

Eberhard Karls Universität Tübingen  
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät  
Institut für Neurobiologie

## Bachelorarbeit Kognitionswissenschaft

### **Einsatz interner und externer Strategien bei der Aufrechterhaltung räumlicher Repräsentation**

Alexandra Walter

21. November 2016

#### **Betreuer**

Dr. Gregor Hardiess  
Universität Tübingen  
Kognitive Neurowissenschaft  
Fachbereich Biologie  
Auf der Morgenstelle 28  
72076 Tübingen

**Walter, Alexandra:**

*Einsatz interner und externer Strategien bei der Aufrechterhaltung räumlicher Repräsentation*

Bachelorarbeit Kognitionswissenschaft

Eberhard Karls Universität Tübingen

Bearbeitungszeitraum: 24. August 2016 bis 21. November 2016

# Zusammenfassung

Das Arbeitsgedächtnis dient zur kurzzeitigen Aufrechterhaltung und zur Manipulation von aktuell benötigten Informationen. Um komplexe Probleme zu lösen, müssen die Informationen oft über einen großen Zeitraum zur Verfügung stehen. Hardiess und Mallot zeigten 2015, dass dazu zwei Strategien eingesetzt werden. Das Wiederholen durch Augenbewegungen oder der Verlagerung verdeckter Aufmerksamkeit (externe Strategie) sowie die interne Repräsentation im Gedächtnis (interne Strategie) werden zur Verlängerung der Aufrechterhaltung räumlicher Informationen verwendet.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einsatz externer und interner Strategien im Corsi-Block-Tapping Test untersucht. Ein Fokus lag auf den individuellen Unterschieden der Verwendung der Strategien und der Veränderungen der Strategiewahl über verschiedene Faktoren. Aussagen über einen Strategiewechsel mit zunehmender Sequenzlänge konnten aufgrund weniger Messdaten aus Durchgängen mit hohen Sequenzlängen nicht getroffen werden.

Der Corsi-Block-Tapping Test bestand aus drei Phasen. In der Memorisierungsphase wurde die Corsi-Sequenz präsentiert, die in der Retentionsphase aufrechterhalten werden musste und in der Wiedergabephase wiedergegeben. Während der Retentionsphase wurde eine aus drei Zweitaufgaben gestellt. In der ersten Bedingung war die Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz uneingeschränkt möglich. Durch die Zweitaufgabe der zweiten Bedingung wurde die Verwendung externer Strategien erschwert. Der Einsatz externe und interne Strategien wurde in der dritten Bedingung verhindert.

Durch die Betrachtung der Blickspuren und der Untersuchung der Varianz des Abfalls der Corsi-Spanne wurde gezeigt, dass externe und interne Strategien zur Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz im Arbeitsgedächtnis eingesetzt werden. Individuelle Unterschiede in der Verwendung externer und interner Strategien in der Memorisierungs- und Retentionsphase wurden mit einem von uns definierten Explorationsmaßes nachgewiesen. Die individuelle Präferenz für eine der beiden Strategien blieb über alle drei Bedingungen und den Experimentalphasen stabil. Ein Zusammenhang der Strategiewahl mit der Wiedergabeleistung wurde nur durch manipulative Benachteiligung einer der beiden Strategien festgestellt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen den Einsatz externer und interner Strategien zur Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz und führen zu weiteren Aussagen über das Ausmaß der verwendeten Strategien in verschiedenen Manipulationen.

## Danksagung

Ich danke dem Institut für Neurobiologie der Universität Tübingen, das mir die Möglichkeit gegeben hat, meine Bachelorarbeit in diesem spannenden Bereich des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses in einem sehr angenehmen Umfeld zu schreiben.

Ich danke vor allem PD Dr. Gregor Hardiess, der mich während der gesamten Zeit des Forschens und Schreibens begleitet hat. Ich danke ihm für die unermüdliche Hilfestellung und den enormen Fortschritt, den ich im Bereich des wissenschaftlichen Arbeitens mit ihm gemacht habe. Das thematische Wissen und die methodischen Fähigkeiten bilden eine langfristige Grundlage für mein weiteres Studium und die Jahre danach. Ich bedanke mich für Diskussionen und die Freude am Forschen, die er mir vermittelt hat.

Ich danke Kristof für seinen formalen Rat und Beistand zu jeder Tageszeit.

Ich danke meiner Familie, die mich während meines gesamten Studiums sehr liebevoll unterstützt hat. Ein so großartige Familie an seiner Seite zu haben, ist in allen Bereiche des Lebens von weitreichender Bedeutung.

Ich danke meinen Freundinnen Laura und Annika für die emotionale Unterstützung in diesen intensiven Monaten.

Ich danke meinen Mitbewohnern, die sich in den letzten Tagen um mein leibliches Wohl sorgten, und allen Versuchspersonen für die Teilnahme.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Das Modell des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley und Hitch . . . . .	2
1.2	Limitation des Arbeitsgedächtnisses und die Unterstützung der Aufrechterhaltung von Gedächtnisinhalten durch Wiederholungsprozesse . . . . .	3
1.3	Der Corsi-Block-Tapping Test zur Untersuchung der Aufrechterhaltungsstrategien im visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis . . . . .	4
1.4	Interne und externe Strategien bei der Aufrechterhaltung mentaler Repräsentationen . . . . .	5
1.4.1	Hypothesen der Arbeit . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Methoden</b>	<b>9</b>
2.1	Versuchspersonen . . . . .	9
2.2	Material: Stimuli und Apparaturen . . . . .	9
2.3	Prozedur . . . . .	10
2.3.1	Versuchsablauf . . . . .	10
2.3.2	Zweitaufgaben . . . . .	12
2.4	Datenauswertung . . . . .	13
2.4.1	Messgrößen . . . . .	13
2.4.2	Statistik . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>17</b>
3.1	Blickspuren . . . . .	17
3.2	Erste abhängige Variable: Corsi Spanne . . . . .	18

3.3	Zweite abhängige Variable: Erstes Explorationsmaß in Prozent . . . . .	21
3.3.1	Stabilität der externen Strategie in der ersten Bedingung . . . . .	21
3.4	Zusammenhang zwischen Corsi-Spanne und Ausmaß der externen Strategie zur Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz . . . . .	24
3.5	Gesamtergebnisse . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Diskussion und Ausblick</b>	<b>27</b>
4.1	Wiederholung der Hypothesen . . . . .	27
4.2	Einsatz externer und interner Strategien . . . . .	28
4.3	Analyseergebnisse der Corsi-Spanne . . . . .	28
4.4	Individuelles Ausmaß externer und interner Strategien . . . . .	29
4.5	Strategiewechsel mit zunehmender Sequenzlänge . . . . .	30
4.6	Fazit . . . . .	31
4.7	Ausblick . . . . .	32
4.7.1	Aussagen der Dauer und der zeitlichen Abfolge der Fixationen .	32
4.7.2	Systematisches Auslassen einzelner Stimuli . . . . .	32
4.7.3	Bedeutung zeitlicher und räumlicher Fehler der Wiedergabe . .	32
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>33</b>
	<b>Selbständigkeitserklärung</b>	<b>35</b>
	<b>Anhang</b>	<b>36</b>

# Kapitel 1

## Einleitung

Die Funktionen des Gedächtnisses umfassen die Fähigkeit von Lebewesen, Informationen abzuspeichern und aufrecht zu erhalten, damit sie später wieder abgerufen werden können [Brockhaus, 2003]. Frühe Erkenntnisse über die Gedächtnisstruktur des Menschen werden auf Hermann Ebbinghaus (\*1850 - †1909) zurückgeführt. Dieser untersuchte durch das Lernen bedeutungsloser Silben sein eigenes Erinnerungsvermögen über 31 Tage hinweg und erkannte, dass die fehlerfreie Wiedergabe von Informationen kurze Zeit nach deren Einprägung nicht deren dauerhafte Erinnerung sicherstellte. Das Erinnern der gelernten Information über einen langen Zeitraum konnte er nur durch mehrfache Wiederholung der Informationen erzielen.

William James nahm 1890 die Unterteilung des Gedächtnisses in einen primären Teil, der für die Aufrechterhaltung geringer Informationsmengen über kurz Zeit verantwortlich war, und einen sekundären Teil für umfangreiches, dauerhaftes Wissen vor. Heutzutage ist die Trennung dieser Strukturen nach wie vor gültig. Anstatt des primären Gedächtnisses, wird der kurzzeitigen Speicher vor allem durch die Prägung von Broadbent sowie Atkinson und Shiffrin, als einen Teil des Gedächtnisses, der geringe Mengen an Informationen für schnelle Zugriffe bereithält, verstanden [Müsseler, 2007]. Für diesen Teil hat sich der Begriff des Kurzzeitgedächtnisses etabliert. Mit dem sekundären Gedächtnis vergleichbar ist das so genannte Langzeitgedächtnis [Cowan, 2008]. Eine Abgrenzung der beiden Strukturen wird vor allem über die Dauer definiert, in der die gespeicherte Information fehlerfrei abgerufen werden kann. Die Zeitspanne liegt im Kurzzeitgedächtnis ohne Wiederholungsprozesse bei wenigen Sekunden und kann im Langzeitgedächtnis bis zu mehreren Jahren betragen [Brockhaus, 2003].

## 1.1 Das Modell des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley und Hitch

Um Informationen aus dem Kurzzeitgedächtnis längerfristig abzuspeichern, müssen diese aktiv wiederholt werden. Dazu dient das Arbeitsgedächtnis, welches als System zur kurzzeitigen Erhaltung und zur Manipulation von aktuell benötigter Informationen verstanden wird. Darüber hinaus aktiviert es bereits gespeicherte Informationen aus dem Langzeitgedächtnis, sofern diese als Hilfe bei der Problemlösung komplexer Aufgaben benötigt werden.

Eines der bekanntesten Modelle des Arbeitsgedächtnisses wurde 1974 von Baddeley und Hitch entworfen und fortwährend weiterentwickelt [Baddeley, 2010, S. 9 f.]. Zu Beginn bestand dieses Modell aus der zentralen Exekutive, der phonologischen Schleife und dem räumlich-visuellen Notizblock. Im Jahre 2000 wurden diese um eine vierte Komponente, dem episodischen Puffer, ergänzt [Baddeley, 2010, S. 57].

Der zentralen Exekutive wird als übergeordnete Instanz die Verteilung von Aufmerksamkeit und Kontrolle über die anderen Komponenten zugeschrieben [Baddeley, 2010, S. 44]. Sie ist für die Manipulation und Koordination der kurzfristig gespeicherten Information zuständig [Müsseler, 2007].

Der episodische Puffer wird als ein Speichersystem verstanden, das bis zu vier Informationseinheiten enthalten kann. Als Verbindungsglied zwischen verschiedenen Speichersystemen und den Komponenten des Arbeitsgedächtnisses [Baddeley, 2010, S. 56] sorgt der episodische Puffer für die Integration von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis in aktuelle Gedächtnisinhalte. Mit diesem Mechanismus kann unter anderem perzeptuelle Wahrnehmung mit vergangenen Situationen verglichen und interpretiert werden [Gerrig et al., 2014].

Die phonologische Schleife ist die bisher am intensivsten untersuchte Komponente der vier und für die Verarbeitung akustischer und sprachbasierter Informationen zuständig. Diese besteht nach Baddeley und Hitch aus zwei Subsystemen, dem passiven phonologischen Speicher und dem artikulatorischen Kontrollprozess. Der passive phonologische Speicher kann auditorisch-verbale Information etwa 1,8 Sekunden aufrechterhalten. Durch den artikulatorischen Kontrollprozess ist es möglich, diese Information über einen längeren Zeitraum abzurufen [Hasselhorn and Grube, 2003]. Der hierzu verwendete Prozess ist vergleichbar mit einem inneren Wiederholen der Laute und wird als subvokales Sprechen bezeichnet. Dies zeigte Baddeley unter anderem durch den Effekt der phonologischen Ähnlichkeit. In seinem Experiment ließ er Probanden phonologisch ähnliche oder phonologisch verschiedene Wortlisten lernen und wiedergeben. Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde eine starke Beeinträchtigung der Wiedergabeleistung phonologisch ähnlicher Wörter festgestellt. Baddeley schloss somit auf eine interne Repräsentation der Laute durch ihre akustische Beschaffenheit, die zur Aufrechterhaltung auditorisch-verbale Information in der phonologischen Schleife verwendet wird [Klein, 1997].

Im räumlich-visuellen Notizblock werden Aufgaben bearbeitet, die räumlich oder



visuell repräsentierte Informationen beinhalten. „Räumlich“ beschreibt die Lokalisation und Orientierung des Objekts und “visuell“ die zur Identifikation eines Objekts benötigten, äußeren Merkmale [Pearson et al., 2014]. Cooper und Shepard analysierten die Gedächtnisleistung des räumlich-visuellen Notizblocks mit Hilfe des Paradigmas der mentalen Rotation. Sie präsentierten ihren Probanden den Großbuchstaben R sowie dessen Spiegelung in verschiedenen Orientierungen. Die Aufgabe bestand darin zu identifizieren, ob es sich bei der Präsentation um den Buchstaben R oder dessen Spiegelung handelte. Für die Reaktionszeit der Identifizierung stellte sich ein linearer Zusammenhang mit dem Rotationswinkel heraus. Die Probanden reagierten auf eine Drehung des Buchstabens R um  $180^\circ$  am langsamsten und bei einer Drehung um  $0^\circ$  am schnellsten [Thomas, 2016].

