

**Der Einfluss uni- und bimodaler Stimuli  
auf die Arbeitsgedächtnisleistung  
in einem „n-back Task“ unter Berücksichtigung  
multisensorischer Aufmerksamkeitsprozesse**

**Bachelorarbeit  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität Tübingen**

vorgelegt von  
Marisa Diehl

Tübingen, Juli 2013



### **Erklärung:**

Hiermit erkläre ich,

- dass ich diese Arbeit selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.
- dass die eingereichte Arbeit weder vollständig noch in wesentlichen Teilen Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens gewesen ist.

Tübingen, 18. Juli 2013

Marisa Diehl



## **Zusammenfassung**

In dieser Arbeit wurde der Einfluss unterschiedlicher sensorischer Stimulationen (visuell, auditiv und audiovisuell) auf die Leistung des Arbeitsgedächtnisses untersucht. Diverse andere Autoren berichteten bereits über vorteilige Effekte in verschiedenen Gedächtnisaufgaben, wenn Reize als Kombination zweier Sinnesmodalitäten (bimodal) dargeboten wurden. Die Motivation der Arbeit bestand darin, diesen Sachverhalt im Umfang eines „2-back Tasks“ genauer zu beleuchten. Zudem sollte geklärt werden, inwiefern multisensorische Aufmerksamkeitsprozesse bei der bimodalen Präsentation von Reizen auf die Arbeitsgedächtnisleistung Einfluss nehmen und ob Probanden mit einer großen Arbeitsgedächtnisspanne höhere Leistungen erzielen. In diesem Fall konnten nur teilweise signifikante Ergebnisse gewonnen werden, die die These nicht eindeutig bestätigen, aber dennoch für die Annahme dieser sprechen. Die vorliegende Arbeit mit ihren Erkenntnissen kann demnach weiteres Interesse erwecken, Folgestudien zu diesem Thema durchzuführen.



The true art of memory is the art of attention.

—Samuel Johnson, 1759



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>11</b>
1.1. Allgemein . . . . .	11
1.2. Arbeitsgedächtnis und Modelle . . . . .	11
1.2.1. Multikomponenten-Modell . . . . .	12
1.2.2. Das Embedded-Process-Modell . . . . .	13
1.3. Aufmerksamkeit . . . . .	14
1.3.1. Multimodale Aufmerksamkeit . . . . .	15
1.3.2. Modelle multimodaler Aufmerksamkeit . . . . .	15
1.4. Befunde bezüglich multimodaler Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis . . . . .	17
<b>2. Material und Methoden</b>	<b>19</b>
2.1. Versuchspersonen . . . . .	19
2.2. Software . . . . .	19
2.3. Stimuli . . . . .	21
2.4. Versuchsaufbau . . . . .	22
2.5. Versuchsablauf . . . . .	23
2.6. Datenauswertung . . . . .	24
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>25</b>
3.1. Beeinflussung der Arbeitsgedächtnisleistung: ANOVA I . . . . .	25
3.1.1. Einfluss der Messwiederholungen (Innersubjekt-Faktor) . . . . .	26
3.1.2. Einfluss der sensorischen Bedingung (Zwischensubjekt-Faktor) . . . . .	26
3.1.3. Interaktion zwischen sensorischen Bedingungen und Messwiederholungen . . . . .	27
3.2. Beeinflussung der Arbeitsgedächtnisleistung: ANOVA II . . . . .	27
3.2.1. Einfluss der sensorischen Bedingung auf die Arbeitsgedächtnisleistung . . . . .	28
3.3. Beeinflussung der Reaktionszeiten der Probanden . . . . .	28
3.3.1. Einfluss der Messwiederholungen (Innersubjekt-Faktor) . . . . .	29
3.3.2. Einfluss der sensorischen Bedingungen (Zwischensubjekt-Faktor) . . . . .	29
3.3.3. Interaktion zwischen sensorischen Bedingungen und Messwiederholungen . . . . .	30
3.4. Einfluss der Arbeitsgedächtnisspanne auf die Messgröße $d$ -prime . . . . .	30
<b>4. Diskussion und Ausblick</b>	<b>33</b>
4.1. Einfluss der unabhängigen Faktoren auf die Arbeitsgedächtnisleistung . . . . .	33
4.1.1. Einfluss der sensorischen Bedingung auf die Arbeitsgedächtnisleistung . . . . .	33
4.1.2. Einfluss der Messwiederholungen auf die Arbeitsgedächtnisleistung . . . . .	34
4.1.3. Interaktion zwischen sensorischen Bedingungen und Messwiederholungen . . . . .	35

4.2. Multimodale Aufmerksamkeit . . . . .	35
4.3. Beeinflussung der Reaktionszeiten der Probanden . . . . .	36
4.4. Einfluss der Arbeitsgedächtnisspanne auf die Arbeitsgedächtnisleistung . . .	37
4.5. Ausblick . . . . .	37
<b>Danksagung</b>	<b>38</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>41</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>45</b>

# 1. Einleitung

## 1.1. Allgemein

Im täglichen Leben werden wir häufig mit Situationen konfrontiert, in denen wir unsere Aufmerksamkeit gleichzeitig auf unterschiedliche Ereignisse richten müssen, um verhaltensrelevante Ziele zu erreichen. Somit bewältigen wir Aufgaben, die die Verarbeitung unterschiedlicher Sinneseindrücke zum selben Zeitpunkt erfordern. Das Wahrnehmen von Reizen aus der Umwelt bis hin zum Lösen komplexer Probleme, setzt eine multisensorische (multimodale) Informationsverarbeitung voraus. Die kognitiven Fähigkeiten, die wir für die Verarbeitung solcher Informationen benötigen, werden durch das komplexe Zusammenspiel von Gedächtniskomponenten realisiert.

Im Allgemeinen kann das Gedächtnis als eine Kapazität aufgefasst werden, die Informationen über die Zeit hinweg beibehält. Es wird generell in drei Kategorien unterteilt: sensorisches Gedächtnis, Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis. Das sensorische Gedächtnis dient als Speicher eingehender sensorischer Informationen, wobei die noch unverarbeiteten Repräsentationen eher kurz gehalten werden. Der Nutzen dieser Gedächtniskomponente besteht darin, einen sensorischen Stimulus so lange zu erhalten, bis dieser den Wahrnehmungsprozessen zugeführt werden kann. Für jeden unserer fünf Sinne gibt es eine verschiedene Form des sensorischen Gedächtnisses (Friedenberg & Silverman, 2006). Das Langzeitgedächtnis stellt ein System dar, in dem Erinnerungen über Tage, Monate oder gar Jahre hinweg gespeichert werden, wodurch sich viele erwachsene Personen noch an Ereignisse aus der Kindheit zurückerrinnern können. Im Gegensatz zum sensorischen Gedächtnis und zum Langzeitgedächtnis ist das Arbeitsgedächtnis die Instanz, in der das bewusste Denken stattfindet (Friedenberg & Silverman, 2006; Bear et al., 2009). Diese Eigenschaft des Arbeitsgedächtnisses hebt seine Relevanz für die bewusste Durchführung aller Tätigkeiten hervor, bei denen meist unterschiedliche sensorische Reize auf uns wirken.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu untersuchen, wie multisensorische Informationen insbesondere im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden und welche Rolle multimodale Aufmerksamkeitsprozesse dabei spielen.

## 1.2. Arbeitsgedächtnis und Modelle

Unter dem Begriff Arbeitsgedächtnis werden neuronale Strukturen zusammengefasst, die Repräsentationen im Gedächtnis so speichern, dass sie für mentale Operationen direkt zur Verfügung stehen (Zimmer, 2010). Zudem können in dieser Gedächtniskomponente Informationen temporär gehalten werden. Diese Eigenschaften geben zu verstehen, dass das Arbeitsgedächtnis sowohl an allen aktiven als auch an passiven Gedächtnisprozessen

beteiligt ist. Aufgrund seiner limitierten Kapazität liegt die Anzahl bei etwa drei bis vier zu erinnernden Elementen, wobei diese Angabe mit dem Aufgabentyp einer Gedächtnisaufgabe variieren kann (Luck & Vogel, 1997). Im Arbeitsgedächtnis gespeicherte Informationen können nur durch einen Wiederholungsprozess (*Rehearsal*) aufrechterhalten werden. Das verbale Rehearsal bezeichnet dabei einen aktiven, artikulatorischen Mechanismus, der in einem phonologischen Speicher temporär gehaltene Informationen sozusagen auffrischt (Baddeley, 1986). Im Allgemeinen hilft uns das Arbeitsgedächtnis dabei, unsere Umwelt mental zu repräsentieren, neues Wissen zu erwerben, Probleme zu lösen, sowie aktuelle Ziele zu verwirklichen (Baddeley & Logie, 1999).

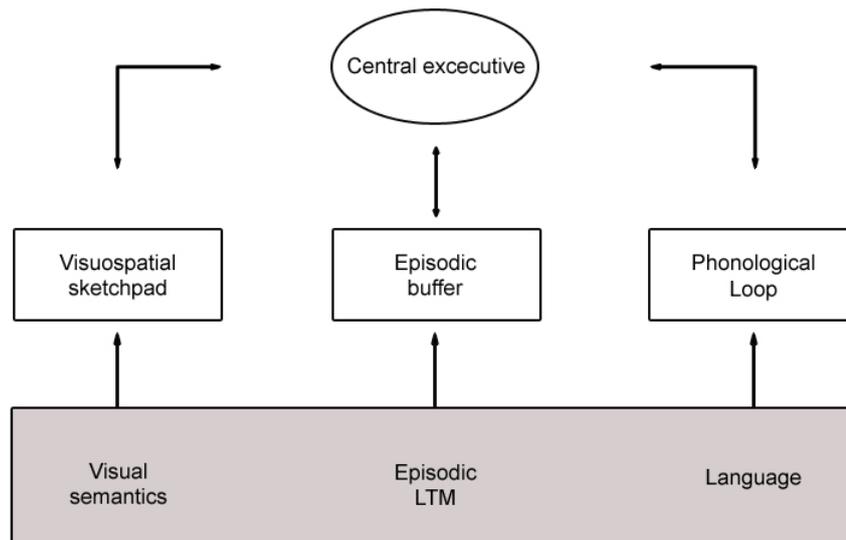
### 1.2.1. Multikomponenten-Modell

Die Forschung der vergangenen Jahre hat zur Entwicklung unterschiedlicher Arbeitsgedächtnismodelle beigetragen. Eines der bekanntesten Modelle ist das klassische Multikomponenten-Modell des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley & Hitch (1974), (Abbildung 1.1). In diesem Modell wurde zunächst die Aufteilung des Arbeitsgedächtnisses in zwei verschiedene, unabhängige Subsysteme postuliert:

1. den räumlich-visuellen Notizblock (*visual sketch pad*) für die Verarbeitung räumlich-visueller Information und
2. die phonologische Schleife (*phonological loop*) für sprachbezogene Information.

Diese beiden spezialisierten Gedächtnissysteme werden von einer zentralen Exekutive kontrolliert und reguliert (Baddeley & Logie, 1999).

In einer späteren Erweiterung des Modells wurde zusätzlich auf die Existenz des episodischen Puffers hingewiesen, welcher als temporärer Speicher fungiert und auf einem multimodalen Code basiert (Baddeley, 2000). Somit werden Informationen aus verschiedenen sensorischen Quellen innerhalb einer Episode integriert, welche dann vorübergehend im episodischen Puffer gespeichert werden kann.

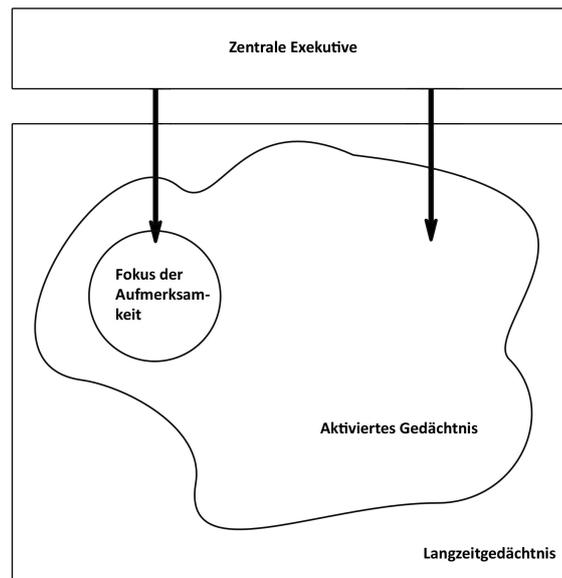


**Abbildung 1.1.** – Schematische Darstellung des Multikomponentenmodells des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley und Hitch. Zu den drei Hauptkomponenten zählen der räumliche Notizblock, der episodische Puffer und die phonologische Schleife, wobei diese Komponenten von der zentralen Exekutiven kontrolliert und reguliert werden. Zudem interagieren die Elemente des Arbeitsgedächtnisses mit kognitiven Systemen, die Informationen aus dem Langzeitgedächtnis repräsentieren. Geändert nach Baddeley (2003).

### 1.2.2. Das Embedded-Process-Modell

Neben dem Multikomponenten-Modell trägt auch das Embedded-Process-Modell nach Cowan (1999) zum grundlegenden Verständnis des Arbeitsgedächtnisses bei.

