

**Individuelle Strategiewahl für das Lösen eines  
vergleichenden visuellen Suchparadigmas und die  
Verschiebung der Strategie unter Zeitdruck**

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

vorgelegt von

**Verena Koppe**

Tübingen, April 2018

## **Eigenständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, Verena Koppe,

- 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, 03.04.2018\_\_\_\_\_

## Inhaltsverzeichnis

Eigenständigkeitserklärung.....	2
<b>I. Abstract.....</b>	<b>4</b>
<b>II. Einleitung.....</b>	<b>5</b>
1. Das Arbeitsgedächtnis.....	6
2. Das Mehrkomponenten-Modell nach Baddeley und Hitch.....	6
3. Die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses.....	8
4. Slot- vs. Ressourcen-Modell des Arbeitsgedächtnisses.....	9
5. Merkmalskonjunktionen im Arbeitsgedächtnis.....	10
6. Die Merkmals- und Konjunktionssuche.....	12
7. „Trade-offs“ – Kompromisse zwischen verschiedenen Verhaltensstrategien.....	13
8. Die vergleichende visuelle Suche.....	15
9. Weiterführende Forschung zur Strategiewahl.....	17
<b>III. Material &amp; Methoden.....</b>	<b>19</b>
1. Versuchspersonen.....	19
2. Apparaturen.....	19
3. <b>Change-Detection Task (CDT)</b> .....	<b>19</b>
3.1 Versuchsaufbau und Stimuli.....	19
3.2 Prozedur.....	21
3.3 Abhängige Variablen.....	22
3.4 Statistische Analyse.....	22
4. <b>Vergleichende Visuelle Suche (VVS)</b> .....	<b>22</b>
4.1 Versuchsaufbau und Stimuli.....	22
4.2 Prozedur.....	23
4.3 Abhängige Variablen.....	25
4.4 Statistische Analyse.....	25
<b>IV. Ergebnisse.....</b>	<b>26</b>
1. <b>Vergleichende visuelle Suche (VVS)</b> .....	<b>26</b>
1.1 Leistung der Versuchspersonen.....	26
1.2 Unterschiede zwischen Strategiewahl ohne und mit Zeitdruck.....	27
1.3 Strategieauswahl zwischen Akquisition und Memorisierung.....	29
1.4 Interaktion zwischen Zeitdruck und Objektkomplexität.....	35

<b>2. Change-Detection Task (CDT)</b> .....	<b>36</b>
2.1 Anteil korrekter Antworten der Versuchspersonen.....	36
2.2 Anzahl der korrekten Antworten in Abhängigkeit von der Setgröße.....	37
2.3 Korrelation zwischen Anteil CDT und VVS.....	38
<b>V. Diskussion</b> .....	<b>41</b>
1. Leistung der Versuchspersonen und Einfluss der Objekt- und Verzögerungskonditionen.....	41
2. Unterschied zwischen den Konditionen mit und ohne Zeitdruck.....	43
3. Individuelle Anpassung der Strategiewahl an den Zeitdruck.....	44
4. Zusammenhang zwischen der Strategiewahl und der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses.....	45
<b>VI. Zusammenfassung</b> .....	<b>47</b>
<b>VII. Literaturverzeichnis</b> .....	<b>48</b>

## **I. Abstract**

Das Arbeitsgedächtnis wird als Kurzzeitgedächtnis-System betrachtet, welches in die Kontrolle, Regulation und Aufrechterhaltung einer limitierten Menge an Informationen für aktuelle Aufgaben involviert ist. Aufgrund dieser Informationen werden adäquate Entscheidungen getroffen, die das Verhalten von Mensch und Tier beeinflussen. Die Kosten für den Einsatz verschiedener Verhaltensstrategien müssen im Arbeitsgedächtnis gegeneinander abgewägt werden. Diese Strategien beinhalten zum Beispiel die Akquisition oder die Memorisierung von Informationen im Arbeitsgedächtnis. Bereits in früheren Arbeiten konnte gezeigt werden, dass von jeder Versuchsperson durch alle Versuchsbedingungen der vergleichenden visuellen Suche (VVS) eine individuell stabile Strategie ausgewählt wird, sich die Strategiewahl zwischen den Personen jedoch stark unterscheidet. Bei der Abwägung der individuellen Kosten für jede Strategie spielt es eine große Rolle, dass die Enkodierung, die Memorisierung und der Vergleich zeitkritische Prozesse sind. In der vorliegenden Arbeit wurde ein Zeitdruck auf alle Prozesse der VVS ausgeübt und untersucht wie dies die Strategiewahl der Probanden beeinflusst. Unter Zeitdruck verschob sich die Strategie der Versuchspersonen in Abhängigkeit der ursprünglich gewählten Strategie, jedoch nur im Rahmen der jeweiligen Kapazitäten. Das bedeutet bei einer ursprünglich akquisitionslastigen Strategie wurden unter Zeitdruck weniger Informationen akquiriert und somit mehr Objekte im Arbeitsgedächtnis gespeichert. Im Gegensatz dazu wurde bei einer ursprünglichen Strategie mit wenig Akquisition die Zeit für die Enkodierung und den Vergleich unter Zeitdruck gekürzt, die Auslastung des Arbeitsgedächtnisses blieb jedoch gleich. Die Unterschiede in der individuellen Strategiewahl zwischen den Probanden sind auf unterschiedlich gewichtete Kosten für die Akquisition und Memorisierung der Informationen zurückzuführen. Da in einem zweiten Versuch kein Einfluss der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses auf die Strategiewahl nachgewiesen werden konnte, müssen die Differenzen in der Wahl der Strategie aufgrund anderer Gedächtnisabläufe, gespeicherter Erfahrungen und/oder aufgrund von Unterschieden in der Möglichkeit die vorhandenen kognitiven Kapazitäten zu nutzen entstanden sein.

## II. Einleitung

Täglich muss jeder Mensch viele verschiedene Aufgaben bewältigen. Er nimmt über seine Sinne die Umwelt wahr und ist in der Lage auf Reize zu reagieren, für die Zukunft zu planen, aus dem Vergangenen zu lernen und Probleme zu lösen. Für all diese Leistungen benötigt er sein Arbeitsgedächtnis, dessen Kapazität jedoch limitiert ist. Ein einfaches Beispiel einer Situation, in der das Arbeitsgedächtnis gebraucht wird, ist das Wiederholen einer gerade gehörten Telefonnummer (Baddeley, 2010). Aber stellen Sie sich einmal eine komplexere Situation vor: Sie haben nach langer Suche endlich den perfekten Schrank für Ihr Wohnzimmer gefunden, er muss nur noch aufgebaut werden. Sie legen die Anleitung neben sich und beginnen die Einzelteile zu sortieren. Werden Sie nun die ganze Anleitung lesen, sich alles merken, die Anleitung weglegen und beginnen den Schrank nur mit der verinnerlichten Anleitung aufzubauen? Oder werden Sie nur jeweils eine Zeile lesen, die dort enthaltenen Anleitungshinweise befolgen und daraufhin die nächste Zeile lesen und so weiter (Gray, Sims, Fu, & Schoelles, 2006)? Oder aber werden Sie abschnittsweise vorgehen, also kleine Informationsbündel bilden? Und was passiert, wenn Sie die Anleitung nicht direkt bei sich behalten können, sondern sie auf dem Tisch in der Küche liegen lassen müssen, da es zu wenig Platz gibt? Ändert sich Ihre Strategie? Und wenn Sie zum Spaß einen Wettbewerb mit Ihren Freunden machen, wer den Schrank schneller aufbauen kann und somit unter Zeitdruck arbeiten, welche Taktik wählen Sie dann? Alle Taktiken, bzw. Strategien verlangen ein Wechselspiel zwischen Blick- und/oder Laufbewegungen (Akquisition), um Informationen zu erlangen und Ihrem visuellen Kurzzeitgedächtnis (Memorisierung), welches die bereits erfasste Information aufrechterhält. Geht Ihnen der Speicher im Arbeitsgedächtnis aufgrund der begrenzten Kapazität aus, können Blickbewegungen benutzt werden, um die Informationen wiederzuerlangen. Egal für welche Vorgehensweise Sie sich entscheiden, Sie gehen also Kompromisse bzw. Abwägungen („trade-offs“) zwischen den möglichen Strategien ein, die unter normalen Bedingungen in Alltagssituationen darauf abzielen, die Benutzung des Gedächtnisses zu minimieren und Informationen direkt dort abzuholen, wo sie sich befinden (z.B. in der Anleitung), um andere eventuell auftretenden Aufgaben, trotz der Limitationen des Arbeitsgedächtnisses, zeitgleich bewältigen zu können („just-in-time“-Verarbeitung; Hayhoe, Ballard, Triesch, & Shinoda et al., 2002). Befinden Sie sich jedoch in einer Situation, in der die Informationen nicht direkt und einfach zugänglich sind, verschiebt sich Ihre Strategiewahl in Richtung der stärkeren Benutzung des Gedächtnisses und einer geringeren Interaktion mit der externen Informationsquelle. Um solche Kompromisse eingehen zu können, benötigen Sie Ihr visuelles Arbeitsgedächtnis als Speicher- und Verarbeitungsressource. Die Aufgabe des Arbeitsgedächtnisses ist sowohl die Aufrechterhaltung als auch die Manipulation von

Informationen, um zeitnah zur jeweiligen Aufgabe zu handeln und eine „optimal“ angepasste Strategie auszuwählen. Im Folgenden wird sich diese Arbeit mit derartigen Kompromissen zwischen Strategien, ihrem Ursprung im Arbeitsgedächtnis und einem Task beschäftigen, der hilft zu verstehen, warum genau diese Kompromisse eingegangen werden.

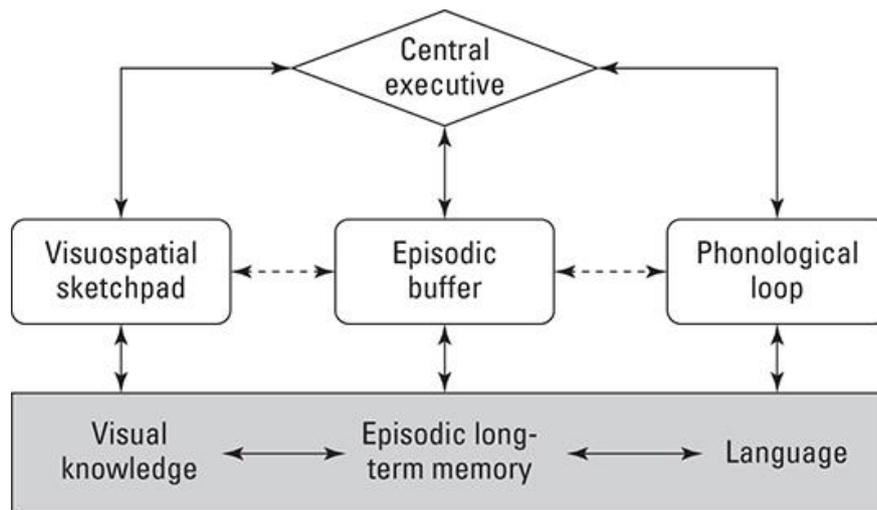
## **1. Das Arbeitsgedächtnis**

Um zu verstehen unter welchen Bedingungen die Kompromisse eingegangen werden, muss sich zunächst genauer mit dem Arbeitsgedächtnis und dessen Aufgaben und Limitationen beschäftigen werden. Der Begriff des Arbeitsgedächtnisses wurde von Miller, Galanter und Pribram in ihrem Buch „Plans and the Structure of Behaviour“ (1960) geprägt, von Atkinson und Shiffrin (1968) in einem einflussreichen Paper benutzt und 1974 von Baddeley und Hitch für ihr Multikomponenten-Modell des Kurzzeitgedächtnisses angenommen (Baddeley, 2010). Davor sprach man anstatt von einem Arbeitsgedächtnis, das sich aktiv erinnert, vorzugsweise von einem Kurzzeitgedächtnis, das nur passiv Informationen abspeichert (Zimmer, 2008). Das Arbeitsgedächtnis dient generell der kurzzeitigen Aufrechterhaltung, Abspeicherung und Manipulation sensorischer Informationen (in deren Abwesenheit), und bietet dabei eine Schnittstelle zwischen Wahrnehmung, Langzeitgedächtnis und Handlung (Baddeley, 2003). Die Repräsentationen der Informationen können allerdings nur einige Sekunden bis Minuten im Arbeitsgedächtnis beibehalten werden, wenn diese nicht innerlich wiederholt werden. Darüber hinaus ist die Menge an Informationen, die behalten werden kann, stark limitiert (Eriksson, Vogel, Lansner & Bergström et al., 2015). Als Baddeley und Hitch (1974) ein neues alternatives Multikomponenten-Modell des Kurzzeitgedächtnisses postulierten, betonten sie vor allem dessen funktionale Bedeutung für eine Reihe von kognitiven Aktivitäten, wie Denken, Lernen und Verstehen (Baddeley 2003). Das Arbeitsgedächtnis ist seitdem Gegenstand vieler Studien mit unterschiedlichen Paradigmen, wie z.B. Corsi-Block-Tapping, Change-Detection oder vergleichende visuelle Such-Tasks.

## **2. Das Multikomponenten-Modell nach Baddeley und Hitch**

Baddeley und Hitch stellten in ihrem Paper ein Dreikomponenten-Modell (siehe Abb. 1) vor, welches bis heute das am weitesten verbreitete und einflussreichste Modell des Arbeitsgedächtnisses ist. Es besteht aus mehreren miteinander interagierenden Komponenten. Zunächst beinhaltet es ein Aufmerksamkeits-Kontroll-System, welches als

zentrale Exekutive bezeichnet wird. Dieses Kontrollsystem wird durch zwei Kurzzeitgedächtnis-„slave“-Systeme unterstützt (vgl. Abb. 1). Das eine ist für die Verarbeitung von verbalem und akustischem Material zuständig und wird auch phonologische Schleife genannt (Baddeley, 2010). Die phonologische Schleife ist gut erforscht und beinhaltet zunächst den passiven phonologischen Speicher, welcher Informationen nur für ca. zwei Sekunden aufrechterhalten kann. Zusätzlich umfasst sie den artikulatorischen Kontrollprozess, durch den es möglich ist, Informationen über einen längeren Zeitraum abzurufen, indem die Laute innerlich wiederholt werden (subvokales Sprechen). Das Pendant zur phonologischen Schleife bildet der visuell-räumliche Notizblock, welcher für die Verarbeitung visuell-räumlicher Informationen verantwortlich ist und in der vorliegenden Arbeit untersucht wird. Die räumliche Komponente kommt auf die Lokalisation und Orientierung eines Objektes zurück und die visuelle Komponente bezieht sich auf die äußeren Merkmale eines Objektes, die zur Identifizierung benötigt werden. Der visuell räumliche Notizblock ist allerdings weit weniger erforscht als die phonologische Schleife. Es wird beispielsweise noch immer diskutiert, ob von einem einheitlichen System für die visuelle und räumliche Komponente gesprochen werden kann oder von zwei getrennten Systemen ausgegangen werden muss. Auch das Vorhandensein einer Art „inneren Schreibens/Sehens“, vergleichbar mit dem subvokalen Sprechen, wird erwägt. Des Weiteren wurde dem Dreikomponenten Modell der episodische Puffer ergänzend hinzugefügt. Der episodische Puffer hält vorübergehend integrierte Ereignisse oder Informations-Blöcke („chunks“) in einer Art multimodalem Code. Dabei wirkt er, nicht nur wie ein Speicherlager zwischen den Komponenten, sondern verbindet auch das Arbeitsgedächtnis mit der Wahrnehmung und dem Langzeitgedächtnis (Baddeley, 2012). Grundsätzlich wird über die genauen Abgrenzungen und Benennungen der Komponenten des Arbeitsgedächtnisses bis heute immer wiederkehrend neu diskutiert.



**Abbildung 1:** Das Multikomponenten-Modell nach Baddeley und Hitch (Baddeley, 2012) mit den drei Speicherkomponenten: der phonologischen Schleife, dem episodischen Puffer und dem räumlich-visuellen Notizblock. Sie werden von der zentralen Exekutiven kontrolliert, welche über den episodischen Puffer mit dem Langzeitgedächtnis in Verbindung steht.

### 3. Die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses

Gleichermaßen bis zur heutigen Zeit stets diskutiert und umstritten ist die begrenzte Speicherkapazität des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses. Wie viele visuelle Objekte in das Arbeitsgedächtnis enkodiert und über einen kurzen Zeitraum aufrechterhalten und abgespeichert werden können, ist eine ständig neu debattierte Frage. Bereits in den 50er Jahren glaubte der Kognitionspsychologe George A. Miller, die Antwort gefunden zu haben. Er war der Meinung, dass ca. sieben Informationsbündel mit Bedeutung, also z.B. Buchstaben oder Wörter im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden können (Miller, 1956). Andere Wissenschaftler, fanden jedoch heraus, dass die Leistung der Teilnehmer bei vier längeren Informationsbündeln, in diesem Fall zum Beispiel kurze Sätze, bereits abnimmt (Gilchrist, Cowan, & Naveh-Benjamin, 2008). Um herauszufinden, wie viele Objekte im visuellen Arbeitsgedächtnis repräsentiert werden können, wird sich an Paradigmen wie zum Beispiel dem Corsi-Block-Tapping oder „Change-Detection“-Task bedient. Der Corsi-Block-Tapping-Task bestand ursprünglich aus neun Würfeln, die unregelmäßig auf einer Oberfläche verteilt waren. Der Versuchsleiter zeigte eine zufällige Sequenz, von anfangs zwei Würfeln und der Proband, dem Versuchsleiter gegenüber sitzend, musste diese Sequenz nachahmen. Die Länge der Sequenz wurde kontinuierlich erhöht, bis der Proband diese nicht mehr fehlerfrei wiederholen konnte. Die zuletzt richtig wiedergegebene Länge der Sequenz entspricht der Corsi-Spanne und ist ein Indikator für die Kapazität des räumlichen Arbeitsgedächtnisses (normal: ca. fünf

Positionen). Eine weitere Methode ist der Change-Detection-Task, dabei handelt es sich um eine visuelle Suchaufgabe, bei der dem Probanden ein Musterstimulus mit einer variierenden Anzahl an Objekten für eine kurze Zeit vorgeführt wird. In dieser Zeit läuft die Enkodierung der Objekte in das visuelle Arbeitsgedächtnis ab, weshalb genug Zeit gegeben werden muss, um alle Objekte enkodieren zu können, z.B. 500ms pro Objekt. Danach wird der primäre Stimulus ausgeblendet, um eine Zeitverzögerung („Delay“) entstehen zu lassen, während der die Objekte im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten werden müssen (delayed-match-to-sample-task). Daraufhin wird ein Teststimulus gezeigt und die Probanden müssen entscheiden, ob die Stimuli gleich oder unterschiedlich waren. Meist unterscheiden sich die Stimuli in nur einem oder keinem Objekt. Das Objekt, in dem sich der Teststimulus von dem vorherigen Musterstimulus unterscheidet, wird als das zu findende Zielobjekt bezeichnet und alle anderen Objekte werden Distraktoren genannt. Je nachdem wie hoch die Anzahl der Objekte in den Stimuli ist, können Aussagen über die Kapazität des visuellen Arbeitsgedächtnisses gemacht werden.