## 1.2 Limitation des Arbeitsgedächtnisses und die Unterstützung der Aufrechterhaltung von Gedächtnisinhalten durch Wiederholungsprozesse

Das innere Wiederholen verbaler Information in der phonologischen Schleife verlängert den Zeitraum, in der diese im Arbeitsgedächtnis bearbeitet werden kann. Solch ein Wiederholungsprozess wird notwendig, da das Arbeitsgedächtnis in der Dauer der Aufrechterhaltung und durch die Menge an gleichzeitig bearbeitbarer Informationen limitiert ist. Als ein Maß für die Limitation des Arbeitsgedächtnisses bezüglich seiner Kapazität kann unter anderem die sogenannte Digit-Spanne herangezogen werden. Um diesen zu messen, müssen sich Versuchspersonen Zahlensequenzen merken, die in ihrer Länge zunehmen. Die maximale Anzahl an Zeichen die aus einer gelesenen Zahlensequenz fehlerfrei wiedergegeben werden kann, bezeichnet den Wert der Digit-Spanne [Baddeley, 2010, S. 20].

Ähnlich wie in der phonologischen Schleife findet sich auch im räumlich-visuellen Notizblock Evidenz für eine sowohl quantitative als auch zeitliche Begrenzung. Laeng *et al.* untersuchten 2012 die Augenbewegungsmuster von Probanden, während diese sich Tierbilder einprägten, zu denen sie später Detailfragen beantworten sollten. Obwohl der Bildschirm, an dem die Probanden die Tierbilder zu sehen bekamen, während der Retentionsphase (Phase der Aufrechterhaltung) leer war, bewegten sie ihre Augen auf Bahnen, die den Bewegungsmustern während der Darbietung der Tierbilder (Phase der Memorisierung) stark ähnelten. Fixationen traten an besonders markanten Stellen des ursprünglichen Tierbildes auf. Daraus schlossen Laeng *et al.*, dass das Wiederholen von Augenbewegungsmustern zu markanten Stellen zum Erhalt von Größen- und Positionsinformationen eines Bildes hilfreich ist [Laeng et al., 2014].

In einer anderen Studie konnte gezeigt werden, dass die Gedächtnisleistung von Probanden in räumlichen Experimenten stark verringert ist, wenn diese ihre Augen

oder ihren Körper abweichend von der Aufgabe bewegen. Dies spricht für die Unterstützung aufgabenkongruenter Bewegungsmuster und somit für die Unterstützung der Aufrechterhaltung des räumlichen Arbeitsgedächtnisses durch wiederholende Bewegung der Augen [Pearson and Sahraie, 2003, Pearson et al., 2014].

### 1.3 Der Corsi-Block-Tapping Test zur Untersuchung der Aufrechterhaltungsstrategien im visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis

Als ein weit verbreitetes Paradigma in der klinischen Diagnostik und der experimentellen Forschung zur Untersuchung des räumlich-visuellen Arbeitsgedächtnis gilt der Corsi-Block-Tapping Test (CBTT). Der Test wurde 1972 von Corsi entwickelt und zielt auf die quantitative Limitation des Arbeitsgedächtnisses ab. Ursprünglich bestand dieser Test aus neun Holzwürfeln, die unregelmäßig auf einem Brett platziert wurden, welches zwischen Proband und Versuchsleiter stand. Der Versuchsleiter tippt in einer zufälligen Sequenz, die zu Beginn aus nur zwei Positionen besteht, auf die Holzwürfel. Werden zwei aus drei (wahlweise  $1/2$  oder  $3/5$ ) Sequenzen vom Probanden richtig wiederholt, wird die Länge der Sequenz um eine Stelle erhöht. Die Corsi-Spanne entspricht der zuletzt richtig absolvierten Sequenzlänge.

Zur besseren Kontrolle und Vergleichbarkeit (z.B. konstante Tipp-Frequenz) werden heute vor allem virtuelle Versionen des CBTT verwendet [Riccardo Brunetti, 2004]. Die durchschnittliche Corsi-Spanne gesunder Erwachsener liegt bei fünf Positionen [Röser et al., 2016]. Mittlerweile ist bekannt, dass neben der Anzahl der zu erinnernden Positionen, auch Faktoren wie die Pfadlänge, die Anzahl der Kreuzungen des Pfades und die Winkel der Teilstrecken zueinander die Wiedergabeleistung der Versuchspersonen beeinflussen [Parmentier, 2005].

Awh und Jonides befassten sich 2001 mit dem Zusammenhang von räumlicher Aufmerksamkeit und dem räumlichen Arbeitsgedächtnis. Erschien in ihrem Experiment ein Symbol an derselben Stelle des Bildschirms wie ein Symbol zuvor, so wurde das Symbol an dieser Stelle schneller verarbeitet als ein Symbol, welches an einer anderen Stelle präsentiert wurde. Dieser Effekt entsteht durch die Voraktivierung der Verarbeitung an der Stelle des zuerst gezeigten Symbols, welches durch Aufmerksamkeit ermöglicht wird. Räumliche Aufmerksamkeit wirkt sich somit positiv auf die räumliche Verarbeitung aus [Awh and Jonides, 2001] und kann in zwei verschiedene Prozesse unterteilt werden. Offene, räumliche Aufmerksamkeit (*engl. overt attention*) bezeichnet die Ausrichtung der *Fovea centralis* (durch Augenbewegungen) auf die zu beachtenden Position im Raum. Werden Rauminformationen unabhängig von der Ausrichtung der Augen verarbeitet, bedeutet dies die Aktivierung durch verdeckte, räumliche Aufmerksamkeit (*engl. covert attention*) [Spektrum, 2000].

Awh *et al.* wollten zeigen, dass räumliche Aufmerksamkeit nicht nur unterstützend

auf das räumliche Arbeitsgedächtnis wirkt, sondern eine funktional wichtige Rolle einnimmt. Sie stellten die Hypothese auf, dass das räumliche Arbeitsgedächtnis auf das Wiederholen impliziter Augenbewegungsmuster angewiesen ist, so wie die phonologische Schleife auf wiederholende, subvokale Artikulation. Zur Prüfung führten sie einen CBTT mit längerer Pause zwischen Einprägungsphase und Wiedergabephase durch. In dieser Pause mussten die Probanden verschiedene Zweitaufgaben ausführen, die ebenfalls die räumliche Aufmerksamkeit unterschiedlich beanspruchten. Die Ergebnisse zeigten einen Leistungsrückgang verursacht durch das Bearbeiten der Zweitaufgabe. Dieser Rückgang ließ sich auch feststellen, wenn die Blickrichtung fixiert war und nur verdeckt Aufmerksamkeit verlagert wurde [Awh and Jonides, 2001].

In Anbetracht dieser Ergebnisse untersuchten Pearson und Sahraie 2003 weitere Eigenschaften von Wiederholungsstrategien bei der Aufrechterhaltung räumlicher Information. Dafür wählten sie verschiedene Zweitaufgaben während der Pause zwischen Einprägungsphase und Wiedergabephase im CBTT, in denen die Probanden unter anderem glatte Augenfolgebewegungen oder Blicksprünge (Sakkaden) mit geschlossenen oder offenen Augen ausführten. Das Gleiche testeten Pearson und Sahraie mit kontinuierlicher oder sprunghafter Aufmerksamkeitsverlagerungen ohne Augenbewegung. Sie fanden heraus, dass die Unterbrechung der aufmerksamkeitsbasierten Wiederholung von räumlicher, sequentieller Information zu einer starken Verringerung der Corsi-Spanne führt. Daraus schlossen sie auf die Verwendung aufmerksamkeitsbasierter Wiederholungsstrategien bei der Aufrechterhaltung räumlicher Informationen. Pearson und Sahraie betonten, dass dieses starke Zusammenspiel von Aufmerksamkeit und räumlichem Arbeitsgedächtnis nicht die einzigen Mechanismen seien, die räumliche Information im Arbeitsgedächtnis erhalten [Pearson and Sahraie, 2003].

## 1.4 Interne und externe Strategien bei der Aufrechterhaltung mentaler Repräsentationen

Mit der vorliegenden Arbeit sollte genauer untersucht werden, in welchem Ausmaß verschiedene Strategien (interne und externe) zum Lösen der Corsi-Aufgabe angewandt werden. Beim CBTT können Probanden zum Erhalt räumlicher Information besonders markante Stellen wiederholt anschauen oder lediglich ihre verdeckte Aufmerksamkeit dorthin lenken. Diese Strategien werden als Wiederholungsstrategien (*engl. Rehearsal*) oder auch externe Strategien der Aufrechterhaltung räumlicher Information verstanden, da die vorhandenen Informationen in der Umgebung selbst, also außerhalb des Individuums, gespeichert sind und von dort zum Lösen des CBTT herangezogen werden. Im Gegensatz dazu kann die Information auch im Gedächtnis repräsentiert werden. Diese Strategie wird demnach Memorisierungs- oder interne Strategie genannt [Hardiess and Mallot, 2015].

Am Beispiel der vergleichenden visuellen Suche (CVS) wurde der Einsatz dieser beiden Strategien bei der Lösung einer Suchaufgabe mit sich veränderndem Aufwand für die externe als auch die interne Strategie untersucht. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, in kürzester Zeit die Anzahl der Unterschiede zweier nebeneinander positionierter Spalten aus Farbkreisen oder Tiersilhouetten zu erkennen. Dabei lag über einer der Spalten eine Maske, die durch einen Mausklick zur anderen Spalte wechselte. Der Aufwand der externen Strategie wurde über einen Verzögerungszeitraum kontrolliert, der den Wechsel der Maske zeitlich bestimmte. Dieser Verzögerungszeitraum betrug entweder 0, 0,5 oder 1 Sekunde. Die Dauer der Betrachtung einer Spalte wurde als Maß für den intern repräsentierten Informationsgehalt aufgefasst, während die Häufigkeit eines Maskenwechsels als Maß für externes Wiederholen galt. Hardiess und Mallot (2015) fanden heraus, dass jeder Proband sowohl interne als auch externe Strategien jedoch in einer individuell unterschiedlichen Ausprägung einsetzte. Der Anteil externer Repräsentation nahm mit zunehmender Verzögerung des Maskenwechsels und damit ansteigendem Aufwand der externen Strategie signifikant ab, wobei sich die Betrachtungsdauer der Spalten verlängerte. Aus dem Vergleich von Anzahl der Maskenwechsel und der Betrachtungsdauer über alle Verzögerungsbedingungen, ließ sich eine Kostenfunktion aufstellen. In dieser Kostenfunktion wird der Aufwand zum externen Abruf der notwendigen Information mit dem Aufwand interner Repräsentation verrechnet und ergibt unter Berücksichtigung der äußeren Umstände eine optimale Zusammensetzung beider Strategien zur Lösung der gestellten Aufgabe. Jede Versuchsperson hatte einen personenspezifischen Bereich auf der Funktion, in dem ihr persönliches Optimum lag [Hardiess and Mallot, 2015].

### 1.4.1 Hypothesen der Arbeit

Zusammenfassend sollen im Rahmen der Arbeit drei Hypothesen aufgestellt und untersucht werden. (I) Aufgrund der Ergebnisse von Hardiess und Mallot (2015) bezüglich des Einsatzes externer und interner Strategien bei der Aufrechterhaltung visuell-räumlicher Information in der CVS wird erwartet, dass diese beiden Strategien auch bei der Aufrechterhaltung visuell-räumlicher Information im CBTT eingesetzt werden. Da der Optimalbereich der Probanden bei der CVS von Hardiess und Mallot, der die Zusammensetzung von interner und externer Strategie widerspiegelt, für jede Person spezifisch war, wird (II) angenommen, dass auch im CBTT eine generelle Variation beim Einsatz dieser Strategien zwischen den einzelnen Probanden auftritt. Die Steigerung der Sequenzlänge führt zu einem erhöhten Informationsgehalt, wodurch sich der Aufwand interner und externer Repräsentation verändern. Es wird daher (III) erwartet, dass die Strategieauswahl abhängig von der Sequenzlänge variiert oder die Wiedergabeleistung bei unzureichender Anpassung der Strategien sinkt.

Zur Untersuchung der Hypothesen wird eine Variante des CBTT herangezogen, in der eine Pause zwischen Einprägungs- und Wiedergabephase stattfindet innerhalb dieser drei verschiedenen Zweitaufgaben gestellt werden. In der ersten Bedingung (Kontrollbedingung) wird keine Aufgabe gestellt. Die Versuchspersonen können die Sequenz-

information mit Hilfe externer oder interner Strategien aufrechterhalten. In der zweiten Bedingung werden externe Wiederholungen der Sequenz unterbunden, indem die Blickrichtung der Probanden auf ein 5 x 5 Gitter in der Mitte des Bildschirms beschränkt wird und diese dabei auf aufblinkende Quadrate reagieren müssen. Dadurch wird die gezielte Verlagerung der offenen und auch der verdeckten Aufmerksamkeit unterbunden. In der dritten Bedingung wird zusätzlich zur Blockierung der externen Strategie auch die interne Repräsentation der Sequenzinformation verhindert. Die Probanden müssen hierfür ein räumliches Muster bestehend aus drei Stimuli, die im gleichen 5 x 5 Gitter gezeigt werden, nach einer Verzögerung von einer Sekunde wiedergeben.



# Kapitel 2

## Methoden

### 2.1 Versuchspersonen

An dem Versuch nahmen zwölf Versuchspersonen teil (sechs weiblich), wobei zwei aufgrund von Ungenauigkeiten bei der Registrierung der Augenbewegungen von der Auswertung ausgeschlossen wurden. Alle Versuchspersonen studierten zur Zeit des Versuchs an der Universität Tübingen. Ihre Teilnahme war freiwillig und wurde mit einer Versuchspersonenstunde vergütet. Das Alter der Versuchspersonen lag zwischen 19 und 25 ( $M = 22,2$ ;  $SD = 1,72$ ). Ihr Sehvermögen war normal oder korrigiert.

