

**Die Rolle der selektiven Aufmerksamkeit  
bei der Aufrechterhaltung zeitlich-  
räumlicher Repräsentationen im CORSI-  
block-tapping Experiment**

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

**vorgelegt von**

**Berghus, Christina**

**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



## **Danksagung**

Zunächst möchte ich mich bei allen Mitarbeitern und Studenten am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaften bedanken, die mir bei der Bearbeitung dieser Bachelorarbeit geholfen haben, sowie den Probanden, die sich bereit erklärt haben an dem Experiment teilzunehmen.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinem Betreuer Dr. Gregor Hardieß, der durch seinen Einsatz, seine Geduld und seine Hilfsbereitschaft diese Bachelorarbeit überhaupt möglich gemacht hat.

Ich möchte mich darüber hinaus bei meiner Familie und Mark bedanken, die mich immer unterstützt haben und mir mit Rat und Tat zur Seite standen.

Zuletzt möchte ich mich bei Anne bedanken, DANKE.



## Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sollte die Beteiligung von Augenbewegungen und coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen an der Aufrechterhaltung (engl. *rehearsal*) von im Arbeitsgedächtnis gespeicherter, zeitlich-räumlicher Information untersucht werden. Bisherige Experimente weisen auf einen Beitrag beider Prozesse am *rehearsal* hin, da zusätzliche Augenbewegungen oder Aufmerksamkeitsverlagerungen, zu nicht im Arbeitsgedächtnis gespeicherten Orten die Arbeitsgedächtnisspanne mindern. Im Gegensatz dazu wurden in den Versuchen dieser Bachelorarbeit Augenbewegungen und Aufmerksamkeitsverlagerungen durch *dual tasks* blockiert, die eine Reduktion der Arbeitsgedächtnisspanne bewirken sollten. Angelehnt an den CORSI-block-tapping test wurden vier Versuche konzipiert, die sich in ihren *retention*-Phasen unterschieden. In Versuch 1 betrug die Dauer der *retention*-Phase eine Sekunde, weshalb kein *rehearsal* ausgeführt werden musste, da die gespeicherte Information keinem zeitlichen Verfall unterlag. Im Gegensatz dazu wurden die *retention*-Phasen in den Versuchen 2, 3 und 4 verlängert, damit die gespeicherte Information durch *rehearsal* aufrecht erhalten werden musste. In Versuch 2 konnten sowohl Augenbewegungen als auch coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen als *rehearsal* eingesetzt werden. In Versuch 3 konnten durch die Anweisung an die Probanden, ein präsentiertes Fixationskreuz kontinuierlich anzuschauen, lediglich coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen dem *rehearsal* dienen. In Versuch 4 konnten weder coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen noch Augenbewegungen zum *rehearsal* beitragen, da in der *retention*-Phase eine arithmetische Aufgabe gelöst werden musste.

Der Beitrag von Augenbewegungen und coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen am *rehearsal* wurde durch die Analyse der Arbeitsgedächtnisspannen der Versuche 1 bis 4, sowie des Einsatzes von Augenbewegungen in der *retention*-Phase von Versuch 2, beurteilt.

Die Ergebnisse zeigen, dass coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen für das *rehearsal* seriell präsentierter, visuell-räumlicher Information von großer Bedeutung sind. Der Einsatz von Augenbewegungen als *rehearsal* variierte unter den Versuchspersonen. Eine eindeutige Aussage zum Beitrag von Augenbewegungen für das *rehearsal* konnte, basierend auf den Arbeitsgedächtnisspannen, nicht getroffen werden.



# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
	Gedächtnismodell.....	1
	Das Arbeitsgedächtnis .....	2
	Baddeley und Hitches „multi-component model of working memory“ ...	3
	Cowans „embedded-processes-model“ .....	5
	Die Arbeitsgedächtnisspanne.....	6
	Rehearsal visuell-räumlicher Information im Arbeitsgedächtnis.....	7
	Wissenschaftliche Fragestellung.....	10
2	Eigenanteil der Gruppenarbeit .....	11
3	Material und Methoden .....	13
3.1	Versuchspersonen.....	13
3.2	Apparatur .....	13
	Software & Hardware.....	13
	Aufbau .....	14
3.3	Experiment — Aufbau und Verlauf .....	14
	Gemeinsamkeiten der Versuche 1 bis 4.....	15
	Unterschiede der Versuche 1 bis 4.....	17
4	Ergebnisse .....	19
4.1	Arbeitsgedächtnisspanne aller Versuchspersonen.....	19
4.2	Augenbewegungen.....	20
4.3	Arbeitsgedächtnisspanne der Gruppen.....	25
5	Diskussion .....	29
5.1	Arbeitsgedächtnisspanne aller Versuchspersonen.....	29
5.2	Augenbewegungen.....	31
5.3	Arbeitsgedächtnisspanne der Gruppen.....	32
5.4	Ausblick und Ergänzungen des Experiments.....	33
	Anhang .....	35
	Literaturverzeichnis .....	37



# 1 Einleitung

„An event is such a little piece of time and space, leaving only a mindglow behind like the tail of a shooting star. For lack of a better word, we call that scintillation memory“ (Ackerman, 2004).

Ein Forschungsthema der Kognitiven Neurowissenschaften ist das Gedächtnis. Gruber (2011) definiert das Gedächtnis als „Prozesse und Systeme, die für die Einspeicherung [engl. encoding], die Aufbewahrung [engl. retention], den Abruf [engl. retrieval] und die Anwendung von Informationen zuständig sind, sobald die ursprüngliche Quelle der Information nicht mehr verfügbar ist“. Als Informationen werden alle Arten von Sinneswahrnehmungen, autobiographische und allgemein gültige Informationen sowie spezifische Fertigkeiten verstanden.

## Gedächtnismodell

Das Gedächtnis stellt kein einheitliches System dar. Es kann in einzelne Komponenten unterteilt werden, wie es beispielsweise Atkinson und Shiffrin (1968) in dem *multi store model of memory* vorschlagen (Abb. 1).

Basierend auf der Dauer, über die Information in den Komponenten des Gedächtnisses aufrechterhalten werden kann, unterscheiden sie zwischen dem Sensorischen Gedächtnis, dem Kurzzeitgedächtnis und dem Langzeitgedächtnis.

Zunächst wird sensorische Information im **Sensorischen Gedächtnis** (Ultrakurzzeitgedächtnis, engl. sensory memory) gespeichert. Ein Beispiel für sensorische Information sind Lichtreize, für die Stäbchen und Zapfen der Retina sensitiv sind. Nachgeschaltete Prozesse, die der Aufmerksamkeit unterliegen, identifizieren Information im Sensorischen Gedächtnis, wandeln sie in permanente Repräsentationen um und geben sie an das Kurzzeitgedächtnis weiter. Erfolgen diese Prozesse nicht innerhalb weniger Sekundenbruchteile, verblasst die Information aus den sensorischen Speichern.

Das **Kurzzeitgedächtnis** (engl. short-term memory) ist laut Atkinson und Shiffrin ein weitere Komponente des Gedächtnisses. Sensorische Information wird aufgenommen und kann durch kontinuierliche Wiederholung (engl. rehearsal) für Sekunden bis zu wenigen Minuten aufrechterhalten werden. Informationen können durch den Eingang neuer Information ersetzt werden oder mit Hilfe von *rehearsal* ins Langzeitgedächtnis überführt werden.

Das **Langzeitgedächtnis** (engl. long-term memory) stellt die dritte Komponente des *multi store model of memory* dar. Information muss das Kurzzeitgedächtnis passiert haben, um im Langzeitgedächtnis gespeichert zu werden. Informationen im Langzeitgedächtnis sind permanent gespeichert, so dass kein *rehearsal* für den Erhalt der Information erforderlich ist.

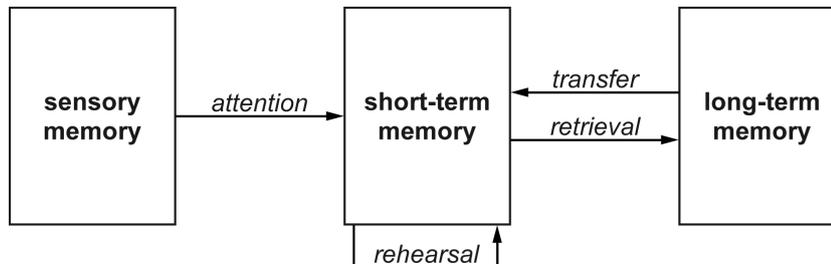


Abb. 1: Das „multi store model of memory“ von Atkinson und Shiffrin (1986) bestehend aus einem Sensorischen Gedächtnis (engl. sensory memory), einem Kurzzeitgedächtnis (engl. short-term memory) und einem Langzeitgedächtnis (engl. long-term memory). verändert nach [www.webstersonlinedictionary.org/images/wiki/wikipedia/commons/b/bf/Multistore\\_model.png](http://www.webstersonlinedictionary.org/images/wiki/wikipedia/commons/b/bf/Multistore_model.png); gesehen am 09.05.2011

Die Idee des Kurzzeitgedächtnisses als einheitliche Komponente, in der Information wiederholt wird, bis sie durch neue ersetzt oder ins Langzeitgedächtnis überführt wird, erwies sich als zu einfach. Auch die Annahme, dass die im Langzeitgedächtnis gespeicherte Information zuerst das Kurzzeitgedächtnis passieren muss, konnte widerlegt werden (Gruber, 2011). Weitere Gedächtnismodelle, die sich näher mit der Komponente des Kurzzeitgedächtnisses auseinandersetzten, entstanden z. B. durch Baddeley und Hitch oder Cowan. Da sich diese Bachelorarbeit ausschließlich mit dem Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis befasst, wird nicht näher auf weitere Gedächtnismodelle des Langzeit- und Sensorischen Gedächtnisses eingegangen.

## Das Arbeitsgedächtnis

Aus dem Konzept des Kurzzeitgedächtnis entwickelte sich das Modell des Arbeitsgedächtnisses, welches ebenso als kurzzeitiger Speicher für Information dient.

Das Arbeitsgedächtnis kann mit Hilfe von mnemonischen Funktionen Information aktiv im Gedächtnis aufrechterhalten, um kognitive Aufgaben bewältigen zu können wie z. B. Sprache zu produzieren und zu verstehen, Probleme zu lösen oder Entscheidungen zu treffen (Miyake & Shah, 1999).

*Baddeley und Hitchs „multi-component model of working memory“*

Ein Modell des Arbeitsgedächtnisses (AG), ist das *multi-component model of working memory* von Baddeley und Hitch (1974). Baddeley (1986) versteht das AG als ein, in seiner Kapazität begrenztes, System, das Informationen aus unterschiedlichen Sinnesmodalitäten aufnehmen kann und kognitive Aufgaben mithilfe von Bearbeitungs-codes löst.

Demnach ist das Arbeitsgedächtnis laut Baddeley und Hitch in mehrere Komponenten unterteilt: die Phonologische Schleife, der Räumlich-Visuelle Notizblock und die Zentrale Exekutive. Im Jahr 2000 wurde aufgrund von empirischen Befunden, die nicht mit dem ursprünglichen Modell erklärt werden konnten, die Komponente des Episodischen Puffers hinzugefügt (Abb. 2).

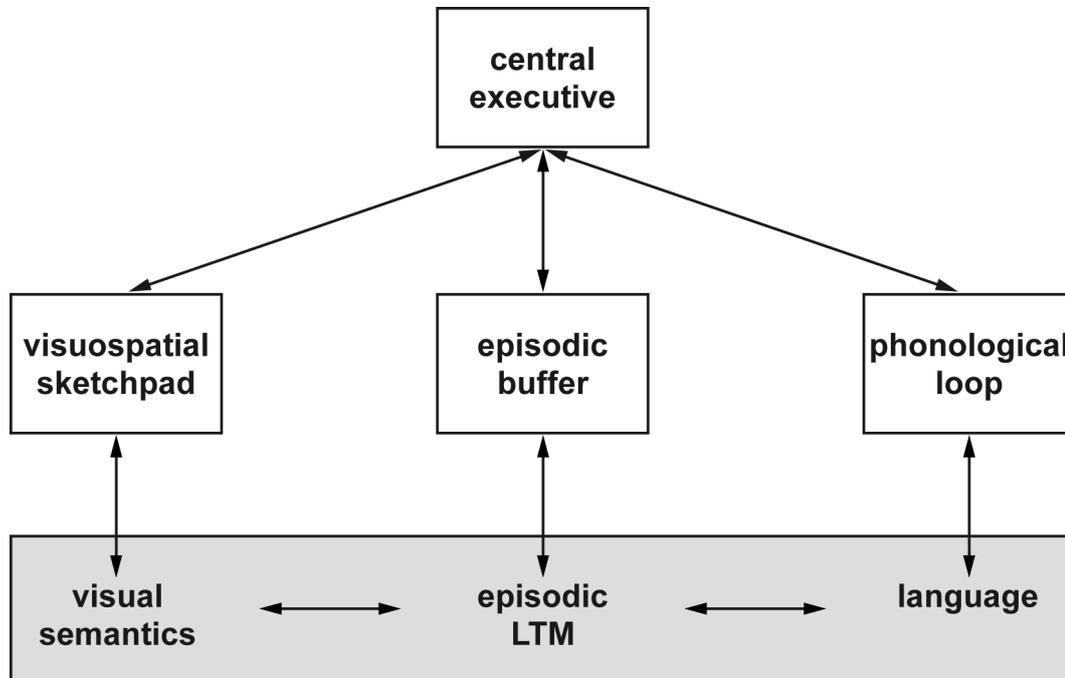


Abb. 2: Das „multi-component model of working memory“ nach Baddeley und Hitch (1974). Der helle obere Bereich stellt die Komponenten des AG dar, der dunkle untere Bereich symbolisiert einen Teil des Langzeitgedächtnisses. Verbale Information wird in der Phonologischen Schleife (engl. phonological loop), visuell-räumliche Information in dem Räumlich-Visuellen Notizblock (engl. visuo-spatial sketchpad) verarbeitet. Die Zentrale Exekutive dient der Steuerung und Verteilung von Aufmerksamkeit, um Information in der Phonologischen Schleife und dem Räumlich-Visuellen Notizblock aufrecht zu erhalten. Der Episodische Puffer (engl. episodic buffer) ist in der Lage auf das Langzeitgedächtnis zuzugreifen und mit den anderen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses zu interagieren.

