

**Die Rolle der Augenbewegungen bei der
Aufrechterhaltung zeitlich-räumlicher
Repräsentationen im CORSI-Block-Tapping
Experiment**

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

vorgelegt von

Thaler, Anne

Tübingen, September 2011

Erklärung

Hiermit erkläre ich,

dass ich diese Arbeit selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Tübingen, den 15.09.2011

Zusammenfassung

Um Aufgaben im täglichen Leben kognitiv lösen zu können, müssen wir Informationen vorübergehend speichern (*encoding*) und aufrechterhalten (*retention*). Diese Fähigkeit liegt dem Arbeitsgedächtnis (AG) zugrunde, welches der aktiven Verarbeitung von eingehenden Informationen dient und notwendig ist, um einen korrekten, zielführenden Vergleich früherer und späterer Wahrnehmungsinhalte zu gewährleisten. Das AG wird somit als grundlegende Bedingung fast aller höheren kognitiven Leistungen des Menschen angesehen. Während der kurzfristige Erhaltungs- und Auffrischungsprozess (*rehearsal*) von Information im auditorischen AG dem *artikulatorischen Kontrollprozess*, d. h. aktiven inneren Sprechen, zugeschrieben wird, ist noch nicht geklärt, welche Prozesse dies im visuell-räumlichen AG bewerkstelligen. Ergebnisse von Studien zeigten, dass erzwungene Augenbewegungen während des Aufrechterhaltungsintervalls zu einer signifikanten Abnahme der AG-Spanne führten. Darauf basierend wurde die Hypothese aufgestellt, dass Augenbewegungsprozesse am *rehearsal* beteiligt sind. Andere Studien widersprechen dieser Hypothese und unterstützen einen rein auf Aufmerksamkeit basierenden *rehearsal*-Prozess, welcher durch covert Aufmerksamkeitverschiebungen der Aufrechterhaltung von visuell-räumlichen Informationen dienen soll. Einigkeit besteht darüber, dass Aufmerksamkeit am *rehearsal*-Prozess beteiligt ist und Zweitaufgaben (*dual-tasks*) in der *retention*-Phase, welche Aufmerksamkeit benötigen, zu einer Abnahme der AG-Spanne führen.

Die vorliegende Bachelorarbeit untersucht, in welchem Maß Aufmerksamkeit und Augenbewegungen am *rehearsal* von zeitlich-räumlichen Repräsentationen beteiligt sind. Hierfür wurden basierend auf dem CORSI-Block-Tapping Experiment vier Versuchsteile konzipiert und mittels Eyetracker die Augenbewegungen aufgezeichnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass *rehearsal* durch covert Aufmerksamkeitverschiebungen stattfinden kann. Des Weiteren ist die AG-Spanne des Versuchsteils, in welchem den Probanden freigestellt war *rehearsal* durch Augenbewegungen in der Retentionsphase auszuführen, signifikant höher als bei der kontinuierlichen Fixation eines Kreuzes. Dies deutet darauf hin, dass Augenbewegungen zum *rehearsal* beitragen. Trotz des scheinbar förderlichen Beitrags der Augenbewegungen zeigt die Analyse der Augenbewegungsdaten jedoch, dass einige Probanden sehr viel, andere wiederum sehr wenig Okulomotorik einsetzten. Teilt man alle Probanden anhand der Menge der Augenbewegungen, welche sie in der Aufrechterhaltungsphase nutzten um die Positionen der Sequenz nochmals anzuschauen, in zwei Gruppen ein, unterscheiden sich die AG-Spannen in keinem Versuchsteil signifikant.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Arbeitsgedächtnis.....	2
1.1.1	Baddeleys Mehrkomponentenmodell.....	2
1.1.2	Cowans Embedded-Processes-Modell.....	4
1.1.3	<i>rehearsal</i> im visuell-räumlichen AG.....	5
1.2	Wissenschaftliche Fragestellung.....	8
2	Material und Methoden.....	10
2.1	Versuchsaufbau.....	10
2.2	Hardware / Software.....	10
2.3	Versuchsablauf.....	12
2.4	Versuchsteile.....	14
2.5	Versuchspersonen.....	14
3	Ergebnisse.....	15
3.1	AG-Spannen der vier Teilversuche.....	15
3.2	Analyse der Augenbewegungsdaten.....	16
3.2.1	Allgemein.....	16
3.2.2	Versuchsteil 2.....	17
4	Diskussion.....	24
4.1	AG-Spannen der vier Teilversuche.....	24
4.2	Augenbewegungsdaten.....	25
4.3	Ausblick.....	27
A	Einverständniserklärung.....	29
B	Matlab-Skripte / Versuchsdaten.....	30
	Literaturverzeichnis.....	31

1 Einleitung

Das Gedächtnis hat eine grundlegende Bedeutung für das tägliche Erleben und Verhalten und ist der Speicher von allem, was wir im Laufe des Lebens erlernen. Ohne das Gedächtnis besäßen wir keine Erinnerungen, Erfahrungen, erlernte Fähigkeiten und das Lösen von Problemen wäre schlichtweg unmöglich. Es kann demnach als der zentrale Aspekt unseres Daseins betrachtet werden, denn nach Myers (2008) „...sind [wir] zum größten Teil das, woran wir uns erinnern“. Gruber (2011) definiert als „Gedächtnis“ die Fähigkeit des Gehirns Informationen einzuspeichern (*encoding*), aufzubewahren (*retention*; Konsolidierung) und zu einem Zeitpunkt abzurufen (*retrieval*), an dem die ursprüngliche Quelle der Information nicht mehr verfügbar ist. Als Informationen gelten alle Arten von Sinneswahrnehmungen, Erfahrungen, Wissen und individuellem Können. Die Enkodierung stellt die erste Phase im Gedächtnisprozess dar und bezeichnet die Abspeicherung von Information. Wenn Information abgespeichert ist, muss der zugehörige Gedächtniseintrag in der Retentionsphase aufrechterhalten werden. Hierbei kann es zu einer neuronalen Festigung der Gedächtnisspur kommen. Schließlich müssen Einträge im Gedächtnis in der Retrievalphase wieder verfügbar gemacht werden.

Das Gedächtnis kann in verschiedene Subsysteme unterteilt werden, abhängig von ihrer Aufrechterhaltungsdauer. William James (1890) schlug eine Aufteilung des Gedächtnisses in *primary memory* und *secondary memory* vor. Laut dieser Unterteilung kann im *primary memory* nur eine begrenzte Menge an Informationen aufrechterhalten werden, während im *secondary memory* (Langzeitgedächtnis) eine langfristige Speicherung erfolgt. Beruhend auf den theoretischen Ansätzen einer Reihe von Autoren erstellten Richard Atkinson und Richard Shiffrin (1968) ein Modell, in dem das damalige Wissen zur Einteilung des Gedächtnisses zusammengefasst wurde. Dieses unterteilt das Gedächtnis in weitere Untersysteme: das Ultrakurzzeitgedächtnis (Sensorische Gedächtnis), das Kurzzeitgedächtnis und das Langzeitgedächtnis (Abbildung 1).

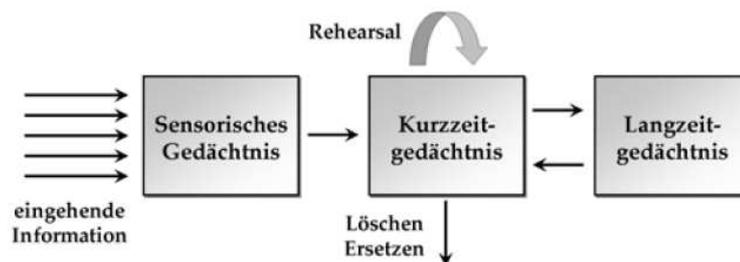


Abbildung 1: Mehrspeichermodell nach Atkinson und Shiffrin (1968); Eingehende Informationen gelangen über das Sensorische Gedächtnis ins Kurzzeitgedächtnis und können mittels des *rehearsal*-Prozesses kurzzeitig aufrechterhalten werden. Anschließend gehen die Informationen verloren oder in das Langzeitgedächtnis über (Quelle: Gruber, 2011).

Laut diesem Mehrspeichermodell gelangen Informationen zunächst in das Ultrakurzzeitgedächtnis, ein kurzlebiger sensorischer Speicher, welcher eintreffende modalitätsspezifische Informationen nur für Sekunden oder Sekundenbruchteile aufbewahren kann. Durch Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsprozesse wird bestimmt, welche Information davon ins Kurzzeitgedächtnis gelangt. Das Kurzzeitgedächtnis, ähnlich der Definition des *primary memory* von James (1890), ist laut Atkinson und Shiffrin ein einheitliches System und kann Informationen innerhalb einer Zeitspanne von Sekunden bis wenigen Minuten aufrechterhalten. Diese temporäre Aufrechterhaltung wird

durch den Prozess des erhaltenden Wiederholens (*rehearsal*) gewährleistet. Anschließend gehen die Informationen verloren oder werden ins Langzeitgedächtnis überführt, um dort dauerhaft gespeichert zu werden. Atkinson und Shiffrin gehen in ihrem modalen Modell davon aus, dass das Kurzzeitgedächtnis eine notwendige Durchgangsstation zum Langzeitgedächtnis darstellt. Inzwischen weiß man jedoch, dass diese Annahme nicht zutreffen muss (Gruber, 2011).

Im täglichen Leben machen wir oft von unserer Fähigkeit Gebrauch, vorübergehend Informationen zu speichern, bis eine Aufgabe abgeschlossen ist. Dem Arbeitsgedächtnis (AG) liegt die Fähigkeit der aktiven Aufrechterhaltung von relevanter Information für eine kurze Zeit zugrunde. Im Vergleich zum Kurz- und Langzeitgedächtnis wurde das AG spät konzeptualisiert (Baddeley, 1986/2006). Es wird als grundlegende Bedingung fast aller höheren kognitiven Leistungen des Menschen angesehen. „Allgemein wird das AG an der Schnittstelle zwischen Wahrnehmung und Aufmerksamkeit, Langzeitgedächtnis, kognitiver Kontrolle und Handlungsplanung angesiedelt“ (Wolf, 2008). Ein intaktes AG ist demnach notwendig, um einen korrekten, zielführenden Vergleich früherer mit späteren Wahrnehmungsinhalten gewährleisten zu können.

1.1 Arbeitsgedächtnis

Eine einheitliche Vorstellung des Arbeitsgedächtnisses ist nicht vorhanden. Die Unterscheidung zwischen Kurzzeit- und Arbeitsgedächtnis ist eine anhaltende Debatte. Während Baddeley (1986) den Begriff „Kurzzeitgedächtnis“ durch „Arbeitsgedächtnis“ ersetzt, ist das AG laut Cowan (2008) nicht komplett vom Kurzzeitgedächtnis zu trennen. Für Cowan enthält das AG das Kurzzeitgedächtnis, wie auch weitere Verarbeitungsprozesse, die den Gebrauch des Kurzzeitgedächtnisses überhaupt ermöglichen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass das Arbeitsgedächtnis nicht nur die reine Speicherung, sondern auch gleichzeitig die Prozessierung umfasst. Allen derzeit gängigen AG-Modellen ist gemeinsam, dass Wahrnehmungsinhalte unterschiedlicher Modalitäten für einen begrenzten Zeitraum gespeichert, aufrechterhalten und bei Bedarf manipuliert werden, um weiterführenden kognitiven und verhaltensrelevanten Prozessen zur Verfügung zu stehen (Miyake & Shah, 1999). Informationen im AG sind lediglich von vorübergehender Relevanz in einem kontinuierlichen Informationsverarbeitungsprozess und unterliegen verhältnismäßig engen Kapazitätsgrenzen.

In den vergangenen drei Jahrzehnten wurden erhebliche Anstrengungen in der kognitiven Psychologie, Neuropsychologie und in kognitiven Neurowissenschaften unternommen, um die Aufklärung der theoretischen und mechanistischen Grundlagen des Arbeitsgedächtnisses voranzutreiben. Eine ergiebige Entwicklung war die funktionelle Trennung des Arbeitsgedächtnisses in verschiedene Subsysteme (Postle, 2006). Das einflussreichste AG-Modell wurde von Alan Baddeley und Graham Hitch (1974) entworfen und später von Baddeley substantiell ausdifferenziert und erweitert.

1.1.1 Baddeleys Mehrkomponentenmodell

Alan Baddeley und Graham Hitch (1974) ersetzen den Begriff „Kurzzeitgedächtnis“ durch „Arbeitsgedächtnis“ und forderten mit ihrem *Mehrkomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses* die einheitliche Sicht des Kurzzeitgedächtnisses heraus. Baddeley und Hitch demonstrierten, dass eine einzige Einheit nicht für alle Arten von kurzzeitigem Gedächtnis gelten kann. Statt einer einfachen Durchgangsstation, wie Atkinson und Shiffrin (1971) das Kurzzeitgedächtnis beschreiben, sieht Baddeley das Arbeitsgedächtnis als ein arbeitendes, aktives und bewusstes Gedächtnis an, welches

für ein breites Spektrum von kognitiven Aufgaben notwendig ist. Das AG wird in diesem Mehrkomponentenmodell, basierend auf Ergebnissen von Experimenten, nicht als ein einheitliches System behandelt, sondern in mehrere verschiedene interagierende Komponenten unterteilt.

Nach dem ursprünglichen Modell (1974) besteht das AG aus einer *zentralen Exekutiven* (*central executive*) und zwei Systemen zur kurzfristigen Speicherung von Information - der *phonologischen Schleife* (*phonological loop*) und dem *visuell-räumlichen Notizenblock* (*visuospatial sketchpad*). Im Jahr 2000 wurde das bestehende Modell überarbeitet und eine weitere Komponente, der *episodische Puffer* (*episodic buffer*), hinzugefügt (Abbildung 2).

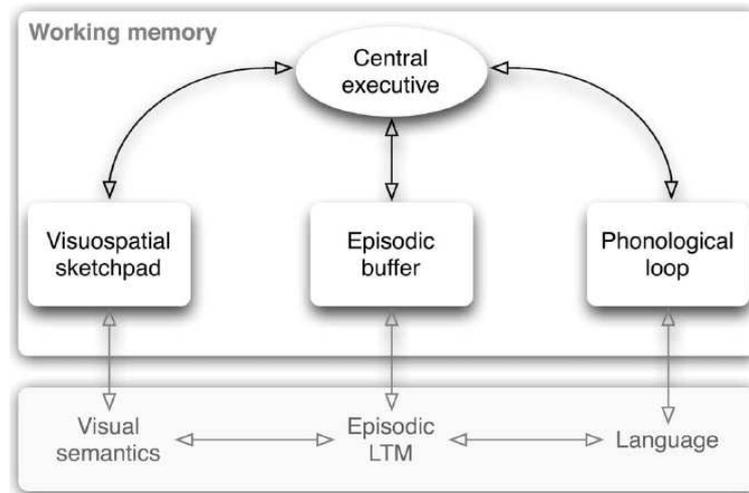


Abbildung 2: Baddeleys Modell des Arbeitsgedächtnisses;

Der obere, weiß hinterlegte Block beinhaltet die vier Teilbereiche des von Baddeley aktualisierten und modifizierten Arbeitsgedächtnismodells: die *zentrale Exekutive* (*Central executive*), den *visuell-räumlichen Notizenblock* (*Visuospatial sketchpad*), den *episodischen Puffer* (*Episodic buffer*) und die *phonologische Schleife* (*Phonological loop*). Der untere, grau hinterlegte Block stellt die Interaktionen mit dem Langzeitgedächtnis (*Episodic LTM*), dem Bereich der visuellen Semantik (*Visual semantics*) und der Sprache (*Language*) dar. Durch die Pfeile werden Wechselwirkungen der einzelnen Subkomponenten und Interaktionen mit dem Langzeitgedächtnis symbolisiert (Quelle: Baddeley, 2006).