### 2.2 Material: Stimuli und Apparaturen

Der Versuch fand in einem ruhigen, fensterlosen Versuchslabor an einem 1280 x 1024 Pixel großen Bildschirm statt ( $41,21^\circ \times 33,50^\circ$ ). Die Beleuchtung war gedimmt. Der Computer, auf dem das in MATLAB (Version R2013b, Psychtoolbox 3) geschriebene Versuch lief, verwendete das Betriebssystem Windows 7 (Microsoft). Die Kopfposition der Versuchspersonen wurde durch eine Kopfstütze, die 50 cm vom Bildschirm entfernt befestigt war, stabil gehalten. Während des gesamten Versuchs wurden die Augenbewegung des linken Auges durch einen Augen-Tracker aufgezeichnet. Der Augen-Tracker war vom Modell EyeGaze (IMD) (Abbildung 2.1), der mit einer Frequenz von 60 Hz die Blickpositionen unter Verwendung der Pupillenreflexion und -position berechnet. Der Ablauf der Kalibrierung des Trackers war vom Hersteller vorgegeben und bestand aus neun auf dem Bildschirm verteilten Punkten, die nacheinander angeschaut werden mussten. Fixationen wurden durch ein vom Betreuer der Bachelorarbeit bereitgestelltes MATLAB-Skript berechnet. Bei dieser Prozedur wurden aufeinanderfolgende Blickpositionsdaten zu Fixationen zusammengefasst, wenn deren Koordinaten innerhalb von 120 Millisekunden weniger als  $50^\circ$  pro Sekunde Verschiebung aufweisen.



Abbildung 2.1: Augen-Tracker vom Modell EyeGaze [Quelle: Interactive Minds]

## 2.3 Prozedur

Der Versuch wurde mit Messwiederholung durchgeführt (*engl. within-subject-design*). Jede Versuchsperson durchlief alle drei Bedingungen des Versuchs, bis diese zum Abbruch gebracht oder beendet wurden.

Zuerst wurde mit Hilfe des Kalibrierungsprogramms sichergestellt, dass die Blickposition der Versuchsperson vom Augen-Tracker verlässlich erkannt wurde. Konnte die Versuchsperson aus technischer Sicht am Versuch teilnehmen, bekam diese eine schriftliche Instruktion (siehe Anhang) bezüglich dessen Ablauf. Die Versuchsleiterin wiederholte alle wichtigen Anweisungen mündlich und beantwortete offengebliebene Fragen. Danach füllte die Versuchsperson einen Probandeninformationsbogen aus und unterschrieb ihre Einverständniserklärung (siehe Anhang). Bevor der Versuch begann, fand ein Probedurchlauf mit einer Corsi-Sequenz bestehend aus zwei Stimuli statt.

Der Hauptversuch begann mit der Kalibrierung des Augen-Trackers. Währenddessen entfernte sich die Versuchsleiterin, die sich während des gesamten Ablaufs geräuschlos und mit Abstand zur Versuchsperson im Raum aufhielt.

### 2.3.1 Versuchsablauf

Vor jedem Durchgangsblock (*engl. trial*) wurde die Versuchsperson über den Bildschirm schriftlich informiert, welche Zweitaufgabe und welche Sequenzlänge im Folgenden auftreten werden. Jeder Durchgangsblock bestand aus drei Durchgängen (*engl. subtrials*) mit gleicher Zweitaufgabe und Sequenzlänge. Jeder Durchgang war in drei Phasen unterteilt. Während dieser drei Phasen waren zehn weiße Kästchen in den Ausmaßen 80 x 80 Pixel ( $5,40^\circ \times 5,40^\circ$ ) zu sehen, die in zehn verschiedenen unsystematischen Anordnungen auf dem Bildschirm auftreten konnten. Diese Anordnung war in allen drei Phasen eines Durchgangs gleich (Abbildung 2.2).

In der ersten Phase, der Memorisierungsphase, wurden die zehn weiße Kästchen auf schwarzem Hintergrund gezeigt. Zusätzlich zu den Kästchen erschien ein gelbes Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms. Abhängig von der jeweiligen Sequenzlänge

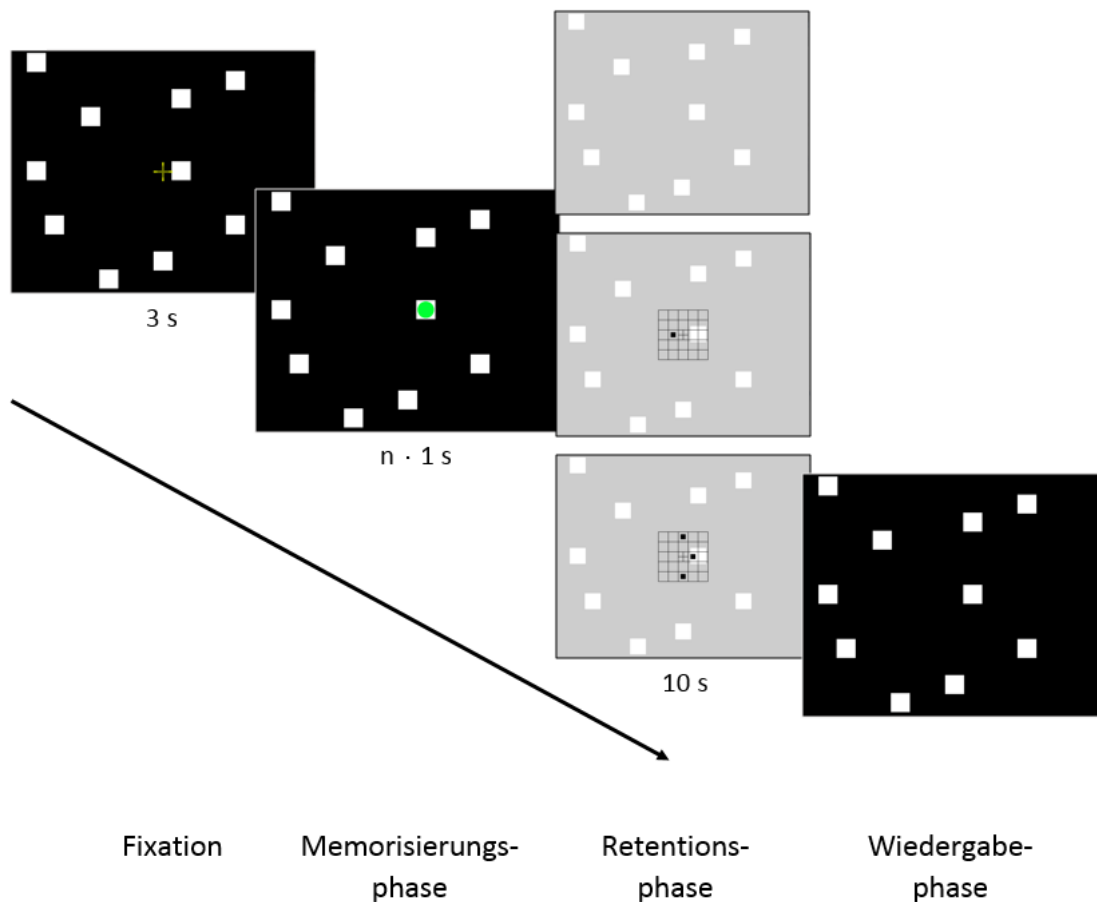


wurde eine bestimmte Anzahl der weißen Kästchen hintereinander in zufälliger Reihenfolge durch einen grünen Kreis ( $d = 70$  Pixel;  $d = 4,73^\circ$ ) für eine Sekunde markiert. Die Corsi-Sequenz begann mit drei Markierungen. Der sich ergebende Pfad (Sequenz) sollte sich gemerkt werden, um diesen in der dritten Phase wiederzugegeben. Den Versuchspersonen war es in der Memorierungsphase frei gelassen, Augenbewegungen auszuführen.

Um den Beginn der zweiten Phase, der Retentionsphase, zu kennzeichnen, wechselte die Hintergrundfarbe des Bildschirms auf Grau. Diese Phase dauerte zehn Sekunden und beinhaltet eine aus drei verschiedenen Zweitaufgaben, die im nächsten Abschnitt (2.3.2 Zweitaufgaben) beschrieben werden.

Bei Beginn der dritten Phase, der Wiedergabephase, wechselte die Hintergrundfarbe wieder zu Schwarz. Die in der Memorierungsphase gezeigte Sequenz aus markierten Feldern sollte nun durch Mausklicks in die weißen Kästchen in der richtigen Reihenfolge wiedergegeben werden. Diese Phase war zeitlich nicht begrenzt. Nach jedem Mausklick bekam die Versuchsperson eine Rückmeldung zur abgegebenen Antwort. War die Antwort richtig, erschien ein grüner Kreis im angeklickten Feld. War die Antwort falsch, erschien ein roter Kreis in dem Feld, welches richtig gewesen wäre. Beendete die Versuchsperson mindestens einen der drei Durchgänge des Durchgangsblockes erfolgreich, erhöhte sich die Sequenzlänge beim nächsten Durchgang dieser Bedingung um eins. Wurde keine Sequenz des Durchgangsblocks fehlerfrei wiedergegeben, war die maximale Wiedergabeleistung der Versuchsperson in dieser Bedingung erreicht und die Bedingung wurde im folgenden Versuchsverlauf nicht mehr aufgerufen. Die Aufrufreihenfolge der Durchgangsböcke war pseudorandomisiert und ausbalanciert, sodass alle Durchgangsböcke einer Sequenzlänge nacheinander aufgerufen wurden und Effekte aufgrund der Reihenfolge ausgeschlossen werden können (Reihenfolge der Durchgangsböcke mit den jeweiligen Bedingungen (1-3): 1 3 2 3 2 1 2 1 3 – Pause – 1 2 3 2 1 3 2 3 1). Nach den ersten neun Durchgangsböcken fand eine Pause von fünf Minuten statt, während der sich die Versuchspersonen ausruhen konnten. Danach erfolgte eine erneute Kalibrierung des Augen-Trackers und die letzten Durchgangsböcke (beginnend mit einer Sequenzlänge von 6) wurden getestet.

Solange keine Bedingung vorzeitig beendet wurde (alle drei Durchgänge falsch beantwortet), waren in aufeinanderfolgenden Durchgangsböcken unterschiedliche Bedingungen zu bearbeiten. Die Sequenzlänge der ersten Durchgangsböcke umfasste drei Stimuli. Die maximale Anzahl präsentierter Stimuli betrug acht. War diese Anzahl erreicht oder die Fortführung aller Bedingungen wegen vorzeitigem Abbruch ausgeschlossen, wurde der Versuch beendet.



**Abbildung 2.2:** Schematische Darstellung des Ablaufs eines Versuchsdurchgangs. Nach der Fixationsphase (Dauer: 3 Sekunden) begann unmittelbar die Memorierungsphase des CBTT mit der Präsentation der Stimulussequenz (Präsentationszeit pro Stimulus: 1 Sekunde; Gesamtzeit der Memorierungsphase: Sequenzlänge · 1 Sekunde). Nach der Memorierungsphase begann die Retentionsphase (Dauer: 10 Sekunden) mit einer der drei Bedingungen (oben: Bedingung 1, mittig: Bedingung 2, unten: Bedingung 3). Die Wiedergabephase im Anschluss an die Retentionsphase hatte keine zeitliche Begrenzung. Nach Beenden der Wiedergabephase startete ein neuer Durchgang mit der Instruktion bezüglich der folgenden Bedingung und der folgenden Sequenzlänge.

### 2.3.2 Zweitaufgaben

*Bedingung 1:* Die erste der drei Zweitaufgaben diente als Kontrollbedingung. Die Versuchspersonen mussten keiner besonderen Anweisung folgen und waren frei in ihrer Wahl, die Corsi-Sequenz mit Hilfe externer oder interner Strategien aufrecht zu erhalten.

*Bedingung 2:* In der zweiten Bedingung verhinderte die Zweitaufgabe die externe Wiederholung der Sequenz, sodass die Aufrechterhaltung der räumlichen Information nur intern stattfinden konnte. Dafür wurde ein 5 x 5 Gitter der Größe 250 x 250 Pixel (16,78° x 16,78°) in der Mitte des Bildschirms präsentiert, in dessen mittlerem Kästchen sich ein Kreuz befand. Nacheinander wurden drei Gitterkästchen mit einem kleineren,

schwarzen Quadrat (25 x 25 Pixel;  $1,29^\circ \times 1,29^\circ$ ) jeweils für 0,5 Sekunden markiert. Die Aufgabe bestand darin, innerhalb von 2,5 Sekunden mit der Maus auf das markierte Kästchen zu klicken. Nach dieser Zeit plus einer zusätzlichen, zufälligen Abweichung bis maximal 0,1 Sekunden, erschien die nächste Markierung. Die Position der drei Markierungen war zufällig, schloss jedoch die Doppelbelegung eines Kästchens sowie die Belegung des mittleren Kästchens aus.

*Bedingung 3:* In der dritten Bedingung verhinderte die Zweitaufgabe sowohl die externe Wiederholung als auch eine interne Repräsentation der Sequenz. Dafür wurde das gleiche 5 x 5 Gitter wie in der zweiten Bedingung gezeigt. Gleichzeitig wurden drei Gitterkästchen mit einem kleineren, schwarzen Quadrat (25 x 25 Pixel;  $1,29^\circ \times 1,29^\circ$ ) für 1,5 Sekunden markiert. Diese sollten nach einer Pause von einer Sekunde, was durch das Verfärben des Mittelkreuzes gekennzeichnet war, in beliebiger Reihenfolge wiedergegeben werden. Die drei Markierungen eines Durchgangs traten in drei disjunkten Bereichen des Gitters auf (oben, mittig, unten), wodurch nebeneinanderliegende und damit zu einfache Dreiersequenzen ausgeschlossen werden konnten. Die Markierung des mittleren Gitterkästchens war auch in dieser Bedingung nicht möglich.

