

Charakterisierung der individuellen
Arbeitsgedächtniskapazität in Abhängigkeit der
Stimulus-Komplexität beim Trade-Off der
Akquisitions- vs. Memorierungsstrategie

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

vorgelegt von

Daniela Piechnik

Tübingen, April 2017

Erklärung:

Hiermit erkläre ich,

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

Tübingen, den _____

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Arbeitsgedächtnis	1
Aufbau des Arbeitsgedächtnisses	2
Modell von Baddeley & Hitch	2
Assoziierte Gehirnregionen	3
1.2 Prozesse des Arbeitsgedächtnisses	4
Aufrechterhaltung von Informationen	5
Manipulation von Informationen	5
1.3 Kapazität des Arbeitsgedächtnisses	6
Bestimmung der vAG-Kapazität.....	7
1.4 Trade-Off zwischen den Verhaltensstrategien	9
Memorisierungsstrategie vs. Akquisitionsstrategie	9
1.5 Ziel der Arbeit.....	11
2. Material & Methoden	12
2.1 Versuchsteilnehmer & Stimuli	12
2.2 Versuchsdesign	13
2.2.1 Change-detection-Task (cdT)	13
Durchführung	13
2.2.2 Vergleichende visuelle Suche (vvS).....	15
Durchführung	15
2.3 Abhängige Variablen.....	17
2.3.1 Change-detection Task.....	17
2.3.2 Vergleichende visuelle Suche	17
2.4 Statistische Analyse	17
3. Ergebnisse	18
3.1 Change-detection Task (cdT).....	18
3.2 Vergleichende visuelle Suche (vvS).....	22
3.3 Korrelation zwischen cdT und vvS	28
4. Diskussion	31
Literaturverzeichnis	37
Anhang	39

1. Einleitung

Wenn es um das Gedächtnis geht, war lange Zeit nur von Langzeit- und Kurzzeitgedächtnis (LZG und KZG) die Rede. Seit ca. 50 Jahren wird nun aktiv an einer weiteren Untergliederung gearbeitet, welche das Arbeitsgedächtnis (AG) mit einbezieht. Dieses steht in enger Verbindung mit dem KZG, lässt sich jedoch nicht eindeutig von diesem abgrenzen. Wie der Name schon sagt, liegt die Spezialisierung des AG bei der aktiven Bearbeitung von Aufgaben, wohingegen das KZG lediglich passiv Informationen für einen kurzen Zeitraum speichert, ohne sie zu verändern. Stellt man sich z.B. die Situation vor, Kaffee zu kochen, so wird einem nicht sofort bewusst, welche komplexen und aktiv verarbeitenden Prozesse dabei im Gehirn, genauer im AG, ablaufen. So müssen kontinuierlich sowohl sensorische (z.B. visuelle Informationen von Objektpositionen) als auch motorische (z.B. gezielte Handbewegungen) Prozesse mit einer Vielzahl von Teilaufgaben (wie nach einer Tasse zu greifen, Wasser aufzusetzen oder Kaffee einzugießen) abgeglichen werden, um letztendlich den Kaffee in die Tasse zu bekommen. Der Mensch verwendet das AG also permanent, ohne sich bewusst zu sein, in welchen Situationen es eigentlich aktiv wird.

1.1 Arbeitsgedächtnis

Das AG spielt eine zentrale Rolle bei der Planung und Ausführung von Handlungen, sowie der Bearbeitung kognitiver Aufgaben. Nach dem Ausführen einer arbeitsgedächtnisrelevanten Aufgabe gehen die meisten Informationen verloren, sollte keine Verknüpfung mit dem LZG entstanden sein (Eriksson et al., 2015). Das AG lässt sich allgemein und funktional in zwei Teile untergliedern, dem visuellen und dem verbalen AG. Der visuelle Teil ist für die Verarbeitung jeglicher Reize zuständig, deren Informationen über die Augen aufgenommen werden. Für den weiteren Kontext dieser Abhandlung wird vorrangig vom visuellen Arbeitsgedächtnis (vAG) die Rede sein, da nur dieser Teil für die späteren Experimente relevant ist.

Es gibt keine eindeutige Definition des vAG. Da durch die Augenbewegungen (z.B. Sakkaden) lediglich Ausschnitte von Bildern der Umgebung aufgenommen werden, benötigt es ein System, welches diese Ausschnitte zusammensetzt und Lücken schließt. Das vAG ist in der Lage, Bilder vor und nach einer Sakkade zu verbinden (Luck & Vogel, 2013). Die Hauptaufgabe besteht jedoch darin, visuelle Informationen für kurze Zeit (meist einige Sekunden bis Minuten) gerade bei Abwesenheit der sensorischen Reize aufrechtzuerhalten, sodass diese Repräsentationen weiterbearbeitet werden können. Neben diesen bereits erwähnten Punkten gibt es weitere Eigenschaften des vAG, durch die es definiert werden kann. Eine davon lautet, dass nur dann von einer Aktivität des vAG gesprochen werden kann, wenn Objekte auch visuell und nicht verbal oder auf eine andere Art gespeichert werden. Das heißt, dass das vAG nur dann aktiv ist, wenn man sich an gesehene Objekte auch in Form von Bildern und nicht in Form von Worten erinnert.

Diese Aktivität des vAG lässt sich, im Vergleich zum LZG, bei welchem eine Veränderung in Form von Plastizität stattfindet, anhand einer erhöhten und sich häufig ändernden neuronalen Aktivität feststellen, welche dazu führt, dass der Informationsfluss zwischen den Neuronen variiert (Luck & Vogel, 2013).

Aufbau des Arbeitsgedächtnisses

Das vAG umfasst nicht ein bestimmtes, eng umgrenztes Areal im Gehirn, sondern besteht vielmehr durch die Interaktion verschiedener Hirnareale. Meistens speichern Regionen, die für die jeweilige Reizverarbeitung zuständig sind, auch Informationen über den entsprechenden Reiz und dessen Ursprung ab. Um jedoch Objekte und deren Informationen im Gehirn verarbeiten zu können, müssen diese zuerst einmal wahrgenommen werden. Aus diesem Grund wird die Aufmerksamkeit, genauer die selektive Aufmerksamkeit, auch als Schlüsselement des vAG bezeichnet, wenn es darum geht, wichtige und gerade notwendige Informationen zu selektieren. Nach erfolgreicher Aufnahme eines visuellen Reizes wird dieser dann unter anderem im visuellen Cortex, welcher wiederum in Verknüpfung mit dem vAG steht, verarbeitet (Eriksson et al., 2015).

Modell von Baddeley & Hitch

Das bereits 1974 beschriebene *Multi-Store Model* von Baddeley & Hitch zeigt, dass das AG nicht als eine große Einheit, sondern eher als Zusammenschluss vieler Subregionen zu betrachten ist, welche im ständigen Austausch miteinander stehen (Abb. 1). Diese modulare Ansicht hat bisherige Modelle, die das Gedächtnis eher als eine Einheit darstellten, stark verändert.

Das Multi-Store Model besteht, wie es der Name schon sagt, aus verschiedenen Speicherebenen. Die zentrale Exekutive stellt dabei den Kern- bzw. Kontrollprozess dar. Durch die Steuerung der Aufmerksamkeit kontrolliert sie den Informationsfluss in und aus dem AG, speichert Zwischenschritte und ruft bereits bestehende Informationen aus dem LZG ab. Des Weiteren besitzt das Modell zwei Untersysteme, die Phonologische Schleife (*engl. phonological loop*) und den räumlich-visuellen Notizblock (*engl. visuospatial sketchpad*). Ersteres ist für die auditorische Wahrnehmung zuständig und hält diese Informationen für einige Sekunden aufrecht. Dies geschieht vor allem durch lautlose Wiederholung der Worte. Außerdem soll er eine wichtige Rolle beim Lernen neuer Wörter, und somit in der Kindheitsentwicklung, spielen. Der räumlich-visuelle Notizblock dient, wie es der Name schon sagt, der räumlich-visuellen Wahrnehmung und Speicherung von Bildern und Umgebungen. Der empirische Grund der Aufteilung in die beiden Untersysteme liegt in der parallelen Verarbeitung von visuellen und auditorischen Reizen (Baddeley, 1992).

Im Jahr 2000 wurde dem bisherigen Multi-Store Model ein drittes Untersystem, der episodische Puffer (*engl. episodic buffer*), hinzugefügt. Dieser beschreibt den Effekt, dass Stimuli, die in sogenannten Episoden gruppiert sind, einfacher gespeichert werden können. Dies gilt ebenfalls für Objekte bzw. Informationen, die in Zusammenhang miteinander stehen. Der episodische Puffer stellt außerdem eine Verbindung zwischen den zwei Untersystemen und dem LZG her und dient als wichtiger Verarbeitungsschritt im episodischen LZG, also bei der Speicherung von wichtigen Ereignissen. Dies führt dazu, dass man sich, je nach Information die gerade im AG vorliegt, an bestimmte, bereits vergangene Situationen oder Erlebnisse erinnern kann (Baddeley, 2000).

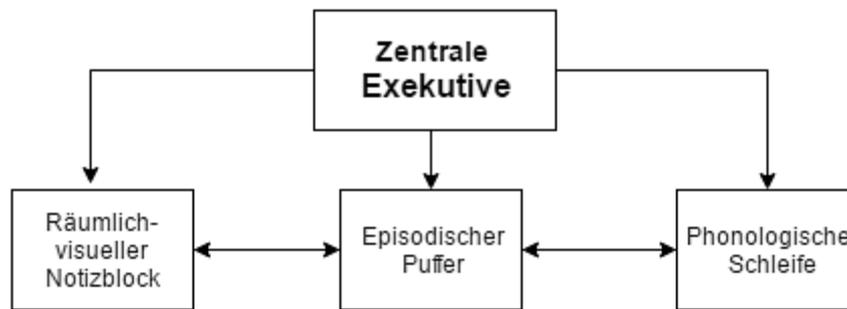


Abbildung 1: Modell von Baddeley (2000) mit der zentralen Exekutiven als Kontrollprozess und den Untersystemen Phonologische Schleife, räumlich-visueller Notizblock und episodischer Puffer.

Assoziierte Gehirnregionen

Wie bereits erwähnt, setzt sich das AG aus vielen Gehirnregionen, die miteinander interagieren, zusammen. Nach erfolgreicher Selektion der gerade notwendigen Informationen (mit Hilfe der selektiven Aufmerksamkeit) werden diese ins Gehirn weitergeleitet, dort gespeichert und verarbeitet. Dabei stellt der Präfrontale Cortex (PFC), welcher mit sensorischen Assoziationsgebieten verknüpft ist und visuelle, sowie auditorische und somatosensorische Informationen empfängt, eine der wichtigsten Gehirnregionen dar (Abb. 2). Er lässt sich damit der zentralen Exekutive im Modell von Baddeley (2000) zuordnen. Seine Informationen erhält der PFC vor allem über die Basalganglien, genauer über das Striatum, welches als eine Art Schleuse fungiert, durch die bestimmt wird, welche Informationen an den PFC weitergeleitet werden und welche nicht. Diese Informationen werden dann in verschiedenen Arealen des PFC verarbeitet. Es wird vermutet, dass der ventrale Teil für verbale und der dorsale Teil für räumliche Aufgaben zuständig ist. Wobei der dorsolaterale Teil eher für die aktive Manipulation der Informationen verantwortlich ist.

Neben seiner Rolle als zentrale Exekutive ist der PFC ebenfalls für eine der wichtigsten Funktionen, in Bezug auf die Prozesse des AG, verantwortlich. Dies wird bei der Ausführung von *delay-response* Aufgaben erkennbar. Hier weist der PFC auch bei Abwesenheit der Stimuli anhaltende Aktivität auf, was zeigt, dass er in der Lage ist, Informationen kurzzeitig aufrechtzuerhalten, sodass diese bearbeitet werden können. Es wird vermutet, dass die Neurone des PFC in der Lage sind, lokale Aktionspotentiale zu generieren, die dieselben Netzwerke aktivieren, welche auch bei Anwesenheit des Stimulus aktiv sind. Die genauen Prozesse hierbei sind jedoch noch nicht aufgeklärt. Allgemein lässt sich sagen, dass der hierarchische Aufbau des PFC verschiedene Signale aus unterschiedlichen Ebenen liefert, die dazu führen, ein bestimmtes Verhalten auszulösen (D'Esposito & Postle, 2015).

Für die visuelle Steuerung von Bewegungen, Kontrolle der selektiven Aufmerksamkeit und der räumlichen Orientierung ist der parietale Cortex zuständig (Abb. 2). Er beinhaltet unter anderem den ventralen sowie dorsalen Strang, welche in der Lage sind, Objekte zu erkennen und sie räumlich einzuordnen. Die Aktivität des parietalen Cortex korreliert mit der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, d.h. je mehr Informationen zu merken sind, desto höher ist dessen Aktivität (Eriksson et al., 2015).

Die oben genannten Gehirnareale stehen ebenfalls in Beziehung mit den Regionen des LZG, welches eine Abfrage von bereits gespeicherten Informationen ermöglicht. Dies trägt zur Bewältigung einer Aufgabe bei und kann unter Umständen Kapazität sparen, da nicht alle Informationen im AG gespeichert werden müssen (siehe dazu Kapitel 1.3).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass je nach Informationsgehalt und Aufgabe andere Gehirnregionen aktiv sind und es nicht eine Hauptregion gibt, die als das eine AG zu identifizieren ist. So findet letztendlich eine Interaktion zwischen Aufmerksamkeit, Wahrnehmung und dem LZG statt, um Informationen erfolgreich speichern und verändern zu können (Eriksson et al., 2015).

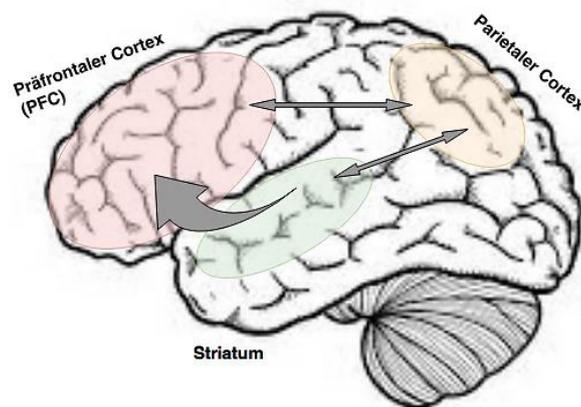


Abbildung 2: Schematische Darstellung des menschlichen Cortex. Farblich markiert sind die für das vAG wichtigen Areale: Präfrontaler Cortex (rot), Striatum (grün) und parietaler Cortex (gelb). Es findet eine Informationsweitergabe vom Striatum an den PFC, sowie eine ständige Interaktion zwischen den Arealen statt.

1.2 Prozesse des Arbeitsgedächtnisses

Ist eine alltägliche Aufgabe, wie z.B. das Merken einer Telefonnummer oder das Lösen einer Kopfrechenaufgabe zu erledigen, laufen viele verschiedene Prozesse in verschiedenen Regionen des Gehirns ab. Dazu gehört zunächst einmal die Wahrnehmung der Objekte bzw. Informationen mit Hilfe der selektiven Aufmerksamkeit und der Fixation durch die Augen. Dabei können Objekte auch mehrmals fixiert werden, wenn diese zuvor nicht oder nur unvollständig wahrgenommen wurden. Außerdem können je nach Teilaufgabe, in der man sich gerade befindet, andere Informationen (z.B. Orientierung, Farbe, Größe) aus der Fixation des gleichen Objekts gezogen werden. Dies hat den Vorteil, dass nicht alle Informationen gleichzeitig gespeichert werden müssen. Ob durch die Fixation tatsächlich nur für die momentane Aufgabe relevante Informationen aufgenommen werden, ist jedoch unklar (Droll & Hayhoe, 2007).

Nach der Aufnahme werden die Informationen ins AG weitergeleitet. Dort findet nun, durch Vervollständigung und Aneinanderreihen der einzelnen Informationsteile, die bewusste Wahrnehmung statt. In diesem Schritt können die aufgenommenen Informationen auch dazu führen, bereits bestehende Verknüpfungen zum LZG zu aktivieren und dort gespeicherte Informationen abzurufen. Dies erleichtert oftmals das Lösen einer Aufgabe.

Die bereits beschriebenen Vorgänge laufen alle unbewusst im Gehirn ab. Je nachdem, ob die aufgenommenen Informationen zum aktiven Lösen einer Aufgabe beitragen oder ob sie lediglich passiv aufrechterhalten werden sollen, laufen verschiedene flexible Prozesse ab.

Aufrechterhaltung von Informationen

Wenn man sich eine Telefonnummer merken soll, geht es lediglich darum, die Informationen aufzunehmen und über einen gewissen Zeitraum passiv aufrechtzuerhalten. Durch selektive Aufmerksamkeit ist es möglich, sich auf die wesentlichen Informationen zu konzentrieren und Störreize auszublenden. Dadurch kann ein Objekt, wie die Telefonnummer, ohne durch Geräusche der Umwelt verfälscht, wahrgenommen werden. Im darauffolgenden Zeitraum sorgt die anhaltende Aufmerksamkeit dafür, die Informationen aufrechtzuerhalten (Eriksson et al., 2015). Dieser Zeitraum wird auch *Delay*-Phase genannt und zeichnet sich, trotz Abwesenheit des Stimulus, durch eine anhaltende Neuronenaktivität aus (Luck & Vogel, 2013). Nach Anwendung der aufrechterhaltenen Informationen, durch z.B. das Eintippen der Telefonnummer, werden diese nicht länger benötigt, die Aufmerksamkeit wird nicht mehr auf die Objekte gerichtet und die Informationen gehen verloren.