Die *phonologische Schleife* dient zur Speicherung und Transformation sprachlicher Information. Sie wird in zwei Subkomponenten unterteilt - den *phonologischen Speicher* (*phonological store*) und den *artikulatorischen Kontrollprozess* (*articulatory rehearsal mechanism*). Durch die begrenzte Kapazität und Aufrechterhaltungsdauer des *phonologischen Speichers* verblasen Sprachlaute schnell. Wenn sprachliche Information über längere Zeit aufrechterhalten werden soll, kann dies durch den *artikulatorischen Kontrollprozess* erfolgen. Durch kontinuierliches verbales *rehearsal*, d. h. aktives inneres Sprechen, können im *phonologischen Speicher* hinterlegte Informationen wieder aufgefrischt und damit länger erhalten bleiben. Wird dieser Prozess unter Verwendung der sog. *artikulatorischen Suppression* gestört, bricht die Gedächtnisspanne stark ein (Baddeley, 2006). *Artikulatorische Suppression* (z. B. kontinuierliches Vorsprechen sinnloser Silben) verhindert, dass Probanden verbale Information aktiv innerlich aufsagen und diese kontinuierlich auffrischen können.

Der *visuell-räumliche Notizenblock*, analog zum verbalen Subsystem konzipiert, ist zuständig für das nonverbale Einspeichern visueller und räumlicher Information. Baddeley geht davon aus,

dass dieser aus zwei unabhängigen Komponenten besteht: ein Subsystem für Objektmerkmale (z. B. Form, Farbe) und ein Subsystem für räumliche Information. Diese Annahme basiert auf Versuchen von Logie (1986) und Baddeley (1996), welche zeigten, dass visuelle Aufgaben (in einem *dual-task*-Paradigma) keine Auswirkung auf die Aufrechterhaltung von räumlicher Information haben. Ein Eingriff durch räumliche Aufgaben hatte jedoch einen negativen Einfluss auf die AG-Spanne. Beide Komponenten besitzen einen eigenen Speicher und getrennte *rehearsal*-Prozesse. Während das visuelle Subsystem in engem Zusammenhang mit der visuellen Wahrnehmung steht, zeigt das räumliche Subsystem eine enge Beziehung zur Aufmerksamkeit und Augenbewegung.

Die **zentrale Exekutive** ist die bisher am wenigsten erforschte Komponente des AG-Modells. Sie besitzt keine direkten mnemonischen Funktionen, sondern dient als übergeordnete Kontrollinstanz der beiden Subsysteme und steuert Aufmerksamkeits- und Manipulationsprozesse. Damit stellt sie eine modalitätsunspezifische Kontrolleinheit dar, welche alle Arbeitsgedächtnisprozesse reguliert, initiiert und koordiniert.

Der **episodische Puffer** wurde erst vor wenigen Jahren als ein zusätzliches Subsystem zum ursprünglichen Modell ergänzt. Diese neue Komponente wurde erforderlich, da sich durch das ursprüngliche Modell eine Interaktion zwischen AG und Langzeitgedächtnis nur unzureichend erklären ließ und die ursprünglichen Subsysteme nur begrenzt miteinander interagieren konnten. Dem Dreikomponentenmodell fehlte dadurch unter anderem eine plausible Erklärung für den *Chunking*-Mechanismus. Dieses Zusammenfügen von Information zu sinnvollen Einheiten, bei gleichzeitiger Abgrenzung von anderen Einheiten, kann die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses vergrößern und nur durch eine Verbindung zum Langzeitgedächtnis erklärt werden. Baddeley siedelte daher den *episodischen Puffer* als ein begrenztes, multimodales Speichersystem an der Schnittstelle von AG und Langzeitgedächtnis an, der als Bindeglied der verbalen und visuellen Komponente einerseits und dem episodischen Gedächtnis und der *zentralen Exekutive* andererseits dient (Baddeley, 2006).

Baddeleys Modell betont die Rolle der aktiven Prozesse bei der Speicherung und Verarbeitung von Information. Damit stellt dieses Modell eine Grundlage zum Verständnis komplexerer kognitiver Prozesse dar. Obwohl in Baddeleys Modell nur Aussagen über die auditorischen und visuellen Modalitäten gemacht werden, ist dieses AG-Modell eines der bekanntesten und einflussreichsten. Cowan (2008) modifizierte dieses und schlug vor, dass das AG eher ein passiver Speicher mit zusätzlicher Aufmerksamkeitskontrolle darstellt.

1.1.2 Cowans Embedded-Processes-Modell

Während Baddeleys Modell die Struktur in den Vordergrund stellt, fokussiert Nelson Cowans *Embedded-Processes-Modell* (2000) die Funktion des Arbeitsgedächtnisses. Im Gegensatz zu Baddeley verwendet Cowan den Begriff „Kurzzeitgedächtnis“ für eine passive Speicherung von Information ohne *rehearsal* (mit einer Kapazität von 4 ± 1 Elementen) und „Arbeitsgedächtnis“, wenn *rehearsal* zugelassen wird und Aufmerksamkeit involviert ist (mit einer Kapazität von 7 ± 2 Elementen) (Cowan, 2005). Cowans Modell (Abbildung 3) stellt das AG als aktivierte Teile des Langzeitgedächtnisses (*activated portion of memory*) dar. Langzeitgedächtniseinträge, die zur Bearbeitung einer kognitiven Aufgabe notwendig sind, werden aktiviert und damit verfügbar gemacht.

Das Modell beinhaltet eine *zentrale Exekutive*, die sich auf kognitive Prozesse bezieht, welche der willentlichen Kontrolle unterliegen und Aufmerksamkeit (*focus of attention*) verschieben kann. Gedächtniseinträge können jedoch auch ohne die zentrale Exekutive in den Fokus der Aufmerksamkeit gelangen. Als eine Metapher wird Aufmerksamkeit oft mit einem Scheinwerfer verglichen, der bestimmte Bereiche hervorhebt und entscheidend für unsere Wahrnehmung ist. Das AG umfasst in

Cowan's Modell alle aktivierten Gedächtniselemente innerhalb und außerhalb des Fokus' der Aufmerksamkeit. Werden die aktivierten Elemente nicht fokussiert, werden sie nicht wahrgenommen (Cowan, 2008). Das *Embedded-Processes-Modell* macht keine strukturelle Unterteilung zur Verarbeitung modalitätsspezifischer Informationen. Es wird davon ausgegangen, dass verschiedenartige Informationen in unterschiedlichen neuronalen Strukturen verarbeitet werden (Gruber, 2011). Eine große Anzahl experimenteller Befunde kann mit Cowan's Modell erklärt werden.

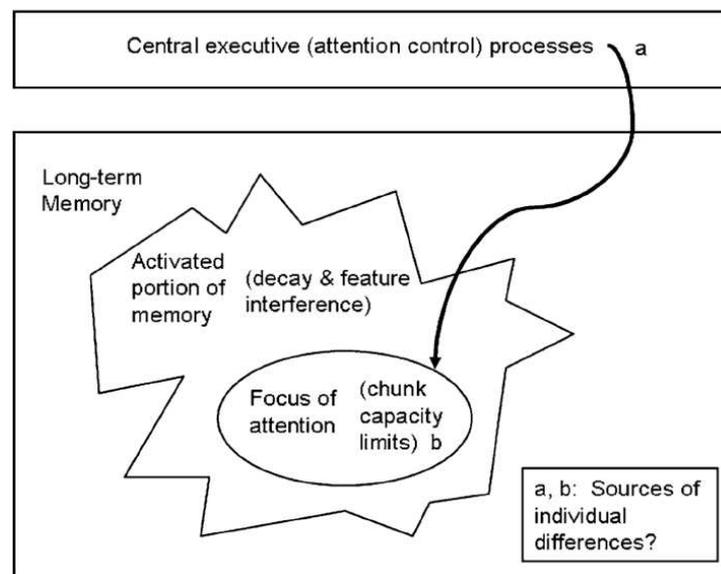


Abbildung 3: Cowan's Embedded-Processes-Modell; Durch die zentrale Exekutive (*central executive*), d.h. Aufmerksamkeitsprozesse (a), können Teile des Langzeitgedächtnisses (*long-term memory*) aktiviert werden. Diese *Activated portion of memory* stellt laut Cowan das AG dar. Aktivierte Elemente werden nur wahrgenommen, wenn Aufmerksamkeit (*focus of attention*) auf sie gelenkt wird (Quelle: Cowan, 2008).

Während im auditorischen AG der *rehearsal*-Prozess durch die Erhaltung und Auffrischung der Informationen mit Hilfe des *artikulatorischen Kontrollprozesses* erklärt wird, ist der *rehearsal*-Prozess im visuell-räumlichen AG noch weniger geklärt. Für die Untersuchung dieses Prozesses werden in vielen Studien Abwandlungen des CORSI-Block-Tapping Experiments verwendet. Diese Methode erlaubt die Präsentation von räumlich-zeitlich getrennten Ereignissen. Durch Zweitaufgaben (*dual-tasks*) in der Aufrechterhaltungsphase kann der Einfluss dieser Störfaktoren auf die Gedächtnisspanne gemessen und daraus auf Mechanismen geschlossen werden, die eventuell an der Aufrechterhaltung der Information, d. h. dem *rehearsal*-Prozess, beteiligt sind.

1.1.3 *rehearsal* im visuell-räumlichen AG

Idzikowski, Baddeley und Logie (berichtet in Baddeley, 1986) zeigten in Studien über das visuell-räumliche AG, dass erzwungene Augenbewegungen in der Retentionsphase zu einer signifikanten Abnahme der AG-Spanne führten. Basierend auf diesen und weiteren Ergebnissen schlug Baddeley (1986) vor, dass der *rehearsal*-Mechanismus im räumlichen AG über einen aktiven Kontrollprozess, der in direktem Zusammenhang mit der Okulomotorik steht, abläuft und damit die Informationen aus einem passiven Speicher aufgefrischt werden - analog dem Prozess zwischen *phonologischem*

Speicher und *artikulatorischem Kontrollprozess* der verbalen Domäne. Unter der Annahme, dass sich die Aufmerksamkeit immer mit den Augenbewegungen verschiebt, geht Baddeley davon aus, dass nicht die Augenbewegung an sich, sondern die visuelle Aufmerksamkeit bedeutend für den *rehearsal*-Prozess ist (Baddeley 1986; Postle et al., 2006).

Studien von u. a. Smyth (1988/89), Logie (1991) und Pearson (1999/2003) zeigten, dass die AG-Spanne (*spatial span*) nicht nur durch Augenbewegungen, sondern auch durch Bewegungen der Gliedmaßen signifikant beeinträchtigt werden kann. Johnson (1982) kam in seiner Studie außerdem zu dem Ergebnis, dass die Beeinträchtigung der AG-Spanne unabhängig von einer tatsächlichen Bewegungsausführung ist. Bereits die reine Vorstellung einer Bewegung führte zu einer schlechteren AG-Leistung. Eine mögliche Erklärung lieferte Logie (1995), welcher von einer Überlappung des *rehearsals* in der visuell-räumlichen Domäne und den kognitiven Prozessen, die bei der Planung und Ausführung von willentlichen Bewegungen beteiligt sind, ausgeht. In seinem Modell des visuell-räumlichen AG unterteilt Logie dieses in zwei Subsysteme: den *visual cache*, der Informationen speichert und die *Inner Scribe*-Komponente, welche sowohl an der Planung und Ausführung von Bewegung beteiligt ist, wie auch Informationen im *visual cache* auffrischt. Alle Aufgaben, welche den Einsatz des *Inner Scribe*-Mechanismus fordern, beeinträchtigen somit auch die Aufrechterhaltung der Information, d. h. den *rehearsal*-Mechanismus. Eine alternative Erklärung lieferte Smyth (1994/1996), welcher die Beeinträchtigung der AG-Spanne durch erzwungene Augen- oder Gliedmaßenbewegungen der damit einhergehenden räumlichen Aufmerksamkeitsverschiebung zuschreibt. In Studien zeigte Smyth, dass auch erzwungene coverte Aufmerksamkeitsverschiebungen während der Aufrechterhaltungsphase zu einer Verschlechterung der AG-Leistung führten. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass eher Aufmerksamkeitsverschiebungen anstatt motorischen Prozessen am *rehearsal* der Positionen im räumlichen AG beteiligt sind.

Eine detailliertere Theorie des räumlichen *rehearsals* wurde von Ed Awh et al. (2000/2001) vorgeschlagen. In Studien fanden Awh et al. (1998) heraus, dass die Wiedergabeleistung (*recall*) für Stimuli an räumlichen Positionen besser war, wenn Probanden aufgefordert wurden, diese Orte explizit im AG zu behalten. Sie argumentieren daher, dass eine starke Verbindung zwischen AG und Aufmerksamkeit existiert und der *rehearsal*-Mechanismus durch aktive Aufmerksamkeitsverschiebung zu Orten, an denen die Information gespeichert ist, diese aufrechterhält. Dies ermöglicht, dass Positionen besser im AG behalten werden können. Der Prozess der visuellen Selektion dient damit laut Awh als eine Schlüsselkomponente des *rehearsals* im räumlichen AG. Dieser *rehearsal*-Prozess nimmt eine *supramodal basis for attention* an, in welcher coverte Aufmerksamkeitsverschiebung einen Prozess involviert, der funktionell unabhängig von den Prozessen ist, welche Augenbewegungen vermitteln.

Zusammenfassend ist aus der Literatur über das räumliche AG bekannt, dass die vorübergehende Aufrechterhaltung (*retention*) von Information in einem CORSI-Block-Tapping Experiment durch eine Anzahl verschiedener Zweitaufgaben (*dual-tasks*), wie z. B. erzwungene Augen- (Baddeley, 1986), Gliedmaßenbewegung (Smyth, 1988; Logie, 1991; Pearson, 1999) oder coverten Aufmerksamkeitsverschiebungen (Smyth & Scholey, 1994; Smyth, 1996; Awh et al., 1998), gestört werden kann und damit die AG-Spanne abnimmt. Pearson und Sahraie (2003) untersuchten in ihrer Studie, in welchem Ausmaß sich diese verschiedenen *dual-tasks* in der Retentionsphase auf die AG-Spanne auswirken. Ziel war, dadurch auf die am *rehearsal* beteiligten Prozesse schließen zu können. Die Ergebnisse zeigen, dass erzwungene Augenbewegungen während des Retentionsintervalls eine stärkere Reduktion der AG-Spanne herbeiführten als Gliedmaßenbewegungen. Des Weiteren erzeugten erzwungene Augenbewegungen eine stärkere Abnahme der individuellen AG-Spanne als erzwungene coverte Aufmerksamkeitsverschiebungen. Der bedeutende Einfluss von erzwungenen Augenbewegungen in der Retentionsphase auf die AG-Leistung führte zu der Hypothese, dass Au-

genbewegungen am *rehearsal* beteiligt sind und erzwungene, irrelevante Augenbewegungen dieses *rehearsal* beeinträchtigen. Dennoch zeigen die Analysen der Augenbewegungen, dass die Probanden diese nicht nutzten um aktiv die sequentiell präsentierten Positionen im AG zu behalten, also kein *rehearsal* mittels Augenbewegungen durchführten. Die Ergebnisse des Telexperiments, in welchem die Probanden freie Augenbewegungen im Retentionsintervall ausführen konnten, zeigen, dass kaum Augenbewegungen ausgeführt wurden und dass die Spanne geringer war, als wenn kontinuierlich eine Stelle fixiert wurde. Möglicherweise wurden wenig Augenbewegungen ausgeführt, da das Präsentationsmuster der Quadrate in der Retentionsphase nicht gezeigt wurde und die Probanden dadurch keine direkten Anhaltspunkte für gerichtete Augenbewegungen hatten.