Wurden in einem Durchgang der zweiten oder dritten Bedingung weniger als zwei Markierungen der Zweitaufgabe richtig wiedergegeben, erschien eine schriftliche Aufforderung um mehr Sorgfalt bei der Bearbeitung der Zweitaufgabe. Es gab keine weiteren Konsequenzen für die Versuchsperson.

## 2.4 Datenauswertung

Bevor die registrierten Augenpositionen zur Datenauswertung verwendet werden konnten, wurden diese von systematischen Fehlmessungen des Augen-Tracker bereinigt. Dafür wurde zu Beginn jedes Durchgangs ein Fixationskreuz in der Bildschirmmitte präsentiert, auf das der Proband schauen sollte. Die Differenz zwischen der Position des Fixationskreuzes und der längsten Fixation während dessen Präsentation, wurde als systematische Abweichung zu den Augenpositionen addiert. Diese Abweichung wurde in jedem Durchgang aktualisiert und mit  $x_0 = 0, y_0 = 0$  initialisiert. Lag die längste Fixation außerhalb eines 100 x 100 Pixel ( $6,75^\circ \times 6,75^\circ$ ) Fangbereichs um das Fixationskreuz, wurde dies als fehlerhafte Fixation des Fixationskreuzes interpretiert. Die Abweichung wurde nicht aktualisiert und stattdessen die vom vorherigen Durchgang übernommen.

### 2.4.1 Messgrößen

Zur Auswertung der Daten wurden die Corsi-Spanne der Probanden und zwei verschiedene Maße, welche das Ausmaß der Augenbewegung beschreiben, berechnet.

Die Corsi-Spanne drückt die räumlich-visuelle Arbeitsgedächtnisleistung der Versuchspersonen aus. Diese ergibt sich aus der Summe der Anzahlen an richtig absol-

vierten Durchgängen je Durchgangsblock gewichtet mit der jeweiligen Sequenzlänge geteilt durch drei, da es drei Durchgänge pro Block gab (siehe Rechenbeispiel unten). Ein richtig absolvierter Durchgang mit einer kurzen Sequenzlänge wirkte sich somit geringer auf die endgültige Corsi-Spanne aus, als ein richtig absolvierter Durchgang mit einer hohen Anzahl an Stimuli. Die Corsi-Spanne wurde für jede Versuchsperson in jede Bedingung bestimmt. Ein niedriger Wert bedeutet eine geringere räumlich-visuelle Arbeitsgedächtnisleistung als eine hohe Corsi-Spanne. Die zu erreichenden Corsi-Spannen umfassten Werte von minimal 3 bis maximal 36 ( $36 = (3 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 3 \cdot 4 + 3 \cdot 5 + 3 \cdot 6 + 3 \cdot 7 + 3 \cdot 8) : 3$ ; Sequenzlängen 1 und 2 wurden zwar nicht absolviert, es wurde aber angenommen, dass bei diesen leichten Sequenzlängen alle drei Durchgänge richtig absolviert würden. Die Produkte  $3 \cdot 1$  und  $3 \cdot 2$  wurden deshalb mit in die Corsi-Spanne einbezogen.)

Die zwei weiteren Maße beschreiben beide das Ausmaß der Augenbewegung und werden im Folgenden als Explorationsmaße bezeichnet. Beide Explorationsmaße wurden für jede Bedingung und jede Sequenzlänge in der Memorisierungsphase sowie der Retentionsphase berechnet. In der Memorisierungsphase drücken die Explorationsmaße funktional das okulomotorische Nachverfolgen der Sequenzmarkierungen zum Zweck der Akquisition der Sequenzinformation aus. In der Retentionsphase wird durch diese Maße funktional das Ausmaß des okulomotorischen Wiederholen beschrieben.

Das erste Explorationsmaß berechnet sich aus dem euklidischen Abstand jeder Stimulusposition zu dem nächstgelegenen Fixationspunkt. Dabei wurde für jede Stimulusposition der Abstand zur nächstgelegenen Fixation ermittelt, wobei jede Fixation nur einmal in Betracht gezogen wurde. Dafür wurde eine Matrix erstellt, welche die euklidischen Distanzen jedes Stimulus zu jedem Fixationspunkt in Pixeln, beinhaltete. Zuerst wurde der kleinste Wert in der Matrix ermittelt, welcher den globalen, minimalen Abstand zwischen einem Stimulus und einem Fixationspunkt ausdrückt. Alle weiteren Einträge der Matrix, die diesen Stimulus oder diesen Fixationspunkt betrafen, wurden im Weiteren nicht mehr berücksichtigt. In der Matrix, die um die entsprechenden Einträge verkleinert wurde, wurde nun nach dem nächsten Minimum gesucht und die entsprechenden Einträge gelöscht. Auf diese Weise wurde für jeden Stimulus genau ein Minimum bestimmt. Trat der Fall auf, dass weniger Fixationen als Stimuli dokumentiert wurden, wurde die Anzahl gesuchter Minima erniedrigt, sodass diese dann genau der Anzahl der Fixationen entsprach. Die gefundenen Minima wurden addiert und durch die Anzahl der Stimuli dividiert. Das erste Explorationsmaß für den entsprechenden Durchgangsblock ergab sich durch die Mittelung der Ergebnisse über alle drei Durchgänge. Der berechnete Wert drückt nun den durchschnittlichen Abstand jedes Stimulus zur nächstgelegenen Fixation aus. Daher bedeutet ein geringer Wert ein hohes Ausmaß an stimulusbezogener Augenbewegung. Ein hoher Wert steht im Gegensatz dazu für wenig Augenbewegungen. Das erste Explorationsmaß berücksichtigt nicht den zeitlichen Zusammenhang zwischen dem Erscheinen des Stimulus und der Fixation.

Um die Aussagen des ersten Explorationsmaßes besser vergleichen zu können, wur-

de dieses noch normiert. Dafür wurde das Explorationsmaß als Anteil des maximalen Ausmaßes an Augenbewegung verstanden. Unsere Daten zeigen, dass Probanden mit einem geringen Maß an Exploration (externer Strategie) ihren Blick eher in der Bildschirmmitte ruhen lassen (vergleiche Abbildung 3.1 (b), (d)). Das maximale Ausmaß an Augenbewegung berechnet sich damit aus der Summe aller euklidischen Distanzen der Stimuli zum Bildschirmmittelpunkt. Ein geringer Wert des ersten Explorationsmaßes, ausgedrückt als Anteil, bedeutet ein hohes Ausmaß an Augenbewegung sowie ein hoher Wert für wenig stimulusbezogene Augenbewegung steht.

Die erste Fixation der Memorisierungsphase entspricht der Fixation des Mittelkreuzes und hat keine Bedeutung für das Ausmaß an Augenbewegung. Im Gegensatz zur Berechnung des ersten Explorationsmaßes wurde die erste Fixation in der Berechnung des zweiten Explorationsmaßes nicht beachtet. Für die Berechnung wurde die für das erste Explorationsmaß beschriebene Matrix wieder aufgestellt. Um den Wert des zweiten Explorationsmaßes zu erhalten, wurde für jede Fixation die minimale Distanz zu einem Stimulus bestimmt und die Summe aller dieser Distanzen berechnet. Diese Summe wurde durch die Anzahl an Fixationen geteilt. Für den entsprechenden Durchgangsblock ergab sich das zweite Explorationsmaß durch die Mittelung der Ergebnisse über alle drei Durchgänge. Der berechnete Wert beschreibt den durchschnittlichen Abstand jeder Fixation zum nächsten Stimulus. Der zeitliche Zusammenhang zwischen dem Erscheinen des Stimulus und der Fixation wird hierbei nicht berücksichtigt. Eine Prozent-Normierung erfolgte nicht, da sich das maximale Ausmaß an Augenbewegung in diesem Maß nicht ausdrücken lässt.

Für die weitere Analyse und Darstellung der Ergebnisse wird ausschließlich das erste Explorationsmaß in Prozent verwendet. Alle anderen Explorationsmaße zeigten sich größtenteils als hoch korreliert und bedeuten keinen weiteren Informationsgewinn.

## 2.4.2 Statistik

Der Test auf Signifikanz der Ergebnisse erfolgte wurde durch eine ANOVA mit Messwiederholung. War die Homogenität der Daten nicht gegeben (Mauchly-Test auf Sphärizität), wurden für diese eine Greenhouse-Geisser Korrektur verwendet. Die Signifikanz von Korrelationen wurde durch Spearmans Rangkorrelationskoeffizient  $\rho$  berechnet, welcher ein nichtparametrischer Test ist.



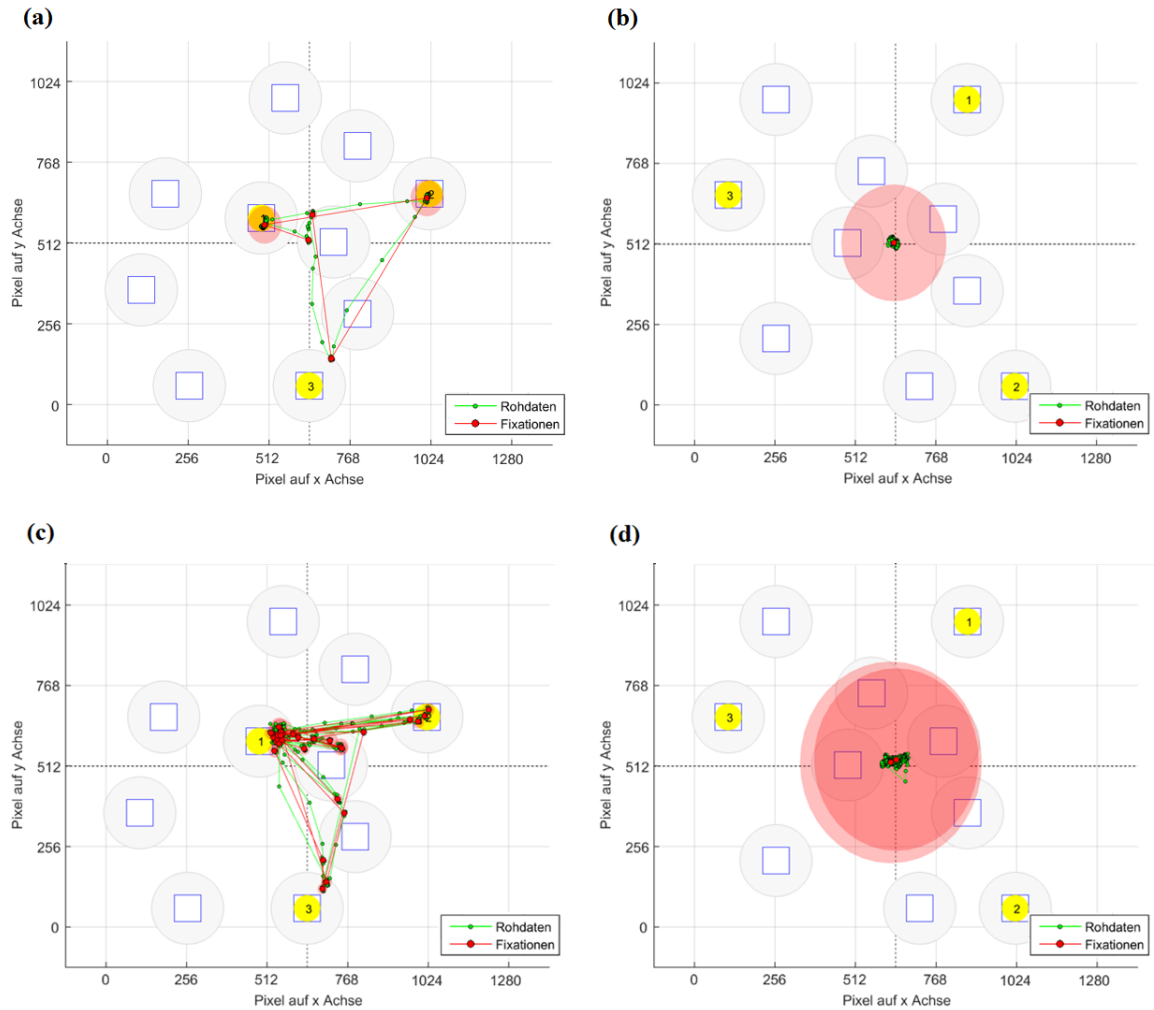
# Kapitel 3

## Ergebnisse

Im Folgenden werden zuerst die Blickspuren der Versuchspersonen vorgestellt, die aus den Rohdaten des Augen-Trackers zusammengefasst wurden. Danach werden die Analyseergebnisse der Corsi-Spanne und des Explorationsmaßes dargelegt. Die Corsi-Spanne ist das Maß der visuell-räumlichen Gedächtnisleistung. Das Explorationsmaß beschreibt das Ausmaß an Augenbewegungen, welche die Versuchspersonen während des Experiments ausführten. Zum Schluss wird der Zusammenhang beider Maße erläutert.