Manipulation von Informationen

Im Vergleich zur rein passiven Aufrechterhaltung geht es bei der aktiven Manipulation von Informationen darum, sie so zu verändern, dass eine bestimmte Aufgabe damit gelöst werden kann. Aus diesem Grund sind z.B. beim Lösen einer Kopfrechenaufgabe andere Prozesse beteiligt als bei der reinen Aufrechterhaltung. Zunächst werden auch hier Informationen mit Hilfe der selektiven Aufmerksamkeit aufgenommen und mit Hilfe der anhaltenden Aufmerksamkeit aufrechterhalten. Die eigentliche Manipulation findet dann während der *Delay*-Phase statt, in der die Informationen verändert, erneuert oder Zwischenergebnisse gespeichert werden. Beim Lösen einer Kopfrechenaufgabe werden während der *Delay*-Phase außerdem bereits bestehende Informationen (z.B. Rechenregeln) aus dem LZG abgerufen, Zwischenschritte gespeichert und ausgewertet (Eriksson et al., 2015).

Unabhängig davon, ob die aufgenommenen Informationen passiv oder aktiv behandelt werden, kann immer nur eine gewisse Menge an Informationen gleichzeitig im AG gespeichert werden.

1.3 Kapazität des Arbeitsgedächtnisses

Im Gegensatz zum LZG besitzt das AG eine enge Kapazitätsgrenze, oberhalb derer die Korrektheit der gespeicherten Informationen nicht mehr gewährleistet ist. Die Kapazität des AG entwickelt sich fortlaufend bis zu einem Alter von 15 Jahren und bleibt zwischen 20 und 50 Jahren weitestgehend konstant, bevor sie dann wieder absinkt. Die Verringerung der Kapazität ab einem Alter von ca. 50 Jahren ist auf eine geringere Dopamin Ausschüttung zurückzuführen, welche den Effekt hat, die Aktivität des Striatum und somit auch des PFC zu beeinträchtigen. Das Problem hierbei ist, dass es schwieriger wird, unwichtige Informationen auszublenden und sich auf das Wesentliche zu konzentrieren. Die Kapazität des AG ist demnach auch von Neurotransmittern abhängig. Doch sie variiert nicht nur im Alter, sondern auch je nach Intelligenz und Bildungsstand eines Individuums und kann durch gezieltes Training verbessert werden (Eriksson et al., 2015). Die Variation zwischen den Individuen ist zum einen auf die limitierte Aufnahme an Objekten, aber auch auf die unterschiedliche Nutzung der Kapazität zurückzuführen. Aus diesem Grund galt die limitierte Kapazität lange Zeit als Ursache für individuelle Unterschiede in kognitiven Fähigkeiten.

Ein Beispiel, anhand dessen die Kapazitätsbegrenzung veranschaulicht werden kann, ist das Phänomen der *change blindness*. Dabei können kurz aufeinander folgende Änderungen einer Szene vom Betrachter nicht mehr wahrgenommen werden, wenn zwischen der Darbietung der Szenen eine kurze, zeitliche Trennung liegt und Informationen somit im AG gespeichert werden müssen. Durch die große Menge an gespeicherten Informationen ist die Kapazitätsgrenze erreicht und Änderungen in den Bildern werden nicht mehr wahrgenommen. Eine Erklärung für diese beschränkte Kapazität des AG ist noch nicht eindeutig formuliert worden.

Es gibt jedoch zwei Ansätze, die versuchen, eine Ursache für die limitierte AG-Kapazität zu finden. Die *slot-based Theorie* besagt, dass nur eine bestimmte Anzahl an Objekten oder *Items* im vAG, in einer limitierten Anzahl an sogenannten Slots, gespeichert werden kann. Diese Größe wird als *K_{max}* bezeichnet und seine Berechnung ist abhängig von der Art der jeweiligen Aufgabe.

Eine andere Theorie, die *resource-based-Theorie*, hingegen nimmt an, dass die Kapazität ein Pool an Ressourcen darstellt und diese auf alle zu merkenden Objekte verteilt werden. Dies hat den Vorteil, dass alle Objekte wahrgenommen werden. Jedoch gehen bei einer steigenden Anzahl an Objekten auch Informationen verloren, da auf Grund der begrenzten Anzahl an Ressourcen lediglich ein paar wenige Informationen pro Objekt gespeichert werden können (Luck & Vogel, 2013).

Bestimmung der vAG-Kapazität

Ein klassisches Experiment zur Bestimmung der Kapazität des vAG wurde 1997 von Luck & Vogel durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, dass maximal vier Objekte komplett und zur selben Zeit im vAG gespeichert werden können. Im Folgenden wird dieser, bei Luck und Vogel verwendete, *change-detection-task* kurz erläutert, da dieses relativ einfache Versuchsdesign es ermöglicht hat, das vAG genauer zu untersuchen und von Relevanz für die weitergehende Arbeit ist (Luck & Vogel, 2013).

Wie schon erwähnt, handelt es sich um einen sogenannten *change-detection-* oder auch *Delayed-match-to-sample-task*, bei dem Probanden Veränderungen in einer Abfolge von gezeigten Symbolen erkennen müssen. Dafür wurde ihnen zunächst für eine Dauer von 100ms ein Stimulus-Array mit unterschiedlicher Anzahl an Symbolen gezeigt (z.B. farbige Quadrate, Balken usw.). Über einen Zeitraum von 900ms erschien eine leere Fläche (*Delay-Phase*), bevor dann ein Test-Array, wieder mit farbigen Quadraten, Balken usw., gezeigt wurde.

Die Probanden mussten nun entscheiden, ob sich die gezeigten Symbole beider Arrays (in verschiedenen Eigenschaften wie Farbe, Orientierung usw.) unterscheiden oder nicht.

Bei der von Luck & Vogel verwendeten Art von Aufgabe handelt es sich um eine sogenannte *whole-display* Aufgabe, da ein Vergleich aller Symbole von Stimulus-Array und Test-Array stattfindet. Um nun die maximale Kapazität (K_{max}) zu ermitteln wird in diesem Fall mit der Formel von Pashler gearbeitet (Rouder et al., 2011):

$$K = N * \frac{(H - F)}{(1 - F)}$$

Wobei N hier für die Größe des Stimulus-Arrays steht, H für die Anzahl der richtigen Antworten (*hits*) und F für die Anzahl an falschen Alarmen (*false-alarms*).

Neben der oben erläuterten *whole-display* Aufgabe gibt es auch noch eine sogenannte *single-probe* Aufgabe, bei der der Test-Array lediglich aus dem Symbol besteht, welches eine Veränderung aufweisen kann. Den Probanden ist dadurch also ein Hinweis darauf gegeben, welches Symbol verändert ist und es muss lediglich dieses eine Symbol betrachtet und mit dem vorherigen Stimulus-Array abgeglichen werden. In diesem Fall lässt sich K_{max} durch die Formel von Cowan berechnen (Rouder et al., 2011):

$$K = N * (H - F)$$

Für beide Fälle gilt jedoch, wird die Kapazität K_{max} überschritten, werden alle Objekte darüber hinaus nicht mehr gespeichert und gehen verloren.

Unter der Verwendung der Formel von Pashler (whole-display Aufgabe) wurde ersichtlich, dass die Leistung des vAG bis zu einer Anzahl von vier Symbolen ansteigt und danach kontinuierlich abfällt. Dabei hatte weder die Anzeigedauer des Stimulus-Arrays, noch die Objekteigenschaften oder deren Kombinationen eine Auswirkung auf die Kapazitätsgrenze (Luck & Vogel, 1997). Dies bedeutet, dass jeder Mensch eine begrenzte Kapazität des vAG im Sinne der slot-based Theorie aufzuweisen scheint. Unklar ist jedoch, welche Ursachen diese Kapazitätslimitierung hat. Es wird vermutet, dass die Ursache in der Verknüpfung der beteiligten Neurone liegt. Je mehr Objekte wahrgenommen und gespeichert werden sollen, desto größer ist die Feuerrate der Neuronen für diese Objekte. Dabei steigt jedoch die Gefahr einer fehlerhaften Verknüpfung zwischen den Neuronen (Eriksson et al., 2015).

Außerdem konnte gezeigt werden, dass Objekte bevorzugt als Ganzes und nicht in Form von einzelnen Merkmalen, im Weiteren als Features bezeichnet, gespeichert werden. Es können sowohl vier Objekte (bestehend aus nur einem Feature), als auch vier Features pro Objekt (16 Features) gleich gut gespeichert werden. Wichtig hierbei ist nur, dass die Anzahl der Objekte die Kapazitätsgrenze von vier nicht überschreitet. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass zu Beginn des Prozesses durch die selektive Aufmerksamkeit zunächst einmal gesamte Objekte wahrgenommen werden, bevor auf Details geachtet wird. Dies hat den Vorteil, dass die Kapazität durch die Zusammenfassung von Features und der Speicherung von ganzen Objekten besser genutzt werden kann. Wohingegen bei der Speicherung von einzelnen Features bereits frühzeitig die Kapazitätsgrenze erreicht ist. Der Effekt der Speicherung ganzer Objekte, unabhängig von der Anzahl der gezeigten Features pro Objekt, wird auch als objektbasiertes AG bezeichnet. Ihm steht die Theorie eines Feature basierten AG gegenüber, welche besagt, dass die Menge an gespeicherten Objekten sehr wohl von der Art und Anzahl der Features abhängt. Komplexe Features (z.B. geometrische Formen) benötigen mehr Speicher im AG. Daraus folgt, dass die Leistung des AG und damit auch die Kapazität, bei zunehmender Anzahl und Komplexität an Features pro Objekt, abnimmt. Des Weiteren ist bei komplexen Features eine höhere neuronale Aktivität, sowie eine größere Ausdehnung der Pupillen messbar als bei einfachen Features (z.B. Farbe). Dies führt zu dem Schluss, dass komplexen Features auch eine höhere Aufmerksamkeit zugeteilt wird und dass die Kapazität des vAG nicht alleine von der Anzahl an Objekten, sondern auch von denen für eine Aufgabe relevanten Features, beeinflusst wird (Kursawe & Zimmer, 2015).

Dieses Ergebnis spricht eher für die oben erläuterte slot-based Theorie. Es ist jedoch auch eine Mischung beider Theorien (slot-based und resource-based) möglich. Die vorhandenen Ressourcen lassen sich beliebig auf eine Anzahl von drei bis vier Objekten verteilen. Am wahrscheinlichsten ist es, dass Teile beider Theorien eine Rolle bei der Entstehung der Kapazitätsgrenze spielen. Somit haben die Anzahl der aufzunehmenden Objekte, sowie die Ressourcen einen Einfluss auf die Kapazität (Luck & Vogel, 1997).

Verdeutlichen lässt sich dieser Ansatz mit Hilfe eines einfachen Beispiels. Beim Merken einer Telefonnummer geschieht dies meistens in Form von Zweier- bis Dreier Blöcken mit jeweils zwei bis drei Ziffern. Somit werden bei einer sieben stelligen Nummer insgesamt drei bis vier Objekte erzeugt, deren Speicherung die Kapazitätsgrenze nicht überschreitet.

Würde man sich jede Ziffer einzeln merken, wären dies sieben einzelne Blöcke, welche die Kapazität überschreiten würde. Dieses Beispiel macht deutlich, dass wir tagtäglich unbewusst Tricks anwenden, um das vAG am effizientesten auszunutzen.

Die Kapazität des AG hängt im Wesentlichen also von zwei Faktoren ab. Zum einen davon, ob Informationen in Gruppen zusammengefasst werden können und zum anderen von bereits gespeicherten und somit nutzbaren Informationen im LZG. Dies hat den Vorteil, dass nicht jedes Detail einer Aufgabe im AG gespeichert werden muss und der Speicherplatz so effektiver genutzt werden kann (Eriksson et al., 2015).

1.4 Trade-Off zwischen den Verhaltensstrategien

Memorisierungsstrategie vs. Akquisitionsstrategie

Die Wahrnehmung und Selektion visueller Information beinhalten immer Augenbewegung in Form von Sakkaden mit anschließender Fixation. Bei der Betrachtung und Selektion, sowie für den Speicherprozess im AG entstehen Kosten für das Individuum. Im Normalfall sollte dieses Kosten-Nutzen-Verhältnis zwischen Ressourcenverbrauch und gespeicherten Informationen ausgeglichen sein. Ist nun jedoch die Menge an Informationen auf Grund einer komplexen Aufgabe besonders groß, steigen die Kosten für eine Handlung (genauer für die Memorisierung) und das Kosten-Nutzen-Verhältnis gerät aus dem Gleichgewicht. Es besteht also eine Abhängigkeit zwischen den verschiedenen Handlungen (Memorisierung und Informationsaufnahme), welche dazu führt, dass bei Mehraufwand der einen Handlung in Form von höheren Kosten, für die andere Handlung zwangsläufig weniger Ressourcen zur Verfügung stehen. Die dadurch entstehende Vernachlässigung der einen Handlung (Aufnahme der Informationen aus der Umwelt) auf Grund steigender Kosten der anderen Handlung (Memorisierung) wird als Trade-Off bezeichnet. Um das Kosten-Nutzen-Verhältnis wieder ins Gleichgewicht zu bringen, muss nun abgewägt werden, auf welche Handlung der Fokus gelegt werden soll und welche eher vernachlässigt werden kann bzw. wie die limitierten Ressourcen bestmöglich verteilt werden können.

Im Fall des vAG besteht ein Trade-Off zwischen zwei unterschiedlichen Verhaltensstrategien: zwischen der internen Memorisierung der Information (Memorisierungsstrategie) und dem Erwerb der externen Information aus der Umwelt mittels Augenbewegung (Akquisitionsstrategie). Je nach Anzahl an Objekten bzw. Informationen und Art der Aufgabe kommen diese zwei Strategien zum Tragen, zwischen denen gewählt wird, um möglichst effektiv Informationen im vAG verarbeiten zu können.

Der Einsatz einer Strategie verläuft unbewusst und es ist nicht geklärt, welche Faktoren für die Wahl der einen oder anderen Strategie ausschlaggebend sind. Bekannt ist nur, dass sowohl die Anzahl der Informationen wie auch die Art der Aufgabe von Bedeutung sind.

Bei einer großen Anzahl oder hohen Komplexität von Objekten ist der sogenannte memory-load, d.h. die Menge an Information, die ins Gehirn aufgenommen werden soll, besonders groß. Die Kosten für die interne Strategie (Speicherung im AG) steigen, was durch häufigere Augenbewegung (externe Strategie) wieder ausgeglichen werden kann.

In diesem Fall wird fast ausschließlich die Akquisitionsstrategie, auch just-in-time Strategie genannt, gewählt. Bei dieser Strategie werden nur Informationen aufgenommen, die im aktuellen Moment für die Bearbeitung der Aufgabe wichtig sind. Es wird versucht, durch häufige Augenbewegung immer nur einen Bruchteil an externen Informationen aufzunehmen und zu verarbeiten. Der Vorteil hierbei ist, dass nur wenig Information intern gespeichert werden muss und die Kapazität des vAG nicht sofort ausgelastet ist. Dies scheint effektiver, als der Versuch, sich alle Informationen zur selben Zeit zu merken, was die Kapazität sofort auslastet und zu Fehlern führen würde.

Fällt der memory-load jedoch vergleichsweise gering aus (geringe Kosten für die interne Strategie) und sind die zu merkenden Objekte darüber hinaus noch weit voneinander entfernt (hohe Kosten für die externe Strategie), wird eher die interne Memorisierungsstrategie gewählt. Um die hohen Kosten der Augenbewegung zu senken, werden hierbei die zu speichernden Objekte länger fixiert, was auf Grund der geringen Informationsdichte kein Problem in Bezug auf die Kapazitätsgrenze darstellt. Somit ist es möglich, sich viele Objekte auf einmal zu merken und nicht unnötig viele Augenbewegungen zu machen (Droll & Hayhoe, 2007).

Bei der Wahl einer Strategie spielt auch die Art der zu lösenden Aufgabe eine wichtige Rolle. Bei einfachen Aufgaben, wie z.B. der Speicherung verschieden farbiger Kreise, sind der memory-load und somit auch die ‚internen‘ Kosten gering. Es wird dann eher die Memorisierungsstrategie gewählt, um nicht zusätzlich hohe Kosten für die Augenbewegungen zu generieren. Im Vergleich dazu wird bei schweren Aufgaben, z.B. der Speicherung von Umrissen verschiedener Tiere (größerer memory-load), eher die externe Akquisitionsstrategie gewählt. Es wird versucht, nur einige Informationen zu speichern und dafür in Kauf genommen, viele Augenbewegungen zu machen (Hardiess & Mallot, 2015).

Das Vorgehen beim Lösen dieser Art von Aufgaben läuft dabei immer gleich ab. Dem Probanden werden zwei Reihen (Arrays) von Symbolen gezeigt, die sich in ein bis zwei Symbolen unterscheiden. Die Aufgabe besteht nun darin, die beiden Arrays miteinander zu vergleichen und die Anzahl der Fehler zu ermitteln. Dabei werden zuerst Informationen (Farbe, Umriss) des ersten Arrays wahrgenommen, daraufhin findet eine Augenbewegung zum Vergleichs-Array statt, die die Wahrnehmung der dort gezeigten Objekte ermöglicht. Zuletzt erfolgt erneut eine Augenbewegung zurück zum eigentlichen Array. Als Startpunkt wird hierbei immer der linke Array gewählt und mit dem rechten verglichen. Dies ist auf die Leserichtung von links nach rechts zurückzuführen.

Mit diesem Versuchsdesign ist es möglich, das Verhalten von Versuchspersonen bezüglich des Trade-Off zu analysieren. Die Ergebnisse, die mit Hilfe dieses Versuchsdesigns erzielt wurden, zeigen, dass die Fehlerrate sowie die Antwortzeit bei den komplexeren Objekten deutlich größer ist als bei Farben. Auch ist beim Lösen der Aufgaben mit komplexen Objekten (Tiere) eine deutliche Verschiebung des Trade-Off in Richtung erhöhter interner (erhöhte Kosten für AG-Speicherung) und externer Strategien (erhöhte Augenbewegung) zu erkennen, als wenn es nur um die Verarbeitung von Farben geht. Daraus lässt sich schließen, dass bei Anwendung der Akquisitionsstrategie durch die hohe Anzahl an Objekten mehr Fehler entstehen und es auf Grund der vielen Augenbewegungen insgesamt länger dauert, eine Aufgabe zu lösen, da immer nur Bruchstücke gespeichert werden können (Hardiess & Mallot, 2015).