Wenn demnach Augenbewegungen allenfalls geringfügig zur Speicherung und Aufrechterhaltung der Information beitragen, warum haben diese in der Retentionsphase dann einen so großen Einfluss auf die Gedächtnisspanne? Eine Interpretation ist, dass Augenbewegungen den aufmerksamkeitsbasierten *rehearsal*-Mechanismus beeinträchtigen (Awh, 2000/2001). Während eine Aufmerksamkeitsverschiebung ohne gleichzeitige Augenbewegungen durchgeführt werden kann, leiten Augenbewegungen immer automatisch eine gleichzeitige Aufmerksamkeitsverschiebung ein (Chelazzi, 1995). Awh (1998) zeigte, dass eine Aufmerksamkeitsverschiebung alleine eine Beeinträchtigung der räumlichen Gedächtnisspanne hervorrufen kann. Die Ergebnisse von Pearson und Sahraie (2003) lassen jedoch erkennen, dass die Beeinträchtigung der AG-Spanne durch erzwungene coverte Aufmerksamkeitsverschiebung geringer ist, als durch erzwungene Augenbewegungen. Dies ermöglicht die Interpretation, dass separate Prozesse den beiden Effekten zugrunde liegen oder dass Aufmerksamkeitsverschiebungen durch Augenbewegungen größer sind als bei coverter Aufmerksamkeitsverschiebung.

Ergebnisse aus fMRI-Studien über Aufmerksamkeit und Augenbewegungen unterstützen die zweite Hypothese. Diese zeigen, dass Augenbewegungen und Aufmerksamkeitsverschiebung in einem lokal überlappenden, neuronalen Netzwerk im Parietal-, Frontal- und den Temporallappen involviert sind (Corbetta, 1998). Corbetta et al. kamen daher zu der Erkenntnis, dass Aufmerksamkeits- und Augenbewegungsprozesse auf neuronaler Ebene eng miteinander vernetzt sind. Neuere fMRI-Studien (Beauchamp, 2001) zeigen, dass Aufmerksamkeitsverschiebungen mit einhergehenden Sakkaden eine größere neuronale Aktivität zur Folge haben, als Aufmerksamkeitsverschiebungen ohne Augenbewegungen. Angesichts des engen Zusammenhangs von Aufmerksamkeits- und Augenbewegungsprozessen auf neuronalem Level könnte es demnach irreführend sein, die Aufrechterhaltung der Information lediglich als einen aufmerksamkeitsbasierten *rehearsal*-Mechanismus (Awh, 2001) zu betrachten. Beauchamp (2001) bekräftigt dies, indem er vorschlägt, dass coverte Aufmerksamkeitsverschiebungen zu einer räumlichen Position durch eine mittelmäßige Aktivierung der Areale, welche Augenbewegungen kontrollieren, ausgelöst werden und diese Aktivierung ausreichend ist, um den Fokus der Aufmerksamkeit zu lenken, ohne dass korrespondierende Augenbewegungen erzeugt werden. Es wird daher angenommen, dass coverte Aufmerksamkeitsverschiebungen von den gleichen Prozessen wie Augenbewegungen vermittelt werden. Im Einklang dazu steht auch die *premotor theory of attention* von Rizzolatti (1987). Die Ergebnisse von Pearson und Sahraie unterstützen diese Annahme, indem sie zeigen, dass erzwungene Augenbewegungen in allen Experimenten zu einer geringeren AG-Spanne führten als coverte Aufmerksamkeitsverschiebungen. Eine weitere Interpretation der Daten muss ebenfalls berücksichtigt werden. Diese nimmt an, dass die Aktivierung innerhalb des *oculomotor control networks* zu einer Störung der räumlichen Repräsentationen im AG führt (Pearson & Sahraie, 2003). Die Ausführung von Augenbewegungen im Retentionsintervall könnte demnach den Referenzrahmen stören, in dem die Positionen im AG enkodiert sind.

Zusammenfassend kommen Pearson und Sahraie (2003) zu dem Schluss, dass eine Verschlechterung der räumlichen AG-Spanne durch erzwungene Augenbewegungen als eine Störung des *oculomotor control network* interpretiert werden kann und nicht als Störung eines aufmerksamkeitsbasierten *rehearsal*-Mechanismus. Eine geringere AG-Spanne durch erzwungene Augenbewegungen in der Retentionsphase kann nicht nur durch die einhergehende Aufmerksamkeitsverschiebung erklärt werden. Pearson und Sahraie gehen davon aus, dass Augenbewegungskontrollprozesse eine bedeutende Rolle im kurzzeitigen *rehearsal* von ortsspezifischen Repräsentationen des Arbeitsgedächtnisses spielen.

Tremblay et al. (2006) untersuchten ebenfalls mit Hilfe der CORSI-Block-Tapping Versuche, ob das visuell-räumliche *rehearsal* mittels Augenbewegung stattfindet. Die Ergebnisse zeigen, dass freiwillige Augenbewegungen während der Retentionsphase eine effektive *rehearsal*-Strategie zu sein scheinen. Im Gegensatz zum Versuchsaufbau von Pearson und Sahraie (2003) wurde das Präsentationsmuster der Quadrate auch während der Retentionsphase gezeigt. Je mehr Punktpositionen durch augenbewegungs-basiertes *rehearsal* wiederholt wurden, desto besser war die AG-Leistung. Die Studie von Saint-Aubin et al. (2007) zeigte außerdem, dass das Arbeitsgedächtnis für visuell-räumliche Informationen eine limitierte Kapazität hat und sobald diese Kapazität erreicht ist, eine zusätzliche Betrachtungszeit überflüssig ist. Während Augenbewegungen eine offensichtliche *rehearsal*-Strategie darzustellen scheinen, scheint Aufmerksamkeit eine bedeutende Rolle beim *coverten rehearsal* zu spielen. Trotz dieser offensichtlich förderlichen Strategie führten jedoch nicht alle Probanden gleich viele Augenbewegungen aus.

Im Gegensatz dazu zeigen Ergebnisse einer aktuellen Studie von Godijn und Theeuwes (2011), dass Augenbewegungen während der Retentionsphase zu keiner höheren AG-Spanne führten als *covert*e Aufmerksamkeitsverschiebungen. Trotzdem wurden diese in den meisten Fällen von den Probanden ausgeführt, wenn sie die Wahl dazu hatten. Wenn Augenbewegungen keinen Vorteil bringen, bleibt immer noch zu klären, warum Probanden diese dann nutzen und warum *dual-tasks* mit Augenbewegungen eine größere Beeinträchtigung herbeiführen als *covert*e Aufmerksamkeitsverschiebungen.

Die Analyse von Augenbewegungen hat wichtige Hinweise über die Verarbeitung von Informationen im visuell-räumlichen AG hervorgebracht. Eyetracking und damit der Zusammenhang von Fixationsdauer, Fixationsort und AG-Leistung scheint viel versprechend für genauere Untersuchungen des visuell-räumlichen AG zu sein.

1.2 Wissenschaftliche Fragestellung

In dieser Bachelorarbeit, die in Zusammenarbeit mit Christina Berghus (Titel der Bachelorarbeit: Die Rolle der selektiven Aufmerksamkeit bei der Aufrechterhaltung zeitlich-räumlicher Repräsentationen im CORSI-Block-Tapping Experiment) entstanden ist, soll untersucht werden, inwiefern Augenbewegungen und Aufmerksamkeitsverschiebungen am *rehearsal* von visuell-räumlicher Information beteiligt sind. In vielen Studien wird den Augenbewegungen eine Rolle beim *rehearsal* zugesprochen, da eine erzwungene Ausführung während der Aufrechterhaltungsphase der räumlichen Positionen zu einer Minderung der AG-Spanne führte. Dieses Vorgehen ist methodisch kritisch anzusehen, da direkt das Augenbewegungsverhalten manipuliert wurde (Godijn & Theeuwes, 2011). In den Experimenten dieser Bachelorarbeit soll daher durch die Blockierung der Augenbewegungen und der Aufmerksamkeit während des Retentionsintervalls der Einfluss auf die AG-Spanne gemessen und somit die Beteiligung der beiden Prozesse am *rehearsal* untersuchen

werden. Des Weiteren soll dargelegt werden, ob und in welchem Maß Probanden Augenbewegungen für den *rehearsal*-Prozess der räumlichen Positionen verwenden. Die Ausführung wird dadurch erleichtert, dass das Präsentationsmuster in der Retentionsphase sichtbar ist, wodurch nicht die Aufrechterhaltung der räumlichen Positionen an sich, sondern die Reihenfolge der Sequenz im Vordergrund steht. Als Maß für den *rehearsal*-Prozess sollen die vom Eyetracker aufgenommenen Augenbewegungsdaten dienen. Dadurch kann untersucht werden, wie genau die Versuchspersonen Augenbewegungen einsetzen und ob ein Zusammenhang zur AG-Leistung besteht.

Während es Christina Berghus' Aufgabe war, die Programmierung von Versuchsteil 1 und 4 zu erweitern und die Daten auszuwerten, d. h. den Beitrag der Aufmerksamkeit zu verdeutlichen, war es meine Aufgabe in Versuchsteil 2 und 3, den Einfluss von Augenbewegungen darzulegen. In die Ergebnisse und Diskussion gehen die gemessenen Daten aller Versuchsteile ein.

2 Material und Methoden

Die Versuche basierten auf dem CORSI-Block-Tapping Experiment (Corsi, 1973) und wurden am Bildschirm durchgeführt. Der CORSI-Block-Tapping Test besteht aus drei Phasen: der Enkodierungsphase, der Retentionsphase und der Recallphase. In der Enkodierungsphase wird den Probanden eine Sequenz von räumlichen Positionen gezeigt, welche über die Dauer der Retentionsphase aufrechterhalten und in der Recallphase wiedergegeben werden muss. Durch die Anzahl der in der richtigen Reihenfolge wiedergegebenen räumlichen Positionen der zuvor gezeigten Sequenz, kann die AG-Spanne der Probanden berechnet werden.

In Versuchsteil 1 wurde die individuelle AG-Spanne jedes Probanden ermittelt und anschließend in drei weiteren Versuchsteilen untersucht, wie sich eine Blockierung der Aufmerksamkeit und/oder Augenbewegungen auf die AG-Spanne auswirkt und welchen Beitrag diese Mechanismen demnach zum *rehearsal* von zeitlich-räumlicher Information leisten.

2.1 Versuchsaufbau

Alle Versuche fanden in den Räumen des Lehrstuhls „Kognitive Neurowissenschaft“ statt. Mit Hilfe des unter dem Monitor befestigten Eyetrackers (Abbildung 4) erfolgte in den Versuchsteilen 2, 3 und 4 eine Aufzeichnung der Augenbewegungen. Um die Aufnahme des Eyetrackers zu ermöglichen, stellte eine Kopfstütze sicher, dass die Probanden keine Kopfbewegungen ausführten (Abbildung 4). Da nur die Bewegungen von einem Auge aufgenommen wurden, befand sich die Kopfstütze leicht seitlich versetzt zum Bildschirm. Der Abstand der Augen zum Monitor betrug 57 cm.

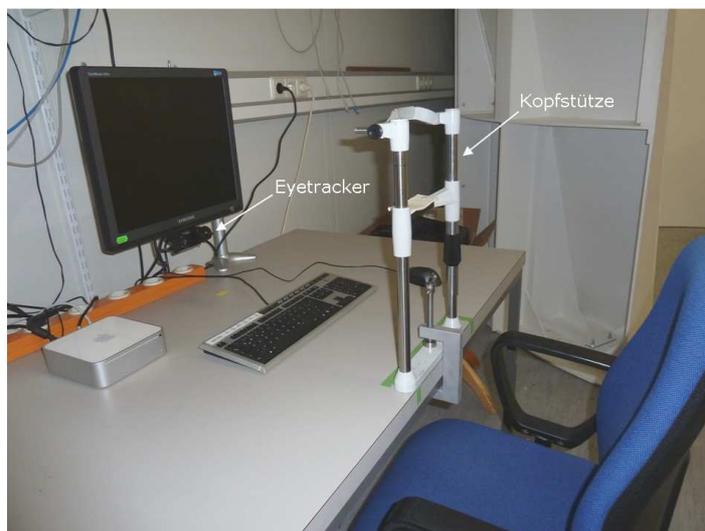


Abbildung 4: Versuchsaufbau;
Bildschirm mit befestigtem Eyetracker und Kopfstütze für die Probanden;
der Abstand der Augen zum Bildschirm betrug 57 cm.

2.2 Hardware / Software

Für die Präsentation der Muster wurde ein MacMini (Intel® Core™ 2CPU T5600, 1,83 GHz, 1,96 GB RAM) mit dem Betriebssystem Microsoft Windows XP Professional (Version 2002, Service Pack 3) verwendet. Die Stimuli wurden auf einem Samsung SyncMaster 93 BF Monitor (19 Zoll) mit einer Auflösung von 1280 x 1024 Pixeln präsentiert. Das Programm zur Durchführung des Versuchs wurde mit der Matlab 7.11.0 (R2010b) Software inklusive Psychtoolbox 3.0.8 Beta Erweiterung

nung erstellt und mit der Matlab Version 7.9.0 (2009b) ausgeführt. Ausgewertet wurde mit der Matlab Version 7.11.0 (R2010b), Microsoft Office Excel (2003) und mit der Statistik- und Analyse-Software IBM SPSS Statistics 19.

Eyetracker

Zur Messung der Augenbewegungen wurde das Eyegaze System der Firma LC Technologies, Inc. verwendet. Dieses zeichnet monokular, d. h. nur ein Auge, auf. Die infrarot-sensitive Videokamera unter dem Bildschirm (Abbildung 4) nimmt 60 Bilder pro Sekunde auf. Die Anbindung des Eyetrackers an Matlab fand über den EGServer der Firma LC Technologies (Version: EdgeDev 2011/05/05) statt.

Zur Bestimmung der Blickpositionen auf dem Bildschirm verwendet das Eyegaze System die Cornea-Reflex-Methode. Durch die Infrarotlicht-emittierende Diode (LED) in der Mitte des Kameraobjektivs wird das Auge mit einem gebündelten Lichtstrahl beleuchtet. Infrarotlicht kann von Menschen nicht wahrgenommen werden und irritiert daher nicht während des Versuchs. Trifft der Lichtstrahl auf das Auge, wird dieser – bedingt durch den anatomischen Aufbau des Auges – reflektiert. Die Reflexion an der Oberfläche der Cornea (Hornhaut) kann von der Kamera als weißer Punkt erfasst werden. Zudem reflektiert die Retina (Netzhaut) das Licht, wodurch die Pupille weiß erscheint (Abbildung 5). Eine spezialisierte Bildverarbeitungssoftware analysiert das von der Kamera aufgenommene Augenbild. Diese Software berechnet das Pupillenzentrum, erkennt die Cornea-Reflexion und kann aus deren relativen Positionen die x- und y-Koordinaten der Blickpositionen auf dem Bildschirm berechnen. Dies ist möglich, da der Vektor der Cornea-Reflexion zum Pupillenzentrum direkt mit der Blickrichtung zusammenhängt. Da der Eyetracker mit Infrarotlicht arbeitet und der Raum hierfür nicht zu hell sein darf, wurde beim Experiment das Licht im Raum gedimmt.