### 3.1 Blickspuren

Abbildung 3.1 zeigt exemplarisch für zwei Versuchspersonen die nach 2.4 bereinigten Rohdaten des Augen-Trackers, die zu Blickspuren zusammengefasst wurden. Die x- und y-Koordinaten zeigen die Positionen der Blickpunkte und der Stimuli auf dem Computerbildschirm. Fixationen sind durch rote Punkte und die Präsentationsorte der Stimuli durch gelbe Kreise visualisiert. Die Blickspuren sind sowohl für die Memorierungsphase (Abbildung 3.1 oben) als auch für die Retentionsphase (Abbildung 3.1 unten) dargestellt. Bei der Betrachtung der Blickspuren lassen sich zwei verschiedene Grenzstrategien feststellen. Einige Versuchspersonen schauten fast ausschließlich auf die Orte, an denen Stimuli präsentiert wurden (Abbildung 3.1 (a) und (c)), während andere ihren Blick beständig in der Mitte des Bildschirms ruhen ließen (Abbildung 3.1 (b) und (d)). Das Ausmaß der räumlichen Verteilung der Blickspuren lag bei den meisten Versuchspersonen zwischen den hier abgebildeten Grenzbeispielen.



**Abbildung 3.1:** Beispiele für Blickspuren von zwei verschiedenen Versuchspersonen (rechte, linke Spalte) in der Memorisierungs- (oben) und der Retentionsphase (unten). Die horizontalen Achsen zeigen die Positionierung der Objekte auf dem Bildschirm in horizontaler Richtung [Pixel]. Die vertikalen Achsen zeigen die Positionierung in vertikaler Richtung [Pixel]. Stimuli der jeweiligen Dreiersequenz sind mit den Zahlen 1 bis 3 nach ihrer Reihenfolge bezeichnet und mit gelb markiert. Die Rohdaten der Blickposition sind durch grüne Punkte und Linie dargestellt. Die extrahierten Fixationen werden durch roten Punkten und Linie gekennzeichnet. Transparente rote Kreise um jede Fixation geben deren relative Dauer an. (a)(c) Diese Blickspuren zeigen die Augenbewegung einer Versuchsperson, die während beider Experimentalphasen vermehrt auf die Positionen der Stimuli blickte. (b)(d) Diese Blickspuren zeigen die Augenbewegung einer Versuchsperson, die während beider Experimentalphasen vor allem in die Mitte des Bildschirms blickte.

## 3.2 Erste abhängige Variable: Corsi Spanne

Die Corsi-Spanne wurde zur Beschreibung der Leistung des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses herangezogen. Zur Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz können externe Strategien, die das Verlagern offener oder verdeckter Aufmerksamkeit bedeuten, oder interne Repräsentationen der Sequenz verwendet werden (vergleiche 1.4). Die erste

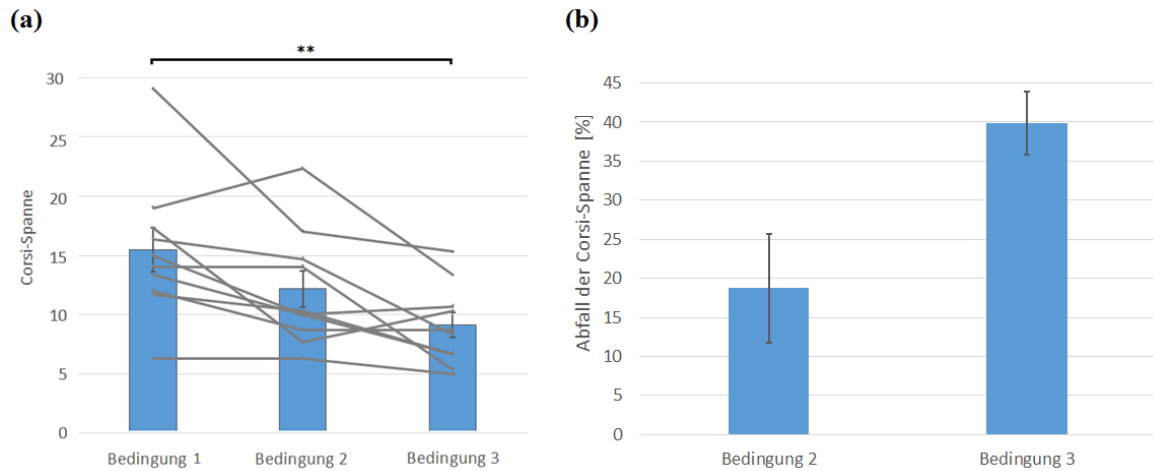


Experimentalbedingung war die Kontrollbedingung, in der die Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz nicht beeinflusst wurde. In der zweiten Bedingung des Experiments wurde durch die Zweitaufgabe das externe Wiederholen der Sequenz beeinträchtigt. In der dritten Bedingung wurden durch die Zweitaufgabe sowohl externe Wiederholungsstrategien als auch die interne Repräsentation der Sequenz verhindert (vergleiche 2.3.2).

In einer ersten Analyse wurde der Einfluss der verschiedenen Bedingungen auf die Corsi-Spanne untersucht (Abbildung 3.2 (a)). Die Balken zeigen die Corsi-Spanne im Gruppenmittel in der ersten, zweiten und dritten Bedingung. Diese nimmt mit zunehmender Einschränkung der Strategien zur Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz ab. Zur Untersuchung der Signifikanz dieses Effektes wurde eine ANOVA durchgeführt, die den Einfluss der Bedingung auf die Corsi-Spanne bestätigte ( $F(2, 18) = 12,64$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta_p^2 = 0,58$ ).

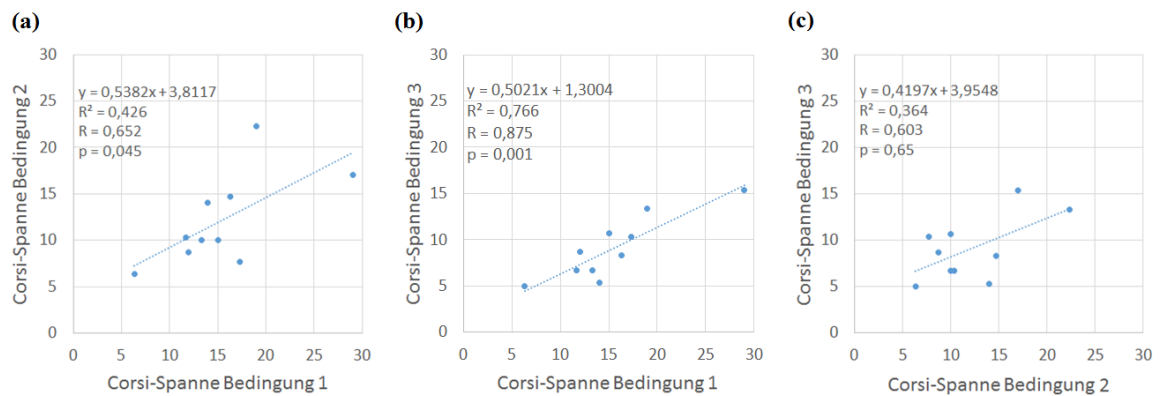
Die Einzeldaten aller 10 Versuchspersonen sind in Abbildung 3.2 (a) durch graue Linien visualisiert. Diese zeigen die unterschiedlichen Veränderungscharakteristiken der Corsi-Spanne von erster zu dritter Bedingung. Bei einigen Versuchspersonen sank die Wiedergabeleistung vor allem zwischen erster und zweiter Bedingung und blieb im Folgenden weitreichend stabil. Bei anderen Versuchspersonen trat ein Einbruch der Wiedergabeleistung zwischen zweiter und dritter Bedingung auf. Insgesamt führte die zunehmende Einschränkung der Wiederholungsstrategien jedoch bei allen Versuchspersonen zur Abnahme der Corsi-Spanne.

In Abbildung 3.2 (b) ist die prozentuale Abnahme der Corsi-Spanne zwischen der Kontrollbedingung und den beiden Testbedingungen dargestellt. Die Abnahme der Corsi-Spanne ist zwischen Kontroll- und zweiter Bedingung ist mit etwa 19 Prozent nur halb so groß wie der Abfall zwischen Kontroll- und dritter Bedingung (etwa 40 Prozent). Die Varianz des ersten Gruppenmittelwerts ist jedoch annähernd doppelt so groß wie die Varianz des zweiten (siehe Abbildung 3.2 (b)).



**Abbildung 3.2:** Variation der Corsi-Spanne über den Faktor Bedingung. (a) Corsi-Spanne in allen drei Bedingungen gemittelt über alle Versuchspersonen. Einzeldaten sind durch graue Linien dargestellt. Post-hoc-Signifikanzen sind mit Sternen gekennzeichnet (\* :  $p \leq 0,05$ ; \*\* :  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* :  $p \leq 0,001$ , kein Stern:  $p > 0,05$ ) (b) Prozentualer Abfall der Corsi-Spanne in der zweiten und dritten Bedingung gegenüber der Kontrollbedingung. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler des Mittelwerts.

Im Vergleich der Corsi-Spanne zwischen den drei Bedingungen in Abbildung 3.3 zeigt sich durch Spearmans Rangkorrelationstest eine hohe, positive Korrelation aller Bedingungen (Bedingung 1 x Bedingung 2:  $\rho = 0,596$ ;  $p = 0,069$ ; Bedingung 1 x Bedingung 2:  $\rho = 0,839$ ;  $p = 0,002$ ; Bedingung 2 x Bedingung 3:  $\rho = 0,454$ ;  $p = 0,187$ ). Die relative Wiedergabeleistung der Corsi-Sequenz der einzelnen Versuchspersonen blieb somit über alle drei Bedingungen nahezu unverändert.



**Abbildung 3.3:** Zusammenhang der Corsi-Spanne aller Probanden zwischen den drei Bedingungen. Einzeldaten sind durch hellblaue Punkte gekennzeichnet. Alle Trendlinien (gepunktete, blaue Linien) zeigen den linearen Zusammenhang. Der Zusammenhang der Corsi-Spanne ist (a) zwischen Bedingung 1 und Bedingung 2 auf einem  $\leq 0,05$  Niveau signifikant, (b) zwischen Bedingung 1 und Bedingung 3 auf einem  $\leq 0,001$  Niveau signifikant und (c) zwischen Bedingung 2 und Bedingung 3 nicht signifikant.

### 3.3 Zweite abhängige Variable: Erstes Explorationsmaß in Prozent

Das Ausmaß an Augenbewegungen wurde aus der Distanz zwischen den Präsentationsorten der Stimuli und den Fixationspunkten berechnet (siehe 2.4.1). Ist die Distanz klein, so wurden viele Augenbewegungen ausgeführt. Bei der Analyse des Ausmaßes an Augenbewegungen wurde ausschließlich das erste Explorationsmaß in Prozent verwendet, da dieses Maß normiert ist und mit allen anderen Explorationsmaßen größtenteils hoch korreliert war.

In Tabelle 3.1 sind die Korrelationskoeffizienten  $R$  zwischen verschiedenen Sequenzlängen des Explorationsmaßes in der Memorierungs- und Retentionsphase aller drei Bedingungen abgebildet. Korrelationskoeffizienten wurden nur für Sequenzlängen berechnet, bei denen mindestens neun Versuchspersonen die jeweilige Sequenzlänge erfolgreich absolviert hatten. Das Explorationsmaß ist über alle untersuchten Sequenzlängen hoch korreliert. Dies weist auf eine hohe Stabilität des Explorationsmaßes unabhängig von der Sequenzlänge in allen drei Bedingungen hin, wodurch die Zusammenfassung des Explorationsmaßes über alle Sequenzlängen legitimiert ist. In den folgenden Analysen und Darstellungen wird das Explorationsmaß somit ausschließlich als Mittelung über alle Sequenzlängen verwendet.

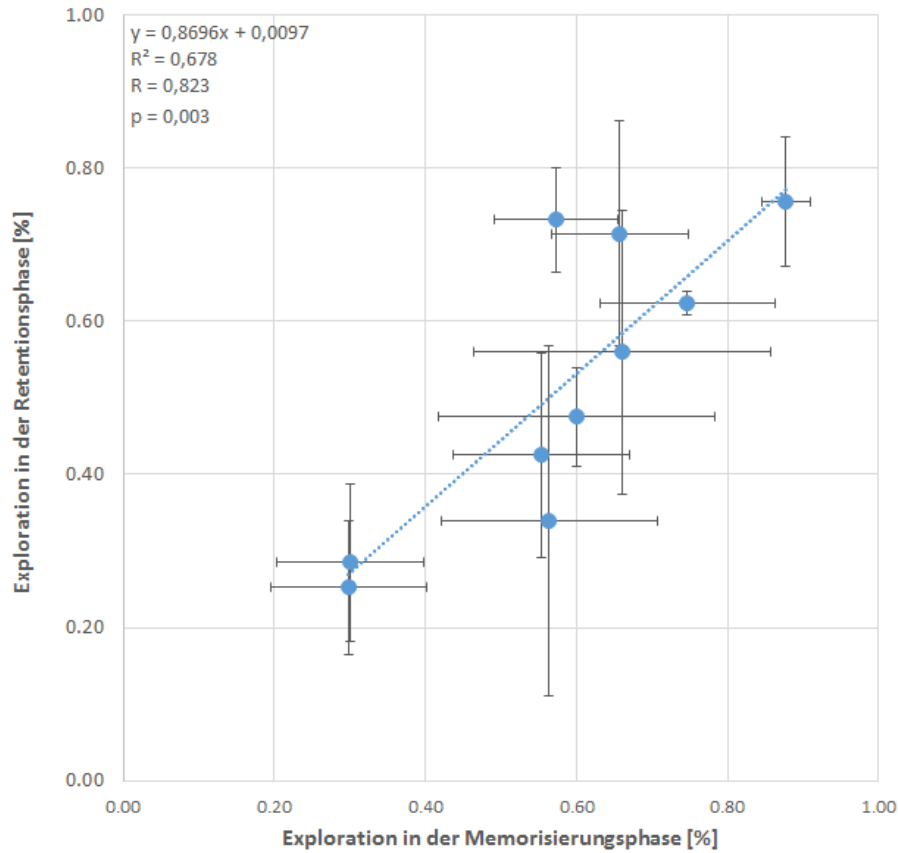
Sequenz	Bedingung 1		Bedingung 2		Bedingung 3	
	Memorisierung	Retention	Memorisierung	Retention	Memorisierung	Retention
3 x 4	0,509	0,922	0,913	0,481	0,738	0,851
3 x 5	0,614	0,771	-	-	-	-
4 x 5	0,785	0,685	-	-	-	-

**Tabelle 3.1:** Zusammenhang des ersten Explorationsmaßes in Prozent aller Versuchspersonen zwischen den einzelnen Sequenzlängen der Bedingungen 1, 2 und 3 und für die jeweilige Memorierungs- und Retentionsphase. Der Zusammenhang ist über den Korrelationskoeffizienten ( $R$ ) angegeben. Korrelationskoeffizienten wurden nur für Sequenzlängen berechnet, bei denen mindestens neun Versuchspersonen die jeweilige Sequenzlänge erfolgreich absolviert hatten.