Je nach Aufgabe und memory-load wird also spontan und individuell entschieden, welche Strategie bzw. welcher Strategiemix angewandt wird. Dies geschieht unbewusst, ist von den einzelnen Versuchspersonen also nicht rational entschieden worden. Es ist unklar, welche Faktoren bei der Auswahl der Strategien eine Rolle spielen, da jedes Individuum anders an eine Aufgabe herangeht und andere Dinge als wichtig erachtet. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass die Auswahl auf Erfahrungen basiert. Es gab im Leben bereits sehr viele Situationen, in denen eine Menge an Informationen gespeichert und verarbeitet werden mussten. Unbewusst wurde dann womöglich die Memorierungsstrategie angewandt und kein Erfolg erzielt. Basierend auf dieser Erfahrung konnte dann das nächste Mal eine andere Herangehensweise getestet werden. Es könnte also durchaus möglich sein, dass man aus diesen Erfahrungen gelernt hat und so automatisch beim nächsten Mal die richtige Strategie gewählt wurde.

1.5 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Hinweis darauf zu finden, wie Entscheidungen intern getroffen werden bzw. was dieses Entscheidungsverhalten unbewusst beeinflusst. Wie bereits beschrieben, ist es unklar, welche Faktoren das Verhalten im Trade-Off zwischen Akquisition und Memorierung beeinflussen und wie diese im vAG verarbeitet bzw. verwaltet werden. Es wird vermutet, dass die Kapazität jedes Probanden eine Rolle im Entscheidungsverhalten spielt. Probanden mit einer hohen Kapazität sollten im Trade-Off also eher zur Memorierungsstrategie tendieren, da sie in der Lage sind viele Informationen auf einmal zu erfassen und zu speichern.

Um diese Hypothese zu testen, wird in zwei aufeinanderfolgenden Versuchen zunächst die individuelle Kapazität des Arbeitsgedächtnisses mit Hilfe des klassischen change-detection Task (cdT) von Luck & Vogel bestimmt. Es wird vermutet, dass die Kapazitäten der einzelnen Probanden sowohl zwischen den Stimuluskategorien Farbe und Form, als auch zwischen den set-size (4, 6 und 8 gleichzeitig gezeigte Stimuli) variieren. Die Kapazität sollte dabei in der Kategorie Farbe höher sein, da es sich um einfache Features handelt. Außerdem sollte sie bei steigender set-size abfallen, da irgendwann die Kapazitätsgrenze erreicht ist und somit keine weiteren Objekte mehr im vAG aufrechterhalten und gespeichert werden können.

In einem zweiten Versuch, Vergleichende visuelle Suche (vvS), wird dann das individuelle Verhalten bezüglich des Trade-Off näher untersucht. Dabei wird vermutet, dass bei steigender Delaystufe die Anzahl der Blickwechsel (Mausklicks) auf Grund der steigenden Kosten abnimmt. Des Weiteren wird erhofft, dass die Probanden entweder in das Cluster Memorierungsstrategie (wenig Blickwechsel bei vergleichsweise hoher Verarbeitungszeit) oder Akquisitionsstrategie (viele Blickwechsel bei geringer Verarbeitungszeit) fallen und eine deutliche Abgrenzung zwischen den Strategien sichtbar wird. Versuchspersonen, die im cdT eine hohe Kapazität zeigten, sollten dann im vvS der Memorierungsstrategie zugeteilt werden können und eine deutliche Korrelation zwischen den beiden Faktoren Kapazität und Verarbeitungszeit zeigen.

2. Material & Methoden

2.1 Versuchsteilnehmer & Stimuli

Die nachfolgenden zwei Versuche, Change-detection-Task (cdT) & Vergleichende visuelle Suche (vvS), wurden in einem *within-subject-Design* mit 14 Probanden im Alter zwischen 19 und 30 Jahren durchgeführt (6 Männer, 8 Frauen). Dabei wiesen die Probanden weder eine Rechts-links Schwäche noch eine rot-grün-Blindheit auf und hatten entweder keine oder eine korrigierte Sehschwäche. Vor Beginn der Versuche unterschrieben die Probanden eine Einverständniserklärung und bekamen eine ausführliche schriftliche Erklärung für beide Versuche (siehe Anhang).

Jeder Proband musste beide Versuche nacheinander absolvieren. Dabei wurde immer mit Versuch 1, cdT, begonnen und nach einer Pause von 5 min der zweite Versuch, vvS, absolviert. Somit war es möglich, die individuelle Kapazität jeder Versuchsperson (VP) mit dem jeweiligen Verhalten im Trade-Off zu vergleichen und zu analysieren.

Beide Versuche wurden auf einem handelsüblichen PC (Windows 7) mit Hilfe von MATLAB (MathWorks Ltd. Version 2015Rb) und der dort installierten Psychtoolbox (Version 3.0.12) erstellt und durchgeführt. Auch wurden die Antworten der Probanden mit Hilfe von MATLAB aufgezeichnet und gespeichert. Die Stimuli wurden in beiden Versuchen auf einem 19“ (1280 x 1024 px) Monitor (Samsung SyncMaster 931BF) gezeigt. Die Probanden saßen dabei in einem Abstand von 60 cm, in einem leicht abgedunkelten Raum, vor dem Monitor.

Die verwendeten Stimuli waren in beiden Versuchen die gleichen. Dabei wurde zwischen zwei Stimuluskategorien (Farbe und Form) unterschieden. Erstere beinhaltete Kreise in 8 verschiedenen Farben (rot, grün, blau, gelb, schwarz, weiß, violett und orange), wohingegen die Stimuluskategorie Form schwarz-weiß Umrisse von 8 verschiedenen Tieren (Kuh, Elefant, Pferd, Elch, Hund, Kamel, Katze und Nashorn) zeigte (Abb. 3). Die Anzahl der Stimuli jeder Kategorie liegt in der maximalen *set-size* von 8 des Versuches cdT begründet.

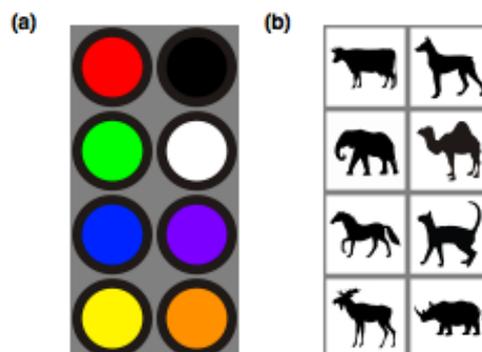


Abbildung 3: Alle Stimuli der zwei Stimuluskategorien Farbe und Form, die sowohl im Versuch cdT als auch im Versuch vvS verwendet wurden. **(a)** Stimuluskategorie Farbe mit farbigen Kreisen in rot, grün, blau, gelb, schwarz, weiß, violett und orange **(b)** Stimuluskategorie Form beinhaltet schwarz-weiß Silhouetten der Tiere Kuh, Elefant, Pferd, Elch, Hund, Katze, Kamel und Nashorn.

2.2 Versuchsdesign

2.2.1 Change-detection-Task (cdT)

Der cdT Versuch basiert auf der Idee des bereits in der Einleitung (Kapitel 1.3) erläuterten *Delayed-match-to-sample Task* von Luck & Vogel (Luck & Vogel, 1997). Aufgabe der Probanden war es, zwei aufeinanderfolgende Arrays an Stimuli zu vergleichen und gegebenenfalls einen Unterschied zu bemerken und diesen mitzuteilen. In diesem Versuchsdesign wurde, im Gegensatz zum ursprünglichen Versuch von Luck & Vogel, die Anzahl der gezeigten Stimuli (*set-size*) pro Durchgang, sowie die Anzeigedauer der gezeigten Stimuli verändert.

Um die Grenzen der individuellen Verarbeitungskapazitäten der einzelnen Probanden besser bestimmen zu können, wurde mit einer *set-size* von 4, 6 oder 8 gleichzeitig gezeigter Stimuli gearbeitet. Eine Stimulusanzahl von 4 ist noch ohne weitere Probleme erkennbar. Des Weiteren können, laut (Luck & Vogel, 1997), auch bei einer Stimulusanzahl von 6 und 8 noch über 50 % der gezeigten Stimuli korrekt erkannt werden. Da die Anzeigedauer der gezeigten Stimuli keinen Einfluss auf die individuelle Kapazität hat (Luck & Vogel, 1997), wurde auch diese erhöht, um den Probanden den Vergleich beider Arrays zu erleichtern. Dabei orientierte man sich an den Werten von (Vogel & Machizawa, 2004). So hatte der Stimulus-Array eine Anzeigedauer von 500 ms und der Test-Array eine von 2000 ms. Auf Grund der erhöhten Anzeigedauer des Stimulus-Arrays war eine Erhöhung der Delay-Phase auf 1000 ms notwendig, um einen Nachbildeffekt zu vermeiden.

Insgesamt wurden 240 Durchläufe gezeigt, die sich wie folgt ergaben: pro *set-size* (4,6 oder 8) gab es 80 Durchläufe, von denen wiederum die Hälfte der Kategorie Farbe und die andere Hälfte der Kategorie Form angehörten. Je 20 dieser 40 Durchläufe zeigten dabei keine Veränderung zwischen Stimulus-Array und Test-Array auf, 20 zeigten eine Veränderung. Daraus ergaben sich 2 (Kategorie) x 40 (Durchläufe pro Kategorie) x 3 (*set-size*) = 240 Durchläufe. Ein Durchlauf setzte sich dabei immer aus der Anzeige eines Fixationskreuzes, Stimulus-Array, Delay-Phase und Test-Array zusammen (Abb. 4).

Durchführung

Zu Beginn des Versuches erschien eine kurze Anweisung für die Probanden auf dem Monitor, die das wichtigste des Versuches noch einmal zusammenfasste. Nach Betätigung der Leertaste begann der Versuch. Zunächst wurde zu Beginn jeden Durchlaufs ein Fixationskreuz (Dauer 1000 ms) in der Mitte des Bildschirms angezeigt, welches fixiert werden sollte, bis der Stimulus-Array erschien. Zwischen Stimulus-Array (Dauer 500 ms) und dem zu vergleichenden Test-Array lag die Delay-Phase (Dauer 1000 ms), in der die Stimuli im vAG aufrechterhalten werden mussten, bevor sie dann mit den Stimuli im Test-Array (Dauer 2000 ms) verglichen werden konnten. Stimulus- sowie Test-Array beinhalteten dabei entweder 4, 6 oder 8 unterschiedliche Stimuli der Kategorie Farbe (Abb. 4a) oder Form (Abb. 4b). Wobei es bei einer *set-size* von 8 auf Grund der maximalen Anzahl von 8 verschiedenen Stimuli im Test-Array zu zwei identischen Stimuli kommen konnte. Die einzelnen Stimuli hatten eine Größe von 21,13 x 21,13 px (Farbe) bzw. 16,85 x 16,85 px (Objekt) und erschienen unter einem Sehwinkel von 0,59° bzw. 0,48°. Zwischen den Stimuli lag ein Abstand von ca. 70 px (Sehwinkel 2°).

Die Stimuli wurden randomisiert innerhalb eines grauen Quadrates (286 x 286 px bzw. 8,1 x 8,1°) auf schwarzem Hintergrund auf dem Monitor dargestellt. Die zentrale Fläche für die Präsentation des Fixationskreuzes hatte eine Größe von 86 x 86 px (2,4 x 2,4°) und blieb frei von Stimuli.

Nach jedem Durchlauf wurde der Proband durch eine Textanzeige auf dem Monitor dazu aufgefordert, durch Drücken der jeweiligen Maustaste mitzuteilen, ob Stimulus-Array und Test-Array gleich waren (linke Maustaste) oder sich unterschieden (rechte Maustaste). Der Fall einer Veränderung des Test-Arrays betraf jeweils nur ein Stimulus Symbol, welches, je nach angezeigter Stimuluskategorie, durch eine andere Farbe oder Form ersetzt wurde. Die räumliche Anordnung der Symbole blieb dabei immer gleich (vgl. Abb. 4).

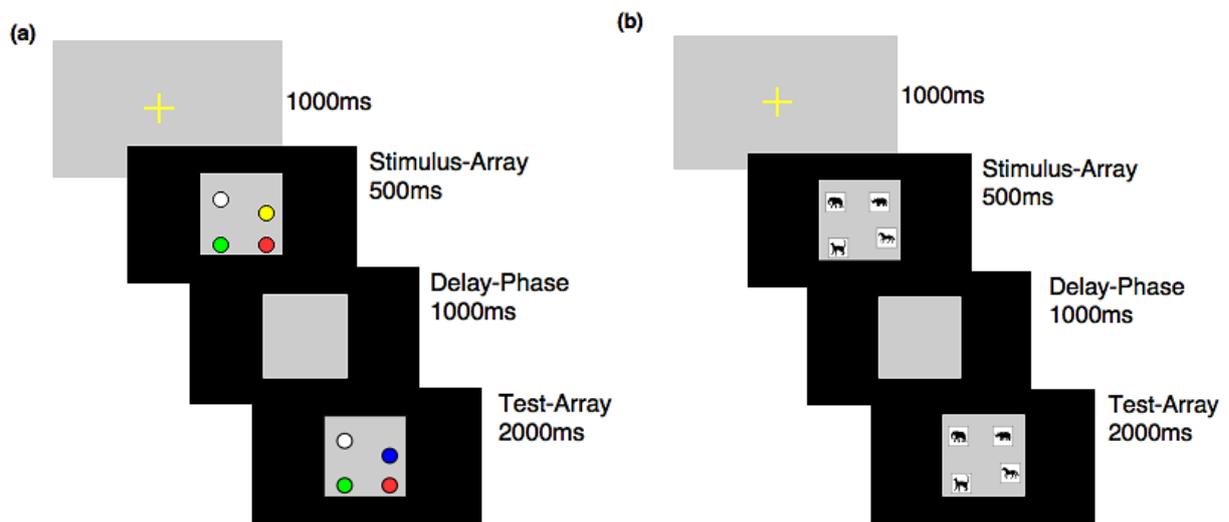


Abbildung 4: Darstellung eines Durchlaufs im cdT bestehend aus Fixationskreuz, Stimulus-Array, Delay-Phase und Test-Array in der Stimuluskategorie **(a)** Farbe mit Unterschied zwischen Stimulus-Array und Test-Array und **(b)** Form ohne Unterschied zwischen Stimulus-Array und Test-Array.

2.2.2 Vergleichende visuelle Suche (vvS)

Der Versuch vvS diente dazu, das Trade-Off Verhalten, welches bereits in Kapitel 1.4 näher beschrieben wurde, individuell zu untersuchen. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, die Symbole eines Arrays, welche sich in zwei nebeneinander angeordneten Spalten befanden, zu vergleichen und dem Versuchsleiter so schnell wie möglich die Anzahl der Fehler mitzuteilen. Dabei unterschieden sich immer ein oder zwei Symbole zwischen den Spalten, es gab also keine zwei Spalten, die identisch waren. Durch die Veränderung verschiedener Parameter, wie die Komplexität der Stimuli (Farbe oder Objekt) oder die Entfernung zwischen den Symbolen, soll untersucht werden, ob jeder Proband einer der beiden Strategien, Akquisition bzw. Memorisierung, zugeordnet werden kann.

Der gezeigte Array wurde auf dem gesamten Bildschirm dargestellt (1280 x 1024 px), beide Spalten hatten einen Abstand von 24° und enthielten jeweils 24 Symbole. Diese Symbole entsprachen auch hier, in randomisierter Reihenfolge, entweder der in Abbildung 3 dargestellten Stimuli der Kategorie Farbe (Sehwinkel 0,29°) oder Form (Sehwinkel 0,86°). Es wurden dabei jedoch nur 4 verschiedene Symbole der Kategorie Farbe (schwarz, blau, rot und grün) und Form (Kuh, Kamel, Elch und Katze) verwendet. Dabei wurden Stimuli der Kategorie Form auf Grund ihrer Komplexität als kostenintensiver eingestuft, als Stimuli der Kategorie Farbe.

Durchführung

Insgesamt wurden von jedem Proband 36 Durchläufe absolviert (2 verschiedene Stimuluskategorien Farbe oder Form x 3 Delaystufen x 6 Wiederholungen). Nach der Hälfte der Durchläufe wurde eine Pause von 2-3 min eingelegt. Vor dem ersten Durchlauf erschien für die Probanden auf dem Monitor eine Kurzanweisung, die nochmals die wichtigsten Punkte des Versuches erläuterte. Durch Betätigung der Leertaste begann der Versuch und das vor jedem Durchlauf erscheinende Fixationskreuz wurde in der Mitte des Bildschirms für eine Dauer von 3000 ms eingeblendet. Dieses sollte fixiert werden, bis der erste Array erschien. Ein Durchlauf galt dann als beendet, wenn die gesamten 48 Symbole miteinander verglichen wurden und dem Versuchsleiter die Anzahl der gefundenen Fehler verbal mitgeteilt wurde. Mit Betätigung der Leertaste begann dann der zweite Durchlauf. Um sicherzustellen, dass sich die Probanden die einzelnen Symbole bildlich merkten und nicht in Form von Worten, mussten während des gesamten Suchdurchlaufs die Silben „la-le-lu“ laut und repetitiv aufgesagt werden.