Diesem Modell zufolge besteht die Funktion des Arbeitsgedächtnisses hauptsächlich darin, im Langzeitgedächtnis gespeicherte Informationen aktiv zu halten, um eine gute Zugänglichkeit zu diesen Informationen zu gewährleisten (Abbildung 1.2). Demnach können mentale Repräsentationen aus dem Langzeitgedächtnis auf kognitive Prozesse wie z.B. Problemlösung oder Entscheidungsfindung, Einfluss nehmen. Unter der Auffassung dieses Modells werden dem Arbeitsgedächtnis alle zu einem gegebenen Zeitpunkt aktivierten Gedächtniselemente zugeschrieben, wobei die Aktivierung in der Zeit limitiert ist. Außerdem kann sich immer nur eine Teilmenge der aktivierten Gedächtnisrepräsentationen im Fokus der Aufmerksamkeit befinden. Wenn mentale Elemente aus dem Langzeitgedächtnis aktiviert werden und an einer kognitiven Operation beteiligt sind, gelangen sie in den Fokus der Aufmerksamkeit. Da dieser jedoch eine limitierte Kapazität aufweist, liegt die Grenze bei etwa vier zu erinnernden Elementen. Die Kontrolle des Aufmerksamkeitsfokus kann zum einen freiwillig erfolgen, wenn ein zentrales exekutives System zum Tragen kommt und zum anderen unfreiwillig, wenn die Aufmerksamkeit über ein weiteres System ausgerichtet wird (Cowan, 1999; Karnath & Thier, 2012).



**Abbildung 1.2.** – Das Embedded-Process-Modell nach Cowan. In diesem Modell umfasst das Arbeitsgedächtnis alle zu einem gegebenen Zeitpunkt aktivierten Gedächtniselemente. Mentale Repräsentationen gelangen in den Fokus der Aufmerksamkeit, wenn sie direkt an kognitiven Operationen beteiligt sind. Geändert nach Cowan (1999).

### 1.3. Aufmerksamkeit

Aufmerksamkeit geht mit jenen Prozessen einher, die eine selektive Verarbeitung eingehender sensorischer Reize ermöglichen. Solche Mechanismen helfen uns Stimuli zu priorisieren, die für aktuelle Aufgaben und Ziele von Bedeutung sind. Möglicherweise manifestieren sich Aufmerksamkeitsprozesse darin, dass nur eine Teilmenge der zu einem Zeitpunkt präsentierten Reize eine Änderung der Signalverarbeitung bewirkt (Spence, 2010). Stimuli, auf die wir unsere Aufmerksamkeit richten, scheinen gründlicher und schneller verarbeitet zu werden, als andere Stimuli (Posner, 1978; Spence & Parise, 2010).

Es wird zwischen einer endogenen und einer exogenen Form der Aufmerksamkeit unterschieden. Wenn die Ausrichtung der Aufmerksamkeit von inneren Zuständen oder Prozessen bestimmt wird, ist sie endogen. Dies ist in etwa der Fall, wenn man sich in einer lauten Umgebung auf das Gespräch mit einer Person konzentriert. Bestimmen auffallende äußere Reize die Ausrichtung der Aufmerksamkeit, so beschreibt dies die exogene Form. Ein Beispiel hierfür wäre ein unerwartetes Ereignis, wie das plötzliche Hören des eigenen Namens in einer lauten Umgebung (Spence, 2010).

Nachdem sich Forscher lange Zeit damit befasst haben, wie verschiedene Eingänge innerhalb einer sensorischen Modalität selektiert werden, ist in den vergangenen Jahren vielmehr das Interesse an multimodalen Aufmerksamkeitsprozessen gestiegen (Spence & Driver, 2004). Die zentrale Frage ist, in welchem Ausmaß eine Person ihre Aufmerksamkeit selektiv auf eine bestimmte Sinnesmodalität lenken kann und wie dieser Prozess mit den Kosten der

Verarbeitung anderer Sinnesmodalitäten einhergeht (Spence, 2010). Allerdings scheinen Menschen eine Präferenz dafür zu haben, ihre Aufmerksamkeitsressourcen bevorzugt auf visuelle Stimuli zu lenken. Diese Behauptung der visuellen Dominanz wird durch den „Colovita-Effekt“ unterstützt (Colovita, 1974). Demnach scheitern Probanden typischerweise daran, auf einen auditiven Reiz zu antworten, wenn dieser simultan mit einem visuellen Reiz präsentiert wird. Laut Ernst und Bank hängt die Dominanz einer Modalität von der Varianz ab, mit der die perzeptuelle Einschätzung verbunden ist (Ernst & Banks, 2002).

Aufgrund der Ergebnisse verschiedener Studien die auf Verhaltensaufgaben basieren weiß man, dass es leichter ist, die Aufmerksamkeit zwischen verschiedenen Sinnesmodalitäten zu teilen, als innerhalb einer Sinnesmodalität (Hancock et al., 2007). Die Folgen geteilter Aufmerksamkeit werden häufiger in Identifikations- und Unterscheidungsaufgaben beobachtet, als bei reinen Detektionsaufgaben (Bonell & Hafter, 1998). Außerdem scheinen die Effekte multimodaler Aufmerksamkeit von der Komplexität der Eigenschaften eines Stimulus abhängig zu sein (Treisman & Davies, 1973).

### 1.3.1. Multimodale Aufmerksamkeit

Wenn wir unsere Augen und den Kopf beziehungsweise die Hände in eine andere Position verlagern, um einen Umweltstimulus genauer zu verarbeiten, richten wir unsere Aufmerksamkeit offen (*overt*) aus. Im Gegensatz dazu wird von verdeckter Aufmerksamkeit (*covert*) gesprochen, wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf etwas lenken, ohne die Sinnesorgane direkt auf den Stimulus auszurichten. Dabei steuern meist dieselben neuronalen Strukturen sowohl offene als auch verdeckte Aufmerksamkeitsprozesse (Rorden & Driver, 1999). Um multimodale selektive Aufmerksamkeit genauer zu erforschen, eignet sich die verdeckte Form besonders gut (Spence, 2010). Der Begriff der multimodalen Aufmerksamkeit beschreibt folgende Gegebenheit: die Ausrichtung der Aufmerksamkeit einer Person innerhalb einer Sinnesmodalität verschiebt sich gleichzeitig hin zu mehreren Sinnesmodalitäten (Turatto et al., 2005). Dabei wird die Frage aufgeworfen, wie die Ressourcen der Aufmerksamkeit im Gehirn koordiniert und zwischen den verschiedenen räumlichen Sinnesmodalitäten (Sehen, Hören, Tasten etc.) verknüpft werden. Ein komplexer mentaler Prozess scheint es zu ermöglichen, dass Personen aus einer ganzen Menge an gleichzeitig eintreffenden Informationen nur eine Teilmenge an Stimuli herausfiltern können (Spence, 2010).

### 1.3.2. Modelle multimodaler Aufmerksamkeit

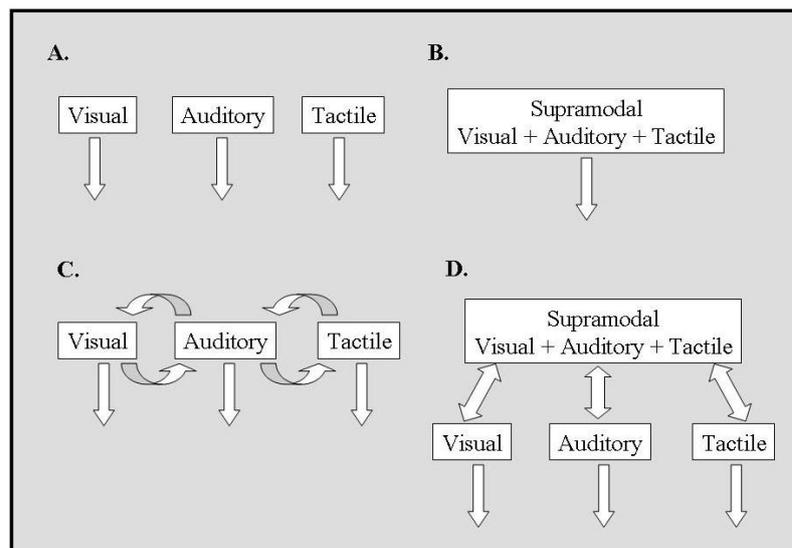
Zum besseren Verständnis der Inhalte multimodaler Aufmerksamkeit wurden mehrere Modelle entwickelt. Diese beschreiben, wie die Aufmerksamkeitssysteme unterschiedlicher Sinnesmodalitäten im Gehirn koordiniert sein könnten, wenn von multisensorischer Verarbeitung gesprochen wird (Abbildung 1.3).

Laut dem Modell der modalitätsspezifischen Ressourcen der Aufmerksamkeit (Abbildung 1.3A) gibt es im menschlichen Gehirn unabhängige visuelle, auditorische und taktile Aufmerksamkeitssysteme (Hancock et al., 2007). Es existieren keine multimodalen Verbindungen, so dass man die Aufmerksamkeit gleichzeitig in verschiedene sensorische Richtungen lenken könnte.

In Abbildung 1.3B wird das Modell eines supramodalen Aufmerksamkeitssystems im Gehirn postuliert. Es besagt, dass eine Person ihre Aufmerksamkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt immer nur auf einen einzigen Ort richten kann und eine räumlich geteilte Aufmerksamkeit nicht möglich ist. Alle Stimuli, die innerhalb eines Ortes präsentiert sind, auf den die Aufmerksamkeit gerichtet ist, werden gegenüber Stimuli eines anderen Ortes bevorzugt verarbeitet (Farah et al., 1989). Die Ergebnisse von Verhaltensexperimenten lassen annehmen, dass es für das Modell des supramodalen Aufmerksamkeitssystems sowie für das der modalitätsspezifischen Ressourcen der Aufmerksamkeit eher wenig Evidenz gibt (Spence, 2010).

Das Modell in Abbildung 1.3C basiert auf der „separat-aber-verbunden“-Hypothese. Diese besagt, dass es in den frühen Stadien der Informationsverarbeitung getrennte Aufmerksamkeitssysteme für die unterschiedlichen Sinnesmodalitäten gibt (Spence & Driver, 1996). Die verschiedenen Aufmerksamkeitssysteme werden erst später verlinkt, so dass sich die Aufmerksamkeit nicht zwingend auf einen Ort beschränken muss. Die „separat-aber-verbunden“-Hypothese wird beispielsweise dadurch gestützt, dass Personen ihre räumliche Aufmerksamkeit zur gleichen Zeit in verschiedene Richtungen und auf verschiedene Modalitäten lenken können (wenn auch mit verringerter Effizienz).

Ein weiterer Ansatz (Abbildung 1.3D) beruht auf einer Kombination zweier Modelle. Er umfasst eine ineinandergreifende Form des Modells der modalitätsspezifischen Ressourcen und ein supramodales Aufmerksamkeitssystem (Posner, 1990).



**Abbildung 1.3.** – Modelle multimodaler Aufmerksamkeit. (A.) Modell der modalitätsspezifischen Ressourcen, (B.) Modell eines supramodalen Aufmerksamkeitssystems, (C.) Modell der „separat-aber-verbunden“-Hypothese und (D.) Kombination aus den Modellen (A.) und (B.) aus Spence (2010).

Multimodale Verlinkungen gibt es sowohl bei endogener als auch bei exogener räumlicher Aufmerksamkeit und zwischen allen möglichen Kombinationen von Sinnesmodalitäten (Spence, 2010).

## 1.4. Befunde bezüglich multimodaler Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis

Anhand mehrerer Experimente wurde untersucht, wie sich bimodale Stimulationen im Gegensatz zu unimodalen Stimulationen auf die Leistung des Arbeitsgedächtnisses auswirken. In vielen Fällen konnte ein Vorteil nachgewiesen werden, wenn Reize bei Gedächtnisaufgaben in zwei unterschiedlichen Sinnesmodalitäten dargeboten wurden (Mastroberardino et al., 2008). Diese Forschungsergebnisse ließen weitere Fragen aufkommen. So war es beispielsweise zunächst unklar, ob sich das Format der Gedächtnisrepräsentation (Sinnesmodalität) und der Inhalt der präsentierten Stimuli zusätzlich auf die Arbeitsgedächtnisleistung auswirken (Mastroberardino et al., 2008).

Als Crowder & Morton (1969) untersuchten, ob verschiedene sensorische Modalitäten im Gedächtnis auch unterschiedlichen Verarbeitungspfaden zugeordnet werden, stießen sie auf den sogenannten „modality effect“. Dieser Effekt besagt, dass auditives Material in „serial-recall Tasks“ gegenüber visuellem Material im Vorteil ist. Weitere Forschungen auf diesem Gebiet ergaben, dass der kritische Aspekt dabei nicht die auditive Form der Repräsentation ist, sondern ob das Stimulusmaterial im Gehirn als gesprochene Sprache codiert wird oder nicht (Campbell & Dodd, 1980). Auf dieser Argumentation aufbauend wurde die Sprach-Verarbeitungs-Hypothese aufgestellt, welche die Behauptung stützt, dass der Inhalt der Stimuli die Arbeitsgedächtnisleistung beeinflusst.

