesse umfasst, bei denen vermutlich kontrollierte Aufmerksamkeit für die Verarbeitung erforderlich ist.

Bei der Differenzierung zwischen Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnisaufgaben ist allerdings zu beachten, dass es sich dabei nicht um eine absolute Dichotomie handelt. Das wichtigste Merkmal von Arbeitsgedächtnismaßen ist, dass sie die Zentrale Exekutive in einem größeren Ausmaß beanspruchen als Kurzzeitgedächtnisaufgaben. Die gemeinsamen Merkmale von Arbeitsgedächtnisaufgaben werden von Conway et al. (2002) folgendermaßen formuliert: „The extent to which a task demands working memory capacity is determined by the extent to which it requires the maintenance of activation to memory representations that could otherwise be lost from the focus of attention due to interference and decay” (p. 164).

Auch die kognitiven Prozesse, die bei dem Paradigma der visuellen Suche nötig sind, scheinen von der Arbeitsgedächtniskapazität abhängig zu sein. Han und Kim (2004) stellen mit Blick auf diese Annahme fest, dass exekutive Prozesse und das Arbeitsgedächtnis notwendig für die Allokation von Aufmerksamkeit sind. Während das simultane Speichern von Informationen keinen Einfluss auf die Reaktionszeit bei der visuellen Suche hatte, verlangsamte eine parallele Arbeitsgedächtnisaufgabe diesen Such-

prozess. Diese Untersuchung stützt die Hypothese, dass es eine enge Beziehung zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und kontrollierter Aufmerksamkeit gibt. Der Befund zeigt, dass bei der visuellen Suche auch exekutive Fähigkeiten eine Rolle spielen. Eine Studie von Oh und Kim (2004) demonstriert ebenfalls die negative Auswirkung einer parallelen räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgabe auf die Geschwindigkeit bei einer visuellen Suche, während eine visuelle Arbeitsgedächtnisaufgabe keinen Effekt hatte. Insbesondere das räumliche Arbeitsgedächtnis scheint dementsprechend für die visuelle Suche benötigt zu werden.

Im Hinblick auf die mögliche biologische Grundlage der Arbeitsgedächtniskapazität gibt es bereits zahlreiche Untersuchungen. Kane und Engle (2002) kommen in einer Übersichtsarbeit zu dem Schluss, dass der dorsolaterale präfrontale Cortex eine kritische Rolle bei exekutiven Aufmerksamkeitsfunktionen spielt und seine Funktion mit der Arbeitsgedächtniskapazität gleichzusetzen ist. Diese Gehirnregion scheint insbesondere für die aktive Aufrechterhaltung von Stimulusrepräsentationen verantwortlich zu sein, wenn gleichzeitig Interferenzen durch andere Reize vorliegen.

Eine dementsprechende Konstellation liegt auch bei einer *Binding*-Aufgabe vor, bei der sowohl beide Informationsdimensionen als auch die jeweiligen Verbindungen memoriert werden müssen. Während bei der Speicherung einer isolierten Informationsdimension lediglich die Kurzzeitgedächtniskapazität ausgeschöpft wird, benötigt das Aufrechterhalten der Informationen beim *Binding* fokussierte Aufmerksamkeit. Es müssen z. B. nicht nur Objekte und Lokalisationen simultan enkodiert und memoriert, sondern gleichzeitig noch ihre spezifischen Verbindungen aufrechterhalten werden. Dabei können Interferenzen entstehen, da die verschiedenen Objekte um Aufmerksamkeit in Bezug auf ihre Zuordnung zu den jeweiligen Positionen konkurrieren. Ein weiterer Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und der Fähigkeit, *Binding*-Informationen herzustellen und aufrechtzuerhalten, kommt von Oberauer (2005). Seine Untersuchung war zwar auf das *Binding* von Wörtern und ihrem Kontext bezogen, aber die Ergebnisse zeigen klar, dass „ (...) working memory capacity reflects the limited capacity for maintaining temporary bindings“ (p. 384).

Die bereits dargestellten Befunde im Hinblick auf eine schlechtere Gedächtnisleistung für *Binding*-Informationen zeigen, dass das Memorieren der jeweiligen Informationen kein Prozess ist, der ohne kontrollierte Aufmerksamkeit abläuft. Die Aufmerksamkeit als eine zentrale Größe beim *Binding* wird auch von der Feature-Integration-Theorie betont (Wheeler & Treisman, 2002). Der mögliche Zusammenhang zwi-

schen der Arbeitsgedächtniskapazität und der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen könnte aufgrund der Anforderung, die das *Binding* an die Verteilung und Fokussierung von Aufmerksamkeit stellt, resultieren. Möglicherweise wird also die Form der Aufmerksamkeit beim *Binding* durch die Arbeitsgedächtniskapazität erfasst, was in der vorliegenden Arbeit näher untersucht werden soll.

## 2.5 Die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit

Eine weitere kognitive Einflussgröße, die bei der Verarbeitung von Informationen eine fundamentale Rolle spielt, ist die individuelle Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit. Diese Verarbeitungsgeschwindigkeit ist allgemein definiert als die maximale Geschwindigkeit, in der elementare kognitive Operationen durchgeführt werden können (Kail & Salthouse, 1994) und scheint insbesondere für die altersabhängige Zunahme bzw. Abnahme der Leistung bei verschiedenen Aufgaben, wie z. B. Tests zur Erfassung der fluiden Intelligenz, verantwortlich zu sein (vgl. Fry & Hale, 1996; Salthouse, 1996).

Als Mechanismen, die für die Auswirkung der Verarbeitungsgeschwindigkeit auf kognitive Prozesse verantwortlich sind, werden der Mechanismus der begrenzten Zeit und der sog. Simultanitätsmechanismus diskutiert (Salthouse, 1996). Da die Zeit für kognitive Operationen begrenzt ist, können spätere Informationsverarbeitungsprozesse nicht oder nur eingeschränkt stattfinden, da erst noch frühere Operationen ausgeführt werden müssen. Der Mechanismus der begrenzten Zeit wirkt sich insbesondere bei komplexeren Aufgaben als Einschränkung aus. Aufgrund der Zeitverzögerung, die sich durch eine langsamere Informationsverarbeitung ergibt, werden weiterhin bereits verarbeitete Informationen vergessen und stehen somit nicht mehr für eine tiefere Verarbeitung zur Verfügung, was durch den Simultanitätsmechanismus beschrieben wird (Salthouse, 1996).

Je schneller Informationen verarbeitet werden, desto mehr von ihnen können theoretisch auch memoriert werden. Entsprechend ist auch die Höhe der Arbeitsgedächtniskapazität von der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit abhängig. Folglich könnte die allgemeine Verarbeitungsgeschwindigkeit die eigentliche kausale Größe sein, die z. B. hinter dem Zusammenhang zwischen Arbeitsgedächtniskapazität und fluider Intelligenz steht (Conway et al., 2002; Fry & Hale, 1996). Ein substantieller Zusammenhang zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und der Verarbeitungsgeschwindigkeit wurde auch von Ackerman, Beier und Boyle (2002) festgestellt.

Inwiefern es sich bei dem Konstrukt der Verarbeitungsgeschwindigkeit um eine einheitliche Größe handelt, oder ob sie sich eher aus multiplen Prozessen zusammensetzt, ist noch nicht näher geklärt (Kail & Salthouse, 1994). Eine größere Verarbeitungsgeschwindigkeit scheint mit einer höheren Effizienz neuronaler Prozesse zusammenzuhängen (Rypma & D'Esposito, 1999). Als neuronale Grundlagen für die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit werden verschiedene biologische Mechanismen wie z. B. die Geschwindigkeit synaptischer Reizübertragung und die Dauer neuronaler Refraktärzeiten (Jensen, 1982; vgl. Schweizer, 1995), die neuronale Adaptabilität (Schafer, 1982) und die Fehlerfreiheit synaptischer Übertragungsprozesse (Hendrickson, 1982) diskutiert.

Um eine Aussage über den möglichen Zusammenhang zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und die Gedächtnisleistung für *Binding*-Informationen zu treffen, ist es demzufolge auch wichtig, die individuelle Verarbeitungsgeschwindigkeit zu erfassen. Somit kann abgesichert werden, dass nicht sie die verantwortliche kognitive Größe für diesen Zusammenhang darstellt. Die Geschwindigkeit, mit der Informationen wahrgenommen und somit auch enkodiert werden können sowie der schnelle Ablauf von Rehearsalprozessen können allgemein die Gedächtniskapazität bestimmen. Dementsprechend könnten auch die Verbindungen zwischen den Objekten und ihren jeweiligen Lokalisationen besser memoriert und reproduziert werden und eine höhere Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen würde resultieren. Der Einfluss der Verarbeitungsgeschwindigkeit auf die Gedächtniskapazität für das simultane Memorieren von Objekt- und Positionsinformationen wurde in bisherigen Studien nicht explizit thematisiert und untersucht. Kail und Salthouse (1994) weisen allerdings darauf hin, dass höhere Verarbeitungsprozesse wie die Integration von Informationen davon abhängig sind, dass alle Informationsquellen gleichzeitig zugänglich sind. Daher soll im Rahmen der vorliegenden Untersuchung der Einfluss der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit auf die Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen näher bestimmt werden.

## 2.6 Zusammenfassung der Untersuchungsziele

In der vorliegenden Untersuchung sollen einige noch ungeklärte Fragestellungen aus dem Bereich des *Binding* von Objekten und Lokalisationen aufgegriffen und näher untersucht werden. Als eine Grundlage für die zu prüfenden Hypothesen muss in einem ersten Schritt experimentell abgesichert werden, dass die Gedächtniskapazität für die

*Binding*-Informationen niedriger ausfällt als für die isolierten Informationsdimensionen. Ein solches Ergebnis würde für die Charakterisierung der simultanen Speicherung von Objekt- und Lokalisationsinformationen als einen komplexen Vorgang, für den Aufmerksamkeitsprozesse notwendig sind, sprechen. Hierbei muss allerdings auch im Sinne der Maintenance-Load-Hypothese ausgeschlossen werden, dass die schlechtere Gedächtnisleistung für die *Binding*-Informationen allein aufgrund der zusätzlichen Gedächtnislastung durch die höhere Anzahl zu memorierender Informationen resultiert.

Weiterhin soll im Hinblick auf das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (2000) geprüft werden, inwiefern die Zentrale Exekutive für das simultane Memorieren beider Informationsdimensionen benötigt wird, und ob ihre Beteiligung über das Ausmaß hinausgeht, in dem sie ggf. für die Speicherung der isolierten Informationsdimensionen herangezogen wird. In diesem Zusammenhang soll ebenfalls die Möglichkeit zur Integration des *Binding* von Objekt- und Lokalisationsinformationen in das Arbeitsgedächtnismodell untersucht werden. Hier rückt insbesondere der Episodic Buffer in den Vordergrund, da in diesem Baddeley (2000) zufolge die visuellen und räumlichen Informationen in einer integrierten Form gespeichert werden.

Eine weitere Hypothese, die getestet werden soll, bezieht sich auf den Einfluss der individuellen Arbeitsgedächtniskapazität auf die Gedächtnisleistung für *Binding*-Informationen. Hierbei wird ein Zusammenhang zu der Theorie der Arbeitsgedächtniskapazität von Engle (2002) hergestellt, die davon ausgeht, dass bei Gedächtnisaufgaben, für deren Ausführung kontrollierte Aufmerksamkeit benötigt wird, nicht die Kurzzeitgedächtniskapazität, sondern die individuelle Arbeitsgedächtniskapazität der entscheidende Einflussfaktor ist. Wenn für das simultane Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen neben der Kurzzeitgedächtniskapazität zusätzlich kontrollierte Aufmerksamkeit benötigt wird, dann lässt sich eine dementsprechende Gedächtnisaufgabe als eine komplexe Arbeitsgedächtnisanforderung charakterisieren.

Die mögliche differentielle Auswirkung der individuellen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit auf die Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen soll zusätzlich im Sinne einer Erfassung aller wichtigen Einflussfaktoren auf das Arbeitsgedächtnis untersucht werden. Hierbei stellt sich die Frage, ob die Verarbeitungsgeschwindigkeit über ihren Einfluss auf das Kurzzeitgedächtnis hinaus eine Rolle bei der simultanen Speicherung von Objekt- und Lokalisationsinformationen spielt.

### 3. Methode

Bei der Darstellung des methodischen Vorgehens werden zuerst allgemeine Überlegungen im Hinblick auf die Gestaltung der Untersuchung und die konkrete Operationalisierung der interessierenden kognitiven Konstrukte dargelegt. Anschließend folgt ein Überblick über den allgemeinen Ablauf des Experiments und am Schluss steht eine genaue Beschreibung der verwendeten Tests und Aufgaben.

#### 3.1 Allgemeine methodische Vorüberlegungen

Für die Beantwortung der Frage, inwiefern neben der Kurzzeitgedächtniskapazität exekutive Fähigkeiten beim Memorieren von *Binding*-Informationen eine Rolle spielen, wurde ein korrelationsanalytischer Ansatz gewählt. Die wenigen Verhaltensexperimente zur Klärung dieser Hypothese haben bisher vor allem mit Interferenzaufgaben gearbeitet und erste Hinweise auf eine Beteiligung der Zentralen Exekutive erbracht (Loisy & Roulin, 2003; Martein et al., 1999). Durch dieses Paradigma kann allerdings nicht geklärt werden, inwiefern andere Faktoren wie z. B. die individuelle Verarbeitungsgeschwindigkeit einen zusätzlichen Einfluss auf die Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen haben. Weiterhin lässt sich mit Hilfe von Interferenzaufgaben ebenfalls nicht detailliert bestimmen, welche exekutiven Fähigkeiten für das Memorieren im Besonderen benötigt werden, da nicht alle Aufgaben für die Exekutive mit einer simultanen Gedächtnisaufgabe kombinierbar sind. Zudem ist eine Untersuchung der Hypothese, dass die Gedächtniskapazität für die beiden kombinierten Informationsdimensionen eher von der individuellen Arbeitsgedächtnis- als von der Kurzzeitgedächtniskapazität bestimmt ist, nur mit Hilfe der Analyse von Zusammenhängen zwischen den beiden Aufgabenarten erreichbar. Während korrelationsanalytische Untersuchungen im Bereich der Arbeitsgedächtnisforschung bereits sehr verbreitet sind (z. B. Ackerman et al., 2002; Conway et al., 2002; Kane et al., 2004), stellt dieses Vorgehen bei der Untersuchung des *Binding* von Objekten und Lokalisationen einen neuen, explorativen Ansatz dar.

Die vorliegende Studie setzt sich aus zwei Teilen zusammen: Zum einen wurde in einem in sich geschlossenen Experiment die Gedächtniskapazität für Objekte und Lokalisationen sowie für die Kombination beider Informationsdimensionen bestimmt. Zum anderen wurden anhand von mehreren Aufgaben exekutive Fähigkeiten, die visuelle und räumliche Kurzzeitgedächtnisspanne, die visuelle und räumliche Arbeitsge-

dächtniskapazität sowie die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit erfasst. Jede kognitive Fähigkeit wurde durch zwei bzw. im Falle der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit auch durch mehrere Testaufgaben operationalisiert. Im Hinblick auf die Kurzzeitgedächtnis- und Arbeitsgedächtnismaße wurde darauf geachtet, die Aufgaben möglichst vergleichbar zu gestalten, um so die Methodenvarianz zu reduzieren. Damit sollte erreicht werden, dass Unterschiede im Hinblick auf die Vorhersagekraft von Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis für die Gedächtniskapazität von *Binding*-Informationen nicht auf eine unterschiedliche Vorgehensweise bei ihrer Messung zurückzuführen sind (vgl. Kane et al., 2004).

### 3.2 Grundidee des *Binding*-Experiments

Als eine Voraussetzung für die Klärung der Frage, inwiefern insbesondere die simultane Speicherung von räumlichen und visuellen Informationen eine besondere Anforderung an das Arbeitsgedächtnis darstellt, musste abgesichert werden, dass diese Gedächtnisleistung tatsächlich schlechter im Vergleich zu der isolierten Speicherung der Informationsdimensionen ausfällt. Ein weiterer Aspekt, der in der bisherigen Forschung teilweise vernachlässigt wurde, bezieht sich auf die spezifischen „Kosten“, die durch die Aufgabe, beide Dimensionen simultan zu memorieren, verursacht werden. In den Experimenten von Mitchell, Johnson, Raye, Mather et al. (2000) und Postma und De Haan (1996) wurde beispielsweise nicht differenziert untersucht, ob bei einer *Binding*-Anforderung lediglich die Gedächtniskapazität für die Lokalisationen oder die Objekte verringert ist, und aufgrund dessen bei dieser Bedingung insgesamt eine schlechtere Leistung resultiert; oder ob das spezifische Defizit vielmehr darin besteht, die jeweiligen Verbindungen zwischen den beiden Dimensionen zu memorieren. Die Beantwortung dieser Frage ist allerdings von großem Interesse, da so weitere Erkenntnisse über den Prozess des simultanen Memorierens von Positionen und Objekten erzielt werden können. Dementsprechend wurde das vorliegende Experiment so konzipiert, dass auch in der *Binding*-Bedingung die Gedächtniskapazität für die isolierten Dimensionen bestimmt werden konnte. Zusätzlich mussten bei der Antwortwiedergabe die Items aktiv reproduziert werden und es wurde nicht die Beurteilung eines Testdisplays wie beim Change-Detection-Paradigma (Luck & Vogel, 1997; Simons, 1996) gefordert, um ein direkteres Maß für die Gedächtniskapazität zu erhalten. Bei einem vorherigen Experiment, in dem das Change-Detection-Paradigma Verwendung fand, wurden ebenfalls die Gedächtnisleis-

tungen für die Lokalisations- und Objektinformationen sowie für die *Binding*-Informationen erhoben. Es zeigte sich auch hier eine schlechtere Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen im Vergleich zu der Speicherung der isolierten Informationsdimensionen (Yan & Petras, in Vorb.). Allerdings offenbarten sich gleichzeitig die Schwächen des Change-Detection-Paradigmas im Hinblick auf eine exakte Bestimmung der Gedächtniskapazität. Demzufolge erschien es sinnvoll, für dieses Experiment ein alternatives methodisches Vorgehen zu wählen.

Ein weiterer Aspekt, der in bisherigen Untersuchungen zum *Binding* nur selten systematisch untersucht wurde, ist die Frage, inwiefern die Gedächtnisleistung durch vorheriges Wissen, welche der Informationsdimensionen reproduziert werden müssen, beeinflusst wird. Bei Kenntnis der Aufgabenanforderung vor der Darbietung der Items ist davon auszugehen, dass die Aufmerksamkeit gezielt auf die jeweils relevante Dimension gerichtet wird. Dementsprechend wird z. B. die Lokalisationsinformation nicht memoriert, wenn nur die Objekte reproduziert werden müssen, und es wird somit keine Gedächtniskapazität für irrelevante Informationen „verbraucht“. Falls aber erst zum Zeitpunkt der Wiedergabe durch einen Hinweisreiz angegeben wird, was zu reproduzieren ist, müssen alle Informationsdimensionen simultan enkodiert und in einer integrierten Form memoriert werden, um eine maximale Gedächtnisleistung zu erzielen. Durch den Vergleich dieser beiden Instruktionsvarianten kann näher untersucht werden, ob sich die simultane Speicherung von Objekten zusammen mit ihren Positionen negativ auf die Behaltensleistung für die einzelnen Informationsdimensionen auswirkt. Das Zutreffen der Maintenance-Load-Hypothese von Mitchell, Johnson, Raye, Mather et al. (2000) wird mit dieser Vorgehensweise näher geprüft. Der Vergleich zwischen der Präsentation einer Instruktion vor der Reizdarbietung und einem Hinweisreiz, der erst nach der Darbietung angibt, welche Dimension zu reproduzieren ist, wurde auch in der bereits oben erwähnten Untersuchung erprobt. Dabei zeigte sich eine Tendenz zu einer unterschiedlichen Auswirkung der beiden Instruktionsvarianten (Yan & Petras, in Vorb.).

Für das vorliegende Experiment wurden als zu memorierende Objekte bekannte geometrische Figuren wie z. B. Dreieck und Quadrat verwendet. Dieses Itemmaterial hat die Eigenschaft, dass es zum einen über das Sketchpad gespeichert wird, zum anderen aber auch simultan mit Hilfe des artikulatorischen Kontrollprozesses der Phonologischen Schleife memoriert wird (Baddeley, 1997). Zusätzlich müssen die räumlichen Informationen im Hinblick auf den jeweiligen Ort der Figuren gespeichert werden, wobei nicht die Rekonstruktionsleistung in Bezug auf die exakten metrischen Positio-

nen, sondern die Gedächtnisleistung für die relative Anordnung der Objekte erfasst wurde (Postma & De Haan, 1996). Die Figuren wurden in einer Matrix so angeordnet, dass ihre kategorialen Beziehungen untereinander abgespeichert werden mussten (Kosslyn, Chabris, Marsolek & König, 1992). Somit wurde in dem vorliegenden Experiment die Gedächtniskapazität für das *Binding* von verbalen, visuellen und räumlichen Informationen aus den beiden Subsystemen des Arbeitsgedächtnisses erfasst, deren Gedächtnisrepräsentationen nach der Modellvorstellung von Baddeley (2000) in einer integrierten Form im Episodic Buffer gespeichert werden.

### 3.3 Theoretische Überlegungen zu den eingesetzten Aufgaben

#### 3.3.1 Exekutive Fähigkeiten

In Anbetracht der Fraktionierung der Zentralen Exekutive in weitere Subfunktionen stellte sich die Frage, welche Aufgaben sich für die Erfassung ihrer Beteiligung beim *Binding*-Prozess eignen. In der Literatur sind noch keine genauen Angaben zu möglichen exekutiven Tests vorhanden, bei denen ein Zusammenhang zum *Binding* vorliegen könnte. Dementsprechend war es wichtig, Aufgaben zu verwenden, die sich weitestgehend voneinander unterscheiden, um so ein breites Spektrum exekutiver Funktionen abzudecken. Eine Studie von Miyake et al. (2000) konnte drei verschiedene Faktoren extrahieren, die exekutive Fähigkeiten abbilden. Der erste Faktor lässt sich als die Fähigkeit zum mentalen Umschalten zwischen zwei Aufgaben bezeichnen, während die zweite Funktion sich auf die Überwachung und Aktualisierung von Informationen und Arbeitsgedächtnisrepräsentationen bezieht. Die Inhibition von vorherrschenden Assoziationen, wie z. B. bei einer Stroop-Aufgabe, stellt die dritte Fähigkeit dar. An dieser Aufteilung orientierte sich die Auswahl der beiden verwendeten Tests.

#### *Random-Number-Generation*

Als eine geeignete Aufgabe wurde die Random-Number-Generation-Aufgabe (RNG) gewählt. Die RNG-Aufgabe, bei der eine zufällige Abfolge von Zahlen generiert werden muss, scheint mit multiplen exekutiven Funktionen zusammenzuhängen und gilt als die klassische Standardaufgabe für die Messung exekutiver Fähigkeiten (Miyake et al., 2000). Durch sie wird sowohl die Fähigkeit zur Inhibition erfasst, da die Notwendigkeit besteht, stereotype Zahlenabfolgen zu unterbrechen, als auch die Fähigkeit zur Ak-

tualisierung von Informationen, denn die letzten Antworten müssen memoriert werden, um sie mit dem Konzept des Zufalls zu vergleichen.

### *Switching*

Als zweite Aufgabe zur Erfassung exekutiver Fähigkeiten wurde eine Switching-Aufgabe gewählt, die ebenfalls als eine prototypische, exekutive Anforderung angesehen wird (Baddeley, Chincotta & Adlam, 2001). In der Studie von Miyake et al. (2000) wurde das Switching dem Faktor zugeordnet, der für das Umschalten zwischen zwei Aufgaben steht. Durch diese Aufgabe wird die Fähigkeit zur selektiven Aktivierung und Hemmung eines Handlungsschemas erfasst (Oberauer, Süß, Schulze, Wilhelm & Wittmann, 2000). Bei der verwendeten Switching-Aufgabe muss eine Wahlreaktionszeitaufgabe nach einem bestimmten Kriterium so lange bearbeitet werden, bis ein Hinweisreiz den Wechsel zu einem anderen Beurteilungskriterium angibt. Die Schwierigkeit besteht nun in der korrekten Beurteilung desselben Itemmaterials nach einem neuen Kriterium, das nach einigen Versuchsdurchgängen wieder durch das alte Kriterium ersetzt wird. Zuerst müssen beispielsweise Pfeile in Bezug auf ihre Bildschirmposition beurteilt werden (oben vs. unten). Nach der Darbietung eines Hinweisreizes stellt jedoch die Richtung ihrer Pfeilspitze (aufwärts vs. abwärts) das relevante Kriterium dar und die Reaktion auf das alte Kriterium muss nun für die korrekte Beurteilung der Pfeile gehemmt werden. Mit der Wahl der RNG- und der Switching-Aufgabe bestand die Möglichkeit, exekutive Fähigkeiten möglichst breit zu erfassen.

### **3.3.2 Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit**

Eine häufig verwendete Methode zur Messung der Verarbeitungsgeschwindigkeit stellen Wahlreaktionszeitaufgaben (CRT-Aufgaben) dar. Es wurde hier eine räumliche Variante verwendet, bei der Pfeile danach beurteilt werden mussten, ob sie in der oberen oder unteren Bildschirmhälfte zu sehen sind. Als eine zweite visuelle Wahlreaktionszeitaufgabe mussten zwei gleichzeitig dargebotene Figuren danach beurteilt werden, ob sie identisch oder verschieden sind (Fry & Hale, 1996).

Als eine weitere Aufgabe wurde der Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT) gewählt, bei der die Zahlen von 1 bis 90 in chronologischer Reihenfolge so schnell wie möglich miteinander verbunden werden müssen (Oswald & Roth, 1987). Hierbei handelt es sich um einen Intelligenztest zur Messung der kognitiven Leistungs- und Verarbeitungsgeschwindigkeit.

schwindigkeit. Den Testautoren zufolge misst er die Speed-Komponente gebräuchlicher Intelligenztests bzw. die Wahrnehmungsgeschwindigkeit (perceptual speed) nach Thurstone (1938). Die Retest-Reliabilität dieses Tests liegt bei  $r_{tt} = .97$ . Neben der Originalversion des ZVT von Oswald und Roth (1987) wurden noch zwei weitere ZVT-Varianten eingesetzt, die von Vernon (1993) erstellt und untersucht wurden. Es handelt sich hierbei um etwas komplexere Varianten, die höher mit einem Test zur Erfassung der allgemeinen Intelligenz korrelierten als die einfache Version des ZVT (ZVT-123). Bei dem ZVT-179 müssen die Zahlen von der Zahl 179 ausgehend, rückwärts in Zweierschritten miteinander verbunden werden. Seine Retest-Reliabilität beträgt  $r_{tt} = .81$ . Bei dem ZVT-26z müssen die Buchstaben des Alphabets mit den Zahlen von 1-26 jeweils rückwärts verbunden werden. Dieser Test weist eine Retest-Reliabilität von  $r_{tt} = .80$  auf.

Als eine zusätzliche Aufgabe zur Erfassung der Verarbeitungsgeschwindigkeit wurde der Digit-Symbol-Test (DS) aus dem HAWIE-R (Tewes, 1991) eingesetzt. Bei diesem Test ist auf dem oberen Rand des Aufgabenblatts die Zuordnung der Zahlen von 1 bis 9 zu verschiedenen geometrischen Symbolen abgebildet und darunter befinden sich 90 Zahlen. Die Probandinnen und Probanden (Pbn) müssen so schnell wie möglich die entsprechenden Symbole in die direkt unter den Zahlen abgebildeten leeren Kästchen übertragen. Der Digit-Symbol-Test erfasst nach Tewes (1991) die allgemeine psychomotorische Geschwindigkeit und das Konzentrationsvermögen. In einer weiteren Untersuchung stellte sich heraus, dass dieser Test u. a. auch die Wahrnehmungsgeschwindigkeit misst (Joy, Fein & Kaplan, 2003). Seine Retest-Reliabilität ist mit  $r_{tt} = .95$  als sehr gut zu beurteilen.

### 3.3.3 Kurzzeitgedächtniskapazität

Wie bereits beschrieben ist eine Methode für die Erfassung der räumlichen und visuellen Kurzzeitgedächtniskapazität im *Binding*-Experiment integriert. Als zweite Aufgabe für die Erfassung der visuellen Kurzzeitgedächtnisleistung wurde eine klassische Gedächtnisspannungsaufgabe verwendet, bei der geometrische Figuren sequentiell dargeboten und in der richtigen Reihenfolge reproduziert werden müssen.

Bei der analogen Aufgabe für das räumliche Kurzzeitgedächtnis wurde den Pbn eine Abfolge von Punkten in einer Matrix dargeboten, die anschließend reproduziert werden musste. Dieses Maß wird auch als Dot-span-Aufgabe bezeichnet (Oberauer, Süß, Wil-

helm & Wittman, 2003). Diese beiden Aufgabenvarianten boten sich an, da bei ihnen das Itemmaterial des *Binding*-Experiments verwendet werden konnte.

### 3.3.4 Arbeitsgedächtniskapazität

Für die Erfassung der Arbeitsgedächtniskapazität wurden zwei analog aufgebaute Aufgaben benötigt, um so den jeweiligen Beitrag der räumlichen und visuellen Arbeitsgedächtniskapazität im Hinblick auf die *Binding*-Leistung vergleichen zu können. Arbeitsgedächtnisaufgaben zeichnen sich im Vergleich zu einer Kurzzeitgedächtnisaufgabe durch die Kombination einer Gedächtnisspannaufgabe mit einer Verarbeitungsanforderung aus. Es gibt zwar einige visuell-räumliche Arbeitsgedächtnismaße, wie z. B. die Rotations-Buchstaben-Spanne (Shah & Miyake, 1996), aber bei ihnen wird nicht explizit zwischen visuellem und räumlichem Itemmaterial unterschieden. Somit fehlen zu räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgaben wie der Pfeilspanne und der Matrixspanne (Kane et al., 2004) geeignete visuelle Äquivalente. Ein weiteres Kriterium für die Wahl einer Arbeitsgedächtnisaufgabe stellte bei dieser Untersuchung die Möglichkeit zur Verwendung des Itemmaterials der Kurzzeitgedächtnisaufgaben dar. Dementsprechend bestand die Notwendigkeit, zu einer geeigneten räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgabe eine vergleichbare visuelle Aufgabe zu entwickeln.

Analog zu dem Vorgehen von Oberauer et al. (2003) wurden die verwendeten visuellen und räumlichen Kurzzeitgedächtnisaufgaben durch das Hinzufügen einer simultanen Verarbeitungsaufgabe zu Arbeitsgedächtnisaufgaben umgestaltet. Somit kann zusätzlich abgeschätzt werden, wie sich diese Verarbeitungsanforderung auf die Gedächtnisleistung im Vergleich zu der isolierten Kurzzeitgedächtnisaufgabe auswirkt. Daher wurde als eine adäquate Arbeitsgedächtnisaufgabe die Dot-span-Aufgabe, die isoliert zu der Erfassung des räumlichen Kurzzeitgedächtnisses eingesetzt wurde, verwendet und mit der CRT-Aufgabe, bei der die Darbietungsorte von Pfeilen zu beurteilen sind, kombiniert (Oberauer et al., 2003). Als Verarbeitungsanforderung konnte somit die räumliche Wahlreaktionszeitaufgabe, die isoliert zur Erfassung der Verarbeitungsgeschwindigkeit eingesetzt wurde, verwendet werden. Für die visuelle Arbeitsgedächtnisaufgabe wurde analog die visuelle Kurzzeitgedächtnisaufgabe zusammen mit der visuellen Wahlreaktionszeitaufgabe als zusätzliche Verarbeitungsanforderung eingesetzt.

Als eine zweite Aufgabe zur Erfassung der räumlichen und visuellen Arbeitsgedächtniskapazität fiel die Wahl auf die n-back-Aufgabe, die sehr häufig bei Untersuchen

ungen mit bildgebenden Verfahren Verwendung findet (z. B. Cohen et al., 1997; Postle, Stern, Rosen & Corkin, 2000). Die Aufgabenanforderung besteht darin, eine kontinuierliche Abfolge von Items zu memorieren, um zu reagieren, wenn ein Item gezeigt wird, dass bereits  $n$  Items zuvor dargeboten wurde. Sowohl das Speichern als auch die Manipulation der dargebotenen Informationen ist bei einer n-back-Aufgabe erforderlich (Kane & Engle, 2002). Nach Postle et al. (2005) sind für die Bearbeitung einer n-back Aufgabe mehrere kognitive Operationen nötig. Es müssen u. a. die Gedächtnisrepräsentationen trotz der Interferenz, die durch die nachfolgenden Reize entsteht, aufrechterhalten und die Aufmerksamkeit auf die gespeicherten Repräsentationen fokussiert werden, um sie mit dem jeweils aktuellen Stimulus zu vergleichen. Verschiedene Studien haben übereinstimmend gezeigt, dass bei dieser Aufgabe der dorsolaterale präfrontale Cortex aktiviert ist (Kane & Engle, 2002).