Um die Probanden hinsichtlich der Anwendung der Akquisitionsstrategie beurteilen zu können ohne direkt die Blickwechsel zwischen den beiden Spalten zu messen, war während der gesamten Durchläufe immer eine der zwei Spalten durch eine graue Maske verdeckt (Abb. 5a). Diese Maske konnte vom Probanden mit der linken bzw. rechten Maustaste so oft verschoben werden, wie benötigt. Je nach Bedingung dauerte es 0; 0,5 oder 1 s (Delaystufe) bis die Maske nach dem Mausklick die Seite wechselte. Dies symbolisierte die Entfernung zwischen den Symbolen. Eine hohe Delaystufe, von z.B. 1 s, steht für eine große Entfernung zwischen den zu vergleichenden Stimuli und erfordert somit eine längere Aufrechterhaltung im vAG.

Während dieser Zeit waren beide Spalten des Arrays komplett verdeckt, es waren lediglich schwarze Linien zu sehen, die die einzelnen Symbolpositionen zwischen der rechten und linken Spalte miteinander verbanden (vgl. Abb. 5b). Die Anzahl der Mausklicks stand dabei für die Anzahl der Blickwechsel von rechts nach links und quantifiziert somit die externe Akquisitionsstrategie.

Um die verschiedenen Stimuluskategorien, sowie das Verschieben der Maske mit den drei verschiedenen Delaystufen zu verdeutlichen und zu üben, absolvierte jeder Proband vor Beginn des eigentlichen Versuches vier Testdurchläufe.

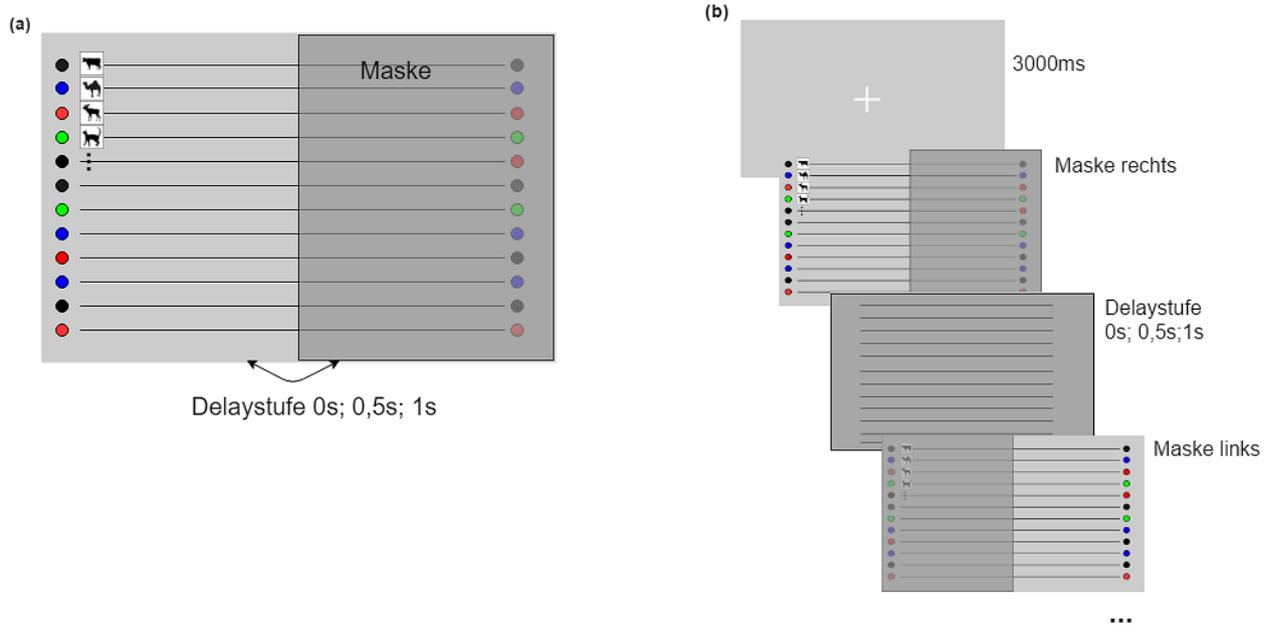


Abbildung 5: Darstellung des vvS Experiments. **(a)** Array mit den Symbolen aus der Stimuluskategorie Farbe bzw. Form. Die rechte Spalte ist zu Beginn von einer grauen Maske abgedeckt, die durch Klicken der linken/ rechten Maustaste verschoben werden kann. Dauer der Verschiebung variiert zwischen den Delaystufen 0; 0,5 oder 1 s. Abgebildet sind hier nur 12 von eigentlich 24 Symbolen pro Spalte. **(b)** Typischer Durchlauf mit Fixationskreuz (3000 ms) und Stimulus-Array. Die Maske gibt immer nur eine Spalte des Arrays frei und kann beliebig oft verschoben werden.

2.3 Abhängige Variablen

2.3.1 Change-detection Task

Die gegebenen Antworten der VPen, in Form von Klicken der linken (Stimulus-Array und Test-Array unterscheiden sich nicht) bzw. rechten (Stimulus-Array und Test-Array unterscheiden sich) Maustaste, wurden während des Versuchs von MATLAB aufgezeichnet und gespeichert. Da im cdT jeweils alle Symbole des Stimulus-Arrays mit allen Symbolen des Test-Arrays verglichen wurden, handelte es sich hierbei um eine whole-display Aufgabe. Wie bereits in Kapitel 1.3 beschrieben, dient in diesem Fall zur Bestimmung der Kapazität die Formel von Pashler (Rouder et al., 2011):

$$K = N * \frac{(H - F)}{(1 - F)}$$

Die für die Berechnung benötigte hit-rate (H) stellt die Anzahl der richtig gegebenen Antworten dar, d.h. eine Veränderung wurde richtig erkannt. Die false-alarm rate (F) hingegen ist die Anzahl an Antworten, bei denen eine Veränderung zwischen Stimulus- und Test-Array detektiert wurde, es jedoch keine gab. Um die Kapazitäten zwischen den set-size von 4, 6 oder 8 vergleichen zu können, wurden die mit der Formel von Pashler berechneten Werte in Prozent umgerechnet und somit normiert.

2.3.2 Vergleichende visuelle Suche

Um die VPen einer der beiden Strategien (Akquisition/ Memorisierung) zuordnen zu können, wurde die Anzahl der Blickwechsel zwischen den Spalten (Anzahl an Mausclicks), sowie die Verarbeitungszeit (durchschnittliche Zeit zwischen zwei Mausclicks abzüglich der Dauer der Delaystufe) mit Hilfe von MATLAB gemessen und berechnet. Außerdem wurde die Fehlerrate (Anzahl an richtigen/ falschen Antworten) nach jedem Durchlauf notiert.

2.4 Statistische Analyse

In beiden Versuchen wurde eine ANOVA (mit Messwiederholung) mit Hilfe des Statistikprogramms *IBM SPSS statistics* (Version 23) durchgeführt. So konnten Signifikanzen, sowie Effekte zwischen den Faktoren (set-size, Kmax, Stimuluskategorie, Anzahl der Blickwechsel, Delay, Verarbeitungszeit) bestimmt werden. Um auf signifikante Unterschiede innerhalb der Faktoren Delay und set-size zu testen, wurde eine post-hoc Analyse durchgeführt. Die Ergebnisse der post-hoc Analyse sind mit dem üblichen Signifikanzlevel angegeben (nicht markiert: nicht signifikant; * p < 0,05; ** p < 0,01). Eine Korrelationsanalyse wurde mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten R (nach Pearson) durchgeführt. Die Fehlerbalken aller Abbildungen stellen den Standardfehler des Mittelwerts dar.

3. Ergebnisse

3.1 Change-detection Task (cdT)

Ziel dieses Experimentes war es, die Kapazitäten (K_{max}) des vAG der einzelnen VPen mit Hilfe der Formel von Pashler (Rouder et al., 2011) zu bestimmen. Wie in Abbildung 6a dargestellt, variieren diese im Schnitt zwischen 35,74 % (VP 14) und 66,31 % (VP 2). Im Durchschnitt liegt K_{max} bei 47,12 %. Betrachtet man die Aufteilung der Kapazitäten in die beiden Stimuluskategorien Farbe und Form genauer (Abb. 6b), so fällt auf, dass die Durchschnittskapazität jedes Probanden in der Kategorie Farbe (blau) deutlich höher ausfällt als in der Kategorie Form (gelb). Die Kapazitäten variieren hierbei in Kategorie Farbe zwischen 59,11 % (VP 10) und 85,35 % (VP 5), in Kategorie Form zwischen -9,44 % (VP 14) und 48,06 % (VP 2). Auffallend ist, dass K_{max} in den negativen Bereich fällt. Dies ist ausschließlich in Kategorie Form der Fall und resultiert aus einer höheren false-alarm rate als hit-rate.

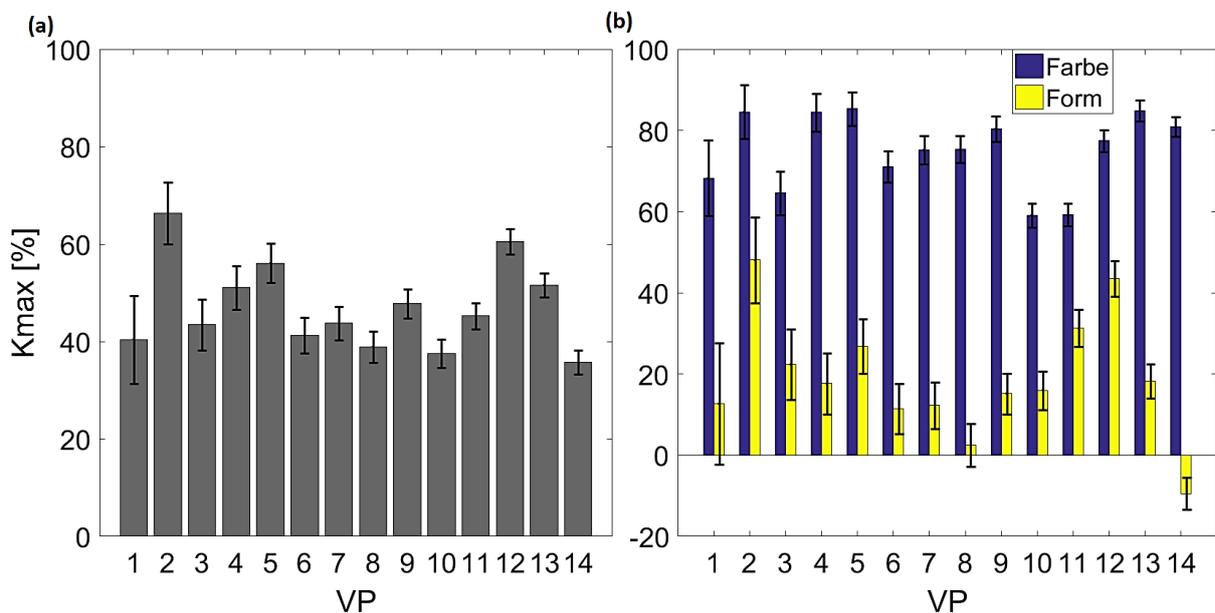


Abbildung 6: Die mit Hilfe der Formel von Pashler berechneten Kapazitäten [%] (K_{max}) jeder VP. **(a)** Durchschnittliche Gesamtkapazität [%] aller 14 VPen, sowie **(b)** die durchschnittliche Kapazität jeder VP aufgeteilt in die beiden Stimuluskategorien Farbe (blau) und Form (gelb).

Die bereits erläuterten Ergebnisse lassen sich noch genauer aus Tabelle 1 entnehmen und vergleichen. Diese stellt die Kapazitäten jeder VP im Durchschnitt pro Stimuluskategorie, sowie aufgeteilt in die jeweilige set-size dar. Auch hier ist ein deutlicher Unterschied zwischen den Stimuluskategorien erkennbar. Dabei fällt auf, dass neben VP 14, welche in Kategorie Form in jeder set-size eine Kapazität von null oder eine negative Kapazität aufweist, noch weitere VPen in dieser Kategorie negative Kapazitäten aufweisen (VP 1, 6 und 8). Außerdem fällt auf, dass bei einigen VPen sowohl in Kategorie Farbe als auch in Kategorie Form ein Anstieg der Kapazität von set-size 6 auf set-size 8 stattfindet.

Tabelle 1: Einzel- sowie Durchschnittskapazitäten [%] aller 14 VPen unterteilt in die jeweilige Stimuluskategorie Farbe und Form, sowie in die set-size 4, 6 und 8.

VP	Farbe				Form			
	Set-size			Durchschnitt	Set-size			Durchschnitt
4	6	8	4		6	8		
1	66,67	69,23	68,75	68,22	31,25	35,29	-28,57	12,66
2	90,00	90,00	73,68	84,56	55,56	35,29	53,33	48,06
3	84,21	68,42	41,18	64,60	23,53	27,78	15,79	22,37
4	83,33	88,89	81,25	84,49	18,75	15,39	18,75	17,63
5	89,47	84,21	82,35	85,35	40,00	7,14	33,33	26,83
6	85,00	65,00	63,16	71,05	-14,29	11,11	37,50	11,44
7	88,89	73,69	63,16	75,24	14,29	6,67	15,79	12,25
8	85,00	72,22	68,75	75,32	23,53	-7,69	-8,33	2,50
9	88,24	64,71	88,24	80,39	27,78	7,69	10,00	15,16
10	44,45	57,90	75,00	59,11	31,58	5,26	11,11	15,98
11	70,00	55,00	52,63	59,21	40,00	38,89	15,00	31,30
12	94,12	50,00	88,24	77,45	52,63	47,06	30,77	43,49
13	94,74	89,47	70,59	84,93	23,08	25,00	6,67	18,25
14	84,21	78,57	80,00	80,93	0,00	-8,33	-20,00	-9,44

Bei Betrachtung der durchschnittlichen Kapazitäten in Bezug auf die jeweilige set-size ist ein Abfall der Kapazität in Abhängigkeit der set-size zu erkennen (Abb. 7). Außerdem fällt auch hier auf, dass sich Kmax deutlich zwischen den Stimuluskategorien Farbe und Form unterscheidet. Die Kapazität ist in Kategorie Farbe in allen drei set-size deutlich höher als in Kategorie Form (Abb. 7) Bei genauerer Betrachtung ist zu erkennen, dass Kmax im Durchschnitt in Kategorie Farbe von 82,02 % (set-size 4) auf 71,95 % (set-size 6) und schließlich auf 71,21 % (set-size 8) sinkt. In der Kategorie Form sinkt Kmax im Durchschnitt von 26,2 % (set-size 4) auf 17,61 % (set-size 6) und schließlich auf 13,65 % (set-size 8). Dabei ist hier der Abfall zwischen set-size 6 und 8 deutlicher zu erkennen als in Kategorie Farbe, bei welcher die Kapazität zwischen set-size 6 und 8 annähernd gleich ist (Abb. 7).

Nach Durchführung einer 2 x 3 ANOVA mit den Faktoren Stimuluskategorie (Farbe, Form) x set-size (4, 6, 8) ist ein signifikanter Haupteffekt der Stimuluskategorie ($F(1, 13) = 147,27$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,92$) und der set-size ($F(2, 26) = 7,33$; $p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,36$) zu erkennen. Zwischen den Faktoren Stimuluskategorie und set-size findet jedoch keine signifikante Interaktion statt ($F(2, 26) = 0,08$; $p = 0,9$; $\eta_p^2 = 0,006$).

Durch eine post-hoc Analyse kann die Aussage getroffen werden, dass die set-size 4 und 6 ($p < 0,01$), sowie 4 und 8 ($p < 0,05$) signifikant verschieden sind.

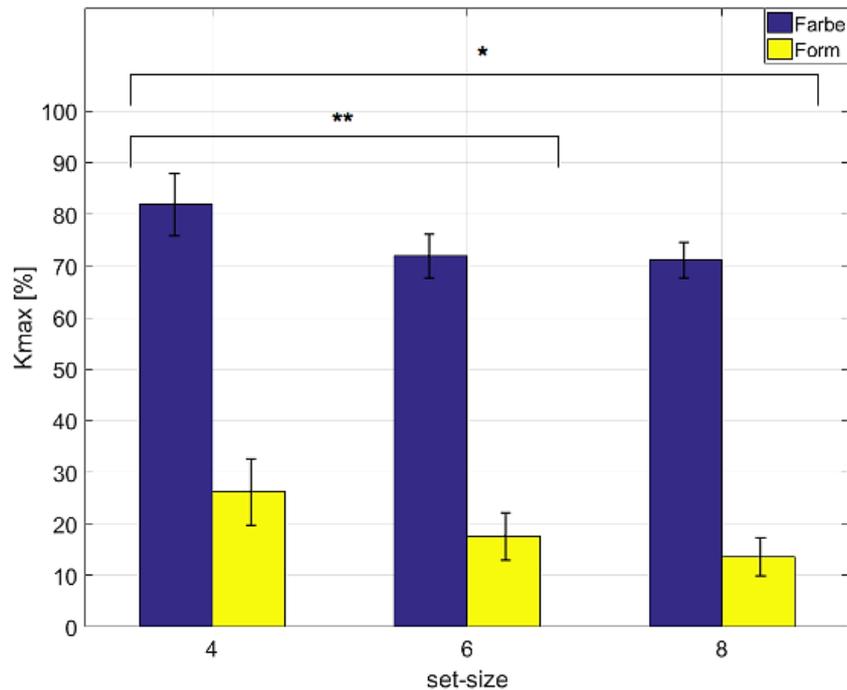


Abbildung 7: Durchschnittliche Kapazität [%] aller 14 VPen unterteilt in die drei verschiedenen set-size 4, 6 und 8 sowie in die jeweilige Stimuluskategorie Farbe (blau) bzw. Form (gelb).