De Gelder & Vroomen (1994) untersuchten in einem Experiment die Auswirkung des Formats der Stimuluspräsentation. Dazu verwendeten sie zwei Sprachelement-basierte Formate (geschriebene und gesprochene Wörter) und zwei Elemente, die keine Sprache enthielten (Umweltgeräusche und Zeichnungen). Die Versuchsteilnehmer sollten eine Reihe zu erinnernder Elemente im Umfang eines „Recall Tasks“ wiedergeben. Die Reize wurden zunächst nur in einer Sinnesmodalität präsentiert. Das Ergebnis zeigte unter Betrachtung des sogenannten „recency effects“ einen klaren Vorteil für gesprochene Wörter. Dieser Effekt besagt, dass bei „Recall Tasks“ solche Elemente besser erinnert werden können, die am Ende einer Liste zu erinnernder Elemente aufgeführt werden. Für gedruckte Wörter und Zeichnungen konnte kein Vorteil beobachtet werden, wobei Umweltgeräusche bei den Versuchspersonen zu einer mittleren Leistung führten. Dies ließ die Autoren annehmen, dass sich der Vorteil gesprochener Wörter aus der Kombination des auditiven Formats und dem des linguistischen Inhalts ergibt (De Gelder & Vroomen, 1994). Die Repräsentation eines gespeicherten Elements im Gedächtnis beruht meist auf mehreren Eigenschaften. Demnach haben gesprochene Wörter zwei verschiedene Attribute: Das eine bezieht sich auf einen auditorisch-basierten Code und das andere auf einen Sprach-basierten Code. Geschriebene Wörter und Zeichnungen können weder auf auditorischer noch auf phonologischer Basis verarbeitet werden, wodurch der vorteilige Effekt negativ beeinflusst wird (Mastroberardino et al., 2008).

Im Allgemeinen erhöht sich die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses dann, wenn Material in mehr als einer Sinnesmodalität präsentiert wird (Mastroberardino et al., 2008). Die „dual code“-Theorie besagt, dass Gedächtnisspuren eine Ansammlung von Modalitäten und Komponenten sind, die unabhängig voneinander abgerufen werden können. Dabei wird die Existenz eines verbalen und eines non-verbalen Subsystems angenommen (Baddeley & Hitch,

1974). Laut dieser Theorie können bimodal präsentierte Reize leichter abgerufen werden als solche, die in nur einer Sinnesmodalität präsentiert werden. Diese These wird dadurch untermauert, dass bimodale Reize im Gehirn zweimal codiert werden und unimodale Reize nur einmal (Thompson & Paivio, 1994).

Jüngste Forschungsergebnisse weisen also darauf hin, dass bimodale Präsentationen von Reizen die Arbeitsgedächtnisleistung positiv beeinflussen. Dabei stellt sich die Frage, ob der bimodale Vorteil auch dann gewährleistet ist, wenn ausschließlich non-verbale (nicht-semantiche) Stimuli genutzt werden. Dies würde der „dual code“- Theorie insofern widersprechen, dass beide Stimuli im gleichen (non-verbale) Subsystem verarbeitet werden und die doppelte Codierung somit nicht mehr gegeben wäre (Mastroberardino et al., 2008). Santangelo et al. (2006) erbrachten den Beweis dafür, dass auch die Präsentation non-verbaler bimodaler Stimuli einen Vorteil der Arbeitsgedächtnisleistung bewirkt, verglichen mit unimodalen non-verbale Stimuli. Die visuellen Stimuli bestanden aus chinesischen Zeichen und die auditorischen Stimuli aus Musikfragmenten. Die Versuchspersonen führten einen „*n*-back Task“ durch und die Aufgabe war so konzipiert, dass jeweils keine Verbalisierung der Reize stattfinden konnte (Santangelo et al., 2006). Wenn in diesem Fall der visuelle Reiz dem visuell-räumlichen Notizblock zugeordnet wird, so bleibt offen, welchem Verarbeitungspfad ein non-verbaler auditiver Stimulus folgt. Das Multikomponenten-Modell nach Baddeley & Hitch (1974) beinhaltet hierfür kein geeignetes Subsystem.

Die Hypothese der vorliegenden Arbeit lautet, dass die Präsentation bimodaler Stimuli (auditiv und visuell) die Leistung des Arbeitsgedächtnisses in einem „*n*-back Task“ mit  $n = 2$  erhöht. Im Vergleich dazu steht die Arbeitsgedächtnisleistung bei der unimodalen Präsentation der Stimuli (visuell oder auditiv).

## 2. Material und Methoden

Für die Studie wurden Versuche durchgeführt, bei denen neben den Versuchspersonen verschiedene technische Mittel eingesetzt wurden. Diese sollen im Folgenden beschrieben werden.

### 2.1. Versuchspersonen

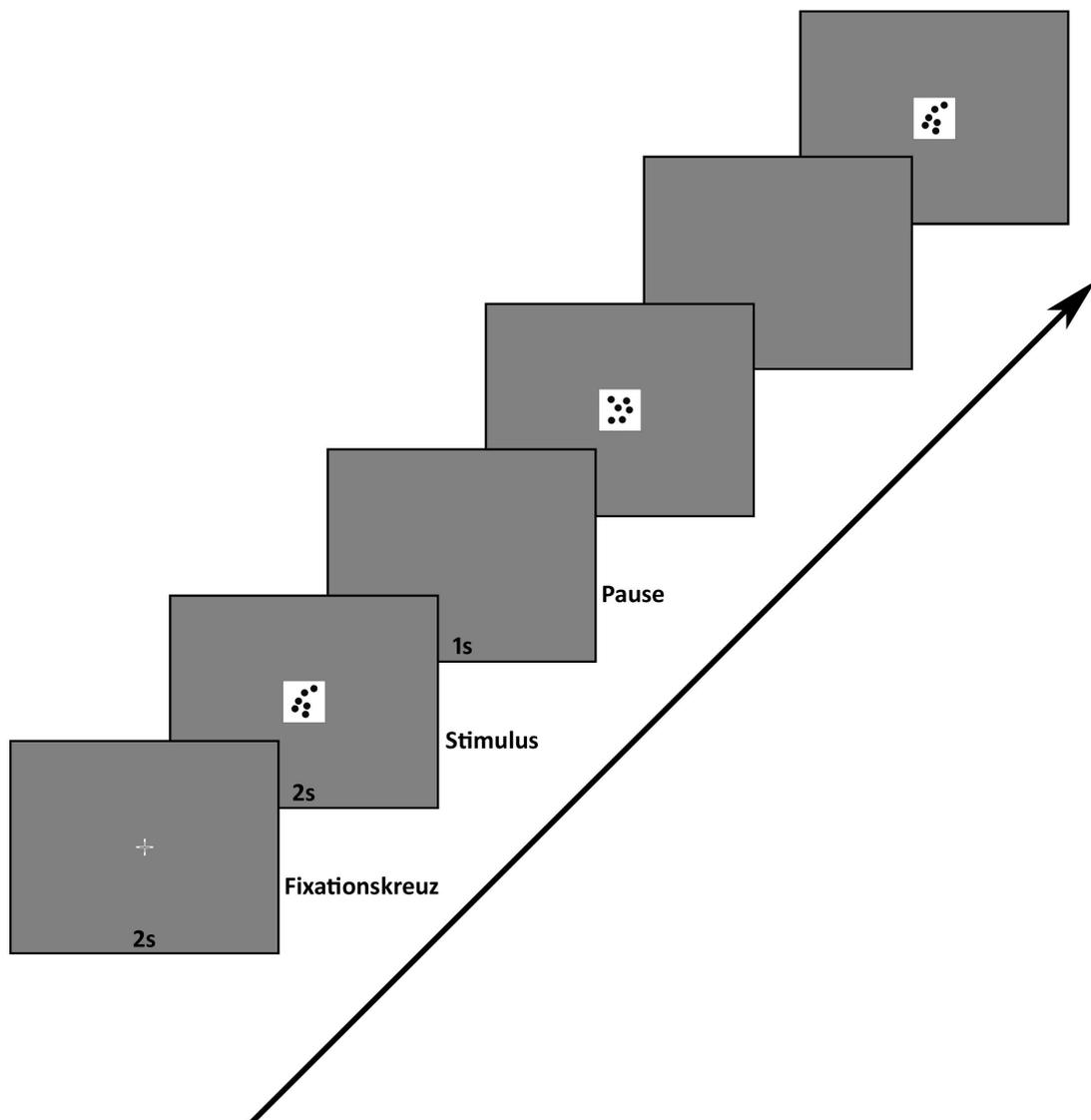
Die Durchführung des experimentellen Teils der Arbeit wurde mit Hilfe der Teilnahme von 30 Versuchspersonen verwirklicht. Dabei handelte es sich überwiegend um Studenten der Eberhard Karls Universität Tübingen und um Personen aus dem Bekanntenkreis. Das Alter der Versuchspersonen lag zwischen 20 und 57 Jahren (Durchschnittsalter: 24.4 Jahre). Es wurden keine besonderen Voraussetzungen an die Teilnehmer gestellt. Jedoch musste sichergestellt werden, dass alle Personen gegenüber des Versuchs naiv waren, um eine Beeinflussung der Daten durch Lerneffekte zu verhindern.

### 2.2. Software

Die für dieses Experiment benötigten sensorischen Stimuli wurden mit Hilfe der Software MATLAB<sup>®</sup> (Version R2012a) der Firma Mathworks<sup>©</sup> generiert. Das dafür notwendige Programm wurde von Dr. Gregor Hardiess bereitgestellt.

Nach dem Starten des Programms in MATLAB durchlief dies folgende Schritte: zu Beginn wurde auf dem Bildschirm eine kurze Anweisung zum bevorstehenden Versuch eingeblendet. Durch Drücken einer beliebigen Taste konnte die Versuchsperson das Experiment starten. In der Mitte des Bildschirms erschien zunächst für zwei Sekunden ein Fixationskreuz zur Fokussierung der Aufmerksamkeit des Beobachters, bevor an dieser Stelle eine hintereinander folgende Sequenz von 60 aufeinanderfolgenden Stimuli (Sequenzblock) eingeblendet wurde (s. Abbildung 2.1). Dabei gab es pro Sequenzblock sechs verschiedene Stimuli, die innerhalb der Sequenz in einer festgelegten Reihenfolge angezeigt wurden. Jeder Stimulus wurde über eine Dauer von zwei Sekunden präsentiert, wobei zwischen zwei aufeinander folgenden Stimuli eine Pause (grauer Bildschirm) von einer Sekunde lag. Um das Antwortverhalten der Probanden aufzeichnen zu können wurde eine Funktion implementiert, die über die Computer-Maus ankommende Signale registrierte. Dabei wurde insbesondere festgehalten, welche Taste betätigt wurde und zu welchem Zeitpunkt die Antwort erfolgte. Dies ermöglichte eine Messung der Reaktionszeit. Eine Aufzeichnung der Antwort war sowohl während der Stimuluspräsentation, als auch in der Pause danach möglich.

Das Programm erzeugte die Stimuli mit Hilfe der Psychtoolbox 3, die zur Generierung psychophysischer Reize dient. Insgesamt umfasste es fünf Sequenzblöcke mit jeweils 60 Stimuli. Nach Absolvieren eines Blockes erschien auf dem Monitor ein kurzer Hinweis darüber, dass der Block beendet ist und die Versuchsperson den nächsten Block durch Drücken einer beliebigen Taste beginnen kann. Waren alle fünf Blöcke absolviert, erhielt die Versuchsperson diese Information über einen kurzen Text auf dem Bildschirm. Durch das Drücken einer beliebigen Taste beendete das Programm dann den Versuch und speicherte die Daten in Form einer Textdatei ab.



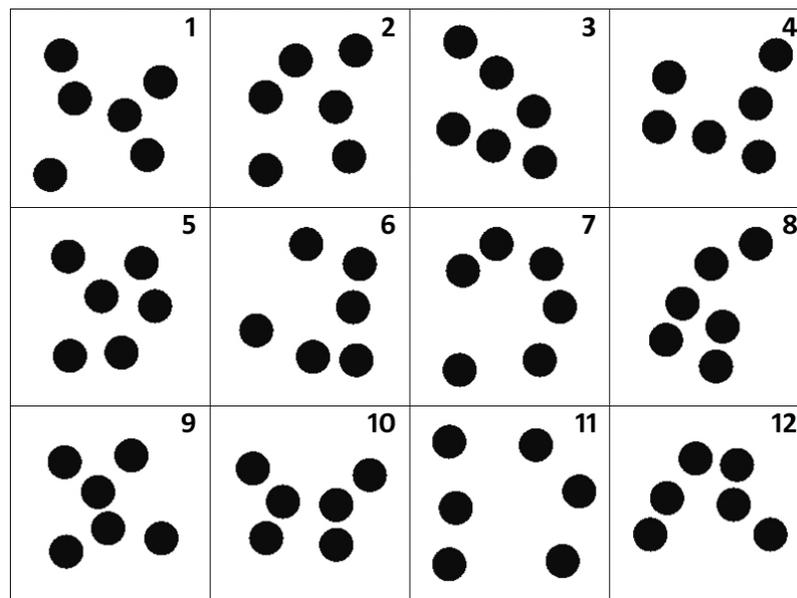
**Abbildung 2.1.** – Ausschnitt aus dem Versuchsablauf des Hauptexperimentes in der visuellen Bedingung. Auf das in der Mitte des Bildschirms für zwei Sekunden angezeigte Fixationskruz folgte in jedem Versuchsblock eine Sequenz von 60 hintereinander folgenden Stimulusbildern. Jedes Bild wurde für zwei Sekunden eingeblendet, wobei zwischen zwei Bildern eine Pause von einer Sekunde lag, in der nur der graue Hintergrund zu sehen war.