#### **4. Slot- vs. Ressourcen-Modell des Arbeitsgedächtnisses**

Die klassische Auffassung, dass das Arbeitsgedächtnis eine fixe Anzahl an Objekten, im häufigsten Fall drei bis vier, speichern kann, hat zur Entwicklung des sogenannten „Slot“-Modells motiviert. Dabei wird davon ausgegangen, dass pro zu behaltendem Objekt ein fixer Objekt-Slot existiert. Das bedeutet, dass ein Objekt entweder einen Slot bekommt und eine exakte Erinnerung daran möglich ist oder dass ein Objekt keinen Slot bekommt, es folglich nicht abgespeichert wird und sich überhaupt nicht an das Objekt erinnern kann (Luck & Vogel, 1997). Auf die Frage, was ein Objekt überhaupt definiert, wird im späteren Verlauf weiter eingegangen werden. Dem unflexiblen Slot-Modell wird durch psychophysiologische Studien widersprochen, in denen gezeigt wurde, dass die Präzision der Erinnerung an einzelne Objekte mit zunehmender Anzahl in den Stimuli langsam nachlässt, aber nicht komplett abbricht (Bays, Gorgoraptis, Wee & Marshall et al., 2011). Mit einem Slot-Modell ist dies nicht vereinbar, da ein Objekt entweder abgespeichert ist oder nicht. Außerdem konnte gezeigt werden, wenn die Bedeutung bzw. Relevanz eines Zielobjekts erhöht wird, dieses, auf Kosten der anderen Objekte, mit erhöhter Präzision abgespeichert wird, auch wenn dafür bereits gespeicherte Informationen „überschrieben“ werden müssen (Bays, Gorgoraptis, Wee & Marshall et al., 2011). Die Speicherung eines Elements der visuellen Umwelt kann also priorisiert werden, wenn es besonders auffällig und somit wichtig erscheint („bottom-up“). Oder ein Element aus der Umwelt wird als Priorität betrachtet, wenn davor bekannt ist, dass dieser Reiz für das angestrebte Ziel

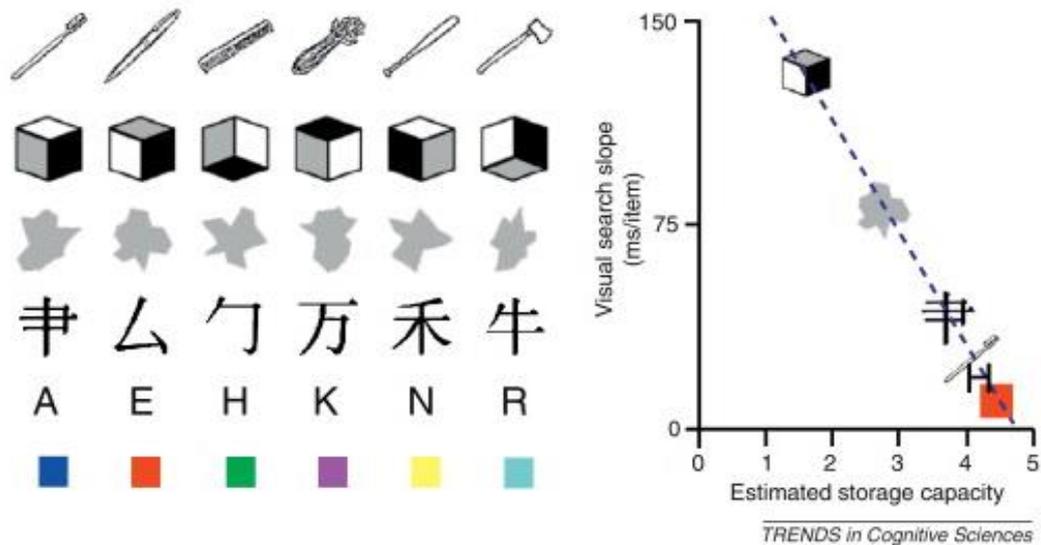
besonders wichtig ist („top-down“). Aus diesen Beobachtungen heraus, haben sich in der jüngeren Vergangenheit unterschiedliche „Ressourcen“-Modelle entwickelt. Darin wird das Arbeitsgedächtnis als eine limitierte Ressource beschrieben, die flexibel und dynamisch zwischen den relevanten Objekten einer jeweiligen visuellen Aufgabe verteilt werden kann (Alvarez & Cavanagh, 2004; Ma, Husain & Bays, 2014). Auch bei diesen Modellen ist die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses begrenzt, jedoch ist nicht die Anzahl der erinnerten Objekte, sondern die Qualität der Präzision dieser Erinnerungen die Maßeinheit, um das Limit des Arbeitsgedächtnisses zu bestimmen. „Ressourcen“-Modelle basieren auf zwei Voraussetzungen: interne Repräsentationen der sensorischen Stimuli (Objekte) sind durch zufällige Schwankungen verrauscht und die Stärke des Rauschens steigt mit der Anzahl der Stimuli (Objekte) im Gedächtnis. Je mehr Ressourcen also auf ein Objekt verteilt werden können, desto geringer ist das Rauschen und desto präziser ist das Objekt im Gedächtnis abgebildet (Ma, Husain & Bays, 2014). Die Konsequenz ist, dass entweder eine geringe Menge an hoch präzise repräsentierten oder eine große Menge an unpräzise repräsentierten Objekten gespeichert werden können, bevor die Ressourcen erschöpft sind.

## **5. Merkmalskonjunktionen im Arbeitsgedächtnis**

Grundsätzlich machen zwei Faktoren eine einfachere Angabe einer Maximalkapazität schwierig. Grundsätzlich hängt die Menge der Informationen, die im Arbeitsgedächtnis gehalten werden können stark davon ab, ob Informationen in aussagekräftige Einheiten (Objekte) bzw. „chunks“ gruppiert werden können. Das heißt, durch das Bündeln der neuen Informationen können bereits existierende Informationen, über im Langzeitgedächtnis gespeicherte Konzepte, ausgenutzt werden. Das wiederum erlaubt eine effizientere Speicherung der Information im Arbeitsgedächtnis und führt wahrscheinlich zur Reduzierung der im Arbeitsgedächtnis zu speichernden Informationen. Die Leistung des Arbeitsgedächtnisses kann somit verbessert werden, da die Verarbeitung eines visuellen Objektes eine Objekt-Datei ermöglicht. Eine derartige Objekt-Datei enthält nach Hommel (2004) Informationen über das Verhältnis zwischen Objektmerkmalen (z.B. Farbe, Form und Orientierung) und objektbezogenem Wissen aus dem Langzeitgedächtnis. Allerdings kann durch teilweise übereinstimmende Merkmale auch eine falsche Objekt-Datei aktiviert werden, was wiederum die Leistung des Arbeitsgedächtnisses verschlechtert (Hommel, 2004). Der zweite Faktor, der die Angabe einer Maximalkapazität schwierig macht, ist, dass Objekte mit hoher Komplexität zusätzliche Ressourcen erfordern, um Einzelheiten erkennen zu können. Das heißt, die Leistung des Arbeitsgedächtnisses ist für komplexere

Objekte reduziert, wenn die Präzision oder die Zeit bei der Enkodierung unzureichend ist. Wenn man diese Faktoren berücksichtigt, erschließt sich, dass die Limits der Leistung des Arbeitsgedächtnisses stark von der gegebenen Aufgabe aber auch von dem Vorwissen der jeweiligen Person abhängen (Eriksson, Vogel, Lansner & Bergström et al., 2015).

Um die Komplexität der Objekte zu variieren, haben Luck & Vogel (1997) verschiedene Change-Detection-Tasks für Objekte mit einem einzigen Merkmal (z.B. Farbe), für Objekte mit mehreren Merkmalen, also Konjunktionen (z.B. Farbe, Orientierung und Form) und für Objekte mit Konjunktionen von Merkmalen in der gleichen Dimension (z.B. zwei Farben) durchgeführt und konnten zeigen, dass in allen Konditionen die Erinnerung bei bis zu vier Objekten nahezu perfekt war und bei größeren Objektmengen zurückging. Daraus schlossen sie, dass das visuelle Arbeitsgedächtnis vier Objekte mit einer beliebigen Anzahl an Merkmalen und deren Konjunktionen speichern kann ohne zusätzliche Kosten zu verursachen. Die Ergebnisse von Luck und Vogel wurden allerdings durch mehrere Studien widerlegt oder zumindest in Frage gestellt. In einer der Studien wurde die Gedächtnis-Leistung für einfarbige und zweifarbige Flecken bei variierender Anzahl der Objekte im Stimulus getestet. Bei steigender Objektanzahl verschlechterte sich die Leistung der Probanden. Dies geschah viel rapider bei der Kombination von Merkmalen (Konjunktionen) als für ein Merkmal alleine (Zimmer, 2008). Somit verursacht das Abspeichern von Konjunktionen mehrerer Merkmale als integrierte Objekte offensichtlich höhere Kosten. Allerdings verhielten sich Konjunktionen von Merkmalen verschiedener Dimensionen, also nicht nur eine Farb-Farb-Verbindung, sondern eine Verbindung von unterschiedlichen Merkmalen, wie z.B. Form und Farbe, wie ein einzelnes Merkmal. Wahrscheinlich wird die Konjunktion in diesem Fall als einheitlich integriertes Objekt wahrgenommen und verarbeitet, es werden Informationsbündel gebildet. Alvarez und Cavanagh (2004) führten Change-Detection-Tasks für verschieden komplexe Objekte durch. Sie benutzten simple, farbige Vierecke, Buchstaben, Zeichnungen, chinesische Buchstaben, zufällige Polygone und schattierte Würfel (siehe Abb. 2). Die Leistung des Arbeitsgedächtnisses ließ, auch bei ausreichender Enkodierungszeit für die komplexeren Objekte, in der oben beschriebenen Reihenfolge nach. Allerdings ist anzunehmen, dass für Menschen, die Mandarin lesen und schreiben können, die Leistung des Arbeitsgedächtnisses bei den chinesischen Buchstaben besser ausgefallen wäre. Durch vorherige Informationen über die Buchstaben, die im Langzeitgedächtnis abgespeichert sind, können die Buchstaben mithilfe der Bedeutung in sinnvollere Objekt-Dateien integriert werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass visuelle Objekte anhand von verschiedenen Objektmerkmalen (Konjunktionen) als Objekt-Datei im Arbeitsgedächtnis abgebildet werden. Außerdem ist eine priorisierte Abspeicherung bestimmter Objekte durch eine erhöhte Relevanz möglich.



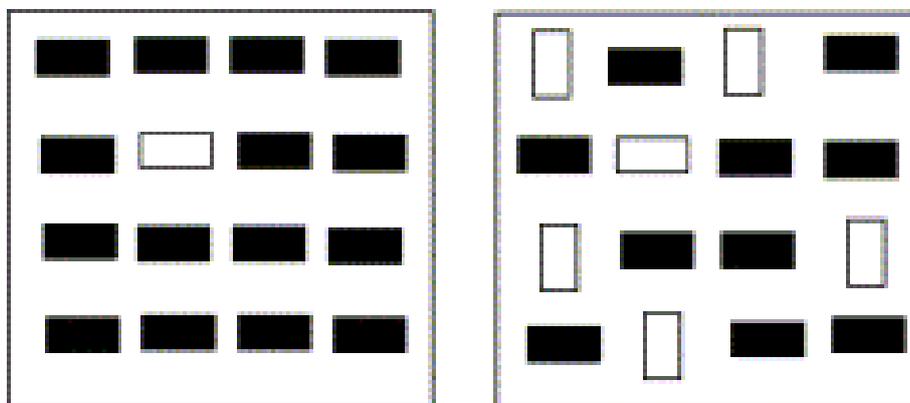
**Abbildung 2:** Verschiedene Objekte, die von Alvarez und Cavanagh 2004 in mehreren Change-Detection-Tasks verwendet wurden (links), um die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses zu untersuchen. Es wurden farbige Vierecke, Buchstaben, Zeichnungen, chinesische Buchstaben, zufällige Polygone und schattierte Würfel verwendet. In dieser Reihenfolge nahm auch die Kapazität der Versuchspersonen für die Objekte ab, wie in der rechten Grafik dargestellt (Grafik: Block, 2011).

## 6. Die Merkmals- und Konjunktionssuche

Um die Merkmals- und Konjunktionssuche erklären zu können, ist die Merkmalsintegrationstheorie von großer Bedeutung. Diese teilt die Objekterkennung in zwei Stufen ein. Die präattentive Verarbeitung stellt die erste Stufe dar. Bei diesem Vorgang werden die einzelnen Merkmale des Objektes (z.B. Farbe, Orientierung) getrennt wahrgenommen, dies läuft schnell und unbewusst ab. Die zweite Stufe beinhaltet die attentive Verarbeitung, welche auch als gerichtete Aufmerksamkeit bezeichnet wird. Während diesem Schritt werden die Merkmale des Objektes zusammengefügt, wodurch der Prozess entsprechend länger dauert als die präattentive Verarbeitung (Treisman & Gelade, 1980).

Um die Komplexität der Objekte in den Stimuli, die den Probanden gezeigt werden, in ihrer Schwierigkeit stufenweise zu variieren, können Merkmals- und Konjunktionssuchen verwendet werden. Bei einer visuellen Suche werden mehrere Objekte auf einem Bildschirm gezeigt; eines ist anders als alle anderen und stellt somit das Zielobjekt dar. Bei einer Merkmalsuche (parallele Suche) zeichnet nur ein einziges Merkmal (z.B. Farbe) das Zielobjekt aus und unterscheidet sich somit stark von den anderen Objekten, den Distraktoren. Daher erfolgt die Suche ohne Aufmerksamkeit (präattentiv). Die Probanden

können in derartigen Tasks einfach und schnell das Ziel finden, da ein sogenannter „pop-out“-Effekt, ungeachtet der Anzahl der Distraktoren, eintritt. Bei einer Konjunktionssuche (seriellen Suche) bestehen die Objekte aus mehreren konjugierten Merkmalen (z.B. Farbe und Orientierung), sodass das Zielobjekt mehr Ähnlichkeit mit den Distraktoren zeigt und schwieriger zu identifizieren ist (Abb.3). Des Weiteren müssen mehrere Merkmale pro Objekt visuell wahrgenommen, enkodiert und als Objekt-Datei abgespeichert werden. Es wird gerichtete Aufmerksamkeit benötigt, um den gesamten Bildschirm nach dem Zielobjekt abzusuchen. Bei derartigen Tasks ist mit einer längeren Reaktionszeit zu rechnen (Treisman & Gelade, 1980).



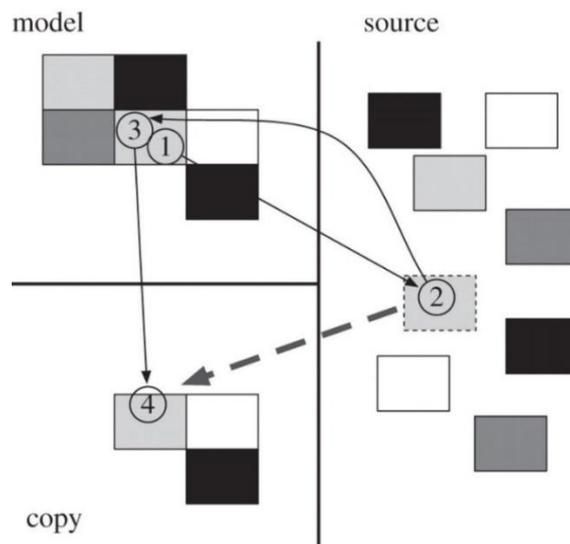
**Abbildung 3:** Ein Beispiel für eine Merkmalsuche/parallele Suche (links), bei der das Zielobjekt durch einen „pop-out“-Effekt sofort gefunden werden kann. Und eine Konjunktionssuche/serielle Suche (rechts), bei der gerichtete Aufmerksamkeit benötigt wird, um jedes Objekt integriert wahrzunehmen (Treisman & Gelade, 1980; Grafik: Deco, Pollatos & Zühl, 2002).

## 7. „Trade-offs“ – Kompromisse zwischen verschiedenen Verhaltensstrategien

Bis jetzt hat sich hervorgetan, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses stark limitiert ist. Sowohl die Anzahl der Objekte, die aufrechterhalten werden können, als auch die Anzahl und Kombination der Merkmale pro Objekt-Datei sowie die Qualität der Abbildungen und die Zeit der Aufrechterhaltung sind begrenzt. Darüber wie Probanden während interaktiver Aufgaben die beschränkten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses verteilen, zum Beispiel beim Aufbauen eines Schrankes, gibt es verschiedene Hypothesen. Die „Soft-Constraints“ Hypothese besagt, dass die perzeptuell-motorischen (Informationsbeschaffung) und die kognitiven Ressourcen (Speicherung von Informationen im Arbeitsgedächtnis), die dem interaktiven Verhalten zugewiesen werden, aufgrund von zeitlichen Kosten-Nutzen-Kompromissen, bei jeder Aufgabe neu angepasst werden

(Anderson, 1990; Gray, Sims, Fu & Schoelles, 2006). Andere Hypothesen wie zum Beispiel die „Minimum-Memory“ Hypothese besagen zudem, dass Strategien bevorzugt werden, die den Gebrauch des Gedächtnisses minimieren. Die perzeptuell-motorischen Ressourcen werden demnach bevorzugt aufgewendet, um kognitive Ressourcen zu sparen (Wilson, 2002).

Aufgrund der Limitationen des visuellen Arbeitsgedächtnisses, wird in alltäglichen Situationen versucht, die zur Problemlösung benötigten visuellen Informationen direkt dort abzuholen, wo sie sich ursprünglich befinden. Dadurch können übrige Ressourcen im Arbeitsgedächtnis auf verschiedene Aufgaben verteilt werden und andere Handlungen simultan erledigt werden. Diese sogenannte „just-in-time“- Verarbeitungsstrategie konnte durch die Beobachtung von Augenbewegungen während des Block-Copying-Tasks nachgewiesen werden. Dabei müssen Probanden ein gezeigtes Muster mit farbigen Blöcken von einem Modell- in einen Arbeitsbereich übertragen (Abb. 4). Beide Bereiche befinden sich hier auf einem Bildschirm und die Information kann direkt dort abgeholt werden, wo und wann sie gebraucht wird, also „just-in-time“ (Ballard, Hayhoe & Pelz, 1995). Bei diesem Task sind die Kosten für die Akquisition der Informationen sehr gering. In Bezug auf das anfänglich genannte Beispiel, müsste die Bauanleitung für den Schrank direkt greifbar neben den Einzelteilen liegen - nur eine minimale Augenbewegung entfernt. Somit liegt es nahe, das Arbeitsgedächtnis möglichst wenig zu benutzen und die Informationen wiederholt nachzulesen (Akquisitionsstrategie). Doch beide Strategien, Memorisierung und Akquisition, bringen Kosten mit sich. Wie so oft im Tierreich, machen auch Menschen nicht nur in der Wirtschaft, sondern auch bei alltäglichen Aufgaben eine Kosten-Nutzen-Analyse, welche auf früheren Erfahrungen mit beiden Strategien basiert. Man möchte dabei keine Optimalität im numerischen Sinne erreichen, sondern eher eine adäquate Lösung finden, die gut genug ist, um den Anforderungen zu entsprechen (Hardiess, Gillner & Mallot, 2008). Die Kosten für die Memorisierung, also das Abspeichern der Information im Arbeitsgedächtnis, hängen mit der Anzahl und der Komplexität der Objekte zusammen. Auf Seiten der Akquisition hingegen hängen die Kosten z.B. von der Dauer ab, die benötigt wird, um die Information zu erfassen. Außerdem zu berücksichtigen ist der Energieverbrauch, der für das Wiedererlangen kalkuliert werden muss. Folglich wächst der Aufwand für die Informationsbeschaffung mit der Distanz zwischen dem nachzubauenden Modell und dem Arbeitsplatz, beispielsweise zwischen Schrankteilen und Bauanleitung. Um diese Distanz im Experiment manipulieren und die Kompromisse („trade-offs“) zwischen den Strategien untersuchen zu können, wurde von Pomplun et al. (2001) ein vergleichendes visuelles Suchparadigma entwickelt.