verändert nach: <http://www.isrc.umbc.edu/hcihandbook/Figures/02-03.jpg>; gesehen am 09.08.2011

Die **Phonologische Schleife** (engl. phonological loop) dient zur Speicherung und Transformation auditorischer und sprachlicher Information und besteht aus dem passiven Phonologischen Speicher, der Information bewahrt, und dem aktiven Artikulatorischen Kontrollprozess. Der Artikulatorische Kontrollprozess kann als ein inneres Vorsprechen ver-

standen werden, der dazu dient, Information länger aufrechterhalten zu können. Wird Information im passiven Phonologischen Speicher nicht durch den Artikulatorischen Kontrollprozess aufgefrischt, verblasst sie innerhalb von wenigen Sekunden (Gruber, 2011). Auch Information anderer Sinnesmodalitäten kann nach der Transformation in eine phonologische Form, durch den Artikulatorischen Kontrollprozess, in der Phonologischen Schleife gespeichert werden (Repovs & Baddeley, 2006).

Der **Räumlich-Visuelle Notizblock** (engl. visuo-spatial sketchpad) dient der Speicherung und Manipulation räumlicher und visueller Information im AG. Anders als die Phonologische Schleife wird der Räumlich-Visuelle Notizblock in zwei Subkomponenten unterteilt: eine visuelle und eine räumliche Subkomponente. Die visuelle Subkomponente ist auf Objektmerkmale (beispielsweise Form und Farbe) spezialisiert und steht in engem Bezug zur Wahrnehmung und *visual imagery*. Als *visual imagery* wird der mentale Abruf eines Objektes, eines Ereignisses oder einer Szene bezeichnet, ohne dass das Objekt, das Ereignis oder die Szene extern vorliegt bzw. stattfindet. Die räumliche Subkomponente speichert und verarbeitet räumliche Information. Grundlage dieser Aufteilung sind Ergebnisse von *dual task*-Experimenten. In einem *dual task*-Experiment müssen Probanden zwei Aufgaben gleichzeitig bewältigen. Ist die Leistung der Probanden im *dual task*-Experiment schlechter, als wenn beide Aufgaben getrennt voneinander ausgeführt werden, geht man davon aus, dass kognitive Prozesse zur Bearbeitung der Aufgaben um dieselbe Kapazität im Gedächtnis konkurrieren (Repovs & Baddeley, 2006).

Im *multi-component model of working memory* haben beide Komponenten des Räumlich-Visuellen Notizblocks einen eigenen Speicher und greifen auf unterschiedliche Prozesse zur Erhaltung und Reaktivierung der gespeicherten Information zurück (Repovs & Baddeley, 2006).

Baddeley nimmt an, dass Aufmerksamkeit eine wichtige Rolle im AG spielt. Die **Zentrale Exekutive** (engl. central executive) lenkt die begrenzt zur Verfügung stehende Aufmerksamkeit und kann diese auf mehrere zu bewältigende Aufgaben verteilen.

Während die Manipulation von Information in beiden Komponenten des AG nur mit Hilfe der Zentralen Exekutive erfolgt, wird Information unabhängig von der Zentralen Exekutive aufrechterhalten. Darüber hinaus dient sie zur Transformation von Information von einer Komponente des AG in eine andere (Gruber, 2011). In vielen ihrer Aufgaben wird die Zentrale Exekutive von anderen Komponenten des AG unterstützt. Während die Phonologische Schleife an der Speicherung von „Ausführprogrammen“ beteiligt zu sein scheint, ist der Räumlich-Visuelle Notizblock enger mit Prozessen der Aufmerksamkeit verbunden und für die Steuerung der Aufmerksamkeit mit verantwortlich (Repovs & Baddeley, 2006).

Der **Episodische Puffer** (engl. episodic buffer) stellt einen von der Phonologischen Schleife und dem Räumlich-Visuellen Notizblock separaten Speicher mit begrenzter Kapazität dar. Durch die Verwendung eines multimodalen Codes ist es im Puffer möglich, Informationen aus der Phonologischen Schleife, dem Visuell-Räumlichen Notizblock sowie dem Langzeitgedächtnis zu verarbeiten. Durch den Zugang zum Langzeitgedächtnis soll es möglich sein, visuelle oder phonologische Information in Form von Episoden bzw. Szenen speichern zu können. Durch die Möglichkeit, neue Repräsentationen zu erschaffen und zu manipulieren, ist der Episodische Puffer eine mentale Arbeitsfläche. Diese Arbeitsfläche

ermöglicht den Ausgang von Handlungen zu berücksichtigen und dient somit als Basis für die Planung zukünftiger Handlungen (Repovs & Baddeley, 2006).

Während Baddeley die modulare Struktur des AG hervorhebt, fokussiert sich Cowan mit seinem *embedded-processes-model* (1997) auf die Funktion des AG.

### Cowans „*embedded-processes-model*“

Laut Cowans (1997) *embedded-processes-model* (Abb. 3) werden Elemente des Langzeitgedächtnisses aktiviert, die zur Bearbeitung einer kognitiven Aufgabe benötigt werden. Alle zu einem Zeitpunkt aktivierten Elemente des Langzeitgedächtnisses bilden das AG. Die Zentrale Exekutive steuert die zur Verfügung stehende Aufmerksamkeit auf einen Teil der aktivierten Elemente, so dass diese wahrgenommen werden. Da sich nicht alle aktivierten Elemente im Fokus der Aufmerksamkeit befinden müssen, können Gedächtnisprozesse auch ohne Aufmerksamkeit ablaufen (Gruber, 2011).

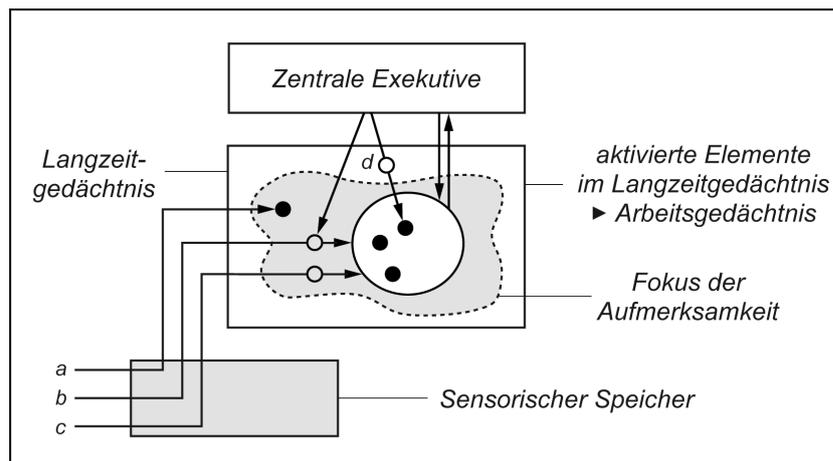


Abb. 3: Das „*embedded-processes-model*“ nach Cowan (1997). Das AG besteht aus aktivierten Elementen des Langzeitgedächtnisses. Aktivierte Elemente können sowohl innerhalb als auch außerhalb des Fokusses der Aufmerksamkeit liegen. Die Buchstaben a-d stehen für Szenarien, mit denen das Gedächtnis konfrontiert werden kann, nähere Information im Text. verändert nach Gruber (2011)

Wie auch im Modell von Atkinson und Shiffrin ist in Cowans Modell ein Sensorischer Speicher vorhanden, aus dem Information zur weiteren Verarbeitung oder Speicherung entnommen werden kann. Reize aus der Umwelt können den Sensorischen Speicher passieren und Einträge im Langzeitgedächtnis aktivieren (Abb. 3, Eingang a). Diese aktivierten Elemente des Langzeitgedächtnisses werden jedoch nicht wahrgenommen, da sie nicht im Fokus der Aufmerksamkeit stehen. Durch den Beitrag der Zentralen Exekutiven gelangen aktivierte Elemente des Langzeitgedächtnisses willentlich in den Fokus der Aufmerksamkeit und werden wahrgenommen (Abb. 3, Eingang b). Es ist allerdings auch möglich, dass

aktivierte Elemente in den Fokus der Aufmerksamkeit gelangen, ohne dass die Zentrale Exekutive beteiligt ist, wenn die Aufmerksamkeit unwillentlich auf dieses Element gelenkt wird (Abb. 3, Eingang c). Dies ist beispielsweise der Fall, wenn der eigene Name in einem Gespräch in näherer Umgebung erwähnt wird und die Aufmerksamkeit unwillentlich auf das Gespräch gelenkt wird. Zudem ist es möglich, Langzeitgedächtniseinträge in den Fokus der Aufmerksamkeit zu bewegen, ohne dass sensorische Strukturen involviert sind, wenn man sich beispielsweise an ein vergangenes Erlebnis erinnert (Abb. 3, Eingang d) (Gruber, 2011).

Cowan unterscheidet erstmals zwischen dem Begriff Kurzzeitgedächtnis und AG. Während das Kurzzeitgedächtnis lediglich für die passive Kodierung und Speicherung von Information verantwortlich ist, wird die im AG gespeicherte Information mit Hilfe von Aufmerksamkeit aktiv aufrechterhalten, indem sie „in Gedanken“ wiederholt wird (Cowan, 2008).

Auf die strukturellen Aspekte der Verarbeitung von modalitätsspezifischen Informationen geht Cowan nicht ein. Er behauptet, dass allein durch den Aufbau des Gehirns keine Interferenz zwischen Information verschiedener Modalitäten entstehen kann. Jedoch konkurrieren die zu speichernden Informationen derselben Modalität um die begrenzten Verarbeitungs- und Repräsentationsstrukturen (Gruber, 2011).

Die Leistung des AG, Informationseinheiten zu speichern, ist limitiert. Georg Miller (1956), der sich mit der Speicherkapazität des AG befasste, besagt in seiner Theorie zur *magical number seven*, dass bis zu sieben  $\pm$  zwei Informationseinheiten im AG gespeichert werden können.

### *Die Arbeitsgedächtnisspanne*

Die Anzahl der Informationseinheiten die im AG gespeichert und wiedergegeben werden können, wenn die Quelle der Information nicht mehr zugänglich ist, bezeichnet man als AG-Spanne.

Georg Miller (1956) präsentierte seinen Probanden nacheinander zwei Ziffern, die sie anschließend in der richtigen Reihenfolge wiedergeben sollten. Die Ziffernfolge wurde nach einer erfolgreichen Wiedergabe um eine Ziffer erweitert. Erfolgte der erste Fehler in einer Ziffernfolge von beispielsweise sechs Ziffern, lag die AG-Spanne des Probanden bei fünf Ziffern. Miller konnte feststellen, dass sich die durchschnittliche AG-Spanne eines Probanden nicht nur auf sieben  $\pm$  zwei Ziffern, sondern auch Buchstaben oder Positionen im Raum beläuft. Eine der gängigen Methoden um die AG-Spanne für Positionen im Raum zu messen ist der CORSI-block-tapping-task. Dem Probanden werden am Bildschirm nacheinander Positionen präsentiert, die er sich merken und anschließend wiedergeben soll. Je nach Versuchsaufbau kann vor der Wiedergabe der Positionen ein *dual-task* gestellt werden, um eine mögliche Interferenz des *dual-tasks* mit der Aufrechterhaltung der Positionen festzustellen.

Miller (1956) zeigte außerdem, dass es den Mechanismus des *chunkings* im AG gibt. Wenn sich eine Versuchsperson die Sequenz der Buchstaben BYGROUPINGITEMSINTOUNITS

WEREMEMBERBETTER einzeln merken soll, stellt man fest, dass sie sich an maximal neun Buchstaben erinnern kann. Wenn die Versuchsperson mehrere Buchstaben zu größeren Einheiten (engl. *chunks*) verbindet, ist es ihr möglich, sich an maximal neun *chunks* zu erinnern. Die *chunks* könnten z. B. diese sein: BY GROUPING ITEMS INTO UNITS WE REMEMBER BETTER. Durch *chunking* ist es möglich, die AG-Spanne zu erweitern, wobei die Gedächtnisleistung zusätzlich gesteigert werden kann, wenn den *chunks* ein semantischer Inhalt durch das Langzeitgedächtnis verliehen wird (Gruber, 2011).