### 2.3. Stimuli

Die Durchführung des Versuches erforderte Stimuli in drei verschiedenen Kombinationen der Sinnesmodalitäten: visuell, auditiv und audiovisuell. Es gab also drei unterschiedliche Versuchsbedingungen.

Das Fixationskreuz, das zu Beginn des Versuches auf dem Bildschirm erschien, stellte ein schwarzes Kreuz mit weißem Rahmen dar. Dieses Kreuz und die darauf folgenden Stimuli wurden in der Mitte eines grauen Hintergrundes eingeblendet (siehe Abbildung 2.1).

Die visuellen Reize wurden mit der Software Adobe Photoshop erzeugt. Sie bestanden jeweils aus einem Punktmuster (zusammengesetzt aus sechs schwarzen Punkten), das sich in einem Quadrat mit weißer Füllfarbe befand. Es gab insgesamt zwölf verschiedene visuelle Stimuli, die sich in der Anordnung der schwarzen Punkte unterschieden (Abbildung 2.2). Die Längen der Quadrate betragen 5.85 cm und die Punkte hatten einen Durchmesser von 1 cm, wobei die Quadrate in einem Winkel von  $11.16^\circ \times 11.16^\circ$  gesehen wurden. Von den zwölf verfügbaren Bildern wurden jedem Sequenzblock sechs Bilder randomisiert zugeordnet. Der Grund weshalb im vorliegenden Versuch mit diesen Punktmustern gearbeitet wurde lag darin, eine Verbalisierung, wie sie in etwa bei Bildern von bekannten Objekten möglich gewesen wäre, zu unterdrücken.



**Abbildung 2.2.** – Stimulusbilder 1 bis 12 für das Hauptexperiment in der visuellen und audiovisuellen Bedingung. Für jeden der fünf Sequenzblöcke wurden daraus sechs Bilder randomisiert ausgewählt.

Für die auditiven Stimuli wurden Tonstufen aus der Pentatonik verwendet. Diese Tonleiter gewährleistet eine gute psychophysische Unterscheidbarkeit, weil in ihr keine Halbtonschritte vorkommen. Sie besteht aus den fünf Tönen c, d, e, g, a, wobei der Ton „c“ einer harmonischen Schwingung mit einer Frequenz von 262 Hz entspricht. In der Musik bezeichnet man

den Ton, dessen Frequenz gerade das Doppelte der Frequenz des Ausgangstones ist, als Oktave. Dieses Tonintervall wird in zwölf Frequenzen unterteilt, die sich jeweils um den Faktor  $\sqrt[12]{2}$  unterscheiden. Demnach bilden diese Frequenzen die Ganz- und Halbtöne der zwölfstufigen Tonleiter. Um von einem Ton auf einen Halbton höher zu gelangen, muss die Frequenz des Ausgangstones mit dem Faktor  $\sqrt[12]{2}$  multipliziert werden.

Der Ton „c“ könnte von Versuchspersonen mit guter musikalischer Kenntnis möglicherweise als solcher erkannt und somit verbalisiert werden. Um dies zu verhindern, wurde die Frequenz von 262 Hz leicht abgewandelt und in diesem Versuch auf 300 Hz festgelegt. Ausgehend von dieser Frequenz wurden die Frequenzen für die weiteren Töne wie oben beschrieben berechnet (siehe Tabelle 2.1). Da für das Experiment sechs Töne benötigt wurden, entspricht der sechste Ton einer leicht abgewandelten Form des „c<sup>2</sup>“.

Ton	Frequenz [Hz]	Anzahl Halbtonstufen bis zum nächsten Ton
c <sup>1</sup>	300	2
d <sup>1</sup>	337	2
e <sup>1</sup>	378	3
g <sup>1</sup>	450	2
a <sup>1</sup>	504.5	3
c <sup>2</sup>	600	2

**Tabelle 2.1.** – Tonfrequenzen der für die auditiven Stimuli verwendeten Töne. Die Tonstufen geben an, wie viele Halbtöne ein Ausgangston vom nächst höher gelegenen Ton innerhalb der pentatonischen Tonleiter entfernt liegt.

Die audiovisuellen Reize wurden durch eine Kombination (pro Sequenzblock wurden neue Kombinationen erstellt) aus den bereits beschriebenen Tönen und Punktmustern gebildet. Pro Sequenzblock waren die Ton-Muster-Assoziationen stets gleich.

### 2.4. Versuchsaufbau

Der Versuch wurde in einem Versuchsraum mit gedimmtem Licht durchgeführt. Das Programm kann auf jedem handelsüblichen Computer abgespielt werden. Für dieses Experiment wurde ein Computer der Firma hp mit dem Betriebssystem Windows XP verwendet. Der PC war an einen Monitor der Firma Samsung, Modell SyncMaster 931BF, mit einer Bildschirmdiagonale von 19 Zoll angeschlossen und an eine gewöhnliche Computertastatur. Die Auflösung des Bildschirms betrug  $1280 \times 1024$  Pixel. Die Kopfhörer, über welche die auditiven Stimuli gehört wurden, stammen von der Firma VIVANCO, Modell SR 30 PRO.

## 2.5. Versuchsablauf

Die 30 Versuchsteilnehmer wurden in drei verschiedene Versuchsgruppen á zehn Personen eingeteilt. Jeder Gruppe wurde eine unterschiedliche sensorische Bedingung zugeordnet (visuell, auditiv, audiovisuell). Zu jedem Probanden wurden Teilnahmedatum, Alter, Geschlecht und die zugehörige Versuchsbedingung notiert.

Das Experiment selbst konnte in zwei verschiedene Versuchsabschnitte gegliedert werden. Zunächst führte jede Versuchsperson den „Corsi-Block-Tapping Task“ (Corsi, 1972) in einer abgewandelten Form durch. Dabei mussten auf dem Bildschirm eingeblendete Sequenzen nach einer kurzen Pause korrekt reproduziert werden. Diese Aufgabe ermöglichte die Messung eines Wertes für die Arbeitsgedächtnisspanne, der sich wie folgt berechnet:

$$\text{WM span} = \frac{9 + \text{Anzahl korrekt reproduzierter Sequenzen}}{3} \quad (2.1)$$

Vor Beginn des zweiten Versuchsteils, welcher das Hauptexperiment darstellte, wurde jedem Probanden eine schriftliche Instruktion zur entsprechenden Versuchsbedingung vorgelegt (siehe Anhang). Anschließend wurden ungeklärte Fragen nochmals ausführlich besprochen.

Die Aufgabe der Probanden bestand darin, einen „ $n$ -back Task“ mit  $n = 2$  durchzuführen. Das bedeutet, dass die Versuchsperson bewerten musste, ob ein momentan präsentierter Stimulus mit dem vorletzten Stimulus übereinstimmte. War dies der Fall, so sollte mit der linken Maustaste geantwortet werden, ansonsten sollte eine Antwort mit der rechten Maustaste erfolgen. Die Tabellen 2.2 und 2.3 zeigen für die Sequenzblöcke 1 bis 5, an welchen Stellen innerhalb der Sequenz ein momentan präsentierter Reiz mit dem vorletzten Reiz identisch war. Wenn in einem Sequenzblock die Präsentation der ersten 30 Stimuli erfolgt war, wiederholte sich die Verteilung der Übereinstimmungen für die weiteren 30 Stimuli. Nachdem das Experiment beendet war, füllte jede Versuchsperson einen Fragebogen aus. Dabei sollte neben allgemeinen Anmerkungen ein Schwierigkeitsgrad angegeben werden und ob die Probanden während des Versuches bestimmte Strategien entwickelten (siehe Anhang).

Block/ Stimulus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1			×			×		×			×				×
2				×			×						×		×
3			×	×			×			×		×			×
4			×		×		×			×			×		
5				×			×		×		×			×	

**Tabelle 2.2.** – Verteilung der Übereinstimmungen von Sequenzblock 1 bis 5 für die Stimuli 1 bis 15. Dabei bedeutet jede Übereinstimmung, dass ein Bild, ein Ton, oder ein Ton-Musterpaar mit dem vorletzten Stimulus identisch war.

Block/ Stimulus	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1		×		×		×			×				×		
2			×			×			×			×			
3			×		×			×				×		×	
4		×		×		×			×		×		×		×
5			×			×		×			×				

**Tabelle 2.3.** – Verteilung der Übereinstimmungen von Sequenzblock 1 bis 5 für die Stimuli 16 bis 30. Dabei bedeutet jede Übereinstimmung, dass ein Bild, ein Ton, oder ein Ton-Musterpaar mit dem vorletzten Stimulus identisch war.

## 2.6. Datenauswertung

Der Hauptteil dieses Versuches konnte als Signaldetektionsaufgabe interpretiert werden. Für die Auswertung der Daten wurde angenommen, dass die psychophysische Wahrnehmung der Stimuli der Signaldetektionstheorie (SDT) nach Green & Swets (1966) folgt.

Gemäß dieser Theorie wird die Güte der Leistung einer Versuchsperson durch den Sensitivitätsindex  $d'$  (*d-prime*) angegeben. Dieser Wert wird über folgende  $z$ -Werte berechnet:

$$d' = z(\text{pH}) - z(\text{pFA}) \quad (2.2)$$

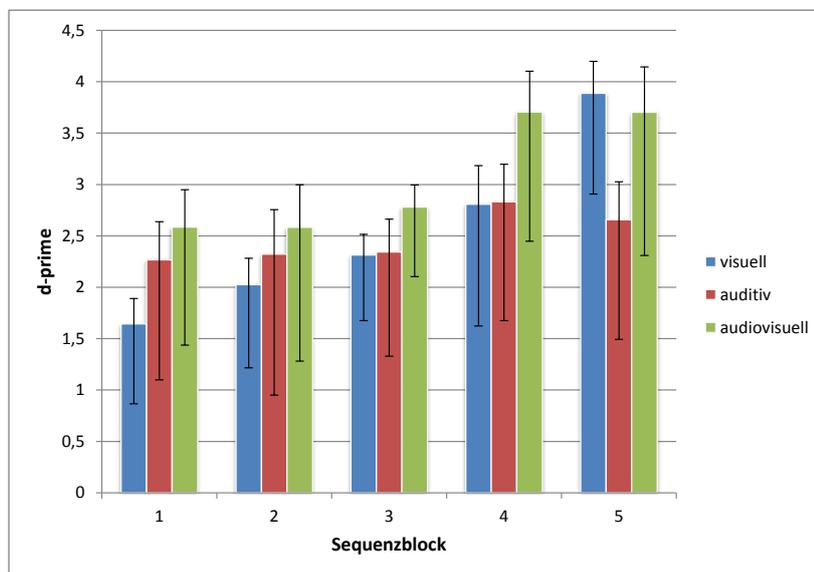
Dabei ist pH die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Versuchsperson eine Übereinstimmung zweier Stimuli in dem „2-back Task“ auch als solche erkennt. Die Wahrscheinlichkeit pFA bezieht sich darauf, dass eine Versuchsperson mit einer Übereinstimmung antwortet, obwohl diese nicht vorhanden ist. Je höhere Werte  $d'$  annimmt, desto besser ist die Qualität der Leistung des Beobachters (s. SDT). Die Berechnung der Sensitivitätsindices erfolgte über ein Programm in MATLAB, das pro Versuchsperson einen Wert für  $d'$  für jeden der 5 Sequenzblöcke berechnete. Für die weitere Datenauswertung wurde mit Excel 2010 und IBM SPSS statistics 20 gearbeitet. Die paarweisen Vergleiche der mit SPSS durchgeführten Varianzanalysen (ANOVAs) wurden alle mit einem Bonferroni-Test korrigiert, sofern dies im Einzelnen nicht anders beschrieben wurde.