### 3.4 Zusammenfassung der verwendeten Aufgaben

Die Aufgaben und Tests, die in der vorliegenden Untersuchung Verwendung fanden, sollen im Hinblick auf die zu messenden kognitiven Fähigkeiten und die Untersuchungsziele an dieser Stelle noch einmal zusammenfassend dargestellt werden. Das globale Ziel der vorliegenden Untersuchung bestand darin zu prüfen, inwiefern beim simultanen Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen über das visuelle und räumliche Kurzzeitgedächtnis hinaus noch weitere kognitive Fähigkeiten involviert sind. Hierfür musste abgesichert werden, dass die Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen niedriger ausfällt als die Gedächtnisleistung für die beiden isolierten Informationsdimensionen. Das *Binding*-Experiment bot die Möglichkeit, diese Voraussetzung zu testen. Dafür wurden jeweils die Gedächtnisleistungen für die Lokalisationen der Items und für die Objektidentitäten getrennt voneinander erhoben. Diese konnten anschließend mit der Gedächtnisleistung in der *Binding*-Bedingung, bei der die Objekte auch wieder korrekt ihren ursprünglichen Positionen zugeordnet werden mussten, verglichen werden. Als ein zusätzlicher Indikator für die erhöhte Anforderung, die aus der Aufgabe, Objekt- und Lokalisationsinformationen simultan zu memorieren, resultiert, sollte weiterhin die Reaktionszeit herangezogen werden. Es ist als wahrscheinlich anzusehen, dass bei der *Binding*-Anforderung die Reaktionszeiten am längsten ausfallen, da in dieser Bedingung mehr Zeit für das Enkodieren und Memorieren benötigt wird.

Für die nähere Untersuchung der Beteiligung weiterer kognitiver Fähigkeiten beim simultanen Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen sollte das Ausmaß des Zusammenhangs zwischen der Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen und exekutiven Fähigkeiten, der Arbeitsgedächtniskapazität und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit bestimmt werden. Die Operationalisierung exekutiver Fähigkeiten wurde mit Hilfe der RNG-Aufgabe und der Switching-Aufgabe vorgenommen.

Um den Einfluss der individuellen Arbeitsgedächtniskapazität auf die Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen zu untersuchen, musste sichergestellt werden, dass dieser Zusammenhang nicht allein über die visuelle und räumliche Kurzzeitgedächtniskapazität vermittelt wird. Hierfür wurden das visuelle Kurzzeitgedächtnis anhand einer visuellen Kurzzeitgedächtnisaufgabe und das räumliche Kurzzeitgedächtnis mittels Dot-span-Aufgabe erfasst. Die visuelle Arbeitsgedächtniskapazität wurde mit Hilfe zweier Aufgaben gemessen: Zum einen wurde die visuelle Kurzzeitgedächtnis mit einer visuellen Wahlreaktionszeitaufgabe kombiniert und zum anderen eine n-back-Aufgabe mit visuellem Itemmaterial eingesetzt. Analog zu diesem Vorgehen wurde die räumliche Arbeitsgedächtniskapazität mit einer Kombination aus Dot-span- und räumlicher Wahlreaktionszeitaufgabe erfasst. Als zweite Aufgabe fand weiterhin eine räumliche n-back-Aufgabe Verwendung.

Mit Hilfe von Aufgaben zur Erfassung der Verarbeitungsgeschwindigkeit sollte untersucht werden, ob sie einen Einfluss auf das simultane Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen ausübt. Als entsprechende Aufgaben wurden der Digit-Symbol-Test, drei verschiedene Varianten des ZVT, eine visuelle und eine räumliche Wahlreaktionszeitaufgabe eingesetzt. Die verwendeten Aufgaben im Hinblick auf die jeweils zu messenden kognitiven Fähigkeiten und die Untersuchungshypothesen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1. Überblick über die verwendeten Aufgaben.

Kognitive Fähigkeit	Eingesetzte Aufgabe
Gedächtniskapazität für <i>Binding</i> -Informationen	Memorieren der Objekte in Verbindung mit ihren ursprünglichen Positionen im <i>Binding</i> -Experiment
Räumliche Kurzzeitgedächtniskapazität	1. Memorieren der Lokalisationen im <i>Binding</i> -Experiment 2. Dot-span-Aufgabe
Visuelle Kurzzeitgedächtniskapazität	1. Memorieren der Objekte im <i>Binding</i> -Experiment 2. Visuelle Kurzzeitgedächtnisaufgabe
Räumliche Arbeitsgedächtniskapazität	1. Räumliche Arbeitsgedächtnisaufgabe (Dot-span-Aufgabe in Verbindung mit räumlicher CRT-Aufgabe) 2. Räumliche n-back-Aufgabe
Visuelle Arbeitsgedächtniskapazität	1. Visuelle Arbeitsgedächtnisaufgabe (visuelle Kurzzeitgedächtnisaufgabe in Verbindung mit visueller CRT-Aufgabe) 2. Visuelle n-back-Aufgabe
Exekutive Fähigkeiten	1. Random-Number-Generation-Aufgabe 2. Switching-Aufgabe
Verarbeitungsgeschwindigkeit	1. Räumliche CRT-Aufgabe 2. Visuelle CRT-Aufgabe 3. Digit-Symbol-Test 4. ZVT-123 5. ZVT-179 6. ZVT-26z

Anmerkungen. ZVT: Zahlen-Verbindungs-Test; CRT-Aufgabe: Wahlreaktionszeitaufgabe.

### 3.5 Versuchsdurchführung

#### 3.5.1 Stichprobe

An dem Experiment nahmen insgesamt 96 Pbn teil, von denen 66 weiblich und 33 männlich waren. Ihr Alter lag zwischen 18 und 42 Jahren und das Durchschnittsalter betrug 23.8 Jahre ( $SD = 4.74$ ). Der größte Teil der Pbn (80) waren Studierende der Psychologie. Sie erhielten für ihre Teilnahme Versuchspersonenstunden, die zum Ablegen der Diplomvorprüfung benötigt werden. Die übrigen Teilnehmer und Teilnehmerinnen bestanden aus Studierenden anderer Fachrichtungen oder waren bereits im Besitz eines Hochschulabschlusses und nahmen freiwillig an dem Experiment teil. Bei allen Pbn lag eine normale oder eine bis auf normal korrigierte Sehschärfe vor und jeder von ihnen besaß Erfahrung im Umgang mit einem Computer.

#### 3.5.2 Allgemeiner Ablauf des Experiments

##### *Reihenfolge der Aufgaben*

Die gesamte Untersuchung wurde aufgrund ihrer Länge in zwei separate Sitzungen unterteilt. In der einen Sitzung wurden nacheinander der Digit-Symbol-Test, die vier Matrizen der Standardversion des ZVT, die RNG-Aufgabe sowie das *Binding*-Experiment durchgeführt. Am Ende des *Binding*-Experiments wurde zusätzlich mit den Pbn ein halbstandardisiertes Post-hoc Interview durchgeführt, um so Einblick in die individuelle Vorgehensweise bei der Memorierung der verschiedenen Informationsdimensionen zu erlangen. In der anderen Sitzung bearbeiteten die Versuchsteilnehmerinnen und -teilnehmer in chronologischer Reihenfolge die räumlichen und die visuellen Wahlreaktionszeitaufgaben, die räumlichen und visuellen Kurzzeitgedächtnisaufgaben und die beiden komplexeren Varianten des ZVT. Anschließend wurden die räumlichen und die visuellen Arbeitsgedächtnisaufgaben sowie die Switching-Aufgabe durchgeführt. Nach einer kurzen Pause folgten die räumlichen und die visuellen n-back-Aufgaben. Die Reihenfolge der Tests, deren Bearbeitung am Computer erfolgte, wurde nach ansteigender Schwierigkeit zusammengestellt. Weiterhin wechselten sich räumliche und visuelle Aufgaben ab.

Von den Pbn durchliefen 50 zuerst die Sitzung mit dem *Binding*-Experiment, während die anderen als erstes an der Sitzung zur Erfassung der kognitiven Fähigkeiten

teilnahmen. Jede dieser beiden Sitzungen dauerte ca. anderthalb bis zwei Stunden. Es wurde darauf geachtet, dass die individuellen Untersuchungstermine der ersten und zweiten Sitzung jeweils zur ungefähr gleichen Uhrzeit stattfanden, um so zusätzliche Varianz, die aufgrund von tageszeitabhängigen Leistungsunterschieden entstehen kann, zu vermeiden. Zwischen den einzelnen individuellen Terminen lagen durchschnittlich ca. drei Monate und beide Sitzungen wurden als Einzelversuche durchgeführt. Am Ende der zweiten Sitzung wurde den Pbn bei Interesse noch der Untersuchungshintergrund erläutert.

Die Reihenfolge der einzelnen Bedingungen des *Binding*-Experiments wurde nach dem Lateinischen Quadrat ausbalanciert, damit Aussagen über die unterschiedlichen Gedächtnisleistungen ohne die Gefahr einer methodischen Konfundierung aufgrund von Reihenfolgeeffekten getroffen werden können. Bei den übrigen Aufgaben wurde jedoch die Reihenfolge konstant gehalten, um so zusätzliche Fehlervarianz aufgrund von möglichen Sequenzeffekten zu vermeiden, die die Höhe der Korrelationen unnötig verringern könnten. Dieses Vorgehen erschien angesichts der Tatsache, dass die Analyse von absoluten Leistungsunterschieden nicht das vorrangige Ziel der Untersuchung darstellte, als zulässig.

Bei den drei Varianten des ZVT und dem Digit-Symbol-Test wurden die Instruktionen mündlich erläutert. Die übrigen Instruktionen wurden schriftlich vorgelegt, wobei jedoch die Möglichkeit zu Rückfragen bestand. Vor der Bearbeitung der Aufgaben am Computer wurde ebenfalls noch eine kurze Anweisung auf dem Bildschirm dargeboten. Bei allen Instruktionen mit Ausnahme der RNG-Aufgabe wurde betont, dass die Genauigkeit bei der Aufgabenbearbeitung und nicht ihre Geschwindigkeit im Vordergrund steht. Eine Veranschaulichung des Untersuchungsablaufs in Bezug auf die chronologische Reihenfolge der Aufgaben befindet sich in Tabelle 2.

Tabelle 2. Ablauf der Untersuchung und Reihenfolge der verwendeten Aufgaben.

Sitzung mit <i>Binding</i> -Experiment	Sitzung zur Durchführung der anderen Aufgaben
1. Erfassung der demographischen Daten	1. Räumliche CRT-Aufgabe
2. Digit-Symbol-Test	2. Visuelle CRT-Aufgabe
3. ZVT-123	3. Räumliche Kurzzeitgedächtnisaufgabe
4. Random-Number-Generation-Aufgabe	4. Visuelle Kurzzeitgedächtnisaufgabe
5. <i>Binding</i> -Experiment	5. ZVT-179
5.1 Lokalisations-Bedingung	6. ZVT-26z
5.2 Mix-Block	7. Räumliche Arbeitsgedächtnisaufgabe
5.3 Identitäts-Bedingung	8. Visuelle Arbeitsgedächtnisaufgabe
5.4 <i>Binding</i> -Bedingung	9. Switching-Aufgabe
6. Post-hoc Interview	10. Räumliche n-back-Aufgabe
	11. Visuelle n-back-Aufgabe

*Anmerkungen.* ZVT: Zahlen-Verbindungs-Test; CRT-Aufgabe: Wahlreaktionszeitaufgabe. Lokalisations-Bedingung: Hier mussten nur die Lokalisationen der Items reproduziert werden. Mix-Block: Hier kam der Hinweis, welche Informationsdimension zu reproduzieren ist, erst nach der Darbietung. Identitäts-Bedingung: Die korrekte Reproduktion der Figuren war gefordert. *Binding*-Bedingung: Die Figuren mussten zusätzlich ihren ursprünglichen Positionen zugeordnet werden. Die Reihenfolge der einzelnen Versuchsbedingungen innerhalb des *Binding*-Experiments wurde ausbalanciert, während die Abfolge der übrigen Aufgaben konstant gehalten wurde.

#### *Apparate und Versuchsraum*

Zur Durchführung des *Binding*-Experiments wurde ein Macintosh-Notebook (Apple Powerbook G3) verwendet, das an einen 17"-Bildschirm (1024 x 768; 75 HZ) angeschlossen wurde. Der Monitor war mit einem Touchscreen ausgestattet, so dass die Pbn die Aufgabe durch ein leichtes Antippen des Monitors mit dem Finger bearbeiten konnten. Das Notebook, das von der Versuchsleiterin gesteuert wurde, befand sich im rechten Winkel zu dem Bildschirm, vor dem die Pbn saßen. Vor ihnen lag eine Maus, mit der sie den nächsten Versuchsdurchgang starten konnten. Eine millisekundengenaue Erfassung der Reaktionszeit durch den Computer war gewährleistet. Für die Darbietung der akustischen Hinweisreize wurde ein Stereo-Kopfhörer (Sennheiser, HD 414) verwendet. Mit Hilfe von Jalousien wurde der Raum etwas verdunkelt, so dass die Beleuchtungsstärke konstant zwischen 400 und 500 Lux lag. Die anderen Aufgaben wurden in demselben Raum durchgeführt wie in der ersten Sitzung. Bei ihnen wurde ein

Computer (Intel Celeron) verwendet, der an einen 19" Monitor (1152 x 864; 75 Hz) angeschlossen war.

Für die Wahlreaktionszeitaufgaben, die das Drücken von Antworttasten erforderten, wurden die „ - “ und „ < “ als relevante Tasten benutzt. Der „ - “-Taste waren bei Rechtshändern die Antwortalternativen „oben“ für die räumliche und „identisch“ für die visuelle CRT-Aufgabe zugeordnet, während die „ < “-Taste für die beiden Antwortalternativen „unten“ und „verschieden“ stand. Bei den n-back Aufgaben wurden aus technischen Gründen die Taste „m“ für die „Ja“- und die „x“-Taste für die „Nein“-Antwort verwendet. Im Falle von Linkshändern wurden diese Tastenbelegungen so vertauscht, dass bei allen Pbn die gleichen Antwortalternativen der jeweils dominanten Hand zugeordnet wurden. Die jeweilige Belegung der Antworttasten wurde während des Versuchs mit kleinen Hinweiskärtchen auf der Tastatur verdeutlicht.

### 3.5.3 Durchführung des *Binding*-Experiments

#### *Versuchsmaterial*

Für das *Binding*-Experiment wurde ein Itemset verwendet, das aus 16 bekannten geometrischen Figuren bestand und in Abbildung 2 dargestellt ist. Das Stimulusmaterial sowie die Instruktionen für den Probanden wurden als schwarze Figuren und Wörter vor einem hellgrauen Hintergrund dargeboten. Die Bildschirmhelligkeit betrug ca. 80 cd/m<sup>2</sup>. Die Itemgröße variierte leicht je nach geometrischer Figur und lag zwischen 0.59 cm (bzw. 0.57° gemessen als Sehinkel) und 0.99 cm (0.95°) in der Breite und zwischen 0.59 (0.57°) und 0.90 cm (0.86°) in der Höhe.



Abbildung 2. Die geometrischen Figuren als Itemmaterial im *Binding*-Experiment.

Die Reizvorlage war eine 4x4-Matrix, die aus gestrichelten Gitternetzlinien bestand und in der die geometrischen Figuren dargeboten wurden (siehe Abb. 3). Aus der Position des Probanden betrachtet, maß die Reizvorlage 4.4 x 4.4 cm (bzw. 4.2° x 4.2° bei einer Distanz von 60 cm).

Die jeweils dargebotenen Items stellten eine zufällige Auswahl aus diesem Itemset dar. Jede geometrische Figur durfte in der Matrix nur einmal vorkommen. Bei der Erstellung des Programms wurde darauf geachtet, dass die Positionen, die von den Items in der Matrix besetzt waren, keine leicht zu merkenden Kombinationen von Positionen darstellten. So durften beispielsweise nie vier Kästchen einer Reihe von Figuren besetzt sein. Damit sollten nach Möglichkeit Chunking-Prozesse in Bezug auf die räumlichen Lokalisationen verhindert werden.

Weiterhin gab es drei verschiedene akustische Hinweisreize, die jeweils signalisierten, auf welche Dimension die Pbn gerade achten sollten. Der eine Ton stammte von einer tiefen männlichen Stimme, die „Wo“ sagte, woraufhin die Pbn die Positionen der Items reproduzieren sollten. Eine hohe weibliche Stimme signalisierte mit dem Wort „Was“, dass nur die geometrischen Figuren relevant sind. Ein kurzer Doppelton diente als Hinweis dafür, dass beide Dimensionen simultan memoriert werden sollten (*Binding-Bedingung*). Die Dauer der verschiedenen Hinweistöne betrug jeweils 100 ms.

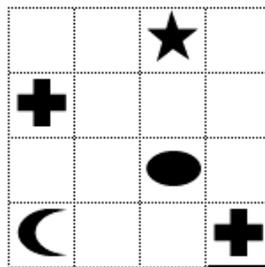


Abbildung 3. Beispiel für die im *Binding*-Experiment verwendete Matrix.

#### *Aufgabenanforderung und Versuchsablauf*

Jeder Durchgang begann mit der Darbietung eines Fixationskreuzes in der Bildschirmmitte. Wenn der Proband die Maustaste drückte, blinkte das Fadenkreuz kurz auf und nach 300 ms erschien die Darbietungsmatrix. Diese beinhaltete jeweils 3, 4, 5, 6 oder 7 Items und wurde für 450 ms dargeboten. Nach einem Zeitintervall von 900 ms (gemessen seit dem Offset der Matrix) erschien in der Mitte des Bildschirms die leere Antwortmatrix, die ansonsten identisch mit der Darbietungsmatrix war. Zeitgleich wurde das vollständige Itemset mit den 16 Items am unteren Rand des Bildschirms abgebildet. Parallel zu dem Erscheinen der Antwortmatrix ertönte einer der akustischen Hinweisreize über Kopfhörer für die Dauer von 100 ms. Durch das Antippen einer Zelle der Matrix mit dem Finger war es mit Hilfe eines so aktivierten Cursors möglich, ein Item

in die entsprechende Zelle einzutragen. Der Cursor konnte durch Antippen mit dem Finger in die verschiedenen Zellen beliebig bewegt werden. Er sprang jedoch nicht von alleine weiter, sondern musste durch die Berührung einer weiteren Zelle immer erst neu versetzt werden, bevor die nächste Figur eingetragen werden konnte. Diese Art der Antworteingabe wurde eingeführt, um den Pbn nicht durch einen von alleine weiter springenden Cursor das Ausfüllen bestimmter Zellen nahe zu legen. Der Inhalt einer Zelle konnte durch das Eintragen einer neuen Figur korrigiert werden. Eine Eintragung konnte weiterhin durch das Antippen eines leeren Feldes, das sich ebenfalls bei dem unten abgebildeten Itemset befand, gelöscht werden.

Erst nachdem dieselbe Anzahl an Figuren, die dargeboten wurde, wieder in die Matrix eingetragen war, konnte der Proband durch Antippen auf einem am rechten unteren Bildschirmrand vorhandenen „OK-Feld“ seine Antwort beenden. Als Rückmeldung wurde daraufhin die Anzahl der richtig wiedergegebenen Items für eine Dauer von 2000 ms auf dem Bildschirm angezeigt. Anschließend erschien wieder das Fixationskreuz und der nächste Durchgang konnte durch das Drücken der Maustaste gestartet werden. Damit die Pbn auch bei einer größeren Anzahl an Items wussten, wie viele Figuren ihnen in der ersten Matrix dargeboten wurden, befand sich diese Zahl während der Antworteingabe ständig sichtbar rechts neben dem OK-Feld.

Das Fixationskreuz und die darauf folgende Darbietungsmatrix befanden sich mit einem Abstand von 0.72 cm (entspricht 20 Pixel) entweder horizontal und/oder vertikal verschoben neben der Bildschirmmitte. Die jeweilige Verschiebungsrichtung wurde von Durchgang zu Durchgang per Zufallsprinzip vom Computer bestimmt. Die Antwortmatrix hingegen befand sich wieder genau in der Bildschirmmitte. Die Verschiebung der Darbietungsmatrix sollte die Funktion einer Maske haben. Eine schematische Darstellung der Ereignissequenz eines Versuchsdurchgangs befindet sich in Abbildung 4.

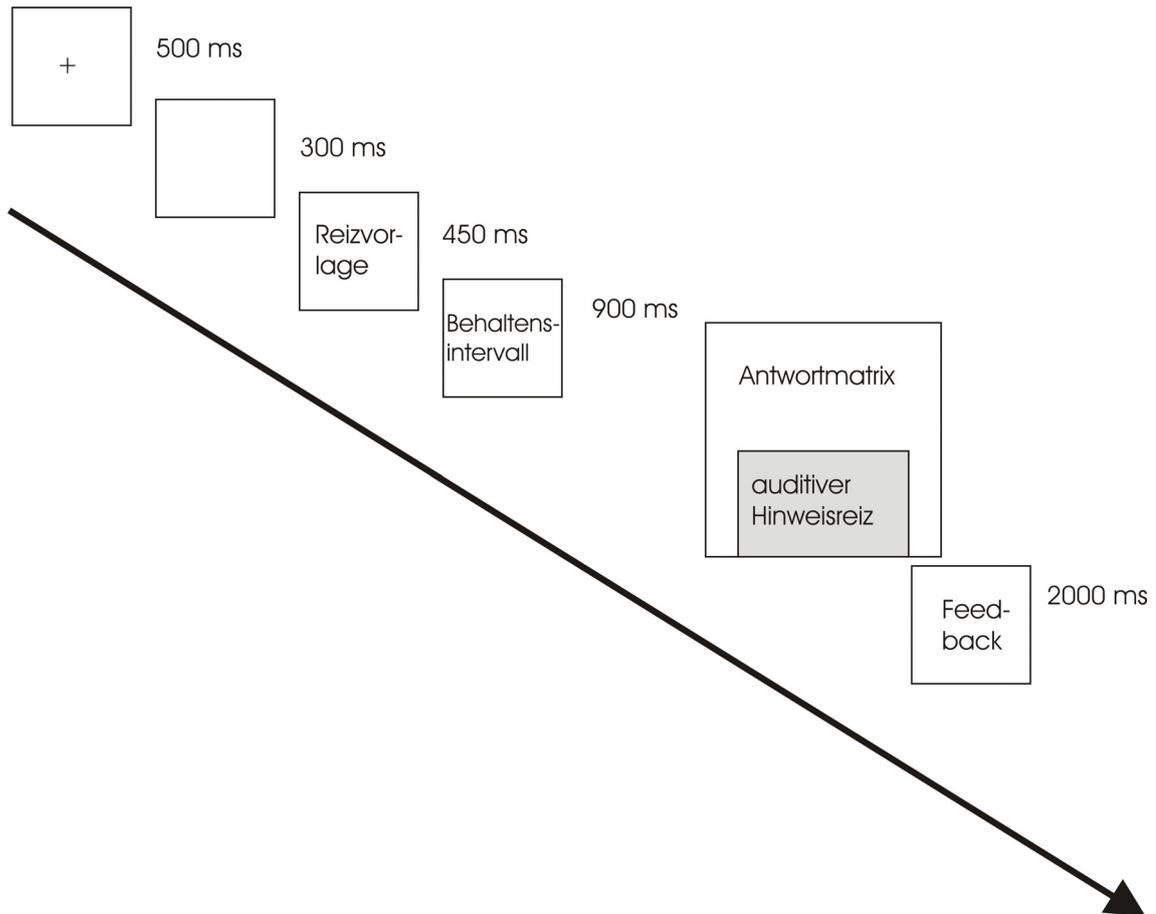


Abbildung 4. Schematische Darstellung der Ereignissequenz eines Versuchsdurchgangs im *Binding*-Experiment.

#### *Versuchsbedingungen*

Beim *Binding*-Experiment gab es insgesamt drei verschiedene Aufgaben: Die erste Aufgabenanforderung bestand darin, die Lokalisationen der Items in der Antwortmatrix durch die geometrischen Figuren zu markieren. Dabei war es also nur wichtig, dass genau dieselben Positionen in der Antwortmatrix belegt waren, die auch in der Darbietungsmatrix durch die Items besetzt wurden. Es konnten sowohl die ursprünglich dargebotenen Items wieder eingetragen werden als auch ganz andere, worauf in der Instruktion explizit hingewiesen wurde. Bei der zweiten Aufgabe musste die Antwortmatrix nach dem Kriterium der Objektidentität ausgefüllt werden. Hierbei kam es darauf an, dass die gleichen Figuren in die Antwortmatrix eingetragen wurden, die auch in der Darbietungsmatrix vorhanden waren. Dabei konnten diesen Items beliebige Positionen zugeordnet werden, aber auch genau dieselben wie in der ursprünglichen Matrix. Diese Alternative wurde ebenfalls in der Instruktion ausdrücklich betont, um so zu untersu-

chen, ob die Pbn intuitiv den Positionen wieder dieselben Items wieder zuordnen, oder ob sie darauf verzichten, da ihnen dies bei der Wiedergabe der Items keine zusätzliche Hilfe bietet. In der *Binding*-Bedingung mussten in der Antwortmatrix die richtigen Figuren exakt so den Positionen zugeordnet werden wie in der Darbietungsmatrix gezeigt wurde. Hier musste also gleichzeitig auf Objektidentität und Lokalisation geachtet werden.

Diese drei verschiedenen Bedingungen waren bei der Hälfte der Versuchsdurchgänge durch verschiedene Blöcke getrennt, und die jeweils zu reproduzierende Dimension wurde durch eine Instruktion auf dem Bildschirm vor dem jeweiligen Block angekündigt. In einem sog. „Mix-Block“ kamen alle drei Aufgabenanforderungen in einer durch den Computer generierten, zufälligen Reihenfolge vor. Dieser Mix-Block wurde ebenfalls durch eine Bildschirminstruktion angekündigt. Damit die Pbn bei jedem Versuchsdurchgang dieses Blocks wussten, welches gerade die jeweils relevante Dimension für die Wiedergabe ist, wurde dies durch die oben bereits erwähnten akustischen Hinweisreize zeitgleich zum Erscheinen der Antwortmatrix signalisiert. Mit diesem Vorgehen sollte untersucht werden, wie die Gedächtnisleistungen ausfallen, wenn alle Informationsdimensionen in einer integrierten Form memoriert werden müssen.

Diese akustischen Hinweisreize wurden analog auch in den anderen Blöcken dargeboten, obwohl sie dort prinzipiell redundant waren, da durch die Bildschirminstruktion vorher angezeigt wurde, welche Dimension memoriert werden sollte. Dennoch war die Darbietung der Töne in den anderen Blöcken aus Gründen der Standardisierung wichtig, um so eine Vergleichbarkeit der Anforderungen zwischen dem Mix-Block und den anderen Blöcken zu gewährleisten.

### *Design und Versuchsdurchführung*

Zu Beginn des *Binding*-Experiments wurden die Pbn vor dem Touchscreen positioniert. Anschließend wurden ihnen alle verwendeten Items auf dem Bildschirm demonstriert und die drei verschiedenen akustischen Hinweisreize über Kopfhörer vorgespielt. Der *Binding*-Versuch dauerte ca. 90 bis maximal 100 Minuten und war insgesamt in vier verschiedene Blöcke unterteilt: Es gab einen Block mit der Anweisung, nur auf die Lokalisation der Items zu achten, einen zweiten Block, in dem nur auf die Objektidentität geachtet werden sollte sowie einen dritten Block, in dem auf die beiden Dimensionen gleichzeitig geachtet werden musste. Auf jeden dieser Blöcke entfielen 40

Versuchsdurchgänge, die sich innerhalb dieser Blöcke auf die fünf verschiedenen Setgrößen (3, 4, 5, 6 und 7 Items) aufteilten.

Der Mix-Block enthielt 120 Versuchsdurchgänge und war damit insgesamt so lang wie die drei anderen Blöcke zusammen. In diesem Mix-Block entfielen wiederum je 40 Versuchsdurchgänge auf die drei verschiedenen Dimensionen. Von diesen 40 Versuchsdurchgängen pro Dimension verteilten sich wieder acht Durchgänge auf jede Setgröße. Der Versuch bestand insgesamt aus 240 Versuchsdurchgängen. Die verschiedenen Blöcke waren zeitlich voneinander getrennt, und die Pbn erhielten zwischen den Blöcken bei Bedarf die Gelegenheit, eine Pause zu machen. Nach jedem Block wurde auf dem Monitor die neue Instruktion für den nächsten Block angezeigt. Diese gab an, auf welche der drei Dimensionen zu achten war. Der Mix-Block war aufgrund seiner Länge in drei Unterblöcke unterteilt, zwischen denen ebenfalls Pausen eingelegt werden konnten. Die Reihenfolge dieser vier Blöcke wurde nach dem Lateinischen Quadrat ausbalanciert, um Sequenzeffekte zu vermeiden. Zu Beginn einer neuen Versuchsbedingung gab es eine Übungsphase, die für die Lokalisations-, Identitäts- und die *Binding*-Bedingung jeweils fünf Durchgänge umfasste. Wenn allerdings der Mix-Block als nächstes folgte, dann gab es insgesamt 15 Übungsdurchgänge, in denen die drei verschiedenen Aufgabenanforderungen und die fünf Setgrößen in einer zufälligen Reihenfolge vorkamen.

#### **3.5.4 Durchführung der Aufgaben zur Erfassung exekutiver Fähigkeiten, der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität sowie der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit**

Im Folgenden wird die genaue Durchführung der Aufgaben zur Erfassung der exekutiven Fähigkeiten, der Verarbeitungsgeschwindigkeit und der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität in chronologischer Reihenfolge der verschiedenen Tests im Experiment näher beschrieben.

##### *Random-Number-Generation*

Die RNG-Aufgabe wurde eingesetzt, um exekutive Funktionen in Bezug auf die Fähigkeit zur Inhibition und zur Aktualisierung und Überwachung von Informationen zu erfassen. Für ihre Durchführung wurden Töne in einem gleichmäßigen Rhythmus als Taktgeber verwendet, so dass die Pbn wussten, in welchem Zeitabstand sie jeweils eine

Zahl zu nennen hatten. Mit dieser Vorgehensweise konnte zum einen ein standardisierter Versuchsablauf, zum anderen aufgrund der hohen Geschwindigkeit der Töne eine ausreichende Auslastung der Zentralen Exekutive gewährleistet werden.

In der entsprechenden Instruktion wurde die Analogie eines Huts verwendet, in dem sich Zahlen befinden, die zufällig gezogen und nach dem Ziehen wieder zurückgelegt werden sollen. Damit sollte das Konzept des Generierens einer zufälligen Zahlenabfolge verdeutlicht werden (Miyake et al., 2000). Weiterhin wurde darauf hingewiesen, dass nur die Zahlen von 1 bis 9 verwendet werden dürfen. Anschließend wurde den Pbn die Geschwindigkeit der Töne demonstriert, die in einem Abstand von 800 ms vom Computer erzeugt wurden. Darauf folgte ein Übungsdurchgang mit 20 Tönen, während die eigentliche Aufgabe aus insgesamt 130 Tönen bestand. Die von den Pbn genannten Zahlen wurden mit Hilfe eines Mikrofons und Kassettenrecorders (Grundig, CR 105) auf Tonband aufgenommen. In die Auswertung gingen gemäß der üblichen Vorgehensweise bei der RNG-Aufgabe jeweils die ersten 100 Zahlen ein (Baddeley, Emslie, Kolodny & Duncan, 1998).

#### *Räumliche CRT-Aufgabe*

Als räumliche Wahlreaktionszeitaufgabe mussten die Pbn entsprechend der Vorgehensweise von Oberauer et al. (2003) so schnell wie möglich auf Pfeile reagieren und beurteilen, ob sie in der oberen oder in der unteren Bildschirmhälfte zu sehen sind. Dabei zeigten die Pfeile in der oberen Bildschirmhälfte nur nach oben bzw. die Pfeile in der unteren Bildschirmhälfte nur nach unten, um so eine zusätzliche Interferenz zwischen Pfeilrichtung und Position der Pfeile zu vermeiden. Weiterhin war die Entscheidung, ob der Pfeil in der oberen bzw. in der unteren Bildschirmhälfte abgebildet ist, immer eindeutig zu treffen, d.h. es gab keine Fälle, bei denen die Trennung zwischen den beiden Bildschirmhälften nicht offensichtlich war. Jeder Pfeil war solange sichtbar, bis eine der Antworttasten (vgl. 3.5.2) gedrückt wurde. Anschließend wurde kurz eine Rückmeldung dargeboten, ob die soeben gegebene Antwort richtig oder falsch war, bis nach 300 ms wieder der nächste Pfeil erschien. Nach einer Übungsphase, die aus 15 Übungsdurchgängen bestand, folgte die eigentliche Aufgabe mit 40 Versuchsdurchgängen, bei denen in einer zufälligen Reihenfolge jeweils 20 Pfeile in der oberen bzw. unteren Bildschirmhälfte zu beurteilen waren. Nach je 10 Versuchsdurchgängen erschien für 2000 ms eine Rückmeldung über die Anzahl korrekter Antworten. Anhand der Reakti-

onszeiten dieser räumlichen und der im Folgenden beschriebenen visuellen Wahlreaktionszeitaufgabe sollte die individuelle Verarbeitungsgeschwindigkeit erfasst werden.