Da Cowan zwischen Kurzzeitgedächtnis und AG unterscheidet, führte er ein Experiment zu den Spannen beider Gedächtniskomponenten durch. Cowan (2001) fand heraus, dass sich die AG-Spanne auf sieben  $\pm$  zwei Informationseinheiten beläuft, wenn es dem Probanden möglich ist *rehearsal* auszuführen. Ist kein *rehearsal* möglich, wird laut Cowan das Kurzzeitgedächtnis zur Speicherung der Information beansprucht, können lediglich vier Informationseinheiten gespeichert und wiedergegeben werden.

Heutzutage weiß man, dass die AG-Spanne von verschiedenen Faktoren, z. B. von der Art der zu erinnernden Information, vom Alter der Versuchsperson oder von Einträgen im Langzeitgedächtnis abhängt (Gruber, 2011).

Letztendlich kann man davon ausgehen, dass *rehearsal* dazu dient, die AG-Spanne auf bis zu sieben  $\pm$  zwei Informationseinheiten zu erweitern und die im AG gespeicherte Information länger aufrecht zu erhalten. Wie das *rehearsal* für räumliche oder visuelle Information vonstatten geht, ist weit weniger erforscht, als das *rehearsal* für auditorische oder sprachliche Information (Pearson & Sahraie, 2003).

### *Rehearsal visuell-räumlicher Information im Arbeitsgedächtnis*

Baddeley (1986) schlug ein Modell zum *rehearsal* räumlicher Information vor, welches dem Modell des *rehearsals* in der Phonologischen Schleife ähnlich ist. Er bezog sich mit seiner *rehearsal*-Theorie auf Ergebnisse von Idzikowski, Baddeley, Dimberley und Park (Baddeley, 1986), die Experimente zum Einfluss von Okulomotorik auf das verbale und räumliche AG durchführten. Ihre Ergebnisse zeigen, dass sich die AG-Spanne eines Probanden verschlechtert, wenn Augenbewegungen in einer *retention*-Phase zu Orten, die nicht im AG gespeichert sind (erzwungene Augenbewegungen), ausgeführt werden. Unter dem Begriff *retention*-Phase versteht man das Zeitintervall eines Experiments zwischen Stimuluspräsentation und Stimuluswiedergabe in denen die im AG enkodierte Information aufrechterhalten werden muss.

Baddeleys Idee des *rehearsals* ist, dass Information in einem passiven Speicher durch aktive Kontrollprozesse aufgefrischt wird, die eng mit Prozessen der Augenbewegungen verbunden sind. Er erkannte, dass Augenbewegungen mit einer Verlagerung der Aufmerksamkeit einhergehen (overt Aufmerksamkeitverlagerung) und räumt overt Aufmerksamkeitverlagerungen die entscheidende Rolle im *rehearsal* ein. Folglich sollten laut Baddeley Augenbewegungen zu Orten im Raum ausgeführt werden, die im AG aufrechterhalten werden sollen.

Eine ähnliche Theorie stammt von Tremblay et al. (2006), die davon ausgehen, dass Bewegungen der Augen die im AG gespeicherte Information auffrischt. Im Gegensatz zu Baddeley unterscheiden Tremblay et al. nicht zwischen Augenbewegungen und overten Aufmerksamkeitsverlagerungen.

Durch weitere *dual task*-Experimente (z. B. Logie & Marchetti, 1991; Pearson et al., 1999) zeigte sich, dass auch andere Bewegungen die AG-Spanne signifikant verringern können. Johnson (1982) zufolge reicht alleine die Vorstellung einer Körperbewegung aus, um die AG-Spanne für räumliche Information zu mindern. Möglich wäre, dass bereits die Planung einer Bewegung die AG-Spanne senkt, unabhängig davon, ob die Bewegung ausgeführt wird. Demnach könnte eine Überschneidung zwischen den kognitiven Prozessen, die am *rehearsal* räumlicher Information und denen, die an der Planung und Ausführung von Bewegung beteiligt sind, bestehen (Logie, 1995). Logie geht von einem *inner scribe*-Mechanismus aus, der Informationen aus einem *visual cache* zur Ausführung einer gezielten Bewegung entnimmt. Dadurch sollte die Planung oder Durchführung einer Bewegung mit jeglicher Aufgabe interferieren, die ebenso auf den *inner scribe*-Mechanismus angewiesen ist (beispielsweise die Speicherung von räumlicher Information im AG). Eine weitere Erklärung für die Ergebnisse von Johnson wäre, dass die AG-Spanne für räumliche Information nicht durch die Bewegung an sich, sondern durch eine Verlagerung der Aufmerksamkeit, die mit der Bewegung einhergeht, gesenkt wird (Pearson & Sahraie, 2003). Diese Idee wurde von Smyth (1996) aufgegriffen: sein Experiment lässt den Schluss zu, dass die Aufrechterhaltung von räumlicher Information mit Hilfe von Aufmerksamkeitsverlagerungen erfolgt, da erzwungene Aufmerksamkeitsverlagerungen zu einer Minderung der AG-Spanne führten.

Awh und Jonides (2001) schlugen aufgrund der Ergebnisse von Smyth vor, dass das *rehearsal* für visuell-räumliche Information mit Hilfe eines fronto-parietalen Systems prozessiert wird, welches im AG gespeicherte Information mit Hilfe von coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen zu Positionen in Raum, die gespeichert werden sollen, reaktiviert. Grundlage ihrer Theorie ist, dass Stimuli, die an Orten präsentiert werden, die im AG einer Versuchsperson gespeichert sind, besser verarbeitet werden können als Stimuli, die an anderen Orten dargestellt werden. Eine Schlüsselkomponente des *rehearsals* räumlicher Information ist nach Awh daher der Prozess der visuellen Selektion (Awh & Jonides, 2001). Awh geht davon aus, dass kognitive Mechanismen, die an räumlich selektiver Aufmerksamkeit beteiligt sind, auch genutzt werden, um funktionale Marker für ortsspezifische Repräsentationen im AG aufrecht zu erhalten. Zudem nimmt Awh an, dass es eine supramodale Basis für Aufmerksamkeit gibt, in der coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen involviert sind, die funktional unabhängig von Prozessen der okulomotorischen Kontrolle sind (Pearson & Sahraie, 2003). Unterstützt wird die aufmerksamkeitsbasierte *rehearsal*-Theorie von neuroanatomischen Studien (Awh et al., 1995; Awh & Jonides, 1998), welche Gehirnstrukturen verglichen, die für die Prozesse im AG sowie der räumlich selektiven Aufmerksamkeit verantwortlich sein sollen. Die Ergebnisse zeigen, dass beide Prozesse hauptsächlich durch ein Netzwerk aus frontalen und parietalen Gehirnregionen der rechten Gehirnhemisphäre gesteuert werden. Folglich besteht die Möglichkeit, dass die Über-

lappung in einer funktionalen Beziehung zwischen Aufmerksamkeits- und Gedächtnissystemen resultieren könnte (Cowan, 2001).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Augenbewegungen, coverte Aufmerksamkeitsverlagerungen sowie Gliedmaßenbewegungen während der Aufrechterhaltung von im AG gespeicherter, räumlicher Information zu einer Minderung der AG-Spanne führen, wenn sie zu Orten ausgeführt werden, die nicht mit den Orten der Reize koinzidieren.

Pearson und Sahraie (2003) wandten sich in ihrem Experiment dem Ausmaß der Reduktion der AG-Spanne durch erzwungenen Augenbewegungen, coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen und Gliedmaßenbewegungen zu. Probanden sollten sich die Positionen von mehreren, nacheinander aufleuchtenden Quadraten auf einem Bildschirm einprägen (*encoding*). Anschließend folgte eine *retention*-Phase, in der den Probanden unterschiedliche Aufgaben als *dual task* gestellt wurden (z. B. das Durchführen von erzwungenen Augenbewegungen, Aufmerksamkeitsverlagerungen oder Gliedmaßenbewegungen). Schließlich sollten die Positionen der zu Beginn präsentierten Quadrate wiedergegeben werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die AG-Spanne am stärksten verringert wird, wenn erzwungene Augenbewegungen in der *retention*-Phase ausgeführt werden mussten. Erzwungene Aufmerksamkeitsverlagerungen ohne Augenbewegungen sowie Gliedmaßenbewegungen reduzierten die AG-Spanne deutlich weniger als Augenbewegungen.

Basierend auf ihren Ergebnissen betonen Pearson und Sahraie die Rolle eines okulomotorischen Kontrollsystems für das kurzzeitige *rehearsal* ortsspezifischer Repräsentationen im AG.

## Wissenschaftliche Fragestellung

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit dem Prozess des *rehearsals* für seriell präsentierte, visuell-räumliche Information (im Folgenden als räumliche Information abgekürzt) im AG. Da bereits bekannt ist, dass erzwungene coverte Aufmerksamkeitsverlagerungen und Augenbewegungen in der *retention*-Phase eines Versuchs die AG-Spanne eines Probanden verringern (Pearson & Sahraie, 2003), war das Ziel dieser Bachelorarbeit mit Hilfe eines CORSI-block-tapping Experiments den Beitrag beider Prozesse am *rehearsal* zu untersuchen.

In anderen Versuchen zum *rehearsal* räumlicher Information (u. a. Pearson & Sahraie, 2003) wurden die Probanden aufgefordert, zusätzliche Augenbewegungen oder Aufmerksamkeitsverlagerungen, zu Orten, die nicht memoriert werden sollten, auszuführen. Laut Godjin und Theeuwes (2011) ist dieser methodischer Ansatz kritisch zu bewerten, da das Verhalten der Augenbewegung direkt manipuliert wird.

Im Gegensatz dazu, sollten in diesem Experiment die vermeintlichen Prozesse des *rehearsals* räumlicher Information lediglich unterdrückt werden, um ihren Beitrag am *rehearsal* darzustellen.

## 2 Eigenanteil der Gruppenarbeit

Diese Bachelorarbeit entstand in Zusammenarbeit mit der Arbeit von Anne Thaler (Titel der Bachelorarbeit: Die Rolle der Augenbewegungen bei der Aufrechterhaltung zeitlich-räumlicher Repräsentationen im CORSI-Block-Tapping Experiment), die sich ebenfalls mit dem *rehearsal* räumlicher Information im AG beschäftigte. Während Frau Thaler sich auf den Einsatz von Augenbewegungen als *rehearsal* konzentrierte und daher für die Versuche 2 und 3 verantwortlich war, war es meine Aufgabe den Beitrag von coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen am *rehearsal* durch die Versuche 1 und 4 zu verdeutlichen.

Sowohl die Überarbeitung der MATLAB-Skripte als auch die Versuchsdurchführung und Auswertung erfolgte durch die Person, die für den Versuch verantwortlich war.

Die schriftliche Ausarbeitung der Bachelorarbeiten erfolgte ebenfalls nicht als Gruppenarbeit. Jedoch werden zum besseren Verständnis in den Kapiteln Material und Methoden, Ergebnisse und Diskussion die Daten und der Versuchsaufbau aller vier Versuche dargestellt und diskutiert.

Tübingen, den

Christina Berghus



## 3 Material und Methoden

### 3.1 Versuchspersonen

Von insgesamt 20 getesteten Versuchspersonen wurden die Daten von 16 Versuchspersonen im Alter von 20 bis 36 Jahren ausgewertet ( $M = 25,25$  Jahre;  $SD = \pm 4,553$  Jahre). Die Daten von vier Versuchspersonen konnten nicht verwendet werden, da der Messausfall des Eyetrackers über 15 % lag. Von den 16 Versuchspersonen, deren Daten verwendet wurden, waren sieben weiblich ( $M = 24,29$  Jahre;  $SD = \pm 2,29$  Jahre) und neun männlich ( $M = 26$  Jahre;  $SD = \pm 5,79$  Jahre). Alle Versuchspersonen waren Studenten, Schüler oder Doktoranden. Das Experiment war ein *within-subject-design*, so dass jede Versuchsperson alle Versuche innerhalb von ca. 45 Minuten durchführte. Die Teilnahme erfolgte ohne Aufwandsentschädigung.

### 3.2 Apparatur

#### *Software & Hardware*

Die Skripte für die Versuche wurden in MATLAB 7.11.0 (R2010b) sowie der PsychotoolBox 3.0.8 beta erstellt. Die Versuche wurden mit MATLAB 7.9.0 (2009b) an einem Mac mini (1.83 Intel (R) Core <sup>TM</sup>2 CPU T5600 1,83 GHz, 1,96 GB RAM; Microsoft Windows XP Professional Version 2002, Service Pack 3) und angeschlossenem Eyetracker „Eyegaze System“ (Firma: LC Technologies, Inc.) durchgeführt. Die Anbindung des Eyetrackers an MATLAB erfolgte über den EGServer der Firma LC Technologies (Version: EdgeDev 2011/05/05). Die Blickpositionen der Probanden wurden monokular mit 60 Hz vom Eyetracker aufgezeichnet. Der verwendete Monitor zur Darstellung der Stimuli war ein Samsung SyncMaster 93BF (19“) mit einer Auflösung von 1280 x 1024 Pixel. Die Auswertung der Daten erfolgte mit Microsoft Office Excel 2003, MATLAB 7.11.0 (R2010b) und IBM SPSS Statistics 19.