### 3. Ergebnisse

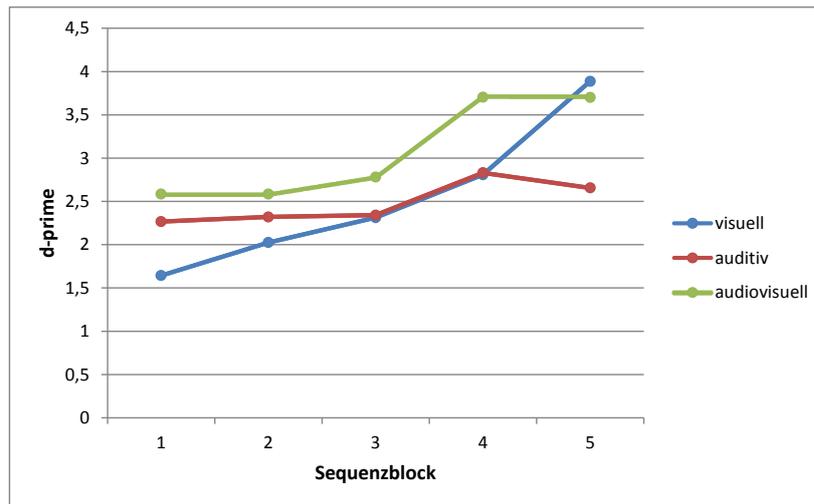
In diesem Teil werden die Ergebnisse für beide Versuchsteile aufgeführt. Diese geben einen Einblick darauf, inwiefern die Messgröße  $d$ -prime, welche die Güte der Arbeitsgedächtnisleistung reflektiert, durch unterschiedliche Faktoren (sensorische Bedingungen und Messwiederholungen) beeinflusst wurde. Außerdem wird der Einfluss der wiederholten Messungen und der sensorischen Versuchsbedingungen auf die Reaktionszeiten der Probanden dargestellt. Darüber hinaus soll gezeigt werden, in welchem Zusammenhang die unabhängig gemessenen Arbeitsgedächtnisspannen mit der Leistung des Arbeitsgedächtnisses ( $d$ -prime) stehen.

#### 3.1. Beeinflussung der Arbeitsgedächtnisleistung: ANOVA I

Die folgenden Ergebnisse beruhen auf einer Varianzanalyse (Mixed-ANOVA) mit zwei unabhängigen Faktoren (Innersubjekt-Faktor: Messwiederholung der Sequenzblöcke; Zwischensubjekt-Faktor: sensorische Bedingung), wobei in dieser ANOVA der Fokus auf dem Einfluss der wiederholten Messungen (je fünf Sequenzblöcke pro Experiment) auf die Messgröße  $d$ -prime lag.



**Abbildung 3.1.** – Balkendiagramm für die gemittelten  $d$ -prime Werte in den drei unterschiedlichen sensorischen Bedingungen. Jeder Balken stellt dabei den Wert für  $N = 10$  Personen, über den entsprechenden Sequenzblock hinweg gemittelt, dar. Negative Fehlerbalken geben die Standardabweichungen vom Mittelwert und positive Fehlerbalken den Standardfehler wieder.



**Abbildung 3.2.** – Liniendiagramm für die gemittelten  $d$ -prime Werte in den drei unterschiedlichen sensorischen Bedingungen. Jeder Datenpunkt stellt den Wert für  $N = 10$  Personen, über den entsprechenden Sequenzblock gemittelt, dar.

Die Abbildungen 3.1 und 3.2 zeigen die Mittelwerte der  $d$ -primes für alle drei Bedingungen, wobei diese für die Sequenzblöcke 1 bis 5 über zehn Versuchspersonen hinweg gemittelt wurden.

### 3.1.1. Einfluss der Messwiederholungen (Innersubjekt-Faktor)

Da jede Versuchsperson fünf Sequenzblöcke absolvierte, sollte untersucht werden, ob und wie sich die Arbeitsgedächtnisleistung (im „2-back Task“) über die Messwiederholungen hinweg veränderte. In diesem Fall zeigten die Ergebnisse der ANOVA, dass die wiederholte Messung über fünf Sequenzblöcke hinweg die Messgröße  $d$ -prime signifikant beeinflusste,  $F(4, 108) = 15.22, p < .01$ , was durch eine hohe Effektstärke von  $\eta_p^2 = .36$  unterstrichen wurde. Anhand von paarweisen Vergleichen konnte zwischen den Messungen folgender Sequenzblöcke ein signifikanter Effekt beobachtet werden: zwischen den Blöcken 1 und 4 ( $p < .01$ ), den Blöcken 1 und 5 ( $p < .01$ ), den Blöcken 2 und 4 ( $p < .05$ ), den Blöcken 2 und 5 ( $p < .05$ ), den Blöcken 3 und 4 ( $p < .05$ ) und den Blöcken 3 und 5 ( $p < .05$ ). Die Ergebnisse zeigen, dass Messwiederholungen v.a. in der visuellen, aber auch in der bimodalen Versuchsbedingung einen positiven Einfluss auf die Arbeitsgedächtnisleistung hatten. Während die Messwerte in der visuellen Bedingung einen fortwährenden Anstieg zeigten, stellte sich für die bimodale Bedingung ab dem vierten Sequenzblock eine Konstanz ein. In der auditiven Bedingung änderte sich der Wert für  $d$ -prime über die Sequenzblöcke 1 bis 3 nur minimal, wobei er von Block 4 auf Block 5 sogar abnahm (s. Abbildung 3.1 und 3.2).

### 3.1.2. Einfluss der sensorischen Bedingung (Zwischensubjekt-Faktor)

In diesem Abschnitt soll verdeutlicht werden, inwiefern die Leistung des Arbeitsgedächtnisses durch die Darbietung von Reizen in den beiden Sinnesmodalitäten (visuell oder auditiv)

und insbesondere durch die Präsentation eines, aus zwei Sinnesmodalitäten kombinierten Reizes (audiovisuell), beeinflusst wurde. Das Experiment lieferte dahingehend folgende Ergebnisse:

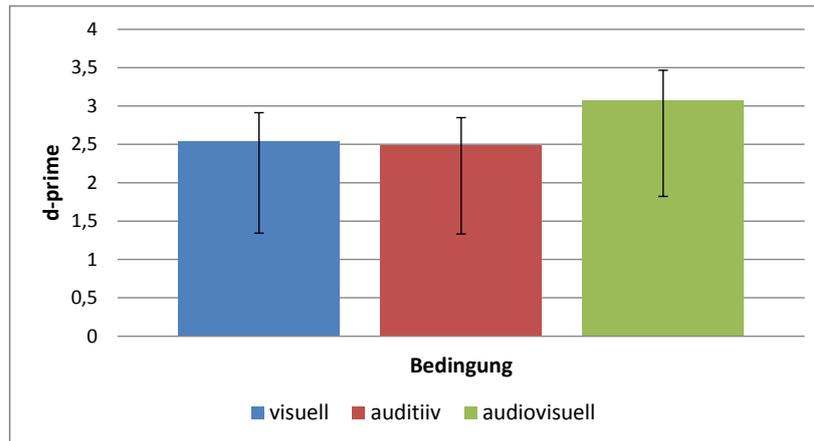
Der Haupteffekt der sensorischen Bedingung nahm keinen signifikanten Einfluss auf die Messgröße  $d$ -prime,  $F(2, 27) = 1.38, p = .26$ , mit einer mittleren Effektstärke von  $\eta_p^2 = .09$ . Auch durch die paarweisen Vergleiche der sensorischen Versuchsbedingungen konnten keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden: visuell und auditiv  $p = 1.0$ , visuell und audiovisuell  $p = .43$ , auditiv und audiovisuell  $p = .55$ . Die Sinnesmodalität eines Reizes scheint also in Anbetracht dieser Ergebnisse für die Arbeitsgedächtnisleistung nicht von signifikanter Relevanz zu sein, ebenso wie die Tatsache, dass ein Reiz unimodal oder bimodal präsentiert wird. Bei Betrachtung der Abbildungen 3.1 und 3.2 kann jedoch ein tendenzieller Vorteil für die audiovisuelle Bedingung erkannt werden. Der Mittelwert für  $d$ -prime war mit Ausnahme von Sequenzblock 5 für alle anderen Sequenzblöcke am höchsten, wenn man ihn mit dem mittleren Wert für die visuelle und die auditive Bedingung vergleicht. Außerdem scheint es für die Messwiederholungen 1 bis 4 einen nicht-signifikanten Vorteil der auditiven Bedingung gegenüber der visuellen Bedingung gegeben zu haben (wenn auch in Block 3 und 4 nur sehr gering).

### 3.1.3. Interaktion zwischen sensorischen Bedingungen und Messwiederholungen

Die Interaktion zwischen den Bedingungen und den wiederholten Sequenzblöcken war signifikant,  $F(8, 108) = 2.38, p < .05$ , mit einer Effektstärke von  $\eta_p^2 = .15$ . Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass sich die sensorischen Bedingungen untereinander über die Messblöcke hinweg signifikant voneinander unterschieden, bzw. die Arbeitsgedächtnisleistung signifikant beeinflussten.

## 3.2. Beeinflussung der Arbeitsgedächtnisleistung: ANOVA II

Diese Ergebnisse liegen einer ANOVA mit nur einem unabhängigen Faktor (sensorische Bedingung) zugrunde, wobei die einzelnen Werte für die Messgröße  $d$ -prime als unabhängig voneinander betrachtet wurden. Hierbei konnte insbesondere ein spezifischerer Einblick auf den Einfluss der unterschiedlichen sensorischen Bedingungen auf die Arbeitsgedächtnisleistung gewonnen werden.



**Abbildung 3.3.** – Balkendiagramm für die gemittelten  $d$ -prime Werte in den drei unterschiedlichen sensorischen Bedingungen. Dabei stellt jeder Balken den über 50  $d$ -primes gemittelten Wert innerhalb der jeweiligen sensorischen Bedingung dar, da die Werte der einzelnen  $d$ -primes hier als voneinander unabhängig angesehen wurden. Negative Fehlerbalken geben die Standardabweichungen vom Mittelwert und positive Fehlerbalken den Standardfehler wieder.

Die Abbildung 3.3 stellt die Mittelwerte über 50  $d$ -primes für jede sensorische Bedingung dar.

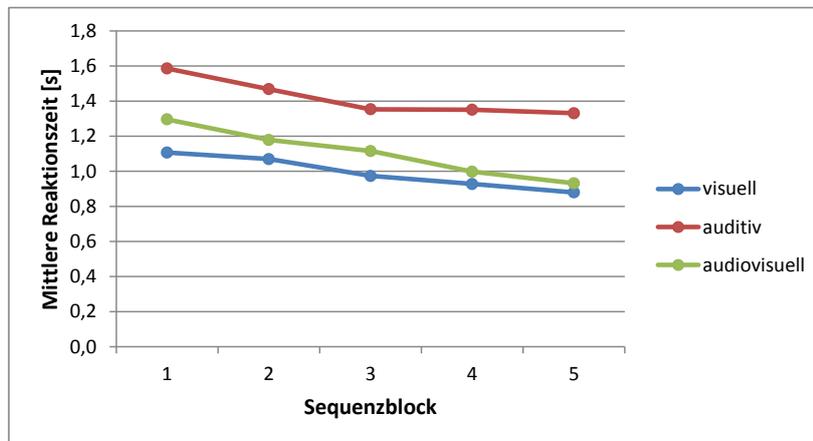
### 3.2.1. Einfluss der sensorischen Bedingung auf die Arbeitsgedächtnisleistung

Sofern alle gemessenen Werte für  $d$ -prime in den unterschiedlichen Versuchsbedingungen als voneinander unabhängig betrachtet wurden, konnte ein schwach signifikanter Einfluss der sensorischen Versuchsbedingung auf die Arbeitsgedächtnisleistung beobachtet werden,  $F(2, 147), p < .05$ . Die Effektstärke  $\eta_p^2$  betrug .05. Bei Betrachtung der Abbildung 3.3 ist zu erkennen, dass die audiovisuelle Bedingung die Messgröße  $d$ -prime positiver beeinflusste, als die visuelle oder die auditive Bedingung. Anhand der Mittelwerte konnte zusätzlich verdeutlicht werden, dass der mittlere Wert für die audiovisuelle Bedingung höher (wenn auch nur schwach signifikant) als der für die anderen Bedingungen war  $M_{\text{audiovisuell}} = 3.07$ ,  $M_{\text{visuell}} = 2.54$ ,  $M_{\text{auditiv}} = 2.48$  war. Ein paarweiser Vergleich der Versuchsbedingungen zeigte, dass nur die auditive und die audiovisuelle Reizpräsentation signifikant voneinander unterschiedliche Arbeitsgedächtnisleistungen bewirkten (visuell und auditiv  $p = 1.0$ , visuell und audiovisuell  $p = .08$  und auditiv und audiovisuell  $p < .05$ ).

## 3.3. Beeinflussung der Reaktionszeiten der Probanden

Während die Antworten der Versuchspersonen aufgezeichnet wurden, fand stets auch eine Messung der Reaktionszeiten statt. Eine weitere ANOVA mit zwei unabhängigen

Variablen (Innersubjekt-Faktor: Messwiederholung der Sequenzblöcke; Zwischensubjekt-Faktor: sensorische Bedingung) sollte deren Einfluss auf die Messgröße, welche hier die Reaktionszeit darstellt, verdeutlichen.



**Abbildung 3.4.** – Liniendiagramm für die gemittelten Reaktionszeiten der Probanden in den drei unterschiedlichen sensorischen Bedingungen. Jeder Datenpunkt stellt den Wert für  $N = 10$  Personen über den entsprechenden Sequenzblock hinweg gemittelt, dar.