Um zu testen, ob eine Korrelation der Kmax-Werte zwischen der set-size innerhalb jeder Stimuluskategorie vorliegt, wurde der Korrelationskoeffizient R (nach Pearson), sowie der p-Wert bestimmt (Tab. 2a). Dabei fällt auf, dass es in Kategorie Form, im Gegensatz zu Kategorie Farbe, in der keinerlei Korrelation festzustellen ist ($R < 0,4$; $p > 0,1$), eine Korrelation zwischen set-size 4 und 6 vorhanden ist ($R = 0,6$; $p < 0,05$). Diese Korrelation ist jedoch nicht zwischen den set-size 4 und 8 ($p = 0,29$) bzw. 6 und 8 ($p = 0,27$) zu erkennen. Es ist keine Korrelation mit set-size 8 erkennbar, da diese zu schwer war und sich die Ergebnisse aus diesem Grund nicht mit den Werten der set-size 4 und 6 vergleichen lässt.

Bei Betrachtung der set-size zwischen den Stimuluskategorien ist ebenfalls keine Korrelation zu erkennen ($-0,03 < R < 0,05$; $p > 0,4$) (Tab. 2b). Die set-size von Farbe und Form sind demnach unabhängig voneinander und beeinflussen sich nicht gegenseitig.

Tabelle 2: Korrelationsanalyse mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten R (nach Pearson) sowie des p-Wertes **(a)** innerhalb der jeweiligen Stimuluskategorien Farbe bzw. Form in Bezug auf die jeweilige set-size 4, 6 und 8 sowie **(b)** zwischen den Stimuluskategorien Farbe und Form in Bezug auf die jeweilige set-size 4, 6 und 8.

(a)

Farbe		Korrelationskoeffizient R	p-Wert
set-size			
4	6	0,415	0,140
	8	0,175	0,549
6	4	0,415	0,140
	8	0,141	0,630
8	4	0,175	0,549
	6	0,141	0,630
Form			
set-size			
4	6	0,605	0,022
	8	0,299	0,299
6	4	0,605	0,022
	8	0,312	0,277
8	4	0,299	0,299
	6	0,312	0,277

(b)

Farbe	Form	Korrelationskoeffizient R	p-Wert
set-size			
4	4	-0,031	0,915
6	6	-0,243	0,403
8	8	0,041	0,889

3.2 Vergleichende visuelle Suche (vvS)

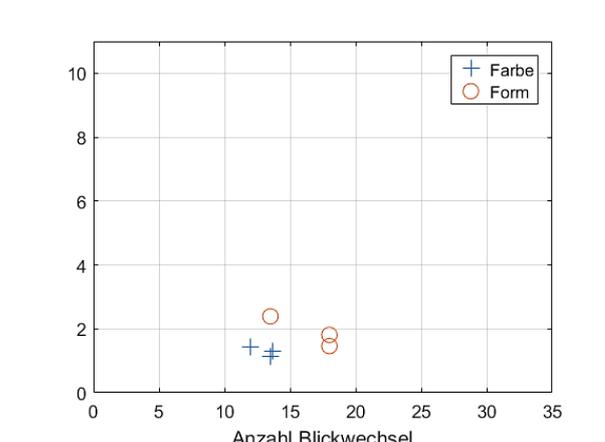
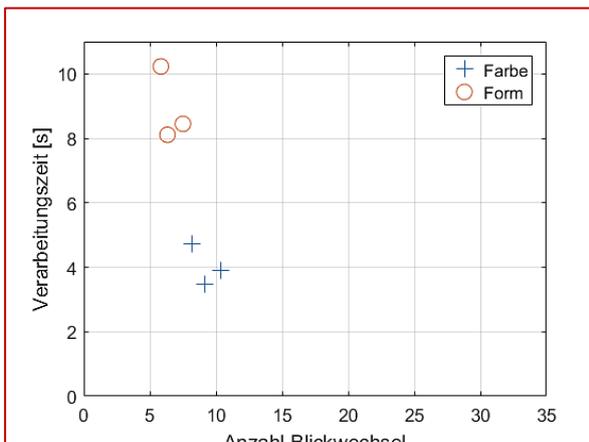
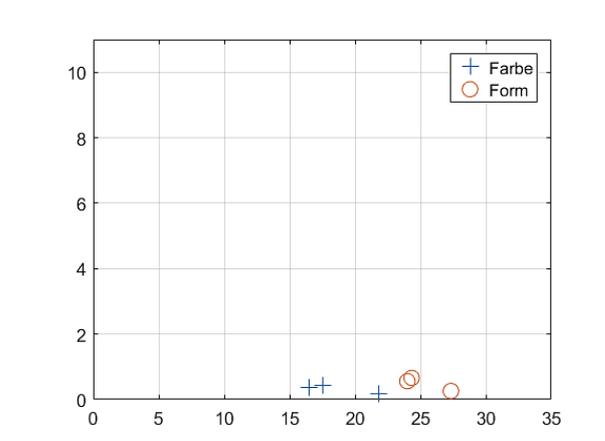
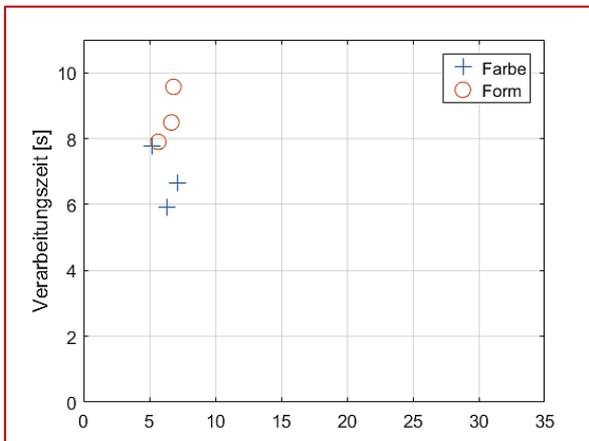
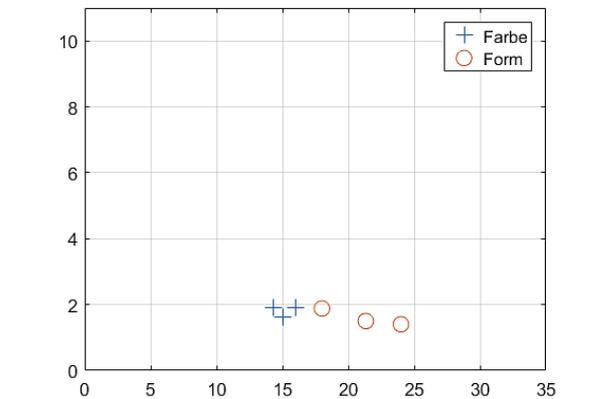
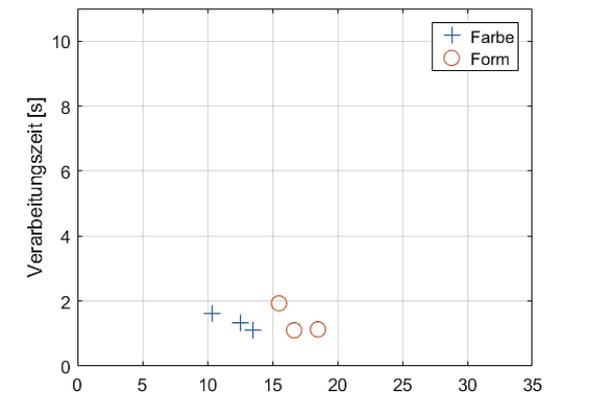
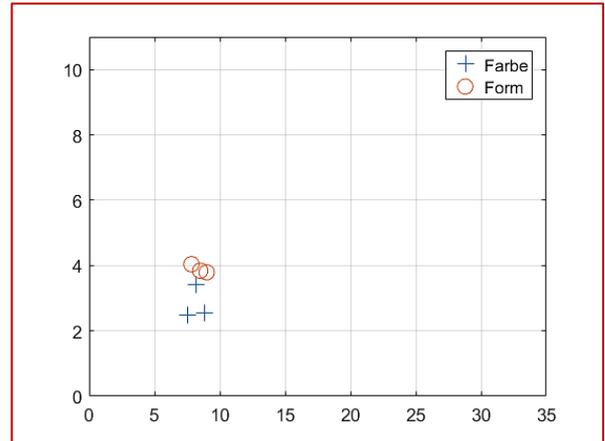
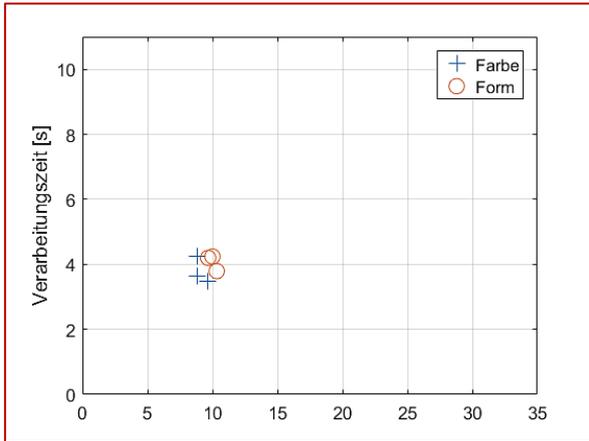
Um die einzelnen VPen bezüglich ihres Trade-Off Verhaltens genauer analysieren und einteilen zu können, zeigt Abbildung 8 die Strategien für alle 14 VPen getrennt voneinander. Hierbei ist die Verarbeitungszeit ein Charakteristikum für die interne Memorierungsstrategie. Die Anzahl der Blickwechsel steht für die externe Akquisitionsstrategie. Des Weiteren wird zwischen den Stimuluskategorien Farbe und Form sowie deren drei Delaystufen (0; 0,5; 1 s) unterschieden.

Allgemein lässt sich hier feststellen, dass deutliche Unterschiede im Verhalten der einzelnen VPen vorhanden sind. Die Mehrheit der VPen (10 von 14) liegen in beiden Stimuluskategorien (Farbe bzw. Form) in Bezug auf die Verarbeitungszeit im unteren Bereich (zwischen 0 und 3 s) und zeigen eine Anzahl an Blickwechseln über 10. Diese VPen können somit der Akquisitionsstrategie zugeteilt werden. Lediglich VP 1, 2, 5 und 7 (Abb. 8, rot hervorgehoben) zeigen im Vergleich zu den restlichen 10 VPen eine hohe Verarbeitungszeit (zwischen 3 und 10 s), sowie eine geringe Anzahl an Blickwechseln (zwischen 5 und 10). Diese VPen können der Memorierungsstrategie zugeteilt werden.

Bei genauerer Betrachtung des Verhaltens dieser vier VPen fallen auch hier Unterschiede auf. So zeigt VP 1, bei einer Anzahl an Blickwechseln von 8-10, eine Verarbeitungszeit von 3-4 s. Es ist keine eindeutige Trennung zwischen den Stimuluskategorien Farbe und Form erkennbar. Jedoch sind in Kategorie Form geringfügig mehr Blickwechsel erkennbar. Auch VP 2 zeigt durch die Anzahl der Blickwechsel (6-9) und einer Verarbeitungszeit von 2-4 s ein ähnliches Verhalten wie VP 1. Bei dieser VP liegt der Unterschied zwischen den Kategorien in der Verarbeitungszeit und nicht in der Anzahl der Blickwechsel, was ein deutlicher Hinweis auf die Memorierungsstrategie darstellt. Eine noch deutlichere Memorierungsstrategie zeigen VP 5 und VP 7. Durch die sehr hohe Verarbeitungszeit von 6-10 s (VP 5) bzw. 4-10 s (VP 7) und einer geringen Anzahl an Blickwechseln 5-6 (VP 5) bzw. 5-10 (VP 7) heben sie sich noch einmal deutlich von VP 1 und VP 2 ab.

Bei drei von diesen vier VPen unterscheidet sich die Verarbeitungszeit in Hinsicht auf die Stimuluskategorien, welche in Kategorie Farbe geringer ausfällt als in Kategorie Form. Lediglich VP 1 zeigt in Kategorie Form eine geringfügig höhere Anzahl an Blickwechseln. Bei Betrachtung der anderen 10 VPen (Akquisitionsstrategie) ist ebenfalls eine deutliche Trennung zwischen den Kategorien erkennbar, jedoch beruht diese ausschließlich auf Unterschieden in der Anzahl der Blickwechsel und nicht in der Verarbeitungszeit. Auch hier fallen für Kategorie Farbe deutlich weniger Blickwechsel an als für Kategorie Form.

Des Weiteren ist ein Trend bezüglich der Delaystufen zu erkennen. Je höher die Delaystufe, desto länger ist die Verarbeitungszeit bzw. desto mehr Blickwechsel haben stattgefunden.



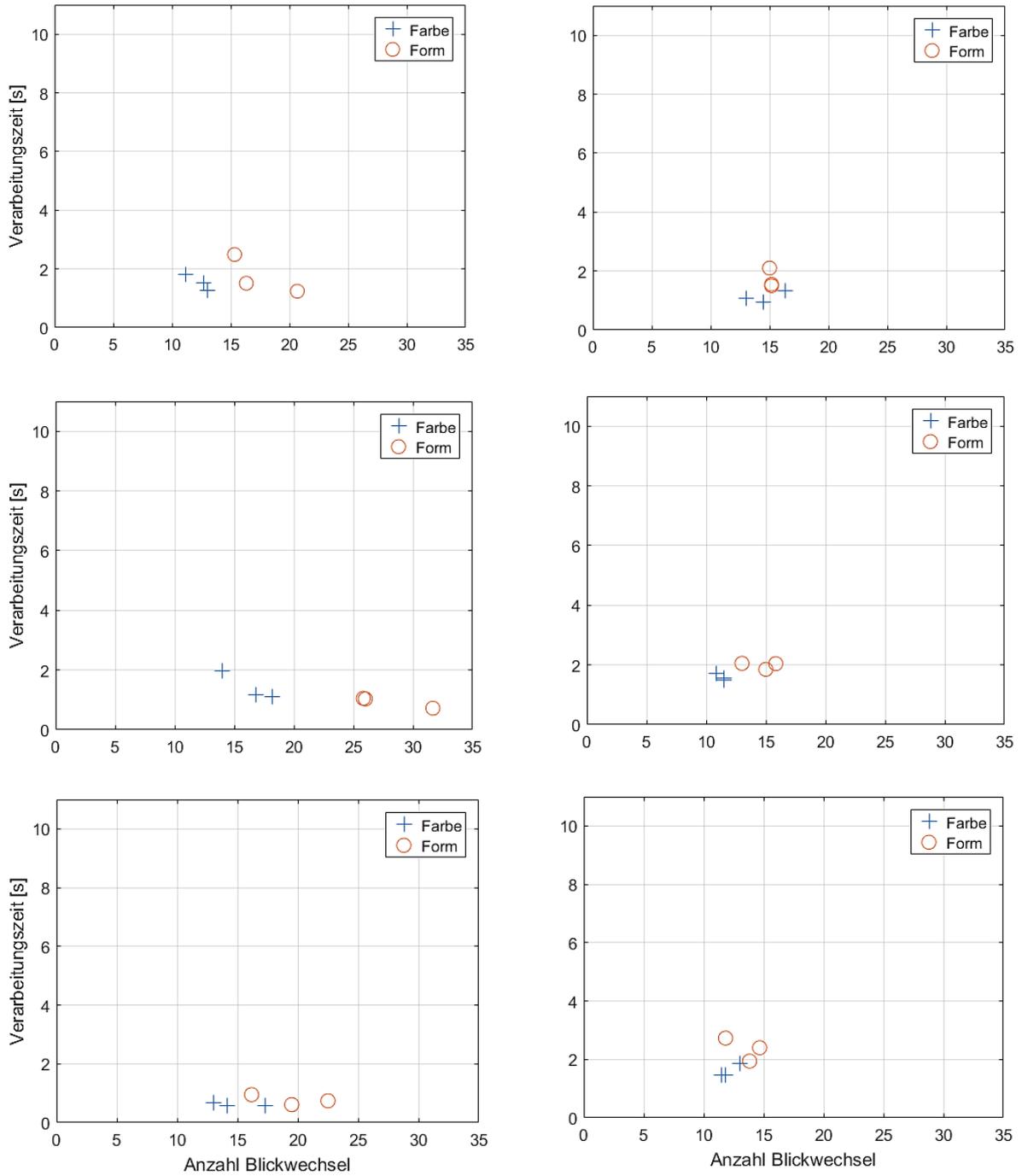


Abbildung 8: Strategien im Trade-Off Verhalten aller 14 VPen. Verarbeitungszeit sowie Anzahl der Blickwechsel sind unterteilt in die beiden Stimuluskategorien Farbe und Form sowie in die 3 Delaystufen pro Stimuluskategorie. Rot hervorgehoben sind die VPen 1, 2, 5 und 7; diese neigen offensichtlich, im Gegensatz zu den restlichen 10 VPen, zur internen Memorierungsstrategie.

Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Trade-Off Kurven der VPen fällt auf, dass diese jeweils Teilausschnitte einer Gesamtkurve darstellen (vgl. Abb. 9). Sowohl für die Stimuluskategorien als auch die drei Delaystufen wird einheitlich entweder die Akquisitionsstrategie oder die Memorierungsstrategie angewandt. Es gibt keinen generellen Strategiewechsel innerhalb einer VP.

Die durchschnittliche Anzahl an Blickwechseln, sowie die durchschnittliche Verarbeitungszeit (rote Markierung in Abb. 9) jeder VP zeigen auch hier eine vermehrte Wahl der Akquisitionsstrategie (10 von 14 VPen). Diese VPen befinden sich vor allem im unteren Bereich der Kurve, d. h. sie zeigen im Schnitt zwischen 12 und 23 Blickwechsel und eine geringe Verarbeitungszeit zwischen 0 und 2 s. Lediglich vier VPen (VP 1, VP 2, VP 5 und VP 7) fallen aus diesem Cluster und zeigen eine hohe Verarbeitungszeit zwischen 3 und 8 s und eine vergleichsweise geringe Anzahl an Blickwechseln zwischen 5 und 10. Das Trade-Off Verhalten aller VPen im vvS Experiment lässt sich demnach in zwei Cluster einteilen.