**Abbildung 4:** Block-Copying-Task nach Hayhoe und Ballard. Oben links befindet sich das Muster, nach dem gebaut werden soll, rechts befinden sich alle benötigten farbigen Würfel und unten links ist der Arbeitsbereich. Die Nummern geben die Reihenfolge der Augenbewegungen an, mit der die Versuchsperson die Bereiche anvisiert hat (Grafik: Tatler & Land, 2011).

## 8. Die vergleichende visuelle Suche

Bei der vergleichenden visuellen Suche (Hardiess & Mallot, 2015) werden auf einem Bildschirm zwei visuell getrennte, relevante Bildregionen, bzw. Halbfelder mit jeweils einer Liste mit Objekten gezeigt. Die Aufgabe der Probanden ist es, beide Listen miteinander zu vergleichen und die Unterschiede zwischen ihnen, sofern vorhanden, zu finden. Die Anweisung lautet, die Aufgabe so zügig und so korrekt wie möglich zu lösen. Da die Listen visuell getrennt sind, muss die eine Liste im Gedächtnis behalten werden, während die andere angeschaut wird, um den Vergleich auszuführen. Die visuelle Trennung wird durch das jeweilige Abdecken einer der beiden Listen mittels einer Maske realisiert. Um die sichtbare Liste zu wechseln, muss mit der Computermaus rechts bzw. links geklickt werden. Da beide Listen eine hohe Anzahl an Objekten enthalten, muss eine Taktik gefunden werden, um die Listen miteinander zu vergleichen. Entweder der Proband merkt sich möglichst viele Objekte, was durch die Limitationen des Arbeitsgedächtnisses Kosten verursacht oder er führt viele Blickbewegungen durch, was allerdings mit Kosten für Dauer und Energieverbrauch verbunden ist. Die Kosten (Zeitaufwand) für die Akquisition (Augenbewegungen) lassen sich leicht kontrollieren, indem man den Wechsel der Maske mit einer zeitlichen Verzögerung variierender Länge versieht. Eine solche Verzögerung simuliert unterschiedlich lange Augenbewegungen, da während der Verzögerungsphase keine aufgabenrelevante Information angezeigt wird. Der Aufwand für die Memorisierung

könnte durch mehrfaches Wiedererlangen der Information, also wiederholtes Umschalten zwischen den Listen geringgehalten werden. Dabei jedoch entstehen, abhängig von der Verzögerung, unterschiedlich hohe, zusätzliche Zeitkosten. Die Kosten für die Memorisierung werden durch die benötigte Zeit bei der Verarbeitung in der Wahrnehmung und Speicherung der Objekte definiert. Besitzen die Objekte in der Liste mehrere (konjugierte) Merkmale, entstehen höhere Zeitkosten bei der Enkodierung in das Arbeitsgedächtnis und beim Abruf der Informationen, während des Vergleiches. Um die Kosten für die Memorisierung zu variieren, benutzten Hardiess und Mallot (2015) farbige Kreise als einfache und Tiersilhouetten als komplexe Objekte. Die Kosten für die Akquisition wurden durch eine unterschiedlich lange Verzögerungsphase zwischen den Listen kontrolliert. Um die Aufgabe möglichst effizient zu lösen, müssen Strategien verwendet werden, die die Kosten reduzieren. Dabei wird die Speicherauslastung des Arbeitsgedächtnisses gegen die Blickbewegungen abgewogen. Es konnte unabhängig von der Art der Objekte gezeigt werden, dass die Anzahl der Blickbewegungen, zum Wiedererlangen der Information bei längerer Verzögerung verringert war und somit die Kosten für die Aufnahme der Information erhöht wurden. Die Zeit, die in einer Liste verbracht wurde (Verarbeitungszeit) war höher, wenn die Verzögerung länger andauerte. Beide Variablen erhöhten sich bei den komplexeren Tiersilhouetten, also verlängerte sich die Gesamtzeit des visuellen Vergleichs bei diesen Objekten. Während des Tasks war eine klare Strategieauswahl durch alle Symbole und Verzögerungen erkennbar. Es fand kein Lernen und somit keine Anpassung der Strategie während des Experiments statt, da die Probanden aus Erfahrungen in alltäglichen Aufgaben dazu fähig waren, sich sofort an die Konditionen anzupassen. Auch wenn die Probanden verschiedene Strategien benutzten, war klar erkennbar, dass kein Proband eine besonders kleine oder eine besonders große Menge einer Strategie benutzte und die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nie komplett ausgelastet war. Die Probanden behielten im Schnitt nur 1,22-1,85 Objekte im Gedächtnis (Hardiess & Mallot, 2015) und erreichten somit nicht das theoretische Kapazitätslimit von drei bis vier.

Wenn man die, in diesem Experiment ermittelten, individuellen Entscheidungsstrategien mit den allgemeinen Strategien der Gesamtheit vergleicht, ist erkennbar, dass die Variabilität der Strategie innerhalb einer Person (über alle Konditionen des Versuchs) sehr gering und somit stabil ist. Im Vergleich dazu ist eine starke Variabilität zwischen den Probanden sichtbar (Hardiess & Mallot, 2015). Des Weiteren erfolgte die Strategieauswahl vollkommen unterbewusst, da die Personen, aufgrund früherer Erfahrungen und Unterschiede in der Möglichkeit ihr kognitiven Kapazitäten einzusetzen, die Kosten unterschiedlich gewichteten. Um in der Strategieauswahl Unterschiede zu erzielen, verwendeten Hardiess und Mallot

(2015) Objekte mit möglichst unterschiedlicher Komplexität. Es konnte ein Effekt der Komplexität der Objekte auf das Abwägen von Kosten und Nutzen und somit die Strategieauswahl gezeigt werden. Es wurde bei den komplexeren/konjugierten Objekten eine längere Verarbeitungszeit und mehr Augenbewegungen festgestellt.

## **9. Weiterführende Forschung zur Strategiewahl**

In einem weiteren Versuch von Caroline Weber (2017), wurde untersucht auf welcher Verarbeitungsstufe (Wahrnehmung/ Enkodierung, Memorisierung oder Vergleich) der Unterschied im Strategieeinsatz der Probanden beruht. Dafür wurden einfache Objekte mit einem Merkmal und konjugierte Objekte mit zwei Merkmalen benutzt, da diese durch die klare Definition der Merkmale und somit den Grad der Verarbeitung einfacher zu interpretieren sind als die von Hardiess & Mallot (2015) verwendeten Farben und Tiersilhouetten. Es wurden schwarze Balken (in vier Orientierungen) als einfache Objekte benutzt und schwarze Balken mit einer Lücke (in zwei Orientierungen) als konjugierte Objekte. In diesem Versuch konnte gezeigt werden, dass die konjugierten Objekte zwar nicht signifikant mehr Blickbewegungen verursachten, jedoch eine höhere Verarbeitungszeit notwendig war (Bachelorarbeit: Weber, 2017). Dementsprechend benötigten die Probanden bei den konjugierten Objekten mehr Zeit zur Enkodierung und zum Vergleich. Da sowohl die Enkodierung, die Memorisierung und der Vergleich zeitkritische Prozesse sind und jede Person ihre Zeit individuell anpasst (z.B. mehr Zeit für Enkodierung), soll in der vorliegenden Arbeit in einem weiteren Versuch gezeigt werden wie die Strategiewahl sich verändert, wenn man auf alle Prozesse gleichzeitig einen Zeitdruck ausübt. Somit soll herausgefunden werden i) auf welchen der Prozesse ein Zeitdruck Auswirkungen hat, ii) wie dies die Strategiewahl beeinflusst und iii) ob diese Veränderung individuell oder generell für alle Versuchspersonen gilt. Gemessen wurden in diesem Versuch ebenfalls die Verarbeitungszeit und die Anzahl der Augenbewegungen, um die einzelnen Strategien zu quantifizieren. Die Verarbeitungszeit (Zeit in einem Halbfeld) war die Zeit, die die Versuchsperson benötigte, um n Objekte zu enkodieren und diese mit den Objekten des anderen Halbfeldes zu vergleichen. Somit repräsentierte die Verarbeitungszeit, neben der Strategie der Memorisierung, die Wahrnehmung/Enkodierung (erster Schritt) und den Vergleich (dritter Schritt). Die Anzahl der Augenbewegungen (Anzahl der Mausklicks) war neben dem Maß für das Wiedererlangen der Informationen (Akquisition) auch ein Maß für die Speicherkapazität des Arbeitsgedächtnisses und quantifiziert den zweiten Schritt.

Welcher Strategiemix ausgewählt wird, um die vergleichende visuelle Suche zu lösen, wird im Arbeitsgedächtnis jeder Person individuell und für jeden experimentelle Bedingung neu aber stabil festgelegt (Hardiess & Mallot, 2015).

Das Arbeitsgedächtnis wird als Kurzzeitgedächtnis-System betrachtet, welches in die Kontrolle, Regulation und Aufrechterhaltung einer limitierten Menge an Information für die aktuelle Aufgabe involviert ist (Miyake & Shah, 1999; Beilock & DeCaro, 2007). Außerdem ist das Arbeitsgedächtnis auch bekannt dafür, dass es individuelle Unterschiede aufweist, d.h. manche haben eine größere Kapazität und andere eine geringere. Personen mit einer geringeren Kapazität können zum Beispiel schlechter steuern, was gespeichert werden soll (Eriksson et al., 2015). Trotz der Kenntnis, dass verschiedene Aspekte des Arbeitsgedächtnisses, wie z.B. Aufmerksamkeitskontrolle zu einer guten Leistung beitragen, ist sehr wenig darüber bekannt wie individuelle Unterschiede des Arbeitsgedächtnisses problemlösende Strategien beeinflussen, die benötigt werden um Aufgaben wie die vergleichende visuelle Suche zu lösen. Um mögliche Zusammenhänge zwischen der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und der Strategiewahl aufzudecken, wurde in einem Change-Detection Task vor der vergleichenden visuellen Suche auch die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses jeder Versuchsperson quantifiziert (Anzahl korrekter Antworten) und mit ihrer individuellen Strategieauswahl verglichen.

### **III. Material und Methoden**

#### **1. Versuchspersonen**

Für beide Versuche wurden 14 Probanden getestet, die alle zwischen 21 und 33 Jahren alt waren und von denen 4 Personen männlich waren (10 Personen weiblich). Alle Probanden besaßen ein normales oder korrigiertes Sehvermögen. Keiner der Probanden wusste vorher über die Zielsetzung/Intention der Studie Bescheid, so dass hierdurch keine Beeinflussung der Studienergebnisse eintreten konnten. Vor dem Beginn der Experimente bekamen alle Studienteilnehmer eine Anleitung zum Ablauf der Studie und eine Einverständniserklärung musste unterschrieben werden. Dieselbe Versuchsperson absolvierte nacheinander alle experimentellen Konditionen des Versuches, demzufolge wurde der Versuch als „within-subject-design“ ausgelegt.

#### **2. Apparaturen (Material)**

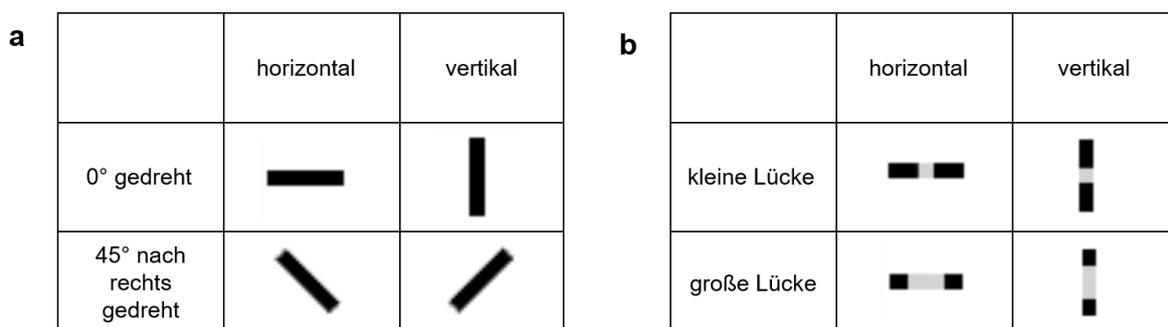
Durch die Software MATLAB (MathWorks Ltd.) und einem PC (3,1 GHz), der zur Stimuluspräsentation genutzt wurde, konnte das Experiment kontrolliert und die Antworten der Probanden aufgenommen und abgespeichert werden. Die Software, die die Experimente kontrollierte bindet die Erweiterung Psychophysics Toolbox 3 ein (Brainard, 1997). Die Stimuli wurden auf einem Samsung SyncMaster 931BF Monitor präsentiert (19“, 1280 x 1024 Pixel, 60 Hz), betrieben durch die im Computer eingebaute Intel HD Graphics 2000 Grafikkarte. Die festgelegte Blickdistanz zwischen Proband und Bildschirm betrug ca. 60 cm, es wurde keine Kinnstütze benutzt. Diese Arbeit umfasst insgesamt zwei voneinander getrennte Experimente, die beide mittels der selben Apparatur (s.o.) in einem schwach beleuchteten Versuchsraum stattfanden.

#### **3. Change-Detection Task (CDT)**

##### **3.1. Versuchsaufbau und Stimuli**

Vor der vergleichenden visuellen Suchaufgabe, wurde bei jedem Probanden die jeweilige maximale Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, anhand eines Change-Detection Tasks (CDT), ermittelt. Jeder Durchgang des CDT bestand aus zwei aufeinander folgenden Bildern (Stimuli) mit verschiedenen Objekten, die zufällig auf dem Bildschirm angeordnet waren. Die Probanden mussten entscheiden, ob die beiden Stimuli sich unterscheiden oder nicht. Dies wurde mit dem Klicken der linken Maustaste (Stimulus gleich) oder dem Klicken der rechten Maustaste (Stimulus verschieden) angezeigt. Es gab zwei unterschiedliche

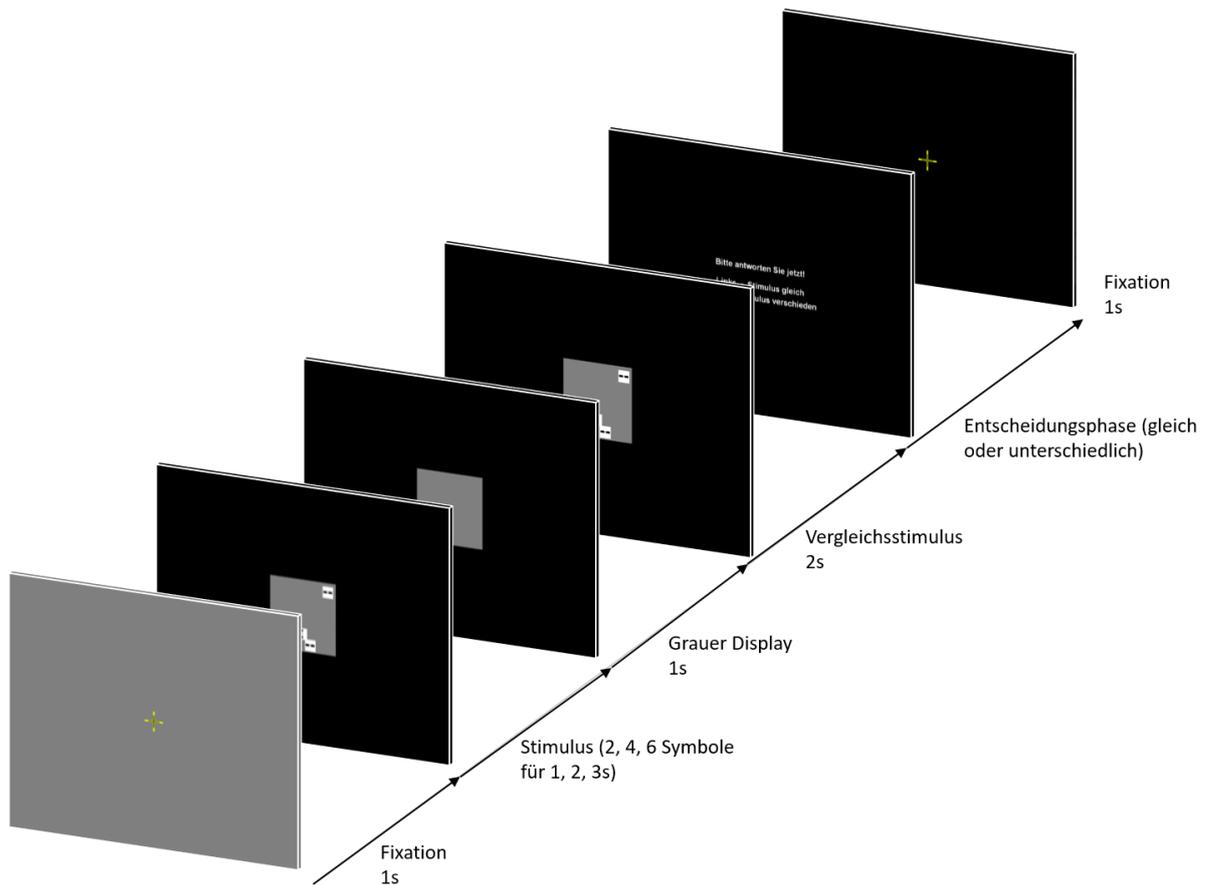
Objekttypen, um die Verarbeitungskosten zu manipulieren. Als Objekte mit niedrigen Verarbeitungskosten (ein Merkmal) wurden schwarze Balken ohne Lücke gewählt, die in vier verschiedenen Orientierungen auftreten konnten (Abb. 5a). Für die hohen Verarbeitungskosten (zwei konjugierte Merkmale) wurden schwarze Balken in zwei verschiedenen Orientierungen gewählt, allerdings mit unterschiedlich großen Lücken (klein oder groß; siehe Abb. 5b). Die beiden Stimuli mit den Symbolen unterschieden sich entweder gar nicht oder nur in einem Symbol, dabei blieb die Anordnung der Symbole auf dem Bildschirm aber immer gleich. Die Anzahl der gezeigten Symbole variierte in jedem Durchlauf zwischen 2, 4 und 6, um die Quantität der im Arbeitsgedächtnis zu haltenden Objekte zu manipulieren. Das Symbol, in dem sich die beiden Stimuli unterscheiden ist das Zielsymbol und alle anderen werden als Distraktoren bezeichnet. Zu Beginn jedes Durchlaufes erschien für 1 Sekunde ein Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms, welches fixiert werden musste bis der erste Stimulus erschien. Dieser Stimulus wurde, abhängig von der Objektanzahl unterschiedlich lang angezeigt, um den Probanden genug Zeit zu lassen jedes Objekt in das Arbeitsgedächtnis zu enkodieren. Pro Objekt wurde eine Enkodierungszeit von 0,5 Sekunden verwendet, d.h. bei zwei Symbolen wurde der Stimulus für 1 Sekunde gezeigt, bei vier Symbolen für 2 Sekunden und bei 6 Symbolen für 3 Sekunden. Daraufhin war für 1 s ein graues Display sichtbar (Verzögerung, Aufrechterhaltung im AG) und anschließend wurde der zweite Stimulus (Vergleichsstimulus) für 2 s präsentiert (Abb. 6). Pro Versuchsperson mussten jeweils 180 Durchläufe absolviert werden (2 Symbolkonditionen x 3 Setgrößen x 30 Wiederholungen (15 Stimuli gleich + 15 Stimuli verschieden)). Jeweils nach 60 Durchläufen wurde eine kurze Pause eingelegt.