#### *Visuelle CRT-Aufgabe*

Die visuelle CRT-Aufgabe war analog zu der räumlichen CRT-Aufgabe aufgebaut. Es wurden hier zwei Figuren nebeneinander dargeboten, die danach beurteilt werden sollten, ob sie identisch oder verschieden sind. Als Grundlagen dienten dafür die sog. Zufallsfiguren von Vanderplas und Garvin (1959)r. Diese unregelmäßigen Figuren wurden teilweise noch bearbeitet, indem z. B. eine Ecke entfernt wurde, um so Figurenpaare herzustellen, die sich voneinander unterschieden. Die Figuren maßen im Durchschnitt 4.0-4.5 cm. Es gab insgesamt 28 Figurenpaare, von denen jeweils 14 identisch und 14 verändert waren (Anhang A). Auch hier gab es wieder einen Übungsdurchgang mit 15 Figurenpaaren, auf den die eigentliche Aufgabe mit 40 Versuchsdurchgängen folgte. Abbildung 5 zeigt ein Figurenpar als Beispiel für die visuelle Wahlreaktionszeitaufgabe.



Abbildung 5. Beispiel für ein Figurenpar der visuellen Wahlreaktionszeitaufgabe.

#### *Räumliche Kurzzeitgedächtnisspanne*

Bei der Dot-span-Aufgabe zur Erfassung des räumlichen Kurzzeitgedächtnisses von Oberauer et al. (2003) wurden den Pbn sequentiell eine Abfolge von Punkten in einer 4x4-Matrix dargeboten, die anschließend in der richtigen Reihenfolge reproduziert werden musste. Die Matrix bestand analog zu der im *Binding*-Experiment verwendeten Matrix aus schwarzen Linien auf weißem Hintergrund. Sie hatte hier eine Größe von 9.5 cm und ein Punkt maß im Durchmesser 2 cm.

Ein Versuchsdurchgang begann mit der Darbietung des Fixationskreuzes, auf das der Proband mit dem Drücken der Leertaste reagieren musste. Anschließend wurde in der Matrix für jeweils 1000 ms ein Punkt gezeigt, und nach einem Interstimulusinter-

vall von 500 ms wurde der nächste Punkt dargeboten. Nach der Darbietung des letzten Punktes einer Itemsequenz betrug das Behaltensintervall 1200 ms. Der Proband konnte nun in der leeren Matrix die Zellen in der richtigen Reihenfolge markieren, in der zuvor die Punkte dargeboten wurden. Nachdem die letzte Zelle markiert wurde, erschien wieder für 2000 ms eine Rückmeldung über die Anzahl korrekt reproduzierter Punkte. Der nächste Durchgang konnte nach dem Erscheinen des Fixationskreuzes gestartet werden.

Innerhalb eines Versuchsdurchgangs wurde nie ein Punkt zweimal an derselben Position dargeboten. Außerdem wurde bei der Konstruktion der jeweiligen Versuchsdurchgänge darauf geachtet, dass die sequentiell dargebotenen Punkte keine leicht zu merkende Reihenfolge ergaben. Somit wurden z. B. nie zwei Punkte nacheinander in nebeneinander liegenden Kästchen abgebildet. Vor Beginn der eigentlichen Aufgabe gab es einen kurzen Übungsblock, bei dem für jede der Setgrößen von drei bis sieben aufeinander folgenden Punkten die Darbietung einer Itemsequenz vorgesehen war. Bei der eigentlichen Aufgabe wurde mit der Darbietung von drei Punkten begonnen. Als maximale Setgröße konnten bis zu zehn Punkte nacheinander dargeboten werden.

Diese Kurzzeitgedächtnisspannenaufgabe war adaptiv gestaltet, um auf ökonomische Weise jeweils die maximale Gedächtnisleistung zu erfassen, ohne schlechte Pbn durch eine Überforderung zu frustrieren. Der adaptive Algorithmus sah so aus, dass zu Beginn vier Itemsequenzen derselben Länge dargeboten wurden. Wenn bei allen vier die korrekte Antwort reproduziert werden konnte, wurden vier Itemsequenzen der darauf folgenden Setgröße dargeboten. Falls es einem Probanden nicht möglich war, alle vier Sequenzen nacheinander richtig zu reproduzieren, wurden ihm weitere Itemsequenzen derselben Länge präsentiert. Sofern es ihm nun gelang, nacheinander vier dieser Itemsequenzen korrekt zu reproduzieren, wurden vier Itemsequenzen der darauf folgenden Setgröße dargeboten. Wurden bei vier aufeinander folgenden Itemsequenzen keine von ihnen richtig reproduziert, erfolgte der Abbruch der Aufgabe. Falls der Pbn bei vier aufeinander folgenden Itemsequenzen weder alle richtig oder alle falsch reproduziert hatte, wurden insgesamt zehn verschiedene Itemsequenzen einer Setgröße dargeboten. Wenn von diesen zehn Itemsequenzen mindestens sechs richtig memoriert wurden, dann wurde mit den vier Itemsequenzen der nächsten Setgröße die Gedächtnisspannenaufgabe fortgesetzt. Andernfalls erfolgte der Abbruch der Aufgabe. Die individuelle räumliche Gedächtnisspanne wurde anhand der letzten Setgröße, die die Pbn im Rahmen der adaptiven Gestaltung der jeweiligen Kurzzeitgedächtnisaufgabe erreicht hatten, bestimmt.

### *Visuelle Kurzzeitgedächtnisspanne*

Die visuelle Kurzzeitgedächtnisspannaufgabe wurde entsprechend einer klassischen Gedächtnisspannaufgabe gestaltet, bei der nacheinander geometrische Figuren dargeboten wurden, die anschließend reproduziert werden sollten. Diese Aufgabe wurde zur Messung der visuellen Kurzzeitgedächtniskapazität eingesetzt. Als Itemmaterial wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit dieselben 16 geometrischen Figuren gewählt, die bereits bei der *Binding*-Aufgabe verwendet wurden (siehe Abb. 2). Die Größe der Figuren betrug durchschnittlich 4 cm. Ein Versuchsdurchgang begann mit der Präsentation eines Fixationskreuzes, auf das die Pbn mit dem Drücken der Leertaste reagieren sollten. Anschließend wurden sequentiell die Figuren jeweils für 1000 ms mit einem Interstimulusintervall von 500 ms auf einem weißen Hintergrund dargeboten. Nach der Darbietung des letzten Items folgte ein Behaltensintervall von 1200 ms, bevor alle 16 geometrischen Figuren nebeneinander gezeigt wurden. Der Pbn sollte durch das Anklicken mit der Maus die ihm zuvor dargebotenen Figuren in der richtigen Reihenfolge markieren. Nach der Reproduktion des letzten Items der Itemsequenz erschien für 2000 ms eine Rückmeldung über die Anzahl der korrekt wiedergegebenen Items, worauf erneut das Fixationskreuz folgte. Der nächste Versuchsdurchgang konnte nun von den Pbn gestartet werden.

Für diese Gedächtnisspannaufgabe gab es einen Übungsdurchgang, bei dem nacheinander für die Setgrößen von zwei bis sechs Items jeweils eine Itemsequenz dargeboten wurde. Die eigentliche Gedächtnisspannaufgabe fing mit drei Items als der kleinsten Setgröße an und konnte je nach individueller Gedächtnisleistung auf maximal neun Items gesteigert werden. Der adaptive Algorithmus, der hier Verwendung fand, war derselbe wie bei der Aufgabe zur Erfassung des räumlichen Kurzzeitgedächtnisses. Auch die visuelle Kurzzeitgedächtnisspanne wurde analog zu der räumlichen Variante anhand der zuletzt erreichten Setgröße bestimmt.

### *Räumliche Arbeitsgedächtnisspanne*

Die Aufgabe zur Erfassung der räumlichen Arbeitsgedächtniskapazität stellte eine Kombination aus der am Anfang der Sitzung durchgeführten räumlichen CRT-Aufgabe und der Gedächtnisspannaufgabe zur Erfassung des räumlichen Kurzzeitgedächtnisses dar. Eine Aufgabensequenz begann jeweils mit der Darbietung eines Fixationskreuzes, dann erschien ein Pfeil, der so schnell wie möglich danach beurteilt werden sollte, ob sich seine Position in der oberen oder in der unteren Bildschirmhälfte befin-

det. Mit einem Zeitabstand von 60 ms nach dem Drücken der Antworttaste erschien die 4x4-Matrix mit einem schwarzen Punkt für 1000 ms (vgl. 3.5.2). Nach 50 ms wurde erneut ein zu beurteilender Pfeil dargeboten, der nach einer Reaktion auf ihn abermals von der Matrix mit einem Punkt gefolgt wurde. Die Instruktion für die Pbn lautete, so korrekt und so schnell wie möglich auf die Pfeile zu reagieren und sich darüber hinaus die Positionen und die Abfolge der Punkte zu merken. Nach der Darbietung des letzten Punktes folgte ein Behaltensintervall von 1200 ms. Danach wurde die leere Matrix gezeigt und mit der Maus mussten nun die Positionen in der leeren Matrix markiert werden, in denen zuvor die Punkte zu sehen gewesen waren. Dabei sollte zusätzlich die richtige Reihenfolge der markierten Positionen beachtet werden.

Nach der Eingabe des letzten Punktes erschien für 2000 ms eine Rückmeldung über die Anzahl richtig markierter Positionen in der Matrix. Anschließend konnte der nächste Versuchsdurchgang mit Hilfe der Leertaste gestartet werden. Zusätzlich erschien nach der Beurteilung der Pfeile jeweils eine kurze Rückmeldung über die Korrektheit der Antwort. Es wurde mit einem Übungsdurchgang begonnen, der mit der Darbietung von zwei Punkten anfang und nach der Darbietung von sechs Punkten beendet wurde. Die eigentliche Gedächtnisspannenaufgabe fing mit drei Punkten an und konnte sich theoretisch bis auf die Darbietung von neun aufeinander folgenden Punkten steigern. Der adaptive Algorithmus, nach dem entschieden wurde, wann die Arbeitsgedächtnisaufgabe aufgrund von zu vielen Fehlern abgebrochen wurde, war derselbe wie bei den Kurzzeitgedächtnisaufgaben. Die schematische Darstellung eines Versuchsdurchgangs der räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgabe befindet sich in Abbildung 6.

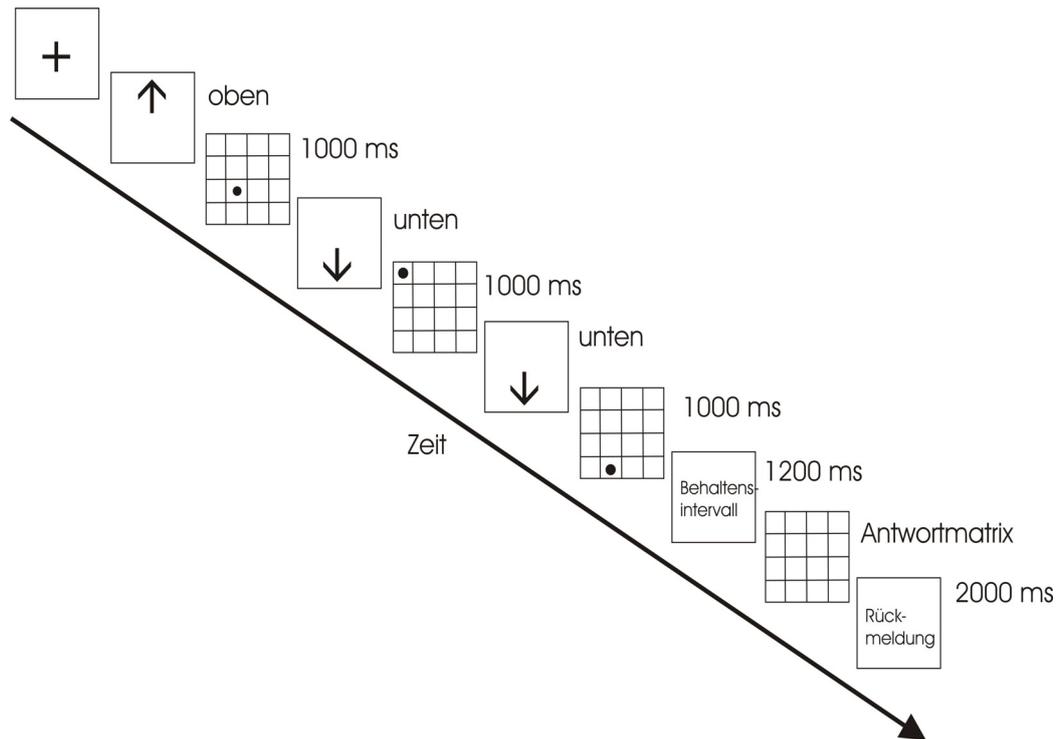


Abbildung 6. Schematische Darstellung eines Versuchsdurchgangs der räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgabe.

### *Visuelle Arbeitsgedächtnisspanne*

Die visuelle Arbeitsgedächtniskapazität wurde durch eine Aufgabe erfasst, die im Hinblick auf den Aufbau und die zeitlichen Parameter analog zu der räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgabe konstruiert war. Sie bestand aus einer Kombination der beiden Aufgaben zur Erfassung der visuellen Verarbeitungsgeschwindigkeit und der visuellen Kurzzeitgedächtnisspanne. Es musste abwechselnd immer ein Figurenpaar danach beurteilt werden, ob es identisch oder verschieden ist. Zwischen dieser Wahlreaktionszeit-aufgabe mussten geometrische Figuren memoriert werden, die am Ende einer Itemsequenz in der korrekten Reihenfolge reproduziert werden sollten. Der Aufbau und die zeitlichen Parameter dieser visuellen Arbeitsgedächtnisanforderung hatten dieselbe Form wie in der Aufgabe zur Erfassung des räumlichen Arbeitsgedächtnisses.

### *Switching*

Die hier verwendete Switching-Aufgabe zur Messung der Fähigkeit der Zentralen Exekutive zur selektiven Aktivierung und Hemmung eines Handlungsschemas wurde von der Forschungsgruppe zum Arbeitsgedächtnis an der Universität Mannheim entwickelt. Sie setzt sich aus drei verschiedenen Teilaufgaben zusammen. Die erste Teil-

aufgabe bestand darin, Pfeile so schnell wie möglich danach zu beurteilen, ob sie in der oberen oder unteren Bildschirmhälfte zu sehen sind. In dieser Hinsicht ist diese CRT-Aufgabe identisch mit der räumlichen Wahlreaktionszeitaufgabe, die zu Beginn der Sitzung durchgeführt wurde. Als nächstes wurde eine CRT-Aufgabe präsentiert, bei der die Pbn dieselben Pfeile danach beurteilen mussten, ob ihre Pfeilspitze aufwärts oder abwärts zeigt. Nachdem eine der Antworttasten gedrückt wurde, erschien nach 100 ms automatisch der nächste Pfeil. Bei diesen beiden Wahlreaktionszeitaufgaben gab es jeweils 15 Übungsdurchgänge und 25 Testdurchgänge.

Bei der eigentlichen Switching-Aufgabe, deren Bearbeitung anschließend erfolgte, wurde zuerst ein Anfangskriterium, wie z. B. „oben-unten“, eingeblendet. Nach diesem Kriterium sollten alle folgenden Pfeile so lange beurteilt werden, ob sie in der oberen oder unteren Bildschirmhälfte zu sehen sind, bis einer dieser Pfeile rot gefärbt war. Dieser rote Pfeil war das Zeichen für einen Wechsel zum anderen Kriterium, das auf ihn bereits angewendet werden musste. Die folgenden Pfeile sollten dann alle nach der Richtung der Pfeilspitze („aufwärts-abwärts“) beurteilt werden, bis das bisherige Kriterium der Pfeilspitze erneut eingeblendet wurde und eine kurze Pause gemacht werden konnte. Nachdem die Pbn die Leertaste gedrückt hatten, folgten weitere Pfeile, bis ein erneuter roter Pfeil den Wechsel des Kriteriums signalisierte und wieder auf die Pfeile hinsichtlich ihrer Position auf dem Bildschirm reagiert werden musste.

Die Switching-Aufgabe ohne die vorherigen CRT-Aufgaben umfasste insgesamt 300 Versuchsdurchgänge, die sich auf 20 Blöcke mit je 15 Durchgängen, verteilten. Innerhalb dieser Blöcke war je ein Wechsel zum anderen Kriterium (Switch) notwendig. Die jeweilige Anzahl an Durchgängen, nach denen ein Kriteriumswechsel gefordert wurde, variierte innerhalb der Blöcke. Nach der Hälfte aller Versuchsdurchgänge wurde angezeigt, wie viele der Antworten richtig und wie hoch die mittlere Reaktionszeit war. Die Zeit, in der die Pbn nach Beginn der Darbietung eines jeden Pfeils antworten konnten, war auf 3000 ms begrenzt. Eine schematische Darstellung eines Ausschnitts aus der Switching-Aufgabe befindet sich in Abbildung 7.

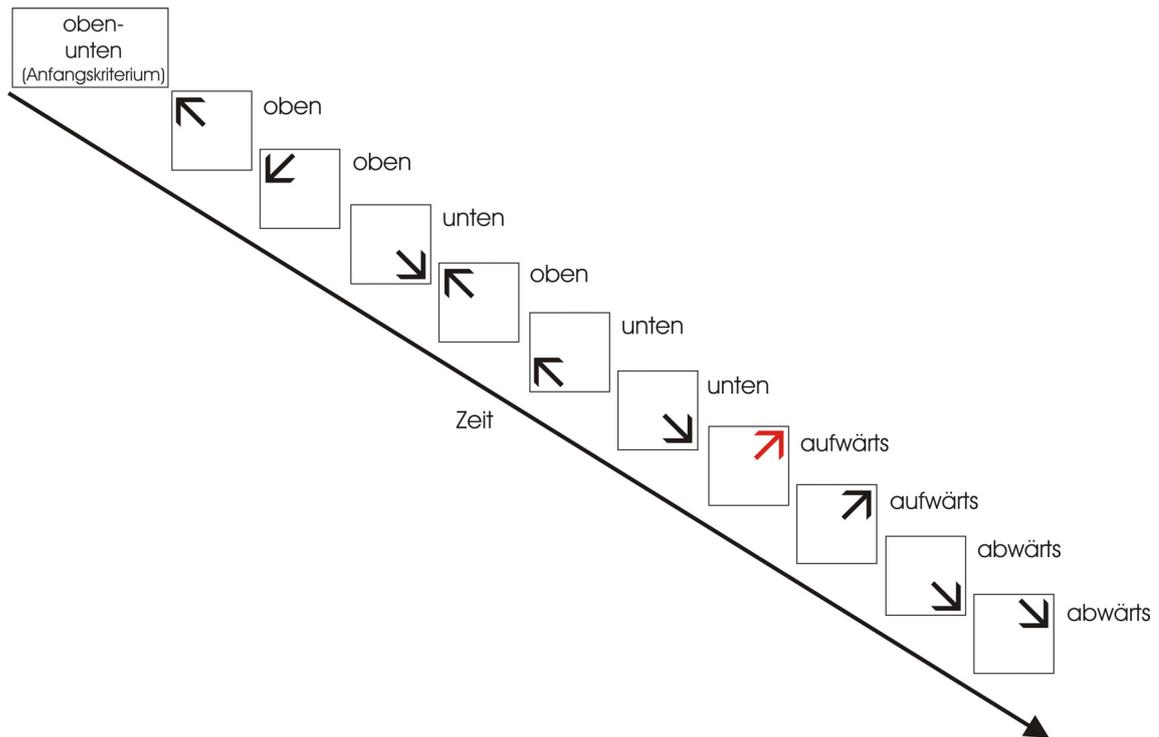


Abbildung 7. Schematische Darstellung eines Ausschnitts aus der Switching-Aufgabe.

#### Visuelle und räumliche n-back Aufgaben

Es wurden jeweils zwei analoge Versionen für die visuelle und für die räumliche n-back-Aufgabe erstellt, die sich lediglich durch das Itemmaterial voneinander unterschieden. Bei der räumlichen Variante wurden den Pbn nacheinander 3x3-Matrizen dargeboten, in denen sich in einer der neun Zellen jeweils ein schwarzer Punkt befand. Die Aufgabe bestand darin, sich die Positionen der Punkte zu merken und bei jeder Matrix durch das Drücken einer der beiden Antworttasten (siehe 3.5.2) so schnell wie möglich anzugeben, ob sich drei Matrizen zuvor der Punkt an derselben Position befunden hatte. Anstelle der zuvor eingesetzten 4x4-Matrix wurde hier eine 3x3-Matrix gewählt, um einen möglichen Bodeneffekt aufgrund einer zu großen Komplexität der Aufgabe zu verhindern. Für die visuelle n-back-Aufgabe wurden als Itemmaterial insgesamt neun geometrische Figuren ausgewählt, die bereits bei den anderen Gedächtnisaufgaben Verwendung fanden (Anhang B).

Zu Beginn jedes Blocks wurde ein Fixationskreuz dargeboten und die Pbn konnten nach dem Drücken der Leertaste den Versuchsdurchgang selbst starten. Die Darbietungsdauer für jede Matrix bzw. Figur betrug 1000 ms und das Interitemintervall dauerte jeweils 3000 ms. Für jede der n-back-Aufgaben gab es fünf Blöcke, in denen nacheinander 25 Items dargeboten wurden. In jedem Block wurden acht der Items drei Posi-

tionen zuvor bereits schon einmal dargeboten, so dass bei ihnen als korrekte Antwort ein „Ja“ gefordert wurde. Am Ende eines jeden Blocks erschien eine Rückmeldung, die eine Prozentangabe hinsichtlich des Anteils korrekter Antworten beinhaltete. Nach einer kurzen Pause konnte der nächste Block von den Pbn gestartet werden. Alle Pbn absolvierten für jede der beiden n-back-Aufgaben zuerst zwei Übungsblöcke. Die beiden n-back-Aufgaben wurden mit Hilfe der Software von e-prime erstellt (Schneider, Eschman & Zuccolotto, 2002). Eine schematische Darstellung eines Ausschnitts der Ereignissequenz der visuellen n-back Aufgabe befindet sich in Abbildung 8.

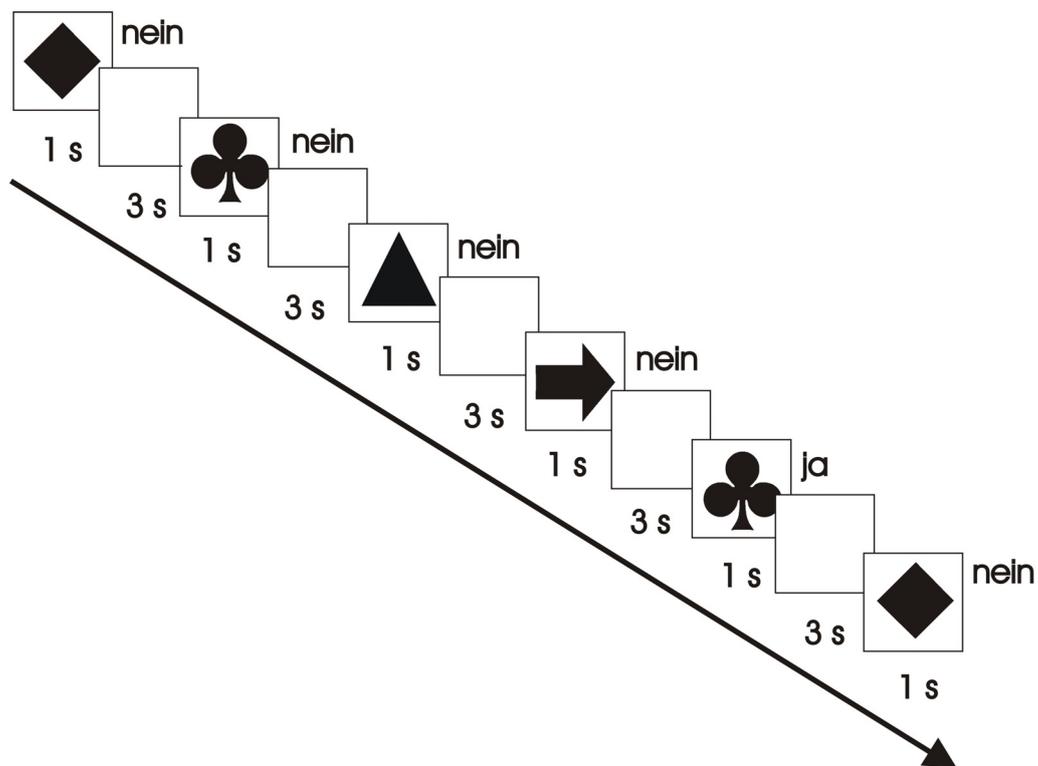


Abbildung 8. Ausschnitt aus der Ereignissequenz der visuellen n-back-Aufgabe.

## 4. Ergebnisse

Der Ergebnisteil führt zunächst die deskriptiven Daten des *Binding*-Experiments und die entsprechenden statistischen Analysen hinsichtlich der unterschiedlichen Gedächtniskapazitäten für Lokalisations-, Identitäts- und *Binding*-Informationen auf. Dieser Darstellung schließt sich die Auswertung der Reaktionszeiten des *Binding*-Experiments sowie die Beschreibung der Ergebnisse der Post-hoc Interviews an.

In einem nächsten Schritt folgen die Ergebnisse der Aufgaben zur Erfassung exekutiver Fähigkeiten, der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität und der Verarbeitungsgeschwindigkeit. Die Interkorrelationen dieser verschiedenen Aufgaben sind im Abschnitt 4.2.2 und die Ergebnisse zur Faktorenstruktur der Aufgaben im Abschnitt 4.2.3 beschrieben.

Der Abschnitt 4.3 widmet sich zunächst der Zusammenstellung der Korrelationen zwischen diesen Aufgaben und den Gedächtnisleistungen, die im *Binding*-Experiment erhoben wurden. Die im Anschluss folgende korrelationsanalytische Auswertung im Teilabschnitt 4.3.1 nimmt den Einfluss exekutiver Fähigkeiten auf das simultane Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen in Augenschein. Die regressionsanalytischen Berechnungen hinsichtlich der Beziehungen zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen bilden den Abschnitt 4.3.2, während die diesbezügliche Rolle der Verarbeitungsgeschwindigkeit im Anschluss daran herausgearbeitet wird (siehe 4.3.3). Der Ergebnisteil schließt mit einer Analyse der Beziehungen zwischen exekutiven Fähigkeiten und der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität.

### *Datenbereinigung und statistisches Vorgehen*

Die folgenden Analysen wurden auf der Basis bereinigter Daten durchgeführt. Die Datenbereinigung beinhaltet eine Ausreißerkorrektur der Rohdaten, bei der alle Werte, die weiter als drei Standardabweichungen vom jeweiligen Gruppenmittelwert entfernt lagen, durch den Wert ersetzt wurden, der sich drei Standardabweichungen vom Mittelwert befindet. Somit konnten extreme Werte bei einer gleichzeitigen Eliminierung ihrer negativen Auswirkungen auf die Verteilungseigenschaften beibehalten werden. Diese Prozedur betraf lediglich 1.01% der Daten. Für alle statistischen Tests wurde ein  $\alpha$ -Niveau von .05 verwendet, das bei Bedarf mittels einer Bonferroni-Korrektur adjustiert wurde.

## 4.1 Ergebnisse des *Binding*-Experiments

### 4.1.1 Vergleich der Gedächtniskapazitäten für Lokalisations-, Identitäts- und *Binding*-Informationen

Bei dem *Binding*-Experiment mussten entweder die Lokalisationen der Items rekonstruiert oder aber die korrekten geometrischen Figuren memoriert werden bzw. in der *Binding*-Bedingung war es erforderlich, diese Objekte zusätzlich wieder ihren ursprünglichen Lokalisationen korrekt zuzuordnen. Diese drei verschiedenen Aufgabenarten wurden entweder in voneinander getrennten Blöcken mit einer entsprechenden Instruktion vor jedem Block oder aber in einem sog. Mix-Block realisiert. Bei diesem Block wurde erst unmittelbar vor der Antwortwiedergabe durch einen auditiven Hinweisreiz die jeweils relevante Aufgabenart mitgeteilt. Im Folgenden wird mit dem Begriff „getrennter Block“ der Unterschied zwischen diesem Block und dem Mix-Block insgesamt bezeichnet, während der Ausdruck „isolierte Blöcke“ sich auf die verschiedenen Aufgabenarten innerhalb des getrennten Blocks bezieht.

Als Indikatoren für die verschiedenen Gedächtnisleistungen im Hinblick auf die Speicherung von Lokalisationen, Objekten und der Kombination beider Informationsdimensionen wurde jeweils die mittlere Anzahl richtiger Identifikationen pro Durchgang verwendet. Zum einen wurde die mittlere Anzahl richtig reproduzierter Positionen als Maß für das räumliche Kurzzeitgedächtnis, unabhängig davon, welche geometrischen Figuren diesen Positionen zugeordnet wurden, herangezogen. Für die Kapazitätsbestimmung des visuellen Kurzzeitgedächtnisses wurde die mittlere Anzahl korrekt wiedergegebener Figuren, unabhängig davon, ob sie auch wieder den ursprünglich durch sie besetzten Positionen zugeordnet wurden, benutzt. Als Operationalisierung der Gedächtnisleistung im Hinblick auf die *Binding*-Informationen, d. h. für das simultane Memorieren der Objekte in Verbindung mit der jeweiligen Lokalisation, wurde die mittlere Anzahl der an die richtigen Positionen gesetzten, korrekt reproduzierten Figuren als Indikator verwendet. Die Tabellen 3 und 4 beinhalten die deskriptiven Daten des *Binding*-Experiments im Hinblick auf die Anzahl richtig reproduzierter Lokalisationen, Objekte bzw. der *Binding*-Informationen getrennt nach der jeweiligen Blockart. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind hier die über die Setgrößen gemittelten Werte dargestellt.

*Tabelle 3.* Deskriptive Daten der korrekt reproduzierten Informationsdimensionen der isolierten Blöcke.

	<i>M</i>	<i>S.E.M.</i>	<i>SD</i>	Range
Pos. (Ort)	4.55	0.04	0.34	3.39 – 4.97
Pos. (Identität)	2.28	0.06	0.58	1.40 – 3.85
Pos. ( <i>Binding</i> )	3.73	0.03	0.27	3.18 – 4.55
Item (Ort)	1.10	0.04	0.42	0.30 – 1.95
Item (Identität)	2.91	0.03	0.27	2.35 – 3.60
Item ( <i>Binding</i> )	2.90	0.03	0.25	2.48 – 3.60
Both (Ort)	0.34	0.01	0.13	0.10 – 0.95
Both (Identität)	0.67	0.05	0.50	0.08 – 2.08
Both ( <i>Binding</i> )	2.01	0.04	0.35	1.15 – 3.05

*Anmerkungen.* *M*: Mittelwert; *S.E.M.*: Standardfehler; *SD*: Standardabweichung. Die hier dargestellten Werte beziehen sich auf die mittlere Anzahl korrekter Identifikationen pro Durchgang und sind über die verschiedenen Setgrößen gemittelt. Pos.: mittlere Anzahl korrekt reproduzierter Lokalisationen. Item: mittlere Anzahl korrekt wiedergegebener geometrischer Figuren. Both: Gedächtnisleistung für die *Binding*-Informationen, d. h. die mittlere Anzahl korrekt reproduzierter Items, die jeweils auch den richtigen Positionen zugeordnet wurden. In den Klammern befindet sich die, jeweils durch die Instruktion geforderte, Informationsdimension.

*Tabelle 4.* Deskriptive Daten der korrekt reproduzierten Informationsdimensionen des Mix-Blocks.

	<i>M</i>	<i>S.E.M.</i>	<i>SD</i>	Range
Pos. (Ort)	4.10	0.04	0.36	3.18 – 4.83
Pos. (Identität)	2.55	0.07	0.68	1.58 – 4.05
Pos. ( <i>Binding</i> )	3.70	0.03	0.30	2.86 – 4.30
Item (Ort)	1.16	0.05	0.48	0.28 – 2.48
Item (Identität)	2.71	0.03	0.25	2.08 – 3.33
Item ( <i>Binding</i> )	2.70	0.03	0.26	1.94 – 3.30
Both (Ort)	0.37	0.02	0.22	0.08 – 1.30
Both (Identität)	0.87	0.05	0.53	0.15 – 2.53
Both ( <i>Binding</i> )	1.64	0.04	0.41	0.63 – 2.65

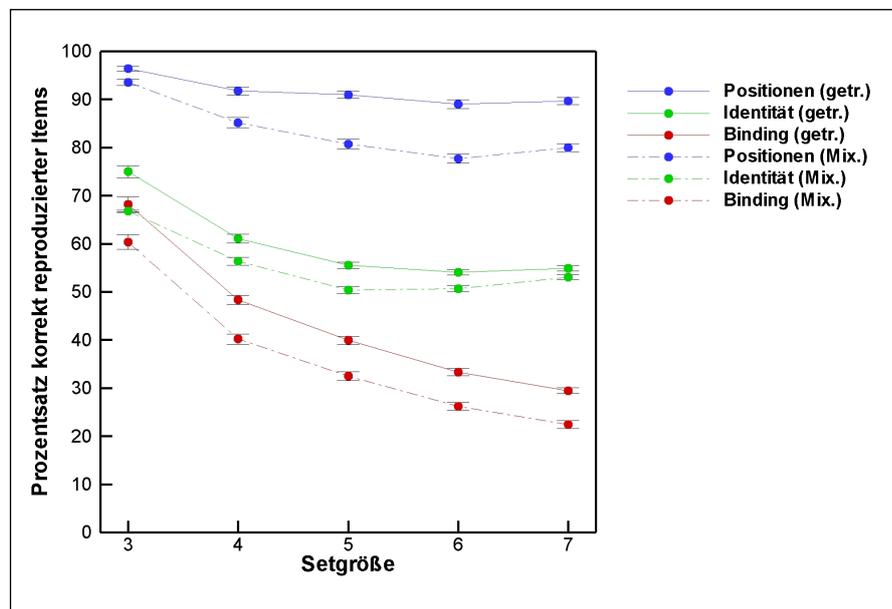
*Anmerkungen.* Abkürzungen siehe Tabelle 3.