## Aufbau

Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, vor dem Computer Platz zu nehmen. Die Darstellung der Stimuli erfolgte am Monitor. Die Einstellung der Halterung zur Positionierung des Kopfes für den Eyetracker war fest installiert, lediglich der Stuhl konnte in seiner Höhe verstellt werden, sodass es für die Versuchsperson angenehm war. Der Abstand zwischen den Augen der Versuchsperson und dem Monitor betrug 57 cm. Der Versuchsleiter war während des Experiments anwesend.

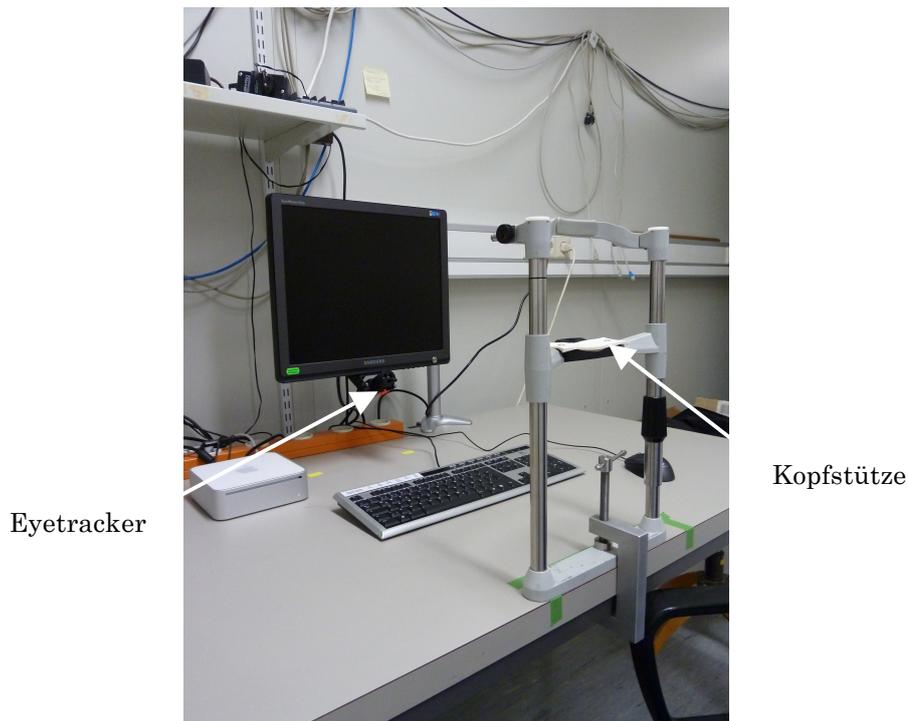


Abb. 4: Aufbau des Bildschirms, sowie dem am Bildschirm montierten Eyetracker und der Kopfstütze

## 3.3 Experiment — Aufbau und Verlauf

Basierend auf der Methode des CORSI-block-tapping task, der traditionell zur Bestimmung der AG-Spanne für räumliche Information eingesetzt wird, wurden vier Versuche konzipiert (im Folgenden Versuch 1 bis 4). Während die Reihenfolge der Versuche 2 bis 4 bei jedem Probanden randomisiert wurde, begann das Experiment für jeden Probanden mit Versuch 1. Zwischen den Versuchen war es den Probanden freigestellt, eine Pause zu machen.

In allen vier Versuchen war es die Aufgabe der Probanden, sich Positionen seriell präsentierter Kreise einzuprägen (*encoding*-Phase), für eine bestimmte Dauer aufrecht zu erhalten (*retention*-Phase) und anschließend wiederzugeben (*recall*-Phase).

Ziel von Versuch 1 war die AG-Spanne zu ermitteln, die Probanden erbringen, wenn kein *rehearsal* auf Grund einer sehr kurzen Dauer von einer Sekunde der *retention*-Phase eingesetzt werden muss. Die AG-Spanne in Versuch 1 diente als Referenzwert. Versuch 2 sollte zeigen, ob Augenbewegungen als *rehearsal* in der *retention*-Phase ausgeführt werden, oder ob *rehearsal* durch covert Aufmerksamkeitverlagerungen erfolgt. Mit Hilfe von Versuch 3 sollte festgestellt werden, ob Augenbewegungen für das *rehearsal* von Nöten sind, oder ob die Aufrechterhaltung räumlicher Repräsentationen im AG gleich effektiv ist, wenn ausschließlich covert Aufmerksamkeitverlagerungen ausgeführt werden können. Versuch 4 diente dazu, das Ausmaß von coverten Aufmerksamkeitverlagerungen am *rehearsal* zu verdeutlichen. Wie sich die Versuche unterscheiden, um Rückschlüsse auf das *rehearsal* räumlicher Information ziehen zu können, ist im Abschnitt „Unterschiede der Versuche 1-4“ näher erläutert.

### *Gemeinsamkeiten der Versuche 1 bis 4*

#### *trial und subtrial*

Die Versuche ähnelten sich in ihrem Ablauf: jeder Versuch bestand aus mehreren *trials*, die sich hinsichtlich der Anzahl an Kreisen, die seriell in der *encoding*-Phase präsentiert wurden, unterschieden. Es wurden drei *subtrials* zu einer Anzahl an seriell präsentierten Kreisen durchgeführt. Jeder *subtrial* bestand aus einer *encoding*-, einer *retention*- und einer *recall*-Phase (Abb. 5). Die Anzahl der *trials* eines Versuches war von der AG-Spanne der Versuchsperson abhängig.

In den ***encoding*-Phasen** wurden zehn zufällig angeordnete weiße Quadrate (ein Quadrat entsprach 2,51 Grad Sehwinkel) gleichzeitig auf einem schwarzen Hintergrund präsentiert. Eine Sequenz aus seriell aufleuchtenden grünen Kreisen (ein Kreis entsprach 2,51 Grad Sehwinkel) erschien an den Positionen einzelner Quadrate. Die Positionierung der Kreise auf den Quadraten erfolgte per Zufall. Jeder Kreis war eine Sekunde sichtbar. Aufgabe der Probanden war es, sich die Positionen der Kreise und deren Reihenfolge zu merken.

Anschließend folgte eine ***retention*-Phase**, welche visuell von der *encoding*-Phase abgegrenzt wurde indem der Hintergrund von schwarz zu grau wechselte. Die Quadrate waren weiterhin in weiß sichtbar. Die in der *encoding*-Phase memorierten Positionen mussten über die Dauer der *retention*-Phase aufrechterhalten werden. Die *retention*-Phasen der Versuche 1 bis 4 unterschieden sich hinsichtlich der Dauer und den *dual tasks*, die von den Probanden in dieser Versuchsphase ausgeführt werden mussten (siehe „Unterschiede der Versuche 1-4“).

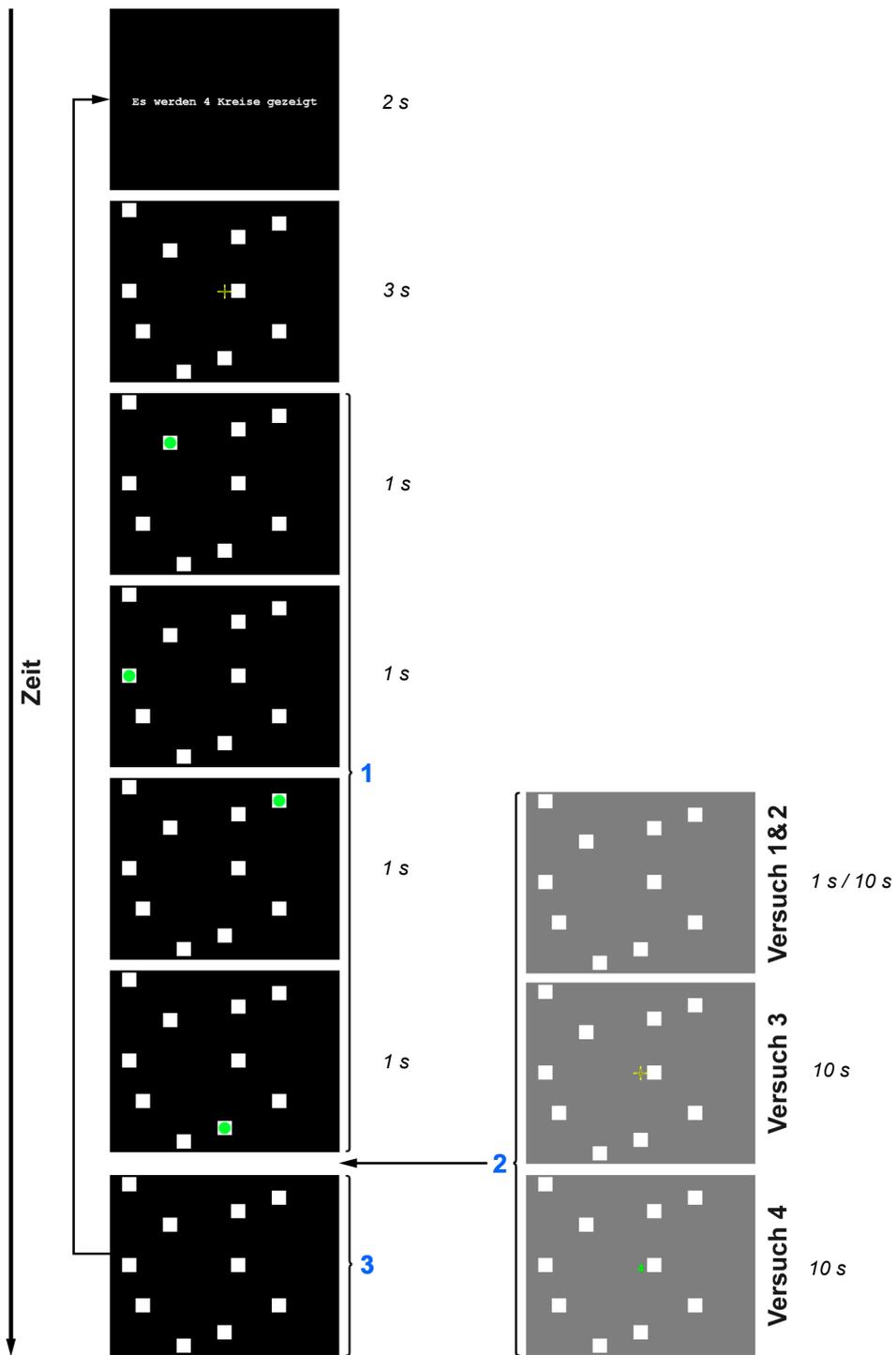


Abb. 5: Beispielhafte Darstellung von Bildschirmfotos eines subtrials mit einer Sequenz aus vier Kreisen. Zu Beginn eines subtrials wird angegeben, aus wie vielen Kreisen die zu memorierende Sequenz besteht (2 s), anschließend folgt das Quadratmuster mit Fixationskrenz (3 s). [1] encoding-Phase: Präsentation der Sequenz, jeder grüner Punkt ist für 1 s sichtbar; [2] retention-Phase: Präsentation des Quadratmusters (Versuch 1-4) und eines Fixationskreuzes in Versuch 3, bzw. einer Zahlensequenz in Versuch 4, die Dauer der retention-Phase variierte unter den Versuchen (Versuch 1: 1 s; Versuch 2, 3 & 4: 10 s); [3] recall-Phase: die in der encoding-Phase präsentierte Sequenz soll mit Hilfe von Mausclicks auf die entsprechenden Positionen wiedergegeben werden.

Um den Beginn einer **recall-Phase** zu verdeutlichen, wechselte der Hintergrund von grau zu schwarz. Die Versuchspersonen sollten die Positionen der Kreise in der richtigen Reihenfolge wiedergeben, indem sie mit der Maus auf die entsprechenden Quadrate klickten. Wurde eine falsche Angabe zur Position eines Kreises gemacht, erschien ein roter Kreis an dem Ort, der richtig gewesen wäre und der Versuch wurde fortgeführt. Wurde die richtige Position gewählt, erschien an ihr ein grüner Kreis. Zu Beginn eines Versuchs bestand der erste *trial* aus einer Sequenz von vier Kreisen. Wurde eine der drei Sequenzen des ersten *trials* richtig wiedergegeben, erhöhte sich die Anzahl der seriell präsentierten Kreise im nächsten *trial* auf fünf, usw., bis die Sequenz aus maximal zehn Kreisen bestand. Wenn alle *subtrials* eines *trials* falsch wiedergegeben wurden, wurde der Versuch abgebrochen und die AG-Spanne ermittelt.

#### Berechnung der AG-Spanne:

Die AG-Spanne berechnet sich, indem die Anzahl der *subtrials*, in denen die Sequenzen fehlerlos wiedergegeben wurden, summiert und anschließend zu neun addiert werden. Die Addition mit neun basiert auf der Annahme, dass alle Sequenzen, die aus einem, zwei oder drei Kreisen bestanden hätten, richtig wiedergegeben worden wären. Anschließend wird durch drei dividiert, da pro Anzahl an Kreisen einer Sequenz drei *subtrials* hätten richtig gemacht werden können.

$$AG - Spanne = \frac{\left(\sum subtrials\right) + 9}{3} \quad [\text{memorierte Positionen}]$$

#### *Unterschiede der Versuche 1 bis 4*

Versuch 1 unterschied sich von den anderen Versuchen durch einen Test-*trial*, der zu Beginn des Versuchs durchgeführt wurde, um die Probanden mit dem Experiment vertraut zu machen.