**Abbildung 5:** Verwendete Stimuli des Change-Detection Task und der vergleichenden visuellen Suche **a.** Einfache Stimuli: schwarze Balken in vier verschiedenen Orientierungen (ein Merkmal). **b.** Konjugierte Stimuli: schwarze Balken in zwei verschiedenen Orientierungen (horizontal und vertikal) mit kleiner und großer Lücke (zwei Merkmale).

### 3.2 Prozedur

Die Aufgabe der Probanden war es anhand von zwei aufeinanderfolgenden Stimuli zu entscheiden, ob diese sich unterschieden oder nicht. Nach jedem der 180 Durchläufe musste mit Hilfe der Maustasten angezeigt werden, ob die Stimuli verschieden waren oder gleich. Die linke Maustaste musste für gleiche Stimuli gedrückt werden und die rechte Maustaste, wenn es einen Unterschied zwischen den Stimuli gab. Der nächste Durchlauf startete nach der Entscheidung automatisch mit der Fixationsphase. Vor dem Experiment mussten die Probanden eine Probandeninformation und eine Einverständniserklärung unterschreiben und eine geschriebene Versuchsanleitung lesen. Daraufhin folgte eine kurze Übungsphase mit vier Testdurchläufen, um die Probanden mit dem Ablauf, dem Design und den Stimuli vertraut zu machen. Nach Beendigung des CDT wurde eine Pause von ca. 10-15 Minuten eingelegt, bevor mit dem Hauptexperiment, der vergleichenden visuellen Suche, begonnen wurde



**Abbildung 6:** Ablauf eines Durchlaufs (von 180 Durchläufen) des CDT; Fixation (1s), danach das Stimulusbild, welches je nachdem ob es 2, 4 oder 6 Symbole enthält für 1, 2, oder 3 Sekunden angezeigt wird (Enkodierung in das AG), daraufhin grauer Display (Aufrechterhaltung im AG), anschließend der Vergleichsstimulus (2s), gefolgt von der Entscheidungsphase des Probanden (linke Maustaste = Stimulus gleich; rechte Maustaste = Stimulus verschieden).

### **3.3 Abhängige Variablen**

Die Auslastung des Arbeitsgedächtnisses wurde für jeden Probanden durch die Anzahl an korrekt gegebenen Antworten (Summe: „hits“ für Durchgänge mit „change“ und „correct rejections“ für Durchgänge ohne „change“) in Prozent berechnet. Somit lässt sich für jede Bedingung (zwei, vier, sechs Symbole) und für alle Konditionen zusammen ein vergleichbares Maß angeben.

### **3.4 Statistische Analyse**

Der Einfluss der beiden unabhängigen Variablen (Setgröße und Symbolkondition) auf die abhängige Variable (Anzahl korrekt gegebener Antworten) wurde mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholungen überprüft. Es wurde für alle ANOVAs ein Mauchly-Test auf Sphärizität durchgeführt, wodurch die Homogenität bestätigt wurde. Die Effektgröße für alle parametrischen Tests wird über das partielle Eta-Quadrat ( $\eta_p^2$ ) angegeben. Alle post-hoc Analysen wurden mit Bonferroni korrigiert  $\alpha$ -Werten durchgeführt. Die post-hoc Signifikanzen nach Bonferroni sind, wenn vorhanden, in Form von Sternen in die Abbildungen eingezeichnet (kein Stern: nicht signifikant, \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ ). Alle eingezeichneten Fehlerbalken zeigen die Standardfehler des Mittelwertes.

## **4. Vergleichende Visuelle Suche (VVS)**

### **4.1 Versuchsaufbau und Stimuli**

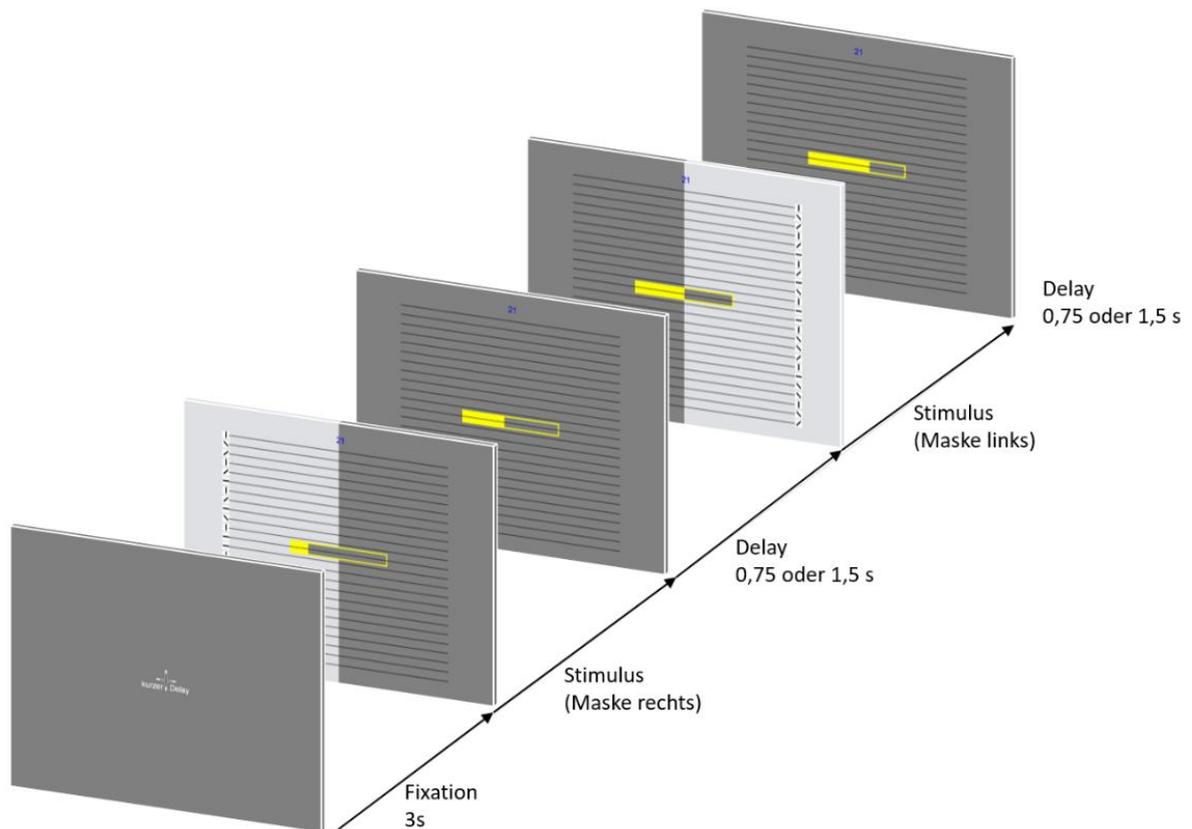
Jeder Durchgang der vergleichenden visuellen Suche (VVS) bestand aus 2 Spalten mit jeweils 24 Symbolen in zufälliger Reihenfolge (siehe Abb. 8). Es wurden die gleichen einfachen und konjugierten Objekttypen wie im CDT (vgl. Abb. 4). Für die vergleichende Aufgabe unterschieden sich die beiden Spalten immer an zufälligen Stellen in einem oder zwei Objekten. Die maximale Anzahl von zwei Unterschieden wurde eingeführt, um eine vorschnelle Beendigung der Aufgabe, zu verhindern. Da die Probanden die Anzahl der Unterschiede nicht vorher wissen konnten, sollte die Suche, nach dem Finden des ersten Fehlers, nicht abgebrochen werden. Während jedes Durchganges bedeckte eine blickdichte graue Maske ständig entweder die linke oder die rechte Spalte komplett. Am Anfang jedes Durchgangs ist jedoch immer die rechte Spalte bedeckt und die linke sichtbar (siehe Abb. 7). Jedes Symbolpaar der beiden Spalten war durch eine dünne schwarze Linie verbunden, die auch über der Maske zu sehen war, um den Blick zu leiten, auch wenn sich die Maske während des Wechsels (Verzögerungsphase) über beide Spalten erstreckte.

Während eines Durchgangs mussten die Probanden die Maske zwischen den beiden Spalten verschieben (Augenbewegungen). Dies wurde durch das Drücken einer der beiden Maustasten herbeigerufen und konnte so oft wie für den Probanden notwendig, um die Aufgabe zu lösen, ausgeführt werden. Durch das Drücken der linken Maustaste wurde die linke Spalte sichtbar und die Rechte verdeckt und durch das Drücken der rechten Maustaste wurde die rechte Spalte sichtbar und die Linke durch die graue Maske verdeckt. Es gab insgesamt zwei verschiedene Verzögerungskonditionen der Verzögerungsphase, um die Kosten der Informationsbeschaffung (Akquisition) zu manipulierten. Nachdem die Maskenverschiebung durch den Mausclick eingeleitet wurde, waren beide Spalten für entweder 0,75 (kurze Verzögerung) oder 1,5 Sekunden (lange Verzögerung) verdeckt und es waren nur die schwarzen Linien zu sehen, bevor die Maske wieder nur die andere Spalte bedeckte. Es gab zwei Aufgabenblöcke der VVS mit jeweils 20 Durchläufen in zufälliger Reihenfolge (2 Symbolkonditionen x 2 Verzögerungskonditionen x 5 Wiederholungen jeweils), also musste jeder Proband insgesamt 40 Durchläufe absolvieren. Im ersten Aufgabenblock hatten die Probanden für jeden Durchlauf, also jede Suchaufgabe, so viel Zeit, wie sie benötigten (die Instruktion hierbei war, die Suche so zügig aber auch so genau wie möglich durchzuführen). Im zweiten Aufgabenblock mussten die Probanden die gleichen Suchaufgaben wie im ersten Block, nun aber unter Zeitdruck lösen. Um den Zeitdruck zu implementieren, wurde ein immer voller werdender gelber Balken in der Mitte des Bildschirmes angezeigt (vgl. Abb. 7). Die Zeit, die im Block zwei für einen Durchgang zur Verfügung stand, berechnete sich für jeden Probanden individuell anhand 80% der Durchschnittszeit, welche im ersten Block für die fünf Durchläufe mit der gleichen Symbol- und Verzögerungskondition benötigt wurde.

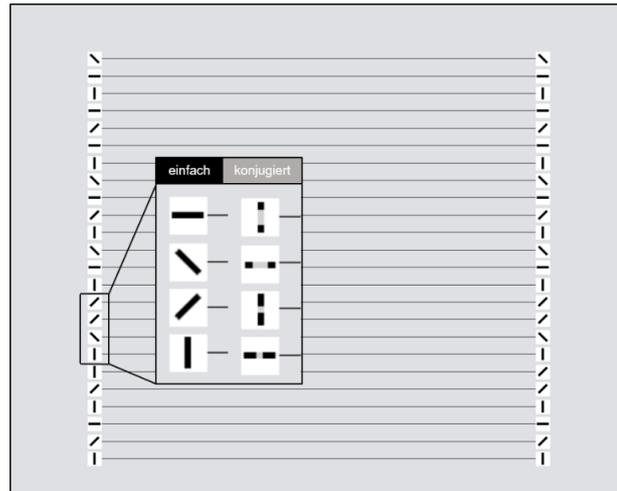
#### **4.2 Prozedur**

Die Aufgabe der Probanden war in jeder experimentellen Kondition, also in jedem Durchgang dieselbe: Vergleiche die beiden Spalten, um die Anzahl an Unterschieden (1 oder 2) so zügig und zuverlässig wie möglich zu finden. Dabei sollten beide Spalten nur einmal (und nicht wiederholt) miteinander verglichen werden. Nach der Beendigung der VVS musste die „Space“-Taste gedrückt werden, um den Durchgang zu beenden. Danach musste die Anzahl der gefundenen Unterschiede verbal dem Studienleiter mitgeteilt werden. Der nächste Durchgang begann automatisch nach einer 3-Sekunden Fixationsphase, während der ein Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms gezeigt wurde. Genau wie beim CDT mussten die Probanden vor dem Experiment eine geschriebene Versuchsanleitung lesen, woraufhin vier Testdurchläufe absolviert wurden (jeweils eine

Aufgabe mit einem Unterschied und eine Aufgabe mit zwei Unterschieden pro Symbolkondition). Dabei sollte vor allem die Benutzung der Maustasten geübt werden. Danach begann der erste von insgesamt 40 Durchgängen. Nach Block eins (20 Durchgänge) hatten die Probanden eine kurze Pause von ca. 5 Minuten bevor Block zwei (mit Zeitdruck) begann.



**Abbildung 7:** Ablauf eines Durchgangs (von insgesamt 40) der VVS aus Block 2 (Zeitdruck) mit gelben Balken als Zeitangabe; Fixation (3s), danach immer auf der linken Seite die Liste mit 24 Objekten und rechts die Maske, nach Mausclick (rechts) erfolgt graues Display (Verzögerung, entweder 0,75 oder 1,5 s), nach der Verzögerungszeit erscheint der Vergleichsstimulus mit der Objektliste auf der rechten Seite und der Maske auf der linken Seite. Dieser Ablauf kann beliebig oft wiederholt werden (außer wenn in Block 2 die Zeit abläuft).



**Abbildung 8:** Ein Durchgang von 40 bei der VVS bestehend aus zwei Reihen mit jeweils 24 Symbolen in zufälliger Reihenfolge. Während des Versuches sind immer eine oder beide Reihe durch eine graue Maske verdeckt.

### 4.3 Abhängige Variablen

Die Leistungen der Probanden in der VVS wurden durch die Fehlerrate (Anteil falscher Antworten) aufgezeigt und untersucht. Die zwei wichtigsten Messungen in Bezug auf die Strategieauswahl sind die Anzahl der Augenbewegungen zwischen den Spalten und die Zeit, die in einer Spalte zwischen den Augenbewegungen verbracht wird (Verarbeitungszeit). Die Anzahl der Augenbewegungen wurde als Anzahl der Mausklicks gemessen, die ausgeführt wurden, um die Maske zu bewegen. Damit ist die Informationsbeschaffungsstrategie (Akquisition) quantifiziert, indem die Anzahl der Augenbewegungen zwischen den beiden Spalten in jedem Durchlauf gemessen wird. Die Verarbeitungszeit wurde als durchschnittliche Zeit zwischen zwei aufeinander folgender Mausklicks (abzüglich der Verzögerungszeit) gemessen. Dies quantifiziert die Memorisationsstrategie, indem die durchschnittliche Zeit, die ein Proband vor der Augenbewegung in einer Spalte verbracht hat, gemessen wurde.

### 4.4 Statistische Analyse

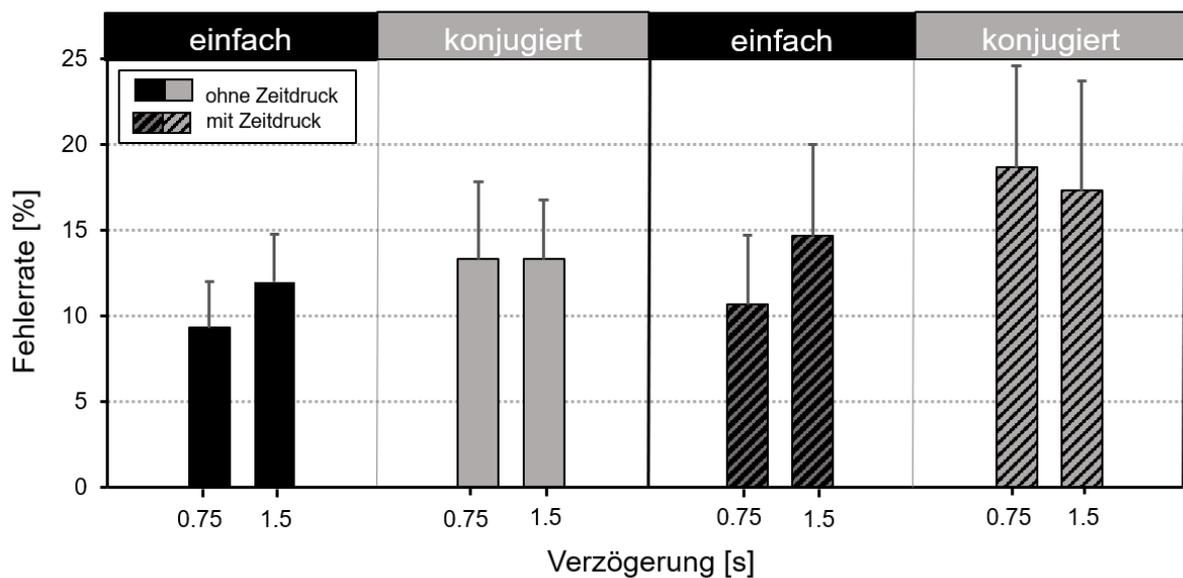
Der Einfluss der drei unabhängigen Variablen (Zeitdruck, Verzögerung und Symbolkondition) auf die drei abhängigen Variablen (Fehlerrate, Augenbewegungen und Verarbeitungszeit) wurde jeweils mit einer drei-faktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholungen überprüft. Die Effektgröße für alle parametrischen Tests wird über das partielle Eta-Quadrat ( $\eta_p^2$ ) angegeben. Alle eingezeichneten Fehlerbalken zeigen die Standardfehler des Mittelwertes.

## IV. Ergebnisse

### 1. Vergleichende visuelle Suche (VVS)

#### 1.1 Leistung der Versuchspersonen

Die Leistung aller Versuchspersonen ist in Abbildung 9 dargestellt und wurde durch die Fehlerrate definiert und durch die Anzahl der falsch gegebenen Antworten in Prozent berechnet. Die Anzahl der Fehler (ein oder zwei) wurde dabei nicht berücksichtigt. In allen Konditionen ist die Fehlerrate in dem Block mit Zeitdruck höher als ohne Zeitdruck. In beiden Blöcken weisen die einfachen Objekte eine geringere Fehlerrate auf als die konjugierten. Die Versuchspersonen zeigten in der Kondition ohne Zeitdruck mit einer Verzögerung von 0.75 s bei den einfachen Objekten die geringste Fehlerrate von  $9.33 \pm 3.3$  %. Bei einer Verzögerung von 1.5 s stieg die Fehlerrate auf  $12 \pm 3.27$  %. Die konjugierten Objekte in diesem Block weisen beide eine Fehlerrate von 13.33 % auf. Die Fehlerrate für einfache Objekte mit einer Verzögerung von 0.75 s und mit Zeitdruck lag bei  $10,67 \pm 4,3$  %. Bei einer Verzögerung von 1.5 s erhöhte diese sich um 4 %. Die Versuchspersonen ließen die höchsten Fehlerraten bei den konjugierten Objekten mit Zeitdruck erkennen. Für eine Verzögerung von 0.75 s zeigte sich eine Fehlerrate von  $18.67 \pm 5.68$  % und für eine Verzögerung von 1.5 s eine etwas geringer mit  $17.33 \pm 6.13$  %. Es wurde kein signifikanter Einfluss des Faktors Zeitdruck (Block) auf die Fehlerrate gefunden ( $F(1,13) = 1.64$ ;  $p = 0.22$ ;  $\eta_p^2 = 0.11$ ). Auch die Anzahl der Merkmale der Objekte ( $F(1,13) = 2.94$ ;  $p = 0.11$ ;  $\eta_p^2 = 0.18$ ) und die Länge der Verzögerung ( $F(1,13) = 0.06$ ;  $p = 0.82$ ;  $\eta_p^2 = 0.004$ ) zeigten keinen signifikanten Einfluss auf die Fehlerrate.