Bei den folgenden Berechnungen fand allerdings nicht die absolute mittlere Anzahl der korrekt reproduzierten Items Verwendung, sondern diese Werte wurden relativiert an der jeweiligen Setgröße. Für die Testung der Haupthypothese, dass die Gedächtnisleistung bei einer *Binding*-Anforderung im Vergleich zu der isolierten Reproduktion der Objektidentität oder der Lokalisation schlechter ausfällt, wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) gerechnet. Der Faktor Blockart war dabei zweifach gestuft (getrennter Block vs. Mix-Block), die Aufgabenart ging als dreifach gestufter Faktor (Lokalisation, Identität und *Binding*) ein, und die Setgröße als dritter Faktor bestand aus fünf Stufen (3, 4, 5, 6 oder 7 Items). Bei dieser ANOVA wurden in der *Binding*-Bedingung als relevante Gedächtnisleistung die korrekt reproduzierten Figuren, die jeweils auch den richtigen Positionen zugeordnet wurden, verwendet. In der Lokalisationsbedingung stellen die richtig wiedergegebenen Positionen und in der Identitätsbedingung die korrekt memorierten Figuren die abhängigen Variablen dar.

Die Varianzanalyse erbrachte signifikante Einflüsse der Blockart  $F(1, 95) = 337.67, p < .001, \eta^2 = 0.78$ , der Aufgabenart  $F(2, 94) = 1901.92, p < .001, \eta^2 = 0.98$ , und der Setgröße  $F(4, 92) = 443.50, p < .001, \eta^2 = 0.95$ . Weiterhin waren auch die Interaktionen von Blockart x Aufgabe  $F(2, 94) = 19.84, p < .001, \eta^2 = 0.30$  und Aufgabe x Setgröße statistisch bedeutsam  $F(8, 88) = 113.97, p < .001, \eta^2 = 0.91$ . Lediglich die Interaktion von Blockart x Setgröße  $F(4, 92) = 2.17, p = .08, \eta^2 = 0.09$  war nicht signifikant. Die Interaktion von Blockart x Setgröße x Aufgabe  $F(8, 88) = 8.31, p < .001, \eta^2 = 0.43$  stellte sich dahingegen ebenfalls als signifikant heraus.

Nachfolgend berechnete paarweise Vergleiche zeigten weiterhin die signifikanten Unterschiede im Hinblick auf die unterschiedlichen Gedächtniskapazitäten auf. Die Gedächtniskapazität für räumliche Informationen war dabei erwartungsgemäß am größten und lag deutlich über der Gedächtnisleistung für die geometrischen Figuren. Dies galt sowohl für die entsprechenden isolierten Blöcke  $t(95) = 46.12, p < .001, \varepsilon = 6.26$  als auch für den Mix-Block  $t(95) = 38.58, p < .001, \varepsilon = 5.04$ . Die Kapazität für die *Binding*-Leistung fiel im Vergleich zu der Gedächtnisleistung für die Objektidentität erwartungsgemäß niedriger aus, was für den getrennten Block  $t(95) = 25.52, p < .001, \varepsilon = 5.65$  und den Mix-Block galt  $t(95) = 34.40, p < .001, \varepsilon = 7.72$ . Weiterhin ist zu beachten, dass diese Differenz zwischen der Kapazität für Identitäts- und *Binding*-Information im getrennten Block geringer ausfiel als im Mix-Block  $t(95) = 4.51, p < .001, \varepsilon = 0.56$ .

Bei dem simultanen Vergleich dieser drei unterschiedlichen abhängigen Variablen muss allerdings noch einschränkend hinzugefügt werden, dass eine Konfundierung von Ratewahrscheinlichkeit und Gedächtnisleistung unvermeidbar war. Die Ratewahrscheinlichkeit für die *Binding*-Informationen ist zwangsläufig niedriger als für die isolierten Informationsdimensionen. Demzufolge ist zu vermuten, dass der signifikante Unterschied zwischen der Gedächtnisleistung für die geometrischen Figuren und für die *Binding*-Informationen zwar tatsächlich vorhanden ist, aber unter Umständen etwas geringer ausfällt, als die Mittelwertunterschiede nahe legen. Die jeweiligen Gedächtniskapazitäten in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenanforderung und Blockart sind in Abbildung 9 graphisch veranschaulicht.



*Anmerkungen.* „getr.“: steht für die Aufgabenanforderung im getrennten Block, während „Mix“ den Block bezeichnet, in dem alle drei Aufgabenanforderungen in einer zufälligen Reihenfolge vorkamen.

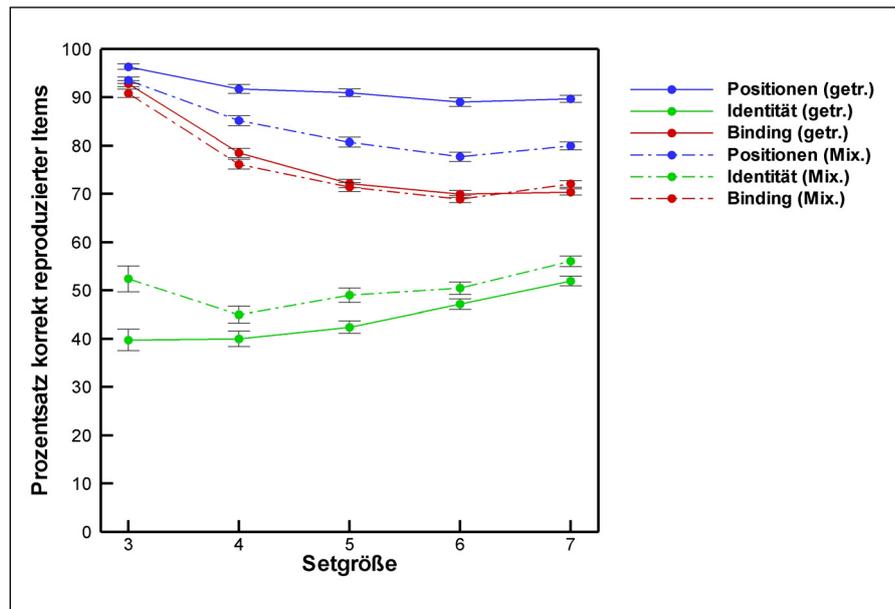
*Abbildung 9.* Prozentsatz korrekt reproduzierter Items der jeweils explizit abgefragten Informationsdimensionen (Positionen, Identität und *Binding*).

Für eine nähere Untersuchung der Einflüsse der drei Faktoren in Form der Blockart, Aufgabenart und der Setgröße auf die jeweiligen dimensionsspezifischen Gedächtniskapazitäten wurde zusätzlich für jede der drei abhängigen Variablen eine eigene Varianzanalyse gerechnet.

*Korrekt reproduzierte Positionen*

Es zeigte sich, dass die Blockart keine bedeutsame Auswirkung auf die Anzahl korrekt reproduzierter Positionen hatte  $F(1, 95) = 3.47, p = .07, \eta^2 = 0.04$ . Hingegen erwiesen sich die beiden Haupteffekte der Aufgabenart  $F(2, 94) = 672.05, p < .001, \eta^2 = 0.94$  und der Setgröße  $F(4, 92) = 96.69, p < .001, \eta^2 = 0.81$  als signifikant. Auch alle weiteren Interaktionen in Form von Blockart x Aufgabe  $F(2, 94) = 109.60, p < .001, \eta^2 = 0.70$ , Blockart x Setgröße  $F(4, 92) = 12.65, p < .001, \eta^2 = 0.36$ , Setgröße x Aufgabe  $F(8, 88) = 63.94, p < .001, \eta^2 = 0.85$  und Blockart x Aufgabe x Setgröße  $F(8, 88) = 11.30, p < .001, \eta^2 = 0.51$  erreichten statistisches Signifikanzniveau.

Paarweise Vergleiche belegten weiterhin, dass bei der Reproduktion der *Binding*-Leistung signifikant weniger korrekte Positionen in die Matrix eingegeben wurden als bei isolierter Reproduktion der Positionen. Dies galt sowohl für die isolierten Blöcke  $t(95) = 27.04, p < .001, \varepsilon = 4.48$  als auch für den Mix-Block  $t(95) = 19.05, p < .001, \varepsilon = 4.82$ . Die Gedächtniskapazität für die Lokalisationen war bei der expliziten Abfrage im isolierten Block höher als im Mix-Block  $t(95) = 16.69, p < .001, \varepsilon = 3.46$ . Im Mix-Block wurde bei der Aufgabe zur alleinigen Reproduktion der Objektidentität gleichzeitig auch eine höhere Anzahl korrekter Positionen eingegeben  $t(95) = 5.61, p < .001, \varepsilon = 1.03$  als im isolierten Block. Bei der *Binding*-Aufgabe gab es allerdings im Hinblick auf die gleichzeitig korrekt reproduzierten Positionen keinen Unterschied zwischen dem entsprechenden isolierten Block und dem Mix-Block  $t(95) = 1.95, p = .05, \varepsilon = 0.37$ . Der Zusammenhang zwischen den korrekt reproduzierten Positionen und der jeweiligen Memorierungsanforderung ist in Abbildung 10 veranschaulicht.



Anmerkungen. „getr.“: steht für die Aufgabenanforderung im getrennten Block, während „Mix“ den Block bezeichnet, in dem alle drei Aufgabenanforderungen in einer zufälligen Reihenfolge vorkamen.

Abbildung 10. Prozentsatz korrekt reproduzierter Positionen in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenanforderung (Positionen, Identität und *Binding*).

#### Korrekt reproduzierte Figuren

Eine weitere ANOVA erbrachte im Hinblick auf die korrekt reproduzierten Figuren folgende Ergebnisse: Alle drei Haupteffekte Blockart  $F(1, 95) = 60.41, p < .001, \eta^2 = 0.39$ , Aufgabenart  $F(2, 94) = .653.16, p < .001, \eta^2 = 0.93$  und Setgröße  $F(4, 92) = 129.34, p < .001, \eta^2 = 0.85$  erwiesen sich als signifikant. Das gleiche galt auch für die Interaktionen zweiter Ordnung von Blockart x Aufgabe  $F(2, 94) = 21.72, p < .001, \eta^2 = 0.32$ , Blockart x Setgröße  $F(4, 92) = 7.35, p < .001, \eta^2 = 0.24$ , Setgröße x Aufgabe  $F(8, 88) = 50.27, p < .001, \eta^2 = 0.82$  und für die Interaktion dritter Ordnung von Blockart x Aufgabe x Setgröße  $F(8, 88) = 3.04, p < .05, \eta^2 = .22$ .

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass sich die Gedächtniskapazität für die geometrischen Figuren aufgrund der zusätzlichen Anforderung, gleichzeitig ihre Positionen zu memorieren, nicht verschlechterte. Dies galt sowohl für die isolierten Blöcke  $t(95) = 0.23, p = .82$  als auch für den Mix-Block  $t(95) = 0.22, p = .83$ . Bei der Reproduktion der Lokalisationen wurden jedoch im Vergleich zu der Abfrage der Objektidentitäten in einem signifikanten Ausmaß weniger korrekte Figuren in die Antwortmatrix eingetragen. Dieser Effekt trat in beiden Blöcken auf  $t(95) = .35.46, p < .001, \varepsilon = 3.41$ . Die Gedächtnisleistung für die geometrischen Figuren fiel im getrennten Block höher

aus als im Mix-Block. Dies betraf sowohl die korrekt reproduzierten Items in der Identitätsbedingung  $t(95) = 8.74, p < .001, \varepsilon = 1.40$  als auch die Gedächtniskapazität für die Figuren im Rahmen der *Binding*-Anforderung  $t(95) = 10.40, p < .001, \varepsilon = 1.96$ . Der Einfluss der jeweiligen Versuchsbedingung auf den Prozentsatz korrekt reproduzierter Figuren ist in Abbildung 11 veranschaulicht.

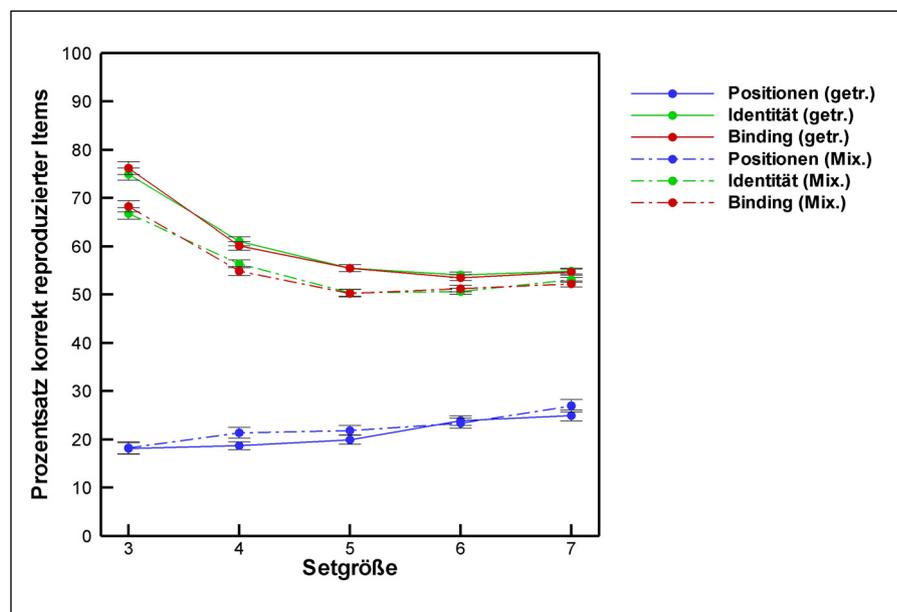


Abbildung 11. Prozentsatz korrekt reproduzierter Figuren in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenanforderung (Positionen, Identität und *Binding*).

#### Korrekt reproduzierte Binding-Informationen

In Bezug auf die Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen ergab sich kein signifikanter Einfluss des Hauptfaktors Blockart  $F(1, 95) = 3.57, p = .06, \eta^2 = 0.04$ . Die Auswirkungen der Aufgabenart  $F(2, 94) = 756.91, p < .001, \eta^2 = 0.94$  und der Setgröße  $F(4, 92) = 212.41, p < .001, \eta^2 = 0.90$  waren jedoch signifikant. Das gleiche galt auch für die Interaktionen von Blockart x Aufgabe  $F(2, 94) = 82.00, p < .001, \eta^2 = 0.64$ , Setgröße x Aufgabe  $F(8, 88) = 123.91, p < .001, \eta^2 = 0.92$  und Blockart x Setgröße  $F(4, 92) = 3.37, p < .05, \eta^2 = 0.13$ . Auch die Interaktion von Blockart x Aufgabe x Setgröße  $F(8, 88) = 2.45, p < .05, \eta^2 = 0.18$  erwies sich als signifikant.

Wenn lediglich die Objekte reproduziert werden sollten, wurde eine wesentlich geringere Anzahl der korrekt erinnerten Figuren wieder ihren ursprünglichen Positionen zugeordnet, als bei der Aufforderung, die *Binding*-Informationen zu memorieren. Dies

galt sowohl für die entsprechende Instruktion im getrennten Block  $t(95) = 23.59$ ,  $p < .001$ ,  $\varepsilon = 2.62$  als auch für die parallele Aufgabenanforderung im Rahmen des Mix-Blocks  $t(95) = 15.57$ ,  $p < .001$ ,  $\varepsilon = 2.14$ . Im Mix-Block wurden in der Identitäts-Bedingung allerdings in einem signifikanten Ausmaß mehr der korrekt wiedergegebenen Figuren auch wieder den richtigen Positionen zugeordnet als in der analogen Bedingung des isolierten Blocks  $t(95) = 4.70$ ,  $p < .001$ ,  $\varepsilon = 0.84$ . Hingegen lag die Gedächtnisleistung für die *Binding*-Informationen in der *Binding*-Bedingung im getrennten Block höher als im Mix-Block  $t(95) = 12.98$ ,  $p < .001$ ,  $\varepsilon = 2.75$ . Das Liniendiagramm in Abbildung 12 veranschaulicht die soeben beschriebenen Ergebnisse im Hinblick auf die Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen.

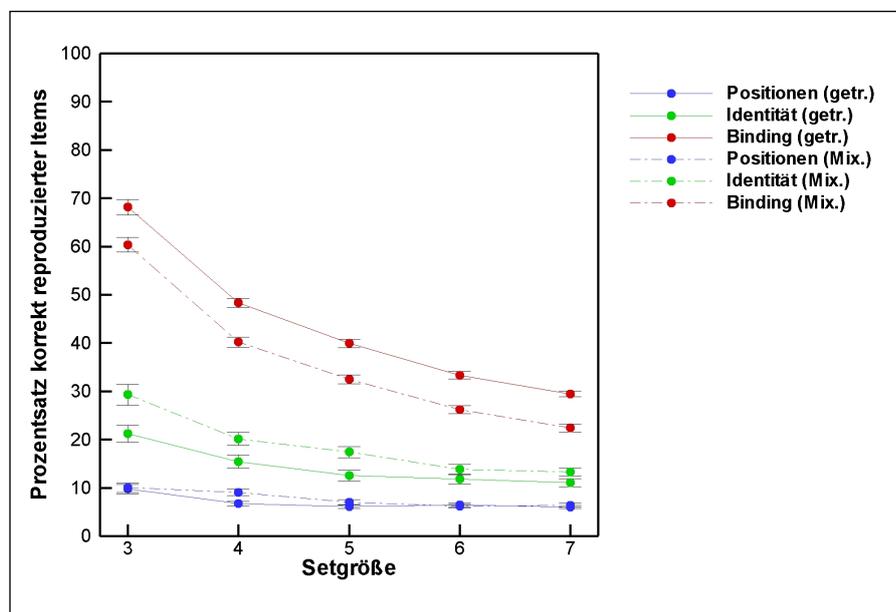


Abbildung 12. Prozentsatz korrekt reproduzierter *Binding*-Informationen in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenanforderung (Positionen, Identität und *Binding*).

#### Korrelationen innerhalb des *Binding*-Experiments

Für die weitere Auswertung der Zusammenhänge zwischen den Gedächtniskapazitäten für Positionen, Objektidentitäten und der Kombination dieser beiden Dimensionen in Abhängigkeit von der Memorierungsanforderung wurden Korrelationen berechnet. Die betreffende Interkorrelationsmatrix ist im Anhang C dargestellt. Dabei wird ersichtlich, dass es bezogen auf die Gedächtniskapazität für die Objektinformationen sehr hohe Korrelationen zwischen der Aufgabe, nur die geometrischen Figuren zu memorieren und der Aufforderung, simultan auch noch ihre Positionen zu memorieren,

gab ( $r = .72$  für den getrennten Block bzw.  $r = .73$  für den Mix-Block). Im Hinblick auf die korrekt reproduzierten Positionen zeigten sich zwischen der isolierten Lokalisationsbedingung und der *Binding*-Anforderung Korrelationen von  $r = .62$  im getrennten Block und  $r = .84$  im Mix-Block.

Wenn man den Zusammenhang zwischen der Gedächtniskapazität für die isolierten Objektinformationen und der Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen betrachtet, ergaben sich auch hier, wie aufgrund der bisherigen Ergebnisse im Hinblick auf die Mittelwertunterschiede zu erwarten war, sehr hohe Korrelationen von  $r = .72$  für den getrennten Block und  $r = .79$  für den Mix-Block. Dagegen war der Zusammenhang zwischen der Gedächtniskapazität für die Lokalisationen und der Kapazität für die *Binding*-Informationen wesentlich geringer. Er lag bei  $r = .43$  für den getrennten Block und bei  $r = .37$  für den Mix-Block. Dies zeigt, dass die Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen insbesondere mit der Fähigkeit, die geometrischen Figuren isoliert zu memorieren, eng zusammenhängt.

Im getrennten Block korrelierte die Gedächtniskapazität für die Objektidentität mit der Gedächtniskapazität für räumliche Informationen zu  $r = .44$ . Diese Korrelation mittlerer Höhe weist daraufhin, dass die beiden Dimensionen zwar zusammenhängen, aber es dennoch einen deutlichen Unterschied zwischen dem bei dieser Aufgabe erfassten visuellen und räumlichen Kurzzeitgedächtnis zu geben scheint.

#### 4.1.2 Reaktionszeiten

Um näheren Aufschluss über eventuelle Unterschiede der Verarbeitungszeiten in Abhängigkeit von der jeweils zu memorierenden Informationsdimension und der Aufgabenart zu erhalten, wurde zusätzlich die mittlere Reaktionszeit, gemessen in Millisekunden, bestimmt. Die Reaktionszeit umfasst die Zeit vom Beginn der Darbietung der Antwortmatrix bis zur ersten Reaktion der Pbn in Form der Berührung des Antwortbildschirms. Somit ist sie ein Indikator für die Zeit, die für die Enkodierung und Memorierung der Informationen benötigt wird, bis mit dem Abruf der Items begonnen werden kann. In Tabelle 5 sind diese mittleren Reaktionszeiten zusammengestellt. Der Übersichtlichkeit halber sind hier ebenfalls nur die über die Setgrößen gemittelten Reaktionszeiten angeführt.

Tabelle 5. Deskriptive Daten der mittleren Reaktionszeiten in ms für jede Aufgabenanforderung (Positionen, Identität und *Binding*).

	<i>M</i>	<i>S.E.M.</i>	<i>SD</i>	Range
Positionen (getr.)	1088.90	32.75	320.90	544.80 – 1956.96
Identität (getr.)	1627.12	72.17	707.15	601.90 – 3943.31
<i>Binding</i> (getr.)	1365.44	52.55	514.92	649.75 – 3142.65
Positionen (Mix)	1580.56	40.37	395.54	769.33 – 3229.57
Identität (Mix)	2007.71	70.55	691.26	890.85 – 4758.74
<i>Binding</i> (Mix)	1736.96	56.85	557.00	767.23 – 3751.35

*Anmerkungen.* Die Reaktionszeiten sind bereits über die Setgrößen gemittelt. Die Abkürzung in Klammern gibt an, ob es sich um die mittleren Reaktionszeiten des nach Aufgabenarten getrennten Blocks (getr.) oder um die des Mix-Blocks (Mix) handelt.

Die Auswertung der Reaktionszeiten erfolgte analog zu der Auswertung der korrekt reproduzierten Informationsdimensionen mit Hilfe einer ANOVA. Die drei Haupteffekte der Blockart  $F(1, 95) = 102.99, p < .001, \eta^2 = 0.52$ , der Aufgabenart  $F(2, 94) = 58.47, p < .001, \eta^2 = 0.55$  und der Setgröße  $F(4, 92) = 21.71, p < .001, \eta^2 = 0.49$  stellten sich alle als hochsignifikant heraus. Im Hinblick auf die Wechselwirkungen der Faktoren erwiesen sich die Interaktionen von Blockart x Aufgabe  $F(2, 94) = 3.81, p < .05, \eta^2 = 0.08$  und Aufgabe x Setgröße  $F(8, 88) = 5.27, p < .001, \eta^2 = 0.32$  als statistisch bedeutsam. Für die Interaktion von Blockart x Setgröße  $F(4, 92) = 0.49, p = .75, \eta^2 = 0.02$  ergab sich hingegen kein signifikantes Ergebnis. Die Interaktion von Blockart x Aufgabenart x Setgröße erreichte wiederum statistische Signifikanz  $F(8, 88) = 3.44, p = .05, \eta^2 = 0.24$ .

Es zeigte sich deutlich, dass die Reaktionszeiten des Mix-Blocks bei allen Aufgaben höher ausfielen als die Reaktionszeiten des getrennten Blocks  $t(95) = 10.15, p < .001, \varepsilon = 1.80$ . Weiterhin wurde mehr Zeit für die Reaktion in der *Binding*-Bedingung als in der Positionsbedingung benötigt. Dies galt sowohl für den getrennten Block  $t(95) = 6.25, p < .001, \varepsilon = 0.95$  als auch für die entsprechenden Aufgabenanforderungen innerhalb des Mix-Blocks  $t(95) = 5.00, p < .001, \varepsilon = 1.29$ . Am längsten dauerte allerdings die Reaktion bei der Identitätsanforderung. Die Reaktionszeit auf die Identitätsanforderung war somit sowohl im getrennten Block  $t(95) = 5.26, p < .001, \varepsilon = 1.02$  als auch im

Mix-Block  $t(95) = 9.6, p < .001, \varepsilon = 3.59$  länger als die entsprechende Reaktionszeit in der *Binding*-Bedingung. Die Reaktionszeiten sind in Abbildung 13 veranschaulicht.

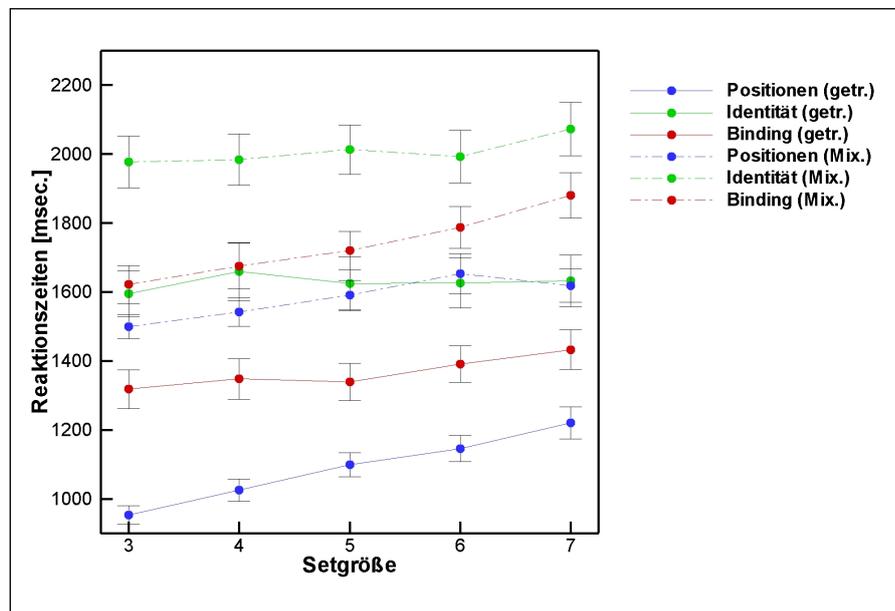


Abbildung 13. Mittlere Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenanforderung (Positionen, Identität und *Binding*).

#### 4.1.3 Ergebnisse der Post-hoc Interviews

Im Anschluss an das *Binding*-Experiment wurde mit den Pbn ein Interview durchgeführt, um Aufschluss über individuelle Strategien und Vorgehensweisen bei der Bearbeitung der Aufgaben zu erhalten. Es wurde unter anderem danach gefragt, ob im Mix-Block der Ton gut der jeweiligen Aufgabenanforderung zuzuordnen war, was 98% der Pbn zustimmend beantworteten. Somit ist davon auszugehen, dass bei der Darbietung des Tons den Pbn auch im Mix-Block bewusst war, welche Informationsdimension reproduziert werden sollte. Der Mix-Block wurde jedoch von 80% der Versuchsteilnehmerinnen und -teilnehmer als schwieriger im Vergleich zu der Bearbeitung der isolierten Blöcke empfunden. Alle Pbn bewerteten erwartungsgemäß die Bedingung, bei der sie sich nur die Positionen merken mussten, als am einfachsten. 83% der Pbn empfanden gleichzeitig die *Binding*-Anforderung als schwieriger im Vergleich zu der reinen Reproduktion der Objektidentität.

## 4.2 Ergebnisse der Tests zur Erfassung exekutiver Fähigkeiten, der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität und der Verarbeitungsgeschwindigkeit

Im Folgenden wird jeweils kurz die Auswertung der einzelnen Aufgaben erläutert, wenn für diese - anders als bei den ZVT-Varianten und dem Digit-Symbol-Test - keine allgemein bekannten Auswertungsvorschriften vorhanden sind. Um eine einheitliche Polung aller Leistungsmaße zu erhalten, wurden die Reaktionszeiten umgekehrt, so dass höhere Werte für eine bessere Leistung stehen. Bei den Wahlreaktionszeitaufgaben wurden lediglich die Reaktionszeiten für korrekte Antworten verwendet.

### *Räumliche und visuelle Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnisspanne*

Bei der Dot-span-Aufgabe zur Erfassung des visuellen Kurzzeitgedächtnisses wurden Punkte in einer Matrix sequentiell dargeboten, die anschließend in ihrer korrekten Reihenfolge reproduziert werden mussten. Die visuelle Kurzzeitgedächtnisanforderung bestand in der Speicherung einer Abfolge von geometrischen Figuren, die ebenfalls in der richtigen Reihenfolge zu reproduzieren waren. Das räumliche Arbeitsgedächtnis wurde mit Hilfe einer Kombination aus der Dot-span- und der räumlichen CRT-Aufgabe gemessen. Hier bestand die Aufgabenanforderung darin, zwischen der Darbietung von zu memorierenden Punkten zusätzlich Pfeile so schnell wie möglich danach zu beurteilen, ob sie in der oberen oder unteren Bildschirmhälfte zu sehen sind. Analog zu der Konstruktion der räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgabe wurde die visuelle Arbeitsgedächtniskapazität durch eine Kombination der visuellen Kurzzeitgedächtnis- und der visuellen CRT-Aufgabe erfasst.

Die räumlichen und visuellen Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnisspannen wurden anhand der jeweils zuletzt erreichten Setgröße im Rahmen der adaptiven Gestaltung der jeweiligen Programme ermittelt. Gemäß dem üblichen Vorgehen bei der Auswertung von Arbeitsgedächtnisaufgaben, die sich aus einer Gedächtnis- und einer Verarbeitungsaufgabe zusammensetzen, wurde lediglich die Gedächtnisspanne als Kriterium für die Arbeitsgedächtniskapazität verwendet (Engle et al., 1999). Da bei dieser Aufgabenform allerdings die Gefahr bestand, dass die Pbn der Gedächtnisaufgabe mehr Priorität zuteilen als der Wahlreaktionszeitaufgabe, wurden zur Kontrolle noch die Korrelationen zwischen den Gedächtnisspannen und dem Prozentsatz korrekt beantworteter CRT-Aufgaben berechnet. Die Korrelation zwischen der räumlichen Arbeitsgedächtnisspanne und dem Prozentsatz korrekt beantworteter CRT-Aufgaben lag bei  $r = .13$ . Zwischen der vi-

suellen Arbeitsgedächtnisspanne und der dazugehörigen Wahlreaktionszeitaufgabe ergab sich eine signifikante Korrelation von  $r = .31$ . Folglich gab es keinen Hinweis darauf, dass die Pbn die CRT-Aufgaben zugunsten der Gedächtnisaufgaben vernachlässigten, weswegen die Wahlreaktionszeitaufgaben bei der Auswertung der Arbeitsgedächtnisaufgaben nicht weiter berücksichtigt wurden.

#### *Räumliche und visuelle n-back-Aufgabe*

Die n-back-Aufgaben wurden als zusätzliche Aufgaben eingesetzt, um die räumliche bzw. visuelle Arbeitsgedächtniskapazität zu messen. Bei der räumlichen Variante wurde den Pbn eine sequentielle Abfolge von Punkten in einer Matrix präsentiert und bei der visuellen Version fanden geometrische Figuren Verwendung. Diese Items mussten memoriert und simultan danach beurteilt werden, ob drei Positionen zuvor dasselbe Item bereits schon einmal dargeboten wurde.

Für die Auswertung der n-back-Aufgaben wurden jeweils die ersten drei Antworten eines jeden Blocks herausgenommen, da bei ihnen aufgrund der Aufgabenstruktur eine „Nein“-Antwort gefordert wurde und diese Antworten dementsprechend keine Informationen über die Arbeitsgedächtniskapazität liefern. Somit gingen in die Auswertung insgesamt 110 Antworten von jeder n-back-Aufgabe ein. Für die Bestimmung der Leistung bei den n-back-Aufgaben ist insbesondere die Berechnung des Sensitivitätskoeffizienten  $d'$  von Interesse, da mit ihm das Verhältnis von korrekten „Ja“-Antworten (Hit Rate) und falschen Alarmen abgebildet werden kann (MacMillan & Creelman, 1991). Dementsprechend wurde  $d'$  bei allen weiteren Analysen als Maß für die Leistung bei den n-back-Aufgaben und als Indikator für die durch sie erfasste räumliche und visuelle Arbeitsgedächtniskapazität verwendet.