Außerdem ist hier ein deutlicher Unterschied zwischen den Stimuluskategorien Farbe und Form erkennbar, welcher sich in einer links/unten Verschiebung der Kurve „Farbe“ in Bezug auf die Durchschnitt-Kurve äußert. Das heißt, dass die VPen in Kategorie Farbe insgesamt weniger Blickwechsel und weniger Verarbeitungszeit benötigen haben als in der Kategorie Form (rechts/oben Verschiebung der Kurve).

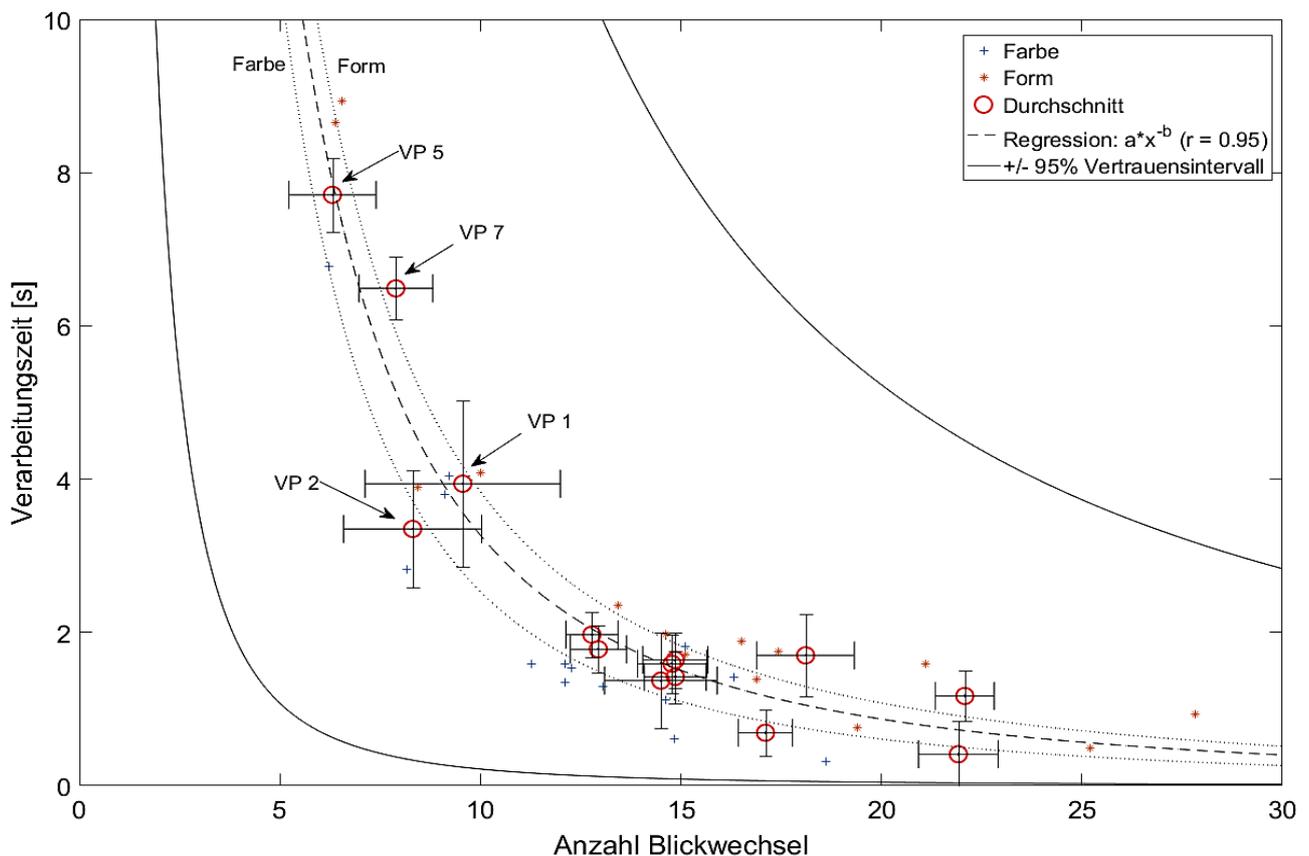


Abbildung 9: Trade-Off Verhalten zwischen interner Memorierungsstrategie (Verarbeitungszeit) und externer Akquisitionsstrategie (Anzahl Blickwechsel) im Durchschnitt pro VP. Ebenfalls eingezeichnet das Trade-Off Verhalten pro VP in den beiden Stimuluskategorien Farbe und Form. VPen 1, 2, 5 und 7 besonders gekennzeichnet, da sie sich in der Wahl der Strategie (Memorierung) von den restlichen VPen abheben.

Betrachtet man beide Strategien (Akquisition und Memorisierung) getrennt voneinander, unterteilt in die jeweilige Delaystufe und Stimuluskategorie, so wird auch hier der Unterschied zwischen Farbe und Form, sowie zwischen den Delaystufen sichtbar (Abb. 10).

Bei genauerer Betrachtung der Akquisitionsstrategie ist ein deutlicher Unterschied in der Anzahl der Blickwechsel zwischen Farbe und Form erkennbar. Des Weiteren fällt auf, dass bei steigender Delaystufe die Anzahl der Blickwechsel sinkt. Dies ist in Kategorie Form deutlicher zu erkennen als in Kategorie Farbe, in welcher die Anzahl der Blickwechsel über die Delaystufen nur sehr gering variiert (Abb. 10a).

Nach einer 2 x 3 ANOVA mit den Faktoren Stimuluskategorie (Farbe, Form) x Delaystufe (0; 0,5; 1 s) ist in Bezug auf die Anzahl der Blickwechsel ein deutlich signifikanter Effekt der Stimuluskategorie ($F(1, 13) = 11,863$; $p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,48$), sowie der Delaystufe ($F(2, 26) = 4,81$; $p < 0,05$; $\eta_p^2 = 0,27$) erkennbar. Eine Interaktion zwischen den Faktoren findet nicht statt ($F(2, 26) = 1,1$; $p = 0,35$; $\eta_p^2 = 0,08$).

Eine Verringerung der Anzahl der Blickwechsel in der Akquisitionsstrategie führt automatisch zu einer längeren Verarbeitungszeit (Memorisierungsstrategie) (Abb. 10b). Je größer die Delaystufe, desto größer ist die Verarbeitungszeit ($F(2, 26) = 6,12$; $p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,32$). Auch hier ist dieser Effekt in Kategorie Form deutlicher zu erkennen als in Kategorie Farbe. Jedoch ist nur ein deutlicher Anstieg zwischen Delaystufe 0 s und 1 s erkennbar, wohingegen in Delaystufe 0,5 s ein Rückschritt (geringere Verarbeitungszeit) erkennbar ist. Diesen nicht signifikanten Effekt der Stimuluskategorie, in Bezug auf die Verarbeitungszeit, wird durch eine 2 x 3 ANOVA noch einmal bestätigt ($F(1, 13) = 4,32$; $p = 0,06$; $\eta_p^2 = 0,25$). Jedoch ist erkennbar, dass auch hier die Delaystufe einen Einfluss auf die Verarbeitungszeit hat ($F(2, 26) = 6,32$; $p < 0,01$; $\eta_p^2 = 0,33$). Mit Hilfe einer post-hoc Analyse wird deutlich, dass die Delaystufen 0 s und 1 s in beiden Strategien signifikant verschieden sind ($p < 0,05$).

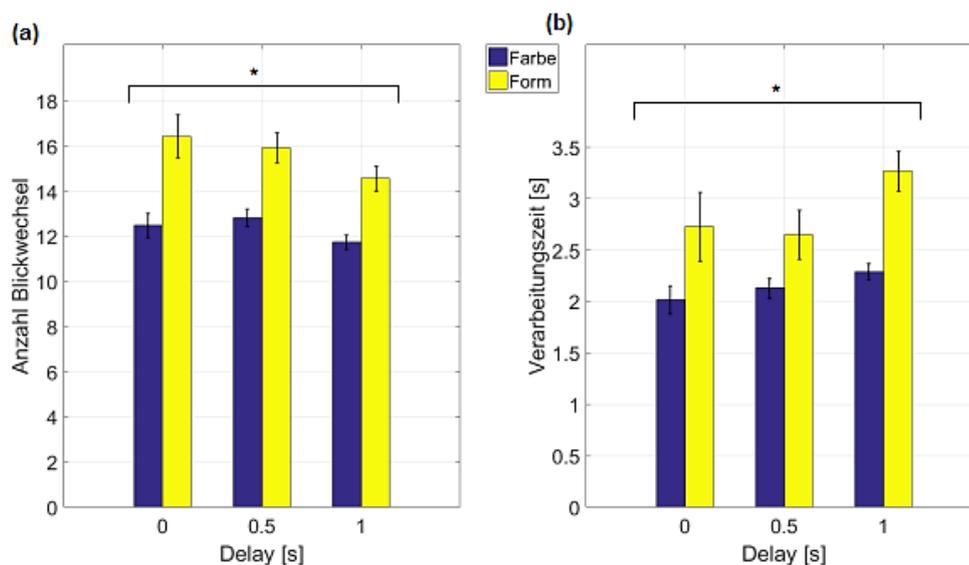


Abbildung 10: Durchschnittliches Trade-Off Verhalten aller 14 VPen in Abhängigkeit der Delaystufe (0; 0,5; 1 s) und der Stimuluskategorie (Farbe/Form) unterteilt in die beiden Strategien (a) externe Akquisitionsstrategie und (b) interne Memorierungsstrategie.

Um auszuschließen, dass die vvS nicht zu schwierig war und einige VPen aus diesem Grund fälschlicherweise einer bestimmten Strategie zugeteilt wurden, wurde die Anzahl an genannten Fehlern jeder VP mit der Lösung verglichen. Dabei ist deutlich erkennbar, dass bei einer Gesamtanzahl von 36 Antworten, von jeder VP weit über die Hälfte der gegebenen Antworten richtig ist (Abb. 11a). Die beste Leistung zeigt VP 13 mit nur einer falsch genannten Antwort. Die schlechteste Leistung lag bei 5 falschen Antworten (VP 4). Betrachtet man die durchschnittliche Leistung aller 14 VPen, so wurden von insgesamt 36 Antworten 32,5 (90,28 %) richtig genannt. Die durchschnittliche Fehlerrate lag bei 3,2 Antworten bzw. 9,72 % (Abb. 11b). Vergleicht man die Fehlerraten zwischen den VP der Memorierungsstrategie, sowie der Akquisitionsstrategie ist kein großer Unterschied erkennbar. Die VPen der Memorierungsstrategie (VP 1, 2, 5 und 7) zeigen im Schnitt eine Fehlerrate von 2,7 bzw. 7,5 %. Die VPen der Akquisitionsstrategie zeigen eine Fehlerrate von 3,8 bzw. 10,5 %.

Auch die Varianz zwischen den VPen ist sehr gering, was darauf schließen lässt, dass alle die Aufgabe als ungefähr gleich schwer empfunden haben.

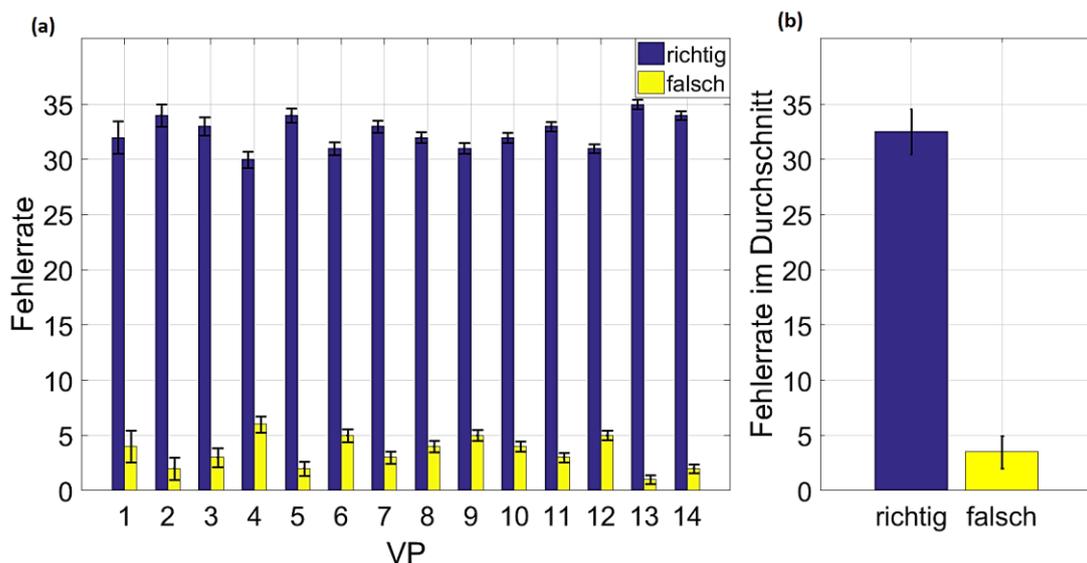


Abbildung 11: Leistung aller 14 VPen. **(a)** Fehlerrate (richtig/ falsch gegebene Anzahl an Antworten) aller 14 VPen bei einer Gesamtantwortzahl von 36 und **(b)** Durchschnittliche Fehlerrate aller VPen.

3.3 Korrelation zwischen cdT und vvS

Ziel dieser Arbeit war es, einen Zusammenhang zwischen der individuellen Kapazität (K_{max}), gemessen durch den Versuch cdT und dem jeweiligen Verhalten im Trade-Off aus Versuch vvS zu finden. Da vermutet wird, dass VPen mit einer hohen AG-Kapazität eher zur internen Memorierungsstrategie (hohe Verarbeitungszeit) neigen, werden diese Parameter nun miteinander verglichen.

Betrachtet man zunächst die durchschnittliche Kapazität jeder VP in der jeweiligen set-size, sowie die Verarbeitungszeit in der Stimuluskategorie Farbe, so lassen sich auch hier die zuvor beschriebenen zwei Cluster an VPen finden. Die vier VPen 1, 2, 5 und 7 (rot markiert) grenzen sich erneut von den restlichen zehn VPen ab. Wobei VP 2 als Grenzfall zu betrachten ist, da hier der Unterschied zu den restlichen 10 VPen nur sehr gering ausfällt. Für die weiteren Korrelationsanalysen wurde VP 2 aus diesem Grund aus den Berechnungen ausgeschlossen.

Insgesamt betrachtet, zeigt die Mehrheit aller VPen eine hohe Kapazität zwischen 50 % und 90 %, jedoch zeigt sich nur bei den bereits erwähnten drei VPen (VP 1, 5 und 7) eine deutlich höhere Verarbeitungszeit von durchschnittlich 4-7 s. Dieser Effekt ist in allen drei set-size (Abb. 12a-c) sowie auch im Mittelwert (Abb. 12d) erkennbar. Am deutlichsten zeigen dieses Verhalten VP 1 und VP 5, da sie in jeder set-size eine nahezu konstante Kapazität und Verarbeitungszeit zeigen. VP 7 hingegen zeigt einen deutlichen Kapazitätsabfall von ursprünglich 88,89 % auf 63,16 % bei zunehmender set-size. Die Verarbeitungszeit bleibt jedoch nahezu konstant bei ca. 4 s. Die VP bleiben also bei der von ihnen gewählten Strategie (hohe Verarbeitungszeit) und zeigen eine positive Korrelation (R durchschnittlich 0,94) zwischen der Kapazität und der Verarbeitungszeit (Tab. 3).

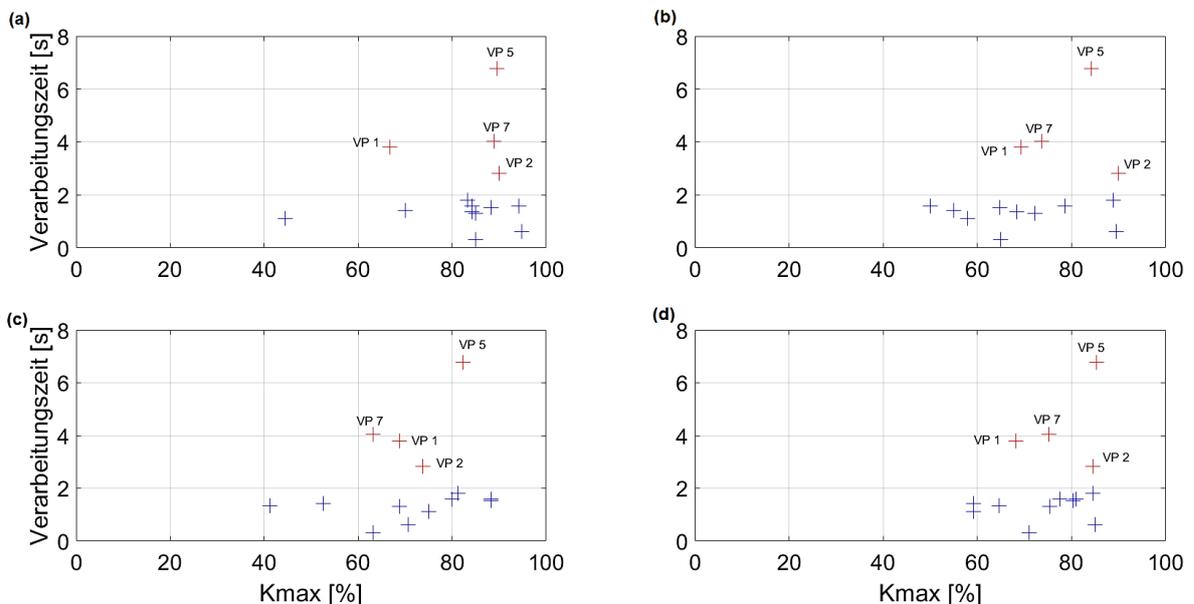


Abbildung 12: Vergleich zwischen der durchschnittlichen Kapazität jeder VP, sowie der Verarbeitungszeit in Bezug auf die Stimuluskategorie Farbe. (a) bis (c) zeigen die drei verschiedenen set-size 4, 6 und 8. (d) zeigt den Mittelwert über alle drei zuvor dargestellten set-size. Rot hervorgehoben sind die VPen 1, 2, 5 und 7.