Desweiteren wurden die Augenbewegungen der Probanden lediglich in den Versuchen 2, 3 und 4 aufgenommen, so dass diese Versuche mit einer Kalibrierung des Eyetrackers begannen.

Die *retention*-Phasen der Versuche unterschieden sich hinsichtlich der Dauer (Versuch 1: 1 s; Versuch 2, 3 und 4: 10 s) und der zusätzlichen Aufgabe, die von den Probanden ausgeführt werden musste.

Den Probanden wurde in der *retention*-Phase von Versuch 2 keine zusätzliche Aufgabe gestellt. Dies sollte es den Probanden ermöglichen, ein okulomotorisches und/oder aufmerksamkeitsbasiertes *rehearsal* auszuführen.

Aufgabe der Versuchspersonen in den *retention*-Phasen von Versuch 3 war es auf ein Fixationskreuz zu schauen, das in der Mitte des Bildschirms positioniert war. Dieses diente

dazu, die Kreissequenz nicht mit Hilfe eines okulomotorischen *rehearsals* im AG aufrecht-erhalten zu können. Ein aufmerksamkeitsbasiertes *rehearsal* wurde durch die Aufgabenstellung nicht unterbunden.

In Versuch 4 wurden in den *retention*-Phasen nacheinander zehn grüne Zahlen zwischen eins und fünf in der Mitte des Bildschirms präsentiert, wobei jede Zahl eine Sekunde sichtbar war. Die Zahlen mussten von der Versuchsperson im Kopf addiert und der Versuchsleiterin vor der *recall*-Phase mitgeteilt werden. Ein okulomotorisches und aufmerksamkeitsbasiertes *rehearsal* sollte mit Hilfe der arithmetischen Aufgabe unterbunden werden.

Eine Übersicht über die Dauer der *retention*-Phasen, sowie der zusätzlichen Aufgaben der Versuche zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Zusammenfassung der variierenden Faktoren in den Versuchen 1 bis 4

	Dauer der <i>retention</i> -Phasen	<i>dual task</i>	<i>dual task</i> unterbindet
<b>Versuch 1</b>	1 s	-	-
<b>Versuch 2</b>	10 s	-	-
<b>Versuch 3</b>	10 s	Fokussieren des Fixationskreuzes	okulomotorisches <i>rehearsal</i>
<b>Versuch 4</b>	10 s	arithmetische Aufgabe	okulomotorisches und aufmerksamkeitsbasiertes <i>rehearsal</i>

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Arbeitsgedächtnisspanne aller Versuchspersonen

In Abb. 6 sind die gemittelten AG-Spannen aller Probanden der Versuche 1 bis 4 aufgetragen. Die blauen Balken stellen die Mittelungen der gemessenen AG-Spannen dar. Die grauen Balken repräsentieren die normierten AG-Spannen. Für die Normierung der AG-Spannen wurde die AG-Spanne jedes Probanden von Versuch 1 mit 100 % gewichtet und in Relation dazu die AG-Spannen der Versuche 2 bis 4 berechnet. Der prozentuale Abfall der AG-Spanne in den Versuchen 2, 3 und 4 im Vergleich zur prozentualen AG-Spanne von Versuch 1 wird im Folgenden als „Reduktion um:“ angegeben.

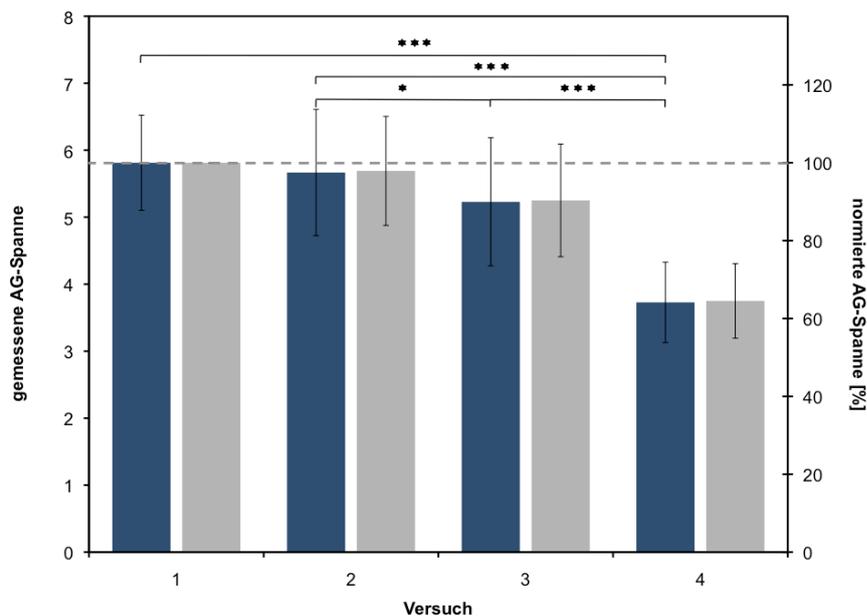


Abb. 6: Darstellung der gemittelten AG-Spannen in den Versuchen 1 bis 4. Die blauen Balken stellen die gemessenen Daten, die grauen Balken die normierten Daten dar. Alle Werte mit Standardabweichung, \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ ,  $n = 16$ .

Abb. 6 zeigt, dass die mittlere AG-Spanne in Versuch 1 am größten ist und bei 5,81 (SD = ±0,71) richtig wiedergegebenen Positionen einer Sequenz liegt. In Versuch 2 liegt die gemittelte AG-Spanne bei 5,67 (SD = ±0,94; Reduktion um: 2,09 %). In Versuch 3 erreichten die Versuchspersonen eine AG-Spanne von durchschnittlich 5,23 (SD = ±0,96; Reduktion um: 9,66 %) memorierten Kreisen einer Sequenz. Die stärkste Minderung der AG-Spanne ergab der Versuch 4 auf 3,73 (SD = ±0,96; Reduktion um: 35,48 %).

Ein signifikanter Unterschied der AG-Spannen konnte durch eine ANOVA festgestellt werden (ANOVA-One-Way:  $F(3,45) = 56,068$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,79$ ). Mit Hilfe eines Post-Hoc-Tests konnten die Signifikanzen zwischen den AG-Spannen der Versuche 1 bis 4 paarweise ermittelt werden. Die jeweiligen Signifikanzniveaus sind in Abb. 6 dargestellt.

## 4.2 Augenbewegungen

Zusätzlich zu der AG-Spanne in den Versuchen 1 bis 4 waren auch die Augenbewegungen der Probanden, die dem *rehearsal* der zu memorierenden Positionen dienen konnten, in den *retention*-Phasen aus Versuch 2 von Interesse. Ausschließlich in der *retention*-Phase von Versuch 2 war es den Probanden freigestellt, Augenbewegungen als *rehearsal* auszuführen. Aus den Rohdaten der Augenbewegungen konnten Fixationen mit Hilfe einer, in das MATLAB-Skript eingebetteten Funktion berechnet werden. Eine Fixation wurde aus aufeinanderfolgenden Datenpunkten der Blickrichtung errechnet, die innerhalb von 120 ms nicht weiter als 50 °/s voneinander entfernt lagen.

Die Rohdaten der Augenbewegungen, die berechneten Fixationen, das präsentierte Quadrat-Muster sowie die Kreis-Sequenz eines *subtrials* wurden von MATLAB nach Beendigung eines Versuches in einer Abbildung dargestellt (beispielhaft Abb. 7).

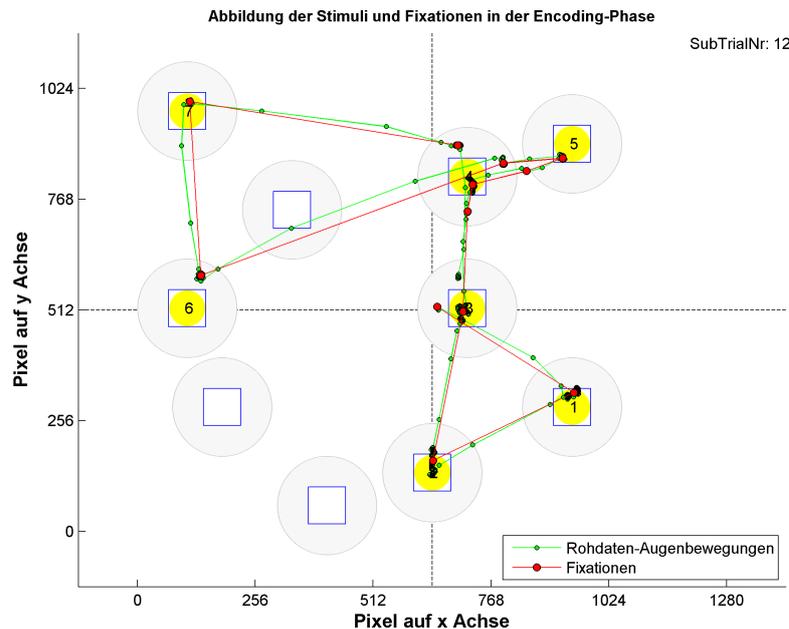


Abb. 7: Augenbewegungen eines Probanden in der encoding-Phase eines trials mit sieben zu memorierenden Positionen. Das präsentierte Quadrat-Muster sowie die Kreis-Sequenz sind abgebildet. Die Nummerierung innerhalb der Kreise bezeichnet die Position des Kreises in der Sequenz. Die grünen Punkte stellen die vom Eyetracker gemessenen Blickpositionen des Probanden dar, die roten Punkte die berechneten Fixationen. Beide Datensätze wurden seriell verbunden. Ein grauer Toleranzbereich (6,63 Grad Sehwinkel), welcher später zur Auswertung der Fixationen diente, wurde um jedes Quadrat eingezeichnet. Zu sehen ist, dass der Proband die sequentiell erschienenen Kreise nacheinander fixierte.

Die Fixationen in den *retention*-Phasen von Versuch 2 dienten dazu, ein Maß für den Einsatz von okulomotorischem *rehearsal* zu finden. Als geeignetes Maß stellte sich die mittlere *rehearsal*-Distanz eines Probanden heraus, mit deren Hilfe zwischen den Probanden verglichen werden konnte.

Die *rehearsal*-Distanz eines Probanden bezeichnet die mittlere Distanz zwischen einem präsentierten Kreis und der Fixation, die den geringsten Abstand zum Kreismittelpunkt aufweist. Da die Fixationen nicht automatisch von MATLAB einem Kreis zugeordnet wurden, erfolgte die Zuordnung nachträglich. Wenn eine Fixation einem Kreis zugeordnet wurde, wurde sie für die Zuordnungen zu anderen Kreisen derselben Sequenz ausgeschlossen. Die Zuordnung erfolgte in allen erfolgreich wiedergegebenen *subtrials* in der Reihenfolge, in der die Kreise präsentiert wurden. Die erste Fixation in einer *encoding*-Phase wurde für die Zuordnung zu den Kreisen ausgeschlossen, da diese auf dem zuvor präsentierten Fixationskreuz positioniert war.

Hat ein Proband eine geringe *rehearsal*-Distanz, bedeutet dies, dass der Proband häufig Augenbewegungen in Richtung der präsentierten Kreise ausführte. Eine große *rehearsal*-Distanz, weist darauf hin, dass der Proband wenig Okulomotorik einsetzte.

Ein Vergleich der mittleren *rehearsal*-Distanzen in den *encoding*- und *retention*-Phasen von Versuch 2 ist in Abb. 8 dargestellt. Zu sehen ist, dass eine positive Korrelation ( $R = 0,46$ )

zwischen den *rehearsal*-Distanzen beider Versuchsphasen besteht. Bei zwölf von 16 Versuchspersonen war die mittlere *rehearsal*-Distanz in den *encoding*- größer als in den *retention*-Phasen.

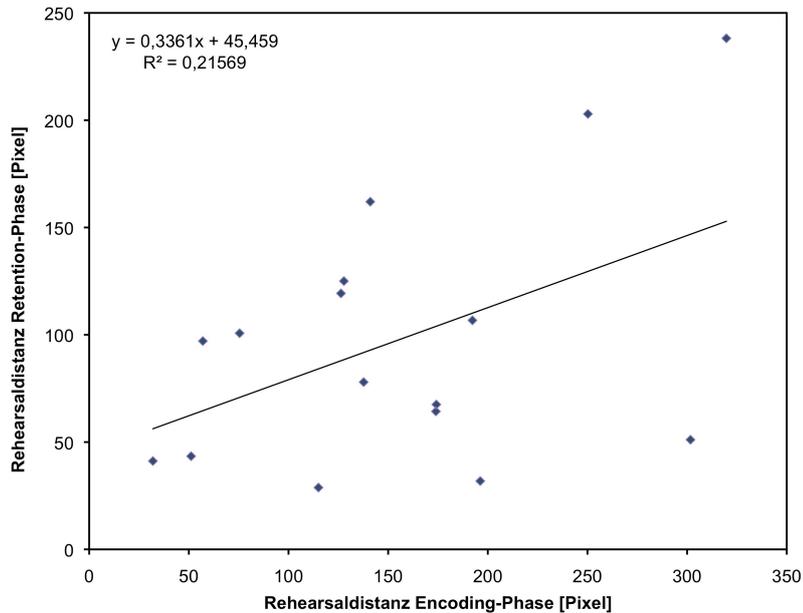


Abb. 8: Vergleich der *rehearsal*-Distanz in der *encoding*- und *retention*-Phase von Versuch 2.  
 $n=16$

Einen näheren Einblick in die *rehearsal*-Distanzen der *retention*-Phasen liefert Abb. 9. Die Versuchspersonen sind nach der Größe ihrer *rehearsal*-Distanz aufsteigend geordnet ( $M = 97,38$ ,  $SD = \pm 61,13$ ). Deutlich wird, dass es einen kontinuierlichen Anstieg der *rehearsal*-Distanzen gibt. Darüber hinaus besteht ein Zusammenhang zwischen den mittleren *rehearsal*-Distanzen der *retention*-Phasen und den Standardabweichungen: je kleiner die *rehearsal*-Distanz eines Probanden, desto geringer die Standardabweichung seiner Daten.