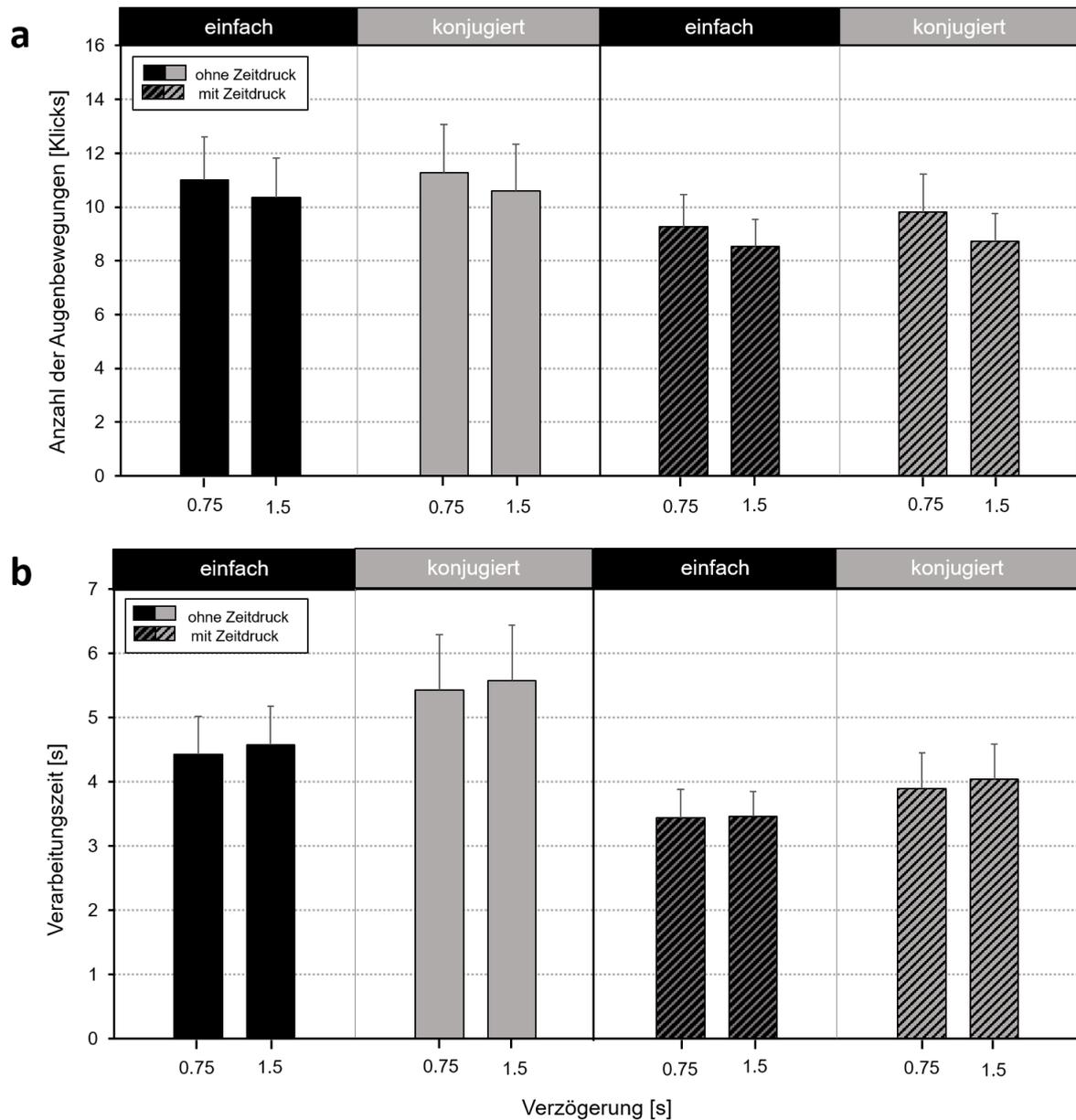
**Abbildung 9:** Leistung der Versuchspersonen. Die Fehlerrate wurde über alle Versuchspersonen gemittelt und für jede Kondition einzeln in einem Balkendiagramm dargestellt. Die einfarbigen Balken zeigen die Fehlerrate der Konditionen ohne Zeitdruck und die gestreiften Balken die Fehlerrate mit Zeitdruck (schwarz: einfache Objekte und Verzögerung; grau: konjugierte Objekte und Verzögerung).

## 1.2 Unterschiede zwischen Strategiewahl ohne und mit Zeitdruck

Um die Strategie für das Wiedererlangen der Informationen (Akquisition) zu quantifizieren, wurde die Anzahl der Augenbewegungen (Klicks) zwischen den beiden Halbfeldern gemessen. Als Maß für die Memorisierungsstrategie wurde die Verarbeitungszeit bestimmt. Alle durchgeführten Messungen jeder Kondition sind in Abbildung 10 (a. Anzahl der Augenbewegungen, b. Verarbeitungszeit) dargestellt. Unabhängig von der Komplexität der Objekte sank die Anzahl der Augenbewegungen bei ansteigender Verzögerungszeit. Durch eine ANOVA konnte festgestellt werden, dass die Verzögerungszeit einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Augenbewegungen hat ( $F(1,13) = 10.59$ ;  $p < 0.05$ ;  $\eta_p^2 = 0.45$ ). Die Verarbeitungszeit stieg minimal mit höherer Verzögerungszeit an, es konnte jedoch kein signifikanter Einfluss der Verzögerung auf die Verarbeitungszeit gefunden werden ( $F(1,13) = 3.79$ ;  $p = 0.07$ ;  $\eta_p^2 = 0.23$ ),, auch wenn der p-Wert nur knapp unterhalb der Signifikanz liegt.

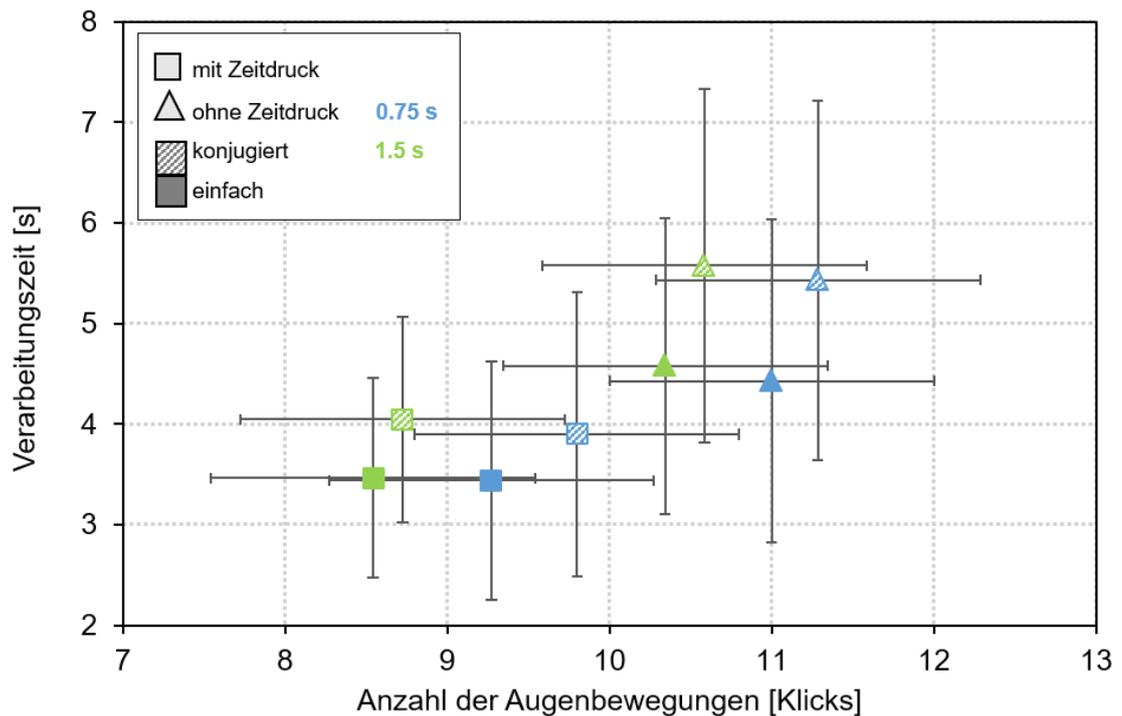
Die mittlere Anzahl der Augenbewegungen lag in allen Versuchsdurchläufen, unabhängig von der Komplexität der Objekte und der Verzögerung zwischen ca. 8,5 und 11,3. Es konnte kein signifikanter Einfluss der Komplexität der Objekte auf die Anzahl der Augenbewegungen festgestellt werden ( $F(1,13) = 1.48$ ;  $p = 0.25$ ;  $\eta_p^2 = 0.1$ ). Die mittlere

Verarbeitungszeit lag in allen Versuchsdurchläufen, unabhängig von der Komplexität der Objekte und der Verzögerung zwischen 3,4 und 5,6 Sekunden. Allerdings zeigte sich hier ein signifikanter Einfluss der Objektkomplexität auf die Verarbeitungszeit ( $F(1,13) = 7.69$ ;  $p < 0.05$ ;  $\eta_p^2 = 0.37$ ).



**Abbildung 10:** Anpassung der Akquisitions- und Memorierungsstrategien (Verhalten) während jeder Kondition. **a.** Akquisitionsstrategie: mittlere Anzahl der Augenbewegungen ohne Zeitdruck (einfarbige Balken) und unter Zeitdruck (gestreifte Balken) und **b.** Memorierungsstrategie: durchschnittliche Verarbeitungszeit ohne Zeitdruck (einfarbige Balken) und unter Zeitdruck (gestreifte Balken). Die Werte wurden über alle Probanden gemittelt und für alle Versuchskonditionen gezeigt (schwarz: einfache Objekte und Verzögerung; grau: konjugierte Objekte und Verzögerung).

Über alle Konditionen, unabhängig von der Komplexität der Objekte und von der Verzögerung, zeigte sich, dass die Versuchspersonen unter Zeitdruck sowohl weniger Augenbewegungen machten als auch ihre Verarbeitungszeit verkürzten (Abb. 11). Es konnten deutlich signifikante Einflüsse des Zeitdrucks sowohl auf die Augenbewegungen ( $F(1,13) = 10,74$ ;  $p < 0.05$ ;  $\eta_p^2 = 0.45$ ), aber vor allem auf die Verarbeitungszeit ( $F(1,13) = 21.21$ ;  $p < 0.0001$ ;  $\eta_p^2 = 0.62$ ) nachgewiesen werden.

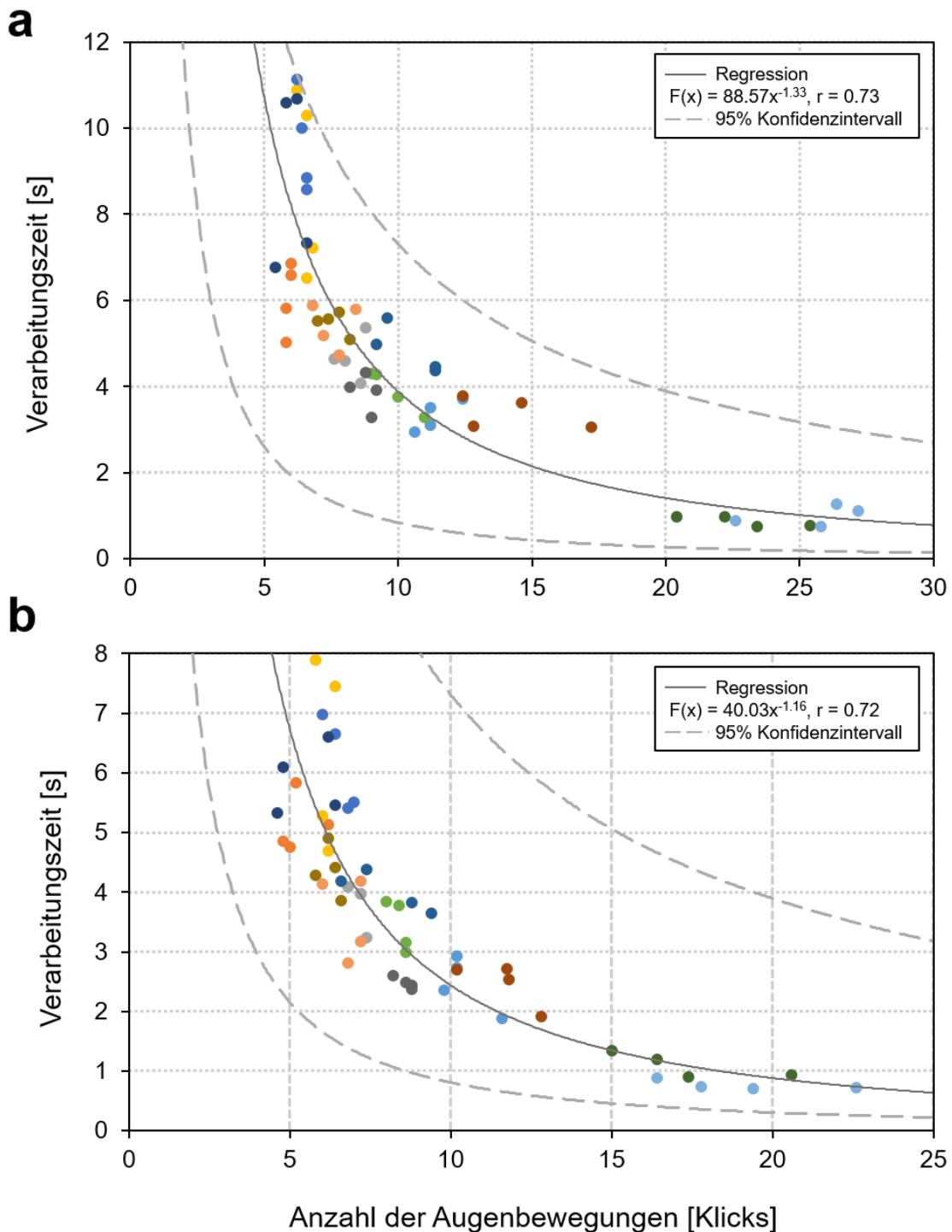


**Abbildung 11:** Gruppenergebnisse bezüglich des Einsatzes der Akquisitions- und Memorierungsstrategie gemittelt über alle Versuchspersonen für jede Kondition und abhängig von der Verzögerung (blau: 0,75 s und grün: 1,5 s), von der Komplexität der Objekte (einfarbig: einfach, gestreift: konjugiert) und vom Zeitdruck (Dreiecke: ohne Zeitdruck, Quadrate: mit Zeitdruck).

### 1.3 Strategieauswahl zwischen Akquisition und Memorisierung

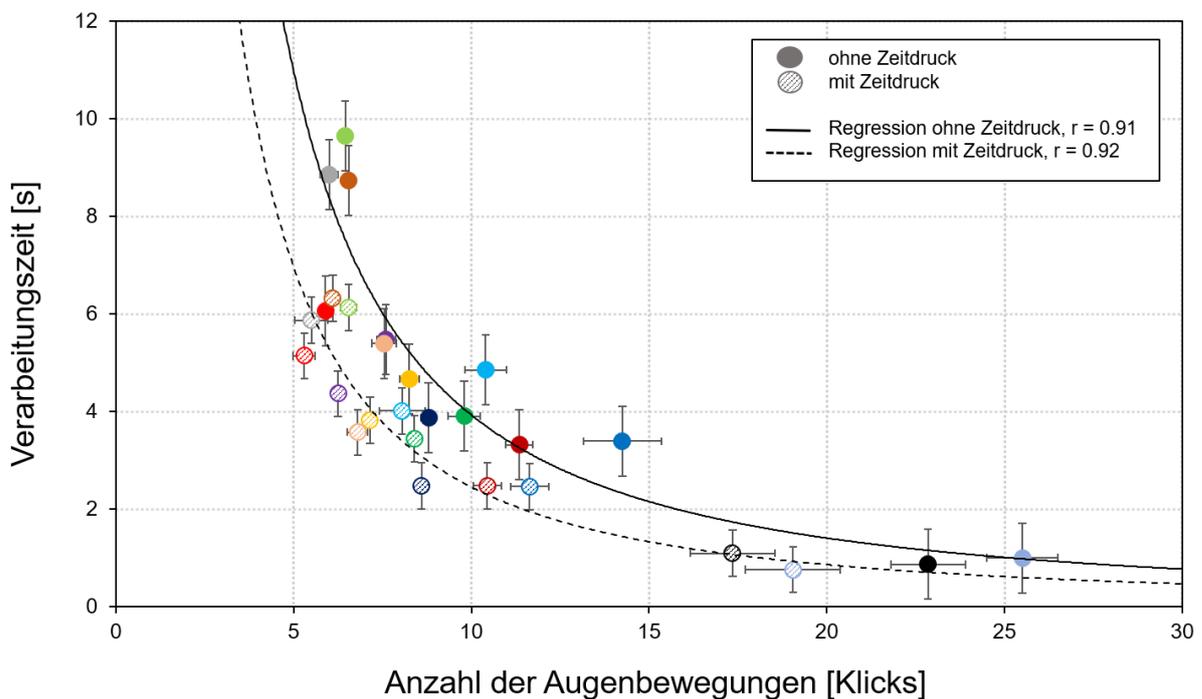
In Abbildung 12 ist zu erkennen, dass die Variabilität der Strategiewahl zwischen Akquisition und Memorisierung innerhalb einer Person (über alle Konditionen des Versuchs hinweg) sehr gering und somit stabil ist. So ist sowohl ohne als auch mit Zeitdruck gut zu erkennen, dass die vier Werte der einzelnen Probanden nahe beisammen liegen und immer Teilausschnitte der Gesamtkurve bilden (vgl. Abb 12a und b). Im Gegensatz dazu ist eine starke Variabilität zwischen den Probanden sichtbar. Alle Versuchspersonen lagen auf einer Kurve, die als Regression der Daten dem Potenzgesetz folgt. Die

Verarbeitungszeit sank mit zunehmender Anzahl der Augenbewegungen. Keine Person benutzte jedoch eine besonders kleine (unten links in Diagramm) oder eine besonders große Menge (oben rechts im Diagramm) beider Strategien. Jede Versuchsperson bildet sowohl in Block eins (ohne Zeitdruck), als auch in Block zwei (mit Zeitdruck) den gleichen Teilabschnitt der „trade-off“-Kurve (Abb. 12a und b). Versuchsperson 13 zeigte mit im Mittel  $22,28 \pm 1,44$  Augenbewegungen pro Versuchsdurchlauf die höchste Anzahl an Augenbewegungen und zugleich mit  $0,88 \pm 0,07$  s die niedrigste Verarbeitungszeit. Versuchsperson 2 zeigte mit im Mittel  $5,6 \pm 0,19$  Augenbewegungen pro Durchlauf die wenigsten Augenbewegungen und gleichzeitig mit einer mittleren Verarbeitungszeit von  $5,61 \pm 0,28$  s die dritthöchste Verarbeitungszeit.