#### 3.3.1 Stabilität der externen Strategie in der ersten Bedingung

In Abbildung 3.4 ist der Zusammenhang zwischen dem Explorationsmaß in der Memorierungs- und Retentionsphase der ersten Bedingung dargestellt. Dieser Zusammenhang folgt einer fast vollständigen, positiven Korrelation ( $R \approx 0,8; p < 0,01$ ; *Steigung*  $\approx 0,9$ ; *Ordinatenabschnitt*  $\approx 0,01$ ). Versuchspersonen, die viele Augenbewegungen während der Memorierungsphase verwendeten, wiesen auch in der Retentionsphase ein hohes Ausmaß an Augenbewegungen auf. Bei Versuchspersonen mit geringem Ausmaß an Augenbewegungen während der Memorierungsphase blieb dieses auch in der Retentionsphase niedrig. Demzufolge ist die Stabilität der Strategiewahl zwischen der Memorierungs- und der Retentionsphase in der ersten Bedingung

sehr hoch.

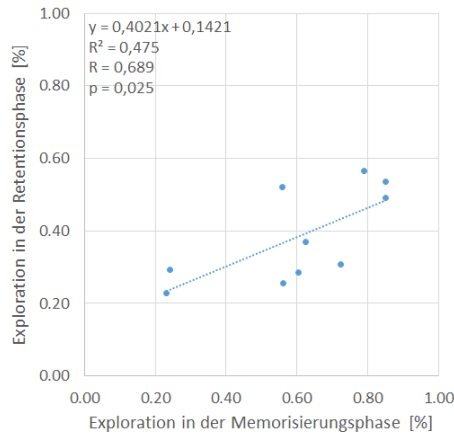


**Abbildung 3.4:** Zusammenhang des Ausmaßes an Augenbewegung zwischen der Memorisierungs- und Retentionsphase der ersten Bedingung. Einzeldaten sind durch hellblaue Punkte gekennzeichnet. Die Trendlinie (gepunktete, blaue Linie) zeigt den linearen Zusammenhang. Dieser Zusammenhang ist auf einem  $\leq 0,01$  Niveau signifikant. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler.

Die Einzeldaten aus Abbildung 3.4 zeigen mit einer Spanne von etwa 20 bis 90 Prozent in beiden Experimentalphasen eine hohe Variation des Ausmaßes an Augenbewegungen in der ersten Bedingung. Das Ausmaß an Augenbewegungen verteilte sich bei den meisten Versuchspersonen zwischen diesen beiden genannten Extremwerten.

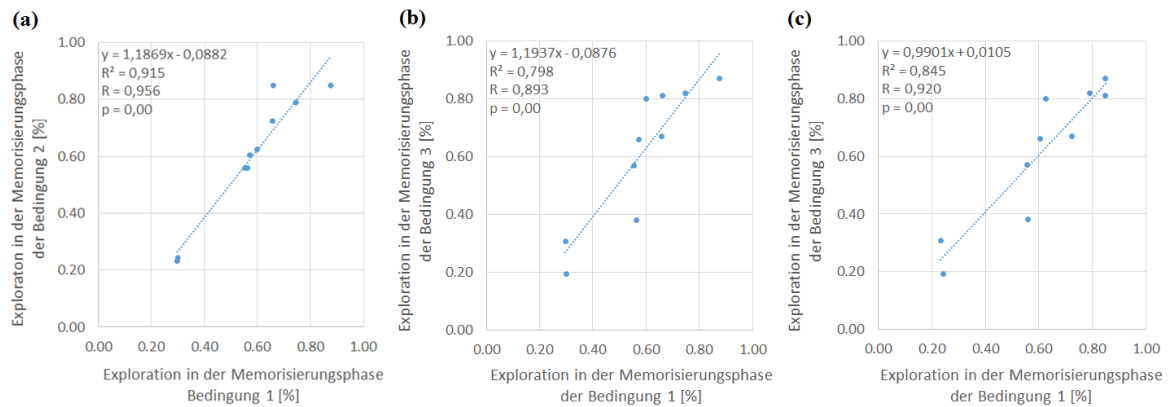
In Abbildung 3.5 ist der Zusammenhang zwischen dem Explorationsmaß der Memorisierungsphase und dem Explorationsmaß der Retentionsphase in der zweiten Bedingung dargestellt. Die Trendlinie zeigt einen geringeren Anstieg als in der ersten Bedingung ( $Steigung \approx 0,4$ ). Beide Maße sind signifikant korreliert ( $R \approx 0,7$ ;  $p < 0,05$ ). Die Variation des untersuchten Maßes ist in der Memorisierungsphase der zweiten Bedingung ähnlich groß, wie die Variation in der ersten Bedingung. Die Variation des untersuchten Maßes in der Retentionsphase nimmt von der ersten zur zweiten Bedingung deutlich ab. Diese Ergebnisse stimmen mit den Erwartungen überein, da die Versuchspersonen durch die Zweitaufgabe der zweiten Bedingung ihre Augen auf ein Gitter in der Mitte des Bildschirms richteten und somit weniger Augenbewegungen ausführen

konnten. Die positive Korrelation beider Maße zeigt, dass Versuchspersonen mit hoher Präferenz für externes Wiederholen der Corsi-Sequenz trotz der Zweitaufgabe häufiger zu den Orten der vorher präsentierten Stimuli schauten als Versuchspersonen mit der Präferenz für interne Strategien.



**Abbildung 3.5:** Zusammenhang des Ausmaßes an Augenbewegung in der Memorisierungs- und Retentionsphase der zweiten Bedingung. Einzeldaten sind durch hellblaue Punkte gekennzeichnet. Die Trendlinie (gepunktete, blaue Linie) zeigt den linearen Zusammenhang. Dieser Zusammenhang ist auf einem  $\leq 0,05$  Niveau signifikant.

In Abbildung 3.6 ist der Zusammenhang des Explorationsmaßes für die Memorisierungsphase zwischen allen drei Bedingungen dargestellt. Alle Variablen weisen einen hohen linearen Zusammenhang mit hoher Signifikanz auf (Explorationsmaße der (a) Bedingung 1 x Bedingung 2:  $R \approx 1$ ;  $p < 0,001$ ; (b) Bedingung 1 x Bedingung 3:  $R \approx 0,9$ ;  $p < 0,001$ ; (c) Bedingung 2 x Bedingung 3:  $R \approx 0,9$ ;  $p < 0,001$ ). Versuchspersonen mit großem Ausmaß an Augenbewegungen zeigten dieses Verhalten über alle drei Bedingungen hinweg. Neigte eine Versuchsperson dazu, wenig Augenbewegungen auszuführen, blieb dieses Verhalten über alle Bedingungen präferiert.

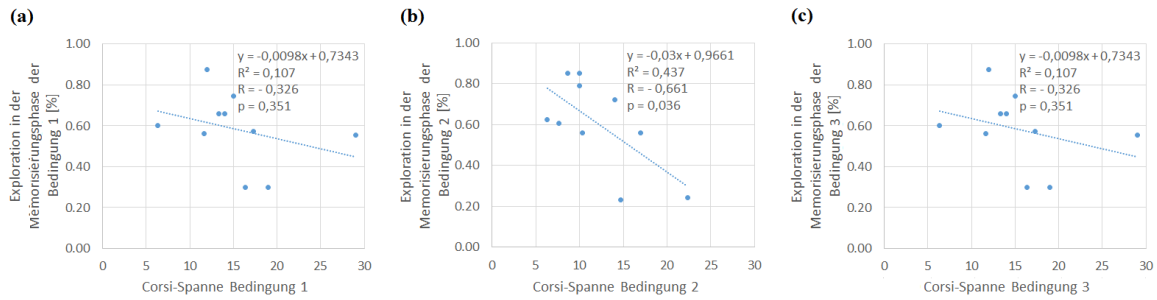


**Abbildung 3.6:** Zusammenhang des Ausmaßes an Augenbewegung in der Memorierungsphase zwischen allen drei Bedingungen. Einzeldaten sind durch hellblaue Punkte gekennzeichnet. Alle Trendlinien (gepunktete, blaue Linien) zeigen einen linearen Zusammenhang. Der Zusammenhang der Exploration ist (a) zwischen Bedingung 1 und Bedingung 2, (b) zwischen Bedingung 1 und Bedingung 3 und (c) zwischen Bedingung 2 und Bedingung 3 auf einem  $\leq 0,001$  Niveau signifikant.

### 3.4 Zusammenhang zwischen Corsi-Spanne und Ausmaß der externen Strategie zur Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz

Die Analyse des Zusammenhangs zwischen Corsi-Spanne und dem Ausmaß an Augenbewegungen soll untersuchen, ob Versuchspersonen abhängig von ihrem Explorationsverhalten systematisch besser oder schlechter im CBTT abschnitten.

In Abbildung 3.7 sind die Korrelationen der Corsi-Spanne mit dem Explorationsmaß in allen drei Bedingungen abgebildet. Ein signifikanter, negativ-linearer Zusammenhang zeigt sich nur in der zweiten Bedingung ( $R \approx -0,7$ ;  $p < 0,05$ ). In der zweiten Bedingung wurde die Wiederholung der Corsi-Sequenz durch die Zweitaufgabe während der Retentionsphase stark eingeschränkt. Der negative Zusammenhang zeigt, dass Versuchspersonen mit hoher Präferenz für externes Wiederholen der Corsi-Sequenz in der zweiten Bedingung, in der dieses Verhalten eingeschränkt wurde, schlechter abschlossen als Versuchspersonen mit der Präferenz für interne Strategien.



**Abbildung 3.7:** Zusammenhang der Corsi-Spanne und der Exploration in der Memorierungsphase in allen drei Bedingungen. Einzeldaten sind durch hellblaue Punkte gekennzeichnet. Die Corsi-Spanne und die Exploration in der Memorierungsphase sind in (a) Bedingung 1 und (c) Bedingung 3 nicht korreliert. (b) In Bedingung 2 zeigt sich ein linearer, negativer Zusammenhang. Dieser Zusammenhang ist auf einem  $\leq 0,05$  Niveau signifikant.

### 3.5 Gesamtergebnisse

Die erhobenen Explorationsdaten der Augenbewegungen können zu Blickspuren zusammengefasst werden, welche unterschiedliche Charakteristiken aufweisen. Einige Versuchspersonen bewegten ihre Augen in der Memorierungs- und der Retentionsphase näher zu den Stimulusorten als andere.

Die visuell-räumliche Arbeitsgedächtnisleistung (Corsi-Spanne) nahm im Gruppenniveau mit zunehmender Einschränkung durch die Zweitaufgabe während der Retentionsphase ab. Die Varianz des prozentualen Abfalls der Corsi-Spanne ist zwischen Kontroll- und zweiter Bedingung größer, als zwischen Kontroll- und dritter Bedingung. Dies zeigen auch Einzeldaten der Probanden, deren Leistung entweder von Kontroll- zu zweiter Bedingung stark abfällt oder von der zweiten zur dritten Bedingung. Versuchspersonen mit hoher visuell-räumlicher Arbeitsgedächtnisleistung wiesen unabhängig von der Bedingung eine höhere Corsi-Spanne auf, als Versuchspersonen mit geringerer visuell-räumliche Arbeitsgedächtnisleistung.

Das erste Explorationsmaß in Prozent war über verschiedene Sequenzlängen hinweg korreliert und konnte deswegen zusammengefasst betrachtet werden. Der Zusammenhang zwischen diesem Maß in der Memorierungs- und der Retentionsphase der ersten Bedingung war fast vollständig linear. Im Allgemeinen neigten Versuchspersonen zu einem hohen oder niedrigen Ausmaß an Augenbewegungen unabhängig von der Experimentalphase oder der Bedingung.

Der Zusammenhang zwischen Corsi-Spanne und Exploration war nur in der zweiten Bedingung signifikant. In dieser Bedingung wurde das Wiederholen der Corsi-Sequenz während der Retentionsphase unterdrückt und führte somit zu einer negativen Korrelation der beiden Faktoren. Versuchspersonen mit hohem Explorationsverhalten hatten somit in dieser Bedingung einen Nachteil durch ihre präferierte Strategiewahl.