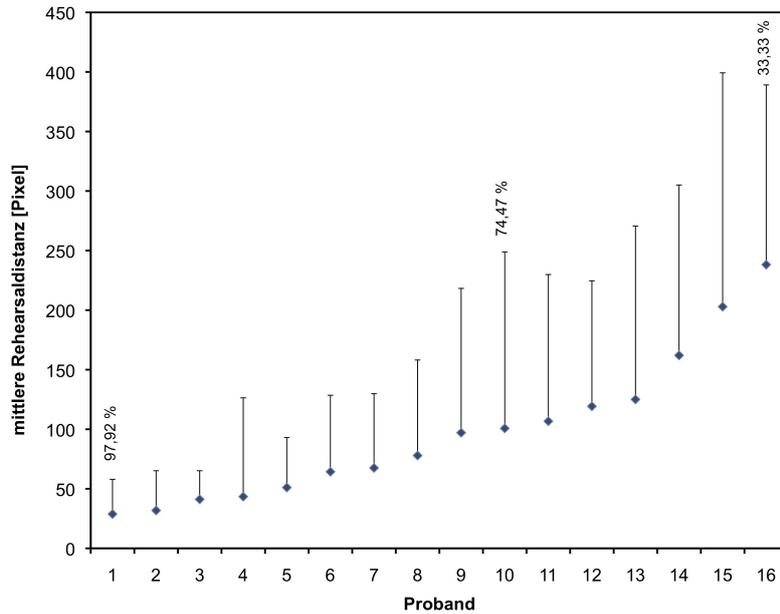


Abb. 9: Darstellung der rehearsal-Distanzen aller Probanden in der retention-Phase von Versuch 2, sowie dem prozentualen Anteil an fixierten Quadraten, an deren Positionen ein Kreis der präsentierten Sequenz zu liegen kam. Die Probanden wurden nach der Größe ihrer rehearsal-Distanz aufsteigend geordnet. Alle Werte mit Standardabweichung,  $n=16$ .

Für drei Versuchspersonen wurde neben der *rehearsal*-Distanz außerdem ausgewertet, wie viele der Quadrate, auf denen Kreise der präsentierten Sequenz zu liegen kamen, fixiert wurden. Eine Fixation musste innerhalb des Toleranzbereichs des Quadrates liegen, damit das Quadrat als fixiert gewertet wurde.

Zusätzlich geben Abb. 10 und Abb. 11 einen Eindruck davon, wie Probanden mit geringer *rehearsal*-Distanz (Abb. 10) und großer *rehearsal*-Distanz (Abb. 11) Augenbewegungen ausgeführt haben.

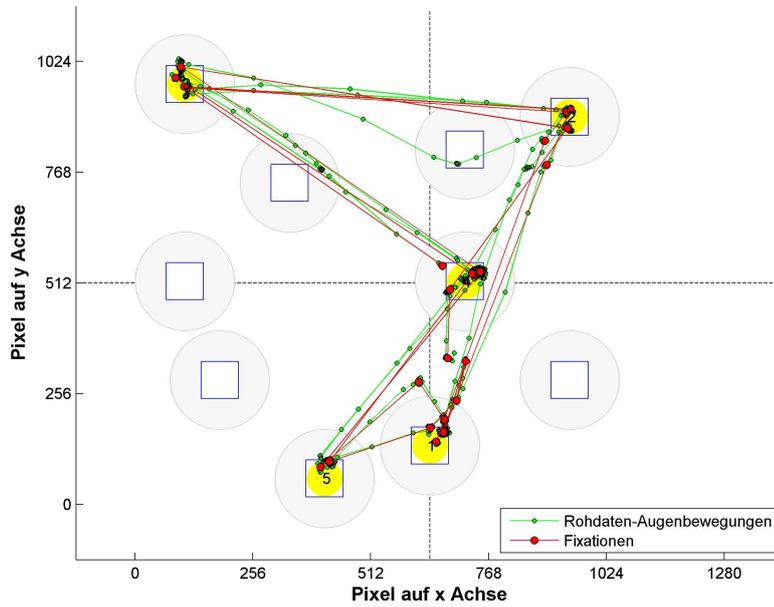


Abb. 10: Beispielhaft: Augenbewegungen von Proband 1 in der retention-Phase eines subtrials (Versuch 2) mit fünf zu memorierenden Positionen. Zu sehen ist, dass auf jedem Kreis mindestens eine Fixation zu liegen kommt. Der Proband ist Teil der Gruppe „viel Okulomotorik“.

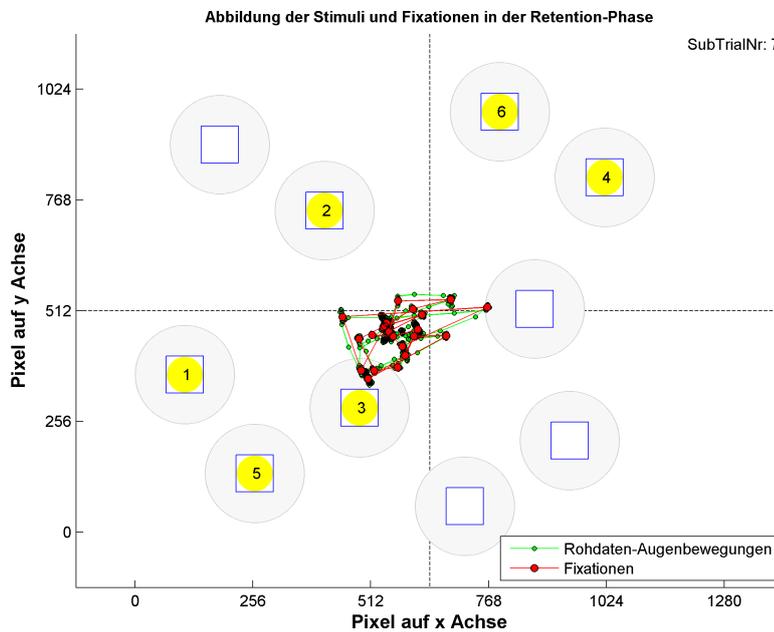


Abb. 11: Beispielhaft: Augenbewegungen von Proband 16 in der retention-Phase eines subtrials (Versuch 2) mit sechs zu memorierenden Positionen. Zu sehen ist, dass Fixationen nur auf manchen Kreisen zu liegen kommen. Der Proband ist Teil der Gruppe „wenig Okulomotorik“.

Ob sich die *rehearsal*-Distanz der *retention*-Phasen (Versuch 2) auf die AG-Spanne im Versuch 2 (im Vergleich zur AG-Spanne von Versuch 1) auswirkt, ist in Abb. 12 zu sehen.

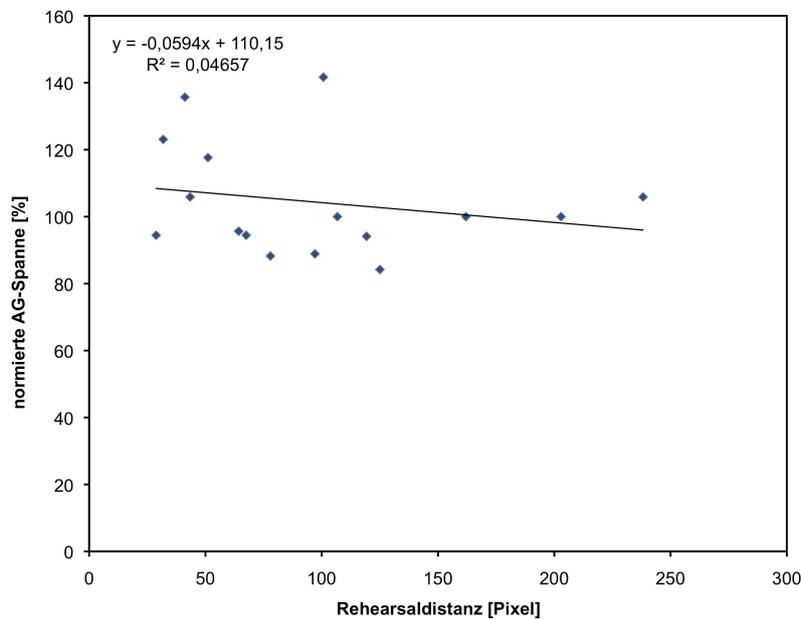


Abb. 12: Normierte AG-Spanne von Versuch 2 in Abhängigkeit von der *rehearsal*-Distanz der *retention*-Phasen von Versuch 2.  $n = 16$ .

Ein schwach linearer Zusammenhang ( $R^2 = 0,05$ ) besteht zwischen der *rehearsal*-Distanz und der AG-Spanne. Die Korrelation zwischen den *rehearsal*-Distanzen und der normierten AG-Spannen ist gering ( $R = 0,22$ ). Unabhängig von der *rehearsal*-Distanz beläuft sich die AG-Spanne aller Versuchspersonen auf ca. 80 % bis 145 % der AG-Spanne von Versuch 1.

### 4.3 Arbeitsgedächtnisspanne der Gruppen

Aufgrund der großen Unterschiede der *rehearsal*-Distanzen (Abb. 9) unter den Probanden wurden sie in zwei Gruppen unterteilt: die acht Probanden mit den kleinsten *rehearsal*-Distanzen, die demnach viel Augenbewegungen ausgeführt haben, bilden die Gruppe „viel Okulomotorik“ (Abb. 10), die acht Versuchspersonen mit den größten *rehearsal*-Distanzen die Gruppe „wenig Okulomotorik“ (Abb. 11). Die Aufteilung der Probanden in Gruppen sollte einen möglichen Einfluss der Augenbewegungen auf die AG-Spanne verdeutlichen. Die AG-Spannen der Versuche 1 bis 4 sind in Abb. 13 und Abb. 14 für beide Gruppen dargestellt.

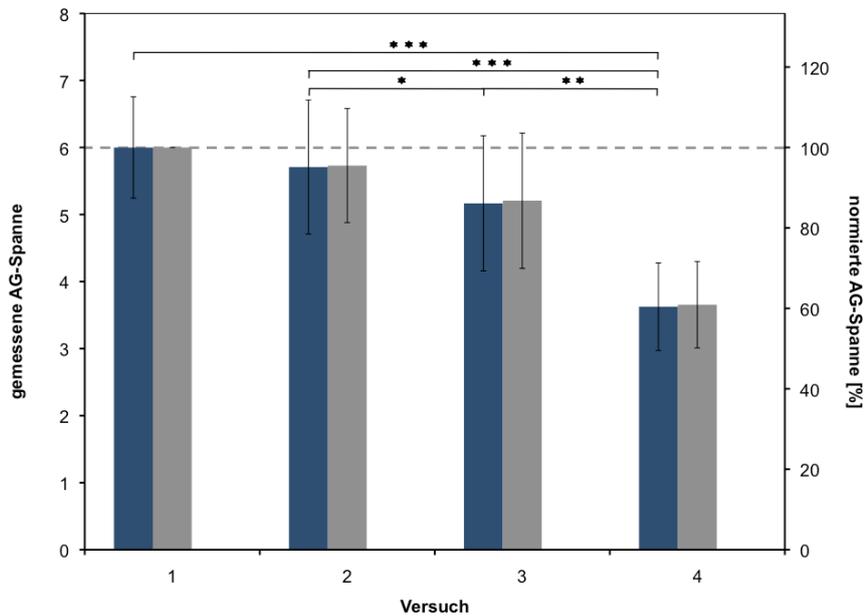


Abb. 13: gemessene (blaue Balken) und normierte (graue Balken) der Gruppe „viel Okulomotorik“. Alle Werte mit Standardabweichung, \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ ,  $n=8$ .

Wie Abb. 13 zeigt liegt die gemittelte AG-Spanne der Gruppe „viel Okulomotorik“ in Versuch 1 bei 6 (SD =  $\pm 0,76$ ), in Versuch 2 bei 5,71 (SD =  $\pm 1,0$ ; Reduktion um: 4,5 %), in Versuch 3 bei 5,17 (SD =  $\pm 1,0$ ; Reduktion um: 13,22 %) und in Versuch 4 bei 3,63 (SD =  $\pm 0,65$ ; Reduktion um: 39,09 %) memorierten Positionen einer Sequenz.

In Abb. 14 ist zu sehen, dass die Gruppe „wenig Okulomotorik“ im Mittel eine AG-Spanne von 5,63 (SD =  $\pm 0,6$ ) in Versuch 1 erreichte, 5,63 (SD =  $\pm 0,82$ ) in Versuch 2, 5,3 (SD =  $\pm 0,84$ ; Reduktion um: 6,1 %) in Versuch 3 und 3,83 (SD =  $\pm 0,55$ ; Reduktion um: 31,87 %) in Versuch 4.