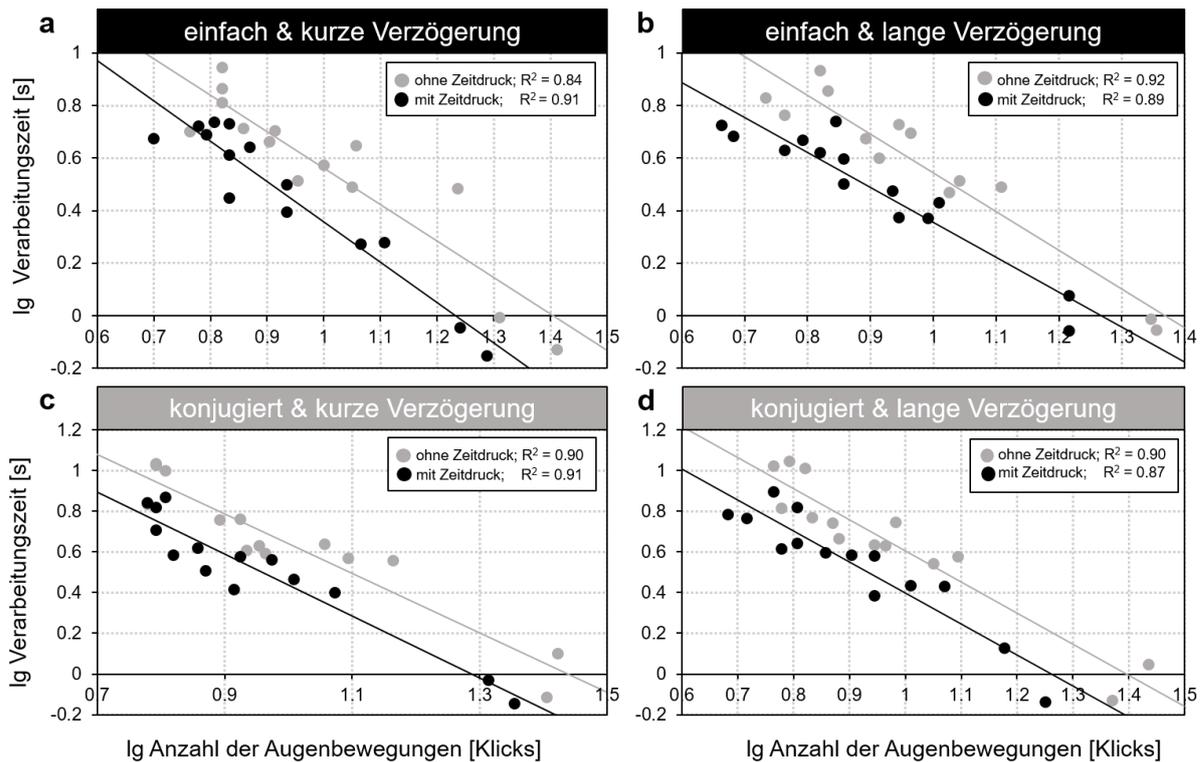


**Abbildung 12:** „Trade-off“-Kurve der Entscheidungsfindung zwischen Akquisition und Memorisierung. Jede Farbe stellt die individuelle Strategie einer Versuchsperson für die vier Konditionen einzeln dar. Bitte beachten Sie die unterschiedliche Skalierung der Achsen. **a.** Strategiewahl ohne Zeitdruck. Jeder der vier Punkte einer Farbe steht für eine Konditionsbedingung (einfache Objekte & kurze Verzögerung, einfache Objekte & lange Verzögerung, konjugierte Objekt & kurze Verzögerung, konjugierte Objekte & lange Verzögerung). **b.** Strategiewahl mit Zeitdruck. Hier steht ebenfalls jeder Punkt einer Farbe für eine Kondition. Bei dem Vergleich beider Kurven fällt auf, dass jede Versuchsperson sowohl mit als auch ohne Zeitdruck den gleichen Teilabschnitt der beiden Kurven bildet.

Zusätzlich wurde die Strategiewahl ohne und mit Zeitdruck nochmals getrennt betrachtet. Für alle Versuchsdurchläufe mit Zeitdruck konnte eine Veränderung der Strategiewahl beobachtet werden. Personen, die viele Augenbewegungen genutzt haben (Abb. 13, rechts unten) verschoben ihre Strategie in Richtung weniger Augenbewegungen, doch blieb die Verarbeitungszeit relativ gleich. Wohingegen Personen, die ohne Zeitdruck eine Strategie mit weniger Augenbewegungen und somit einer hohen Verarbeitungszeit wählten (Abb. 13, oben links) unter Zeitdruck eher die Verarbeitungszeit verkürzten. Versuchspersonen, die eine gemischte Strategie wählten, veränderten unter Zeitdruck beide Parameter. Sie machten weniger Augenbewegungen und verkürzten ihre Verarbeitungszeit. Diese Veränderung der Strategiewahl unter Zeitdruck konnte für jede der vier Versuchsbedingungen gesondert beobachtet werden (Abb. 14: **a.** einfache Objekte mit kurzer Verzögerung, **b.** einfache Objekte mit langer Verzögerung, **c.** konjugierte Objekte mit kurzer Verzögerung und **d.** konjugierte Objekte mit langer Verzögerung). Um dies besser darzustellen wurden die Werte für Augenbewegungen und Verarbeitungszeit dekadisch logarithmiert und für jede Kondition getrennt abgebildet (Abb.14).



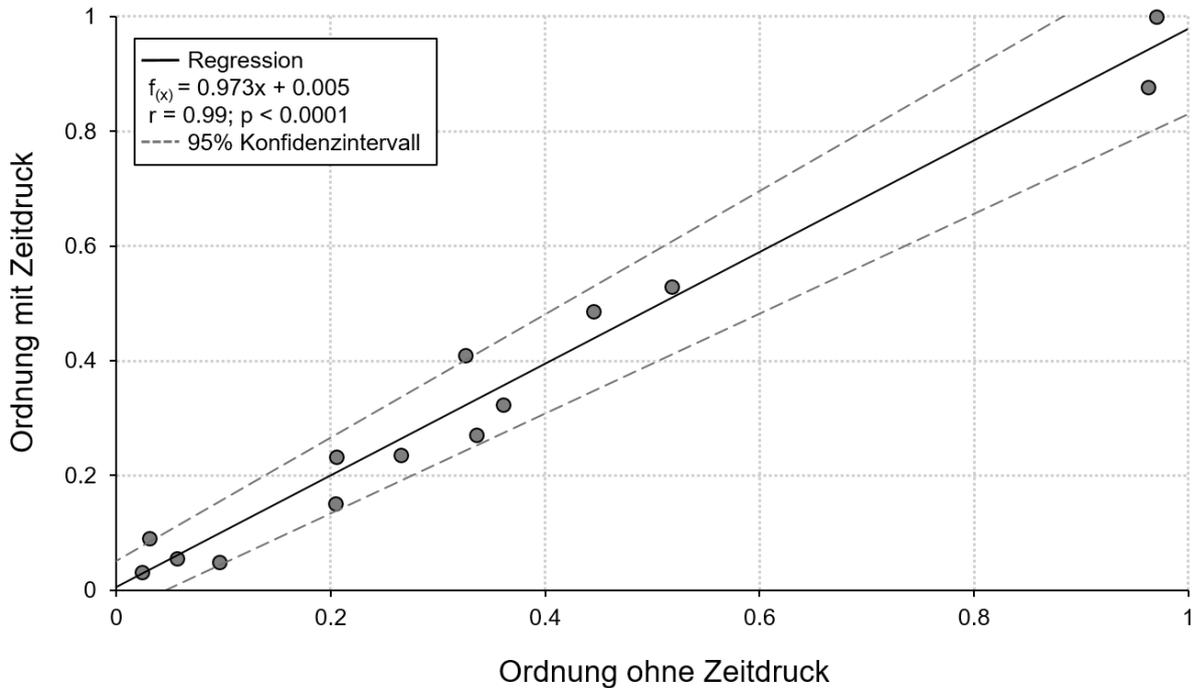
**Abbildung 13:** „Trade-off“ zwischen Akquisition (Anzahl der Augenbewegungen zwischen den Spalten) und Memorisierung (durchschnittliche Verarbeitungszeit in einer Spalte) in Abhängigkeit des Zeitdrucks. Ausgefüllte Punkte zeigen die Strategiewahl einer Versuchsperson gemittelt über alle Konditionen ohne Zeitdruck. Gestreifte Punkte zeigen die Strategiewahl unter Zeitdruck. Jede Farbe steht für eine Versuchsperson. Die Regressionen der individuellen Strategien ohne (schwarze Linie:  $r = 0.91$ ) und mit Zeitdruck (schwarzgestrichelte Linie:  $r = 0.92$ ) zeigen eine Kurve an, die dem Potenzgesetz folgt.



**Abbildung 14:** Strategiewahl mit und ohne Zeitdruck im Vergleich für alle vier Versuchsbedingungen getrennt aufgetragen. Die Werte für die Akquisition (Anzahl der Augenbewegungen) und die Memorisierung (Verarbeitungszeit) wurden jeweils dekadisch logarithmiert und für jede Versuchsbedingung in getrennten Diagrammen dargestellt. **a.** Vergleich der Strategiewahl ohne (graue Punkte; graue Linie: Regression) und mit Zeitdruck (schwarze Punkte; schwarze Linie: Regression) für einfache Objekte und eine kurze Verzögerung. **b.** Vergleich der Strategiewahl ohne und mit Zeitdruck für einfache Objekte und eine lange Verzögerung. **c.** Vergleich der Strategiewahl ohne und mit Zeitdruck für konjugierte Objekte und eine kurze Verzögerung. **d.** Vergleich der Strategiewahl ohne und mit Zeitdruck für konjugierte Objekte und eine lange Verzögerung.

Des Weiteren wurde eine Korrelation zwischen den Werten mit und ohne Zeitdruck durchgeführt, um nachzuweisen, dass die Versuchspersonen immer auf dem gleichen Ort der „Trade-off“-Kurve liegen. Zu diesem Zweck wurde für jede Versuchsperson die Anzahl der Augenbewegungen (AB) und die Verarbeitungszeit (VZ) über alle Bedingungen für den Block ohne Zeitdruck und für den Block mit Zeitdruck separat gemittelt und dekadisch logarithmiert. Im Folgenden wurde eine Normierung der logarithmierten Werte zwischen 0 und 1 für AB (normAB) und VZ (normVZ) durchgeführt (N steht hierbei für einen einzelnen Wert und  $N_{\min}$  für den kleinsten und  $N_{\max}$  für den größten Wert der jeweiligen Verteilung). Mithilfe der Berechnung der Anordnung dieser normierten Daten auf einer Geraden ( $P_1(AB=0/VZ=1)$  und  $P_2(AB=1/VZ=0)$ ) wurde daraufhin eine Dimensionsreduktion der normAB und normVZ Werte auf eine einzige Ordnung („order“ =  $(1 + \text{normAB} - \text{normVZ}) / 2$ ) vollzogen. Dieser Vorgang (Normierung und Ordnung) wurde jeweils für die Daten ohne

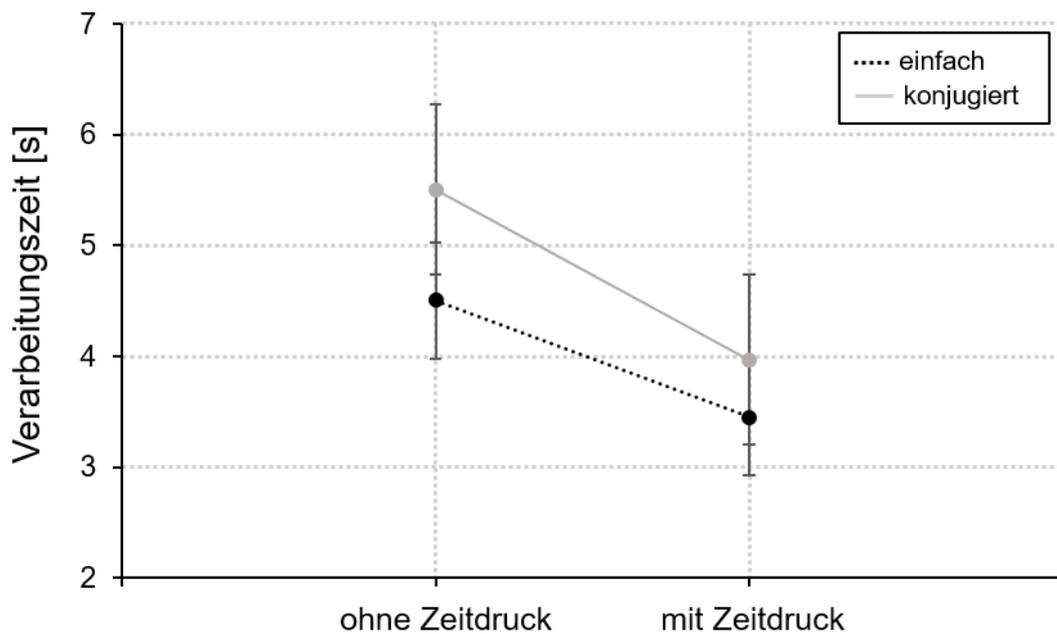
Zeitdruck und mit Zeitdruck durchgeführt. Anschließend wurden die beiden Ordnungen miteinander korreliert. Dabei ist eine stark signifikante Abhängigkeit (Korrelation) der beiden Ordnungen voneinander zu erkennen (Pearson-Korrelation:  $r(14) = 0.99$ ;  $p < 0.0001$ ; Spearman-Rho:  $r(14) = 0.97$ ;  $p < 0.0001$ ; Abb.15).



**Abbildung 15:** Korrelation zwischen den Anordnungen der Werte (Lage der einzelnen Probanden auf der „Trade-off“-Kurve im Strategieraum) für die Strategiewahl ohne und mit Zeitdruck. Hierfür wurde die Anzahl der Augenbewegungen und die Verarbeitungszeit über jede Kondition auf eine Ordnung ohne Zeitdruck und eine Ordnung mit Zeitdruck reduziert. Diese beiden Ordnungen wurden miteinander korreliert. Es ist ein starker Zusammenhang der Datenreihen erkennbar. Jeder Datenpunkt steht für eine Versuchsperson.

#### 1.4 Interaktion zwischen Zeitdruck und Objektkomplexität

Durch eine drei-faktorielle ANOVA mit Messwiederholungen konnte eine Interaktion der Verarbeitungszeit mit und ohne Zeitdruck und der Verarbeitungszeit einfacher und komplexer Objekte beobachtet werden ( $F(1,13) = 5.57$ ;  $p < 0.05$ ;  $\eta_p^2 = 0.30$ ) (Abb. 16). Es handelt sich um eine schwächere ordinale Interaktion, bei der, wenn der Zeitdruck ansteigt und die Objekte weniger Merkmale haben die Verarbeitungszeit abnimmt.

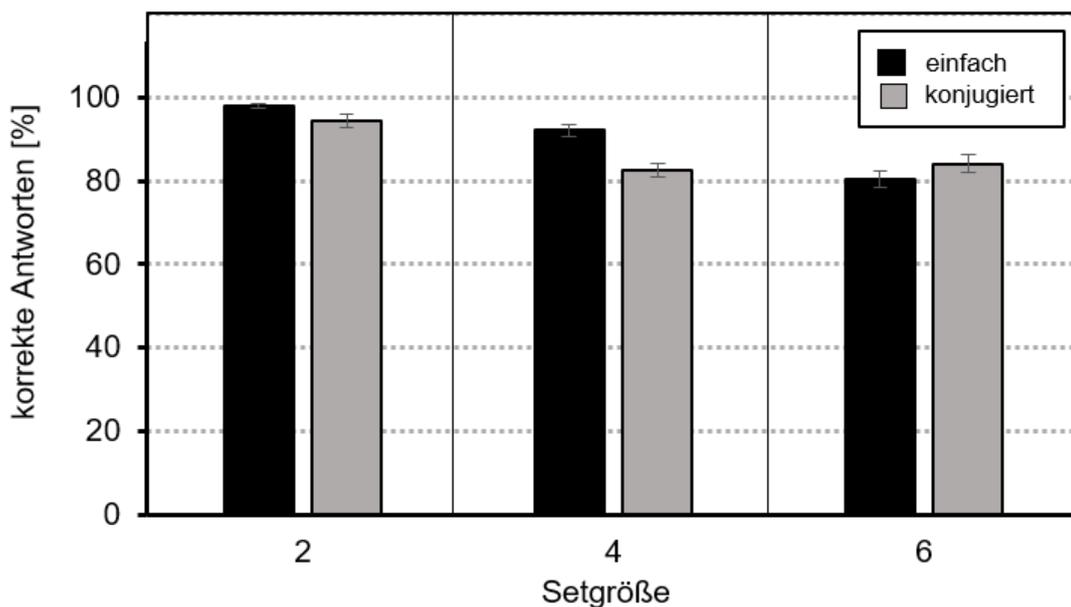


**Abbildung 16:** Interaktion der Verarbeitungszeit in Abhängigkeit vom Zeitdruck und der Komplexität des Stimulus (einfach: schwarz-gepunktet; konjugiert: grau). Schwache ordinale Interaktion zwischen der Verarbeitungszeit mit und ohne Zeitdruck und der Verarbeitungszeit einfacher und komplexer Objekte. Wenn der Zeitdruck zunimmt und die Objekte einfacher sind, nimmt die Verarbeitungszeit ab.

## 2. Change Detection-Task (CDT)

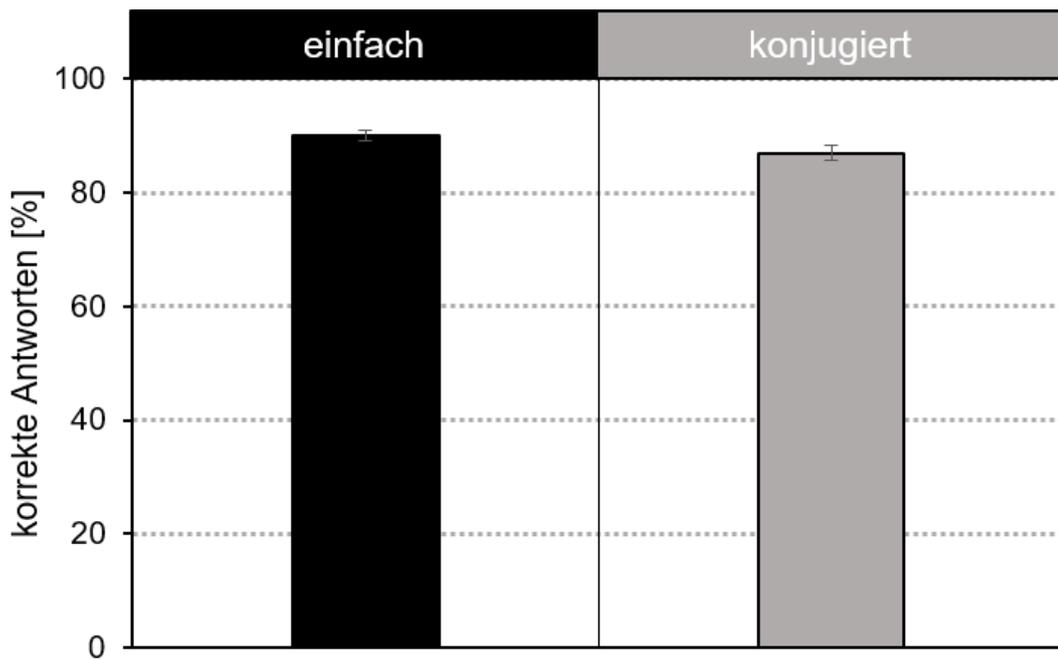
### 2.1 Anteil korrekter Antworten der Versuchspersonen

Als Maß für die Gedächtnis-Leistung der Versuchspersonen wurde die Anzahl der korrekten Antworten in Prozent berechnet, um die Ergebnisse für die verschiedenen Setgrößen zu normieren und vergleichen zu können (Abb. 17). Die Anzahl der korrekt gegebenen Antworten in Prozent wurde über alle Versuchspersonen gemittelt und für jede Versuchskondition separiert dargestellt. Die meisten korrekten Antworten mit  $97,92 \pm 0,66$  % wurden bei der „einfachsten“ Kondition mit einer Setgröße von zwei und einfachem Stimulus erzielt. Bei dem konjugierten Stimulus fiel der Anteil der korrekt gegebenen Antworten auf  $94,35 \pm 1,6$  %. Bei einer Setgröße von vier Objekten lag die mittlere Rate der korrekten Antworten bei  $92,14 \pm 1,39$  % und mit konjugiertem Stimulus bei nur noch  $82,62 \pm 1,54$  %. In den Konditionen mit einer Setgröße von sechs konnte allerdings beobachtet werden, dass der Anteil der korrekten Antworten bei den konjugierten Objekten mit  $84,05 \pm 2,2$  % höher war als bei den einfachen Objekten mit  $80,3 \pm 1,9$  %.