Tabelle 3: Korrelationsanalyse mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten R (nach Pearson) zwischen der durchschnittlichen Kapazität der Stimuluskategorie Farbe und der Verarbeitungszeit der VPen 1, 5 und 7. VP 2 wurde auf Grund des geringen Unterschiedes zu den restlichen VP hier nicht mit einbezogen.

set-size	Korrelationskoeffizient R	p-Wert
4	0,58	0,61
6	0,98	0,14
8	0,94	0,23

Diese Clusterbildung zwischen den vier VPen 1, 2, 5 und 7 (Memorisierungsstrategie) und den anderen zehn VPen (Akquisitionsstrategie) ist auch bei Betrachtung der Stimuluskategorie Form erkennbar. Auch hier heben sich die VPen 1, 2, 5 und 7 mit einer höheren Verarbeitungszeit deutlich vom Rest ab. Vor allem VPen 5 und 7 zeigen in allen drei set-size, und somit auch im Mittelwert, eine nahezu konstante Verarbeitungszeit von ca. 8-9 s (Abb. 13a-c). Auch die VPen 1 und 2 zeigen in allen drei set-size eine konstante Verarbeitungszeit. Diese ist jedoch um einiges geringer (ca. 4 s).

Bei Betrachtung der Kapazitäten der vier VPen fällt auf, dass diese ebenfalls nahezu konstant sind. Jedoch fällt Kmax von VP 5 in set-size 6 deutlich von zuvor 40 % auf 7 % ab, bevor sie in set-size 8 erneut auf 33 % ansteigt (Abb. 13a-c). Dieser Kapazitätsabfall in set-size 6 ist ebenfalls bei VP 2 erkennbar (55,56 %; 35,29 %; 53,33 %). Des Weiteren fällt auf, dass in set-size 8 VP 1 eine negative Kapazität (- 28,57 %) aufzeigt.

Allgemein betrachtet, zeigen diese vier VPen in Kategorie Form eine Korrelation zwischen der Kapazität und der Verarbeitungszeit. Diese ist, bis auf set-size 8, welche auf Grund der negativen Kapazität von VP 1 eine sehr geringe Korrelation aufweist, ähnlich der der Kategorie Farbe (Tab. 4).

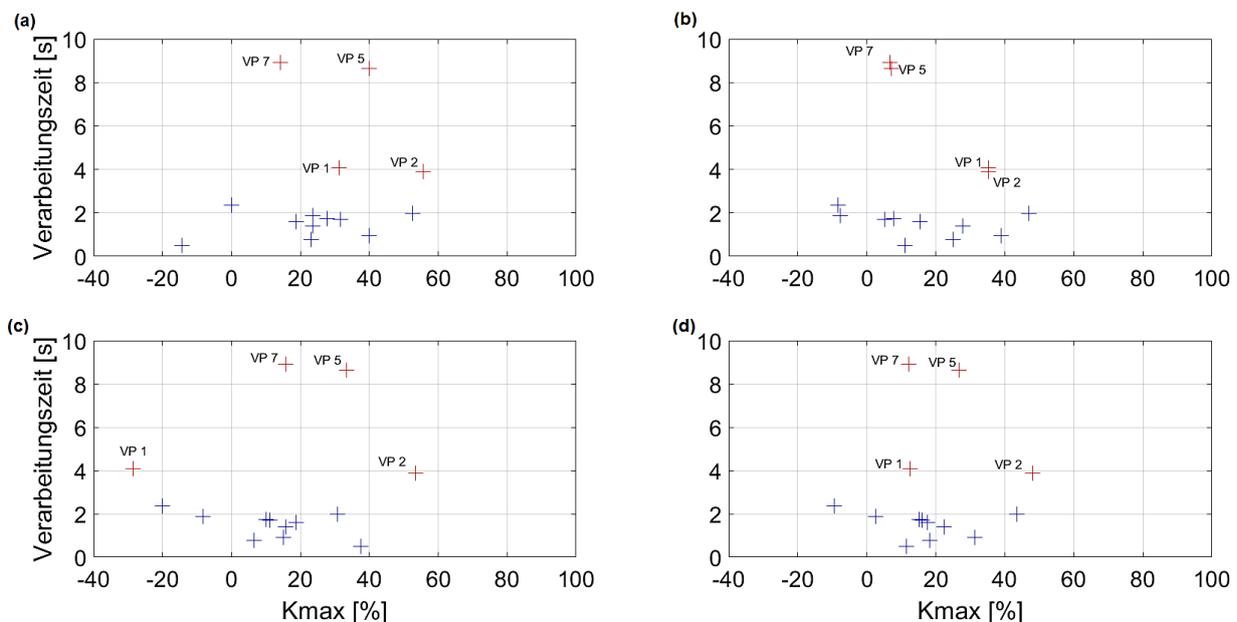


Abbildung 13: Vergleich zwischen der durchschnittlichen Kapazität jeder VP, sowie der Verarbeitungszeit in Bezug auf die Stimuluskategorie Form. (a) bis (c) zeigen die drei verschiedenen set-size 4, 6 und 8. (d) zeigt den Mittelwert über alle drei zuvor dargestellten set-size. Rot hervorgehoben sind die VPen 1, 2, 5 und 7.

Tabelle 4: Korrelationsanalyse mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten R (nach Pearson) zwischen der durchschnittlichen Kapazität der Stimuluskategorie Form und der Verarbeitungszeit der VPen 1, 2, 5 und 7.

set-size	Korrelationskoeffizient R	p-Wert
4	0,58	0,41
6	0,99	0,0008
8	0,17	0,83

4. Diskussion

Ein wichtiger Bestandteil beim Treffen von Entscheidungen sind die für die Ausführung einer bestimmten Handlung entstehenden Kosten. Diese Kosten sollten möglichst gering ausfallen. Je nach Situation und bevorstehender Handlung ist dies jedoch nicht immer realisierbar und man befindet sich sehr schnell in einem Trade-Off (vgl. Kapitel 1.4). Jede Person handelt in solch einer Situation anders und kann das gezeigte Verhalten im Nachhinein nicht bewusst begründen. Es müssen also unbewusst Vorgänge ablaufen, die durch bestimmte Faktoren beeinflusst werden, welche dann letztendlich ein individuelles Verhalten hervorrufen.

Ziel dieser Arbeit war es, einen Marker zu finden, der einen Hinweis darauf gibt, welche Faktoren das Entscheidungsverhalten beeinflussen. Als möglicher Faktor wurde die Kapazität des vAG in Betracht gezogen. Es wurde vermutet, dass Menschen mit einer hohen Kapazität eher zur internen Memorierungsstrategie tendieren, da es ihnen leichter fällt, viele Informationen auf einmal aufzunehmen und zu speichern. Das Entscheidungsverhalten wurde mit Hilfe eines Trade-Off Experimentes, der vergleichenden visuellen Suche (vvS), näher untersucht. Dadurch war es möglich, die Probanden einer der beiden Strategien (externe Akquisition bzw. interne Memorisierung) durch die Veränderung ihrer Parameter (Anzahl der Blickwechsel bzw. Verarbeitungszeit) zuzuordnen. Um zunächst die Kapazität jedes Probanden zu bestimmen, diente ein change-detection Task (cdT), welcher auf dem klassischen Experiment von Luck & Vogel basierte (Luck & Vogel, 1997).

Individuelle Kapazitäten

Die im cdT erzielten Ergebnisse zeigen, dass es, wie erwartet, große Schwankungen der individuellen Kapazitäten in Bezug auf die Stimuluskategorien (Farbe und Form) und die jeweilige set-size (4, 6 und 8) gibt. Jede VP besitzt eine für sie individuelle Kapazität, welche jedoch nie die von Luck & Vogel (1997) beschriebene Kapazität von 4 erreicht. Lediglich VP 2 zeigte mit einer maximalen durchschnittlichen Kapazität von 66,31 % (3,92 gleichzeitig gemerkte Objekte) dieses Verhalten. Des Weiteren konnte beobachtet werden, dass es, anders als in Luck & Vogel (1997) behauptet, nicht immer möglich war, in den set-size 6 und 8 über 50 % der gezeigten Stimuli zu speichern und richtig wiederzugeben. Dies resultierte jedoch daraus, dass in der hier vorgestellten Arbeit zusätzlich zu den einfachen farbigen Stimuli, welche in Luck & Vogel (1997) verwendet wurden, auch komplexere Stimuli (schwarz-weiß Umrisse von Tieren) verwendet wurden und diese deutlich schwieriger zu merken waren. Allgemein betrachtet waren die Kapazitäten bzgl. der Kategorie Farbe, auf Grund der geringen Komplexität der Stimuli, um einiges höher als die Kapazitäten bzgl. der Kategorie Form und erreichten auch in den set-size 6 und 8 über 50 %. Diese durchgängig positive Kapazität (durchschnittlich zwischen 59 % und 84 %) zeigt, dass die Versuchspersonen (VPen) in der Lage waren, Stimuli der Kategorie Farbe in allen drei set-size zu erkennen (vgl. Abb. 6). Hier ist außerdem deutlich zu erkennen, dass die Kapazitäten, wie erwartet, mit steigender set-size immer weiter sinken. Dies ergibt sich aus der limitierten Kapazität des vAG, welche sich durch eine begrenzte Anzahl an vorhandenen *slots* auszeichnet (Luck & Vogel, 2013).

In Kategorie Form hingegen sind starke Schwankungen zwischen den VPen, sowie auch zwischen der set-size erkennbar. Außerdem fielen die Kapazitäten hier, auf Grund der hohen Komplexität der Stimuli, um einiges geringer aus (zwischen -9,44 % und 43,49 %). Dieser Effekt lässt sich mit Hilfe der *resourced-based* Theorie erklären (Luck & Vogel, 2013). Auf Grund der hohen Komplexität der Stimuli der Kategorie Form wird der Pool an vorhandenen Ressourcen schneller verbraucht und es können nur oberflächliche Informationen über die gezeigten Stimuli gespeichert werden. Dies äußert sich dann darin, dass es den VPen schwerfiel, alle 6 oder 8 Stimuli zu unterscheiden und miteinander zu vergleichen. Auffallend ist ebenfalls, dass einige VPen (1, 6, 8 und 14), auf Grund einer höheren false-alarm rate als hit-rate, bei bestimmter set-size negative Kapazitäten aufwiesen. Diese entstehen, wenn Veränderungen zwischen Stimulus- und Test-Array erkannt wurden, obwohl es keine gab. Da dieser Effekt ausschließlich in der Kategorie Form zu finden war, ist dies erneut ein Hinweis darauf, dass einige VPen Schwierigkeiten mit dieser Kategorie hatten. Sind die negativen Kapazitäten ausschließlich bei kleiner set-size zu erkennen, bedeutet dies, dass einige VPen zunächst mit der Anzahl und der Anzeigedauer der Stimuli der Kategorie Form überfordert waren. Zeigten die VPen hingegen in der Stimuluskategorie durchgängig bzw. in aufeinanderfolgenden set-size negative Kapazitäten (vgl. Tab. 1, VP 14), kann dies ein Hinweis darauf sein, dass es bereits bei kleiner set-size und ebenfalls in den höheren set-size nicht möglich war, Stimuli zu erkennen und im vAG zu speichern. Dieses Problem äußerte sich auch oftmals dadurch, dass die VPen raten mussten, ob ein Unterschied zwischen Stimulus- und Test-Array vorhanden war oder nicht. Diese Ergebnisse sind aus Tabelle 1 (set-size 6 und 8) zu entnehmen und äußern sich durch einen Anstieg der Kapazität von set-size 6 auf set-size 8. Auf Grund dieser bereits erläuterten Probleme und Schwierigkeiten mit der Stimuluskategorie Form stellt sich die Frage, ob sich das Versuchsdesign unter Verwendung von zwei verschiedenen Stimuluskategorien dafür eignet, die individuelle Kapazität der VPen zu bestimmen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass jede VP eine individuelle Kapazität aufweist und wie vermutet, ein deutlicher Abfall der Kapazität bei steigender set-size zu beobachten ist. Dieser Abfall ist in der Kategorie Form deutlicher zu erkennen als in der Kategorie Farbe, da es den VPen schwerer fiel, Stimuli der Kategorie Form zu erkennen. Dieser Einfluss der Stimuluskategorie, sowie der set-size auf die Kapazität wurde auch durch die Ergebnisse der ANOVA bestätigt.

Konsistente Strategiewahl

Allgemein betrachtet, konnten die VPen bezüglich ihres gezeigten Verhaltens im Trade-Off in zwei Cluster eingeteilt werden (vgl. Abb. 9). Die Mehrheit wählte dabei die Akquisitionsstrategie (hohe Anzahl an Blickwechselln) und lediglich vier VPen (VP 1, 2, 5 und 7) konnten auf Grund ihrer deutlich höheren Verarbeitungszeit der Memorierungsstrategie zugeteilt werden. Bei genauerer Betrachtung kann man noch ein drittes Cluster (VP 1 und 2) erkennen, welches zwischen den beiden Strategien liegt. Auf Grund der vergleichsweise geringen Anzahl an Blickwechselln und einer Verarbeitungszeit von über 3 s wurden diese zwei VPen jedoch ebenfalls der Memorierungsstrategie zugeteilt.

Betrachtet man das individuelle Verhalten im Trade-Off, so fällt auf, dass die von jeder VP gewählte Strategie nicht nur im durchschnittlichen Verhalten sichtbar wurde (Abb. 9), sondern auch bei Unterteilung in die beiden Stimuluskategorien (Farbe und Form) und in die drei Delaystufen (vgl. Abb. 8). Alle VPen zeigten die von ihnen gewählte Strategie von Beginn an, es war kein Lern- oder Adaptionsverhalten erkennbar. Das bedeutet, dass von Beginn an ein oder mehrere Faktoren für das gezeigte Verhalten ausschlaggebend sein müssen. Dieses Verhalten, dargestellt in der Gesamtkurve in Abbildung 10, findet man auch bei vorherigen Arbeiten (Hardiess & Mallot, 2015). Auch hier ist immer eine typische gleichmäßige Verteilung der VP entlang der Kurve erkennbar. Und auch hier ist die Kurve „Farbe“ im Gegensatz zur Kurve „Form“ nach links unten verschoben, d.h. in Kategorie Farbe waren weniger Blickwechsel und eine kürzere Verarbeitungszeit nötig. Da die VPen im Nachhinein nicht sagen konnten, warum oder dass sie eine bestimmte Strategie gewählt haben, muss dieser Entscheidungsprozess unbewusst ablaufen und durch bestimmte Faktoren festgelegt sein. Die für die Handlung benötigten Ressourcen und Fähigkeiten konnten schon vor Beginn der Handlung individuell korrekt eingeschätzt werden, sodass die Fehlerrate sehr gering ausfiel (9,72 %) und sich zwischen den Strategien nur geringfügig unterschied (vgl. Abb. 11). Sowohl VPen der Akquisitionsstrategie, als auch der Memorisierungsstrategie hatten im Durchschnitt annähernd gleich viele falsche wie richtige Antworten.

Im vvS Experiment waren, ebenso wie im cdT, deutliche Unterschiede zwischen den Stimuluskategorien Farbe und Form erkennbar. So war in Kategorie Form, unabhängig von der jeweiligen Delaystufe (0; 0,5; 1 s), entweder eine höhere Verarbeitungszeit oder mehr Blickwechsel notwendig als in Kategorie Farbe. Dies resultiert aus der Komplexität der Stimuli und der damit verbundenen Kosten. Die farbigen Kreise (Kategorie Farbe) waren um einiges einfacher zu merken und mit einem geringeren Kostenaufwand verbunden als die schwarz-weiß Umrisse der Tiere (Kategorie Form), welche auf Grund ihrer Komplexität sehr kostenintensiv waren. Neben der Stimuluskategorie beeinflussten auch die Delaystufen das Verhalten innerhalb einer Strategie. So war, wie bereits vermutet, bei einer geringen Delaystufe (0 s) die Verarbeitungszeit geringer und die Anzahl an Blickwechseln höher als bei einer hohen Delaystufe (1 s). Eine steigende Delaystufe bedeutet, dass die Stimuli weiter voneinander entfernt waren bzw. dass sie über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden mussten. Auf Grund des damit verbundenen Kostenanstiegs für die Blickwechsel nahm die Anzahl an Blickwechseln ab und die Verarbeitungszeit zu. War die Delaystufe klein, war ein genau umgekehrter Effekt zu beobachten. Die Anzahl an Blickwechseln nahm auf Grund der geringen Kosten zu und die Verarbeitungszeit nahm ab. Beide Faktoren (Stimuluskategorie und Delaystufe) hatten also entweder einen Effekt auf die externe Akquisitionsstrategie oder auf die interne Memorisierungsstrategie.

Zusammenhang zwischen der vAG-Kapazität und dem Entscheidungsverhalten

Um überprüfen zu können, ob die Kapazität des vAG eine Rolle im Entscheidungsverhalten beim vvS Experiment spielt, wurde die Verarbeitungszeit sowie die individuellen Kapazitäten miteinander verglichen und auf mögliche Korrelationen getestet. Dabei wird deutlich, dass lediglich vier VPen (VP 1, 2, 5 und 7) eine Korrelation zwischen Kapazität und Verarbeitungszeit zeigten und dass es sich dabei um dieselben VPen handelt, die, wie bereits beschrieben, die Memorierungsstrategie wählten.