#### *Switching*

Bei der Switching-Aufgabe wurden zunächst zwei Wahlreaktionszeitaufgaben nacheinander bearbeitet. Als erstes mussten Pfeile danach beurteilt werden, ob sie in der unteren bzw. oberen Bildschirmhälfte zu sehen sind. Das Beurteilungskriterium der nächsten CRT-Aufgabe war auf die Richtung der Pfeilspitze (aufwärts vs. abwärts) bezogen. Anschließend musste bei der eigentlichen Switching-Aufgabe die CRT-Aufgabe nach einem dieser beiden Kriterien so lange bearbeitet werden, bis die Darbietung eines Hinweisreizes den sofortigen Wechsel zum anderen Kriterium signalisierte. Nach eini-

gen Versuchsdurchgängen musste bei einem Hinweisreiz erneut das Kriterium gewechselt werden.

Aus der Switching-Aufgabe wurden zwei abhängige Variablen abgeleitet, die auf den Reaktionszeiten basieren. Zum einen wurden entsprechend der Vorgehensweise von Oberauer et al. (2003) die allgemeinen Switching-Kosten bestimmt. Diese setzen sich aus der Differenz zwischen der Reaktionszeit der Versuchsdurchgänge ohne Kriteriumswechsel und den Reaktionszeiten der beiden Wahlreaktionszeitaufgaben, die vor Beginn der eigentlichen Switching-Aufgabe isoliert erhoben wurden, zusammen. Zum anderen wurde ein Differenzwert zwischen den Reaktionszeiten der Versuchsdurchgänge des Switching-Blocks, bei denen kein Kriteriumswechsel gefordert wurde, und den entsprechenden Durchgängen mit einer Switching-Anforderung berechnet, um so die spezifischen Switching-Kosten zu erhalten. Somit konnten die kognitiven Kosten, die durch das Umschalten verursacht werden, unabhängig von der individuellen Reaktionszeit erfasst werden.

#### *Zentrale Exekutive*

Die RNG-Aufgabe wurde zur Erfassung exekutiver Fähigkeiten eingesetzt. Ihre Aufgabenanforderung bestand darin, in einer relativ hohen Geschwindigkeit eine nach dem Zufallsprinzip aufgebaute Zahlenabfolge zu generieren. Um diese Leistung näher zu analysieren, wurden die ersten 100 Zahlen, die von jedem Probanden generiert wurden, mit Hilfe des Programms „RgCalc“ von Towse und Neil (1998) ausgewertet. Es konnten dadurch 17 verschiedene Indizes ermittelt werden, von denen in eine anschließende Hauptkomponentenanalyse 16 eingingen. Diese Indizes erfassen verschiedene, zum Teil miteinander korrelierte Aspekte, nach denen sich eine Zahlenabfolge im Hinblick auf ihren „zufälligen“ Aufbau bewerten lässt. Bei den durch das Programm ermittelten Indizes handelte es sich um den sog. Adjacency-Index ( $A$ ), den Coupon-Index, die fünf verschiedenen Phi-Indizes (Phi 2 bis 7), den Null-Score-Quotienten von Guttman (NSQ), den Random-Number Generation-Index (RNG), den Random-Number-Generation-2-Index (RNG 2), sowie den Redundanz-Index ( $R$ ). Weiterhin wurden die drei Repetition-Gap-Indizes (RGap Mean/Median/Modal) jeweils bezogen auf den entsprechenden Mittelwert, den Median und den Modalwert dieses Indizes, den Runs-Index und den Turning-Point-Index (TPI) berechnet. Die verwendeten Indizes werden im Folgenden näher beschrieben. Zusätzliche Angaben zu ihrer genauen Berechnung finden sich bei Towse und Neil (1998).

Das Ausmaß der Verwendung von zwei benachbarten Antwortpaaren, wie z. B. „1, 2“ oder „8, 9“, wird durch den Adjacency-Index (A) erfasst. Falls in der generierten Zahlenreihe keine benachbarten Antwortpaare vorkommen, liegt er bei 0%. Wenn diese hingegen nur aus derartigen Zahlenkombinationen besteht, beträgt er 100%.

Der Coupon-Index steht für die mittlere Anzahl aller Antworten, die gegeben werden, bevor jede vorhandene Antwortalternative einmal verwendet wurde. Wenn z. B. alle Zahlen aus den möglichen Antwortalternativen „1, 2, 3, 4, 5“ genannt werden, bevor eine Zahl zum zweiten Mal verwendet wird, resultiert daraus ein niedriger Coupon-Wert.

Der Phi-Index ist ein Maß für die Tendenz zu Wiederholungen in Bezug auf Sequenzen verschiedener Längen. Hierfür wird ausgewertet, ob die erste und die letzte Zahl in einer Sequenz dieselbe ist bzw. ob eine Wiederholung vorliegt. Towse und Neil (1998) betrachten hierbei Sequenzen von 2 bis 7 Items.

Durch den Guttman's Null-Score-Quotienten (NSQ) wird die absolute Anzahl möglicher Zweierpaare der Zahlen bezeichnet, die nicht in der von den Pbn generierten Zahlenreihenfolge vorkommen. Da analog zu der Studie von Towse und Neil (1998) dieser sog. NSQ-Index in der vorliegenden Untersuchung mit dem RNG-Index zu  $r = .97$  korrelierte, wurde der NSQ-Index von einer weiteren Analyse ausgeschlossen.

Die „Zufälligkeit“ der jeweiligen Antwortsequenz, d. h. die Assoziation oder Unabhängigkeit zwischen zwei aufeinander folgenden Antworten, wird durch den RNG-Index erfasst. Während der R-Index die gleiche Verteilung der generierten Antworten auf alle Antwortalternativen misst, wird bei dem RNG-Index erhoben, wie viele Antwortpaare verwendet wurden. Er gibt somit an, wie häufig eine bestimmte Antwortalternative auf eine andere folgt. Der RNG 2-Index misst die Verwendung von Zahlenpaaren, zwischen denen jeweils eine andere Zahl liegt. In der Zahlenreihenfolge „1, 3, 4, 6, 8, 5, 2“ bilden die Zahlenpaare „1, 4“, „3, 6“, „4, 8“, „6, 5“ und „8, 2“ die relevanten Zahlenkombinationen. Die weitere Auswertung dieser Zahlenpaare erfolgt analog zu der Vorgehensweise beim RNG-Index.

Die drei Repetition-Gap-Indizes erfassen, wie viele Zahlen genannt werden, bevor eine bestimmte Zahl wiederholt wird. In der Zahlenreihe 9, 7, 1, 3, 4, 9, 5, 4, 9 wird z. B. die Zahl 9 nach sechs Zahlen das erste Mal, und nach drei Zahlen das zweite Mal wiederholt. Nach Zusammenzählen dieser Werte werden dann der entsprechende Mittelwert, der Median und der Modalwert bestimmt.

Die Variabilität der Länge einer Zahlensequenz misst der Runs-Index. Diese Zahlensequenz ist hierbei definiert als die Anzahl an Zahlen, die in aufsteigender Abfolge genannt werden, solange bis die Wiederholung einer Zahl auftritt. Aus diesen Werten wird dann die dementsprechende Varianz berechnet.

Die gleichmäßige Verwendung aller vorhandenen Antwortalternativen wird durch den Redundanz-Index ausgedrückt. Wenn jede Antwortalternative idealerweise gleich häufig Verwendung findet, beträgt er 0%. Je stärker die generierte Zahlenreihe von der angestrebten Gleichverteilung aller Antworten abweicht, desto größer ist der Index.

Der Turning Point-Index (TPI) erfasst die Anzahl an Zahlen, die einen Wechsel zwischen aufsteigenden und absteigenden Zahlenabfolgen markieren. In der Zahlenabfolge 3, 5, 7, 8, 6, 4 leitet z. B. die „8“ diesen Wechsel ein, da nach ihr die Zahlenreihenfolge wieder absteigt. Der Index berechnet sich aus der Anzahl tatsächlich verwendeter Wendepunkte, die an der Anzahl der theoretisch zu erwartenden Punkte relativiert werden.

Vor den faktorenanalytischen Berechnungen wurden alle Indizes einheitlich gepolt, so dass hohe Werte für eine gute Leistung stehen. Vorab wurde die Korrelationsmatrix hinsichtlich ihrer Eignung für eine Faktorenanalyse beurteilt. Das Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium für die Beurteilung der Anti-Image Korrelationsmatrix auf ihre Eignung für eine Faktorenanalyse lag bei einem MSA von .67 (Kaiser & Rice, 1974). Auch der Bartlett-Test auf Sphärizität erbrachte ein signifikantes Ergebnis ( $p < .001$ ). Folglich konnten die Voraussetzungen für die Durchführung der Faktorenanalyse als gegeben beurteilt werden. Da sich die Faktoren in einer zuvor berechneten Faktorenanalyse mit obliquer Rotation als nur geringfügig korreliert erwiesen, wurde eine erneute Hauptkomponentenanalyse mit einer Varimax-Rotation gerechnet, bei der von einer Unabhängigkeit der Faktoren ausgegangen wird. Diese Faktorenanalyse erbrachte vier Faktoren mit einem anfänglichen Eigenwert  $> 1$ . Auch der Scree-Test deutete auf das Vorhandensein von vier Faktoren hin, was derselben Anzahl an Faktoren entspricht, die auch von Towse und Neil (1998) extrahiert wurden. Diese Vier-Faktorenlösung erklärte 64.64% der Varianz. Die Variable Repetition-Gap-Modal wies auf keinem der Faktoren eine substantielle Ladung auf. Deswegen wurde eine erneute Faktorenanalyse ohne diesen Index gerechnet.

Bei dieser Analyse stellte es sich als sinnvoll heraus, nur drei Faktoren zu extrahieren, da der auf eine Sequenzlänge von fünf Items bezogene Phi-Index auf zwei Fak-

toren hoch lud und der vierte Faktor insgesamt nur durch drei Variablen definiert wurde. Zudem erklärte der vierte Faktor einen weitaus geringeren Anteil an Varianz als die ersten drei Faktoren. Durch die Extraktion von drei Faktoren war jeder Faktor durch eine ausreichende Anzahl von Variablen definiert. Dabei ergab sich ein Faktor, auf dem alle Phi-Indizes hoch luden. Die durch diese drei Faktoren erzielte Varianzaufklärung betrug 59.86%.

Die Deutung der jeweiligen Faktoren wurde analog zu der Studie von Towse und Neil (1998) vorgenommen. Es wurden dabei die Variablen zur Interpretation eines Faktors herangezogen, die auf diesem am höchsten luden. Der erste Faktor ließ sich als die Fähigkeit interpretieren, alle vorhandenen Antwortmöglichkeiten möglichst gleichmäßig zu verwenden. Der zweite Faktor repräsentiert hingegen die Neigung der Pbn, bevorzugt stereotype Zahlenabfolgen zu generieren. Der dritte Faktor steht aufgrund der hohen Ladungen der Phi-Indizes für die Tendenz zur Vermeidung von Wiederholungen bei kürzeren und längeren Sequenzen. Die weiteren Auswertungen wurden auf Basis dieser faktorenanalytisch ermittelten Aggregatmaße vorgenommen. In Tabelle 6 sind die Faktorladungen der einzelnen Indizes auf den drei Faktoren abgebildet.

Tabelle 6. Varimaxrotierte Mustermatrix der Hauptkomponentenanalyse über die RNG-Indizes.

Indizes	1. Faktor Gleichmäßige Antwortverteilung	2. Faktor Stereotype Zahlenabfolgen	3. Faktor Vermeidung v. Wiederholungen	$h^2$
<i>R</i>	<b>.87</b>	-.05	.17	.79
Coupon	<b>.86</b>	-.12	.04	.76
RGap Median	<b>.79</b>	.07	-.09	.64
RGap Mean	<b>.73</b>	-.06	-.03	.54
Runs	-.08	<b>.89</b>	.00	.80
<i>A</i>	-.10	<b>.82</b>	-.03	.69
TPI	-.17	<b>.75</b>	-.28	.67
RNG	.14	<b>.70</b>	.25	.58
RNG-2	<b>.37</b>	<b>.64</b>	.27	.62
Phi 2	.11	.09	<b>.79</b>	.64
Phi 3	.19	.16	<b>.72</b>	.57
Phi 4	-.08	-.07	<b>.70</b>	.50
Phi 5	-.10	.08	<b>.70</b>	.50
Phi 6	-.35	-.19	<b>.43</b>	.35
Phi 7	<b>-.43</b>	-.16	<b>.35</b>	.34
Eigenwert	3.24	3.07	2.67	
Aufgeklärte Varianz (%)	22.0	20.48	17.79	

Anmerkungen. Die fett gedruckten Werte stehen für die Zuordnung einer Variablen zu einem Faktor.  $h^2$ : Kommunalität. R: Redundanz-Index; Rgap Median/Mean: Repetition-Gap Median/Mittelwert; TPI: Turning-Point-Index; RNG: Random-Number-Generation-Index; RNG-2: Random-Number-Generation-2-Index.

*Deskriptive Daten der verwendeten Tests*

In Tabelle 7 befinden sich die deskriptiven Daten der Aufgaben zur Erfassung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität.

*Tabelle 7.* Deskriptive Daten der eingesetzten Tests zur Messung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit in Bezug auf die korrekten Antworten.

	<i>M</i>	<i>S.E.M.</i>	<i>SD</i>	Range
CRT räum. (allein)	0.92	0.01	0.05	0.78 – 1.00
CRT vis. (allein)	0.88	0.01	0.07	0.66 – 1.00
Digit-Symbol	66.33	0.96	9.35	48 – 90
ZVT-123	2.81	0.04	0.35	1.62 – 2.09
ZVT-179	31.31	0.95	9.33	7 – 57
ZVT-26z	20.82	0.82	8.05	6 – 43
KZG (räum.)	5.66	0.08	0.81	4.00 – 7.00
KZG (vis.)	5.06	0.12	1.15	3.00 – 8.00
n-back (räum.)	2.04	0.09	0.89	0.09 – 4.1
n-back (vis.)	2.21	0.09	0.91	0.56 – 4.7
AG (räum.)	3.97	0.10	0.99	3.0 – 6.94
AG (vis.)	4.80	0.13	1.23	3.0 – 8.0
CRT räum. (komb.)	0.94	0.01	0.05	0.78 – 1.00
CRT vis. (komb.)	0.84	0.01	0.08	0.60 – 0.98

*Anmerkungen.* CRT: Wahlreaktionszeitaufgabe; allein: Durchführung der CRT-Aufgabe ohne Zweitaufgabe; ZVT: Zahlen-Verbindungs-Test; KZG: Kurzzeitgedächtnisaufgabe; räum./vis.: räumliche/visuelle Aufgabenvariante; AG: Arbeitsgedächtnisaufgabe; komb.: diese CRT-Aufgabe wurde im Rahmen der jeweiligen Arbeitsgedächtnisaufgabe dargeboten. Die Mittelwerte der CRT-Aufgaben beziehen sich hier nicht auf die Reaktionszeiten, sondern auf die Anzahl korrekter Reaktionen, relativiert an der Gesamtzahl der jeweiligen Durchgänge.

In Tabelle 8 sind die mittleren Reaktionszeiten der CRT-Aufgaben bei ihrer isolierten Durchführung sowie ihrer Erfassung im Rahmen der Arbeitsgedächtnisaufgaben und der Switching-Aufgabe dargestellt.

Tabelle 8. Deskriptive Daten der CRT-Aufgaben und der Switching-Aufgabe in Bezug auf die Reaktionszeiten in ms.

	<i>M</i>	<i>S.E.M.</i>	<i>SD</i>	Range
CRT räum. (allein)	424.93	8.20	80.33	278.23 – 710.22
CRT vis. (allein)	965.73	22.30	218.45	565.43 – 1639.52
CRT räum. (komb.)	697.81	19.53	191.30	357.22 – 1284.48
CRT vis. (komb.)	1180.14	32.14	314.91	659.91 – 2190.09
CRT (auf/ab)	529.13	9.03	88.45	383.35 – 837.09
CRT (oben/unten)	440.80	9.17	89.85	290.64 – 716.82
Durchg. ohne Switch	558.79	9.67	94.71	349.16 – 815.60
Durchg. mit Switch	1258.80	30.49	298.72	588.33 – 2006.30

*Anmerkungen.* CRT (allein): Durchführung der Wahlreaktionszeitaufgabe ohne Zweitaufgabe; CRT (auf/ab) bzw. (oben/unten): CRT-Aufgaben vor Beginn der eigentlichen Switching-Aufgabe, bei der Pfeile danach beurteilt werden mussten, ob sie aufwärts oder abwärts zeigen bzw. ob sie in der oberen oder unteren Bildschirmhälfte zu sehen sind. (komb.): diese CRT-Aufgabe wurde im Rahmen der jeweiligen Arbeitsgedächtnisaufgabe dargeboten; Durchg. ohne Switch: Versuchsdurchgänge der Switching-Aufgabe, bei denen kein Wechsel zwischen den beiden CRT-Aufgaben gefordert war; Durchg. mit Switch: Versuchsdurchgänge der Switching-Aufgabe, bei der ein Wechsel zwischen den beiden CRT-Aufgaben gefordert war.

#### 4.2.1 Visuelles vs. räumliches Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis

Ein weiteres Anliegen war es zu untersuchen, inwiefern sich visuelles und räumliches Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis voneinander unterscheiden. Anhand von Mittelwertvergleichen zeigte sich wie erwartet, dass die Gedächtnisspanne beim räumlichen Kurzzeitgedächtnis höher ausfiel als beim visuellen Kurzzeitgedächtnis  $t(95) = 4.67, p < .001, \epsilon = 0.54$ . Die visuelle Arbeitsgedächtniskapazität lag hingegen über der räumlichen Arbeitsgedächtniskapazität  $t(95) = 7.42, p < .001, \epsilon = 1.10$ . Der Vergleich der Leistung bei der räumlichen und visuellen n-back-Aufgabe ergab ebenfalls, dass die Arbeitsgedächtnisleistung für die visuellen Informationen höher ausfiel als für die räumlichen  $t(95) = 2.46, p = .02, \epsilon = 0.46$ . Sowohl die räumliche als auch die visuelle Gedächtnisleistung verschlechterten sich durch die parallele Verarbeitungsanforderung der Arbeitsgedächtnisaufgabe  $t(95) = 18.69, p < .001, \epsilon = 4.04$  bzw.  $t(95) = 2.67, p < .01, \epsilon = 0.48$ .

Es sei an dieser Stelle jedoch darauf hingewiesen, dass die Reihenfolge dieser Aufgaben konstant gehalten wurde, um im Hinblick auf die Analyse der Korrelationen

nicht zusätzliche Fehlervarianz durch die Variation der Abfolge entstehen zu lassen. Dementsprechend kann nicht ausgeschlossen werden, dass aufgrund von Übungseffekten und einer möglichen verbesserten Strategieentwicklung bei den nachfolgenden Arbeitsgedächtnisaufgaben, die Unterschiede zwischen den Kurzzeitgedächtnis- und Arbeitsgedächtnisspannen geringer ausfielen als sie tatsächlich waren.

#### 4.2.2. Korrelative Analysen

Als nächster Schritt wurden die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Tests anhand von Pearson-Korrelationen bestimmt. Die entsprechende Interkorrelationsmatrix ist in Tabelle 9 dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nur die Korrelationen zwischen den Aufgaben aufgenommen, die auch für die weitere Auswertung relevant waren. Die vollständige Korrelationsmatrix befindet sich im Anhang (Anhang D und E).

Erwartungsgemäß fielen die meisten der Korrelationen signifikant positiv aus, während die wenigen negativen Korrelationen das Signifikanzniveau nicht erreichten. Der dritte Faktor der RNG-Aufgabe, der für die Vermeidung von Wiederholungen steht, zeigte keine signifikanten Zusammenhänge zu den anderen Aufgaben. Anscheinend repräsentiert er eine sehr isolierte Funktion der Zentralen Exekutive. Die ersten beiden Faktoren der RNG-Aufgabe korrelierten ebenfalls kaum mit den anderen Aufgaben, und die Höhe der drei signifikanten Korrelationen zu dem visuellen Kurzzeitgedächtnis und den beiden n-back-Aufgaben fiel relativ niedrig aus. Die Switching-Aufgabe erfasst offensichtlich ebenfalls eine bzw. mehrere exekutive Fähigkeiten, die nicht in einem Zusammenhang mit den drei Faktoren der RNG-Aufgabe stehen. Die Switching-Kosten schienen lediglich mit der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit in Form der Wahlreaktionszeitaufgabe und dem ZVT-179 assoziiert zu sein. Auch die beiden Switching-Kosten korrelierten untereinander mit  $r = .30$ . Sehr auffällig waren weiterhin die vergleichsweise hohen Korrelationen der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit mit den verschiedenen Gedächtnismaßen. Dies traf insbesondere auf die drei verschiedenen Varianten des ZVT zu. Für die Verarbeitungsgeschwindigkeit, wie sie mittels Wahlreaktionszeit gemessen wird, schien dies lediglich in einem geringeren Ausmaß zu gelten.

*Tabelle 9.* Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen den Aufgaben zur Erfassung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität, exekutiver Fähigkeiten und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.

	ZVT -123	ZVT -179	ZVT -26z	ZVT	DS	RNG 1	RNG 2	RNG 3	CRT Mean	KZG räum.	KZG vis.	AG räum.	AG vis.	Switch allg.	Switch spez.	n-back räum.	n-back vis.
ZVT-123	1																
ZVT-179	.60**	1															
ZVT-26z	.49**	.60**	1														
DS	.59**	.53**	.21*	1													
RNG 1	.07	.24*	.20	.07	1												
RNG 2	.29**	.22*	.10	.15	.00	1											
RNG 3	-.11	-.10	-.02	-.19	.00	.00	1										
CRT Mean	.25*	.29**	.32**	.34**	.18	.13	.01	1									
KZG räum.	.45**	.45**	.40**	.29**	.09	-.01	-.06	.16	1								
KZG vis.	.33**	.28**	.25*	.21*	.26*	.18	.03	.13	.23*	1							
AG räum.	.38**	.33**	.34**	.28**	.01	.04	-.16	.18	.53**	.36**	1						
AG vis.	.39**	.29**	.38**	.29**	.11	.18	-.04	.18	.32**	.68**	.53**	1					
Switch allg.	.13	.12	.06	.17	-.14	.07	-.02	.23*	.11	.00	.06	.07	1				
Switch spez.	.13	.21*	.27**	.07	.06	.03	.02	.30**	.15	-.02	.09	.00	.30**	1			
n-back räum.	.34**	.43**	.37**	.31**	.14	.20*	-.02	.18	.53**	.40**	.61**	.53**	.21*	.12	1		
n-back vis.	.41**	.36**	.35**	.34**	.07	.28**	-.07	.29**	.35**	.40**	.42**	.53**	.20	-.03	.70**	1	

*Anmerkungen.* \*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$ ; zweiseitig. ZVT: Zahlen-Verbindungs-Test; DS: Digit-Symbol-Test; RNG 1, 2, 3: Faktoren, die anhand der Faktorenanalyse über die Indizes der Random-Number-Generation-Aufgabe erhalten wurden; CRT Mean: Mittelwert der visuellen und räumlichen CRT-Aufgaben bei ihrer alleinigen Durchführung; Switch allg./spez.: allgemeine/spezifische Switching-Kosten; AG: Arbeitsgedächtnisaufgabe; KZG: Kurzzeitgedächtnisaufgabe; räum.: räumliche Aufgabenvariante; vis.: visuelle Aufgabenvariante.

Anscheinend messen die drei ZVT-Varianten und der Digit-Symbol-Test nur teilweise dasselbe Konstrukt wie die Wahlreaktionszeitaufgabe. Der Zusammenhang zwischen den verschiedenen ZVT-Varianten und der Wahlreaktionszeit war dabei durchweg als niedrig zu bezeichnen. Auch die Korrelationen der ersten beiden RNG-Faktoren mit den ZVT-Varianten zeigten, dass es einen signifikanten, wenn auch niedrigen, Zusammenhang zwischen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und exekutiven Fähigkeiten gibt.

Die hohe Korrelation von  $r = .70$  zwischen den beiden n-back-Aufgaben spricht dafür, dass beide relativ unabhängig von der zu memorierenden Itemart eine allgemeine materialunspezifische Ressource der Arbeitsgedächtniskapazität erfassen. Bei dieser Aufgabe zur Messung der Arbeitsgedächtniskapazität scheint auch die Zentrale Exekutive in Form des zweiten RNG-Faktors involviert zu sein ( $r = .28$  für die visuelle und  $r = .20$  für die räumliche Variante).

Das räumliche und das visuelle Kurzzeitgedächtnis wiesen allerdings nur vergleichsweise wenig gemeinsame Varianz auf ( $r = .23$ ), während die jeweilige Arbeitsgedächtniskapazität für visuelle und räumliche Informationen mit  $r = .53$  höher miteinander korreliert war. Dies legt die Interpretation nahe, dass das Kurzzeitgedächtnis eher domänenspezifisch organisiert ist, während die beiden Arbeitsgedächtnisaufgaben eine übergeordnete Kapazität erfassen. Auch die n-back-Aufgaben und die beiden anderen visuellen und räumlichen Arbeitsgedächtnismaße erwiesen sich als hoch miteinander korreliert ( $r = .53$  bis  $r = .61$ ). Dies deutet ebenfalls darauf hin, dass die beiden Maße eine allgemeine, unspezifische Verarbeitungsressource abbilden. Lediglich die Korrelation zwischen der visuellen n-back-Aufgabe und dem räumlichen Arbeitsgedächtnis fiel mit  $r = .42$  etwas geringer aus.

#### **4.2.3 Ergebnisse zur Faktorenstruktur der Aufgaben**

Zur näheren Analyse der den verschiedenen Aufgaben zugrunde liegenden kognitiven Dimensionen wurde eine explorative Hauptkomponentenanalyse mit einer obliquen Rotation gerechnet, in die als Variablen die drei verschiedenen Varianten des ZVT, der Digit-Symbol-Test, die gemittelten und umgepolten Reaktionszeiten der beiden CRT-Aufgaben und die visuellen und räumlichen Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnisspannen eingingen. Darüber hinaus wurden die Faktorwerte, die bei der Extrahierung der drei Faktoren der RNG-Aufgabe gewonnen wurden, die allgemeinen und spezifischen

Switching-Kosten sowie die Gedächtnisleistungen für die Lokalisationen, Objektidentitäten und die Kombination dieser beiden Informationsdimensionen, die im *Binding-Experiment* in den getrennten Blöcken explizit abgefragt wurden, miteinbezogen.

Sowohl ein MSA-Wert von .80 als auch das signifikante Ergebnis des Bartlett-Tests auf Sphärizität ( $p < .001$ ) belegten, dass auch hier die notwendigen Voraussetzungen für die Durchführung einer Faktorenanalyse gegeben waren. Nach dem Eigenwertkriterium (Gorsuch, 1983) wurden anfänglich sechs Faktoren extrahiert, die zusammen 67.47% der Gesamtvarianz erklärten. Da der Scree-Test (Anhang F) hingegen auf das Vorliegen von drei Faktoren hindeutete, wurde zusätzlich eine Drei-Faktoren-Lösung extrahiert. Wie sich nach dieser Faktorenanalyse zeigte, korrelierten zwei der Faktoren untereinander zu  $r = .50$ . Da somit davon auszugehen war, dass die resultierenden Faktoren ein beträchtliches Ausmaß an gemeinsamer Varianz aufwiesen, erschien eine erneute Hauptkomponentenanalyse mit einer obliquen Rotation als angemessen. Eine Variable wurde jeweils dem Faktor zugeordnet, auf dem sie am höchsten lädt. Die erhaltene Faktorenstruktur und die Faktorladungen sind in Tabelle 10 dargestellt.

*Tabelle 10.* Oblique rotierte Mustermatrix der Hauptkomponentenanalyse über einige der Gedächtnisleistungen im *Binding*-Experiment und den Aufgaben zur Erfassung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität, exekutiver Fähigkeiten und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.

Variablen	1. Faktor Gedächtnis	2. Faktor PS-ZE	3. Faktor ZE	$h^2$
Both (Bind., getr.)	<b>.76</b>	-.14	.11	.79
AG vis.	<b>.76</b>	-.07	.14	.72
Item (Ident., getr.)	<b>.75</b>	-.15	.07	.71
n-back räum.	<b>.74</b>	.11	-.08	.71
AG räum.	<b>.73</b>	.03	-.32	.69
n-back vis.	<b>.67</b>	.11	.14	.67
Pos. (Ort, getr.)	<b>.66</b>	.20	-.41	.69
KZG vis.	<b>.64</b>	-.13	.39	.68
KZG räum.	<b>.60</b>	.22	-.39	.62
ZVT-123	<b>.49</b>	.43	.10	.76
Switching spez.	-.21	<b>.68</b>	-.05	.68
CRT Mean	.02	<b>.62</b>	.30	.51
ZVT-179	.37	<b>.58</b>	.10	.73
Switching allg.	-.07	<b>.51</b>	-.15	.66
Digit-Symbol	.32	<b>.48</b>	.04	.67
ZVT-26z	.37	<b>.46</b>	.10	.57
RNG 1	.01	.29	<b>.56</b>	.67
RNG 2	.15	.06	<b>.44</b>	.67
RNG 3	-.05	-.15	<b>.33</b>	.63
Eigenwert	6.18	1.74	1.35	

*Anmerkungen.* Both (Bind. getr): Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen im getr. Block; AG: Arbeitsgedächtnisaufgabe; Item (Ident. getr.): Gedächtniskapazität für die Objektinformationen im getr. Block; KZG: Kurzzeitgedächtnisaufgaben; Pos. (Ort, getr.): Gedächtniskapazität für die Positionen im getr. Block; Switching spez./allg.: spezifische/allgemeine Switching-Kosten; CRT Mean: Mittelwert der Reaktionszeiten der vis. und räum. Wahlreaktionszeitaufgaben bei ihrer isolierten Durchführung; PS: Verarbeitungsgeschwindigkeit; ZE: Zentrale Exekutive; RNG 1: Faktor, der für die gleichmäßige Antwortverteilung steht.; RNG 2: Faktor, der für die Verwendung stereotyper Zahlenabfolgen steht; RNG 3: Faktor, der für die Vermeidung von Wiederholungen steht.

Der erste Faktor war gekennzeichnet durch die hohen Ladungen der Kurzzeitgedächtnis- und Arbeitsgedächtnisaufgaben sowie der im *Binding*-Experiment erfassten Gedächtnisleistungen und ließ sich folglich als einen allgemeinen Gedächtnisfaktor deuten. Eine Differenzierung zwischen räumlichem und visuellem Gedächtnis sowie zwischen den Kurzzeitgedächtnis- und Arbeitsgedächtnisaufgaben konnte durch die Faktorenanalyse nicht aufgedeckt werden, was aber aufgrund der zum Teil hohen Interkorrelationen der Gedächtnisaufgaben auch nicht unbedingt zu erwarten war. Beachtenswert war zudem der Befund, dass die ZVT-Version mit der geringsten Aufgabenkomplexität höher auf dem Gedächtnisfaktor lud als auf dem Faktor, der die Verarbeitungsgeschwindigkeit repräsentiert. Dies zeigt, dass die durch den ZVT erfasste Verarbeitungsgeschwindigkeit für die Gedächtniskapazität eine wichtige Rolle spielt.

Der zweite Faktor repräsentiert offensichtlich die Verarbeitungsgeschwindigkeit, da auf ihn die Wahlreaktionszeiten, der Digit-Symbol-Test und auch die verschiedenen ZVT-Varianten hoch luden. Allerdings lud auf diesem Faktor gleichzeitig auch die Switching-Aufgabe zur Erfassung exekutiver Fähigkeiten. Hierbei kann nicht eindeutig beurteilt werden, inwiefern es einen tatsächlichen Zusammenhang zwischen der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und diesem Aspekt exekutiver Fähigkeiten geben könnte, oder ob dieser gemeinsame Faktor durch die Erfassung der Switching-Leistung anhand von Wahlreaktionszeitaufgaben entstanden ist.

Die Zuordnung des dritten Faktors zu dem Konzept der Zentralen Exekutive ist ebenfalls relativ eindeutig, da er durch die Ladungen der drei RNG-Faktoren charakterisiert ist. Insgesamt kann festgestellt werden, dass diese Faktorenanalyse Aufschluss über die den Aufgaben zugrunde liegende Struktur gab und diesbezüglich vergleichsweise klare Ergebnisse lieferte. Bei der Bewertung der Befunde ist jedoch zu beachten, dass die Stichprobe mit  $N = 96$  für eine Faktorenanalyse relativ gering ist (vgl. Tabachnik & Fidell, 2001).

### **4.3 Zusammenhang zwischen den Gedächtnisleistungen des *Binding*-Experiments und den Aufgaben zur Erfassung exekutiver Fähigkeiten, der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität und der Verarbeitungsgeschwindigkeit**

Zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Gedächtnisleistungen, die im *Binding*-Experiment erfasst wurden, und den anderen Aufgaben wurden Pearson-Korrelationen berechnet, die in Tabelle 11 dargestellt sind. Aus Gründen der Darstellung und Übersichtlichkeit wurden nur die Versuchsbedingungen des *Binding*-Experiments aufgenommen, die von theoretischem Interesse sind und zu denen im Hinblick auf die Aufgaben signifikante oder zumindest tendenziell signifikante Zusammenhänge bestehen. Die weiteren Korrelationen befinden sich im Anhang (Anhang G und H).