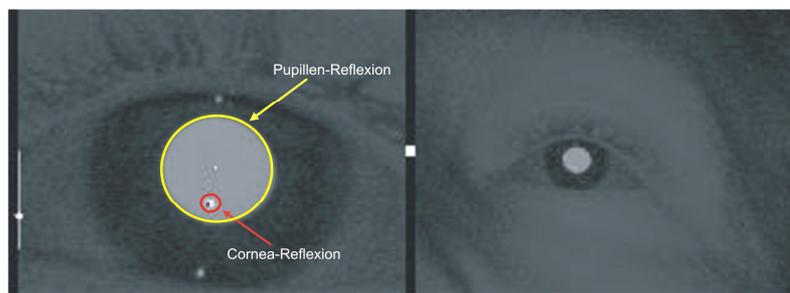


Abbildung 5: Aufnahmen des Eyetrackers;
Rechts: Vollständiges Kamerabild; Links: Vergrößerte Darstellung des Auges mit
Pupillen- und Cornea-Reflexion (Quelle: SystemUserManual des Eyegaze Systems)

Kalibrierung des Eyetrackers

Zu Beginn der Versuchsteile, bei denen Augenbewegungen aufgezeichnet wurden, erfolgte jeweils eine Kalibrierung des Eyetrackers. Mit der Kalibrierung wurde das Eyetracker-System an die individuellen physiologischen Eigenschaften des Auges angepasst. Zudem wurde so sichergestellt, dass der Eyetracker das Auge des Probanden erkannte und Bewegungen verfolgen konnten. Die Kalibrierung startete, wenn der Proband direkt in die Kamera schaute und erfolgte dadurch, dass ein kleiner Kreis auf dem Bildschirm fixiert und mit den Augen verfolgt wurde. Anschließend wurde auf dem Bildschirm die Genauigkeit der Kalibrierung angezeigt. Lagen die Fadenkreuze der berechneten Blickpunkte und die Positionen des Punktes nahe beieinander, wurde die Kalibrierung abgeschlossen. Insgesamt dauerte der Vorgang ca. 15 Sekunden.

2.3 Versuchsablauf

Das Experiment bestand aus vier Versuchsteilen. Allen gemeinsam war folgender Ablauf:

Am Bildschirm wurde ein Muster von zehn zufällig angeordneten, weißen Quadraten (2,51 Grad Sehwinkel pro Quadrat) auf schwarzem Hintergrund und ein Kreuz in der Bildschirmmitte präsentiert (Abbildung 6 [2]). Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, das Kreuz kontinuierlich für 3000 ms zu fixieren. Diese Fixation gewährleistete immer denselben Ausgangspunkt für die Augenbewegungen und wurde benötigt, um den Versatz (Offset) jeder Versuchsperson, d. h. die Abweichung der Fixation von der Bildschirmmitte, für die Auswertung der Augenbewegungen herausrechnen und damit die Koordinaten der weiteren Blickpositionen korrigieren zu können. Direkt nach Verschwinden des Kreuzes erschien in den Quadraten eine Sequenz von nacheinander grün aufleuchtenden Kreisen (Enkodierungsphase). Jeder Kreis war für 1000 ms sichtbar (Abbildung 6 [3-6]). Die Versuchspersonen sollten sich diese präsentierte Sequenz in der richtigen Reihenfolge merken und nach einer Retentionsphase mit der Maus nachklicken (Retrievalphase). Während der Enkodierungs- und Retrievalphase war keine Einschränkung bezüglich der Augenbewegungen gegeben.

Im allen vier Versuchsteilen begann der Versuch mit einer Sequenz von vier Kreisen. Pro Kreisanzahl (*trial*) gab es drei Durchgänge (*subtrials*). Das Präsentationsmuster wurde für jeden *subtrial* randomisiert, d. h. aus zehn möglichen Mustern ausgewählt. Wurde in mindestens einem dieser *subtrials* die Sequenz der grünen Kreise in der richtigen Reihenfolge wiedergegeben, folgte nach den drei *subtrials* der nächste *trial*, indem die Anzahl der Kreise in der Sequenz um eins erhöht wurde. Bei der Wiedergabe erhielten die Probanden Rückmeldung, ob die Kreise in der richtigen Reihenfolge angeklickt wurden. Wurde ein falsches Quadrat angeklickt, erschien an der eigentlich richtigen Position ein roter Kreis, bei der richtigen Wiedergabe ein grüner Kreis. Die Anzahl der Kreise in der folgenden Sequenz wurden immer zu Beginn jedes *subtrials* am Bildschirm angegeben. (Abbildung 6 [1]). Die grün aufleuchtenden Kreise im ausgewählten Präsentationsmuster erfolgten ebenfalls randomisiert. Der Versuchsteil endete, wenn alle drei *subtrials* eines *trials* falsch wiedergegeben wurden.

In Versuchsteil 1 folgte die Retrievalphase nach einer Retentionsphase von einer Sekunde auf die Enkodierungsphase, in den Versuchsteilen 2, 3 und 4 nach einer Retentionsphase von zehn Sekunden (wie auch in Tremblay, 2006). Dieses Aufrechterhaltungsintervall wurde durch eine Änderung des Hintergrundes von schwarz zu grau gekennzeichnet (Abbildung 6 [7]). Die Unterschiede der Versuchsteile sind in Kapitel „2.4 Versuchsteile“ beschrieben.

Berechnung der AG-Spanne

Für jeden Versuchsteil wurde die AG-Spanne für die Probanden folgendermaßen berechnet:

$$\text{AG-Spanne} = ((\text{Anzahl der richtig wiedergegebenen } \textit{subtrials}) + 9) / 3$$

In die Berechnung geht die Anzahl der richtig wiedergegebenen *subtrials*, unabhängig von der Kreisanzahl in der Sequenz, ein. Die Zahl 9 wird addiert, da davon ausgegangen wird, dass die Probanden die Sequenzen mit 1, 2 und 3 Kreisen (mit insgesamt neun *subtrials*) richtig wiedergegeben hätten. Selbst wenn keine Sequenz richtig wiedergegeben wird, kann demnach die AG-Spanne nicht unter den Wert 3 fallen. Die Division durch 3 ergibt sich aus den drei *subtrials* (Durchgängen) pro Sequenzanzahl (*trial*).

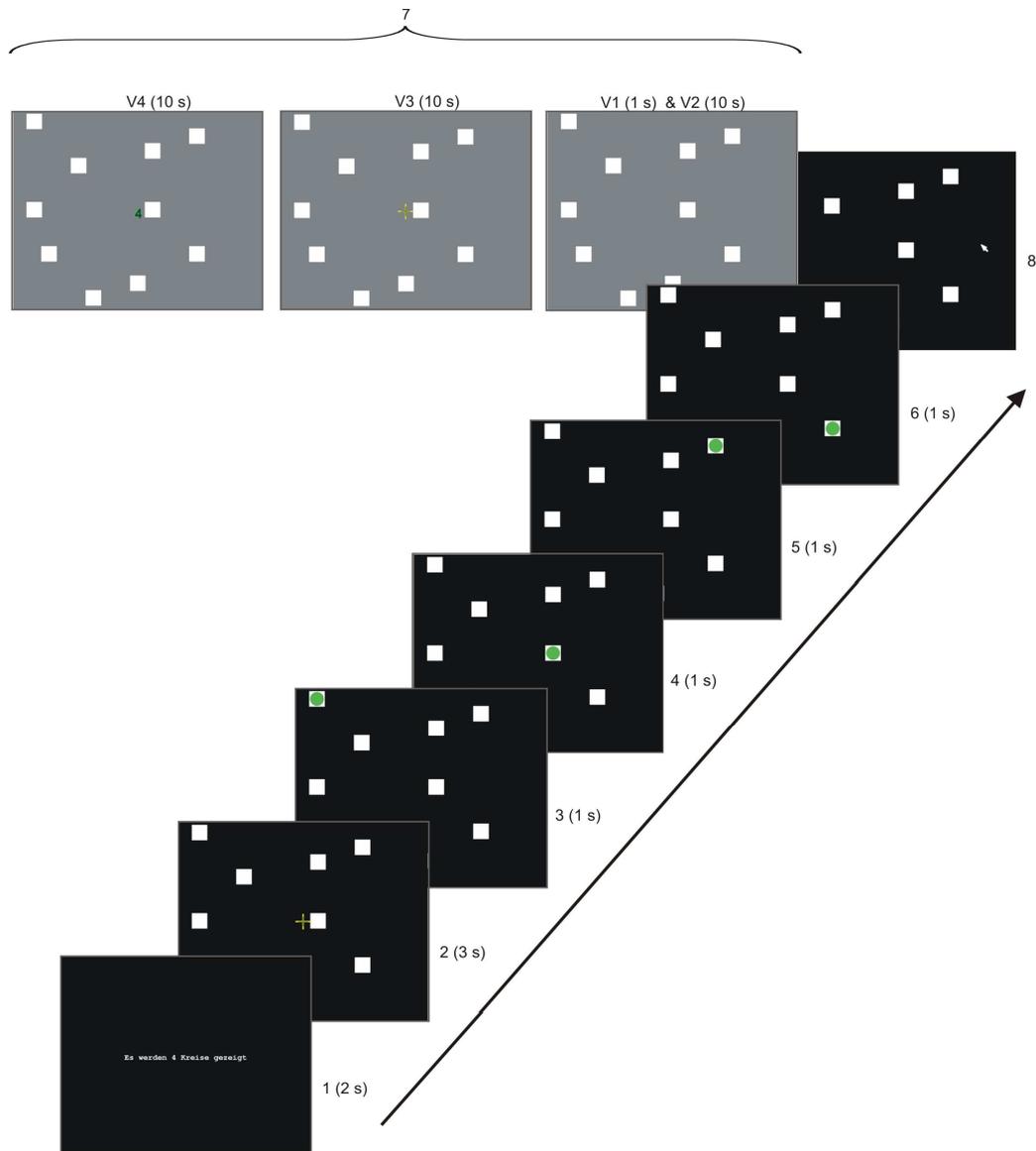


Abbildung 6: Graphische Darstellung der Bildschirmfotos, welche den Zeitverlauf der Ereignisse beispielhaft für die Sequenz mit vier Kreisen darstellen;

[1] Beginn eines *subtrials* mit der Angabe wie viele Kreise gezeigt werden (für 2 s); [2] Darstellung des randomisiert ausgewählten Präsentationsmusters mit Fixationskreuz (für 3 s); [3]-[6] Enkodierungsphase: Präsentation der Sequenz mit dem ersten, zweiten, dritten und vierten grün aufleuchtenden Punkt (für 1 s); [7] Retentionsphasen zwischen Enkodierungs- und Retrievalphase der vier Versuchsteile (V1-4); V1: 1 s; V2: 10 Sekunden; V3: 10-Sekunden-Intervall mit Fixationskreuz in der Bildschirmmitte; V4: 10-Sekunden-Retentions-Intervall mit Sequenz von zehn nacheinander erscheinenden Zahlen für arithmetische Aufgabe in der Bildschirmmitte; [8] Retrievalphase: Mauszeiger erscheint und Positionen der zuvor gezeigten Kreise sollen in der richtigen Reihenfolge angeklickt werden (so lange sichtbar, bis in diesem Fall vier Mal geklickt wurde).

2.4 Versuchsteile

Jede Versuchsperson führte alle Versuchsteile durch. Die Probanden begannen immer mit Versuchsteil 1. Die Reihenfolge der Versuchsteile 2, 3 und 4 wurde randomisiert, um Ergebnisse aufgrund von Lerneffekten auszuschließen. Zu Beginn jedes Versuchsteils wurden die Probanden über die Aufgabe, welche sie in der Retentionsphase auszuführen hatten, aufgeklärt. In den Versuchsteilen 2, 3 und 4 wurden die Augenbewegungen mittels eines Eyetrackers aufgezeichnet. Hierfür war zu Beginn des jeweiligen Versuchsteils eine Kalibrierung des Eyetrackers notwendig.

Versuchsteil 1

Dieser Versuchsteil diente zur Ermittlung der individuellen Arbeitsgedächtnisspanne jedes Probanden. Hierfür wurden keine Augenbewegungen aufgezeichnet. Um die Probanden mit dem Ablauf des ganzen Experiments vertraut zu machen, fand zu Beginn eine Testphase statt, in der drei *subtrials* mit je einer Sequenz von drei Kreisen gezeigt wurde. Diese Sequenzen sollten die Probanden nach einem 1-Sekunden-Retentionsintervall [Abbildung 6 [7: V1]) mit der Maus nachklicken. Anschließend begann der Versuch mit der Start-Sequenz von vier Kreisen.

Versuchsteil 2

Zwischen der Präsentation der Kreissequenz und ihrer Wiedergabe wurde ein Retentionsintervall von zehn Sekunden, gekennzeichnet durch die Änderung des Hintergrunds von schwarz zu grau, eingeblendet. Die zehn weißen Quadrate waren während dieser Phase sichtbar (Abbildung 6 [7: V2]). Nach Ende der Retentionsphase änderte sich die Hintergrundfarbe wieder zu schwarz und der Proband konnte die Sequenz durch Mausklick wiedergeben. Während der Retentionsphase von zehn Sekunden hatte der Proband keine Einschränkungen bezüglich seiner Augenbewegungen.

Versuchsteil 3

Um den Einfluss von Augenbewegungen am *rehearsal* (Versuchsteil 2) zu ermitteln, wurden diese in Versuchsteil 3 blockiert. Wie in Versuchsteil 2 wurde zwischen der Präsentation der Kreissequenz und der Wiedergabe der Kreise eine Retentionsphase von zehn Sekunden eingeblendet, in welcher die Probanden aufgefordert wurden kontinuierlich ein Kreuz in der Bildschirmmitte zu fixieren (Abbildung 6 [7: V3]).

Versuchsteil 4

In der 10-Sekunden-Retentionsphase dieses Versuchsteils wurden zehn Zahlen zwischen eins und fünf (jeweils 1000 ms sichtbar) gezeigt, welche die Probanden summieren und direkt im Anschluss, vor dem *recall*, dem Versuchsleiter mitteilen mussten (Abbildung 6 [7: V4]). Diese arithmetische Aufgabe sollte sowohl Aufmerksamkeit beanspruchen wie auch Augenbewegungen verhindern.

2.5 Versuchspersonen

Am Experiment nahmen 20 Personen teil. Die Ergebnisse von vier Personen wurden aufgrund von Ausfällen des Eyetrackingsystems von mehr als 15 % der Datenpunkte von der Auswertung ausgeschlossen. In die Auswertung gingen letztendlich die Daten von 16 Probanden ein. Hierbei handelte es sich um sieben Frauen und neun Männern im Alter zwischen 20 und 36 Jahren ($\bar{x} \pm \text{sd}$: $25,25 \pm 4,55$). Die Teilnahme am Experiment erfolgte freiwillig mit einem durchschnittlichen Zeitaufwand von 45 Minuten.

3 Ergebnisse

3.1 AG-Spannen der vier Teilversuche

Die gemittelten und normierten AG-Spannen der Probanden in den einzelnen Versuchsteilen sind in Abbildung 7 dargestellt. Durchschnittlich beträgt die AG-Spanne im ersten Versuchsteil 5,81 (sd: 0,71) richtig wiedergegebene Kreispositionen, im zweiten 5,67 (sd: 0,94), im dritten 5,23 (sd: 0,96) und im vierten 3,73 (sd: 0,6). Eine ANOVA über die Werte zeigt, dass es einen signifikanten Einfluss der Bedingung auf die AG-Spanne gibt (ANOVA-One-Way: $F(3,45)=56,068$ $p<0.001$). Die Effektstärke, die als Maß für die Größe der Mittelwertsdifferenzen gilt, gibt mit $\eta_p^2=0,79$ einen mittelgroßen Effekt an. Durch den paarweisen Vergleich der einzelnen Versuchsteile konnte gezeigt werden, dass die AG-Spannen im vierten Versuchsteil, in welchem durch die arithmetische Aufgabe die Augenbewegungen und die Aufmerksamkeit für ein *rehearsal* blockiert wurden, signifikant geringer als in allen anderen Versuchsteilen sind. Im zweiten Versuchsteil, in dem freie Augenbewegungen während der Retentionsphase möglich waren, wurde zudem durchschnittlich eine signifikant höhere AG-Spanne erreicht, als in Versuchsteil 3, in dessen Retentionsphase die Probanden ein Kreuz fixieren mussten. Die jeweiligen Signifikanzniveaus (* : $p<0,05$; *** : $p<0,001$) sind im Schaubild angegeben. Für die Normierung der Werte wurde die individuelle AG-Spanne jedes Probanden des ersten Versuchsteils auf 100 % gesetzt und in Relation dazu die prozentualen AG-Spannen der anderen Versuchsteile berechnet. Hierbei fallen die Gedächtnisspannen der Probanden durchschnittlich im zweiten Versuchsteil auf 97,91 % (sd: 14,00), im dritten Versuchsteil auf 90,34 % (sd: 14,47) und im vierten Versuchsteil auf 64,52 % (sd: 9,57).