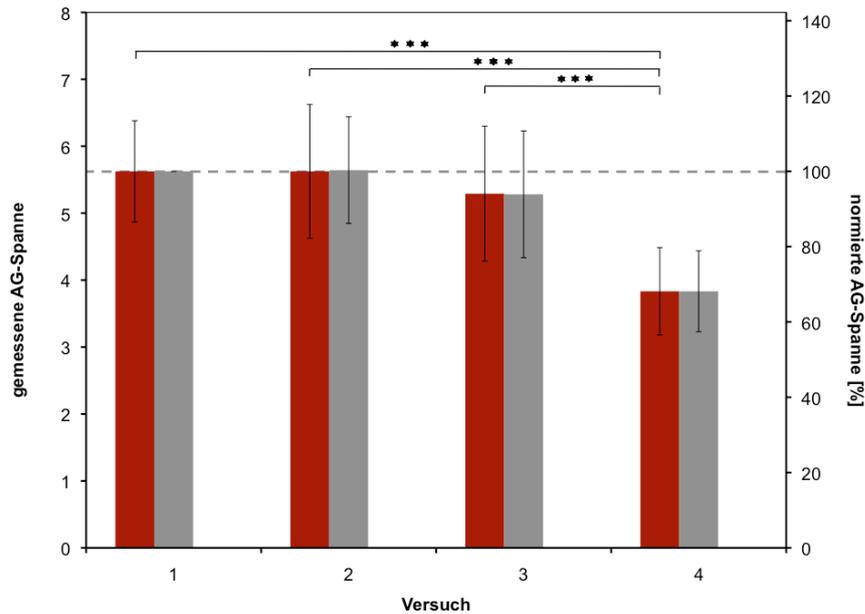


Abb. 14: gemessene (rote Balken) und normierte (graue Balken) der Gruppe „wenig Okulomotorik“. Alle Werte mit Standardabweichung, \* =  $p < 0,05$ , \*\* =  $p < 0,01$ , \*\*\* =  $p < 0,001$ ,  $n=8$ .

Mit Hilfe einer ANOVA-One-Way konnten signifikante Unterschiede innerhalb beider Gruppen gefunden werden ( $F(3,21) = 27,629$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta_p^2 = 0,798$ ; Gruppe „wenig Okulomotorik“:  $F(3,21) = 30,349$ ;  $p < 0,01$ ;  $\eta_p^2 = 0,813$ ). Die signifikanten Unterschiede sind in Abb. 13 und Abb. 14 dargestellt.

Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen hinsichtlich der AG-Spannen eines Versuchs konnte durch einen paarweisen Vergleich nicht festgestellt werden (Versuch 1:  $t(14) = 1,097$ ,  $p = 0,219$ ; Versuch 2:  $t(14) = 0,177$ ,  $p = 0,862$ ; Versuch 3:  $t(14) = -0,262$ ,  $p = 0,797$ ; Versuch 4:  $t(14) = -0,669$ ,  $p = 0,514$ ).



## 5 Diskussion

Zum *rehearsal* räumlicher Information im AG herrschen unterschiedliche Theorien vor. Während Baddeley (1986) behauptet, dass die mit Augenbewegungen einhergehende Aufmerksamkeitsverlagerung das *rehearsal* darstellt, gehen Tremblay et al. (2006) davon aus, dass Bewegungen der Augen zum *rehearsal* beitragen. Eine weitere Theorie stammt von Awh und Jonides (2001) wonach covert Aufmerksamkeitsverlagerungen der Reaktivierung räumlicher Information im AG dienen. Geht man davon aus, dass Augenbewegungen (und/oder die mit den Augenbewegung einhergehende Aufmerksamkeit), oder covert Aufmerksamkeitsverlagerungen das *rehearsal* räumlicher Information darstellen, sollte es zu einer Abnahme der AG-Spanne eines Probanden kommen, wenn Augenbewegungen und/oder Aufmerksamkeitsverlagerungen in der *retention*-Phase eines Versuchs unterbunden werden.

### 5.1 Arbeitsgedächtnisspanne aller Versuchspersonen

In Versuch 1 folgte der *encoding*-Phase nach nur einer Sekunde die *recall*-Phase. Die mittlere AG-Spanne von **Versuch 1** unterscheidet sich nicht signifikant von den AG-Spannen der Versuche 2 und 3 und liegt im Bereich von fünf memorierten Positionen (Abb. 6). Aufgrund der Dauer der *retention*-Phase in Versuch 1 konnte die gespeicherte Information ohne *rehearsal* und ohne zeitlich bedingten Informationsverlust wiedergegeben werden. Ein *rehearsal*, der im AG gespeicherten Information ist notwendig, um einen Verlust der Information zu verhindern, wenn die *retention*-Phase länger andauert (Gruber, 2011), wie es in Versuch 2, 3 und 4 der Fall war. Da die mittlere AG-Spanne in Versuch 2 und 3 nicht signifikant geringer ist als die AG-Spanne in Versuch 1, kann davon ausgegangen werden, dass *rehearsal* eingesetzt wurde. Die Anzahl der Positionen, die in Versuch 2 und 3 richtig wiedergegeben werden konnten, bekräftigt die Theorie von Cowan (2001), dass bis zu sieben Informationseinheiten aufrecht erhalten werden können, wenn *rehearsal* in einer *retention*-Phase erfolgt.

Wird Aufmerksamkeit für das Ausführen eines *dual tasks* benötigt, wird die Aufrechterhaltung von Information im räumlichen AG gestört und die AG-Spanne sinkt (Awh et al., 1998). Baddeley (1986) und Tremblay et al. (2006) behaupten, dass *rehearsal* im räumlichen AG durch Augenbewegungen vonstatten geht, sodass die AG-Spanne geringer ausfallen sollte, wenn keine Augenbewegungen ausgeführt werden können. Da in der *retention*-Phase von **Versuch 4** sowohl Augenbewegungen als auch covert Aufmerksamkeitsverlagerungen durch die Bewältigung der arithmetischen Aufgabe unterbunden wurden und dadurch der Einsatz von *rehearsal* ausblieb, war zu erwarten, dass die AG-Spanne

in Versuch 4 am geringsten ausfällt. Entsprechend der Theorie von Cowan (2001), dass die AG-Spanne auf vier Informationseinheiten abfällt, wenn kein *rehearsal* ausgeführt werden kann, sank die AG-Spanne in Versuch 4 auf 3,73 memorierten Positionen einer Sequenz (Abb. 6). Fraglich ist jedoch, ob die Minderung der AG-Spanne im Vergleich zu Versuch 1 durch die Blockierung von Augenbewegungen (und/oder overte Aufmerksamkeitsverlagerungen), und/oder durch die Blockade von coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen entsteht. Aufschluss darüber sollten die Ergebnisse von Versuch 2 und 3 geben. In Versuch 3 bestand die Möglichkeit, coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen als *rehearsal* in den *retention*-Phasen einzusetzen. Wenn coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen dem *rehearsal* dienen, sollte die AG-Spanne in Versuch 3 signifikant größer sein als in Versuch 4. In Versuch 2 konnten sowohl Augenbewegungen als auch coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen als *rehearsal* eingesetzt werden. Sind Augenbewegungen oder overte Aufmerksamkeitsverlagerungen für die Aufrechterhaltung von Informationen im AG entscheidend, sollten Augenbewegungen ausgeführt werden und die AG-Spanne signifikant größer sein als in Versuch 3.

Eine signifikante größere AG-Spanne in **Versuch 3** im Vergleich zu Versuch 4 (Abb. 6) deutet darauf hin, dass coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen als *rehearsal* eingesetzt wurden, auch wenn die Messung coverter Aufmerksamkeitsverlagerungen nicht erfolgen konnte. Dennoch kann man davon ausgehen, dass die Aufmerksamkeit der Probanden auf den zu memorierenden Positionen lag, da Versuchspersonen ihre Aufmerksamkeit auf Orte richten, die im räumlichen AG aufrechterhalten werden sollen (u. a. Awh et al., 1999). Die Theorie, dass coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen am *rehearsal* beteiligt sind (Awh & Jonides, 2001), wird durch die Daten unterstützt. Jedoch kann ohne Versuch 2 nicht ausgeschlossen werden, dass auch Augenbewegungen zur Aufrechterhaltung räumlicher Information im AG beitragen.

Die AG-Spanne von **Versuch 2** ist signifikant größer als die AG-Spanne von Versuch 3 (Abb. 6), so dass die Möglichkeit besteht, dass Augenbewegungen oder die mit den Augenbewegungen einhergehende Aufmerksamkeitsverlagerung zur Aufrechterhaltung der Information im AG beitragen. Bei dem Einsatz von Augenbewegungen als *rehearsal* kann nicht unterschieden werden, ob es die Bewegung der Augen oder die overte Aufmerksamkeitsverlagerung ist, die im AG gespeicherte Information auffrischt, da Augenbewegungen automatisch mit einer Verlagerung der Aufmerksamkeit einhergehenden (Repovs & Baddeley, 2006).

Eine andere Erklärung des signifikanten Unterschieds zwischen Versuch 2 und 3 ist, dass das Fixieren des Fixationskreuzes in der *retention*-Phase von Versuch 3 Aufmerksamkeit benötigt. Die zur Aufrechterhaltung der Repräsentationen verfügbare Aufmerksamkeit wäre reduziert und die AG-Spanne in Versuch 3 würde geringer ausfallen.

Vergleicht man die Minderung der AG-Spannen der Versuche 3 und 4 im Vergleich zu Versuch 1 (Versuch 3: Reduktion um 9,66%; Versuch 4: Reduktion um 35,48%) wird deutlich, dass eine größere Minderung entsteht, wenn sowohl coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen als auch Augenbewegungen unterbunden werden (Versuch 4), als wenn ausschließlich Augenbewegungen unterbunden werden (Versuch 3). Dies könnte ein Hinweis für das Ausmaß beider Prozesse am *rehearsal* darstellen.

## 5.2 Augenbewegungen

Aufgrund der Daten aller Versuchspersonen könnte man davon ausgehen, dass covert Aufmerksamkeitverlagerungen sowie Augenbewegungen zum *rehearsal* räumlicher Informationen beitragen. Auffällig war jedoch der variierende Einsatz von Augenbewegungen (*rehearsal*-Distanz) unter den Probanden in den *retention*-Phasen von Versuch 2 (Abb. 9). Den Theorien von Tremblay et al. (2006) und Baddeley (1986) zufolge sollten Augenbewegungen in der *retention*-Phase von Versuch 2 ausgeführt werden, um den Verlust von gespeicherten Informationen zu verhindern. In anderen CORSI-block-tapping Experimenten wurde der Einsatz von Augenbewegungen bewertet, indem die Anzahl an unterschiedlichen Punkte-Paaren, die in der richtigen Reihenfolge fixiert wurden, bestimmt wurde (e. g. Tremblay et al., 2006). Da es in der Auswertung der Versuche 1-4 nicht möglich war Fixationen zu Punkte-Paaren zuzuordnen, wurde das Maß der *rehearsal*-Distanz eingeführt. Um sicherzustellen, dass die *rehearsal*-Distanz ein geeignetes Maß zur Bewertung des Einsatzes von Augenbewegungen darstellt, wurde zudem der euklidische Abstand zwischen zwei seriellen, stimulusgerichteten Fixationen (Sakkadenlänge) berechnet. Demnach wird einem Proband mit einer geringen *rehearsal*-Distanz eine große Sakkadenlänge zugewiesen.

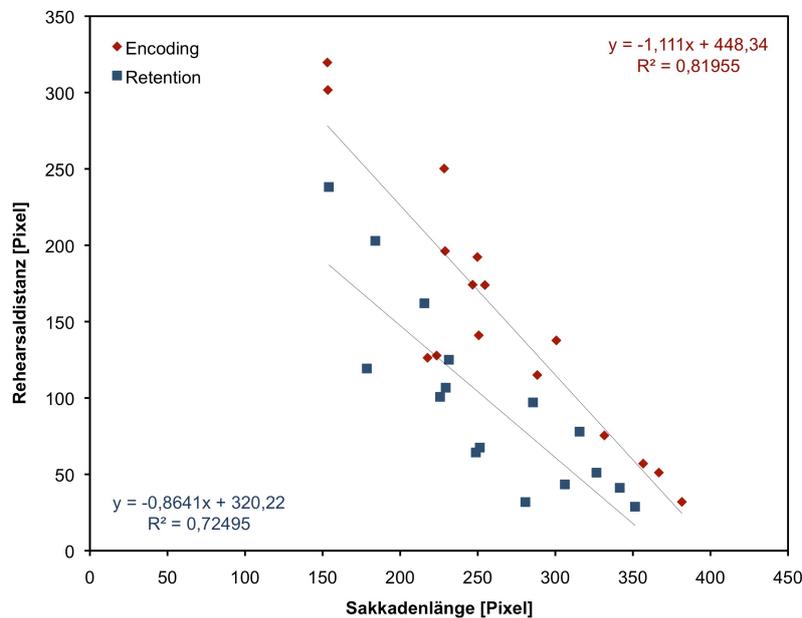


Abb. 15: Vergleich der mittleren Sakkadenlänge und mittleren *rehearsal*-Distanz in der encoding- und retention-Phase von Versuch 2.  $n=16$ .