**Abbildung 17:** Gedächtnis-Leistung der Versuchspersonen im CDT. Angegeben mit dem prozentualen Anteil korrekter Antworten als Funktion über die Komplexität der Objekte (schwarz: einfach, grau: konjugiert) und die Setgröße (2, 4 & 6).

Es konnte zusätzlich bei jeder Setgröße beobachtet werden, dass die individuelle Rate der korrekten Antworten bei einigen Versuchspersonen für die konjugierten Objekte höher waren als für die einfachen. Ermittelt wurde, dass die Komplexität der Objekte keinen Einfluss auf die Anzahl der korrekt gegebenen Antworten hat ( $F(1,13) = 3.3$ ;  $p = 0.09$ ;  $\eta_p^2 = 0.2$ ). Das heißt die Gedächtnis-Leistung für beide Objekte wies keinen signifikanten Unterschied auf.

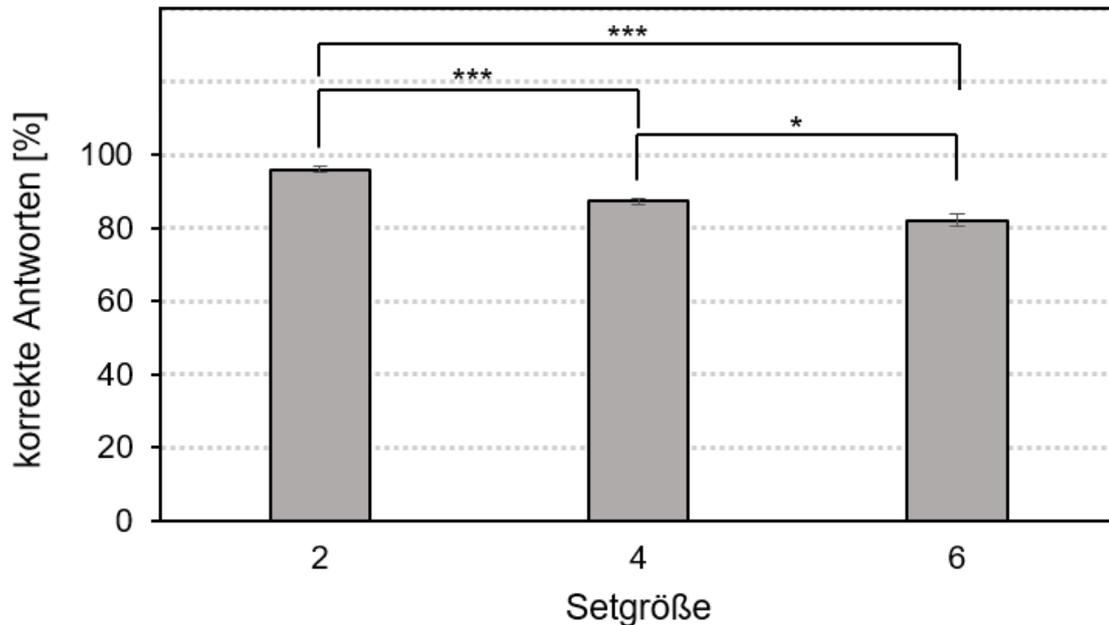


**Abbildung 18:** Anzahl der korrekt gegeben Antworten in Prozent in Abhängigkeit von der Komplexität der Objekte (schwarz: einfach, grau: konjugiert). Die Anzahl korrekter Antworten wurde über alle Setgrößen und Versuchspersonen gemittelt.

## 2.2 Anzahl der korrekten Antworten in Abhängigkeit von der Setgröße

Es konnte ein hoch signifikanter Einfluss der Setgröße auf die Anzahl der korrekt gelieferten Antworten festgestellt werden ( $F(2,26) = 48.9$ ;  $p < 0.0001$ ;  $\eta_p^2 = 0.79$ ). Die Anzahl der korrekt gegebenen Antworten sank mit zunehmender Setgröße (Abb. 19). Die posthoc Analyse ergab, dass der mittlere Anteil der korrekten Antworten für eine Setgröße von zwei Objekten bei  $96,1 \pm 1$  % lag. Bei vier Objekten sank die Anzahl der richtigen Antworten auf im Mittel  $87,4 \pm 0,9$  % und bei einer Setgröße von sechs lag sie nur noch bei  $82,2 \pm 1,6$  %. In Abbildung 19 sind die Mittelwerte der drei Setgrößen nochmals dargestellt zusammen mit den paarweisen Vergleichen auf Signifikanz zwischen den Setgrößen. Es konnte außerdem

durch eine zweifaktorielle ANOVA eine Interaktion zwischen Setgröße und Komplexität der Objekte festgestellt werden ( $F(2,26) = 14.33$ ;  $p < 0.0001$ ;  $\eta_p^2 = 0.52$ ).

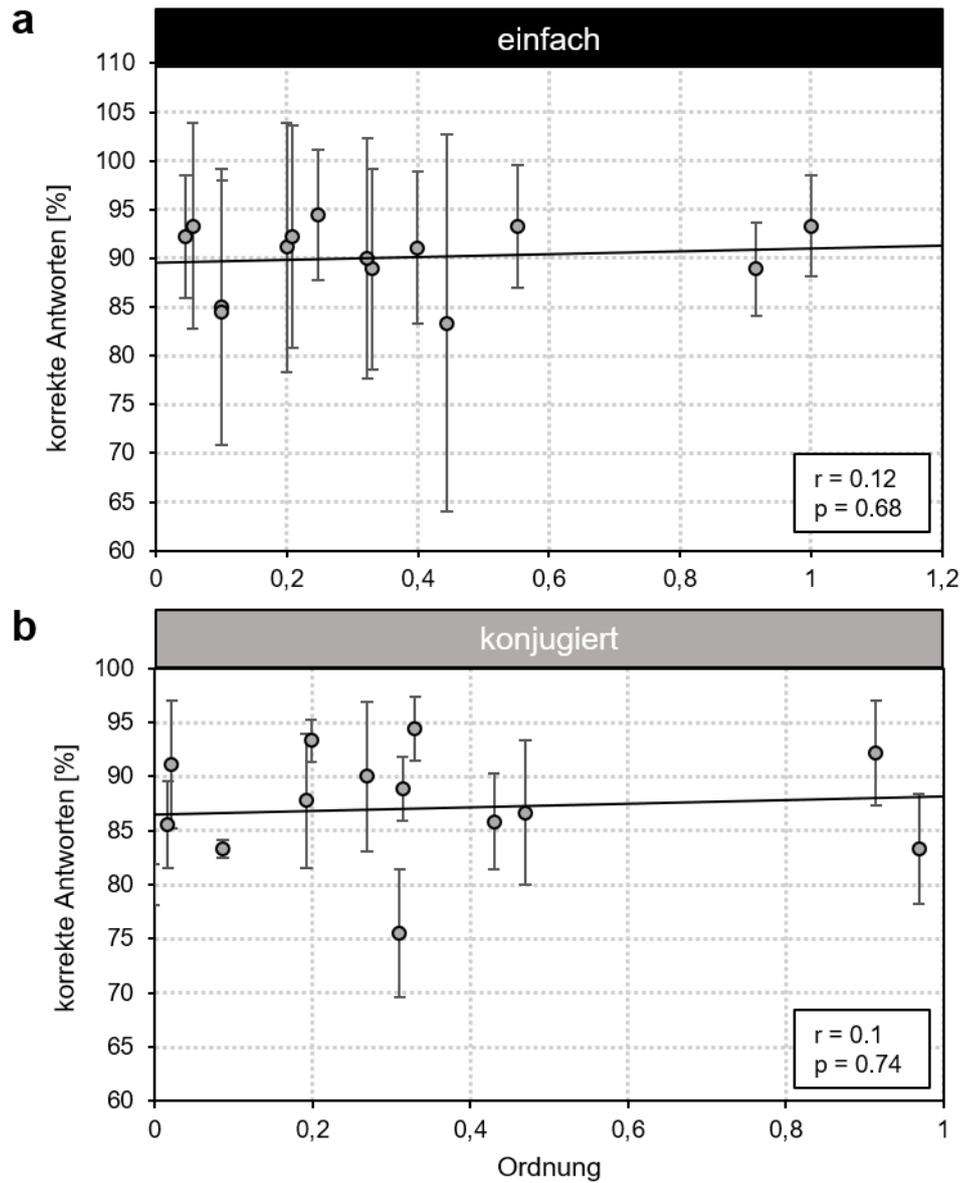


**Abbildung 19:** Paarweise Vergleiche der Anzahl der korrekt gegebenen Antworten in Prozent in Abhängigkeit von der Setgröße. Starke signifikante Zusammenhänge zwischen einer Setgröße von 2 & 4 und einer Setgröße von 2 & 6. Schwächer signifikante Abhängigkeit zwischen 4 & 6. Die Sternchen geben die Stärke der Signifikanz an.

### 2.3 Korrelation zwischen Anteil CDT und VVS

Um den Zusammenhang zwischen den korrekt gegebenen Antworten in Prozent des CDT und der Wahl der Strategie jeder Versuchsperson in der VVS zu analysieren, wurden zwei Korrelationen durchgeführt. Für den CDT wurde der mittlere Anteil korrekter Antworten für einfache und konjugierte Objekte über alle drei Setgrößen (zwei, vier & sechs) pro Person gemittelt, so dass für jede Versuchsperson ein Wert für einfache Objekte und ein Wert für konjugierte Objekte entstand. Für die Strategiewahl im VVS wurde nur für die Konditionen ohne Zeitdruck zwei Ordnungen errechnet. Es wurde für jede Versuchsperson die Anzahl der Augenbewegungen (AB) und die Verarbeitungszeit (VZ), egal mit welcher Verzögerung, für einfache Objekte und für konjugierte Objekte separat gemittelt und dekadisch logarithmiert. Im Folgenden wurde eine Normierung der logarithmierten Werte zwischen 0 und 1 für AB (normAB) und VZ (normVZ) durchgeführt (N steht hierbei für einen einzelnen Wert und  $N_{\min}$  für den kleinsten und  $N_{\max}$  für den größten Wert der jeweiligen Verteilung).

Mithilfe der Berechnung der Anordnung dieser normierten Daten auf einer Geraden ( $P_1(AB=0/VZ=1)$  und  $P_2(AB=1/VZ=0)$ ) wurde daraufhin eine Dimensionsreduktion der normAB und normVZ Werte auf eine einzige Ordnung („order“ =  $(1 + \text{normAB} - \text{normVZ}) / 2$ ) vollzogen. Dieser Vorgang (Normierung und Ordnung) wurde jeweils für die Daten der einfachen Objekte und der konjugierten Objekte durchgeführt. Anschließend wurden die Ordnung für einfache Stimuli (VVS) mit der Anzahl der korrekten Antworten für einfache Stimuli (CDT) miteinander korreliert. Die Datenreihen der konjugierten Objekte wurden ebenfalls korreliert. In Abbildung 20 sind die entsprechenden Korrelationen zum Vergleich der Gedächtnisleistung im CDT und der Strategiewahl im VVS dargestellt. Es konnte jedoch in keinem Fall ein signifikanter Zusammenhang zwischen der CDT-Leistung und der VVS-Strategiewahl festgestellt werden (Pearson-Korrelation für einfache Objekte:  $r(14) = 0.12$  ;  $p = 0.68$ ; Pearson-Korrelation für konjugierte Objekte:  $r(14) = 0.1$  ;  $p = 0.74$ ).



**Abbildung 20:** Zusammenhang zwischen der Anzahl der korrekt gegebenen Antworten der Versuchspersonen im CDT und der von den Versuchspersonen gewählten Strategie im VVS. Die Strategiewahl für einfache und konjugierte Objekte wird durch jeweils eine Ordnung repräsentiert, die mit Hilfe der Anzahl der Augenbewegungen und der Verarbeitungszeit berechnet wurde. **a.** Die Ordnung für einfache Stimuli wurde mit der Anzahl der korrekten Antworten jeder Versuchsperson korreliert. **b.** Das gleiche wurde nochmals für konjugierte Stimuli durchgeführt. Die Regressionsgerade ist als durchgezogene schwarze Linie dargestellt.

## **V. Diskussion**

Um ein auftretendes Problem zu lösen verknüpft das Arbeitsgedächtnis Erfahrungen aus dem Langzeitgedächtnis mit Informationen über die aktuelle Aufgabe. Dadurch kann über eine Kosten-Nutzen-Analyse eine Strategie gefunden werden, welche zum bestmöglichen (optimalen) Lösen der Aufgabe beiträgt. Diese Strategie wird von jedem Individuum spezifisch ausgewählt (Beilock & DeCaro, 2007). Eine einfache Aufgabe, in der eine Strategieauswahl notwendig ist, ist die vergleichende visuelle Suche nach dem Versuchsdesign von Hardiess und Mallot (2015). Mit Hilfe dieses experimentellen Ansatzes wurden in der vorliegenden Studie die Vorgänge im Arbeitsgedächtnisses, die der Strategiewahl unterliegen unter der Auswirkung von Zeitdruck untersucht. Ziel war es herauszufinden, ob und wie sich die Strategieauswahl der Versuchspersonen an die gegebenen Umstände anpasst und auf welche Prozesse des Arbeitsgedächtnisses (Enkodierung, Memorisierung oder Vergleich) sich dieser Zeitdruck auswirkt. Es wurden während des Experiments zwei Variablen gemessen, um die verschiedenen Strategien quantifizieren zu können. Die Akquisitionsstrategie (wiedererlangen der Information) wurde durch die Anzahl der durchgeführten Augenbewegungen zwischen den beiden Spalten definiert und durch die Anzahl der ausgeführten Mausklicks gemessen. Die Augenbewegungen dienten gleichzeitig als indirektes Maß für die Speicherkapazität des Arbeitsgedächtnisses. Mit Hilfe zwei verschiedener Verzögerungen durch einen Maskenwechsel konnten die Kosten für die Akquisition manipuliert werden. Die Memorisierungsstrategie wurde durch die Zeit zwischen zwei Mausklicks gemessen, die als Verarbeitungszeit definiert wurde. Diese Zeit diente als Maß für den Aufwand, der von der Versuchsperson für die Enkodierung und für den Vergleich der Objekte erbracht wurde. Die Kosten Für die Memorisierungsstrategie wurden durch die Komplexität, bzw. die Anzahl der Merkmale der beiden Objekte manipuliert.

### **1. Leistung der Versuchspersonen und Einfluss der Objekt- und Verzögerungskonditionen**

Die Versuchsbedingungen wurden so gewählt, dass ein ausgeglichenes Schwierigkeitslevel gewährleistet werden konnte. Alle Versuchspersonen zeigten eine hohe Leistung bei der Erkennung der Unterschiede zwischen den beiden Spalten, so wie dies auch in den vorherigen Versuchen der Fall war (Hardiess & Mallot, 2015; Bachelorarbeit Weber, 2017). Die maximale Fehlerrate lag dabei bei ca. 18 % (vgl. Abb. 9). Es konnte beobachtet werden, dass die durchschnittliche Fehlerrate nur geringfügig anstieg, wenn die Verzögerung länger war oder die Objekte komplexer waren, was auch schon Alvarez &

Cavanagh (2004) in ihren Versuchen belegen konnten. Die Fehlerrate stieg auch tendenziell an, wenn ein Zeitdruck auf die Versuchspersonen ausgeübt wurde. Der Zeitdruck betrug 80 % der Zeit, die die Probanden für die Durchläufe ohne Zeitlimit gebraucht haben. Jedoch konnten keine signifikanten Einflüsse des Zeitdrucks auf die Fehlerrate gefunden werden, was bedeutet, dass die Personen in den Durchläufen ohne Zeitdruck ihre zeitlichen Ressourcen nicht ausschöpften und dass die Bedingung mit Zeitdruck nicht zu schwer gewählt wurde.

Durch die Verzögerungen des Maskenwechsels wurde die Anzahl der Augenbewegungen signifikant beeinflusst. Je länger die Verzögerung war, desto weniger Augenbewegungen wurden durchgeführt. Die Verarbeitungszeit stieg bei längerer Verzögerung leicht an, allerdings nicht signifikant (vgl. Abb. 10). Die Anzahl der Augenbewegungen wurde reduziert, wenn die Kosten für die Akquisitionsstrategie anstiegen. Zur Kompensation verwendeten die Versuchspersonen die Memorisierungsstrategie und merkten sich mehr Objekte gleichzeitig. In der vorhergehenden Bachelorarbeit von Weber (2017) konnte auch ein signifikanter Einfluss der Verzögerung auf die Verarbeitungszeit festgestellt werden. Dass diese Ergebnisse nicht bestätigt werden konnten, könnte an der geringen Anzahl der Datenpunkte liegen, da in dieser Arbeit ebenfalls ein Trend in Richtung der höheren Verarbeitungszeit zu erkennen war. Des Weiteren konnte ein signifikanter Einfluss der Objektkomplexität auf die Verarbeitungszeit festgestellt werden, jedoch kein Einfluss auf die Anzahl der Augenbewegungen. Die einfachen Objekte konnten sich die Versuchspersonen anhand eines Merkmals einprägen. Bei den konjugierten Objekten mussten allerdings zwei Merkmale in einer Objekt-Datei zusammengefügt werden (Hommel, 2004), was eine längere Enkodierungs- und Vergleichszeit, also eine längere Verarbeitungszeit erfordert. Es konnte nicht nachgewiesen werden, dass die Akquisitionsstrategie stärker benutzt wurde, wenn die Objekte konjugierte Merkmale aufwiesen. Dass nicht signifikant weniger Objekte pro Augenbewegung im Arbeitsgedächtnis gespeichert wurden als bei den einfachen Objekten entspricht der Theorie, dass nicht einzelne Merkmale, sondern ganze Objekte im Arbeitsgedächtnis repräsentiert werden. Alvarez und Cavanagh (2004) konnten in ihren Experimenten allerdings nachweisen, dass je höher die Komplexität eines Objektes ist, desto geringer ist die Speicherkapazität. Die Ergebnisse der visuellen Suche könnten auch darauf zurückzuführen sein, dass die Objekte durch subvokales Sprechen mit Worten verbunden wurden und in der phonologischen Schleife wiederholt wurden. Somit kann für jedes Objekt ein Wort benutzt werden und die Belastung für das Arbeitsgedächtnis ist für einfache und konjugierte Objekte ähnlich. Oder die Versuchspersonen sind bei den einfachen Objekten nie an die Auslastungsgrenzen ihres Arbeitsgedächtnisses gekommen und konnten somit

weitere Ressourcen auf die Konjunktionen der Merkmale verteilen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die Erhöhung der Kosten für die Akquisitionsstrategie die Verlagerung der Strategiewahl auf die Memorisierung zu erkennen war, jedoch durch die Erhöhung der Kosten für die Memorisierung nur die Zeit für die Enkodierung und den Vergleich verlängert wurde, dies aber nicht unbedingt die Anzahl, der im Gedächtnis behaltenen Objekte verringerte.