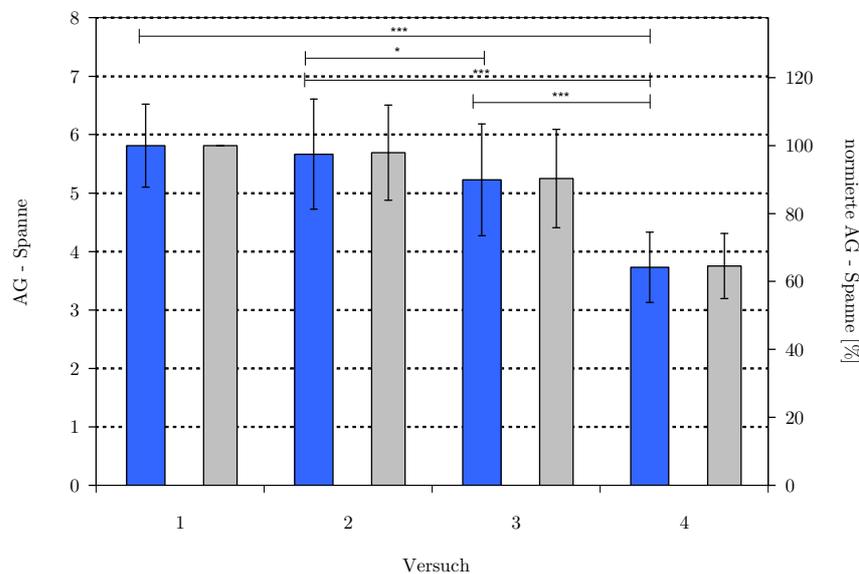


Abbildung 7: Gemittelte (blau) und normierte (grau) Arbeitsgedächtnisspannen der Versuchsteile 1-4. Die blauen Balken zeigen die gemessenen AG-Spannen (linke y-Achse) mit Standardabweichungen, die von den Probanden in den Versuchsteilen erreicht wurden. Die grauen Balken zeigen die normierten Werte (rechte y-Achse) mit Standardabweichungen, wobei die individuellen AG-Spannen des ersten Versuchsteils auf 100 % festgelegt wurden.

3.2 Analyse der Augenbewegungsdaten

3.2.1 Allgemein

Neben den AG-Spannen der verschiedenen Versuchsteile waren auch die vom Eyetracker erfassten Augenbewegungsdaten von Interesse, da Analysen von Augenbewegungen laut der vorherrschenden Literatur neben der AG-Leistung Hinweise über die Verarbeitung von Information im visuell-räumlichen AG liefern. Zum Visualisieren der Augenbewegungsdaten wurde für jeden *subtrial* eine Abbildung der Enkodierungs- und Retentionsphase mit Matlab erstellt. Abbildung 8 zeigt beispielhaft die Darstellung einer Enkodierungsphase, in der das Präsentationsmuster der Quadrate, die Sequenz der Kreise und die Augenbewegungsdaten enthalten sind. Auf der x- und y-Achse können die Positionen der gezeigten Quadrate auf dem Bildschirm (in Pixel) abgelesen werden. Die Reihenfolge der aufgeleuchteten Kreise ist in der Abbildung durch Zahlen angegeben.

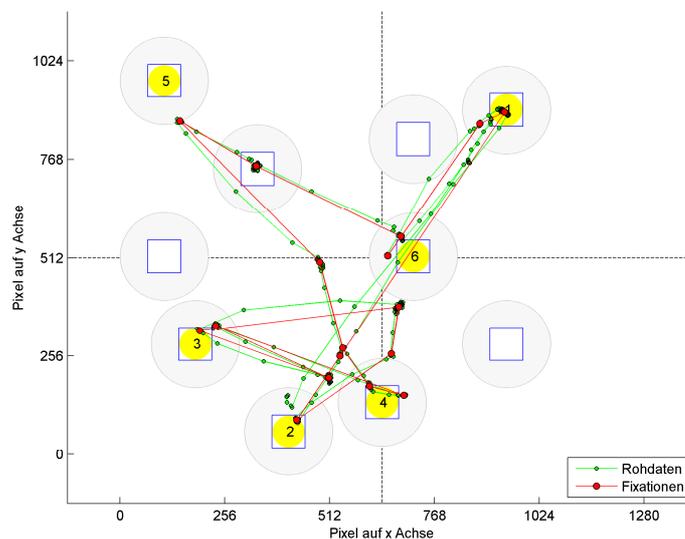


Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung einer Enkodierungsphase für einen *subtrial* des Versuchsteils 2 mit einer Sequenz von 6 Punkten; Die Achsen zeigen die Positionen (in Pixel) des Präsentationsmusters auf dem Bildschirm. Durch die Zahlen in den Kreisen wird deren Position in der Sequenz angegeben. In grüner Farbe sind die Rohdaten der Augenbewegungen und in roter Farbe die daraus berechneten Fixationen dargestellt. Die grau hinterlegten Kreise um die Quadrate geben die festgelegten Toleranzbereiche an.

In der Darstellung sind sowohl die gemessenen Datenpunkte der Augenbewegungen, d. h. die Rohdaten, wie auch die daraus berechneten Fixationen dargestellt. Für die Berechnung einer Fixation wurden Datenpunkte zusammengefasst, die innerhalb von 120 ms maximal $50^\circ/\text{Sekunde}$ voneinander entfernt lagen. Rohdaten und Fixationen sind in ihrer zeitlichen Abfolge durch Sakkaden verbunden. Um die Quadrate wurde zudem ein Toleranzbereich von $6,63^\circ$ Sehwinkel definiert. Fixationen, die innerhalb dieses Bereichs liegen, gelten in der späteren Auswertung als Kriterium dafür, dass der Proband das entsprechende Quadrat fixierte.

3.2.2 Versuchsteil 2

Im Speziellen wurden die Augenbewegungen von Versuchsteil 2 ausgewertet, da diese bedingt durch den Versuchsablauf sowohl in der Enkodierungs- als auch in der Retentionsphase ausgeführt werden konnten. Hierbei sollte herausgefunden werden, ob Augenbewegungen am *rehearsal*-Prozess in der Retentionsphase beteiligt sind und wie sich diese auf die individuelle AG-Spanne auswirken.

Als Maß dafür, wie viele Augenbewegungen die einzelnen Versuchspersonen ausführten, und folglich wie genau sie die Kreise in der Enkodierungs- und Retentionsphase fixierten, wurden die Distanzen der Fixationen zu den aufgeleuchteten Kreisen herangezogen. Für die Berechnung wurde pro *subtrial* jedem Kreis, in der Reihenfolge in der dieser in der Sequenz gezeigt wurde, die jeweils räumlich nächste Fixation zugeordnet und die Distanz zwischen dieser Fixation und dem Mittelpunkt des Kreises berechnet. Jede Fixation wurde hierbei nur einmal verwendet. Bei der Zuordnung der Fixationen zu den Kreisen wurde in der Enkodierungsphase die erste Fixation ausgeschlossen, da diese aufgrund des zuvor gezeigten Fixationskreuzes in der Mitte des Bildschirms lag (siehe Abbildung 9, erste Fixation). Für beide Phasen, die Enkodierungs- und Retentionsphase, wurden schließlich die Fixationsdistanzen über alle erfolgreich wiedergegebenen *subtrials* einer Versuchsperson gemittelt. Eine durchschnittlich kleine Fixationsdistanz bedeutet, dass die Versuchsperson viel Okulomotorik einsetzte. In Abbildung 9 sind die durchschnittlichen Distanzen (in Pixel) der Enkodierungs- und Retentionsphase für alle 16 Versuchspersonen gegeneinander aufgetragen.

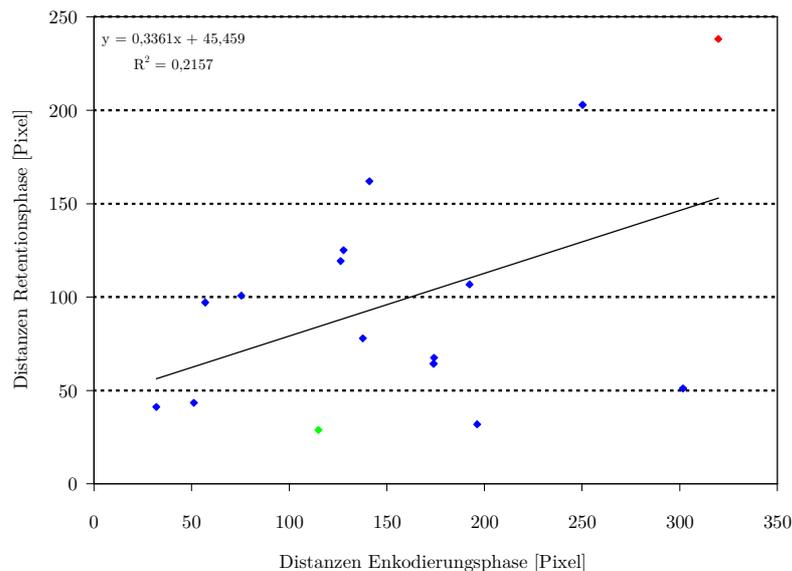


Abbildung 9: Korrelation der mittleren Fixationsdistanzen (in Pixel) der Enkodierungs- und Retentionsphase für alle Versuchspersonen; Die Versuchsperson mit der kleinsten Distanz in der Retentionsphase ist als grüner, die mit der größten Distanz in der Retentionsphase ist als roter Punkt dargestellt. Oben links befinden sich die Gleichung der Regressionsgeraden und der Korrelationskoeffizient R^2 .

Die Fixationsdistanzen lassen erkennen, dass von den insgesamt 16 Versuchspersonen zwölf Personen mehr Augenbewegungen in der Enkodierungs- als in der Retentionsphase ausführten. Abbildung 9 zeigt außerdem, dass ein schwach linearer positiver Zusammenhang zwischen den Distanzen in der Enkodierungs- und der Retentionsphase besteht (Korrelationskoeffizient $R=0,4644$). Das Bestimmtheitsmaß $R^2=0,2157$ gibt in erster Näherung an, wie viel Prozent der Varianz, d. h. Streuung der Fixationsdistanzen der Enkodierungsphase, durch die Streuung der Fixationsdistanzen

der Retentionsphase erklärt werden kann. Demnach werden 21,57 % der gesamten auftretenden Varianz im Hinblick auf einen statistischen Zusammenhang erklärt.

Versuchsperson 1 führte die meisten Augenbewegungen bzw. *rehearsal* in der Retentionsphase, angegeben durch die kleine durchschnittliche Fixationsdistanz von 28,81 Pixeln, aus (Abbildung 9, grüner Punkt). Beispielhaft sind in Abbildung 10 die Enkodierungs- und die Retentionsphase des siebten *subtrials* dieser Versuchsperson dargestellt.

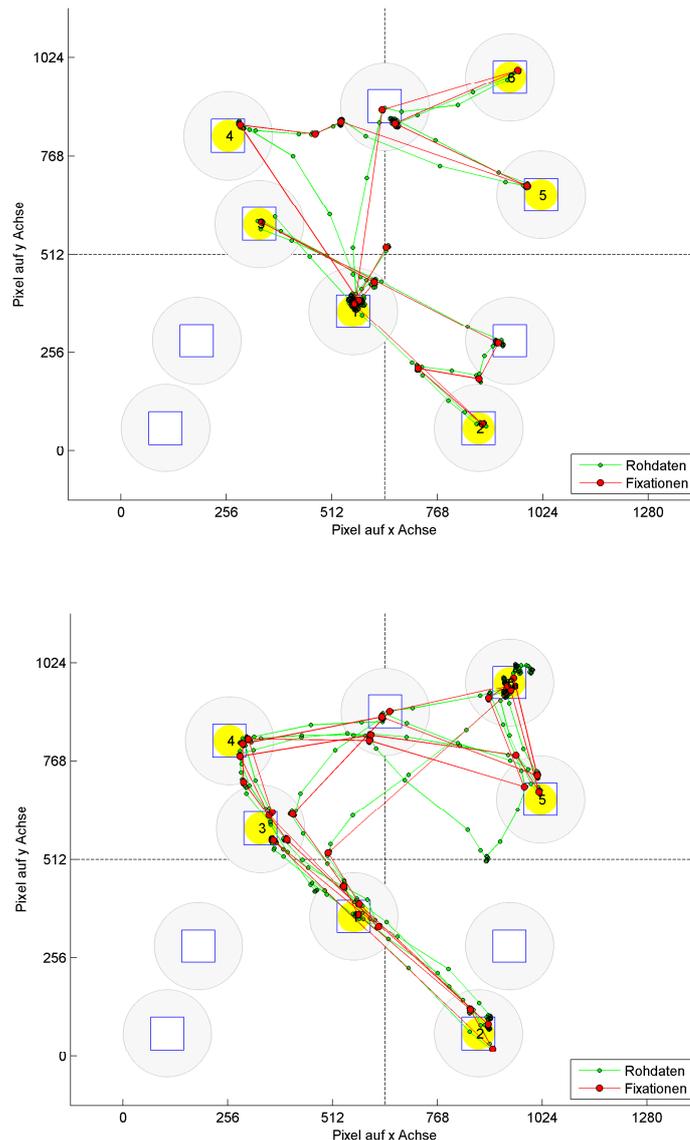


Abbildung 10: Enkodierungs- (oben) und Retentionsphase (unten) von Versuchsperson 1 (*subtrial* 7); Die Achsen zeigen die Positionen (in Pixel) des Präsentationsmusters der Quadrate auf dem Bildschirm. Durch die Zahlen in den aufgeleuchteten Kreisen wird deren Position in der Sequenz angegeben. Es sind sowohl die Rohdaten der Augenbewegungen (grün) als auch die daraus berechneten Fixationen (rot) dargestellt.

Abbildung 10 zeigt, dass von Versuchsperson 1 in der Enkodierungs- und Retentionsphase viele Augenbewegungen verwendet wurden, um die Kreise der Sequenz anzuschauen. Die durchschnitt-

liche Fixationsdistanz von 29,14 Pixeln in der Enkodierungsphase ist ähnlich klein wie die Distanz in der Retentionsphase von 28,81 Pixeln.

Versuchsperson 16 erreichte mit 238,17 Pixeln die durchschnittlich größte Fixationsdistanz in der Retentionsphase aller Versuchspersonen (Abbildung 9; roter Punkt) und führte damit am wenigsten Augenbewegungen aus. In Abbildung 11 sind beispielhaft die Enkodierungs- und Retentionsphase des siebten *subtrials* dargestellt. Die durchschnittliche Fixationsdistanz der Enkodierungsphase beträgt 150,97 Pixel.