Die Korrelationen zwischen den Gedächtnisleistungen des *Binding*-Experiments und den anderen Aufgaben fielen fast alle positiv aus, und die Mehrzahl von ihnen erreichte eine signifikante Höhe. Auffällig sind dabei insbesondere die über den ZVT erfassten Korrelationen der Verarbeitungsgeschwindigkeit mit den Gedächtnisleistungen für räumliche und visuelle Informationen und der Kombination beider Informationsdimensionen, während die Zusammenhänge zwischen den Wahlreaktionszeitaufgaben und den Gedächtnisaufgaben nur gering ausfielen ( $r = .02$  bis  $r = .23$ ).

Im Hinblick auf die Zentrale Exekutive lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass zwei der Faktoren, die bei der Faktorenanalyse über die RNG-Indizes erhalten wurden und für die Verwendung stereotyper Zahlenabfolgen bzw. für die Vermeidung von Wiederholungen stehen, keine signifikanten Zusammenhänge zu den Variablen des *Binding*-Experiments aufweisen. Dementsprechend wurden diese beiden Faktoren in die weitere Auswertung nicht miteinbezogen. Der erste Faktor hingegen, der die Fähigkeit zu einer gleichmäßigen Verteilung der Antworten auf alle Zahlen repräsentiert, wies positive und teilweise auch signifikante Zusammenhänge zu den drei verschiedenen Gedächtnismaßen des *Binding*-Experiments auf. In Bezug auf die zweite Aufgabe zur Erfassung der Zentralen Exekutive war festzustellen, dass die beiden Switching-Kosten nur in einem geringen Ausmaß Zusammenhänge zu den Gedächtnisaufgaben des *Binding*-Experiments aufwiesen, und lediglich zwei dieser Korrelationen erreichten eine bedeutsame Höhe. Die Korrelationen zwischen den visuellen und räumlichen Kurzzeitgedächtnis- und Arbeitsgedächtnismaßen mit den Gedächtnisleistungen des *Binding*-Experiments fielen fast durchweg positiv aus.

*Tabelle 11.* Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen den einzelnen Gedächtnisleistungen im *Binding*-Experiment und den Aufgaben zur Erfassung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität, exekutiver Fähigkeiten und der Informationsverarbeitungsge-  
schwindigkeit.

	ZVT -123	ZVT -179	ZVT -26z	DS	RNG 1	RNG 2	RNG 3	CRT Mean	KZG räum.	KZG vis.	AG räum.	AG vis.	Switch allg.	Switch spez.	n-back räum.	n-back vis
Pos. (Ort, getr.)	.44**	.47**	.38**	.36**	.07	-.07	-.12	.21*	.57**	.24*	.51**	.44**	.19	.16	.49**	.37**
Pos. (Bind., getr.)	.39**	.38**	.38**	.18	.12	.07	.04	.16	.48**	.27**	.37**	.30**	.12	.19	.40**	.22*
Item (Ident., getr.)	.43**	.29**	.30**	.25*	.18	.06	.02	.13	.30**	.36**	.35**	.42**	.03	.00	.45**	.46**
Item (Bind., getr.)	.39**	.18	.25*	.21*	.15	.07	.01	.09	.26**	.40**	.34**	.38**	.05	-.06	.38**	.44**
Both (Ident., getr.)	-.08	.12	.09	-.09	.19	-.05	.05	-.07	.25*	-.04	.12	.04	-.07	.14	.30**	.13
Both (Bind., getr.)	.46**	.31**	.29**	.25	.19	.03	.12	.18	.35**	.43**	.38**	.40**	.05	-.03	.42**	.45**
Pos. (Ort, Mix)	.39**	.46**	.33**	.33**	.13	.02	-.17	.10	.51**	.21*	.47**	.32**	.05	.22*	.40**	.26**
Pos. (Bind., Mix)	.40**	.52**	.42**	.34**	.14	.03	-.08	.23*	.58**	.27**	.52**	.40**	.14	.32**	.49**	.28**
Item (Ident., Mix)	.37**	.24*	.27**	.15	.25*	-.02	.06	.04	.33**	.45**	.30**	.38**	.03	-.02	.40**	.29**
Item (Bind., Mix)	.45**	.30**	.32**	.15	.26**	-.03	.02	.02	.23*	.35**	.35**	.30**	.01	-.06	.38**	.34**
Both (Ident., Mix)	.09	.14	.18	-.04	.14	-.01	.00	-.05	.26*	-.00	.21*	.17	-.11	.01	.25*	.12
Both (Bind., Mix)	.49**	.35**	.32**	.21*	.23*	-.08	.08	.02	.34**	.34**	.34**	.37**	.05	.02	.37**	.32**

*Anmerkungen.* \*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$ ; zweiseitig. Die erste Abkürzung der linken Spalte gibt an, um welche Gedächtnisleistung es sich handelt, die erste Abkürzung in der Klammer bezeichnet die Art der Aufgabenanforderung, während die zweite Abkürzung Auskunft darüber gibt, ob es sich um die Aufgaben im getrennten Block (getr.) oder im Mix-Block (Mix) handelt. Pos.: Positionen; Item: Figuren; Both: Gedächtnisleistung für die *Binding*-Informationen. ZVT: Zahlen-Verbindungs-Test; DS: Digit-Symbol-Test; RNG 1, 2, 3: einer der drei Faktoren, die anhand der Faktorenanalyse über die Indizes bei der Random-Number-Generation-Aufgabe erhalten wurden; CRT Mean: Mittelwert der visuellen und räumlichen CRT-Aufgaben bei ihrer alleinigen Durchführung; Switch allg./spez.: allgemeine/spezifische Switching-Kosten; KZG: Kurzzeitgedächtnisaufgabe; AG: Arbeitsgedächtnisaufgabe; räum.: räumliche Aufgabenvariante; vis.: visuelle Aufgabenvariante.

### 4.3.1 Zusammenhang zwischen exekutiven Fähigkeiten und der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen

Exekutive Fähigkeiten scheinen beim simultanen Memorieren der kombinierten Informationsdimensionen im Rahmen des *Binding*-Experiments entgegen der Erwartung keine bzw. nur eine geringe Rolle zu spielen. Da sich für die Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen im isolierten Block weder zu den drei RNG-Faktoren noch zu den Switching-Kosten eine signifikante Korrelation ergab, wurden hier keine weiteren Berechnungen durchgeführt. Im Hinblick auf die Gedächtnisleistungen für die geometrischen Figuren waren im Mix-Block allerdings signifikante, wenn auch niedrige Zusammenhänge zum RNG-Faktor zu beobachten, der die Fähigkeit zu einer gleichmäßigen Antwortverteilung in Bezug auf die verwendeten Zahlen repräsentiert ( $r = .26, p < .01$ ). Wenn allerdings aus der Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen die Gedächtnisleistung für die Objektinformationen aus dem getrennten Block herauspartialisiert wurde, lag die entsprechende Partialkorrelation bei  $r = .20, p = .06$ . Dementsprechend ist nicht davon auszugehen, dass das Memorieren von *Binding*-Informationen über die isolierte Speicherung der Objektinformationen hinaus auf exekutive Fähigkeiten zurückgreift.

Die spezifischen Switching-Kosten stehen mit der Gedächtniskapazität für die Positionen bei der *Binding*-Anforderung im Mix-Block in einem signifikanten Zusammenhang  $r = .32, p < .01$ . Auch hier wurde die Gedächtnisleistung für die Lokalisationen aus dem isolierten Block herauspartialisiert. Die entsprechende Partialkorrelation war jedoch signifikant ( $r = .30, p < .01$ ). Dieses Ergebnis weist auf einen Zusammenhang zwischen den spezifischen Switching-Kosten und der Gedächtnisleistung für die Positionen bei der *Binding*-Bedingung hin. Dies gilt allerdings nur für den Mix-Block.

### 4.3.2 Zusammenhang zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen

Wie bereits anhand der in Tabelle 10 dargestellten Korrelationen zu sehen ist, bestanden zwischen den visuellen und räumlichen Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnismaßen und der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen zahlreiche signifikante Zusammenhänge. Die entsprechenden Korrelationen lassen jedoch keine Rückschlüsse darüber zu, ob die Arbeitsgedächtniskapazität über die Kurzzeitgedächtnisleistung hinaus einen eigen-

ständigen Beitrag zu der simultanen Speicherung beider Dimensionen liefert. Dieser Aspekt wurde im Rahmen einer multiplen schrittweisen Regressionsanalyse untersucht. Dabei wurden in einem ersten Schritt zuerst die visuelle und die räumliche Kurzzeitgedächtnisspanne als Prädiktorvariablen einbezogen, um die abhängige Variable in Form der Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen vorherzusagen. Beide Prädiktoren erklärten gemeinsam 25% der Gesamtvarianz. In einem nächsten Schritt wurde eine Arbeitsgedächtnis-Variable als weiterer Prädiktor hinzugefügt, die aus den zuvor z-standardisierten und gemittelten Arbeitsgedächtnismaßen gebildet wurde. Durch das Hinzufügen dieser Variable konnte ein signifikanter Erklärungszuwachs erzielt werden ( $\Delta F = 13.19$ ,  $\Delta p = .02$ ). Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt.

*Tabelle 12.* Ergebnisse der multiplen schrittweisen Regressionsanalyse für die Vorhersage der Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen unter Einbezug der Arbeitsgedächtniskapazität.

Kriteriums- variable	Prädiktorvariablen	<u>Gesamtmodell</u>			<u>Zuwachs</u>		
		$R^2$	$F$	$p$	$\Delta R^2$	$\Delta F$	$\Delta p$
Bind. (getr.)	KZG räum. + KZG vis.	.25	15.8	< .001			
	KZG räum. + KZG vis. + AG-Variable	.30	13.19	< .001	.05	6.21	.02

*Anmerkungen.*  $\Delta R^2$ : Zuwachs in  $R^2$ ;  $\Delta F$ : Zuwachs in  $F$ ;  $\Delta p$ : Änderung in Signifikanz von  $F$ ; Bind. (getr.): Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen im getrennten Block; KZG: Kurzzeitgedächtnis; AG-Variable: Indikator für die Arbeitsgedächtniskapazität, der sich aus den z-standardisierten und gemittelten Werten der visuellen und räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgaben zusammensetzt.

### 4.3.3 Zusammenhang zwischen der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen

Die korrelativen Analysen belegten substantielle Zusammenhänge zwischen der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und den Gedächtnisleistungen beim *Binding*-Experiment. Um zu analysieren, inwiefern die Verarbeitungsgeschwindigkeit beim simultanen Memorieren beider Informationsdimensionen möglicherweise eine besondere Rolle spielt, wurde eine multiple schrittweise Regressionsanalyse gerechnet, bei der in einem ersten Schritt die isolierten Gedächtnisleistungen sowohl für die Lokalisationen als auch für die Objekte als unabhängige Variablen eingingen. In einem zweiten Schritt wurde als weitere unabhängige Variable der ZVT mit der geringsten Aufgabenkomplexität hinzugefügt. Mit dieser Vorgehensweise kann festgestellt werden, ob die Verarbeitungsgeschwindigkeit einen von den Gedächtnisleistungen für die isolierten Informationsdimensionen unabhängigen Beitrag zu der Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen liefert. Wenn als abhängige Variable die Gedächtnisleistung für das simultane Memorieren von Objekten und Lokalisationen des getrennten Blocks verwendet wurde, dann verfehlte der durch das Hinzufügen des ZVT erzielte Zuwachs an Varianzaufklärung nur knapp das Signifikanzkriterium. In Tabelle 13 befinden sich die Ergebnisse der entsprechenden Regressionsanalyse.

*Tabelle 13.* Ergebnisse der multiplen schrittweisen Regressionsanalyse für die Vorhersage der Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen unter Einbezug der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.

Kriteriums- variable	Prädiktorvariablen	<u>Gesamtmodell</u>			<u>Zuwachs</u>		
		$R^2$	$F$	$p$	$\Delta R^2$	$\Delta F$	$\Delta p$
Bind. (getr.)	Pos. + Ident. (getr.)	.53	52.35	< .001			
	Pos. + Ident. (getr.) + ZVT-123	.55	37.30	< .001	.02	3.92	.05

*Anmerkungen.*  $\Delta R^2$ : Zuwachs in  $R^2$ ;  $\Delta F$ : Zuwachs in  $F$ ;  $\Delta p$ : Änderung in Signifikanz von  $F$ ; Bind. (getr.): Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen im getrennten Block; Pos./Ident. (getr.): Gedächtniskapazität für die Lokalisationen und Objektidentitäten im getrennten Block des *Binding*-Experiments; ZVT-123: Zahlen-Verbindungs-Test mit der geringsten Aufgabenkomplexität.

#### **4.4 Zusammenhang zwischen exekutiven Fähigkeiten und der Arbeits- und Kurzzeitgedächtniskapazität**

Für die Testung der Annahme, dass sich die Arbeitsgedächtnisaufgaben von den Kurzzeitgedächtnisaufgaben in dem Ausmaß unterscheiden, in dem sie kontrollierte Aufmerksamkeit erfassen, wurden Partialkorrelationen gerechnet. Hierbei wurden aus den Arbeitsgedächtnisspannen die Kurzzeitgedächtnisspannen herauspartialisiert und Korrelationen zu den drei RNG-Faktoren und den Switching-Kosten berechnet. Diese Berechnungen wurden für die visuellen und für die räumlichen Aufgaben sowie für die n-back-Aufgaben und die beiden anderen Arbeitsgedächtnisaufgaben, die sich durch die Kombination von Kurzzeit- und CRT-Aufgaben auszeichnen, getrennt durchgeführt.

Partialisierte man aus der räumlichen n-back-Aufgabe die räumliche Kurzzeitgedächtnisleistung heraus, resultierte eine signifikante, wenn auch nicht sehr hohe Korrelation von  $r = .24$ ,  $p < .05$  mit dem zweiten RNG-Faktor. Alle anderen Korrelationen erreichten nicht das Signifikanzkriterium. Wenn die analogen Berechnungen mit der räumlichen Arbeitsgedächtnisaufgabe, bei der parallel zu der Dot-span-Aufgabe die räumliche CRT-Aufgabe zu bearbeiten war, wiederholt wurden, dann ergaben sich keine signifikanten Korrelationen. Bei Konstanthaltung des visuellen Kurzzeitgedächtnisses erreichte die Korrelation der visuellen n-back-Aufgaben mit dem zweiten RNG-Faktor ebenfalls eine signifikante Höhe von  $r = .23$ ,  $p < .05$ . Eine weitere niedrige, aber dennoch signifikante Korrelation von  $r = .22$ ,  $p < .05$  verblieb zwischen der visuellen n-back-Aufgabe und den allgemeinen Switching-Kosten, während die Zusammenhänge zu den anderen Aufgaben nicht mehr signifikant ausfielen. Bei der zweiten visuellen Arbeitsgedächtnisaufgabe konnten nach einer Herauspartialisierung des visuellen Kurzzeitgedächtnisses keine signifikanten Korrelationen zu den exekutiven Fähigkeiten mehr nachgewiesen werden.

## 5. Diskussion

Im Folgenden wird zunächst auf die Ergebnisse im Hinblick auf die unterschiedlichen Gedächtniskapazitäten für Lokalisations- und Objektinformationen sowie der Gedächtnisleistung für die Kombination dieser beiden Informationsdimensionen näher eingegangen und ihre möglichen Ursachen diskutiert. Daran schließt sich eine Beurteilung der möglichen Einflüsse exekutiver Fähigkeiten, der Arbeitsgedächtniskapazität und der Verarbeitungsgeschwindigkeit auf die Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen an. Weiterhin werden Überlegungen dazu angestellt, inwiefern sich das *Binding* von Lokalisationen und Objekten in das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (2000) integrieren lässt. Eine nähere Darstellung der Zusammenhänge zwischen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität sowie exekutiver Fähigkeiten erfolgt als Abschluss dieser Diskussion.

### 5.1 Gedächtniskapazität für die Lokalisationen und Objekte sowie für die Kombination beider Informationsdimensionen

#### *Gedächtniskapazität für die Lokalisationen und Objektinformationen*

Im *Binding*-Experiment mussten zum einen die Lokalisationen der Items rekonstruiert oder zum anderen die korrekten geometrischen Figuren memoriert werden. In der *Binding*-Bedingung war es erforderlich, diese Objekte zusätzlich wieder ihren ursprünglichen Lokalisationen korrekt zuzuordnen. Es zeigte sich erwartungsgemäß eine sehr gute Gedächtnisleistung für die räumlichen Positionen, während die Gedächtniskapazität für die geometrischen Figuren wesentlich niedriger ausfiel (Postma & De Haan, 1996; Simons, 1996). Die räumlichen Informationen scheinen bei der Anforderung, sie isoliert zu speichern, fast mühelos enkodiert und memoriert zu werden, so dass auch bei der Darbietung von sieben Items als maximale Setgröße nur ein geringer Leistungsabfall zu beobachten ist. Es ist anzunehmen, dass die Lokalisationen in der Matrix nicht als vereinzelte Punkte, sondern eher in Form einer globalen räumlichen Konfiguration memoriert werden. Auch Chunking-Prozesse, bei denen benachbarte Lokalisationen in der Matrix zusammen in größeren Einheiten gruppiert werden, können trotz einer sorgfältigen Vorbereitung des Versuchsmaterials nicht ausgeschlossen werden. Wie auch die meisten Pbn bei der Befragung im Anschluss an das Experiment betonten, wurde beim alleinigen Memorieren der Positionen kaum auf die individuellen Items geachtet.

Somit kann man davon ausgehen, dass bei dieser Aufgabe auch keine automatische Enkodierung der Objektinformationen stattgefunden hat. Diese Interpretation ist konsistent mit der Annahme, dass Lokalisationen ohne die entsprechenden Objektinformationen enkodiert und memoriert werden (vgl. Lamy & Tsal, 2001).

Die Gedächtnisleistung für die geometrischen Figuren lag im *Binding*-Experiment bei durchschnittlich 3.8 Items, wenn die dargebotene Setgröße aus sieben Items bestand. Diese Schätzung der Kapazitätsgrenze des visuellen Kurzzeitgedächtnisses steht im Einklang mit den Angaben von Luck und Vogel (1997). Die geometrischen Figuren wurden, wie die Pbn nach dem Experiment berichteten, teilweise auch anhand ihrer verbalen Bezeichnungen memoriert, so dass aller Wahrscheinlichkeit nach eine Mitbeteiligung der Phonologischen Schleife an dem Memorierungsprozess vorliegt.

#### *Gedächtniskapazität für die Binding-Informationen*

Die Gedächtnisleistung im Hinblick auf die *Binding*-Informationen fiel vergleichsweise niedrig aus. Dieses Ergebnis spricht deutlich dafür, dass eine spezifische Schwierigkeit besteht, Objekte und ihre Lokalisationen als integrierte Einheit zu memorieren. Für die Speicherung der Kombination beider Informationsdimensionen wird demzufolge mehr Kapazität als beim isolierten Memorieren der einzelnen Informationsdimensionen benötigt. Dementsprechend lässt sich das simultane Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen nicht als einen automatischen, mühelosen Prozess charakterisieren.

Besonders interessant an diesem Ergebnis ist die Tatsache, dass die durch eine *Binding*-Aufgabe erhöhte Gedächtnisanforderung sich offensichtlich nicht zu Lasten der Kapazität für die verwendeten geometrischen Figuren auswirkt, sondern speziell das Gedächtnis für die Positionen sowie die korrekte Zuordnung der Figuren zu ihren ursprünglichen Lokalisationen betrifft. Diese Verschlechterung der Gedächtnisleistung für die Lokalisationen bei einer *Binding*-Anforderung wurde auch in einer vorhergehenden Untersuchung gefunden (Yan & Petras, in Vorb.). Die unterschiedliche Kapazität für die jeweiligen Informationsdimensionen und ihre differentielle Beeinträchtigung durch die Aufgabenanforderung, die jeweils andere Dimension zusätzlich zu memorieren, zeigt, dass das visuelle Gedächtnis für Objektinformationen und das räumliche Gedächtnis für Lokalisationen zwei getrennte Systeme im Arbeitsgedächtnis darstellen müssen (Hartley et al., 2001). Diese Asymmetrie in Bezug auf die Gedächtniskapazität steht

auch im Einklang mit der angenommenen Trennung zwischen dem ventralen und dorsalen Pfad der Informationsverarbeitung (Ungerleider & Mishkin, 1982).

Die Ursache für die einseitige Verschlechterung der Gedächtnisleistung von räumlichen Informationen bei simultaner Speicherung der jeweiligen Objekte ist allerdings nicht eindeutig. Es gibt mehrere Faktoren, die für diesen Einfluss auf die Gedächtnisleistung verantwortlich sein können und die sich in dem vorliegenden Experiment nicht völlig voneinander trennen lassen. Zudem schließen sich die verschiedenen Interpretationen nicht wechselseitig aus.

Ein möglicher Erklärungsansatz, der durch empirische Befunde gestützt wird, betont die Rolle der räumlichen Aufmerksamkeit. Wie von Awh et al. (1998) gezeigt wurde, dient selektive räumliche Aufmerksamkeit als Rehearsalmechanismus für das räumliche Arbeitsgedächtnis, und es ist davon auszugehen, dass diese räumliche Aufmerksamkeit limitiert ist (siehe auch Awh, Anllo-Vento & Hillyard, 2000). Fokussierte räumliche Aufmerksamkeit ist ebenfalls unerlässlich für das *Binding* der Objekte mit ihren jeweiligen Positionen, und auch für die Aufrechterhaltung dieser Verbindungen wird Aufmerksamkeit benötigt (Treisman, 1998; Wheeler & Treisman, 2002). Wird jedoch diese räumliche Aufmerksamkeit durch das *Binding* abgezogen, ist auch die Aufmerksamkeit für das Memorieren der einzelnen Lokalisationen reduziert. Das vorliegende Ergebnis kann demzufolge auch als eine weitere Bestätigung für die von Treisman vertretene Feature-Integration-Theorie angesehen werden.

Eine schlechtere Gedächtniskapazität für die Lokalisationen bei einer *Binding*-Anforderung in Verbindung mit einer unveränderten Gedächtnisleistung für die Objektinformationen wurde ebenfalls von Finke, Bublak, Neugebauer und Zihl (2005) berichtet. Das *Binding* von Figuren und Positionen wurde bei ihren Experimenten mit einer Variante des Sternberg-Paradigmas untersucht. Von Finke et al. (2005) wird eine weitere mögliche Ursache für die offensichtliche Asymmetrie zwischen dem visuellen und räumlichen Gedächtnis diskutiert, die ebenfalls in einem engen Zusammenhang mit der so eben diskutierten Rolle der Aufmerksamkeit beim Rehearsalprozess der räumlichen Lokalisationen steht. Da auch für das *Binding* der verschiedenen Formen, aus denen sich einige der geometrischen Figuren zusammensetzen, fokussierte räumliche Aufmerksamkeit benötigt wird, ist die Menge an räumlicher Aufmerksamkeit für das simultane Memorieren der räumlichen Lokalisationen verringert. Dieser Faktor könnte in dem vorliegenden Experiment zusätzlich eine Rolle gespielt haben. Eine eindeutige Überprüfung dieser Hypothese ist jedoch nur bei einer Untersuchung der simultanen

Speicherung von Farb- und Lokalisationsinformationen möglich, bei der keine räumliche Aufmerksamkeit für das *Binding* intramodaler Features benötigt wird.

Die Ergebnisse des *Binding*-Experiments im Hinblick auf die schlechtere Gedächtniskapazität für räumliche Informationen stehen ebenfalls in einem Gegensatz zu der Annahme von Luck und Vogel (1997), die von einer integrierten Speicherung der Features eines Objekts ausgehen (siehe 2.1). Das zusätzliche Memorieren der Positionen stellt offensichtlich eine andere Anforderung dar als die integrierte Speicherung verschiedener Objektinformationen und kann deswegen nicht ohne weiteres mit Experimenten verglichen werden, bei denen das *Binding* verschiedener objektspezifischer Features untersucht wird (vgl. Finke et al., 2005).

Eine weitere mögliche Ursache für die schlechtere Gedächtniskapazität hinsichtlich der Positionen in der *Binding*-Bedingung im Vergleich zur isolierten Speicherung der Positionen betrifft den Vorgang der Enkodierung der räumlichen Positionen. Wenn in der *Binding*-Bedingung zusätzlich die Objektinformationen gespeichert werden, muss die Aufmerksamkeit auf die einzelnen Figuren fokussiert werden, um sie zusammen mit ihren individuellen Lokalisationen zu enkodieren. Dementsprechend werden das Erfassen und die Speicherung der Positionen in einer globalen räumlichen Konfiguration erschwert, die wahrscheinlich für die gute Gedächtnisleistung in der reinen Lokalisationsbedingung mitverantwortlich sind. Ein Hinweis auf diesen Einflussfaktor kann zudem aus den Mittelwertunterschieden in Bezug auf die reine Reproduktionsleistung für die Lokalisationen zwischen dem isolierten Block und dem Mix-Block abgeleitet werden. Während die Gedächtnisleistung für die Positionen in der Lokalisationsbedingung im isolierten Block höher ist als im Mix-Block, fällt dieser Unterschied zwischen dem Mix-Block und dem isolierten Block in der *Binding*-Bedingung nicht signifikant aus. Dies zeigt, dass das zusätzliche Enkodieren der Objekte allgemein zu einer schlechteren Erinnerungsleistung für die Positionen führt. Die erschwerte Enkodierung einer globalen räumlichen Konfiguration in der *Binding*-Bedingung spielt aber wahrscheinlich für die schlechte Gedächtnisleistung hinsichtlich der räumlichen Lokalisationen eher eine untergeordnete Rolle.

*Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der zu memorierenden Informationsdimension*

Die Reaktionszeiten für die räumlichen Lokalisationsinformationen fielen am niedrigsten aus, während am meisten Zeit für die Reaktion auf die Objektinformationen benötigt wurde. Da das alleinige Memorieren der räumlichen Lokalisierungen eine relativ einfache Aufgabe darstellt, ist hier eine kurze Reaktionszeit erwartungskonform. Die Ursache für die längere Reaktionszeit bei dem alleinigen Memorieren der geometrischen Figuren im Vergleich zu der *Binding*-Bedingung ist allerdings nicht ohne weiteres ersichtlich. Es wäre theoretisch zu erwarten, dass die Enkodierung und die simultane Speicherung beider Informationsdimensionen mehr Zeit benötigt als das alleinige Memorieren der Objektinformationen. Dieser Befund steht auch in einem Gegensatz zu bisherigen Experimenten (z. B. Burglen et al., 2004; Lorsbach & Reimer, 2005), wobei diese Diskrepanz allerdings mit hoher Wahrscheinlichkeit durch das unterschiedliche methodische Vorgehen zu erklären ist. Da in den zitierten Studien die jeweiligen Gedächtniskapazitäten mit Hilfe des Single-Probe-Paradigmas bestimmt wurden, weist hier die höhere Reaktionszeit für die Bewertung eines Items, das sich durch die Kombination zweier Features auszeichnet, auf die besondere Komplexität der Anforderung hin. Der Vergleichsprozess des dargebotenen *Binding*-Items mit der gespeicherten Gedächtnisrepräsentation dauert länger als bei Objekten, die nur im Hinblick auf eine Informationsdimension zu beurteilen sind.

Da aber im vorliegenden Experiment die Reproduktion der Items gefordert war, bedeutet hier die kürzere Reaktionszeit für die *Binding*-Informationen, dass die Pbn schneller bereit sind, mit dem Abruf der Informationen zu beginnen. Beim simultanen Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen findet ein Rehearsalprozess statt, bei dem aller Wahrscheinlichkeit nach räumliche Aufmerksamkeit beteiligt ist und der anscheinend nicht über einen langen Zeitraum hinweg mühelos aufrechterhalten werden kann. Da das zusätzliche Speichern der jeweiligen Verbindungen offensichtlich auch anfällig für Interferenzen ist, wäre es hier von Vorteil, möglichst schnell mit dem Abruf der gespeicherten Informationen und der Reproduktion der Items zu beginnen. Ein längeres Memorieren der geometrischen Figuren ohne ihre räumlichen Lokalisierungen führt zwar nicht zu einer höheren Gedächtnisleistung, aber anscheinend sind diese Objektinformationen nicht so anfällig für einen Zerfall ihrer Gedächtnisspuren. Dementsprechend könnten die Pbn nicht die Notwendigkeit einer schnellen Reproduktion der Antwort empfunden haben, da diese nicht in Verbindung mit einer höheren Gedächtnisleistung stand. Ein Vergleich der hier erhaltenen Reaktionszeiten mit anderen

Experimenten, bei denen ebenfalls eine Reproduktion der Items gefordert wurde, ist leider nicht möglich, da bei diesen Studien keine Reaktionszeiten erfasst wurden (z. B. Postma & De Haan, 1996).

#### *Maintenance-Load-Hypothese*

Um zu untersuchen, inwiefern die niedrige Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen aufgrund der höheren Anzahl zu memorierender Informationen resultiert, wurde eine Versuchsbedingung, der sog. Mix-Block, eingeführt. Die Aufgabe bestand bei ihm darin, die Objekt- und Lokalisationsinformationen in einer integrierten Form zu speichern, wobei erst unmittelbar vor der Reproduktion die jeweils geforderte Informationsdimension mit Hilfe eines akustischen Hinweisreizes mitgeteilt wurde. Die Gedächtnisleistungen für die Informationsdimensionen in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenanforderung zeigten im Mix-Block dasselbe Muster wie in den getrennten Blöcken. Die Gedächtnisleistung für die Objektinformationen wurde durch die Reproduktion der *Binding*-Leistung nicht weiter beeinträchtigt, während sich bei den Positionen durch das Memorieren und Reproduzieren beider Informationsdimensionen die diesbezügliche Gedächtniskapazität verschlechterte. Dies zeigt, dass im Hinblick auf das Memorieren der *Binding*-Informationen im Mix-Block dieselben Gedächtnisprozesse wie in den getrennten Blöcken ablaufen. Die Asymmetrie zwischen der Kapazität des visuellen und räumlichen Kurzzeitgedächtnisses bleibt unabhängig von der erhöhten Gedächtnisbelastung erhalten.

Im Gegensatz dazu fiel die Gedächtniskapazität für die einzelnen Informationsdimensionen im Mix-Block niedriger als in den getrennten Blöcken aus. Dementsprechend scheint z. B. das Memorieren der Objekte und Lokalisationen in einer integrierten Form die Gedächtnisleistung für die räumlichen Lokalisationen zu verschlechtern. Dieser Einfluss lässt sich über die gleichen Faktoren wie in den getrennten Blöcken erklären. Die schlechtere Gedächtnisleistung für die Positionen ist ebenfalls vereinbar mit der Annahme, dass die Speicherung einer globalen räumlichen Konfiguration die Gedächtnisleistung für die räumlichen Lokalisationen beeinträchtigt, was bei einer *Binding*-Anforderung teilweise verhindert wird. Auch das Memorieren der *Binding*-Informationen könnte über den Mechanismus der räumlichen Aufmerksamkeit die Gedächtnisleistung für die Lokalisationen verschlechtern haben. Weiterhin ist die Gedächtniskapazität für die Positionen in der *Binding*-Bedingung im Mix-Block niedriger als bei ihrer isolierten Reproduktion im Mix-Block. Dies weist darauf hin, dass die Zuordnung der

Figuren zu ihren jeweiligen Lokalisationen auch beim Abruf und bei der Antwortwiedergabe weiterhin räumliche Aufmerksamkeit benötigt und demzufolge die Gedächtnisleistung für die Lokalisationen beeinträchtigt wird.

Die schlechtere Gedächtnisleistung für die geometrischen Figuren lässt sich allerdings nur schwer nachvollziehen. Sie ist sowohl bei ihrer isolierten Reproduktion als auch bei der *Binding*-Anforderung im Mix-Block niedriger als im getrennten Block. Während die schlechtere Gedächtniskapazität bei der isolierten Reproduktion im Mix-Block zwar kompatibel mit der Maintenance-Load-Hypothese wäre, kann dies nicht auf die *Binding*-Bedingung übertragen werden. Da insbesondere die Speicherung der räumlichen Lokalisationsinformationen und nicht die der Objektinformationen bei einer *Binding*-Anforderung in Mitleidenschaft gezogen wird, fällt hier eine Interpretation schwer.

Die schlechtere Gedächtnisleistung für die *Binding*-Informationen im Mix-Block im Vergleich zu der analogen Aufgabe im getrennten Block ist ebenfalls ein Ergebnis, das Fragen aufwirft, da die Gedächtniskapazität in beiden Bedingungen identisch sein müsste. Eine mögliche Ursache dafür könnte in der Verwendung des auditiven Hinweisreizes liegen. Aufgrund der zusätzlichen Verarbeitungsanforderung durch den Hinweisreize könnte es zu einer Verzögerung bei der Antwortwiedergabe gekommen sein. Die generell höheren Reaktionszeiten im Mix-Block geben ebenfalls Anlass zu der Vermutung. Dieser Faktor könnte auch die Reproduktionsleistung der beiden isolierten Dimensionen beeinflusst haben.