# Kapitel 4

## Diskussion und Ausblick

### 4.1 Wiederholung der Hypothesen

Die Ergebnisse dieser Arbeit liefern neue Erkenntnisse über die Aufrechterhaltung räumlicher Informationen im Arbeitsgedächtnis. Da die Zeitspanne des Aufrechterhaltens im Arbeitsgedächtnis begrenzt ist, werden verschiedene Strategien zum Erhalt der Repräsentation angewendet. Mit Hilfe von Augenbewegungen oder der Verlagerung verdeckter Aufmerksamkeit können räumliche Informationen, die in der Umgebung gespeichert vorliegen, wiederholt und somit länger aufrechterhalten werden (externe Strategien). Eine andere Möglichkeit liegt in der Repräsentation der räumlichen Information im Gedächtnis (interne Strategie).

Hardiess und Mallot untersuchten 2015 das Ausmaß externer und interner Strategien im CVS-Paradigma. Sie fanden heraus, dass das optimale Ausmaß der Verwendung beider Strategien zur Lösung der CVS individuell verschieden war. Aufbauend auf ihrer Forschung wurden in der vorliegenden Arbeit neue Daten zur Verwendung externer und interner Strategien bei der Aufrechterhaltung räumlicher Information im CBTT gesammelt. Dabei wurde (I) zuerst das Ausmaß des Einsatzes beider Strategien zur Aufrechterhaltung räumlicher Information im CBTT überprüft. (II) Im Folgenden wurden individuelle Unterschiede im Ausmaß der Verwendung beider Strategien untersucht und weitere Aussagen über den Optimalbereich der Strategiewahl getroffen. Die Strategiewahl wurde zwischen der Memorierungs- und Retentionsphase des Versuchs, zwischen allen drei Bedingungen und mit der Wiedergabeleistung der Corsi-Sequenz verglichen. (III) Da der Informationsgehalt der Corsi-Sequenz mit zunehmender Anzahl der Stimuli größer wird, wurde eine Veränderung des Ausmaßes der Verwendung beider Strategien in Abhängigkeit der Sequenzlänge erwartet.

## 4.2 Einsatz externer und interner Strategien

Der Einsatz externer und interner Strategien bei der Aufrechterhaltung räumlicher-Information im CBTT wurde durch den Abfall der Corsi-Spanne in der zweiten und dritten Bedingung und durch das charakteristische Muster der Blickspuren der Versuchspersonen deutlich.

Da in der zweiten Bedingung externe Wiederholungstrategien unterbunden wurden, waren Versuchspersonen mit Präferenz für die externen Strategien in dieser Bedingung benachteiligt. In der dritten Bedingung wurden beide Strategien unterdrückt, wodurch die Wiedergabeleistung aller Versuchspersonen sank. In den Einzeldaten der Abbildung 3.2 (a) ist zu sehen, dass die Corsi-Spanne von vier Versuchspersonen vor allem zwischen erster und zweiter Bedingung stark abfiel. Die Corsi-Spanne der anderen Versuchspersonen sank hauptsächlich zwischen zweiter und dritter Bedingung. Nach dieser Analyse präferierten vier der Versuchspersonen externe Strategien, während sechs Versuchspersonen interne Strategien bevorzugten.

In den Blickspuren ist zu erkennen, dass einige Versuchspersonen die gegebene Corsi-Sequenz in unterschiedlich starker Ausprägung mit ihren Augen verfolgten. Durch die Wiederholung der Stimuli konnte die präsentierte Sequenz in der Memorisierungsphase akquiriert und während der Retentionsphase aufrechterhalten werden. Andere Versuchspersonen blickten in beiden Phasen vor allem in die Bildschirmmitte. Um die begrenzte Dauer der Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz im räumlich-visuellen Arbeitsgedächtnis zu verlängern, verwendeten diese eine andere Strategie. Durch die ausgewerteten Blickspuren lässt sich nicht unterscheiden, ob die Versuchspersonen externe Strategien mithilfe verdeckter Aufmerksamkeit verwendeten oder die Corsi-Sequenz intern repräsentierten. Aus dem Vergleich der Anzahl der Blickspuren mit hoher Exploration (vier Versuchspersonen) mit der Anzahl der Versuchspersonen, die nach der vorangegangenen Analyse externe Strategien präferieren, lässt sich schließen, dass alle Versuchspersonen mit Präferenz für externe Strategien auch ein hohes Ausmaß an Exploration aufweisen. Externes Wiederholen durch die Verlagerung verdeckter Aufmerksamkeit wird nach diesen Ergebnissen im CBTT nicht verwendet.

## 4.3 Analyseergebnisse der Corsi-Spanne

Durch die Analyse der Corsi-Spanne zeigte sich ein zunehmender Abfall der Wiedergabeleistung über die drei Bedingungen hinweg. Dies bestätigt unser Versuchsdesign, in dem die Aufrechterhaltung der Arbeitsgedächtnisinhalte über die Bedingungen zunehmend eingeschränkt wurde. In der ersten Bedingung erzielten die Versuchspersonen im Gruppenmittel die größte Wiedergabeleistung. Durch die Zweitaufgabe der zweiten Bedingung wurden externe Wiederholungsstrategien unterbunden, sodass nur die interne Repräsentation der Corsi-Sequenz möglich war. Die Wiedergabeleistung nahm in dieser Bedingung ab. Externe und interne Strategien wurden in der dritten Bedingung unterdrückt. Als Ergebnis zeigte sich ein signifikanter Abfall der Corsi-Spanne

gegenüber der Kontrollbedingung.

Die Varianz des Abfalls der Corsi-Spanne im Gruppenmittel war von erster zu zweiter Bedingung nahezu doppelt so groß, wie die Varianz des Abfalls zwischen erster und dritter Bedingung. Aufgrund des Versuchsdesigns waren nur Versuchspersonen, die ein exploratives Verhalten zur Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz präferierten, in der zweiten Bedingung benachteiligt. Daraus resultierte eine unterschiedlich starke Beeinträchtigung der Versuchspersonen in dieser Bedingung und somit eine erhöhte Varianz des Abfalls der Corsi-Spanne. Der Abfall der Corsi-Spanne von erster zu dritter Bedingung variierte weniger, da in der dritten Bedingung externe und interne Strategien unterdrückt wurden und somit für alle Versuchspersonen unabhängig ihrer Strategiepräferenz ein Nachteil bei der Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz existierte.

Im Vergleich der Wiedergabeleistung zwischen allen drei Bedingungen zeigte sich ein positiver Zusammenhang. Erzielte eine Versuchsperson in einer Bedingung eine relativ hohe Corsi-Spanne, so war ihre Wiedergabeleistung auch in den anderen beiden Bedingungen relativ hoch. Die relative Wiedergabeleistung blieb zwischen den Versuchspersonen in allen drei Bedingungen nahezu unverändert. Dieses Ergebnis belegen die Stabilität der Arbeitsgedächtnisleistung der Versuchspersonen über allen drei Bedingungen.

## 4.4 Individuelles Ausmaß externer und interner Strategien

In Abbildung 3.4 sind die Einzeldaten des Ausmaßes an Exploration aufgetragen. Diese Daten nehmen Werten sehr geringer Exploration und Werten sehr hoher Exploration an. Die meisten Datenpunkte verteilen sich auf einer Geraden zwischen dem minimal und maximal erzielten Wert des Explorationsmaßes. Eine weite Streuung der Werte ist sowohl in der Memorierungs- als auch der Retentionsphase der ersten Bedingung zu sehen und zeigt einen starken jedoch stabilen Unterschied in der individuellen Strategiewahl in beiden Experimentalphasen. Dies bedeutet, dass das Ausmaß der Verwendung externer und interner Strategien in der Memorierungs- und Retentionsphase des CBTT individuell unterschiedlich ist.

Das Ausmaß an Exploration in der Memorierungs- und Retentionsphase ist in der ersten und zweiten Bedingung korreliert. Die Präferenz von externen oder internen Strategien in der Memorierungsphase gleicht in beiden Bedingungen der Präferenz in der Retentionsphase. Durch Untersuchungen des Langzeitgedächtnisses wurde gezeigt, dass Informationen zusammen mit dem Kontext gespeichert werden, in dem diese erworben wurden. Die Kodierung ist kontextabhängig und eine erfolgreiche Wiedergabe nur durch die Produktion oder die Vorstellung des gespeicherten Kontextes möglich [Niels Birbaumer, 1999, S. 571]. Dementsprechend könnte zur Aufrechterhaltung räumlicher Information im Arbeitsgedächtnis die gleiche Strategie notwendig sein, die zur Akquirierung der Information verwendet wurde.

Diese Variation der Datenpunkte nimmt in der Retentionsphase der zweiten Bedingung ab. Dies ist auf die Unterdrückung externer Strategien in der zweiten Bedingung zurück zu führen. Da das Ausmaß an Exploration in der Memorisierungs- und Retentionsphase auch in der zweiten Bedingung korreliert sind, kann angenommen werden, dass Versuchspersonen trotz Einschränkung ihre Strategiewahl nicht änderten. Versuchspersonen mit einer Präferenz für das Wiederholen der Corsi-Sequenz durch Augenbewegung versuchten ihren Blick auf die Orte der Stimuli zu lenken, obwohl die Zweitauflage offene und verdeckte Aufmerksamkeit in der Bildschirmmitte erfordert. Die Strategiewahl der Versuchspersonen ist damit nicht nur über die Experimentalphasen, sondern auch über die Bedingungen stabil.

Im Vergleich der Corsi-Spanne mit dem Ausmaß externer Strategien zur Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der verwendeten Strategie und der Wiedergabeleistung der Versuchspersonen vorliegt. Ein solcher Zusammenhang konnte in der ersten und dritten Bedingung nicht nachgewiesen werden.

In der zweiten Bedingung, in der die externe Wiederholung der Corsi-Sequenz in der Retentionsphase unterbunden wurde, zeigte sich eine signifikante, negative Korrelation zwischen Explorationsmaß und Wiedergabeleistung. Dies bestätigt den Nachteil der Versuchspersonen mit Präferenz für externe Strategien in der zweiten Bedingung gegenüber Versuchspersonen, die die Corsi-Sequenz intern repräsentierten.

## 4.5 Strategiewechsel mit zunehmender Sequenzlänge

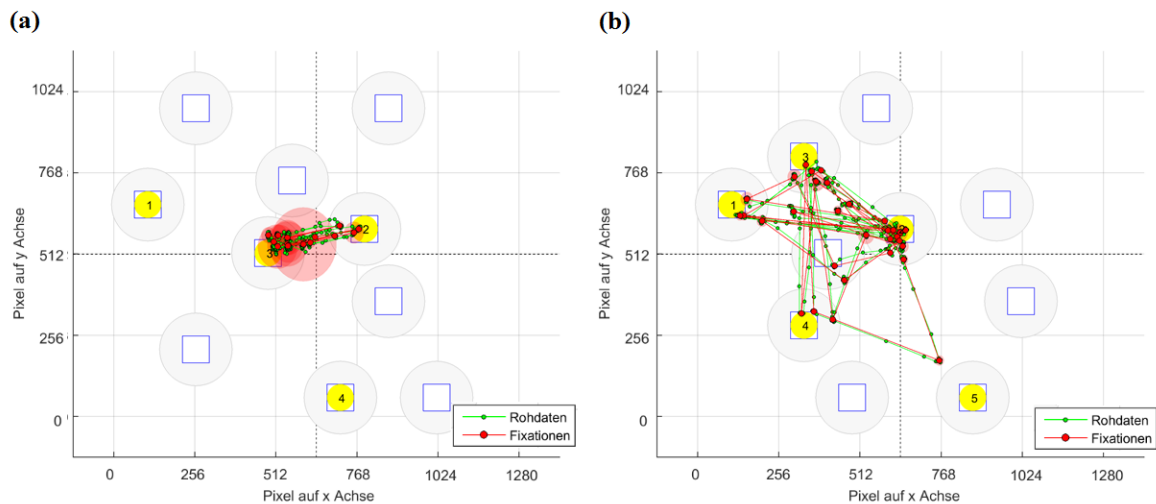
Schließlich sollte untersucht werden, ob sich das individuelle Ausmaß externer und interner Strategien mit zunehmender Sequenzlänge und einer damit erhöhten Belastung des Arbeitsgedächtnisses verändert. Für die Bestätigung dieser Hypothese konnten jedoch nicht genug Messdaten gesammelt werden, da die meisten Versuchspersonen die Corsi-Sequenz ab einer Anzahl von fünf Stimuli nicht mehr richtig wiedergeben konnten und die Bedingungen so frühzeitig zum Abbruch gebracht wurden. Das Explorationsmaß war aber über die Sequenzen aus drei, vier und fünf Stimuli korreliert (vergleiche Tabelle 3.1). Daraus kann nur geschlossen werden, dass bis zu einer Sequenz aus fünf Stimuli kein Strategiewechsel stattfindet. Diese Anzahl an Stimuli liegt jedoch im unteren Bereich der von Miller beschriebenen Zahl  $7 \pm 2$ . Die Miller'sche Zahl beschreibt die Anzahl an Informationseinheiten, die ein gesunder Mensch gleichzeitig im Kurzzeitgedächtnis behalten kann [Angermeier, 2013]. Ein Strategiewechsel wird daher vor allem in längeren Sequenzen erwartet und kann durch diese Analyse weder widerlegt noch bestätigt werden.

Um dennoch erste Ergebnisse bezüglich eines Strategiewechsels mit zunehmender Sequenzlänge zu erhalten, wurden die Messergebnisse zweier Versuchspersonen betrach-

tet.

Zuerst wurden die Ergebnisse der Versuchsperson betrachtet, die als einzige Versuchsblöcke der maximalen Sequenzlänge erreicht hatte. Im Vergleich des Explorationsmaßes über alle acht Sequenzlängen in der Memorisierungs- und Retentionsphase war keine systematische Zu- oder Abnahme zu erkennen. Diese Versuchsperson wechselte ihre Strategie mit zunehmender Sequenzlänge demnach nicht.