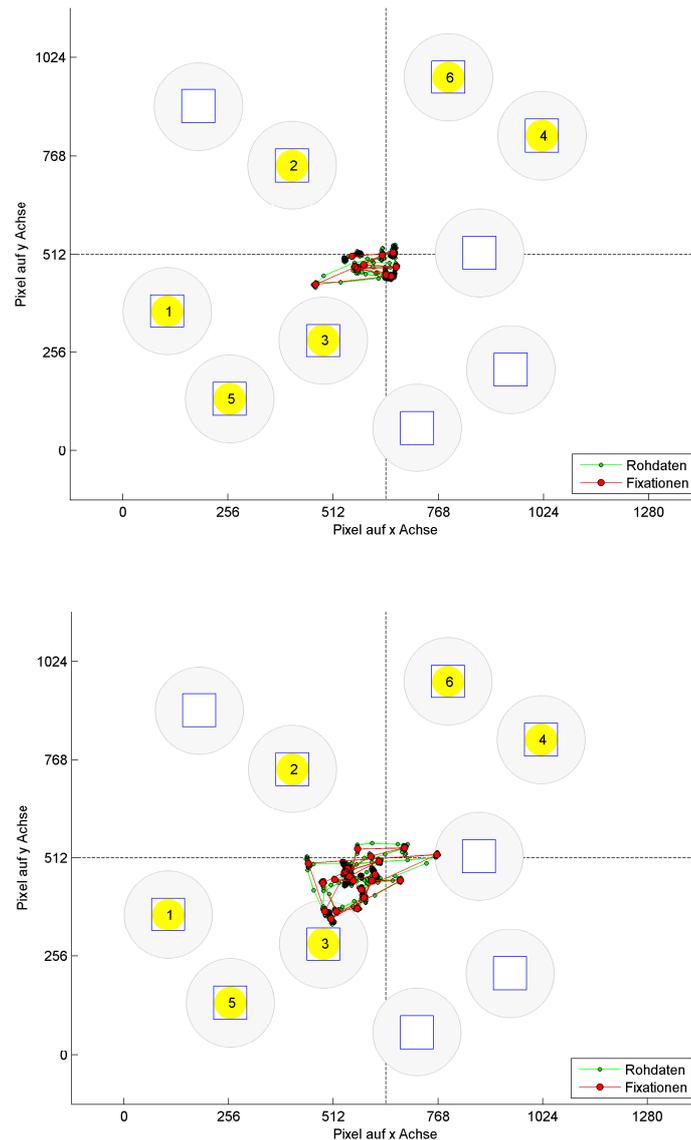


Abbildung 11: Enkodierungs- (oben) und Retentionsphase (unten) von Versuchsperson 16 (*subtrial* 7); Die Achsen zeigen die Positionen (in Pixel) des Präsentationsmusters der Quadrate auf dem Bildschirm. Durch die Zahlen in den Kreisen wird deren Position in der Sequenz angegeben. Es sind sowohl die Rohdaten (grün) der Augenbewegungen sowohl als auch die daraus berechneten Fixationen (rot) dargestellt.

Retentionsphase

Um genauer zu untersuchen, ob die Probanden einen auf Augenbewegungen basierenden *rehearsal*-Prozess in der Retentionsphase ausführten und wie sich individuelle Unterschiede auf die AG-Spannen auswirken, wurden im Speziellen die Augenbewegungsdaten der Retentionsphase des Versuchsteils 2 untersucht. Wie Abbildung 9 zeigt, schwanken die Fixationsdistanzen der Versuchspersonen, welche ein Maß für die ausgeführten Augenbewegungen darstellt, in der Retentionsphase zwischen 28,81 und 238,17 Pixeln. In Abbildung 12 sind diese Distanzen der Größe nach geordnet aufgetragen. Versuchsperson 1, welche die kleinste Fixationsdistanz (28,81 Pixel) erreichte und damit am meisten Augenbewegungen ausführte, hatte bei den erfolgreich wiedergegebenen *subtrials* in 97,92 % der gezeigten Kreise eine Fixation innerhalb des Toleranzbereichs von 6,63 Grad Sehwinkel. Mit steigender Distanz der Versuchspersonen nimmt die relative Anzahl der Fixationen innerhalb des Toleranzbereiches ab. Versuchsperson 16, welche mit 238,17 Pixeln die größte Distanz in der Retentionsphase erreichte, fixierte in den erfolgreich wiedergegebenen *subtrials* nur 33,33 % der gezeigten Kreise. Abbildung 12 zeigt außerdem, dass die Standardabweichungen mit steigender Fixationsdistanz zunehmen.

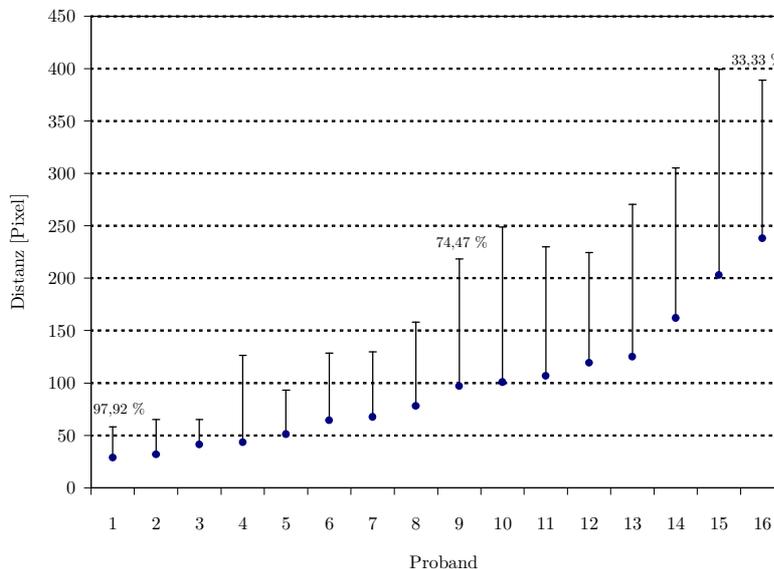


Abbildung 12: Durchschnittliche Fixationsdistanz (in Pixel) der einzelnen Versuchspersonen mit Standardabweichung, geordnet nach der Größe der Distanz in der Retentionsphase; die Prozentzahlen geben an, in wie viel Prozent der gezeigten Kreise (aller erfolgreich wiedergegebenen *subtrials*) eine Fixation innerhalb des Toleranzbereichs lag.

Inwiefern das Ausmaß der Augenbewegungen die relativ zum Versuchsteil 1 erreichten AG-Spannen beeinflusst, zeigt Abbildung 13. Zu sehen ist, dass die prozentualen AG-Spannen der Versuchspersonen zwischen 84 % und 142 % in Relation zur AG-Spanne des ersten Versuchsteils schwanken. Zwischen den Fixationsdistanzen und den prozentualen AG-Spannen besteht ein schwach linearer negativer Zusammenhang (Korrelationskoeffizient $R = -0,2159$). Demnach sinken die individuellen, prozentualen AG-Spannen leicht ab, je weniger Augenbewegungen ausgeführt wurden. Das Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,0466$ gibt an, dass 4,66 % der gesamten auftretenden Varianz im Hinblick auf einen statistischen Zusammenhang erklärt werden können.

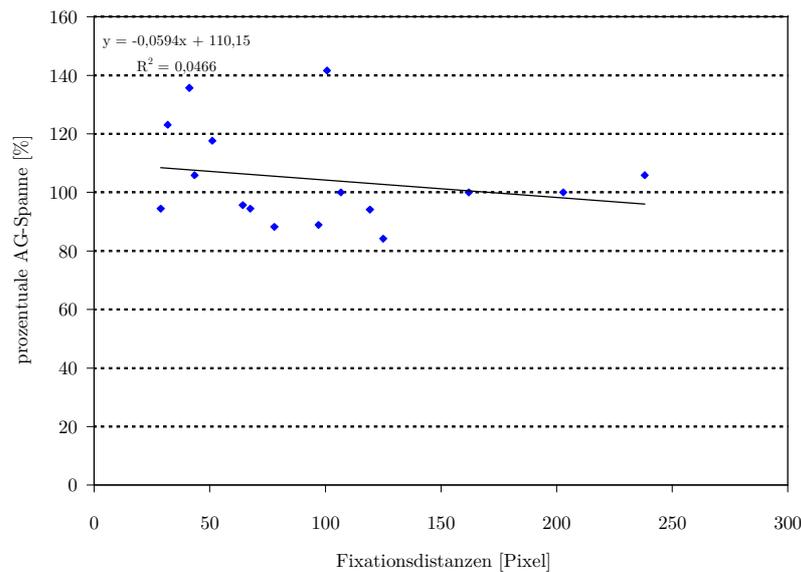


Abbildung 13: Relative AG-Spannen zum Versuchsteil 1 der 16 Versuchspersonen in Abhängigkeit der Fixationsdistanz von der Retentionsphase (Versuchsteil 2). Oben links befinden sich die Gleichung der Regressionsgeraden und der Korrelationskoeffizient R^2 .

Um noch genauer zu untersuchen, ob die Fixationsdistanzen mit den erreichten AG-Spannen zusammenhängen, wurden die Versuchspersonen anhand von Abbildung 12 in zwei Gruppen eingeteilt – Gruppe 1 mit den acht Probanden, welche die kleinsten Fixationsdistanzen aufweisen und damit viele Augenbewegungen in der Retentionsphase ausführten und Gruppe 2 mit den acht Probanden, welche größere Fixationsdistanzen erreichten, d. h. weniger Augenbewegung für das *rehearsal* der Sequenz einsetzten.

Abbildung 14 oben zeigt die gemessenen und normierten AG-Spannen von Gruppe 1. Die durchschnittliche AG-Spanne der Gruppe 1 beträgt im ersten Versuchsteil 6 (sd: 0,76), im zweiten 5,71 (sd: 1,00), im dritten 5,17 (sd: 1,01) und im vierten 3,63 (sd: 0,65) richtig wiedergegebene Kreispositionen. Eine ANOVA über die Werte zeigt, dass es einen signifikanten Einfluss der Bedingung auf die AG-Spanne gibt (ANOVA-One-Way: $F(3,21)=27,629$ $p<0.01$). Die Effektstärke gibt mit $\eta_p^2=0,8$ einen mittelgroßen Effekt an. Der paarweise Vergleich der einzelnen Versuchsteile legt dar, dass die AG-Spannen des vierten Versuchsteils signifikant geringer sind als in allen anderen Versuchsteilen. Im zweiten Versuchsteil wurde zudem durchschnittlich eine signifikant höhere AG-Spanne erreicht, als in Versuchsteil 3. Die jeweiligen Signifikanzniveaus (* : $p<0,05$; ** : $p<0,01$; *** : $p<0,001$) sind im Schaubild angegeben. Für die Normierung der Werte wurde die individuelle AG-Spanne jedes Probanden des ersten Versuchsteils auf 100 % festgelegt und relativ dazu die prozentualen AG-Spannen der anderen Versuchsteile berechnet. Die Gedächtnisspannen fallen durchschnittlich im zweiten Versuchsteil auf 95,50 % (sd: 14,17), im dritten auf 86,77 % (sd: 16,83) und im vierten auf 60,91 % (sd: 10,74).

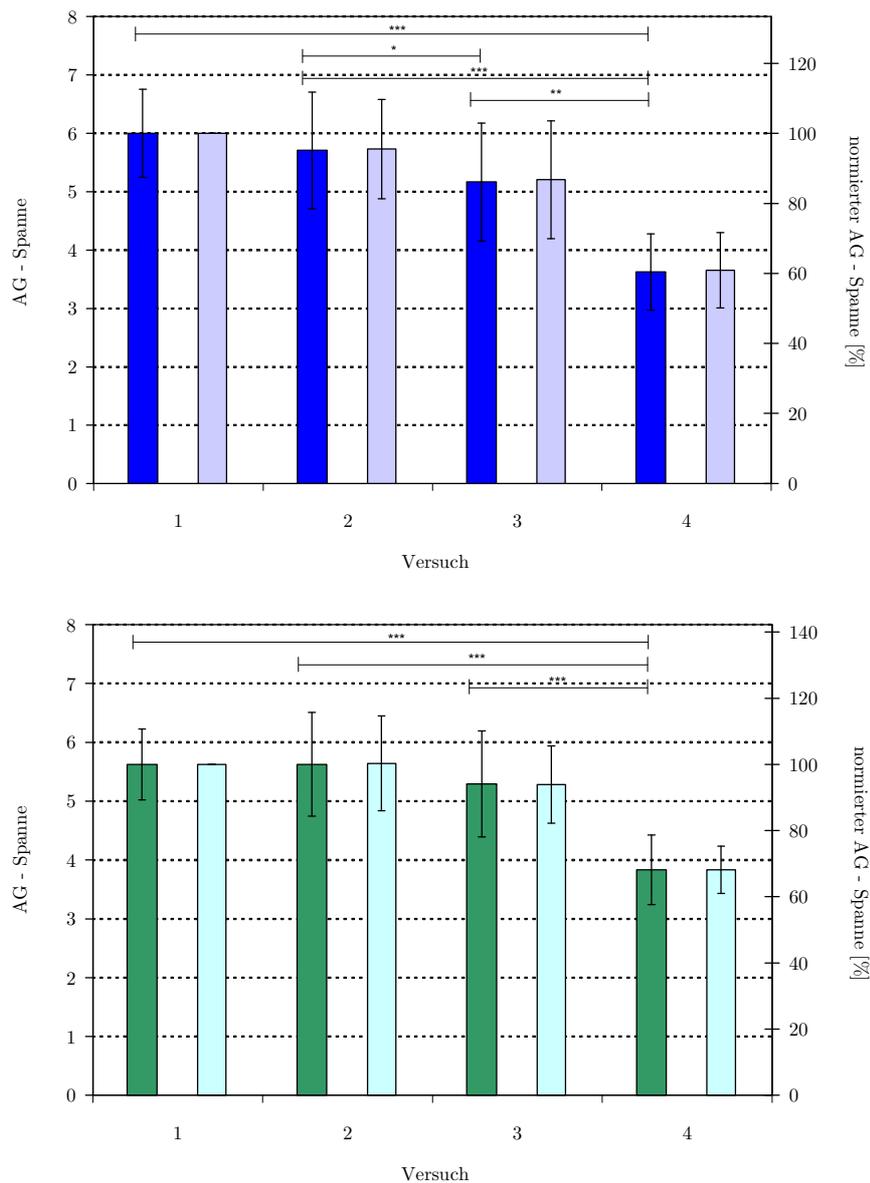


Abbildung 14: Gemittelte (dunkelblau/dunkelgrün) und normierte (hellblau/hellgrün) AG-Spannen der Versuchsteile 1-4. **Oben:** für die acht Versuchspersonen, die kleine Fixationsdistanzen in der Retentionsphase des zweiten Versuchsteils erreichten (Gruppe 1). **Unten:** für die acht Versuchspersonen, welche große Fixationsdistanzen in der Retentionsphase des zweiten Versuchsteils erreichten (Gruppe 2). Die dunkelblauen/dunkelgrünen Balken zeigen die gemessenen AG-Spannen (linke y-Achse) mit Standardabweichungen, die von den Probanden in den Versuchsteilen erreicht wurden. Die hellblauen/hellgrünen Balken zeigen die normierten Werte (rechte y-Achse) mit Standardabweichungen, wobei die individuellen AG-Spannen des ersten Versuchsteils auf 100 % festgelegt wurden.