## 5.2 Beteiligung der Zentralen Exekutive beim *Binding*-Prozess

Bei der RNG-Aufgabe, die zur Erfassung der Zentralen Exekutive eingesetzt wurde, mussten in einer hohen Geschwindigkeit Zahlen von 1 bis 9 so genannt werden, dass der Aufbau der daraus resultierenden Zahlenreihe dem Zufallsprinzip entspricht. Die allgemein niedrigen und überwiegend nicht signifikanten Korrelationen der RNG-Aufgabe mit den Gedächtnisaufgaben zeigen, dass man nicht von einem bedeutsamen Einfluss der bei dieser Aufgabe erfassten exekutiven Fähigkeiten auf die Gedächtnisleistung ausgehen kann (siehe Tab. 11). Es existiert zwar eine Korrelation zwischen der Gedächtnisleistung für die Objektinformationen in der *Binding*-Bedingung und dem zweiten RNG-Faktor, der für die Tendenz zur Verwendung stereotyper Zahlenabfolgen

steht, doch wenn man die Gedächtnisleistung für die Objekte im isolierten Block herauspartialisiert, ist der verbleibende Zusammenhang niedrig und nicht mehr signifikant.

Die Switching-Aufgabe als zweite Aufgabe zur Erfassung exekutiver Fähigkeiten sah vor, bei einem Hinweisreiz zwischen zwei verschiedenen Beurteilungskriterien, die auf dasselbe Itemmaterial angewendet werden mussten, zu wechseln. Basierend auf den Reaktionszeiten dieser Aufgabe wurden dann die allgemeinen und spezifischen Switching-Kosten berechnet. Bei den spezifischen Switching-Kosten ergab sich lediglich ein Zusammenhang zu der Anzahl korrekt reproduzierter Positionen im Mixblock, der sich aber nicht auf die *Binding*-Leistung auswirkte. Dementsprechend scheint es auch hier keinen Zusammenhang zwischen der exekutiven Fähigkeit, die beim Switching involviert ist, und der Gedächtniskapazität für das simultane Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen zu geben.

Eine Beteiligung der Zentralen Exekutive am *Binding*-Prozess kann allerdings aufgrund des korrelationsanalytischen Vorgehens nicht vollständig ausgeschlossen werden. Der Nachweis eines Einflusses exekutiver Fähigkeiten auf die Gedächtnisleistung für *Binding*-Informationen könnte unter Umständen mit anderen als den hier verwendeten Aufgaben gelingen. Allerdings erscheint diese Möglichkeit als nicht sehr wahrscheinlich, da insbesondere bei der RNG-Aufgabe gut belegt ist, dass sie multiple exekutive Funktionen erfasst (Miyake et al., 2000). Es wäre dementsprechend überraschend, wenn zwischen einer anderen exekutiven Aufgabe und der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen eine hohe Korrelation existieren würde. Somit deuten die vorliegenden Ergebnisse vielmehr darauf hin, dass die klassischen Aufgaben für die Zentrale Exekutive wahrscheinlich nicht dazu geeignet sind, die durch exekutive Funktionen vermittelten Prozesse beim simultanen Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen zu erfassen.

Die nicht signifikanten Korrelationen zwischen der RNG-Aufgabe und der Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen stehen in einem Gegensatz zu den Ergebnissen der Studie von Martein et al. (1999). Die dort verwendete Random-Interval-Generation-Aufgabe als eine Interferenzaufgabe für die Zentrale Exekutive wirkte sich am stärksten auf das simultane Memorieren zweier Informationsdimensionen aus. Die Diskrepanz zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit könnte allerdings im Hinblick auf das unterschiedliche methodische Vorgehen zu erklären sein. Es ist möglich, dass bestimmte exekutive Aufgaben erst in Verbindung mit einer zweiten Aufgabe in einem

ausreichenden Ausmaß die Zentrale Exekutive beanspruchen, was auch bei Engle et al. (1999) diskutiert wird.

### **5.3 Zusammenhang zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen**

Wie die regressionsanalytische Auswertung erkennen lässt, stellt das simultane Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen eine komplexe Arbeitsgedächtnisaufgabe dar (siehe Tab. 12). Neben der reinen Kurzzeitgedächtniskapazität für visuelle und räumliche Informationen übt darüber hinaus die individuelle Arbeitsgedächtniskapazität einen Einfluss auf die Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen aus, wodurch diese anfangs aufgestellte Hypothese bestätigt wird. Dieser Befund untermauert auch die Ergebnisse von Oberauer (2005), der ebenfalls einen Zusammenhang zwischen der individuellen Arbeitsgedächtniskapazität und der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen belegen konnte.

Da die besondere Anforderung bei der Speicherung der *Binding*-Informationen offensichtlich darin besteht, sowohl die korrekten Lokalisationen als auch die jeweilige Verbindung zwischen den Objekten und den Positionen zu memorieren, muss durch die Arbeitsgedächtniskapazität eine kognitive Ressource erfasst werden, die bei diesen Speicherprozessen eine wichtige Rolle spielt. Arbeitsgedächtnisaufgaben zeichnen sich dadurch aus, dass sie zusätzlich zu der domänenspezifischen Kurzzeitgedächtniskapazität auch die Fähigkeit zur Verwendung kontrollierter Aufmerksamkeit messen (Engle, 2002). Daher lässt sich dieser Zusammenhang über die Aufmerksamkeit, die für das simultane Memorieren beider Dimensionen benötigt wird, herstellen. Beim Memorieren der *Binding*-Informationen besteht, wie bereits im Abschnitt 3.3.4 näher dargelegt wurde, ein höheres Ausmaß an Interferenz im Vergleich zu der alleinigen Speicherung der Informationsdimensionen. Die Speicherung der Zuordnung der Objekte zu ihren ursprünglichen Positionen wird offensichtlich aufgrund des gleichzeitigen Vorhandenseins verschiedener gespeicherter Lokalisationen, denen das Objekt theoretisch auch zugeordnet werden könnte, erschwert. Bei der Memorierung der korrekten Verbindung kann somit kontrollierte Aufmerksamkeit hilfreich sein.

Diese Form der kontrollierten Aufmerksamkeit, die anscheinend beim simultanen Memorieren beider Informationsdimensionen eine Rolle spielt, wird offensichtlich auch nicht durch die exekutiven Fähigkeiten, die bei der Ausführung der RNG- und der

Switching-Aufgabe benötigt werden, erfasst. Der Einfluss der Arbeitsgedächtniskapazität deutet somit daraufhin, dass exekutive Funktionen die für das *Binding* notwendigen Aufmerksamkeitsprozesse steuern, diese jedoch nicht oder nur sehr schwer durch die bekannten Aufgaben für die Zentrale Exekutive gemessen werden können. Eine wichtige Fragestellung im Zusammenhang mit der integrierten Speicherung beider Informationsdimensionen bezieht sich auf die Form der Aufmerksamkeit, die hierbei benötigt wird. Im Allgemeinen besteht Konsens darüber, dass beim Rehearsalprozess räumliche Aufmerksamkeit in Bezug auf die jeweiligen Verbindungen zwischen den Figuren und ihren Positionen benötigt wird. Allerdings wird auch in jüngeren theoretischen Ansätzen nicht eindeutig definiert oder näher dargelegt, ob es sich bei dieser räumlichen Aufmerksamkeit und der kontrollierten Aufmerksamkeit nach Engle (2002) um dasselbe Konstrukt handelt.

Die vorliegende Untersuchung zeigt also, dass das simultane Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen eine komplexe Arbeitsgedächtnisanforderung darstellt. Weitere Forschung sollte im Zuge einer Validierung dieser Aufgabe der Frage nachgehen, inwiefern eine Gedächtnisaufgabe, die eine *Binding*-Anforderung beinhaltet, mit anderen Arbeitsgedächtnisaufgaben, bei denen z. B. numerisches oder verbales Itemmaterial Verwendung findet, zusammenhängt.

#### **5.4 Der Einfluss der individuellen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit auf das simultane Memorieren von *Binding*-Informationen**

Die Verarbeitungsgeschwindigkeit, die mit Hilfe des ZVT erfasst wurde, leistete über die Gedächtnisleistung für die isolierten Informationsdimensionen hinaus einen Erklärungszuwachs im Hinblick auf die Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen, wobei das Signifikanzkriterium nur ganz knapp verfehlt wurde (siehe Tab. 13). Somit kann man davon ausgehen, dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit einen Einfluss auf das simultane Memorieren der beiden Informationsdimensionen ausübt.

Dieses Ergebnis ist besonders interessant, da die Rolle der Verarbeitungsgeschwindigkeit in bisherigen Untersuchungen zum *Binding* völlig vernachlässigt wurde. In Studien, die sich mit den Ursachen für die speziellen *Binding*-Defizite bei besonderen Probandengruppen wie z. B. älteren Menschen beschäftigt haben, wurde lediglich auf die möglichen Veränderungen neuroanatomischer Strukturen abgezielt (Mitchell, Johnson, Raye, Mather, et al., 2000). Da es inzwischen eine umfangreiche Forschungsbasis

zu dem Einfluss der Verarbeitungsgeschwindigkeit auf die Gedächtniskapazität im Alter gibt (Hertzog, Dixon, Hultsch & MacDonald, 2003; Lindenberger, Mayr & Kliegl, 1993), sollte dieser Aspekt insbesondere bei Untersuchungen zum *Binding* im Alter unbedingt Berücksichtigung finden.

Spezielle Erklärungsansätze für einen möglichen Zusammenhang zwischen der Verarbeitungsgeschwindigkeit und der Gedächtnisleistung für *Binding*-Informationen wurden bisher nicht formuliert. Somit sind die hier dargelegten Überlegungen auch nicht empirisch abgesichert. Es ist denkbar, dass sich die individuelle Verarbeitungsgeschwindigkeit entweder allgemein auf die Speicherung dieser Informationen auswirkt oder aber insbesondere differentiell bestimmte Prozesse beim *Binding* beeinflusst. Im Hinblick auf den anfänglich bereits dargestellten Mechanismus der begrenzten Zeit lässt sich z. B. vermuten, dass der Rehearsalprozess in Bezug auf die Verbindungen zwischen den Objektinformationen und ihren jeweiligen Lokalisationen erst mit einer Zeitverzögerung beginnen kann, da zunächst alle dargebotenen Informationen vollständig enkodiert werden müssen. Bereits enkodierte Informationen wie z. B. die Lokalisationen könnten dem Simultanitätsmechanismus (vgl. 2.5) zufolge hingegen schneller wieder vergessen werden, da z. B. der entsprechende Rehearsalprozess nicht in einer ausreichenden Geschwindigkeit abläuft. Unter experimentellen Gesichtspunkten würden sich diese Aspekte allerdings kaum voneinander trennen lassen. Die Auswirkung der individuellen Verarbeitungsgeschwindigkeit auf das Memorieren von *Binding*-Informationen scheint allerdings auch von der jeweiligen Konzeption und Operationalisierung der Verarbeitungsgeschwindigkeit abzuhängen. Dafür spricht zumindest auch die nicht signifikante Korrelation zwischen der Wahlreaktionszeit und der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen. Zudem sollte in Anbetracht der in der vorliegenden experimentellen Untersuchung relativ geringen Bedeutung der Verarbeitungsgeschwindigkeit noch durch weitere Experimente abgesichert werden, in welchem Ausmaß die Verarbeitungsgeschwindigkeit einen Einfluss auf den Memorierungsprozess von *Binding*-Informationen ausübt, der über ihre offensichtliche Beteiligung an der Speicherung der isolierten Informationsdimensionen hinausgeht.

### 5.5 Integration des *Binding* in das Working-Memory-Modell

Eine Integration der bei dieser Untersuchung erhaltenen Ergebnisse in das erweiterte Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (2000) fällt insbesondere im Hinblick auf das simultane Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen schwerer als erwartet. Zwar konnte zum einen die Fraktionierung des Sketchpads in zwei getrennte Speichersysteme für räumliche Lokalisations- bzw. für visuelle Objektidentitätsinformationen bestätigt werden. Die postulierte Rolle der Zentralen Exekutive bei der Integration und dem simultanen Memorieren von Informationen aus verschiedenen Dimensionen ließ sich aber zumindest mit den hier verwendeten Methoden nicht belegen. Es ist jedoch denkbar, dass exekutive Funktionen wie z. B. die Verteilung und Kontrolle von Aufmerksamkeit bei der simultanen Speicherung involviert sind und dieser Einfluss mit Hilfe von anderen als den hier verwendeten Methoden möglicherweise nachgewiesen werden kann. Auf diese Annahme deutet auch der Einfluss der individuellen Arbeitsgedächtniskapazität auf die Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen hin.

Im Hinblick auf die postulierte Existenz eines Episodic Buffer stellt sich die Frage, inwiefern die räumlichen Lokalisationen und visuellen Objektinformationen in einen gemeinsamen Code zusammen in diesem Buffer gespeichert werden. In Anbetracht der unterschiedlichen Gedächtnisleistung für die Lokalisationen bei der *Binding*-Anforderung und für die Figuren erscheint dies jedoch eher unwahrscheinlich. Wenn die visuellen und räumlichen Informationen in einer integrierten Form vorliegen würden, müssten demzufolge auch die Objekte wieder problemlos den Positionen zugeordnet werden können. Da aber das Defizit u. a. darin besteht, die geometrischen Figuren korrekt den jeweiligen Positionen zuzuordnen, ist vielmehr anzunehmen, dass sich die verschiedenen Informationsdimensionen getrennt voneinander in dimensionsspezifischen Speichern befinden und räumliche Aufmerksamkeit zur Aufrechterhaltung der Informationen über die jeweiligen Verbindungen zwischen den beiden Informationsdimensionen erforderlich ist.

Dementsprechend erscheint es bei der vorliegenden Aufgabenanforderung wahrscheinlicher, dass die räumlichen und visuellen Informationen im Sketchpad verbleiben, und räumliche Aufmerksamkeit, die möglicherweise von der Zentralen Exekutive gesteuert wird, als ständiger Rehearsalmechanismus für das Memorieren der Verbindungen benötigt wird. Zu beachten ist allerdings ebenfalls, dass die vorliegenden Ergebnisse nur für das simultane Memorieren von Objekt- und Lokalisationsinformationen Gül-

tigkeit haben und nicht ohne weiteres auf das *Binding* von verschiedenen Features übertragen werden können. Wie die Experimente von Luck und Vogel (1997) zeigen, werden die verschiedenen Features möglicherweise eher in einer integrierten Form gespeichert als beim *Binding* von Objekten und Positionen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung widersprechen auch den Schlussfolgerungen von Zimmer et al. (2003), die von einer simultanen Speicherung der visuellen und räumlichen Informationen im Episodic Buffer ausgehen. In ihrem Experiment wurden jedoch lediglich die Auswirkungen einer visuellen sowie einer weiteren räumlichen Interferenzaufgabe auf die Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen untersucht. Dabei erfolgte jedoch keine differentielle Auswertung im Hinblick auf die Gedächtnisleistung für die isolierten Informationsdimensionen, und es lag auch keine Bedingung vor, bei der die Auswirkung der Interferenzaufgaben auf die Speicherung der isolierten Informationsdimensionen untersucht wurde. Sowohl ihre Annahme, dass der Zugang zu den jeweiligen räumlichen Lokalisationsinformationen automatisch durch den Abruf der Objektinformationen aus dem Episodic Buffer erlangt wird als auch die Vermutung, dass keine Rehearsalprozesse bei der simultanen Memorierung von *Binding*-Informationen stattfinden müssen, wurden durch das vorliegende Experiment widerlegt.

### **5.6 Zusammenhänge zwischen Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis, exekutiven Fähigkeiten und Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit**

In der Hauptkomponentenanalyse über die verschiedenen Aufgaben des Versuchs ergaben sich drei Faktoren, von denen sich der erste als ein visuell-räumlicher Gedächtnisfaktor interpretieren ließ (siehe Tab. 10). Das gemeinsame Merkmal der Aufgaben, die auf dem zweiten Faktor luden, ist, dass sie verschiedene Facetten der Verarbeitungsgeschwindigkeit erfassten. Allerdings schien auch die Switching-Aufgabe mit diesem Faktor am engsten assoziiert zu sein. Der dritte Faktor war hingegen durch die Ladungen der drei verschiedenen RNG-Indizes gekennzeichnet. Auffällig war allerdings, dass der ZVT mit der geringsten Aufgabenkomplexität am höchsten auf dem Gedächtnisfaktor lud. Da diese ZVT-Variante als eine Aufgabe konzipiert ist, bei der das Gedächtnis nicht beansprucht wird, ist der Zusammenhang überraschend. Dieses Ergebnis könnte darauf hindeuten, dass durch den ZVT die Geschwindigkeit basaler Informationsverarbeitungsprozesse erfasst wird, die bei allen Gedächtnisanforderungen offensichtlich eine

fundamentale Rolle spielen (vgl. Salthouse, 1996). Naturgemäß ist nicht auszuschließen, dass ein Teil dieses Zusammenhangs durch die Verwendung von Aufgaben vermittelt wird, denen möglicherweise dieselben Anforderungen zugrunde liegen. Dieses sog. „task impurity“ Problem lässt sich im Allgemeinen bei der Erforschung des Arbeitsgedächtnisses und des Zusammenhangs zwischen verschiedenen Konzepten nicht ausschließen, da die Konstruktion von Aufgaben, die jeweils nur einen isolierten Aspekt kognitiver Fähigkeiten erfassen, kaum möglich ist (vgl. Miyake et al., 2000). Allerdings spielt dieser Aspekt bei der Interpretation der Ergebnisse nur eine eher untergeordnete Rolle, da z. B. der ZVT mit der geringsten Aufgabenkomplexität keine Gedächtnisanforderung enthält. Zudem wurden die Dot-span-Aufgabe und die visuelle Kurzzeitgedächtnisaufgabe den Pbn mit relativ langen Darbietungszeiten und Behaltensintervallen vorgelegt und in der Instruktion wurde betont, dass die Antwortgeschwindigkeit irrelevant ist. Dementsprechend ist der Speed-Charakter dieser Gedächtnisaufgaben als gering zu bewerten. Die verschiedenen Varianten des ZVT unterscheiden sich im Hinblick auf die Höhe der Korrelationen zu den Gedächtnisleistungen zudem nicht wesentlich voneinander. Die Korrelationen zwischen den verschiedenen Gedächtnisleistungen des *Binding*-Experiments und den Aufgaben zur Verarbeitungsgeschwindigkeit fielen offensichtlich höher aus im Vergleich zu den anderen Kurzzeitgedächtnisaufgaben. Die Ursache für diese unterschiedliche Höhe der Korrelationen könnte allerdings tatsächlich darauf zurückzuführen sein, dass die Darbietungsdauer im *Binding*-Experiment kürzer war als bei den Kurzzeitgedächtnisaufgaben und somit eine höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit stärker ins Gewicht fiel.

Obwohl zahlreiche Untersuchungen den fundamentalen Zusammenhang zwischen Verarbeitungsgeschwindigkeit und Gedächtniskapazität im Alter nachweisen konnten, scheinen kaum Studien zur Klärung der Frage vorzuliegen, ob diese Ergebnisse auch Gültigkeit für Stichproben mit einem niedrigeren Durchschnittsalter haben. In der vorliegenden Untersuchung konnte ein signifikanter Einfluss der individuellen Verarbeitungsgeschwindigkeit auf Gedächtnisprozesse bei jungen Erwachsenen aufgezeigt werden (siehe auch Conway et al., 2002). Dieser Zusammenhang fällt allerdings tatsächlich niedriger aus als bei älteren Menschen (vgl. Lindenberger et al., 1993). Bei zukünftigen Untersuchungen sollten zudem vermehrt die Unterschiede zwischen den verschiedenen Testverfahren zu der Erfassung der Verarbeitungsgeschwindigkeit beachtet werden. Die Wahlreaktionszeit stand z. B. im vorliegenden Experiment sowohl mit den übrigen Maßen zur Verarbeitungsgeschwindigkeit als auch mit den verschiedenen Ge-

dächtnisleistungen in keinem oder nur in einem sehr geringen Zusammenhang. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit lässt sich demzufolge anscheinend abhängig von ihrer jeweiligen Erfassung anhand von Wahlreaktionszeiten oder mit Hilfe komplexerer Aufgaben weiter ausdifferenzieren. Auf die Heterogenität des Konstrukts der Verarbeitungsgeschwindigkeit wird auch von Chiaravalloti, Christodoulou, Demaree und DeLuca (2003) hingewiesen.

Die Switching-Kosten wurden dem zweiten Faktor, der die Verarbeitungsgeschwindigkeit repräsentiert, zugeordnet. Dies stellt einen unerwarteten Befund dar. Es wäre eine engere Assoziation zwischen den RNG-Aufgaben und den beiden Switching-Aufgaben zu erwarten gewesen als zwischen den Switching-Kosten und der Verarbeitungsgeschwindigkeit. Auch die beiden Switching-Kosten korrelieren untereinander vergleichsweise gering. Dies ist ein Hinweis darauf, dass sie anscheinend teilweise zwei voneinander unabhängige Konstrukte erfassen. In einer Untersuchung zum Arbeitsgedächtnis von Oberauer et al. (2000) wurde ebenfalls eine Faktorenanalyse über verschiedene Arbeitsgedächtnisaufgaben durchgeführt: Es ergab sich dabei u. a. ein Faktor, auf dem verschiedene Switching-Aufgaben und andere Aufgaben zur Erfassung exekutiver Fähigkeiten zusammen mit Reaktionszeiten hoch luden, so dass eine eindeutige Interpretation der Faktorenstruktur im Hinblick auf eine Differenzierung zwischen Verarbeitungsgeschwindigkeit und exekutiven Fähigkeiten schwer fiel. Möglicherweise wird der Zusammenhang zwischen der Verarbeitungsgeschwindigkeit und den Switching-Kosten auch durch die Erfassung der Kosten anhand von Wahlreaktionszeiten vermittelt. Auffällig sind darüber hinaus die sehr geringen und überwiegend nicht signifikanten Zusammenhänge der Switching-Kosten mit den anderen Aufgaben. Anscheinend handelt es sich bei der Fähigkeit zur Aktivierung bzw. Hemmung des aktuellen Handlungsschemas um eine sehr isolierte Fähigkeit, die, wenn überhaupt, nur gering mit anderen kognitiven Fähigkeiten assoziiert ist.

Im Hinblick auf die Theorie zur Arbeitsgedächtniskapazität von Engle (2002) wurde untersucht, inwiefern sich die Arbeitsgedächtniskapazität aus der Kurzzeitgedächtniskapazität sowie einer weiteren Komponente, die die Zentrale Exekutive repräsentiert, zusammensetzt. Durch die statistische Kontrolle der gemeinsamen Varianz zwischen Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnisaufgaben, die aufgrund der Gedächtnisanforderung resultiert, müsste das verbleibende Residuum neben vorhandener Messfehlervarianz die Zentrale Exekutive repräsentieren (Engle et al., 1999). Zur näheren Untersuchung dieser Theorie wurde die jeweilige Kurzzeitgedächtniskapazität für die visuellen

bzw. räumlichen Items aus der dementsprechenden Arbeitsgedächtniskapazität herauspartialisiert. Es verblieb tatsächlich eine signifikante Korrelation zu dem zweiten RNG-Faktor bzw. den allgemeinen Switching-Kosten. Allerdings waren die entsprechenden Partialkorrelationen vergleichsweise niedrig. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die in diesem Experiment erfassten exekutiven Fähigkeiten einen eher geringen Beitrag zur Erklärung der Arbeitsgedächtniskapazität leisten. Dieses Ergebnis kann dennoch als ein Beleg für die Theorie von Engle gewertet werden, da anzunehmen ist, dass bei Verwendung anderer exekutiver Aufgaben dieser Zusammenhang stärker ausfallen würde.

Der Einfluss dieser exekutiven Fähigkeiten auf die Arbeitsgedächtniskapazität konnte allerdings nur für die n-back-Aufgaben und nicht für die anderen Arbeitsgedächtnisaufgaben bestätigt werden. Möglicherweise sind die n-back-Aufgaben auch etwas besser für die Erfassung der Arbeitsgedächtniskapazität geeignet als die beiden anderen verwendeten Arbeitsgedächtnismaße. Insbesondere die hohe Korrelation von  $r = .70$  zwischen der visuellen und räumlichen n-back-Aufgabe lässt darauf schließen, dass bei ihnen die domänenspezifische Gedächtniskapazität nur eine untergeordnete Rolle spielt. Dies kann an der spezifischen Konstruktion der n-back-Aufgabe liegen, da bei ihr die Anzahl zu memorierender Items nicht der jeweils maximalen Gedächtnisspanne entspricht. Vielmehr sind vermutlich die kognitiven Prozesse, die bei dieser Arbeitsgedächtnisanforderung relevant sind, wie z. B. der Vergleich zwischen der gespeicherten Gedächtnisrepräsentation mit dem aktuellen Reiz, für das Zustandekommen der hohen Korrelation verantwortlich. Somit wird durch die beiden n-back-Aufgaben größtenteils eine domänenunspezifische Ressource erfasst, die auf die gemeinsame Beanspruchung exekutiver Fähigkeiten bzw. kontrollierter Aufmerksamkeit zurückzuführen ist (Kane et al., 2004).

## 6. Zusammenfassung

Das simultane Memorieren von Objekten in Verbindung mit ihren jeweiligen Lokalisationen stellt eine komplexe Anforderung an das Arbeitsgedächtnis, da nicht nur diese einzelnen Informationsdimensionen, sondern auch ihre jeweiligen Zuordnungen korrekt gespeichert werden müssen. Diese Annahme wird auch durch Untersuchungen bestätigt, bei denen eine geringere Gedächtniskapazität für diese sog. *Binding*-Informationen im Vergleich zu der Speicherung der isolierten Informationsdimensionen nachgewiesen wurde (z. B. Burglen et al., 2004).

Die Forschung zu dieser Thematik hat sich allerdings bisher nur in einem eingeschränkten Umfang mit den möglichen Ursachen für diese schlechtere Gedächtnisleistung auseinandergesetzt und sich hauptsächlich auf Fragestellungen zur Rolle der Aufmerksamkeit beim *Binding* von verschiedenen Objektinformationen beschränkt. Insbesondere der Zusammenhang zwischen der Fähigkeit, Objekte und Positionen simultan zu memorieren und anderen kognitiven Fähigkeiten wurde entweder nur selten oder wie im Falle der individuellen Arbeitsgedächtniskapazität und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, bisher noch nicht untersucht. Die Arbeitsgedächtniskapazität setzt sich Engle (2002) zufolge aus der Kurzzeitgedächtniskapazität und der zusätzlichen Fähigkeit, kontrollierte Aufmerksamkeit bei komplexeren Verarbeitungsprozessen anzuwenden, zusammen. Über diesen Mechanismus der Aufmerksamkeit könnte somit ein entsprechender Zusammenhang der individuellen Arbeitsgedächtniskapazität und der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen vermittelt werden. Einen weiteren Einflussfaktor auf die Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen stellt möglicherweise die Zentrale Exekutive dar, die in dem Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (2000) als eine Steuerungs- und Kontrollinstanz konzipiert ist. Von dieser Instanz, die das visuell-räumliche Gedächtnissystem überwacht, wird angenommen, dass sie ebenfalls für die Integration von Informationen aus verschiedenen Dimensionen verantwortlich ist.

Die Annahme, dass neben dem visuellen und dem räumlichen Kurzzeitgedächtnis noch weitere kognitive Funktionen an der simultanen Speicherung der beiden Informationsdimensionen beteiligt sind, wurde mit Hilfe eines regressionsanalytischen Vorgehens unter Einbezug experimenteller Anforderungen an die Pbn geprüft. Ein solcher methodischer Ansatz, der auf der Analyse der Zusammenhänge zwischen der Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen und weiteren kognitiven Fähigkeiten beruht,

fand in der bisherigen Forschung zur Klärung dieser Fragestellung noch keine Anwendung. Die vorliegende Untersuchung, an der 96 Pbn teilnahmen, beinhaltete zum einen ein Experiment, bei dem geometrische Figuren in einer Matrix dargeboten wurden. Hier mussten entweder die Lokalisationen dieser Items oder aber die Figuren selbst memoriert werden bzw. in der *Binding*-Bedingung war eine korrekte Zuordnung dieser Figuren zu ihren jeweiligen Positionen vorzunehmen. Zum anderen wurden anhand von vierzehn verschiedenen Aufgaben exekutive Fähigkeiten, die Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität für visuelle und räumliche Informationen und die individuelle Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit erfasst.

Es konnte nachgewiesen werden, dass die vergleichsweise niedrige Gedächtniskapazität für *Binding*-Informationen zum einen auf die Schwierigkeit, die Lokalisationen bei einer *Binding*-Anforderung zu memorieren, zurückzuführen ist. Zum anderen scheint das Defizit zusätzlich in einer fehlerhaften Zuordnung der Figuren zu ihren ursprünglichen Positionen zu bestehen. Die Gedächtniskapazität für die Objekte wird hingegen nicht von dem simultanen Memorieren der Positionen beeinträchtigt. Als eine Ursache für diese Asymmetrie zwischen dem visuellen und räumlichen Kurzzeitgedächtnis wird angenommen, dass die räumliche Aufmerksamkeit ein kognitiver Verarbeitungsmechanismus ist, der sowohl für die Speicherung der Lokalisationen als auch für das Memorieren der jeweiligen Verbindungen zwischen den Objekten und ihren Positionen zuständig ist.

Eine Beteiligung exekutiver Fähigkeiten an der simultanen Speicherung für die Objekt- und Lokalisationsinformationen ließ sich bei den zur Erfassung der Zentralen Exekutive verwendeten Aufgaben nicht nachweisen. Im Sinne der eingangs aufgestellten Hypothese stellte sich hingegen die individuelle Arbeitsgedächtniskapazität als ein von der Kurzzeitgedächtniskapazität unabhängiger und eigenständiger Einflussfaktor auf die Gedächtniskapazität für die *Binding*-Informationen heraus. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass kontrollierte Aufmerksamkeit für das Memorieren beider Informationsdimensionen, Objekten und Lokalisationen, benötigt wird. Weiterhin konnte ein Einfluss der Verarbeitungsgeschwindigkeit auf die Gedächtnisleistung für die *Binding*-Informationen aufgedeckt werden. Abschließende Überlegungen im Hinblick auf eine Integration der Befunde in das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (2000) werden angestellt.

## Literaturverzeichnis

- Ackerman, P. L., Beier, M. E. & Boyle, M. O. (2002). Individual differences in working memory within a nomological network of cognitive and perceptual speed abilities. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, 567-589.
- Andrade, J. (2001). The working memory model: Consensus, controversy, and future directions. In J. Andrade (Ed.), *Working Memory in Perspective* (pp. 281-308). Hove: Psychology Press.
- Ashbridge, E., Walsh, V. & Cowey, A. (1997). Temporal aspects of visual search studied by transcranial magnetic stimulation. *Neuropsychologia*, 35, 1121-1131.
- 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: Advances in research and theory* (pp. 89-195). New York: Academic Press.
- Awh, E., Anllo-Vento, L. & Hillyard, S. A. (2000). The role of spatial selective attention in working memory for locations: Evidence from event-related potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 840-847.
- Awh, E., Jonides, J. & Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 780-790.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49 A, 5-28.
- Baddeley, A. D. (1997). *Human Memory: Theory and practice*. Hove: Psychology Press.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.

- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 829-839.
- Baddeley, A. D., Chincotta, D. & Adlam, A. (2001). Working memory and the control of action: Evidence from task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 641-657.
- Baddeley, A., Emslie, H., Kolodny, J. & Duncan, J. (1998). Random generation and the executive control of working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 51 A, 819-852.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* (pp. 47-89). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D. & Lieberman, K. (1980). Spatial working memory. In R. S. Nickerson (Ed.), *Attention and Performance VIII* (pp. 521-539). Hillsdale: Erlbaum.
- Bleckley, M. K., Durso, F. T., Crutchfield, J. M., Engle, R. W. & Khanna, M. M. (2003). Individual differences in working memory capacity predict visual attention allocation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10, 884-889.
- Burglen, F., Marczewski, P., Mitchell, K. J., v. d. Linden, M., Johnson, M. K., Danion, J.-M. & Salamé, P. (2004). Impaired performance in a working memory binding task in patients with schizophrenia. *Psychiatry Research*, 125, 247-255.
- Chiaravalloti, N. D., Christodoulou, C., Demaree, H. A. & DeLuca, J. (2003). Differentiating simple versus complex processing speed: Influence on new learning and memory performance. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25, 489-501.

- Chincotta, D., Underwood, G., Abd Ghani, K., Papadopoulou, E. & Wresinski, M. (1999). Memory span for Arabic numerals and digit words: Evidence for a limited-capacity, visuo-spatial storage system. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52 A, 325-351.
- Cohen, J. D., Perlstein, W. M., Braver, T. S., Nystrom, L. E., Noll, D. C., Jonides, J. & Smith, E. E. (1997). Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, 386, 604-608.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J. & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30, 163-183.
- 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, 39-49.
- Daneman, M. & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension. A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3, 422-433.
- Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A. D., Allamano, N. & Wilson, L. (1999). Pattern span: a tool for unwelding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, 37, 1189-1199.
- Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science*, 11, 19-23.
- 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*, 128, 309-331.