### 3.3.1. Einfluss der Messwiederholungen (Innersubjekt-Faktor)

An dieser Stelle soll veranschaulicht werden, inwiefern sich die Reaktionszeiten der Versuchspersonen über die wiederholten Messungen der Sequenzblöcke hinweg veränderten. Die Ergebnisse zeigten, dass der Haupteffekt der Messwiederholungen einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten nahm,  $F(3, 80) = 22.96, p < .01$ , mit einer hohen Effektstärke von  $\eta_p^2 = .46$ . Dabei wurde aufgrund einer Verletzung der Annahme der Sphärizität eine Greenhouse-Geisser Korrektur durchgeführt. Anhand der Abbildung 3.4 ist zu erkennen, dass sich die Reaktionszeiten in allen drei sensorischen Bedingungen mit den wiederholten Messungen der Sequenzblöcke verringerten. Eine paarweise Gegenüberstellung gab zu erkennen, dass die gemittelten Reaktionszeiten zwischen fast allen vergleichbaren Sequenzblöcken mit  $p < .05$  signifikant voneinander verschieden waren. Die Ausnahmen beziehen sich auf die Blöcke 1 und 2 ( $p = .24$ ), 3 und 4 ( $p = .52$ ) und die Blöcke 4 und 5 ( $p = .49$ ).

### 3.3.2. Einfluss der sensorischen Bedingungen (Zwischensubjekt-Faktor)

Die Art der sensorischen Versuchsbedingung, in der das Experiment durchgeführt wurde, wirkte sich ebenfalls signifikant auf die Reaktionszeiten aus,  $F(2, 27) = 4.66, p < .05$ , wobei die Effektstärke  $\eta_p^2 = .26$  betrug. Aufgrund einer Verletzung der Annahme der Gleichheit der Fehlervarianzen, musste hier eine Korrektur durchgeführt werden. Bestehen jegliche Zweifel dahingehend, dass die Varianzen der Population homogen sind, so soll laut Field & Hole (2010) das Games-Howell Verfahren angewandt werden. Anhand dessen konnten für die paarweisen Vergleiche zwischen den sensorischen Versuchsbedingungen keine signifikanten Unterschiede der Reaktionszeiten festgestellt werden: visuell und auditiv

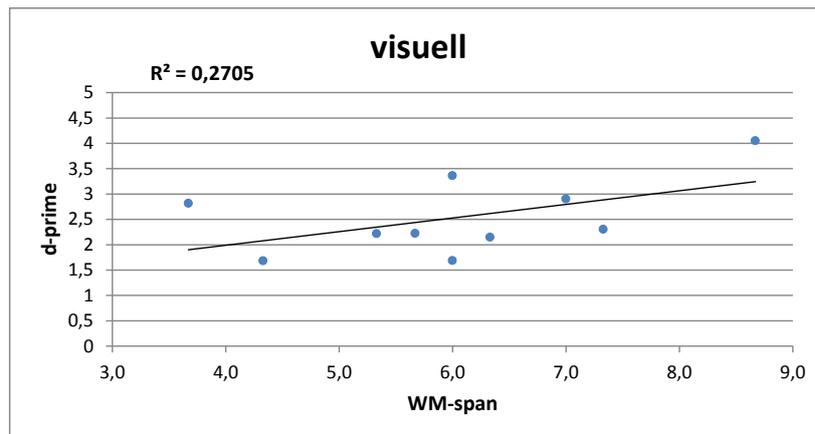
$p = .07$ , visuell und audiovisuell  $p = .18$  und auditiv und audiovisuell  $p = .22$ . Die Abbildung 3.4 verdeutlicht, dass der diesbezügliche Unterschied zwischen der visuellen und der auditiven Versuchsbedingung am größten war. Im Allgemeinen zeigten jene Probanden die langsamsten Reaktionen, die den Versuch in der auditiven Bedingung durchführten.

### 3.3.3. Interaktion zwischen sensorischen Bedingungen und Messwiederholungen

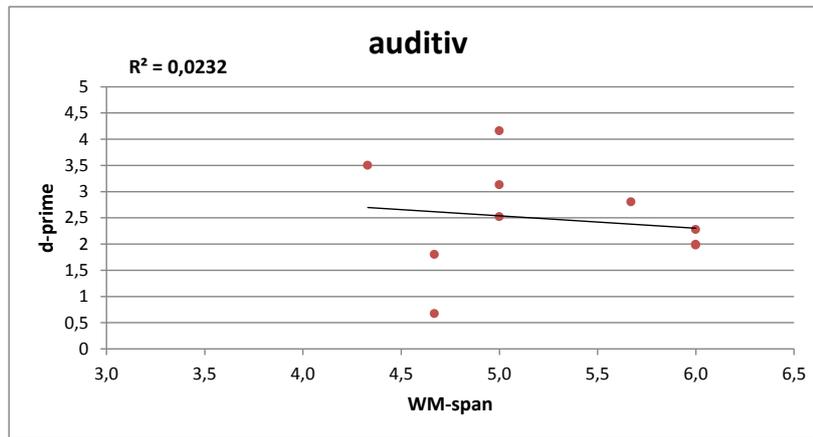
Es gab keine signifikante Interaktion zwischen den sensorischen Bedingungen und den Messwiederholungen,  $F(6, 80) = 8.44$ ,  $p > .05$ , mit einer Effektstärke von  $\eta_p^2 = .59$ . Demnach scheinen sich die Reaktionszeiten in den unterschiedlichen sensorischen Bedingungen nicht signifikant voneinander zu unterscheiden, wenn man sie über die wiederholten Messungen hinweg miteinander vergleicht.

### 3.4. Einfluss der Arbeitsgedächtnisspanne auf die Messgröße $d$ -prime

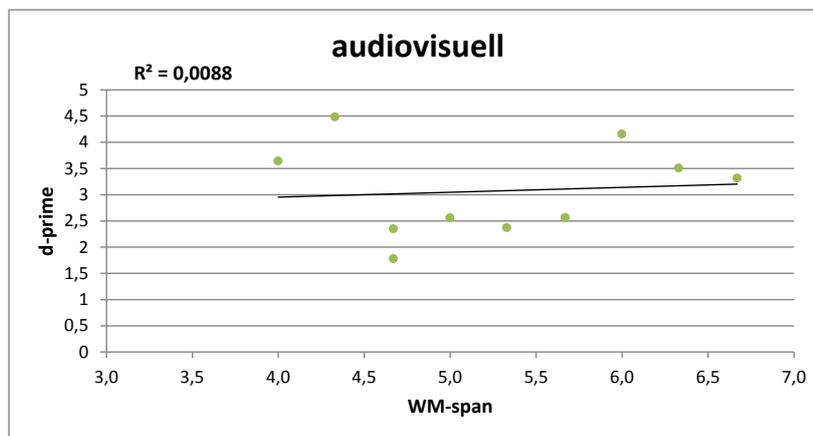
Da für jede Versuchsperson ein unabhängiger Wert für die Arbeitsgedächtnisspanne gemessen wurde (mit Hilfe des „Corsi-Block-Tapping Task“), wurde im Folgenden analysiert, ob unterschiedliche Arbeitsgedächtnisleistungen die Messgröße  $d$ -prime beeinflussten.



**Abbildung 3.5.** – Arbeitsgedächtnisleistung in Abhängigkeit der gemessenen Arbeitsgedächtnisspanne für alle Versuchspersonen in der visuellen Bedingung. Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0.27$  und Korrelationskoeffizient nach Pearson  $R = 0.52$ .



**Abbildung 3.6.** – Arbeitsgedächtnisleistung in Abhängigkeit der gemessenen Arbeitsgedächtnisspanne für alle Versuchspersonen in der auditiven Bedingung. Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0.02$  und Korrelationskoeffizient nach Pearson  $R = 0.15$ .



**Abbildung 3.7.** – Arbeitsgedächtnisleistung in Abhängigkeit der gemessenen Arbeitsgedächtnisspanne für alle Versuchspersonen in der audiovisuellen Bedingung. Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0.01$  und Korrelationskoeffizient nach Pearson  $R = 0.09$ .

Die Abbildungen 3.5, 3.6 und 3.7 zeigen, wie die Arbeitsgedächtnisleistungen in den unterschiedlichen sensorischen Bedingungen mit den zuvor gemessenen Arbeitsgedächtnisspannen der Versuchspersonen zusammenhängen. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson ( $R$ ) ist ein Maß für die Stärke des Zusammenhangs zwischen zwei Variablen, anhand dessen die Korrelation zwischen den beiden Größen betrachtet wurde. Das Quadrat von  $R$  wird Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) genannt und gibt den prozentualen Anteil der gesamten auftretenden Varianz an, der durch einen statistischen Zusammenhang erklärt werden kann. Laut der Definition wird ein Effekt als groß bezeichnet, wenn  $R$  mindestens 0.5 beträgt, wobei  $R < 0.3$  für einen geringen Effekt spricht (Field & Hole, 2010). Für die visuelle Bedingung konnte mit  $R = 0.52$  somit eine hohe Effektstärke gemessen werden, woraus geschlossen werden kann, dass Versuchspersonen mit einer großen Arbeitsgedächtnisspanne bessere

Leistungen im Hauptexperiment erzielten. Allerdings war dies für die auditive Bedingung mit  $R = 0.15$  und für die audiovisuelle Bedingung mit  $R = 0.09$  nicht der Fall. Hier spiegelten die Werte eine geringe Effektstärke wieder und somit kann kein Zusammenhang angenommen werden.

## 4. Diskussion und Ausblick

In diesem Kapitel werden die im Rahmen der vorliegenden Arbeit gewonnenen Ergebnisse diskutiert. Dabei soll insbesondere ein genauerer Einblick in jene mentale Prozesse gegeben werden, die eine multisensorische Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis ermöglichen. Des Weiteren soll darauf eingegangen werden, welche Rolle die Ressourcen der Aufmerksamkeit spielen, wenn wir Reize aus unterschiedlichen Sinnesmodalitäten zum selben Zeitpunkt verarbeiten müssen. Ein Ausblick soll letztendlich verdeutlichen, inwiefern die Erkenntnisse dieser Studie zu weiterer Forschungsarbeit mit der gleichen Thematik beitragen können.

### 4.1. Einfluss der unabhängigen Faktoren auf die Arbeitsgedächtnisleistung

#### 4.1.1. Einfluss der sensorischen Bedingung auf die Arbeitsgedächtnisleistung

Um den Einfluss der sensorischen Versuchsbedingung (visuell, auditiv und audiovisuell) auf die Arbeitsgedächtnisleistung zu untersuchen, wurden die Daten zweier unterschiedlicher ANOVAs interpretiert. Es konnten dahingehend nur anhand derjenigen Varianzanalyse schwach signifikante Daten gewonnen werden, in der ausschließlich der unabhängige Faktor sensorische Bedingung berücksichtigt wurde. Dabei wurden die einzelnen Messwerte für  $d$ -prime als voneinander unabhängig angesehen. Die Ergebnisse der 2-faktoriellen ANOVA hingegen zeigten lediglich eine Tendenz dafür, dass die Probanden, die das Experiment in der audiovisuellen Bedingung durchführten, höhere Arbeitsgedächtnisleistungen erzielten, als die Versuchsteilnehmer der Referenzgruppen (visuell oder auditiv). Somit konnte die Annahme, dass das bimodale Format der Reizpräsentation in einem „2-back Task“ die Arbeitsgedächtnisleistung erhöht, nicht eindeutig bestätigt werden. Die Tatsache, dass nur die 1-faktorielle Varianzanalyse signifikante Ergebnisse lieferte, könnte im Zusammenhang mit dem vorgegebenen Stichprobenumfang stehen. Sofern alle Werte als voneinander unabhängig betrachtet wurden, ergaben sich die Ergebnisse der Statistik theoretisch aus 50 „verschiedenen“ Messwerten für  $d$ -prime pro Versuchsbedingung (fünf Sequenzblöcke á zehn Versuchspersonen). In der 2-faktoriellen ANOVA nahm der Faktor Messwiederholung zusätzlichen Einfluss. Insofern wurde ein Mittelwert für  $d$ -prime über  $N = 10$  Personen pro Sequenzblock gebildet. Daraus ergaben sich folglich nur zehn Messwerte pro Versuchsbedingung, aber die Wiederholung der Sequenzblöcke wurde dafür einkalkuliert.

Es konnte also ein Vorteil der Gedächtnisleistung für die bimodale Stimulation gezeigt werden, wenn auch in dieser Studie nur schwach signifikant oder tendenziell. Die Versuchsbedingungen waren dabei ähnlich wie in einer bereits zuvor von Santangelo et al.

(2006) beschriebenen Studie. Laut der „dual-code“-Theorie ergibt sich ein derartiger Vorteil daraus, dass bimodale Reize im Gehirn zweifach codiert werden, unimodale Reize jedoch nur einfach (Thompson & Paivio, 1994). Bezieht man sich dabei auf das klassische Multi-komponentenmodell nach Baddeley & Hitch (1974), so wird die Existenz eines verbalen und eines non-verbalen Subsystems im Arbeitsgedächtnis angenommen. Dieser Ansatz beinhaltet jedoch keine Erklärung dafür, wie eine doppelte Codierung stattfinden kann, wenn beide Reize in der bimodalen Kombination non-verbal sind. Wenn auch die klassischen Arbeitsgedächtnismodelle eine wichtige Grundlage für dessen genaueres Verständnis bieten, so weisen sie dennoch gewisse Limitierungen auf. In Bezug auf die vorliegende Arbeit soll die Verarbeitung von Stimuli im Arbeitsgedächtnis eher als „amodal“ angesehen werden. Somit wäre eine doppelte Codierung durchaus denkbar, doch die Reize würden in ihrer Verarbeitung nicht strikt einem bestimmten Subsystem zugeordnet. Die Idee einer solchen Argumentation beruht auf der Diskussion einer Studie von Kumar et al. (2013), in der einige Parallelen zwischen dem visuellen und dem auditiven Arbeitsgedächtnis festgestellt werden konnten.