Abbildung 14 unten zeigt die gemessenen und normierten AG-Spannen von Gruppe 2 von allen Versuchsteilen. Die durchschnittliche AG-Spanne beträgt im ersten Versuchsteil 5,63 (sd: 0,60), im zweiten 5,63 (sd: 0,88), im dritten 5,29 (sd: 0,90) und im vierten 3,83 (sd: 0,59) richtig wiedergegebene Kreispositionen. Eine ANOVA zeigt, dass es einen signifikanten Einfluss der Bedingung auf die AG-Spanne gibt (ANOVA-One-Way: $F(3,21)=30,349$ $p<0.01$). Die Effektstärke gibt mit $\eta_p^2=0,81$ einen mittelgroßen Effekt an. Der paarweise Vergleich lässt erkennen, dass die AG-

Spannen im vierten Versuchsteil signifikant geringer sind als in allen anderen Versuchsteilen (***) : $p < 0.001$). Die normierten Werte steigen im zweiten Versuchsteil auf 100,32 % (sd: 14,35), sinken im dritten auf 93,90 % (sd: 11,68) und im vierten auf 68,13 % (sd: 7,15).

In Abbildung 15 sind die gemittelten und die normierten AG-Spannen aller Versuchsteile für die beiden Gruppen dargestellt. Bei beiden Gruppen nehmen die AG-Spannen von Versuchsteil 1 bis 4 ab. Beim Vergleich der Mittelwerte der einzelnen Versuchsteile zwischen den Gruppen ergab sich in keinem Versuchsteil ein signifikanter Unterschied (Versuchsteil 1: $t(14)=1,097$ $p=0,2911$; Versuchsteil 2: $t(14)=0,177$ $p=0,8621$; Versuchsteil 3: $t(14)=-0,262$ $p=0,7973$; Versuchsteil 4: $t(14)=-0,669$ $p=0,5144$).

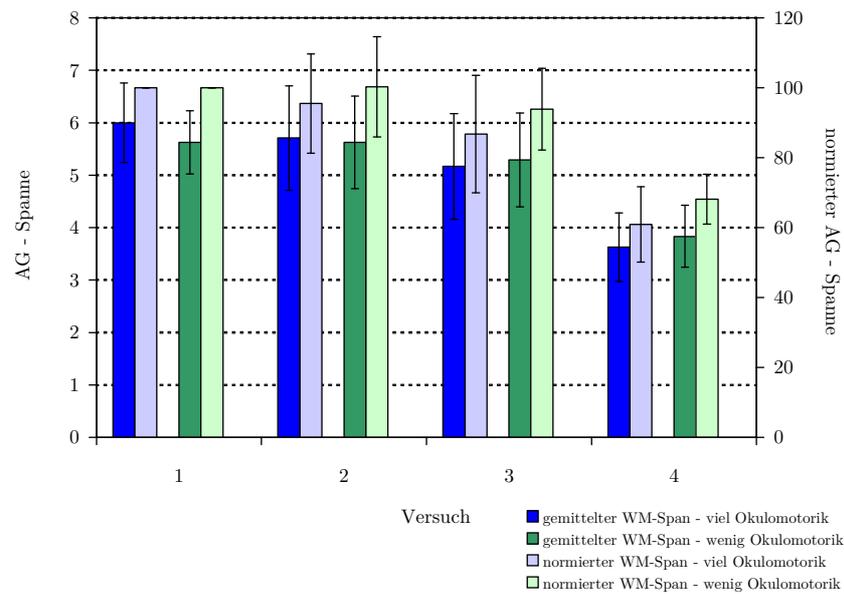


Abbildung 15: Gemittelte und normierte Arbeitsgedächtnisspannen der Versuchspersonen der Versuche 1-4. Die blauen Balken beziehen sich auf die acht Versuchspersonen, welche viel Augenbewegungen in der Retentionsphase ausführten (Gruppe 1), die grünen Balken auf die acht Versuchspersonen, welche wenig Okulomotorik in der Retentionsphase einsetzten (Gruppe 2). Die dunklen Balken zeigen die durchschnittlichen AG-Spannen (linke y-Achse) mit Standardabweichung, die hellen Balken die normierten Werte, wobei die individuellen AG-Spannen des ersten Versuchsteils auf 100% festgelegt wurden (rechte y-Achse).

4 Diskussion

Im Experiment sollte durch die Blockierung von Aufmerksamkeit und/oder Augenbewegungen in der Retentionsphase untersucht werden, wie sich dies auf die AG-Spanne auswirkt und demnach welchen Beitrag diese Prozesse zum *rehearsal* von visuell-räumlicher Information im AG leisten. Im Folgenden werden die Ergebnisse der AG-Spannen der vier Versuchsteile und die Augenbewegungsdaten des Versuchsteils 2, insbesondere der Retentionsphase diskutiert.

4.1 AG-Spannen der vier Teilversuche

Die im Versuchsteil 1 ermittelte, individuelle AG-Spanne der Probanden betrug durchschnittlich 5,81 richtig wiedergegebene Positionen einer Sequenz (Abbildung 7). Da die Retentionsphase nur eine Sekunde andauerte, ist anzunehmen, dass die Informationen noch keinem zeitlichen Verfall unterlagen. Diese Spanne wurde als Referenz verwendet, um den Beitrag von Augenbewegungen und Aufmerksamkeit am *rehearsal*-Mechanismus, d. h. dem Wiederholungsprozess zur längeren Aufrechterhaltung von Information, in den Versuchsteilen 2-4 zu untersuchen.

Die arithmetische Aufgabe im 10-Sekunden-Retentionsintervall des Versuchsteils 4 führte zu einer signifikanten Abnahme der durchschnittlichen AG-Spanne auf 3,73 (Abbildung 7). Da jede Zahl nur 1000 ms sichtbar war und alle zehn Zahlen summiert werden mussten, war es den Probanden kaum möglich, Augenbewegungen oder coverte Aufmerksamkeitsverschiebungen zur Aufrechterhaltung der zuvor gezeigten Kreissequenz auszuführen. Die Abnahme der Gedächtnisspanne durch eine Zweitaufgabe (*dual-task*) während der Aufrechterhaltungsphase, welche Aufmerksamkeit benötigt, ist aus Experimenten bereits bekannt. Smyth (1996), Awh et al. (1998) und weitere zeigten, dass die Verlagerung der Aufmerksamkeit auf eine andere Aufgabe den *rehearsal*-Mechanismus stört und damit die AG-Spanne beeinträchtigt. Die durchschnittliche AG-Spanne spiegelt zudem mit einem Wert von 3,73 die Annahme von Cowan (2000) wieder, der bei einer passiven Speicherung von Information, ohne *rehearsal*, von einer AG-Kapazität von 4 ± 1 Elementen ausgeht. Da in Versuchsteil 2 Augenbewegungen und in Versuchsteil 3 coverte Aufmerksamkeitsverschiebungen in der Retentionsphase durchgeführt werden konnten und die durchschnittlichen AG-Spannen mit 5,67 und 5,23 (Abbildung 7) signifikant größer sind als in Versuchsteil 4, kann daraus geschlossen werden, dass die Probanden ein auf Augenbewegungen und/oder Aufmerksamkeit basierendes *rehearsal* durchführten. Die Gedächtnisspannen der Versuchsteile 1-3 stimmen zudem mit der Kapazität des visuellen Arbeitsgedächtnisses von 7 ± 2 Elementen (Cowan, 2005) überein, wenn *rehearsal* zugelassen wird und Aufmerksamkeit involviert ist.

Während Awh und Jonides (2001) einen rein auf Aufmerksamkeit basierenden *rehearsal*-Mechanismus vorschlugen, gehen Tremblay et al. (2006) und Theeuwes (2009) davon aus, dass Augenbewegungen als ein *rehearsal*-Mechanismus im visuell-räumlichen AG dienen. Die signifikant höhere AG-Spanne von Versuchsteil 2 im Vergleich zu Versuchsteil 3 (Abbildung 7) deutet darauf hin, dass Augenbewegungen zum *rehearsal* beitragen und dass sich eine Blockierung der Augenbewegungen negativ auf das *rehearsal* und damit auf die Wiedergabeleistung der Probanden auswirkt. Dadurch, dass die durchschnittliche AG-Spanne von Versuchsteil 3 mit 5,23 immer noch relativ nahe an dem Wert von Versuchsteil 1 mit 5,81 liegt, konnte ein *rehearsal* auch durch coverte Aufmerksamkeitsverschiebungen (Awh, 2001) stattfinden, wenn mit den Augen kontinuierlich ein Kreuz fixiert wurde. Während Augenbewegungen demnach eine offensichtliche *rehearsal*-Strategie darzustellen scheinen, spielt Aufmerksamkeit eine bedeutende Rolle beim coverten *rehearsal*.

Bereits in einigen Publikationen wurden den Augenbewegungen eine bedeutende Rolle beim *rehearsal* von visuell-räumlichen Informationen zugeschrieben. Diese Annahme begründet sich oft aus Ergebnissen, welche zeigen, dass erzwungene irrelevante Augenbewegungen während der Aufrechterhaltung zu einer starken Abnahme der AG-Leistung führen (Baddeley & Lieberman, 1980; Smyth & Scholey, 1994; Pearson & Sahaie, 2003). Laut Baddeley (1986) läuft der *rehearsal*-Mechanismus, d. h. die Auffrischung der Information aus einem passiven Speicher, im räumlichen AG über einen aktiven Kontrollprozess ab, der in direktem Zusammenhang mit Augenbewegungen steht. Unter der Annahme, dass sich die Aufmerksamkeit immer mit den Augenbewegungen verschiebt, geht Baddeley davon aus, dass nicht die Augenbewegungen, sondern die visuelle Aufmerksamkeit bedeutend für den *rehearsal*-Prozess sein könnte (Baddeley 1986; Postle et al., 2006). Pearson und Sahaie (2003), Tremblay et al. (2006) und Theeuwes et al. (2009) schlossen aus ihren Ergebnissen, dass eine enge Beziehung zwischen visuell-räumlichem AG und Augenbewegungen bestehen muss und dass Augenbewegungen eine bedeutende Rolle beim visuell-räumlichen *rehearsal* zu spielen scheinen. Die Studie von Tremblay et al. (2006) untersuchte im Gegensatz zu den vorigen direkt die Rolle von Okulomotorik am *rehearsal* für visuell-räumliche Informationen. Die Probanden mussten in der Studie eine Sequenz von sieben Punkten, welche nacheinander an verschiedenen Positionen des Bildschirms präsentiert wurden, nach einem 10-Sekunden-Retentionsintervall in der richtigen Reihenfolge wiedergeben. Während der Retentionsphase war das Präsentationsmuster, ebenso wie in den Versuchen dieser Bachelorarbeit, sichtbar. Um ein Maß für das *rehearsal* zu ermitteln, wurde anhand der Augenbewegungsdaten untersucht, wie viele Punkt-paare, welche nacheinander in der Punktsequenz zu sehen waren, in derselben Reihenfolge während der Retentionsphase fixiert wurden. Je mehr Punkt-paare durch augenbewegungs-basiertes *rehearsal* aufgefrischt wurden, desto besser war die anschließende Wiedergabe der Sequenz. Tremblay et al. (2006) deuten dies als Hinweis, dass die Probanden freie Augenbewegungen als eine effektive *rehearsal*-Strategie einer *to-be-remembered* Sequenz verwenden.

4.2 Augenbewegungsdaten

Um die Bedeutung von Augenbewegungen anhand unserer Daten genauer zu untersuchen, wurde als Maß für das *rehearsal* für jede Versuchsperson eine durchschnittliche Distanz (aller erfolgreich wiedergegebenen *subtrials*) der Retentions- und Enkodierungsphase des Versuchsteils 2 berechnet (Abbildung 9). Mit diesem Maß kann die Menge der ausgeführten Augenbewegungen der Versuchspersonen verglichen und untersucht werden, ob ein Zusammenhang mit der AG-Leistung besteht. Der signifikante Unterschied der AG-Spannen von Versuchsteil 2 und 3 (Abbildung 7) deutet darauf hin, dass Augenbewegungen dem *rehearsal* dienen. Wenn dies so ist, stellt sich jedoch die Frage, warum die Fixationsdistanzen in der Retentionsphase und damit die Menge der ausgeführten Augenbewegungen bei den Versuchspersonen sehr stark schwankten und zwischen 28,81 Pixeln und 238,17 Pixeln (Abbildung 12) liegen. Saint-Aubin et al. (2007) zeigten in ihrer Studie ebenfalls, dass trotz der offensichtlich förderlichen Strategie des *rehearsals* durch Augenbewegungen, nicht alle Probanden gleich viele Augenbewegungen ausführten. Die zunehmende Standardabweichung mit steigender Fixationsdistanz (Abbildung 12) könnte zudem eventuell auf eine Unsicherheit der Probanden hinweisen, ob Augenbewegungen in der Retentionsphase förderlich sind. Ebenfalls könnten Strategiewechsel zwischen den *subtrials* stattgefunden haben.

Zur genaueren Untersuchung, welche Bedeutung die Menge der ausgeführten Augenbewegungen hat, wurden die Probanden anhand der Distanzen der Retentionsphase (Abbildung 12) in zwei Gruppen unterteilt – die erste Gruppe bestehend aus Versuchspersonen mit geringen Fixations-

distanzen und damit viel Okulomotorik; die zweite Gruppe bestehend aus Probanden mit größeren Fixationsdistanzen und folglich weniger Okulomotorik.

Die signifikant höhere AG-Spanne von Versuchsteil 2 im Vergleich zum Versuchsteil 3 der Gruppe 1 (Abbildung 14, oben) weist auf die Hypothese hin, dass Augenbewegungen förderlich für das *rehearsal* sind. Da die Probanden in Gruppe 1 viele Augenbewegungen ausführten und die Annahme besteht, dass sie Augenbewegungen für das *rehearsal* benötigen, scheint es einleuchtend, dass eine Blockierung der Augenbewegungen in Versuchsteil 3 zu einer geringeren AG-Spanne führt. Die Ergebnisse von Gruppe 2 (Abbildung 14, unten) zeigen, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den AG-Spannen der Versuchsteile 2 und 3 besteht. Dies könnte dadurch zustande kommen, dass die Versuchspersonen insgesamt relativ wenige Augenbewegungen während der Retentionsphase von Versuchsteil 2 ausführten. Bei der Fixation auf das Kreuz in Versuchsteil 3 wurden ebenfalls kaum Augenbewegungen ausgeführt, wodurch sich erklären lässt, warum sich zwischen den Versuchsteilen kein signifikanter Unterschied ergibt.

Zwischen Gruppe 1 und 2 konnten in keinem Versuchsteil signifikante Unterschiede gefunden werden (Abbildung 16). Wenn jedoch Augenbewegungen förderlich für den *rehearsal*-Mechanismus sind, wäre zu erwarten gewesen, dass Gruppe 1 in Versuchsteil 2 eine signifikant höhere durchschnittliche AG-Spanne erreicht als Gruppe 2, welche weniger Augenbewegungen zum *rehearsal* verwenden. Dadurch, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den AG-Spannen der Gruppe 1 und 2 bestehen, könnte auch eine Hypothese, gegensätzlich zur bisherigen Annahme, herangezogen werden. Demnach könnte dies darauf hinweisen, dass *rehearsal* durch Augenbewegungen nicht besser als *rehearsal* durch covert Aufmerksamkeit ist. Der Grund, warum einige Versuchspersonen mehr Augenbewegungen ausführten, während andere dies nicht tun, könnte an der Tatsache liegen, dass während der Retentionsphase das Präsentationsmuster der Blöcke sichtbar war und dies die Ausführung von Augenbewegungen motiviert. Unterstützend für diese Annahme fanden Pearson und Sahraie (2003) heraus, dass Probanden trotz der Möglichkeit freie Augenbewegungen auszuführen, dies kaum machten, wenn in der Retentionsphase das Präsentationsmuster nicht sichtbar war.