Die zweite Versuchsperson ist durch ihre Blickspuren für die Diskussion über einen Strategiewechsel mit zunehmender Sequenzlänge relevant. Abbildung 4.1 zeigt die Blickspuren der Versuchsperson in einem Durchgang mit vier Stimuli und in einem Durchgang mit fünf Stimuli. Eine Zunahme der räumlichen Verteilung der Blickspuren ist deutlich zu erkennen. Diese Versuchsperson wechselte ihre Strategie mit zunehmender Sequenzlänge von interner Repräsentation zu externe Wiederholung durch Augenbewegung.



**Abbildung 4.1:** Blickspuren einer Versuchsperson in der Retentionsphase, die mit zunehmender Sequenzlänge ihre Strategie zur Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz änderte. Der Strategiewechsel von interner auf externe Strategie fand zwischen (a) der Sequenz aus vier Stimuli und (b) der Sequenz aus fünf Stimuli statt. Die horizontalen Achsen zeigen die Positionierung der Objekte auf dem Bildschirm in horizontaler Richtung [Pixel]. Die vertikalen Achsen zeigen die Positionierung in vertikaler Richtung [Pixel]. Stimuli der jeweiligen Sequenz sind aufsteigend nach ihrer Reihenfolge nummeriert und mit gelb markiert. Die Rohdaten der Blickposition sind durch grüne Punkte und Linie dargestellt. Die extrahierten Fixationen werden durch roten Punkten und Linie gekennzeichnet. Transparente rote Kreise um jede Fixation geben deren relative Dauer an.

## 4.6 Fazit

Externe und interne Strategien werden zur Aufrechterhaltung der Corsi-Sequenz im Arbeitsgedächtnis eingesetzt. Das Ausmaß des Einsatzes beider Strategien ist individuell verschieden, bleibt jedoch für jede Versuchsperson über alle drei Bedingungen und die Experimentalphasen stabil. Ein Zusammenhang zwischen Strategiewahl und Wiedergabeleistung wurde nur durch manipulative Benachteiligung einer der beiden Strategien

festgestellt. Über einen Strategiewechsel mit zunehmender Sequenzlänge konnte aufgrund fehlender Daten keine Aussage getroffen werden.

## **4.7 Ausblick**

### **4.7.1 Aussagen der Dauer und der zeitlichen Abfolge der Fixationen**

In der Berechnung der Explorationsmaße wurde weder die Dauer noch die zeitliche Abfolge der Fixationen berücksichtigt. Die Dauer der Fixation eines Bildes bestimmte für Hardiess und Mallot (2015) den gespeicherten Informationsgehalt des visuellen Reizes. Die Bedeutung der Fixationsdauer räumlicher Objekte im CBTT ist noch unbekannt und fordert weitere Analysen der gesammelten Daten. Darüber hinaus wird angenommen, dass die zeitliche Abfolge der Fixationen nahe der Stimuli deren Präsentationsreihenfolge entspricht. Diese Annahmen sowie die Anzahl der durchlaufenen Fixationszyklen zu den Präsentationsorten müssen noch näher untersucht werden.

### **4.7.2 Systematisches Auslassen einzelner Stimuli**

Das Explorationsmaß gibt den durchschnittlichen Abstand zwischen dem Präsentationsort der Stimuli und der jeweils nächsten Fixation an. Die Varianz des Abstandes wurde bei der Berechnung der Exploration nicht berücksichtigt. Das Ausmaß von Augenbewegungen einer Versuchsperson, die jeden Stimulus einer Dreiersequenz mit einem Abstand von jeweils 100 Pixeln fixierte, entsprach dem Ausmaß einer Versuchsperson, die den ersten Stimulus der Sequenz nicht fixierte (300 Pixel Abstand) und die restlichen beiden Stimuli genau betrachtete. Die ersten oder letzten Stimuli könnten durch Primacy-Recency-Effekt besser aufrechterhalten werden und so zu einer falschen Interpretation des Explorationsmaßes führen. Zur Beantwortung dieser Fragestellung müssen weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

### **4.7.3 Bedeutung zeitlicher und räumlicher Fehler der Wiedergabe**

Eine Corsi-Sequenz galt als falsch wiedergegeben, wurde eine Position angeklickt, an der kein Stimulus präsentiert worden war (räumlicher Fehler), oder die Reihenfolge der Stimuli verändert wurde (zeitlicher Fehler). Erkenntnisse über die Art der Fehler könnten helfen, die Art der Repräsentation räumlicher Informationen im Arbeitsgedächtnis besser zu verstehen. Außerdem könnten Fehler unterschiedlicher Art je nach Strategiewahl der Versuchspersonen auftreten. Wird die Corsi-Sequenz in der Präsentationsreihenfolge durch externes Wiederholen mit Augenbewegung aufrechterhalten, sollte die Anzahl räumlicher Fehler größer als die Anzahl zeitlicher Fehler sein.

# Literaturverzeichnis

- [Angermeier, 2013] Angermeier, D. G. (2013). Millersche zahl. <https://www.projektmagazin.de/glossarterm/millersche-zahl>. Accessed: 2016-11-12.
- [Awh and Jonides, 2001] Awh, E. and Jonides, J. (2001). Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(3):119–126.
- [Baddeley, 2010] Baddeley, Alan D.; Eysenck, M. W. A. M. (2010). *Memory*. Psychology Press, Hove, East Sussex.
- [Brockhaus, 2003] Brockhaus, F. (2003). *Brockhaus Universal Lexikon von A - Z in 26 Bänden*. Brockhaus, Leipzig/Mannheim.
- [Cowan, 2008] Cowan, N. (2008). Chapter 20 what are the differences between long-term, short-term, and working memory? In Wayne S. Sossin, Jean-Claude Lacaille, V. F. C. and Belleville, S., editors, *Essence of Memory*, volume 169 of *Progress in Brain Research*, pages 323 – 338. Elsevier.
- [Gerrig et al., 2014] Gerrig, R., Zimbardo, P., and Graf, R. (2014). *Psychologie*. Always learning. Pearson Studium.
- [Hardiess and Mallot, 2015] Hardiess, G. and Mallot, H. A. (2015). Allocation of cognitive resources in comparative visual search – individual and task dependent effects. *Vision Research*, 113, Part A:71 – 77.
- [Hasselhorn and Grube, 2003] Hasselhorn, M. and Grube, D. (2003). Das arbeitsgedächtnis: Funktionsweise, entwicklung und bedeutung für kognitive leistungstörungen. *Sprache, Stimme, Gehör*, 27(1):31–37.
- [Klein, 1997] Klein, K.-M. (1997). Das kurzzeitgedächtnis. <http://paedpsych.jk.uni-linz.ac.at/INTERNET/ARBEITSBLAETTERORD/LERNTECHNIKORD/GEDAECHTNISORD/Kurzeitgedaechtnis.html>. Accessed: 2016-10-02.
- [Laeng et al., 2014] Laeng, B., Bloem, I. M., D’Ascenzo, S., and Tommasi, L. (2014). Scrutinizing visual images: The role of gaze in mental imagery and memory. *Cognition*, 131(2):263 – 283.

- [Müsseler, 2007] Müsseler, J. (2007). *Allgemeine Psychologie*. Springer Spektrum.
- [Niels Birbaumer, 1999] Niels Birbaumer, R. F. S. (1999). *Biologische Psychologie*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [Parmentier, 2005] Parmentier, Fabrice B. R.; Elford, G. M. M. (2005). Transitional information in spatial serial memory: Path characteristics affect recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31(3):412–427.
- [Pearson and Sahraie, 2003] Pearson, D. and 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*, 56(7):1089–1111. PMID: 12959905.
- [Pearson et al., 2014] Pearson, D. G., Ball, K., and Smith, D. T. (2014). Oculomotor preparation as a rehearsal mechanism in spatial working memory. *Cognition*, 132(3):416 – 428.
- [Riccardo Brunetti, 2004] Riccardo Brunetti, Claudia Del Gatto, F. D. (2004). ecor-si: implementation and testing of the corsi block-tapping task for digital tablets. <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2014.00939/full>. Accessed: 2016-08-13.
- [Röser et al., 2016] Röser, A., Hardiess, G., and Mallot, H. A. (2016). Modality dependence and intermodal transfer in the corsi spatial sequence task: Screen vs. floor. *Experimental Brain Research*, 234(7):1849–1862.
- [Spektrum, 2000] Spektrum, A. V. (2000). Lexikon der neurowissenschaft: visuelle aufmerksamkeit. <http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/visuelle-aufmerksamkeit/13788>. Accessed: 2016-08-15.
- [Thomas, 2016] Thomas, N. J. (2016). Mental imagery. In Zalta, E. N., editor, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Summer 2016 edition.



## Selbständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe und dass alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinne nach anderen Werken entnommen sind, durch Angaben von Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht worden sind. Diese Bachelorarbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form in keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt.

Ort, Datum

Unterschrift

# Anhang

## Probandeninformation und Einverständniserklärung

### Personendaten

Name der Versuchsperson (in Druckbuchstaben): \_\_\_\_\_  
E-Mail Adresse (optional): \_\_\_\_\_  
Studiengang und Fachsemester: \_\_\_\_\_  
Geburtsjahr: \_\_\_\_\_ Geschlecht: m w  
Brille: ja nein Kontaktlinse: ja nein Kontaktlinse: hart weich

### Probandeninformation

Experiment: CORSI Block Tapping Task  
Name der Versuchsleiter: Gregor Hardiess, Alexandra Walter

Sie werden heute an einem Computereperiment bezüglich der Untersuchung Ihrer Arbeitsgedächtnisspanne teilnehmen. Dabei werden Sie mit der Computermaus verschiedene Sequenzen von (am Bildschirm dargestellten) Kästchen nachklicken. Der Schwierigkeitsgrad wird dabei variiert um Ihre Gedächtnisspanne zu messen.

Das Experiment ist nicht invasiv, kann nicht zu Schäden führen und hat keinerlei Nebenwirkungen.

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

Die Teilnahme erfolgt freiwillig und kann zu jedem Zeitpunkt ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden.

### Einverständniserklärung

Ich erkläre mich bereit, an dem o.g. Experiment teilzunehmen.

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

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

Tübingen, den \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
Unterschrift

**Abbildung A.1:** Informationsbogen und Einverständniserklärung, der von den Versuchspersonen vor Versuchsbeginn ausgefüllt und unterschrieben wurde.

## CORSI Task in 3 verschiedenen Bedingungen

### Allgemeiner Ablauf:

- Jeder Durchgang umfasst 3 Phasen: Memorisierung – Pause – Wiedergabe.
- Pro Durchgang werden am Bildschirm 10 weiße Kästchen präsentiert.
- **Memorierungsphase:** eine bestimmte Anzahl der Kästchen (beginnend mit 3) wird in zufälliger Reihenfolge mit einem grünen Kreis markiert. Merken Sie sich die richtige Sequenz dieser Markierungen.
- **Pausenphase:** der Bildschirm wird für 10 Sekunden grau (während dieser Phase muss je eine von 3 verschiedenen Aufgaben absolviert werden; siehe unten).
- **Wiedergabephase:** der Bildschirm wird wieder schwarz und Ihre Aufgabe besteht darin, die richtigen Kästchen der in der Memorierungsphase gezeigten Sequenz mit der Maus anzuklicken.
- Richtiges Kästchen angeklickt → ein grüner Kreis leuchtet auf
- Falsches Kästchen angeklickt → ein roter Kreis leuchtet in dem eigentlich richtigen Kästchen auf
- Nach jeweils 3 Durchgängen einer Bedingung (siehe unten) wird die Anzahl der markierten Kästchen um einen Kreis erweitert, falls die Sequenz in mindestens einem der 3 Durchgänge richtig wiedergegeben wurde. Anderenfalls kommt es zum Abbruch dieser Bedingung.

### Teilaufgaben / Bedingungen (I-III):

- In der **Pausenphase** wird eine der folgenden 3 Bedingungen eintreten:
  - I. Der Bildschirm bleibt für 10 Sekunden grau. In diesem Zeitraum können die Augen frei bewegt werden.
  - II. Der Bildschirm bleibt für 10 Sekunden grau. Währenddessen erscheint ein 5x5 Gitter (25 Zellen) in der Mitte des Bildschirms, in dem drei verschiedene Zellen **nacheinander** mit einem schwarzen Kästchen markiert werden. Nach dem Verschwinden eines Kästchens haben Sie 2,5 Sekunden Zeit, um in die eben markierte Zelle zu klicken.
  - III. Der Bildschirm bleibt für 10 Sekunden grau. Währenddessen erscheint ein 5x5 Gitter (25 Zellen) in der Mitte des Bildschirms, in dem drei verschiedene Zellen **gleichzeitig** durch schwarze Kästchen markiert werden. Diese drei Kästchen sollen kurz nach ihrem Verschwinden durch Anklicken in beliebiger Reihenfolge wiedergegeben werden.
- Die 3 Bedingungen treten randomisiert auf. Zu Beginn jeder neuen Bedingung wird die jeweilige Aufgabe der Pausenphase am Bildschirm angezeigt.
- **Ziel ist es, so viele Durchgänge wie möglich richtig zu absolvieren!**

*Viel Spaß beim Experiment...!*

**Abbildung A.2:** Instruktionsbogen, der den Corsi-Block-Tapping Test und die gestellten drei Bedingungen erklärt. Dieser Instruktionsbogen wurde den Versuchspersonen vor Versuchsbeginn ausgehändigt.