## **2. Unterschied der zwischen den Konditionen mit und ohne Zeitdruck**

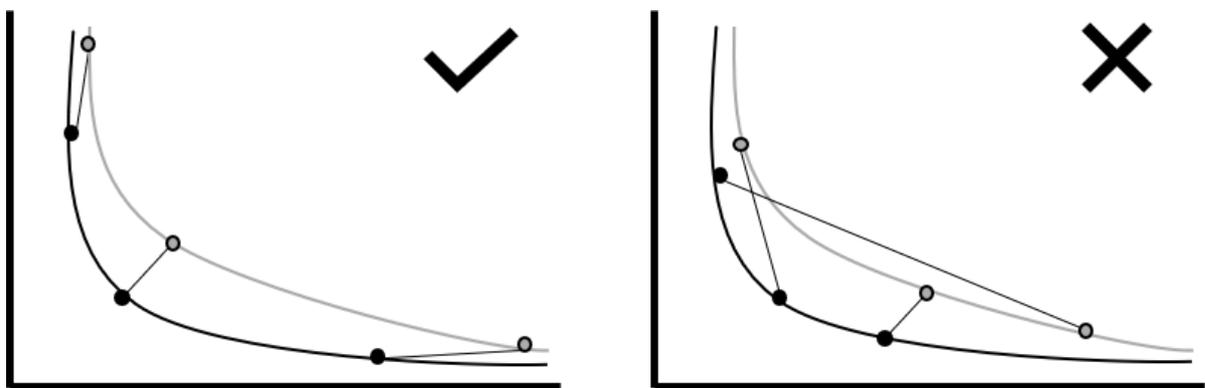
Das Ziel der vorliegenden Arbeit mittels der vergleichenden visuellen Suche war es herauszufinden welche Prozesse des Arbeitsgedächtnisses zeitlich angepasst werden, wenn den Versuchspersonen weniger Zeit zum Lösen der gleichen Aufgabe zur Verfügung steht. Bei der Betrachtung der Strategiewahl der einzelnen Versuchspersonen konnte festgestellt werden, dass der Zeitdruck einen starken Einfluss sowohl auf die Anzahl der Augenbewegungen, als auch auf die Verarbeitungszeit hatte. Durch den Zeitdruck verringerten die Versuchspersonen im Mittel die Anzahl der Augenbewegungen und verkürzten die Verarbeitungszeit. Die Anzahl der Augenbewegungen diente neben der Akquisitionsstrategie auch als Maß für die Speicherkapazität des Arbeitsgedächtnisses. Es konnte für jede Versuchskondition festgestellt werden, dass unter Zeitdruck mehr Objekte im Arbeitsgedächtnis gespeichert wurden. Die zweite gemessene Variable, die Verarbeitungszeit, setzte sich aus der benötigten Zeit für die Enkodierung und den Vergleich zusammen. Es konnte gezeigt werden, dass unter Zeitdruck auch die Verarbeitungszeit verringert wurde. Das heißt es wurden mehr Objekte pro Vergleich im Arbeitsgedächtnis gespeichert und die Versuchspersonen benötigten, trotz des dadurch entstehenden höheren Aufwandes für Enkodierung und Vergleich durch die größere Anzahl an Objekten, weniger Zeit für diese beiden Prozesse. Aufgrund der höheren Kosten, die für die Enkodierung einer größeren Anzahl an Objekten entstehen, wäre bei weniger Augenbewegungen mit einer längeren Verarbeitungszeit zu rechnen gewesen. Jedoch passte jede Versuchsperson im gleichen Maß beide Strategien an die neue Situation (Zeitdruck) an. Das bedeutet auch, dass die Versuchspersonen im ersten Durchgang ohne Zeitdruck nicht an die Auslastungsgrenzen des Arbeitsgedächtnisses gekommen sind.

### 3. Individuelle Anpassung der Strategieauswahl an den Zeitdruck

Jede Versuchsperson wählte eine individuelle Strategie zwischen Akquisition und Memorisierung („Trade-off“). Wenn die Maße der beiden Strategien gemeinsam in ein Diagramm (Strategieraum) übertragen werden, folgt deren Verteilung einer Potenzfunktion. Alle Personen bildeten für jede Versuchskondition den gleichen Teilabschnitt dieser Funktion (vgl. Abb. 12). Das heißt die Strategiewahl war über alle Konditionen für eine einzige Person relativ konstant, jedoch gab es zwischen den Personen große Unterschiede der Verwendung von Akquisition und Memorisierung. Diese Kurve für die Strategiewahl fanden auch Hardiess und Mallot (2015) in früheren Forschungen zur Entscheidungsfindung. Eine Person, die eine Strategie mit vielen Augenbewegungen wählte, wies eine sehr kurze Verarbeitungszeit für die Enkodierung und den Vergleich auf. Wohingegen Personen mit wenigen Augenbewegungen immer eine höhere Verarbeitungszeit benötigten, da mehr Objekte in das Arbeitsgedächtnis enkodiert und auch verglichen werden mussten. Es konnte gezeigt werden, dass keine Person einen besonders großen (oben rechts in der Grafik, Abb. 12/13) oder besonders kleinen (unten links in der Grafik, Abb. 12/13) Anteil beider Strategien benutzte. Dies kann auf die Anweisung zurückzuführen zu sein die Aufgabe so schnell und so genau wie möglich zu lösen. Um die Aufgabe möglichst schnell auszuführen wäre es von Vorteil gewesen eine geringe Anzahl an Augenbewegungen zu machen und eine niedrige Verarbeitungszeit zu haben, jedoch wäre die Fehlerrate für diese Strategie hoch gewesen. Wenn viele Augenbewegungen gemacht werden würden und viel Zeit für die Enkodierung und den Vergleich aufgewendet würden, hätten die Versuchspersonen wenige oder gar keine Fehler gemacht, jedoch hätten sie zu viel Zeit für die gesamte Aufgabe benötigt (Hardiess & Mallot, 2015). Die Variabilität unter den Versuchspersonen ist vermutlich auf die unterschiedliche Gewichtung der Kosten für jede Strategie zurückzuführen.

Vergleicht man die Strategiewahl zwischen allen Konditionen ohne Zeitdruck mit denen mit Zeitdruck (vgl. Abb. 13) fällt auf, dass eine Person, die eine Strategie mit einem hohen Anteil der Akquisition gewählt hat und bereits eine sehr niedrige Verarbeitungszeit aufweist eher die Anzahl der Augenbewegungen reduzierte. Es fand eine Anpassung im Rahmen der vorher gewählten Strategie statt. Ebenso verkürzte eine Versuchsperson, die eine Memorisierungsstrategie gewählt hat und sowieso schon wenige Augenbewegungen machte, unter Zeitdruck vor allem ihre Verarbeitungszeit. Demzufolge verringerten die Personen, die in der Mitte der „trade-off“-Kurve lagen, beide Parameter gleichermaßen. Somit entstand eine Verschiebung der Kurve nach links unten im Diagramm (vgl. Abb. 14). Jede Versuchsperson versuchte im Rahmen der jeweiligen Strategie dort Zeit einzusparen, wo noch Kapazitäten vorhanden waren. Bei einer Strategie mit vielen Augenbewegungen

(Akquisition) wurden vor allem weniger Augenbewegungen ausgeführt, also die Strategie in Richtung der Memorisierung verschoben. Bei einer Strategie mit hoher Verarbeitungszeit (Memorisierung) wurde vor allem die Zeit für die Enkodierung und den Vergleich verkürzt, die Auslastung des Arbeitsgedächtnisses blieb jedoch fast gleich. Hatten die Probanden noch Kapazitäten in beide Richtungen wurden beide Parameter verringert (siehe Abb. 21). Wenn man die Werte der Konditionen ohne und mit Zeitdruck miteinander korreliert, wird deutlich, dass diese hoch signifikant abhängig voneinander sind (vgl. Abb. 15). Daraus folgt, dass die, bei allen Versuchspersonen beobachtete, Verschiebung der Strategiewahl in Abhängigkeit der ursprünglich gewählten Strategie stattfand.



**Abbildung 21:** Veränderung der Strategiewahl unter Zeitdruck. Jede Versuchsperson passt beide Strategien (Akquisition und Memorisierung) im gleichen Maß an, so wie im linken Diagramm skizzenhaft dargestellt. Die Wahl der Strategie unter Zeitdruck erfolgt nicht wie im rechten Diagramm unabhängig von der Strategie ohne Zeitdruck (grau: ohne Zeitdruck, schwarz: mit Zeitdruck).

#### 4. Zusammenhang zwischen der Strategiewahl und der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses

Die Unterschiede in der Strategiewahl zwischen den Versuchspersonen in der VVS kommen durch eine individuelle Gewichtung der Kosten für die jeweilige Strategie (Akquisition oder Memorisierung) zustande. Diese unterschiedliche Gewichtung kann durch verschiedene frühere Erfahrungen aus dem Langzeitgedächtnis und durch die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses hervorgerufen werden. Das Arbeitsgedächtnis weist, wie durch viele Studien nachgewiesen, eine für jede Person individuelle Kapazität auf (Eriksson et al., 2015). Diese Tatsache verleitet zu der Annahme, dass Unterschiede in der Strategiewahl durch verschiedene Speicherfähigkeiten der Versuchspersonen zustande kommen könnten. Um zu untersuchen ob die Wahl der Strategie von der

Kapazität des Arbeitsgedächtnisses abhängt, wurde mit einem Change-Detection Task die individuelle Kapazität jedes Probanden ermittelt und mit der Strategiewahl der vergleichenden visuellen Suche in Zusammenhang gesetzt.

Die Gesamtkapazität des Arbeitsgedächtnisses der Versuchspersonen wurde für einfache und konjugierte Objekte durch drei verschiedene Setgrößen bestimmt. Da ein Einfluss der Objektkomplexität auf die Verarbeitungszeit und somit auf die Zeit für die Enkodierung und den Vergleich in der VVS festgestellt werden konnte (Weber, 2017 & in der vorliegenden Arbeit), wurde pro Objekt im CDT eine Enkodierungszeit von 0,5 Sekunden gegeben. Dadurch konnte eine verminderte Kapazität (bzw. Anzahl korrekter Antworten) aufgrund unzureichender Zeit für die Enkodierung ausgeschlossen werden. Es wurde letztendlich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen der Anzahl der korrekt gegebenen Antworten bei einfachen und konjugierten Objekten im CDT festgestellt (vgl. Abb. 18), was den Ergebnissen der vergleichenden visuellen Suche entsprach.

Für die Versuchspersonen mit niedriger Kapazität ist das Speichern der Objekte und das Abwägen, was gespeichert werden soll mit höheren Kosten verbunden (Eriksson et al., 2015; Vogel et al., 2005). Um die Wahl der Strategie jeder Person im VVS vorhersagen zu können, müssten Probanden mit einer niedrigen Anzahl korrekter Antworten im CDT also eine Strategie mit vielen Augenbewegungen (Akquisitionsstrategie) in der VVS wählen und Probanden mit einer hohen Kapazität sollten eine Strategie mit wenigen Augenbewegungen verwenden (Memorisierungsstrategie). Trotz dieser Theorie konnte kein Zusammenhang zwischen der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und der individuellen Strategiewahl gefunden werden (siehe Abb. 20). Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses hatte weder einen Einfluss auf die Anzahl der Objekte, die im Arbeitsgedächtnis gespeichert wurden (Augenbewegungen), noch auf die Zeit, die für Enkodierung und Vergleich genutzt wurde (Verarbeitungszeit). Auch Weber (2017) konnte keinen Zusammenhang feststellen. Da weiterhin angenommen wird, dass die Strategie aufgrund individueller Gewichtung der Kosten gewählt wird, müssen andere Gedächtnisabläufe vorhanden sein, die die individuelle Strategiewahl beeinflussen. Auch im Langzeitgedächtnis gespeicherte Erfahrungen mit der jeweiligen Strategie und Unterschiede in der Möglichkeit die kognitiven Kapazitäten einzusetzen können diese Diskrepanzen hervorrufen (Baddeley, 2003). Nach diesem Versuch bleibt jedoch weiterhin unklar aufgrund welcher Faktoren und Prozesse die Versuchspersonen ihre Strategie auswählen.

## VI. Zusammenfassung

Das primäre Ziel der vorliegenden Arbeit war es herauszufinden wie und welche Prozesse sich im Arbeitsgedächtnis verändern, wenn eine Aufgabe unter Zeitdruck gelöst werden muss. Durch die vergleichende visuelle Suche konnte ein Einfluss des Zeitdrucks auf die Anzahl der Augenbewegungen aber auch auf die Verarbeitungszeit nachgewiesen werden. Die Versuchspersonen verringerten die Zeitkosten für die Akquisition, indem mehr Objekte pro Vergleich im Arbeitsgedächtnis repräsentiert wurden (Verschiebung hin zur Memorisierung), zusätzlich wurde die aufgewendete Zeit für die Enkodierung und den Vergleich reduziert. Bei Betrachtung der individuellen Strategiewahl konnte gezeigt werden, dass jede Versuchsperson abhängig von der ursprünglich (ohne Zeitdruck) gewählten Strategie ihre individuelle Vorgehensweise in gleichem Maße an die Situation mit Zeitdruck anpasste. Eine Person, welche eine Akquisitionsstrategie wählte, erhöhte um Zeit zu sparen, vor allem die Anzahl der im Arbeitsgedächtnis repräsentierten Objekte. Im Gegensatz dazu verringerte eine Person mit einer Memorisierungsstrategie eher die Zeit für die Enkodierung und den Vergleich. Daraus folgt, dass jede Versuchsperson im Rahmen der ursprünglichen Strategie dort Zeit einsparte, wo noch Kapazitäten vorhanden waren. Es konnte bei keiner Versuchsperson beobachtet werden, dass eine komplett neue Strategie unter Zeitdruck gewählt wurde.

In einem weiteren experimentellen Ansatz sollte herausgefunden werden, ob die individuelle Kapazität des Arbeitsgedächtnisses einen Einfluss darauf hat, welcher Strategiemix ausgewählt wird, um die vergleichende visuelle Suche zu lösen. Zwischen den Versuchspersonen konnte eine große Variabilität der Strategiewahl festgestellt werden, jedoch konnte kein Zusammenhang zur Gedächtnis-Leistung (Kapazität des Arbeitsgedächtnisses) hergestellt werden. Aufgrund welcher Faktoren die Versuchspersonen ihre Strategie wählten bleibt unklar. Es muss angenommen werden, dass andere Faktoren und/oder Gedächtnisabläufe die individuelle Strategiewahl beeinflussen.

## VII. Literaturverzeichnis

- Alvarez, G. A., & Cavanagh, P. (2004). The capacity of visual short-term memory is set both by visual information load and by number of objects. *Psychological science, 15*(2), 106-111.
- Anderson, J. R. (1990). *The adaptive character of thought*. Psychology Press.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *Psychology of learning and motivation, 2*, 89-195.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of learning and motivation, 8*, 47-89.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature reviews neuroscience, 4*(10), 829-839.
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current biology, 20*(4), R136-R140.
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual review of psychology, 63*, 1-29.
- Bays, P. M., Gorgoraptis, N., Wee, N., Marshall, L., & Husain, M. (2011). Temporal dynamics of encoding, storage, and reallocation of visual working memory. *Journal of vision, 11*(10), 6-6.
- Ballard, D. H., Hayhoe, M. M., & Pelz, J. (1995). 15 Memory Limits in Sensorimotor Tasks. *Models of information processing in the basal ganglia, 295*.
- Beilock, S. L., & DeCaro, M. S. (2007). From poor performance to success under stress: Working memory, strategy selection, and mathematical problem solving under pressure. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 33*(6), 983.
- Block, N. (2011). Perceptual consciousness overflows cognitive access. *Trends in cognitive sciences, 15*(12), 567-575.
- Deco, G., Pollatos, O., & Zihl, J. (2002). The time course of selective visual attention: theory and experiments. *Vision research, 42*(27), 2925-2945.
- Eriksson, J., Vogel, E. K., Lansner, A., Bergström, F., & Nyberg, L. (2015). Neurocognitive architecture of working memory. *Neuron, 88*(1), 33-46.

- Gilchrist, A. L., Cowan, N., & Naveh-Benjamin, M. (2008). Working memory capacity for spoken sentences decreases with adult ageing: Recall of fewer but not smaller chunks in older adults. *Memory*, *16*(7), 773-787.
- Gray, W. D., Sims, C. R., Fu, W. T., & Schoelles, M. J. (2006). The soft constraints hypothesis: a rational analysis approach to resource allocation for interactive behavior. *Psychological review*, *113*(3), 461.
- Hardiess, G., Gillner, S., & Mallot, H. A. (2008). Head and eye movements and the role of memory limitations in a visual search paradigm. *Journal of Vision*, *8*(1), 7-7.
- Hardiess, G., & Mallot, H. A. (2015). Allocation of cognitive resources in comparative visual search—Individual and task dependent effects. *Vision research*, *113*, 71-77.
- Hayhoe, M. M., Ballard, D. H., Triesch, J., Shinoda, H., Aivar, P., & Sullivan, B. (2002, March). Vision in natural and virtual environments. In *Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications* (pp. 7-13). ACM.
- Hommel, B. (2004). Event files: Feature binding in and across perception and action. *Trends in cognitive sciences*, *8*(11), 494-500.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, *390*(6657), 279-281.
- Ma, W. J., Husain, M., & Bays, P. M. (2014). Changing concepts of working memory. *Nature neuroscience*, *17*(3), 347-356.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, *63*(2), 81.
- Miyake, A., & Shah, P. (Eds.). (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge University Press.
- Pribram, K. H., Miller, G. A., & Galanter, E. (1960). Plans and the Structure of Behavior. *Holt, Rinehart and Winston*.
- Tatler, B. W., & Land, M. F. (2011). Vision and the representation of the surroundings in spatial memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *366*(1564), 596-610.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive psychology*, *12*(1), 97-136.

Vogel, E. K., McCollough, A. W., & Machizawa, M. G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, 438(7067), 500.

Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic bulletin & review*, 9(4), 625-636.

Zimmer, H. D. (2008). Visual and spatial working memory: from boxes to networks. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 32(8), 1373-1395.