Wie Abb. 15 verdeutlicht, ist die Korrelation und der lineare Zusammenhang von Sakkadenlänge und *rehearsal*-Distanz in den *encoding*- und *retention*-Phasen von Versuch 2 hoch, so dass sowohl die Sakkadenlänge als auch die *rehearsal*-Distanz ein geeignetes Maß darstellt, um den Einsatz von Okulomotorik als *rehearsal* bewerten zu können.

Zu beachten ist, dass in das Maß der Sakkadenlänge auch *subtrials* eingegangen sind, die nicht erfolgreich absolviert wurden, während die *rehearsal*-Distanz lediglich aus *subtrials* berechnet wurde, in denen die Sequenz richtig wiedergegeben wurde.

Basierend auf ihrer *rehearsal*-Distanz wurden die Probanden zur weitere Analyse ihrer Daten in zwei Gruppen unterteilt, um einen Effekt durch den Einsatz von Augenbewegungen auf die AG-Spannen festzustellen.

### 5.3 Arbeitsgedächtnisspanne der Gruppen

Wie bei der Analyse der Daten aller Versuchspersonen wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den AG-Spannen der Versuche 3 und 4 in beiden Gruppen gefunden, wodurch die Annahme bestätigt wird, dass covert Aufmerksamkeitsverlagerungen für das *rehearsal* räumlicher Information eingesetzt wurden (Abb. 13 und 14).

Im Gegensatz zur Gruppe „wenig Okulomotorik“ (Abb. 14) wurde in der Gruppe „viel Okulomotorik“ auch ein signifikanter Unterschied zwischen den AG-Spannen der Versuche 2 und 3 festgestellt (Abb. 13). Das Fehlen des signifikanten Unterschiedes zwischen den AG-Spannen der Versuche 2 und 3 der Gruppe „wenig Okulomotorik“ kann erklärt werden, wenn man davon ausgeht dass Augenbewegungen nicht notwendigerweise als *rehearsal* eingesetzt werden müssen, um die AG-Spanne in Versuch 2 aufrecht zu erhalten. Godijn und Theeuwes (2011) behaupten, dass Augenbewegungen keinen Vorteil gegenüber dem *rehearsal* räumlicher Information durch covert Aufmerksamkeitsverlagerungen darstellen. Wenn man annimmt, dass Augenbewegungen nicht zum *rehearsal* beitragen, kann der signifikante Unterschied zwischen den AG-Spannen der Versuch 2 und 3 der Gruppe „viel Okulomotorik“ lediglich unter der Annahme erklärt werden, dass der Einsatz von Augenbewegungen von der Ressourcenverfügbarkeit eines Probanden abhängt.

Weitere Hinweise, dass der Einsatz von Augenbewegungen keinen Einfluss auf die AG-Spanne der Versuchspersonen hat, liefert Abb. 12. Es konnte lediglich eine sehr geringe Korrelation zwischen der *rehearsal*-Distanz und den AG-Spannen gefunden werden. Auch der fehlende signifikante Unterschied zwischen beiden Gruppen deutet darauf hin, dass Augenbewegungen nicht ausgeführt werden müssen, um Information im AG aufrecht zu erhalten.

Wenn Godijn und Theeuwes (2011) Recht behalten sollten, und Augenbewegungen keinen Vorteil gegenüber coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen als *rehearsal* räumlicher Information im AG darstellen, ist fraglich, warum Augenbewegungen in der *retention*-Phase von Versuch 2 ausgeführt wurden. Offensichtlich besteht ein Unterschied im Einsatz von Augenbewegungen abhängig davon, ob die Quadrate der *encoding*-Phase in der *retention*-Phasen präsentiert werden (Godijn & Theeuwes, 2011). Sind Quadrate sichtbar kommt es zum Einsatz von Augenbewegungen und die Quadrate werden fixiert, werden keine Qua-

drate präsentiert, konnte das Ausführen von Augenbewegungen nicht festgestellt werden. Wenn Quadrate in einer *retention*-Phasen sichtbar sind, könnte es sein, dass Augenbewegungen ausgeführt werden weil zusätzliche visuell-räumliche Information für das *rehearsal* genutzt werden kann. Darüber hinaus führt die Darstellung der Quadrate zu einer Vereinfachung des *rehearsals*, da die Positionen aller Quadrate der Darstellung entnommen werden können und lediglich die Sequenz der Kreise gespeichert werden muss. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass Probanden Augenbewegungen strategisch eingesetzt haben, wodurch sie sich (eventuell durch Erfahrungswerte) eine bessere Aufrechterhaltung versprachen.

Ziel dieses Experiments war es das Ausmaß von coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen und Augenbewegungen am *rehearsal* seriell präsentierter, visuell-räumlicher Information im AG zu verdeutlichen. Letztendlich lässt sich anhand der Analyse der Daten aller Versuchspersonen und der Gruppen sagen, dass coverten Aufmerksamkeitsverlagerungen eine bedeutende Rolle im *rehearsal* spielen. Ob Augenbewegungen oder die mit Augenbewegungen einhergehende Aufmerksamkeitsverlagerung ebenso Teil des *rehearsals* sind kann basierend auf den vorliegenden Daten nicht eindeutig beantwortet werden.

## 5.4 Ausblick und Ergänzungen des Experiments

Um eine Aussage bezüglich des *rehearsals* räumlicher Information durch Augenbewegungen treffen zu können, sollten einige Verbesserungen des Versuchs vorgenommen werden:

### 1. Stichprobe erweitern

Die Einteilung der Probanden in zwei Gruppen erfolgte durch eine Zerteilung in gleich große Gruppen aufgrund ihrer *rehearsal*-Distanzen, indem die acht Versuchspersonen, mit der geringsten *rehearsal*-Distanzen und die acht Versuchspersonen mit den größten *rehearsal*-Distanzen zu einer Gruppe vereint wurden.

Grund dieser Aufteilung war ein kontinuierlicher Anstieg der *rehearsal*-Distanzen (Abb. 9). Wenn durch einen größeren Stichprobenumfang ein nicht kontinuierlicher Anstieg der *rehearsal*-Distanzen auftreten würde und die Gruppeneinteilung auf Grund eines plötzlichen Anstiegs der *rehearsal*-Distanz vorgenommen werden könnte, wäre es möglich, dass der Beitrag von Augenbewegungen am *rehearsal* in der Analyse der Gruppen deutlicher ausfallen könnte.

### 2. Anweisungen befolgen

In den MATLAB Abbildungen, die aus den Daten der *retention*-Phase von Versuch 3 erstellt wurden, fällt auf, dass Probanden nicht ausschließlich auf das Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms schauten.

Den Probanden sollte eine Rückmeldung gegeben werden, ob sie in der *retention*-Phase von Versuch 3 auf das Fixationskreuz schauen. Ist dies nicht der Fall sollten die *subtrials* wiederholt werden müssen, so dass durch ein Lernprozess das Abweichen der Blickrichtung vom Fixationskreuz unterbunden wird. Dadurch kann die

Minderung der AG-Spanne durch die Blockade von Augenbewegungen in der Gruppe „wenig Okulomotorik“ verdeutlicht werden.

Weitere Effekte, welche die Leistung der Probanden beeinflussen könnten, könnten unterbunden werden durch:

**1. Aufklärung der Probanden**

Die *trials* eines Versuchs wurden nacheinander absolviert, wodurch die Probanden vor dem Beginn einer *encoding*-Phase über die zu bewältigende Aufgabe in der *retention*-Phase informiert waren. Godijn und Theeuwes (2011) gehen davon aus, dass Probanden eine unbewusste Tendenz hinsichtlich des Einsatzes von okulomotorischem oder aufmerksamkeitsbasiertem *rehearsal* entwickeln, wenn ihnen vor Versuchsbeginn mitgeteilt wird, wie sie sich in der *retention*-Phase zu verhalten haben.

In Versuch 3 wäre es beispielsweise möglich, dass Probanden weniger Augenbewegungen in den *encoding*-Phasen ausgeführt haben, da sie wussten, dass sie in der *retention*-Phase keine Augenbewegungen ausführen durften. War dies der Fall besteht die Möglichkeit, dass die Sequenz schlechter enkodiert wurde und die AG-Spanne aufgrund dessen geringer ausfiel.

Um dies zu verhindern sollten die *trials* der Versuche in einer randomisierten Reihenfolge durchgeführt werden. Die Probanden sollten erst zu Beginn der *retention*-Phase darüber informiert werden, welche Aufgabe in der *retention*-Phase bewältigt werden muss.

**2. Distanz zwischen den Kreisen einer Sequenz vereinheitlichen**

Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit des Experiments ist, den Abstand zwischen zwei seriell präsentierten Kreisen konstant zu wählen, da der Abstand zwischen zwei in Folge zu memorierenden Positionen einen Einfluss auf die Wiedergabe hat (path-length-effect, Guérard et al., 2009). Die Erinnerungsleistung für zwei Stimuli, die seriell nah beieinander präsentiert werden, ist besser, als die Erinnerungsleistung für Stimuli die mit großem Abstand zueinander präsentiert werden.

## Anhang

### 1. Einverständniserklärung

<b>Einverständniserklärung</b>	
Hiermit erkläre ich mich bereit, an dem CORSI-Experiment zum Testen der Leistung des Arbeitsgedächtnisses beim Menschen teil zunehmen. Ich bin darüber aufgeklärt worden, dass meine Augenbewegungen während des Experimentes nicht-invasiv aufgezeichnet werden.	
<b>Das Experiment kann zu jedem Zeitpunkt und ohne Begründung gegenüber dem Versuchsleiter abgebrochen werden.</b>	
Datum:	_____
Name der VP:	_____
<b>Unterschrift:</b>	_____

Abbildung 16: Einverständniserklärung, die von den Probanden vor dem Experiment unterschrieben werden musste

### 2. CD

- MATLAB-Skripte der Versuche 1 bis 4
- Daten aller Versuchspersonen



## Literaturverzeichnis

- Ackerman, D. (2004). *An Alchemy of Mind: the Marvel and Mystery of the Brain*. Scribner.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human Memory: a Proposed System and its Control Processes. In K. W. Spence, & J. T. Spence, *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (Vol. 2, pp. 89-195). New York, USA: Academic Press.
- Awh, E., & Jonides, J. (2001). Overlapping Mechanisms of Attention and Spatial Working Memory. *Trends in Cognitive Sciences* (5(3)), 119-126.
- Awh, E., & Jonides, J. (1998). Spatial Selective Attention and Spatial Working Memory. *The Attentive Brain* , 353-380.
- 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., Jonides, J., Smith, E. E., Buxton, R. B., Frank, L. R., Love, T., et al. (1999). Rehearsal in Spatial Working Memory: Evidence from Neuroimaging. *Psychological Science* (10), 433-437.
- Awh, E., Smith, E. E., & Jonides, J. (1995). Human Rehearsal Processes and the Frontal Lobes: PET Evidence. *Annals of the New York Academy of Sciences* (769), 97-119.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. New York, USA: Clarendon Press/Oxford University Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working Memory. *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research an Theory* (Vol 8), 47-90.
- Cowan, N. (1997). *Attention and Memory: an Integrated Framework*. Oxford University Press.
- Cowan, N. (2001). The Magical Number 4 in Short-Term Memory: a Reconsideration of Mental Storage Capacity. *Behavioral and Brain Sciences* , 24, 87+-.

- Cowan, N. (2008). What are the Differences Between Long-Term, Short-Term, and Working Memory? *Progress in Brain Search* (Vol. 169), Chapter 20.
- Godijn, R., & Theeuwes, J. (2011). *Overt is no Better than Covert When Rehearsing Visuo-Spatial Information in Working Memory*. Retrieved 2011 03-08 from <http://www.springerlink.com/content/u3478q4p9471m46l/>
- Gruber, T. (2011). *Gedächtnis*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Verlag.
- Guérard, K., Tremblay, S., & Saint-Aubin, J. (2009). The Processing of Spatial Information in Short-Term Memory: Insights from Eye Tracking the Path Length Effect. *Acta Psychologica* (132), 136-144.
- Johnson, P. (1982). The Functional Equivalence of Imagery and Movement. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* (34A), 349-365.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-Spatial Working Memory*. Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Logie, R. H., & Marchetti, C. (1991). Visuo-Spatial Working Memory: Visual, Spatial or Central Executive? *Mental images in human cognition* , 105-115.
- Miller, G. A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review* (63), 81-97.
- Miyake, A., & Shah, P. (1999). *Models of Working Memory, Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*. New York: Cambridge University Press.
- 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 Section A* , 1089-1111.
- 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.
- Repovs, G., & Baddeley, A. D. (2006). The Multi-Component Model of Working Memory: Explorations in Experimental Cognitive Psychology. *Neuroscience* (139), 5-21.
- Smyth, M. M. (1996). Interference with Rehearsal in Spatial Working Memory in the Absence of Eye Movement. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (49A(4)), 940-949.

- Thaler, A. (2011). *Die Rolle der Augenbewegungen bei der Aufrechterhaltung zeitlich-räumlicher Repräsentationen im CORSI-Block-Tapping Experiment*. Tübingen.
- Tremblay, S., Saint-Aubin, J., & Jalbert, A. (2006). Rehearsal in Serial Memory for Visual-Spatial Information: Evidence from Eye Movements. *Psychological Bulletin and Review* (13), 452-457.