Der auffällig hohe Wert für  $d$ -prime im Sequenzblock 5 (visuelle Bedingung) der 2-faktoriellen ANOVA (Mixed-ANOVA) konnte nicht aufgeklärt werden. Da es im Vergleich zu den Sequenzblöcken 1 bis 4 diesbezüglich keinen auffälligen Zusammenhang gab, scheint dieser Wert durch einen zufälligen Ausreißer zustande gekommen zu sein. Die Tatsache, dass in der 1-faktoriellen ANOVA der Mittelwert für die visuelle Bedingung höher war als der für die auditive, könnte auf diesen Ausreißer zurückgeführt werden. Dies wird dadurch erklärt, dass in der 1-faktoriellen ANOVA alle Werte für  $d$ -prime, unabhängig von den Messwiederholungen, in den Gesamtwert miteinfließen. Somit gehen auch jene Werte mit ein, die in der Mixed-ANOVA den besonders hohen Mittelwert für die fünfte Messwiederholung in der visuellen Bedingung verursachten.

Eine visuelle Dominanz, wie sie in etwa durch den Colovita-Effekt (Colovita, 1974) beschrieben wurde, kann hier ausgeschlossen werden. Bis auf Sequenzblock 5 waren in der 2-faktoriellen Varianzanalyse die Mittelwerte für  $d$ -prime in der auditiven Versuchsbedingung sogar höher als in der visuellen Bedingung. Des Weiteren bleibt fraglich, ob die Annahme einer visuellen Dominanz überhaupt übertragbar wäre, wenn visuelle und auditive Stimulationen unimodal erfolgen und nicht in Kombination.

#### 4.1.2. Einfluss der Messwiederholungen auf die Arbeitsgedächtnisleistung

In der Mixed-ANOVA konnte ein signifikanter Einfluss der Messwiederholungen (Inner-subjekt-Faktor) auf die Messgröße  $d$ -prime festgestellt werden. Da die wiederholten Absolvierungen der Sequenzblöcke die Arbeitsgedächtnisleistung positiv beeinflussten, spricht dies für einen Lerneffekt. Derartige Leistungssteigerungen wurden von Jaeggi et al. (2011) in einem ähnlichen Zusammenhang beschrieben, als die Auswirkungen von Training des Arbeitsgedächtnisses (mit Hilfe eines „ $n$ -back Tasks“) auf die fluide Intelligenz von Kindern untersucht wurde.

Der stetige Anstieg der Messgröße  $d$ -prime in der visuellen Bedingung im Gegensatz zur bimodalen Bedingung, in der der Wert schließlich konstant wird, könnte auf den bereits im vorherigen Abschnitt diskutierten Ausreißer zurückzuführen sein. Die Tatsache, dass der

Lerneffekt in der visuellen Bedingung am größten war, könnte darin begründet liegen, dass das visuelle System beim Menschen sehr gut ausgeprägt ist, weil dieser der Gewohnheit nach in seiner Umwelt von visuellen Reizen stärker beeinflusst wird als von auditiven Reizen. Des Weiteren gaben fast alle Versuchspersonen bei der anschließenden Befragung an, dass sie sich die Muster der visuellen Stimuli anhand von formähnlichen Buchstaben oder Symbolen gemerkt hatten. Wenn dadurch entgegen des Konzepts des Versuches dennoch eine Verbalisierung stattfand, könnte dies das Lernen in der visuellen Bedingung gefördert haben. Weshalb die Arbeitsgedächtnisleistung in der auditiven Versuchsbedingung von Sequenzblock 4 auf 5 sank, kann nicht genau erklärt werden. Bei dem paarweisen Vergleich war nur zwischen einigen Sequenzblöcken ein signifikanter Effekt vorhanden. Demzufolge scheinen Lerneffekte nur dann deutlich sichtbar zu werden, wenn eine bestimmte Anzahl an Messwiederholungen zwischen zwei signifikant unterschiedlichen Messwerten für  $d$ -prime liegt.

#### 4.1.3. Interaktion zwischen sensorischen Bedingungen und Messwiederholungen

Die sensorischen Bedingungen unterschieden sich bezüglich der Arbeitsgedächtnisleistung über die Messwiederholungen signifikant voneinander. Demzufolge scheint sich mit jeder wiederholten Messung der Sequenzblöcke die Arbeitsgedächtnisleistung in allen drei Kombinationen relativ ungleichmäßig verändert zu haben, sodass sich pro Messwiederholung unter den Bedingungen deutliche Unterschiede ergaben.

## 4.2. Multimodale Aufmerksamkeit

Neben dem Einfluss der sensorischen Versuchsbedingung auf die Arbeitsgedächtnisleistung stellt die multimodale Aufmerksamkeit einen der wichtigsten Diskussionspunkte der vorliegenden Arbeit dar. Um solche komplexen, mentalen Prozesse besser verständlich zu machen, wurden in der Einleitung bereits mehrere Modelle multimodaler Aufmerksamkeit vorgestellt. Schlussendlich bleibt die Frage bestehen, wie bei multisensorischer Verarbeitung die unterschiedlichen Sinnesmodalitäten im Gehirn koordiniert werden.

Wie bereits besprochen wurde, unterschied sich die Arbeitsgedächtnisleistung in der audiovisuellen Reizkombination im Vergleich zur visuellen oder zur auditiven Reizpräsentation in der 1-faktoriellen Varianzanalyse schwach signifikant. Zudem war in der Mixed-ANOVA eine Tendenz für eine Leistungssteigerung in der bimodalen Bedingung deutlich zu erkennen.

Laut Spence (2010) sprechen einige Verhaltensstudien gegen das Modell der modalitätsspezifischen Ressourcen der Aufmerksamkeit, sowie gegen das des supramodalen Aufmerksamkeitssystems. Werden modalitätsspezifische Ressourcen der Aufmerksamkeit angenommen, so könnte die Aufmerksamkeit problemlos gleichzeitig auf unterschiedliche Sinnesmodalitäten gelenkt werden. In Bezug auf die vorliegende Studie ist diese Annahme schwer einzuschätzen. Wenngleich die Arbeitsgedächtnisleistung in der bimodalen Bedingung tendenziell oder schwach signifikant am höchsten war, bleibt dennoch zu beachten, dass die Aufmerksamkeit nur zwischen zwei verschiedenen Sinnesmodalitäten geteilt werden musste.

Die eigene Erfahrung zeigt, dass die gleichzeitige Lenkung der Aufmerksamkeit auf viele unterschiedliche Sinneseindrücke schnell zu einer Überforderung führt, wobei meist bestimmte Reize zugunsten des Erreichens relevanter Ziele höher priorisiert werden als andere. Bei dem Modell des supramodalen Aufmerksamkeitssystems kommt eine räumliche Komponente hinzu. Dabei wird postuliert, dass die Ausrichtung der Aufmerksamkeit nur auf einen einzigen Ort beschränkt ist. Die Aussage dieses Modells kann durch die vorliegende Arbeit nicht verifiziert werden, da sich der beobachtete Vorteil der bimodalen Stimulation aus räumlich verschiedenen Stimuli ergab. Die „separat-aber-verbunden“-Hypothese vermutet, dass Personen ihre räumliche Aufmerksamkeit zur gleichen Zeit in verschiedene Richtungen und auf verschiedene Sinnesmodalitäten lenken können, die Effizienz dabei aber verringert wird. Wenn auch letztere Annahme einige plausible Erklärungen für die gewonnenen Ergebnisse liefert, können zwischen den einzelnen Modellen keine klaren Grenzen gezogen werden. Vielmehr wird ein genaueres Verständnis multisensorischer Aufmerksamkeitsprozesse Kombinationen aus verschiedenen Modellen und den Ergebnissen zukünftiger Studien, die sich mit diesem Thema beschäftigen, erfordern.

### 4.3. Beeinflussung der Reaktionszeiten der Probanden

Anhand der im Hauptversuch gemessenen Reaktionszeiten konnte gezeigt werden, inwiefern diese von den unterschiedlichen unabhängigen Faktoren beeinflusst wurden. In diesem Fall nahm sowohl der Faktor Messwiederholung als auch der Faktor sensorische Versuchsbedingung einen signifikanten Einfluss auf die Messgröße (Reaktionszeit).

Die beobachtete Abnahme der Reaktionszeiten in allen drei getesteten Sinnesmodalitäten spricht für einen durch Übung zustande gekommenen Lerneffekt. Mit den Wiederholungen der Sequenzblöcke schienen die Probanden die Reize leichter erfassen zu können, wodurch sich ihre Reaktionen beschleunigten.

Der zunächst signifikante Einfluss der sensorischen Versuchsbedingungen auf die Reaktionszeiten konnte anhand der paarweisen Vergleiche nicht mehr nachgewiesen werden. Dabei war zu berücksichtigen, dass in dieser ANOVA sowohl die Annahme der Homogenität der Fehlervarianzen, als auch die der Sphärizität verletzt wurde. Diese Problematik ergab sich höchstwahrscheinlich aus dem geringen Stichprobenumfang ( $N = 10$  Probanden pro Versuchsbedingung) des Experiments. Allerdings deutet die Tatsache, dass in der auditiven Bedingung beträchtlich höhere Reaktionszeiten gemessen wurden als in der visuellen Bedingung, auf einen klaren Trend hin. Der Mensch ist offensichtlich mit visuellen Stimuli vertrauter, wodurch diese schneller erfasst und verarbeitet werden können als auditive Stimuli.

Zwischen den Messwiederholungen und den unterschiedlichen Versuchsbedingungen konnte keine signifikante Interaktion festgestellt werden. Die Reaktionszeiten in den verschiedenen Bedingungen scheinen also im Vergleich zueinander über die Messwiederholungen hinweg relativ gleichmäßig abgenommen zu haben.

#### 4.4. Einfluss der Arbeitsgedächtnisspanne auf die Arbeitsgedächtnisleistung

Bei der Messung des Einflusses der Arbeitsgedächtnisspanne auf die Messgröße  $d$ -prime konnte anhand des Korrelationskoeffizienten nach Pearson nur für die visuelle Versuchsbedingung ein starker positiver Zusammenhang festgestellt werden. Geht man auch hier von einer „amodalen“ Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis aus, so hätte der Effekt für die auditive und die audiovisuelle Reizdarbietung ähnlich sein müssen, wie der für die visuelle Bedingung. Weshalb dies nicht der Fall war kann nicht eindeutig geklärt werden. Allerdings handelte es sich bei dem „Corsi-Block-Tapping Task“, anhand dessen die Werte für die Arbeitsgedächtnisspannen gemessen wurden, um eine visuell-räumliche Gedächtnisaufgabe. Da der im Hauptexperiment durchgeführte „ $n$ -back Task“ keine Aufgabe mit visuell-räumlicher Komponente darstellte, war die Methode zur Messung der Arbeitsgedächtnisspanne womöglich nicht vollständig auf den Versuch abgestimmt. Es ist denkbar, dass sich eine positive Korrelation aller drei Sinnesmodalitäten mit der Arbeitsgedächtnisspanne ergeben hätte, wenn das Experiment entsprechend anders konzipiert worden wäre.

#### 4.5. Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten einige interessante Daten im Hinblick auf die Thematik der multisensorischen Informationsverarbeitung im Arbeitsgedächtnis gewonnen werden, wodurch neue Ideen für weitere Forschungsansätze entstehen können. Allerdings ist es wichtig, vermeintliche Konzeptionsfehler im Experiment zu erkennen, um somit eine bessere Grundlage für eventuelle Fortsetzungen des Versuches zu schaffen. In jeder sensorischen Versuchsbedingung wurden lediglich  $N = 10$  Personen getestet, weshalb die einzelnen Stichproben recht klein und somit nicht besonders repräsentativ waren. Im Allgemeinen gilt nämlich, dass je größer eine Stichprobe ist, desto besser stellt diese die Gesamtheit einer Population dar. Da ein tendenzieller bis schwach signifikanter Vorteil der Arbeitsgedächtnisleistung für die bimodale Reizpräsentation beobachtet wurde, könnte ein größerer Stichprobenumfang ein Ansatz für den Gewinn signifikanter Ergebnisse sein. Im Umfang einer Bachelorarbeit ist dies jedoch aus zeitlichen Gründen nur schwer realisierbar. Des Weiteren könnte der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe erhöht werden, indem statt einem „2-back Task“ ein „3-back Task“ durchgeführt wird. Die Bewältigung des „2-back Tasks“ fiel den Probanden eher leicht, wobei gute Arbeitsgedächtnisleistungen in allen drei sensorischen Versuchsbedingungen erzielt werden konnten. Eine schwierigere Aufgabe könnte dazu führen, dass sich der Unterschied in der Arbeitsgedächtnisleistung zwischen der bimodalen und den unimodalen Reizdarbietungen deutlicher heraus kristallisiert. Da die gewonnen Ergebnisse für die Existenz eines bimodalen Vorteils sprechen, wäre es interessant zu erforschen, welche Ergebnisse das Experiment erzielt, wenn einige Maßnahmen für dessen Optimierung durchgeführt werden.



# Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Hanspeter Mallot und Herrn Dr. Gregor Hardiess, die mir durch ihre gute Betreuung und Unterstützung beim Erstellen dieser Bachelorarbeit sehr geholfen haben. Zudem möchte ich mich bei der gesamten Arbeitsgruppe für ihre Offenheit und die Hilfsbereitschaft, offene Fragen jederzeit zu diskutieren, bedanken. Hierbei hat mir besonders Herr Dr. Hansjürgen Damen stets weitergeholfen.

Ich bedanke mich herzlich bei allen Probanden. Durch ihre Teilnahme haben sie es mir überhaupt erst ermöglicht, das Experiment durchzuführen. Ebenso danke ich Aylin Sarikaya für die gute Zusammenarbeit während der gesamten Zeit der Bachelorarbeit.

Mein besonders herzlicher Dank gilt schließlich meiner Familie und meinen Freunden, die mir stets unterstützend zur Seite gestanden haben. Besonders erwähnen möchte ich an dieser Stelle meine Mutter Astrid Diehl, meinen Freund Marius Hertfelder sowie meine Wegbegleiterinnen Desiree Bollinger und Patrizia Ricca.



# Literaturverzeichnis

- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford University, Oxford.
- 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(10), 829–839.
- Baddeley, A. D. & G. Hitch (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation*, Volume 8, pp. 47–90. New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D. & R. H. Logie (1999). The multiple-component model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of Working memory, Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*, pp. 29–61. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bear, M. F., B. W. Connors, A. K. Engel, M. A. Paradiso, A. Held, C. Hornung, & C. Lange (2009). *Neurowissenschaften: Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie*, pp. 821–862. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Bonell, A.-M. & E. R. Hafter (1998). Divided attention between simultaneous auditory and visual signals. *Perception and Psychophysics* 60, 179–190.
- Campbell, R. & B. Dodd (1980). Hearing by eye. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 32, 85–99.
- Colovita, F. B. (1974). Human sensory dominance. *Perception and Psychophysics* 16, 409–412.
- Corsi, P. M. (1972). Human memory and the medial temporal region of the brain. *Dissertation Abstracts International* 34 (02), 819 B.
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and active control*, pp. 62–101. Cambridge: Cambridge University Press.
- Crowder, R. G. & J. Morton (1969). Precategorical acoustic storage. *Perception & Psychophysics* 5, 363–373.
- De Gelder, B. & J. Vroomen (1994). Memory for consonants versus vowels in heard and lipread speech. *Journal of Memory and Language* 31, 737–756.
- Ernst, M. O. & M. S. Banks (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature* 415(6870), 429–433.
- Farah, M. J., A. B. Wong, M. A. Monheit, & L. A. Morrow (1989). Parietal lobe mechanisms of spatial attention: Modality-specific or supramodal? *Neuropsychologia* 27, 461–470.

- Field, A. & G. Hole (2010). *How to Design and Report Experiments*, pp. 152 & 178. Sage Publications.
- Friedenberg, J. & G. Silverman (2006). *Cognitive Science: An Introduction to the Study of Mind*, pp. 126–127. SAGE Publications.
- Green, D. M. & J. A. Swets (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. Wiley.
- Hancock, P. A., T. Oron-Gilad, & J. L. Szalma (2007). Elaborations of the multiple-resource theory of attention. In A. F. Kramer, D. A. Wiegmann, & A. Kirlik (Eds.), *Attention: From theory to practice*, pp. 45–56. Oxford: Oxford University Press.
- Jaeggi, S. M., M. Buschkuhl, J. Jonides, & P. Shah (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. *PNAS* 108, No. 25, 10081–10086.
- Karnath, H. O. & P. Thier (2012). *Kognitive Neurowissenschaften*, Volume 3 of *Springer-Lehrbuch*, pp. 549–550. Springer.
- Kumar, S., S. Joseph, B. Pearson, S. Teki, Z. V. Fox, T. D. Griffiths, & M. Husain (2013). Resource allocation and prioritization in auditory working memory. *Cognitive Neuroscience* 4, No.1, 12–20.
- Luck, S. J. & E. K. Vogel (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature* 390(6657), 279–281.
- Mastroberardino, S., V. Santangelo, F. Botta, F. S. Marucci, & M. Olivetti Belardinelli (2008). How the bimodal format of presentation affects working memory: an overview. *Cognitive Processing* 9, 69–76.
- Posner, M. I. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Posner, M. I. (1990). Hierarchical distributed networks in the neuropsychology of selective attention. In A. Caramazza (Ed.), *Cognitive neuropsychology and neurolinguistics: Advances in models of cognitive function and impairment*, pp. 187–210. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rorden, C. & J. Driver (1999). Does auditory attention shift in the direction of an upcoming saccade? *Neuropsychologia* 37, 357–377.
- Santangelo, V., S. Mastroberardino, F. Botta, F. S. Marucci, & M. Olivetti Belardinelli (2006). On the influence of audio-visual interactions on working memory performance: a study with non-semantic stimuli. *Cognitive Processing* 7, 187.
- Spence, C. (2010). Crossmodal attention. Scholarpedia. [http://www.scholarpedia.org/article/Crossmodal\\_attention](http://www.scholarpedia.org/article/Crossmodal_attention) (Retrieved October 15, 2012).
- Spence, C. & J. Driver (1996). Audiovisual links in endogenous covert spatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 22, 1005–1030.
- Spence, C. & J. Driver (2004). *Crossmodal space and crossmodal attention*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Spence, C. & C. Parise (2010). Prior entry. *Consciousness and Cognition* 19, 364–379.

- Thompson, V. & A. Paivio (1994). Memory for pictures and sounds: independence of auditory and visual codes. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 48, 380–396.
- Treisman, A. M. & A. Davies (1973). Divided attention to ear and eye. In S. Kornblum (Ed.), *Attention and performance*, Volume 4, pp. 101–117. New York: Academic Press.
- Turatto, M., V. Mazza, & C. Ultimá (2005). Crossmodal object-based attention: Auditory objects affect visual processing. *Cognition* 96, B55–B64.
- Zimmer, H. D. (2010). Visuell-räumliches Arbeitsgedächtnis — Eine emergente Eigenschaft der Repräsentation von Reizen im Netzwerk visueller Informationsverarbeitung. *Psychologische Rundschau* 61(1), 25–32.



## A. Anhang

Im Anhang befinden sich die *Instruktionen* zum jeweiligen Versuch (visuell, auditiv und audiovisuell), die den Probanden zu Beginn vorgelegt wurden, sowie der *Fragebogen*, der nach dem Experiment von jeder Versuchsperson ausgefüllt wurde.

## **2- back task (auditiv)**

### 1. Aufgabe

- Während des Versuches wird pro Durchlauf eine Sequenz von verschiedenen Tönen (über den Kopfhörer eingespielt) präsentiert. Es gibt 6 verschiedene Töne, wobei Sie jeweils ein Ton für 2 Sekunden (gefolgt von einer 1-Sekunden Pause ohne Stimulus) präsentiert bekommen. Die 6 verschiedenen Töne sind für alle Durchläufe gleich.
- Ihre Aufgabe ist es, in jedem Durchlauf einen 2-back Task zu lösen. Das bedeutet, dass Sie bei jedem präsentierten Ton entscheiden müssen, ob er der gleiche ist wie der, den Sie als Vorletztes präsentiert bekommen haben.
- Gibt es eine Übereinstimmung, d.h. ist der aktuelle Ton identisch mit dem Vorletzten, dann drücken Sie die linke Maustaste, wenn nicht, dann drücken Sie die rechte Maustaste.
- Sie müssen also bei jedem gezeigten Ton eine Maustaste drücken. Dies kann während der Stimulus-Präsentation passieren, oder auch in der Pause danach.

### 2. Ablauf

- Sie absolvieren 5 Durchläufe mit einer Sequenzlänge von jeweils 60 Tönen.
- Zu Beginn jedes Durchlaufs wird in der Mitte des Bildschirms ein Fixationskreuz 2 Sekunden angezeigt, welches Sie fixieren müssen, bis die Sequenz des 2-back Tasks beginnt.
- Wenn ein Durchlauf beendet ist, wird dies auf dem Bildschirm angezeigt. Der nächste Durchlauf kann begonnen werden, indem eine beliebige Taste gedrückt wird.

Bei auftretenden Fragen wenden Sie sich bitte an den Versuchsleiter.

Bitte führen Sie die Aufgabe so genau wie möglich aus...

viel Spaß! 😊

## 2- back task (visuell)

### 1. Aufgabe

- Während des Versuches wird pro Durchlauf eine Sequenz von verschiedenen Bildern (auf dem Bildschirm) präsentiert. Es gibt 6 verschiedene Bilder, wobei Sie jeweils ein Bild für 2 Sekunden (gefolgt von einer 1-Sekunden Pause ohne Stimulus) präsentiert bekommen. Die 6 verschiedenen Bilder sind für alle Durchläufe gleich.
- Ihre Aufgabe ist es, in jedem Durchlauf einen 2-back Task zu lösen. Das bedeutet, dass Sie bei jedem präsentierten Bild entscheiden müssen, ob es das gleiche ist wie das, was Sie als Vorletztes präsentiert bekommen haben.
- Gibt es eine Übereinstimmung, d.h. ist das aktuelle Bild identisch mit dem Vorletzten, dann drücken Sie die linke Maustaste, wenn nicht, dann drücken Sie die rechte Maustaste.
- Sie müssen also bei jedem gezeigten Bild eine Maustaste drücken. Dies kann während der Stimulus-Präsentation passieren, oder auch in der Pause danach.

### 2. Ablauf

- Sie absolvieren 5 Durchläufe mit einer Sequenzlänge von jeweils 60 Bildern.
- Zu Beginn jedes Durchlaufs wird in der Mitte des Bildschirms ein Fixationskreuz 2 Sekunden angezeigt, welches Sie fixieren müssen, bis die Sequenz des 2-back Tasks beginnt.
- Wenn ein Durchlauf beendet ist, wird dies auf dem Bildschirm angezeigt. Der nächste Durchlauf kann begonnen werden, indem eine beliebige Taste gedrückt wird.

Bei auftretenden Fragen wenden Sie sich bitte an den Versuchsleiter.

Bitte führen Sie die Aufgabe so genau wie möglich aus...

viel Spaß! 😊

## **2- back task (audiovisuell)**

### 1. Aufgabe

- Während des Versuches wird pro Durchlauf eine Sequenz von verschiedenen Tönen (über den Kopfhörer eingespielt) und Mustern (auf dem Bildschirm) präsentiert. Jedes Muster ist hierbei mit einem bestimmten Ton assoziiert. Es gibt 6 verschiedene Ton-Muster Paare, wobei Sie jeweils ein Paar für 2 Sekunden (gefolgt von einer 1-Sekunden Pause ohne Stimulus) präsentiert bekommen. Die 6 verschiedenen Ton-Muster Paare sind für alle Durchläufe gleich.
- Ihre Aufgabe ist es, in jedem Durchlauf einen 2-back Task zu lösen. Das bedeutet, dass Sie bei jedem präsentierten Ton-Muster Paar entscheiden müssen, ob es das gleiche ist wie das, was Sie als Vorletztes präsentiert bekommen haben.
- Gibt es eine Übereinstimmung, d.h. ist das aktuelle Ton-Muster Paar identisch mit dem Vorletzten, dann drücken Sie die linke Maustaste, wenn nicht, dann drücken Sie die rechte Maustaste.
- Sie müssen also bei jedem gezeigten Ton-Muster Paar eine Maustaste drücken. Dies kann während der Stimulus-Präsentation passieren, oder auch in der Pause danach.

### 2. Ablauf

- Sie absolvieren 5 Durchläufe mit einer Sequenzlänge von jeweils 60 Ton-Muster Paaren.
- Zu Beginn jedes Durchlaufs wird in der Mitte des Bildschirms ein Fixationskreuz 2 Sekunden angezeigt, welches Sie fixieren müssen, bis die Sequenz des 2-back Tasks beginnt.
- Wenn ein Durchlauf beendet ist, wird dies auf dem Bildschirm angezeigt. Der nächste Durchlauf kann begonnen werden, indem eine beliebige Taste gedrückt wird.

Bei auftretenden Fragen wenden Sie sich bitte an den Versuchsleiter.

Bitte führen Sie die Aufgabe so genau wie möglich aus...

viel Spaß! 😊

VP \_\_\_\_\_

Datum \_\_\_\_\_

Wie schwierig war das Experiment?

einfach      1      2      3      4      5      6      7      schwierig

Hat das Experiment Spaß gemacht?

ja sehr      1      2      3      4      5      6      7      überhaupt nicht

Hatten Sie spezielle Strategien?

---

---

---

---

Allgemeine Anmerkungen:

---

---

---

---