Dies war sowohl für die Stimuluskategorie Farbe (Abb. 12) als auch Form (Abb. 13) der Fall und galt für nahezu alle drei set-size. Die einzige dieser vier VPen, bei der nicht durchgängig in allen Stimuluskategorien eine Korrelation zwischen Kapazität und Verarbeitungszeit sichtbar wurde, war VP 1. Auf Grund der negativen Kapazität in Kategorie Form set-size 8 war es ihr nicht mehr möglich, komplexe Stimuli zu erkennen. Es lässt sich jedoch annehmen, dass dieses Verhalten auf die hohe Anzahl an gezeigten Stimuli zurückzuführen ist und dass auch VP 1 bei kleinerer set-size eine positive Korrelation in beiden Kategorien sowie in allen set-size gezeigt hätte. Aus diesem Grund kann man sagen, dass die vier VPen 1, 2, 5 und 7 mit einer Korrelation zwischen Kapazität und Verarbeitungszeit in beiden Stimuluskategorien somit die Hypothese, dass eine hohe Kapazität zur Wahl der Memorierungsstrategie führt, bestätigten.

Da die Mehrheit der VPen jedoch ein anderes Verhalten zeigte und auch hier einige VPen mit einer hohen Kapazität zur Akquisitionsstrategie neigten, kann die Kapazität nicht der einzige bestimmende Faktor sein. Es müssen noch andere Faktoren eine Rolle beim Entscheidungsverhalten spielen. Des Weiteren kann nicht ausgeschlossen werden, dass die VPen zusätzliche Blickwechsel gemacht haben, um ihr Ergebnis (Anzahl an gefundenen Fehlern) noch einmal zu kontrollieren. Dies würde trotz hoher Kapazität eine Einteilung in die Akquisitionsstrategie bedeuten und das Ergebnis verfälschen. Ein weiteres Problem bei der Einteilung der VPen in eine der beiden Strategien, stellt die Motivation jeder VP dar. Da in dieser Arbeit die Reihenfolge der Versuche immer dieselbe war (cdT und dann vvS), kann es passieren, dass auf Grund von Misserfolgen im cdT die Motivation der VPen für den vvS Versuch sinkt. Dies würde dazu führen, dass die VPen im vvS eher zur Akquisitionsstrategie tendieren, da sie sich dann weniger merken müssen und dies weniger anstrengend ist. Um diesen Effekt untersuchen und verhindern zu können, wäre eine Randomisierung der Versuchsreihenfolge nützlich.

Des Weiteren stellt sich die Frage, ob das Versuchsdesign des vvS Experimentes optimal dafür geeignet ist, das Verhalten im Trade-Off zu bestimmen. So kann es sein, dass Probanden eine hohe Verarbeitungszeit aufweisen, weil sie Schwierigkeiten mit der Komplexität und so auch mit dem Vergleich der Stimuli hatten und nicht, weil sie eine hohe Kapazität besaßen. Dies konnte bei VP 1 der Fall sein, da sie in Stimuluskategorie Form bei einer set-size von 8 in den negativen Bereich abfällt und sich in der durchschnittlichen Kapazität (40,43 %) nicht großartig von den restlichen VPen der Akquisitionsstrategie abhebt. Um die gewählten Strategien der VPen noch eindeutiger ausfindig machen zu können, kann mit Hilfe von *Eye-Tracking* untersucht werden, wie oft die gezeigten Stimuli fixiert werden. Somit kann dann gesagt werden, ob VPen zur Kontrolle der Antworten zusätzliche Blickwechsel gemacht haben und auf Grund dessen der falschen Strategie zugeteilt wurden. Des Weiteren kann die Angabe in der Versuchsanleitung, dass die VPen die Aufgabe so schnell wie möglich lösen sollen, die VPen beeinflussen, die Akquisitionsstrategie zu wählen, da der Anschein entsteht, dass durch häufiges Klicken (viele Blickwechsel) die Aufgabe schneller gelöst wird.

Da jedoch eine Korrelation zwischen Kapazität und Memorisierung untersucht werden sollte, würde dies eher das Gegenteil bewirken.

Schlussfolgerung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die vAG-Kapazität zwar eine Rolle im Entscheidungsprozess spielen muss, sie jedoch nicht der einzige bestimmende Faktor ist. Welche weiteren Faktoren ebenfalls eine Rolle spielen, konnte mit dem hier verwendeten Versuchsdesign nicht bestimmt werden und muss durch weitere Arbeiten näher untersucht werden. Des Weiteren sollten für die zukünftige Arbeit nochmals die hier verwendeten Versuchsdesigns überdacht und eventuell abgeändert werden, da sich bereits die Bestimmung der Kapazitäten, sowie der Einteilung der VPen in eine der beiden Strategien als komplizierter als erwartet herausstellte.

So war es im cdT auf Grund der hohen set-size von 6 und 8 und der daraus resultierenden negativen Kapazitäten einiger VPen oftmals schwer, eine genaue Kapazität der jeweiligen VPen zu bestimmen. Für weitergehende Versuche, die sich an dem klassischen Experiment von Luck & Vogel orientieren, sollte aus diesem Grund mit einer kleineren set-size von beispielsweise 3, 4 und 5 gearbeitet werden, da eine gezeigte Anzahl von ca. vier Stimuli noch gut erkennbar ist (Luck & Vogel, 1997). Dies würde auch das Problem des Ratens und der dadurch verfälschten Antworten verhindern. Um den VPen den Versuchsdurchlauf zusätzlich zu erleichtern, kann auch hier, wie im vvS, ein Testdurchlauf vor Beginn des eigentlichen Versuchs durchgeführt werden. Somit können sich die VPen mit der Darstellung der Stimuli, den verschiedenen set-size und der Anzeigedauer des Stimulus- sowie Test-Arrays vertraut machen.

Es könnte ebenfalls, wie in Hardiess & Mallot (2015) beschrieben, mit Hilfe der benötigten Verarbeitungszeiten im vvS eine individuelle Anzeigedauer für die Stimuli im cdT berechnet werden.

Da seit dem Jahr 2008 neue Ansätze und Hypothesen zur visuellen Reizverarbeitung und kurzzeitigen Aufrechterhaltung von Informationen bekannt sind, sollte womöglich ein ganz neues Versuchsdesign zur Kapazitätsbestimmung erarbeitet werden. In der Arbeit von Sligte et al. (2008) heißt es, dass möglicherweise nicht alle visuell wahrgenommenen Informationen sofort ins vAG geleitet und dort gespeichert werden, sondern zunächst in verschiedenen Ebenen zwischengespeichert und je nach Wichtigkeit und vorhandenen Ressourcen weitergeleitet werden. Dies würde bedeuten, dass zunächst weitaus mehr Informationen als die von Luck & Vogel (1997) beschriebenen 4 Objekte gespeichert werden, aber nur ein Bruchteil von ihnen im vAG weiterverarbeitet bzw. manipuliert und wiedergegeben werden kann. Die erste dieser drei Speicherebenen stellt das ikonische Gedächtnis dar, welches für die visuelle Wahrnehmung zuständig ist. Es hat eine unbegrenzte Kapazität, die Informationen werden jedoch auch nur durch den Nachbild-Effekt (durch anhaltende Reize auf der Retina) aufrechterhalten, d.h. sie gehen sehr schnell wieder verloren. Diese Ebene konnte mit dem hier durchgeführten Versuch cdT nicht angesprochen werden, da auf Grund der hohen Delay-Phase von 1000 ms ein Nachbild-Effekt verhindert wurde. Die zweite von Sligte beschriebene Ebene wird als fragiles visuelles Kurzzeitgedächtnis (KZG) bezeichnet. Es besitzt eine doppelt so große Kapazität wie das vAG und hat eine Aufrechterhaltungsdauer von ca. 4 s. Die Aufrechterhaltung der Informationen erfolgt, wie auch beim vAG, durch Interaktion und anhaltende Aktivität des visuellen und temporalen Cortex (vgl. Kapitel 1.1). Auch hier gilt, je größer die Komplexität eines Objektes, desto geringer wird die Kapazität.

Der große Unterschied zum vAG ist jedoch, dass im fragilen KZG beim Auftreten von neuen Informationen in Form von visuellen Reizen die alten überschrieben werden und somit verloren gehen.

In dieser Ebene ist der in dieser Arbeit durchgeführte cdT einzugliedern, da hier lediglich Informationen aufrechterhalten und verglichen werden mussten. Es fand keine Manipulation der Informationen statt, welches die eigentliche Aufgabe des vAG (dritte Speicherebene) darstellen würde. Dagegen spricht jedoch, dass es unter Verwendung des fragilen KZG, auf Grund der doppelt so hohen Kapazitätsgrenze möglich gewesen wäre, auch Stimuli der set-size 6 und 8 ohne Probleme speichern und wiedergeben zu können. Dies war jedoch im cdT nicht der Fall. Eine Erklärung hierfür ist, dass die VPen unterschiedlich an das Lösen der Aufgabenstellung herangegangen sind. Manche versuchten die Stimuli zu erkennen, welches andere Bereiche im Gehirn aktiviert als bei denjenigen VPen, die sich lediglich ein Bild der Stimuli vor Augen gehalten haben und somit Stimulus- und Test-Array wie zwei Bilder übereinanderlegten und abglichen. Dies würde auf VPen, die auch in den set-size 6 und 8 eine hohe Kapazität zeigten, zutreffen. Sie haben das fragile KZG, welches eine deutlich höhere Kapazitätsgrenze hat, mehr beansprucht und es fiel ihnen dadurch leichter, eine große Anzahl von Stimuli zu speichern. Für zukünftige Arbeiten müsste also ein Versuchsdesign erarbeitet werden, mit dem es möglich ist, das fragile KZG und das vAG zu trennen bzw. deutlicher voneinander abzugrenzen. So könnte beispielsweise zwischen Stimulus- und Test-Array ein visueller Reiz in Form eines aufleuchtenden Quadrates eingeblendet werden. Dies führt dazu, dass die im fragilen KZG gespeicherten Informationen überschrieben werden. Nur dann ist es möglich, eine eindeutige Kapazität des vAG zu bestimmen und diese dann mit dem Verhalten im Trade-Off zu vergleichen.

Literaturverzeichnis

(Baddeley, 1992) Baddeley, A. (1992). *Working memory*. *Science*, 255(5044):556.

(Baddeley, 2000) Baddeley, A. (2000). *The episodic buffer: a new component of working memory?* *Trends in cognitive sciences*, 4(11):417–423.

(D'Esposito & Postle, 2015) D'Esposito, M. & Postle, B. R. (2015). *The cognitive neuroscience of working memory*. *Annual review of psychology*, 66:115.

(Droll & Hayhoe, 2007) Droll, J. A. & Hayhoe, M. M. (2007). *Trade-offs between gaze and working memory use*. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(6):1352.

(Eriksson et al., 2015) Eriksson, J., Vogel, E. K., Lansner, A., Bergström, F., & Nyberg, L. (2015). *Neurocognitive architecture of working memory*. *Neuron*, 88(1):33–46.

(Hardiess & Mallot, 2015) Hardiess, G. & Mallot, H. A. (2015). *Allocation of cognitive resources in comparative visual search—individual and task dependent effects*. *Vision research*, 113:71–77.

(Hellwig-Brida et al., 2015) Hellwig-Brida, S., Daseking, M., Petermann, F., & Goldbeck, L. (2015). *Intelligenz- und Aufmerksamkeitsleistungen von Jungen mit ADHS*. *Zeitschrift für Psychiatrie, Psychologie und Psychotherapie*.

(Kursawe & Zimmer, 2015) Kursawe, M. A., & Zimmer, H. D. (2015). *Costs of storing colour and complex shape in visual working memory: Insights from pupil size and slow waves*. *Acta psychologica*, 158, 67-77.

(Luck & Vogel, 1997) Luck, S. J. & Vogel, E. K. (1997). *The capacity of visual working memory for features and conjunctions*. *Nature*, 390(6657):279–281.

(Luck & Vogel, 2013) Luck, S. J. & Vogel, E. K. (2013). *Visual working memory capacity: from psychophysics and neurobiology to individual differences*. *Trends in cognitive sciences*, 17(8):391–400.

(Rouder et al., 2011) Rouder, J. N., Morey, R. D., Morey, C. C., & Cowan, N. (2011). *How to measure working memory capacity in the change detection paradigm*. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(2):324–330.

(Sligte et al., 2008) Sligte, I. G., Scholte, H. S., & Lamme, V. A. (2008). *Are there multiple visual short-term memory stores?* *PLOS one*, 3(2), e1699.

(Vogel & Machizawa, 2004) Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). *Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity*. *Nature*, 428(6984), 748-751.

Anhang

Change-detection Task

1. Aufgabe

- Ihre Aufgabe ist es, anhand von 2 aufeinanderfolgenden Bildern (mit verschiedenen Symbolen) zu sagen, ob sich diese unterscheiden oder nicht.
- Es gibt zwei Arten von Symbolen:
 - (1) Farbige Kreise
 - (2) Schwarze Umrisse von Tieren
- Die Bilder unterscheiden sich entweder **gar nicht ODER in einem Symbol**. Dabei bleibt die Anordnung der Symbole aber immer gleich!
- Des Weiteren variiert die Anzahl der gezeigten Symbole pro Vergleich (4, 6 oder 8).

2. Ablauf

- Sie absolvieren insgesamt 240 Durchläufe – also 240 Bildvergleiche.
- Zu Beginn jeden Durchlaufs erscheint ein Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms, welches fixiert werden soll bis das jeweilige Bild erscheint.
- Dieses Bild erscheint dann für 0,5s gefolgt von einem grauen Hintergrund (1s). Danach erscheint das Vergleichsbild für 2s.
- Sie werden anschließend aufgefordert, per Mausklick anzugeben, ob beide Bilder identisch waren oder nicht
 - **Linke Maustaste → Bilder sind identisch (kein Unterschied)**
 - **Rechte Maustaste → Bilder sind verschieden (mit Unterschied)**
- Nach dem Klicken der entsprechenden Maustaste erfolgt sofort der nächste Durchlauf.

Viel Spaß ☺

Vergleichende visuelle Suche

1. Aufgabe

- Ihre Aufgabe ist es, in jedem Durchlauf zwei (fast) identische Spalten, die jeweils 24 Symbole enthalten, auf Unterschiede zu prüfen.
- Eine der beiden Spalten ist dabei immer durch eine graue Maske verdeckt, welche Sie während der Suchaufgabe durch Klicken mit der Maus verschieben können.
- In jedem Durchlauf müssen entweder **ein ODER zwei** Fehler (nicht identische Symbole) gefunden werden.
- Es gibt zwei Arten von Symbolen:
 - (1) Farbige Kreise
 - (2) Schwarze Umrisse von Tieren
- Des Weiteren gibt es drei Verzögerungsstufen bzgl. der Zeit die vergeht bis sich (nach Mausklick) die Maske verschiebt (0, 0,5 oder 1s).

2. Ablauf

- Sie absolvieren insgesamt 36 Durchläufe – also 36 Suchaufgaben.
- Nach 18 Durchläufen gibt es eine kleine Pause.
- Zu Beginn jedes Durchlaufs erscheint ein Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms, welches fixiert werden soll bis die Suchaufgabe beginnt.
- Um die Sicht auf die verdeckte Spalte freizugeben drücken Sie bitte
 - ... **die rechte Maustaste um die rechte Hälfte freizugeben**
 - ... **die linke Maustaste um die linke Hälfte freizugeben**

- | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none">• Während jeden Durchlaufs sprechen Sie bitte 3 verschiedene Silben (<i>la-le-lu</i>) leise vor sich her. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- Drücken Sie die Leertaste, **sobald Sie alle Fehler gefunden** haben (der Durchlauf wird daraufhin beendet) und nennen Sie die **Anzahl der Fehler** (1 oder 2) dem Versuchsleiter.
- Danach folgt der nächste Durchlauf (beginnend mit dem Fixationskreuz).

3. Übungsdurchlauf

- Bevor das eigentliche Experiment beginnt, absolvieren Sie 4 Übungsdurchläufe.
- Bei Fragen wenden Sie sich bitte an die Versuchsleiter.

Bitte führen Sie die Suchaufgaben so zügig und so genau wie möglich aus!!

Viel Spaß ☺

Probandeninformation zum Experiment

Experimente: Change-detection Task & Vergleichende visuelle Suche

Name des Versuchsleiters: Daniela Piechnik

Name des Projektleiters: Dr. Gregor Hardiess

Sie werden heute an zwei Bildschirm-Experimenten zur Untersuchung des Arbeitsgedächtnisses teilnehmen. Das erste Experiment beinhaltet einen Gedächtnistest in Form visueller Objekte, die Sie sich kurz merken müssen. Das zweite Experiment befasst sich mit der Suche und dem Auffinden von Unterschieden in einer Anzahl von gezeigten Bildern.

Ihre persönlichen, während dieser Studie erhobenen, Daten werden im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen - in anonymisierter Form - veröffentlicht und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft digital und anonym für 10 Jahre gespeichert.

Die Teilnahme an den Experimenten erfolgt freiwillig und kann zu jedem Zeitpunkt ohne Angabe von Gründen beendet werden, ohne dass Ihnen daraus Nachteile entstehen.

Tübingen, den _____

Unterschrift

Ich möchte eine Kopie der Einverständniserklärung

Einverständniserklärung zur Teilnahme

Ich (Name der Versuchsperson in Blockschrift) _____

bin schriftlich über die Studie und deren Versuchsablauf aufgeklärt worden und erkläre, dass ich volljährig bin, und bereit, an den o.g. Experimenten teilzunehmen.

Ich habe den Text der Probandeninformation und dieser Einverständniserklärung gelesen und verstanden. Aufgetretene Fragen wurden mir verständlich und vollständig beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, Fragen zu stellen und mich für oder gegen eine Teilnahme zu entscheiden.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine persönlichen, während dieser Studie erhobenen Daten im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen - in anonymisierter Form - veröffentlicht und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft digital und anonym für 10 Jahre gespeichert werden.

Tübingen, den _____

Unterschrift