Ein rein auf Aufmerksamkeit basierter *rehearsal*-Mechanismus wurde von Ed Awh (2000/2001) vorgeschlagen. Nach seiner Theorie sind aktive covert Verschiebungen der räumlichen Aufmerksamkeit zu Orten, an denen die Information gespeichert ist, an der Aufrechterhaltung von visuell-räumlicher Information beteiligt und führen dazu, dass Positionen im AG besser behalten werden können. Ergebnisse einer aktuellen Studie von Godijn und Theeuwes (2011) unterstützen diese Ansicht und zeigen, dass Augenbewegungen im Vergleich zu coverten Aufmerksamkeitsverschiebungen keinen Vorteil für die Aufrechterhaltung räumlicher Positionen bieten. Godijn und Theeuwes halten die Experimente, welche zeigten dass erzwungene, irrelevante Augenbewegungen eine Minderung der AG-Spanne (u. a. Pearson & Sahraie 2003) herbeiführen, für methodisch kritisch, da direkt das Augenbewegungsverhalten manipuliert wurde.

Richardson und Spivey (2000) interpretierten die Tatsache, dass Probanden nach der Enkodierung von Information regelmäßig Augenbewegungen zwischen den Positionen machen, obwohl die Informationen nicht mehr vorhanden sind, als eine Unterstützung der Hypothese von O'Regan (1992), welcher die Umwelt als einen externen Gedächtnisspeicher betrachtet. Nach der Ansicht von O'Regan bieten Augenbewegungen zu den memorisierten Positionen bessere Informationen als eine interne Suche im Gedächtnis durch Aufmerksamkeit. Richardson und Spivey (2000) fanden jedoch heraus, dass dies zu keiner Verbesserung der Arbeitsgedächtnisleistung führte. Die Tatsache, dass die Versuchspersonen unterschiedlich viele Augenbewegungen während der Retentionsphase ausführten, jedoch keine Verbesserung der AG-Spanne erreicht wurde, lässt demnach vermuten, dass

Versuchspersonen unterschiedliche *rehearsal*-Strategien, basierend auf coverten Aufmerksamkeitsverschiebungen oder Augenbewegungen anwenden.

Ein rein auf Aufmerksamkeit basierendes *rehearsal* kann zwar erklären, warum die beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede in ihren AG-Spannen zeigen; es erklärt jedoch nicht, warum bei den AG-Spannen aller Versuchspersonen ein signifikanter Unterschied zwischen den Versuchsteilen 2 und 3 besteht. Deutlich ist, dass *rehearsal*, wie in Versuchsteil 3 zu sehen, auch durch coverten Aufmerksamkeitsverschiebung stattfinden kann. Inwiefern und ob Augenbewegungen wirklich zu einer Verbesserung der AG-Leistung führen, muss in weiteren Experimenten untersucht werden.

4.3 Ausblick

Angenommen Augenbewegungen tragen zum *rehearsal* bei, dann könnten die fehlenden signifikanten Unterschiede zwischen Gruppe 1 und 2 darauf zurückzuführen sein, dass in jede Gruppe nur die Daten von acht Probanden eingingen. Bei weiteren Versuchen sollte demnach eine größere Stichprobe verwendet werden. Mehr Probanden würden auch, wie in Seegmiller (2011) ermöglichen, das obere und unter Viertel der Probanden bzgl. des Zusammenhangs zwischen Fixationsdistanz und AG-Spanne zu untersuchen, um eventuell deutlichere Effekte zu erhalten. Geht man davon aus, dass Personen, welche Augenbewegungen ausführen, über mehr Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses verfügen und es daher möglich ist Aufmerksamkeit zu teilen, sollten diese Versuchspersonen eine höhere AG-Spanne haben. Das verwendete Maß für das *rehearsal* anhand der Fixationsdistanzen könnte ebenfalls kein gutes Maß darstellen. Um das verwendete Maß zu überprüfen, wurde noch ein anderes Maß - die durchschnittliche Sakkadenlänge - ermittelt (Abbildung 16).

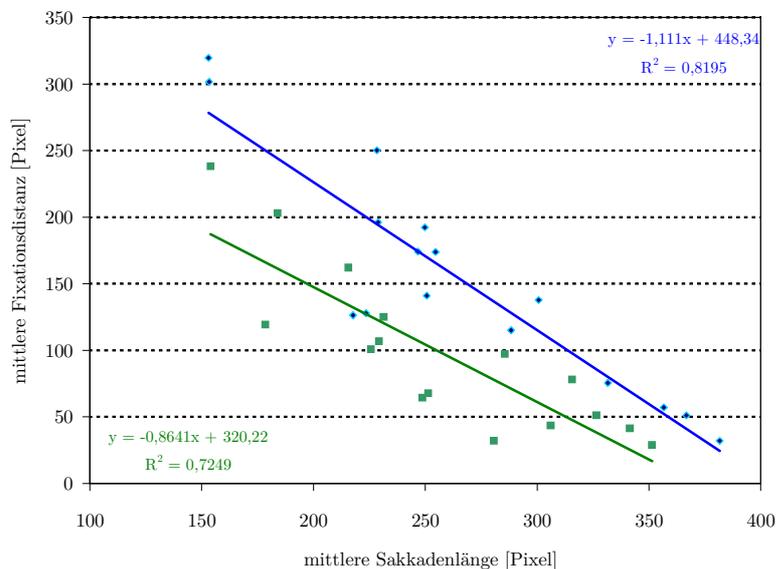


Abbildung 16: Mittlere Fixationsdistanz in Abhängigkeit der mittleren Sakkadenlänge für die Retentionsphase (grün) und die Enkodierungsphase (blau) von Versuchsteil 2.

Hierfür wurde für jeden *subtrial*, unabhängig, ob die anschließende Wiedergabe erfolgreich oder erfolglos war, jeweils für die Enkodierungs- und Retentionsphase die durchschnittliche Sakkadenlänge berechnet und anschließend über alle *subtrials* gemittelt. Diese Werte lassen ebenfalls auf die Menge der ausgeführten Augenbewegungen schließen. Abbildung 16 zeigt, dass das Maß der Sakka-

denlänge mit dem verwendeten Maß der Fixationsdistanz korreliert. Am Maß der Sakkadenlänge ist jedoch kritisch anzumerken, dass auch die erfolglos wiedergegeben *subtrials* eingingen. Laut Godjin (2011) kann jedoch bei erfolglosem Enkodieren auch in der Retentionsphase kein angemessenes *rehearsal* stattfinden, wodurch u. a. auch die Augenbewegungen beeinflusst werden. Es besteht die Möglichkeit, dass ein anderes Maß als die beiden ermittelten Maße, zu einer besseren Unterteilung der Probanden führen könnte.

Eine Beeinflussung der Augenbewegungen könnte ebenfalls durch die Tatsache herbeigeführt worden sein, dass die Probanden bereits vor der Enkodierungsphase wussten, ob sie in der Retentionsphase Augenbewegungen ausführen dürfen (Versuchsteil 2) oder ein Kreuz fixieren müssen (Versuchsteil 3). Dies könnte einen Einfluss auf die Enkodierung anhand von Augenbewegungen geführt haben. Godjin und Theeuwes (2011) verhinderten dies, indem den Probanden erst nach der Enkodierungsphase durch ein Farbkreis angezeigt wurde, welche Aufgabe sie in der Retentionsphase auszuführen hatten. Des Weiteren zeigen die Bilder der visualisierten Augenbewegungsdaten, dass trotz der Anweisung in Versuchsteil 3 ein Kreuz in der Bildschirmmitte zu fixieren, teilweise Augenbewegungen ausgeführt wurden. Sogar während der arithmetischen Aufgabe in der Retentionsphase von Versuchsteil 4, war es einigen Probanden möglich zum Teil Augenbewegungen auszuführen. Könnte man sicherstellen, dass Augenbewegungen in diesen beiden Teilen nicht ausgeführt werden, würde der Beitrag von Augenbewegungen eventuell noch deutlicher werden.

A Einverständniserklärung

Einverständniserklärung

Hiermit erkläre ich mich bereit, an dem CORSI-Experiment zum Testen der Leistung des Arbeitsgedächtnisses beim Menschen teilzunehmen. Ich bin darüber aufgeklärt worden, dass meine Augenbewegungen während des Experimentes nicht-invasiv aufgezeichnet werden.

Das Experiment kann zu jedem Zeitpunkt und ohne Begründung gegenüber dem Versuchsleiter abgebrochen werden.

Datum: _____

Name der VP: _____

Unterschrift:

B Matlab-Skripte / Versuchsdaten

CD:

- Matlab-Skripte der Versuchsteile 1-4 & Auswertungsskript
- Versuchsdaten aller Probanden

Literaturverzeichnis

- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, 2: 89-195.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Scientific American*, 225(2): 82-90.
- Awh, E., Jonides, J., & Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24: 780-790.
- Awh, E., Anillo-Vento, L., & Hillyard, S. A. (2000). The role of spatial selective attention in working memory for locations: Evidence from Event Related Potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(5): 840-847.
- Awh, E., & Jonides, J. (2001). Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(3): 119-126.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. J., (1974). Working Memory. In G. A. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, Vol. 8: 47-90. New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D., & Lieberman, K. (1980). Spatial working memory. In R. Nickerson (Ed.), *Attention and performance*, VIII: 521-539. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. New York: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 49A: 5-28.
- Baddeley, A. D., & Repovs, G. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139: 5-21.
- Beauchamp, M. S., Petit, L., Ellmore, T. M., Ingeholm, J., & Haxby, J. V. (2001). A parametric fMRI study of overt and covert shifts of visuospatial attention. *NeuroImage*, 14: 310-321.
- Berghus, C. (2011). Die Rolle der selektiven Aufmerksamkeit bei der Aufrechterhaltung zeitlich-räumlicher Repräsentationen im CORSI-Block-Tapping Experiment, Bachelorarbeit, Universität Tübingen
- Cowan, N. (2000). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1): 87-114.
- Cowan, N. (2005). Working memory capacity. Hove, England: Psychology Press.
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working-memory? *Progress in Brain Research*, 169: 323-338.
- Corsi, P. M. (1973). *Human memory and the medial temporal region of the brain*. Doctoral thesis. Department of Psychology, McGill University Montreal.
- Chelazzi, L., Biscaldi, M., Corbetta, M., Peru, A., & Berlucchi, G. (1995). Oculomotor activity and visual spatial attention. *Behavioural and Brain Research*, 71: 81-88.

- Corbetta, M., Akbudak, E., Conturo, T. E., Snyder, A.Z., Ollinger, J. M. & Drury, H. A. et al. (1998). A common network of functional areas of attention and eye movements. *Neuron*, 21: 761-773.
- Deubel, H., & Schneider, W. X. (1996). Saccade target selection and object recognition: Evidence for a common attentional mechanism. *Vision Research*, 36(12), 1827-1837.
- Godijn, R., & Theeuwes, J. (2011). Overt is no better than covert when rehearsing visuo-spatial information in working memory. *Memory and Cognition*, 1-10.
- Gruber, T. (2011). *Gedächtnis*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hoffmann, J. E. & Subramaniam, B. (1995). Saccadic eye movements and visual selective attention. *Perception & Psychophysics*, 57: 787-795.
- Idzikowski, C., Baddeley, A. D., Dimpleby, R. D., & Park, S. (1983). Eye movements and imagery. Paper presented to the Experimental Psychology Society, April, 1983.
- James, W. (1890). *Principles of Psychology*. New York: Holt.
- Johnson, P. (1982). The functional equivalence of imagery and movement. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 34A: 349-365.
- Kowler, E., Anderson, E., Doshier, B. & Blaser, E. (1995). The role of attention in the programming of saccades. *Vision Research*, 35(13): 1897-1916.
- Lawrence, B. M., Myerson, J., Oonk, H. M., & Abrams, R. A. (2001). The effects of eye and limb movements on working memory. *Memory*, 9(4-6): 433-444.
- Logie, R. H. (1986): Visuo-spatial processing in working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 38: 229-248.
- Logie, R. H., & Marchetti, C. (1991). Visuo-spatial working memory: Visual, spatial or central executive? In: *Mental images in human cognition* (Logie R.H. & Denis M., eds): 105-115. Amsterdam: North Holland Press.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove, UK: Erlbaum.
- Miyake, A., & Shah, P. (1999). *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Myers, D. G. (2008). *Psychologie*. Heidelberg: Springer Verlag.
- O'Regan, J. K. (1992). Solving the "real" mysteries of visual perception: The world as an outside memory. *Canadian Journal of Psychology*, 46: 461-488.
- Pearson, D. G., Logie, R. H., & Gilhooly, K. (1999). Verbal representations and spatial manipulation during mental synthesis. *European Journal of Cognitive Psychology*, 11: 295-314.
- Pearson, D. G., & Sahraie, A. (2003). Oculomotor control and the maintenance of spatially and temporally distributed events in visuo-spatial working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 56A: 1089-1111.

- Postle, B. R., Idzikowski, C., Sala, S. D., Logie, R. H., & Baddeley, A. D. (2006). The selective disruption of spatial working memory by eye movements. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 59(1): 100-120.
- Richardson, D. C., & Spivey, M. J. (2000). Representation, space and Hollywood Squares: Looking at things that aren't there anymore. *Cognition*, 76: 296-295.
- Rizzolatti, G., Riggio, L., Dascola, I., & Umiltà, C. (1987). Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: Evidence in favour of a premotor theory of attention. *Neuropsychologia*, 25: 31-40.
- Saint-Aubin, J. et al. (2007). Eye Movements and Serial Memory for Visual-Spatial Information – Does Time Spent Fixating Contribute to Recall? *Experimental Psychology*, 54(4): 264-272.
- Seigmiller, J. K., Watson, J. M., Strayer D. L. (2011). Individual Differences in Susceptibility to Inattentive Blindness. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(3): 785-791.
- Smyth, M. M., Pearson N. A., & Pendleton, L. R. (1988). Movement and working memory: Patterns and positions in space. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 40A: 497-514.
- Smyth, M. M., & Pendleton, L. R. (1989). Working memory for movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 41A: 235-250.
- Smyth, M. M., & Scholey, K. A. (1994). Interference in spatial immediate memory. *Memory and Cognition*, 22: 1-13.
- Smyth, M. M. (1996). Interference with rehearsal in spatial working memory in the absence of eye movements. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 49A: 940-949.
- Schmidt, B. K., Vogel, E. K., Woodman, G. F. & Luck, S. J. (2002). Voluntary and automatic attentional control of visual working memory. *Perception & Psychophysics*, 64(5): 754-763.
- Tremblay, S., Saint-Aubin, J., & Jalbert, A. (2006). Rehearsal in serial memory for visual-spatial information: Evidence from eye movements. *Psychonomic Bulletin and Review*, 13: 452-457.
- Theeuwes, J., Belopolsky, A., Olivers, C. N. L. (2009). Interactions between working memory, attention and eye movements. *Acta Psychologica*, 132: 106-114.
- Wolf, R. C., Walter, H. (2008). Arbeitsgedächtnis – Psychologie. *Neuropsychologie der Schizophrenie*: 231-241.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei der Arbeitsgruppe „Kognitive Neurowissenschaft“ für den Einblick in die zahlreichen laufenden Projekte bedanken. Ein ganz besonderer Dank geht an Gregor, der mir in den letzten, überaus lehrreichen Monaten die Wissenschaft näher gebracht hat und mit viel Verständnis und Geduld ein vorbildlicher Betreuer war.

Des Weiteren bedanke ich mich bei all denen, die bereit waren, als Probanden beim CORSI-Block-Tapping Experiment zu fungieren und dadurch zu dieser Bachelorarbeit beigetragen haben.

Ein herzliches Dankeschön auch an meine Familie und Freunde, insbesondere an Elle, die mir seit Jahren in allen Lebenslagen eine große Stütze ist.

And last but not least, thanks to Christina. Vielen Dank für die vielen konstruktiven Diskussionen über unser Bachelorarbeitsthema, den moralischen Beistand und die zahlreichen Aufmunterungen, die den Uni-Alltag erheitert haben.