- Farah, M. J., Hammond, K. M., Levine, D. N. & Calvanio, R. (1988). Visual and spatial mental imagery: Dissociable systems of representation. *Cognitive Psychology*, *20*, 439-462.
- Finke, K., Bublak, P., Neugebauer, U. & Zihl, J. (2005). Combined processing of what and where information within the visuospatial scratchpad. *European Journal of Cognitive Psychology*, *17*, 1-22.
- Fletcher, P. C. & Henson, R. N. A. (2001). Frontal lobes and human memory. *Brain*, *124*, 849-881.
- Fry, A. F. & Hale, S. (1996). Processing speed, working memory, and fluid intelligence. Evidence for a developmental cascade. *Psychological Science*, *7*, 237-241.
- Gold, J. M., Wilk, C. M., McMahon, R. P., Buchanan, R. W. & Luck, S. J. (2003). Working Memory for visual features and conjunctions in schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology*, *112*, 61-71.
- Goodale, M. A. & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, *15*, 20-25.
- Gorsuch, R. L. (1983). *Factor analysis*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Han, S.-H. & Kim, M.-S. (2004). Visual search does not remain efficient when executive working memory is working. *Psychological Science*, *15*, 623-628.
- Hartley, A. A., Speer, N. K., Jonides, J., Reuter-Lorenz, P. A. & Smith, E. E. (2001). Is the dissociability of working memory systems for name identity, visual-object identity, and spatial location maintained in old age? *Neuropsychology*, *15*, 3-17.
- Hasher, L. & Zacks, R. T. (1979). Automatic and effortful processes in memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *108*, 356-388.

- Hendrickson, A. E. (1982). The biological basis of intelligence. Part I Theory. In H. J. Eysenck (Ed.), *A model for intelligence* (pp. 151-196). Berlin: Springer.
- Henson, R. (2001). Neural working memory. In J. Andrade. (Ed.), *Working memory in perspective* (pp. 151-173). Hove: Psychology Press.
- Hertzog, C., Dixon, R. A., Hultsch, D. F. & MacDonald, S. W. S. (2003). Latent change models of adult cognition: Are changes in processing speed and working memory associated with changes in episodic memory? *Psychology and Aging, 18*, 755-769.
- Hulme, C., Roodenrys, S., Brown, G. & Mercer, R. (1995). The role of long-term-memory mechanisms in memory span. *British Journal of Psychology, 86*, 527-536.
- Jensen, A. R. (1982). Reaction time and psychometric g. In H. J. Eysenck (Ed.), *A model for intelligence* (pp. 93-112). Berlin: Springer.
- Jiang, Y., Olson, I. R. & Chun, M. (2000). Organization of visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 26*, 683-702.
- Johnston, J. C. & Pashler, H. (1990). Close binding of identity and location in visual feature perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 16*, 843-856.
- Joy, S., Fein, D. & Kaplan, E. (2003). Decoding Digit Symbol. *Assessment, 10*, 56-65.
- Kail, R. & Salthouse, T. A. (1994). Processing speed as a mental capacity. *Acta Psychologica, 86*, 199-225.
- Kaiser, H. F. & Rice, J. (1974). „Little Jiffy, Mark IV“. *Educational and Psychological Measurement, 34*, 111-117.

- Kane, M. J. & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 637-671.
- Kane, M. J., Tuholski, S. W., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., Payne, T. W. & Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 189-217.
- Kessels, R. P. C., Postma, A., Wester, A. J. & De Haan, E. H. F. (2000). Memory for object locations in Korsakoff amnesia. *Cortex*, 36, 47-57.
- Klauer, K. C. & Zhao, Z. (2004). Double dissociations in visual and spatial short-term memory. *Journal of Experimental Psychology*, 133, 355-381.
- Köhler, S., Moscovitch, M. & Melo, B. (2001). Episodic memory for object location versus episodic memory for object identity: Do they rely on distinct encoding processes? *Memory & Cognition*, 29, 948-959.
- Kosslyn, S. M., Chabris, C. F., Marsolek, C. J. & Koenig, O. (1992). Categorical versus coordinate spatial relations: Computational analyses and computer simulations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 562-577.
- Lamy, D. & Tsal, Y. (2001). On the status of location in visual attention. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, 305-342.
- Lehto, J. (1996). Are executive tests dependent on working memory capacity? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49 A, 9-50.
- Lindenberger, U., Mayr, U. & Kliegl, R. (1993). Speed and intelligence in old age. *Psychology and Aging*, 8, 207-220.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove: Lawrence Erlbaum.

- 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*, 53 A, 626-646.
- Loisy, C. & Roulin, J.-L. (2003). Multiple short-term storage: A task to evaluate the coordination function of the central executive. *Journal of International Psychology*, 38, 1-10.
- Lorsbach, T. C. & Reimer, J. F. (2005). Feature binding in children and young adults. *The Journal of Genetic Psychology*, 166, 313-327.
- Luck, S. J. & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 297-281.
- MacMillan, N. A. & Creelman, C. D. (1991). *Detection theory: A user's guide*. Cambridge: University Press.
- Martain, R., Kemps, E. & Vandierendonck, A. (1999). The role of working memory in a double span task. *Psychologica Belgica*, 39, 15-27.
- Mecklinger, A. & Müller, N. (1996). Dissociations in the processing of "what" and "where" information in working memory: An event-related potential analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 453-473.
- Mitchell, K. J., Johnson, M. K., Raye, C. L. & D'Esposito, M. (2000). fMRI evidence of age-related hippocampal dysfunction in feature binding in working memory. *Cognitive Brain Research*, 10, 197-206.
- Mitchell, K. J., Johnson, M. K., Raye, C. L., Mather, M. & D'Esposito, M. (2000). Aging and reflective processes of working memory: *Psychology and Aging*, 15, 527-541.

- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. & Wagner, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49-100.
- Naveh-Benjamin, N. (1987). Coding of spatial location information: An automatic process? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *13*, 595-605.
- Newcombe, F., Ratcliff, G. & Damasio, H. (1987). Dissociable visual and spatial impairments following right posterior cerebral lesions: Clinical, neuropsychological and anatomical evidence. *Neuropsychologia*, *25*, 149-161.
- Oberauer, K. (2005). Binding and inhibition in working memory: Individual and age differences in short-term recognition. *Journal of Experimental Psychology: General*, *134*, 368-387.
- Oberauer, K., Süß, H.-M., Schulze, R., Wilhelm, O. & Wittmann, W. W. (2000). Working memory capacity – facets of a cognitive ability construct. *Personality and Individual Differences*, *29*, 1017-1045.
- Oberauer, K., Süß, H.-M., Wilhelm, O. & Wittmann, W. (2003). The multiple faces of working memory: Storage, processing, supervision, and coordination. *Intelligence*, *31*, 167-193.
- Oh, S.-H., & Kim, M.-S. (2004). The role of spatial working memory in visual search efficiency. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*, 275-281.
- Oswald, W. D. & Roth, E. (1987). *Der Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT)*. Handanweisung. Göttingen: Hogrefe.

- Owen, A. M., Stern, C. E., Look, R. B., Tracey, I., Rosen, B. R. & Petrides, M. (1998). Functional organization of spatial and nonspatial working memory processing within the human lateral frontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 95, 7721-7726.
- Postle, B. R., D'Esposito, M. & Corkin, S. (2005). Effects of verbal and nonverbal interference on spatial and object visual working memory. *Memory & Cognition*, 33, 203-212.
- Postle, B. R., Stern, C. E., Rosen, B. R. & Corkin, S. (2000). An fMRI investigation of cortical contributions to spatial and nonspatial visual working memory. *NeuroImage*, 11, 409-423.
- Postma, A. & De Haan, E. H. F. (1996). What was where? Memory for object locations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49 A, 178-199.
- Postma, A., Izendoorn, R. & De Haan, E. H. F. (1996). Sex differences in object location memory. *Brain and Cognition*, 36, 334-345.
- 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, 85-90.
- Raffone, A. & Wolters, G. (2001). A cortical mechanism for binding in visual working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 766-785.
- Repovš, G. & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139, 5-21.
- Robertson, L. C. (2003). Binding, spatial attention and perceptual awareness. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 93-102.

- Rypma, B. & D'Esposito, M. (1999). The roles of prefrontal brain regions in components of working memory: Effects of memory load and individual differences. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 96, 6558-6563.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103, 403-428.
- Schafer, E. W. P. (1982). Neural adaptability: A biological determinant of behavioral intelligence. *International Journal of Neuroscience*, 17, 183-191.
- Schneider, W., Eschman, A. & Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime User's Guide*. Pittsburgh: Psychology Software Tools Inc.
- Schweizer, K. (1995). Hypothesen zu den biologischen und kognitiven Grundlagen der allgemeinen Intelligenz. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 16, 67-81.
- Shafritz, K. M., Gore, J. C. & Marois, R. (2002). The role of the parietal cortex in visual feature binding. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 99, 10917-10922.
- Shah, P. & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 4-27.
- Simons, D. J. (1996). In sight, out of mind: When object representations fail. *Psychological Science*, 7, 301-305.
- Singer, W. (2003). Synchronization, binding and expectancy. In M. A. Arbib (Ed.), *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks* (pp. 1136-1143). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Singer, W. & Gray, C. M. (1995). Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 555-586.

- Tabachnik, B. G. & Fidell, L. S. (2001). *Using multivariate statistics*. Boston: Allyn & Bacon.
- Tewes, U. (1991). *Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene HAWIE-R*. Bern: Huber.
- Thurstone, L. L. (1938). *Primary mental abilities*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- 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, 583-591.
- Treisman, A. (1998). Feature binding, attention and object perception. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 353, 1295-1306.
- Treisman, A. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treisman, A. & Schmidt, H. (1982). Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology*, 14, 107-141.
- Tresch, M. C., Sinnamon, H. M. & Seamon, J. G. (1993). Double Dissociation of spatial and object visual memory: Evidence from selective interference in intact human subjects. *Neuropsychologia*, 31, 211-219.
- Tuholski, S. W., Engle, R. W. & Bayliss, G. C. (2001). Individual differences in working memory capacity and enumeration. *Memory and Cognition*, 29, 484-492.
- Turner, M. L. & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, 28, 127-154.

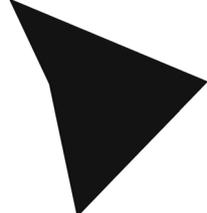
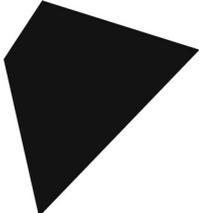
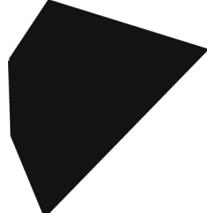
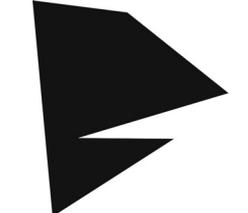
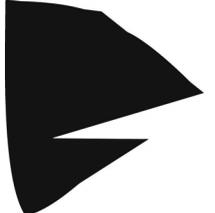
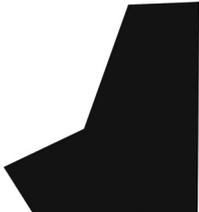
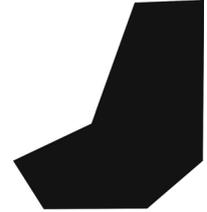
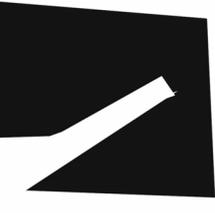
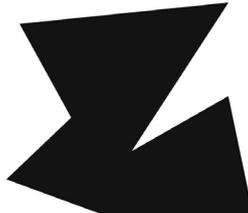
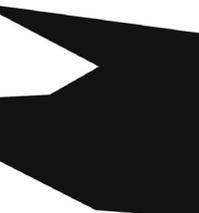
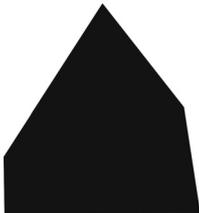
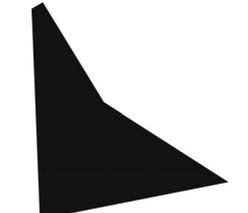
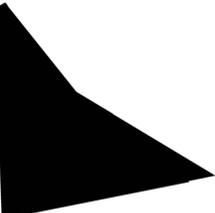
- Ungerleider, L. G. & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of Visual Behavior* (pp. 549-586). Cambridge, MA: MIT Press.
- Vanderplas, J. M. & Garvin, E. A. (1959). The association value of random shapes. *Journal of Experimental Psychology*, *57*, 147-154.
- Vernon, P. A. (1993). Der Zahlen-Verbindungs-Test and other trail-making correlates of general intelligence. *Personality and Individual Differences*, *14*, 35-40.
- Wager, T. D. & Smith, E. (2003). Neuroimaging studies of working memory: A meta-analysis. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *3*, 255-274.
- Wheeler, M. E. & Treisman, A. M. (2002). Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *131*, 48-64.
- Yan, S. & Petras, C. (in Vorb.). *Binding of object and location-information in working memory*. Manuskript in Vorbereitung.
- 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*, 41-65.

**Anhang**

- Anhang A: Figurenpaare als Itemmaterial für die visuelle Wahlreaktionszeitaufgabe.
- Anhang B: Die geometrischen Figuren als Itemmaterial für die visuelle n-back-Aufgabe.
- Anhang C: Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen den jeweils geforderten Gedächtnisleistungen innerhalb des *Binding*-Experiments.
- Anhang D: Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen der RNG-Aufgabe und den Aufgaben zur Erfassung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.
- Anhang E: Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen der Switching-Aufgabe und den Aufgaben zur Erfassung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.
- Anhang F: Eigenwerteverlauf der Faktorenextraktion bei der Hauptkomponentenanalyse unter Einbezug einiger der Gedächtnisleistungen im *Binding*-Experiment sowie den Aufgaben zur Erfassung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität, exekutiver Fähigkeiten und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.
- Anhang G: Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen den einzelnen Gedächtnisleistungen im *Binding*-Experiment und den Aufgaben zur Erfassung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität, exekutiver Fähigkeiten und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.
- Anhang H: Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen den Gedächtnisleistungen im *Binding*-Experiment und dem Prozentsatz korrekter Antworten bei den Wahlreaktionszeitaufgaben.

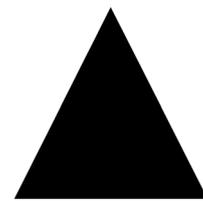
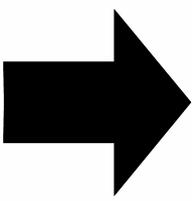
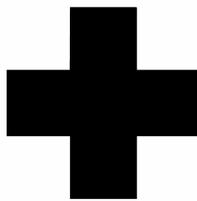
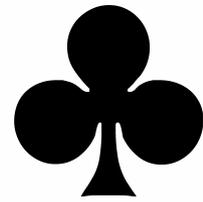
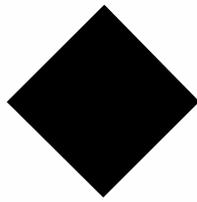
## Anhang A:

Figurenpaare als Itemmaterial für die visuelle Wahlreaktionszeitaufgabe.

Originalfigur	Veränderte Figur	Originalfigur	Veränderte Figur
			
			
			
			
			
			
			

## Anhang B:

Die geometrischen Figuren als Itemmaterial für die visuelle n-back-Aufgabe.



Anhang C:  
Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen den jeweils geforderten Gedächtnisleistungen innerhalb des *Binding-Experiments*.

	Pos.		Pos.		Item		Both		Pos.		Item		Both	
	O./g.	I./g.	B./g.	O./g.	L./g.	B./g.	O./g.	L./g.	O./M.	I./M.	O./M.	I./M.	O./M.	I./M.
Pos. (Ort, getr.)	1													
Pos. (Ident., getr.)	.01	1												
Pos. (Bind., getr.)	.62**	.23*	1											
Item (Ort, getr.)	-.36**	.07	-.28**	1										
Item (Ident., getr.)	.44**	-.01	.43**	-.13	1									
Item (Bind., getr.)	.30**	.05	.50**	-.07	.72**	1								
Both (Ort, getr.)	-.19	.22*	.22*	.53**	-.09	.06	1							
Both (Ident., getr.)	.15	.96**	.27*	.07	.08	.14	.25*	1						
Both (Bind., getr.)	.43**	.43**	.59**	-.17	.72**	.88**	.08	.15	1					
Pos. (Ort, Mix)	.76**	.20	.66**	-.35**	.30**	.28**	-.23*	.23*	.37**	1				
Pos. (Ident., Mix)	.10	.69**	.24*	.09	-.01	.08	.26*	.71**	.15	.26*	1			
Pos. (Bind., Mix)	.71**	.20	.71**	-.25*	.29**	.29**	-.05	.25*	.42**	.84**	.31**	1		
Item (Ort, Mix)	-.31**	.08	-.29**	.63**	-.11	-.04	.28**	.08	.07	-.36**	.27**	-.31**	1	
Item (Ident., Mix)	.37**	.12	.52**	-.13	.60**	.68**	.16	.21*	.69**	.39**	.17	.46**	-.10	1
Item (Bind., Mix)	.29**	.13	.45**	-.06	.70**	.71**	.09	.22*	.76**	.37**	.17	.31**	.05	.73**
Both (Ort, Mix)	-.31**	.21*	-.10	.30**	-.12	-.01	.36**	.24*	.03	-.21*	.40**	-.12	.61**	-.01
Both (Ident., Mix)	.11	.60**	.26*	.11	.10	.23*	.28*	.67**	.30**	.19	.91**	.29**	.28**	.36**
Both (Bind., Mix)	.41**	.16	.52**	-.08	.61**	.65**	.13	.27**	.77**	.37**	.25*	.46**	-.10	.79**

Anmerkungen. \*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$ ; zweiseitig. Die erste Angabe bezieht sich auf die Gedächtniskapazität für die jeweilige Informationsdimension, während in der Klammer zuerst die jeweilige Aufgabenanforderung und dann die Blockart stehen. Pos.: Positionen; Ident.: Identität; Both: *Binding*-Informationen; getr.: getrennt; Mix: Mix-Block.

Anhang D:  
Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen der RNG-Aufgabe und den Aufgaben zur Erfassung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.

	ZVT -123	ZVT -179	ZVT -26z	ZVT	ZVT	DS	RNG 1	RNG 2	RNG 3	CRT Mean	CRT räum. (all.)	CRT vis. (all.)	CRT räum. (komb.)	CRT vis. (komb.)
ZVT-123	1													
ZVT-179	.60**	1												
ZVT-26z	.49**	.60**	1											
DS	.59**	.53**	.21*	1										
RNG 1	.07	.24*	.20	.07	1									
RNG 2	.29**	.22*	.10	.15	.00	1								
RNG 3	-.11	-.10	-.02	-.19	.00	.00	1							
CRT Mean	.25*	.29**	.32**	.34**	.18	.13	.01	1						
CRT räum. (all.)	.03	.11	-.01	-.04	.00	-.09	.12	-.26*	1					
CRT vis. (all.)	.12	.22*	.12	-.01	.13	-.02	-.24*	-.10	.45**	1				
CRT räum. (komb.)	-.02	-.05	.12	.05	.01	-.03	-.13	-.22*	.28*	.13	1			
CRT vis. (komb.)	.03	.12	.06	-.08	-.08	.04	-.08	-.18	.24*	.41**	.14	1		

Anmerkungen. \*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$ ; zweiseitig. ZVT: Zahlen-Verbindungs-Test; DS: Zahlen-Verbindungs-Test; RNG 1, 2, 3: einer der drei Faktoren, die anhand der Faktorenanalyse über die Indizes der Random-Number-Generation-Aufgabe erhalten wurden; CRT Mean: Mittelwert der Reaktionszeit der visuellen und räumlichen Wahlreaktionsaufgaben bei ihrer alleinigen Durchführung; räum.: räumliche Aufgabenvariante; vis.: visuelle Aufgabenvariante. CRT (all.): Durchführung der räumlichen Wahlreaktionsaufgabe ohne Zweitaufgabe, bezogen auf den Prozentsatz korrekt beantworteter Versuchsdurchgänge; CRT (komb.): diese Wahlreaktionsaufgabe wurde im Rahmen der jeweiligen Arbeitsgedächtnisaufgabe dargeboten; bezogen auf den Prozentsatz korrekt beantworteter Versuchsdurchgänge.

## Anhang E:

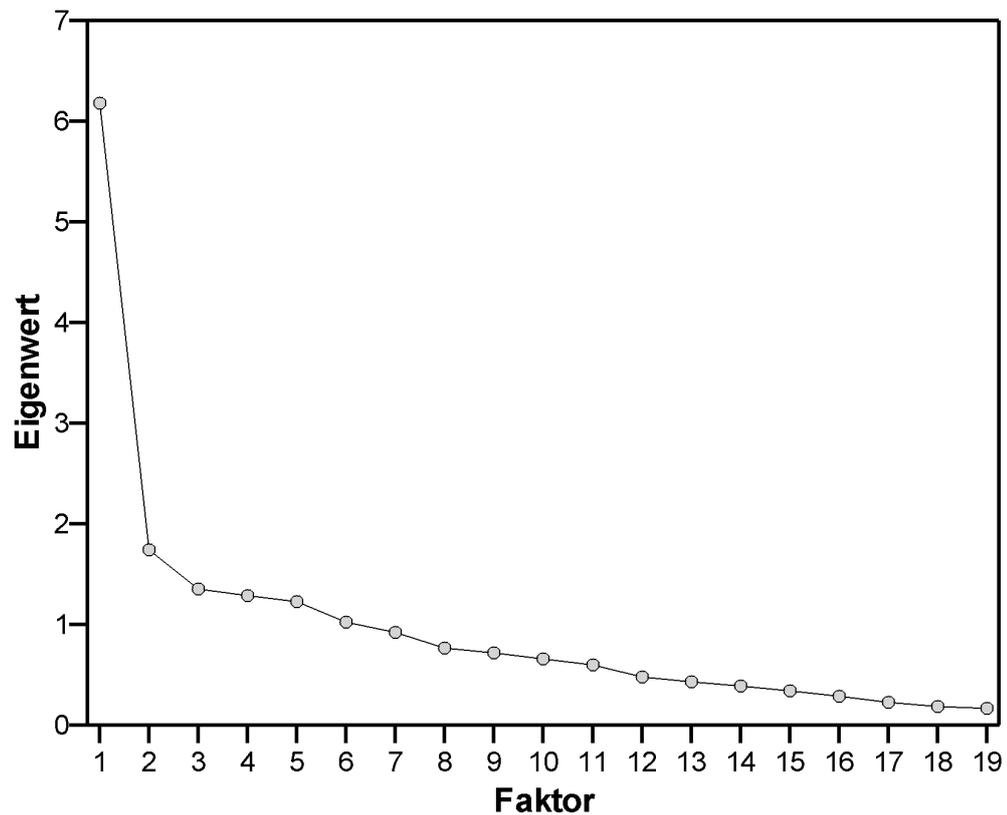
Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen der Switching-Aufgabe und den Aufgaben zur Erfassung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.

	KZG räum.	KZG vis.	AG räum.	AG vis.	Switch allg.	Switch spez.	n-back räum.	n-back vis.	CRT räum. (all.)	CRT vis. (all.)	CRT räum. (komb.)	CRT vis. (komb.)
KZG räum.	1											
KZG vis.	.23*	1										
AG räum.	.53**	.36**	1									
AG vis.	.32**	.68**	.53**	1								
Switch allg.	.11	.00	.06	.07	1							
Switch spez.	.15	-.02	.09	.00	.30**	1						
n-back räum.	.53**	.40**	.61**	.53**	.21*	.12	1					
n-back vis.	.35**	.40**	.42**	.53**	.20	-.03	.70**	1				
CRT räum. (all.)	.06	-.05	.04	.06	-.19	-.29**	.13	.02	1			
CRT vis. (all.)	.14	.10	.20	.06	-.19	-.10	.15	.07	.45**	1		
CRT räum. (komb.)	-.04	.09	.13	.19	-.28**	-.24*	.10	-.03	.28*	.13	1	
CRT vis. (komb.)	.12	.10	.16	.31**	.07	-.09	.12	.08	.24*	.41**	.14	1

Anmerkungen. \*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$ ; zweiseitig. Switch allg./spez.: allgemeine/spezifische Switching-Kosten; AG: Arbeitsgedächtnisaufgabe; KZG: Kurzzeitgedächtnisaufgabe; räum.: räumliche Aufgabenvariante; vis.: visuelle Aufgabenvariante; CRT (all.): Durchführung der räumlichen Wahlreaktionszeitaufgabe ohne Zweitaufgabe, bezogen auf den Prozentsatz korrekt beantworteter Versuchsdurchgänge; CRT (komb.): diese Wahlreaktionszeitaufgabe wurde im Rahmen der jeweiligen Arbeitsgedächtnisaufgabe dargeboten; bezogen auf den Prozentsatz korrekt beantworteter Versuchsdurchgänge.

## Anhang F:

Eigenwerteverlauf der Faktorenextraktion bei der Hauptkomponentenanalyse unter Einbezug einiger der Gedächtnisleistungen im *Binding*-Experiment sowie den Aufgaben zur Erfassung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität, exekutiver Fähigkeiten und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.



## Anhang G:

Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen den einzelnen Gedächtnisleistungen im *Binding*-Experiment und den Aufgaben zur Erfassung der Kurzzeit- und Arbeitsgedächtniskapazität, exekutiver Fähigkeiten und der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit.

	ZVT -123	ZVT -179	ZVT -26z	DS	RNG 1	RNG 2	RNG 3	CRT Mean	KZG räum.	KZG vis.	AG räum.	AG vis.	Switch allg.	Switch spez.	n-back räum.	n-back vis.
Pos. (Ort, getr.)	.44**	.47**	.38**	.36**	.07	-.07	-.12	.21*	.57**	.24*	.51**	.44**	.19	.16	.49**	.37**
Pos. (Ident., getr.)	-.16	.05	.04	-.14	.17	-.08	.03	-.12	.18	-.10	.05	-.04	-.07	.14	.21*	.01
Pos. (Bind., getr.)	.39**	.38**	.38**	.18	.12	.07	.04	.16	.48**	.27**	.37**	.30**	.12	.19	.40**	.22*
Item (Ort, getr.)	-.10	-.03	-.02	.01	.00	.00	-.09	.02	-.09	.10	-.04	-.06	-.08	-.11	-.07	-.07
Item (Ident., getr.)	.43**	.29**	.30**	.25*	.18	.06	.02	.13	.30**	.36**	.35**	.42**	.03	.00	.45**	.46**
Item (Bind., getr.)	.39**	.18	.25*	.21*	.15	.07	.01	.09	.26**	.40**	.34**	.38**	.05	-.06	.38**	.44**
Both (Ort, getr.)	-.08	-.06	.06	-.09	-.02	-.02	.15	.17	.00	.21*	.01	.14	-.07	.03	.05	.03
Both (Ident., getr.)	-.08	.12	.09	-.09	.19	-.05	.05	-.07	.25*	-.04	.12	.04	-.07	.14	.30**	.13
Both (Bind., getr.)	.46**	.31**	.29**	.25	.19	.03	.12	.18	.35**	.43**	.38**	.40**	.05	-.03	.42**	.45**
Pos. (Ort, Mix)	.39**	.46**	.33**	.33**	.13	.02	-.17	.10	.51**	.21*	.47**	.32**	.05	.22*	.40**	.26**
Pos. (Ident., Mix)	.01	.16	.18	-.09	.13	.05	.02	.02	.24*	-.07	.17	.10	-.12	.08	.24*	.08
Pos. (Bind., Mix)	.40**	.52**	.42**	.34**	.14	.03	-.08	.23*	.58**	.27**	.52**	.40**	.14	.32**	.49**	.28**
Item (Ort, Mix)	-.16	-.10	-.09	-.05	-.01	.02	.02	-.09	-.16	-.03	-.02	-.07	-.03	-.29**	-.03	-.02
Item (Ident., Mix)	.37**	.24*	.27**	.15	.25*	-.02	.06	.04	.33**	.45**	.30**	.38**	.03	-.02	.40**	.29**
Item (Bind., Mix)	.45**	.30**	.32**	.15	.26**	-.03	.02	.02	.23*	.35**	.35**	.30**	.01	-.06	.38**	.34**
Both (Ort, Mix)	-.03	.00	-.03	-.06	.04	.17	.17	-.05	-.07	-.03	-.06	-.03	-.03	-.16	-.02	.02
Both (Ident., Mix)	.09	.14	.18	-.04	.14	-.01	.00	-.05	.26*	-.00	.21*	.17	-.11	.01	.25*	.12
Both (Bind., Mix)	.49**	.35**	.32**	.21*	.23*	-.08	.08	.02	.34**	.34**	.34**	.37**	.05	.02	.37**	.32**

Anmerkungen. \*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$ ; zweiseitig. Die erste Abkürzung der linken Spalte gibt die jeweilige Gedächtnisleistung an und die erste in der Klammer bezeichnet die Aufgabenanforderung, während die zweite Abkürzung Auskunft darüber gibt, ob es sich um die Aufgaben im getrennten Block (getr.) oder im Mix-Block (Mix) handelt. Pos.: Positionen; Item: Figuren; Both: Gedächtnisleistung für die *Binding*-Informationen; Ort: Positionsanforderung; Bind.: *Binding*-Anforderung; Ident.: Identitätsanforderung. Weitere Abkürzungen siehe Tab. 11.

## Anhang H:

Interkorrelationsmatrix der Pearson-Korrelationen zwischen den Gedächtnisleistungen im *Binding*-Experiment und dem Prozentsatz korrekter Antworten bei den Wahlreaktionszeitaufgaben.

	CRT räum. (all.)	CRT vis. (all.)	CRT räum. (komb.)	CRT vis. (komb.)
Pos. (Ort, getr.)	.12	.28**	.05	.17
Pos. (Ident., getr.)	.13	.09	.10	.07
Pos. (Bind., getr.)	-.04	.13	.00	.13
Item (Ort, getr.)	.00	-.08	.04	.03
Item (Ident., getr.)	.11	.28**	-.06	.08
Item (Bind., getr.)	.12	.21*	-.03	.11
Both (Ort, getr.)	-.10	-.09	.00	.08
Both. (Ident., getr.)	.12	.06	.07	.06
Both (Bind., getr.)	.08	.15	-.01	.05
Pos. (Ort, Mix)	.04	.16	.15	.15
Pos. (Ident., Mix)	.16	.04	.16	.03
Pos. (Bind., Mix)	.03	.10	.07	.15
Item (Ort, Mix)	.14	.02	.02	.05
Item (Ident., Mix)	.08	.07	.02	.00
Item (Bind., Mix)	.14	.20	-.04	.06
Both (Ort, Mix)	.10	-.01	.03	.06
Both (Ident., Mix)	.13	-.01	.18	.05
Both (Bind., Mix)	.16	.14	.06	.06

*Anmerkungen.* \*  $p < .05$ ; \*\*  $p < .01$ ; zweiseitig. Die erste Angabe in der linken Spalte bezieht sich auf die Gedächtnisleistung im *Binding*-Experiment für die jeweilige Informationsdimension, während in der Klammer zuerst die jeweilige Aufgabenanforderung und dann die Blockart stehen. Pos.: Positionen; Ident.: Identität; Both: *Binding*-Informationen; getr.: getrennter Block; Mix: Mix-Block; CRT (all.): Durchführung der räumlichen Wahlreaktionszeitaufgabe ohne Zweitaufgabe, bezogen auf den Prozentsatz korrekt beantworteter Versuchsdurchgänge; CRT (komb.): diese Wahlreaktionszeitaufgabe wurde im Rahmen der jeweiligen Arbeitsgedächtnisaufgabe dargeboten, bezogen auf den Prozentsatz korrekt beantworteter Versuchsdurchgänge; räum.: räumliche Aufgabenvariante; vis.: visuelle Aufgabenvariante.

## Curriculum Vitae

**Name :** Christina Petras  
**Geburtsdatum:** 30. März 1978 in Göttingen  
**Staatsangehörigkeit:** deutsch

### Schulischer Werdegang:

1984-1988	Hermann-Nohl Grundschule in Göttingen
1988-1990	Bert-Brecht Orientierungsstufe in Göttingen
1990-1997	Hainberg-Gymnasium Göttingen
Juni 1997	Abitur

### Studium:

Oktober 1997	Immatrikulation an der Georg-August-Universität Göttingen im Diplomstudiengang Psychologie
24. September 1999	Abschluss des Vordiploms (Note: „Sehr gut“)
WS 1999/2000	Auslandssemester in Caen (Frankreich)
29. September 2003	Abschluss des Diploms (Note: „Sehr gut“) Diplomarbeit zu dem Thema: „Zusammenwirken der Phonologischen Schleife und des Sketchpads bei der Speicherung von Informationen im Arbeitsgedächtnis – Evidenz für einen ‚episodic buffer‘?“

### Beruflicher Werdegang:

WS 2000/2001-	Tätigkeit als studentische Hilfskraft in Forschung und
WS 2002/2003	Lehre in der Abteilung für Arbeits- und Kognitionspsychologie
Oktober 2003- September 2006	Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung für Kognitions- und Arbeitspsychologie (Leitung: Prof. Dr. Gerd Lüer) am Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie in Göttingen