

Modalitätsabhängige Prozesse im räumlichen Arbeitsgedächtnis beim CORSI-Paradigma

Bachelorarbeit
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der EBERHARD KARLS UNIVERSITÄT TÜBINGEN

vorgelegt von

Natalie Hamp

Tübingen, September 2020

Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Natalie Hamp,

- dass ich diese Arbeit selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.
- dass alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommenen Aussagen als solche gekennzeichnet sind.
- dass die eingereichte Arbeit weder vollständig noch in wesentlichen Teilen Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens gewesen ist oder bereits veröffentlicht wurde.

Tübingen, den 15. September 2020

Zusammenfassung

Bisher ist das Wissen über die getrennte Verarbeitung räumlicher und zeitlicher Informationen im Arbeitsgedächtnis gering. Diese Arbeit gibt weitere Einblicke in die Verarbeitung räumlicher und zeitlicher Gedächtniseinträge. Dies soll speziell am Corsi-Paradigma, mit dem die Kapazität des räumlichen Arbeitsgedächtnisses gemessen werden kann, untersucht werden. Neben dem Corsi-Test (räumlich-zeitliche Bedingung) wurden zwei weitere Bedingungen getestet, die entweder nur die Positionen der Felder (räumliche Bedingung) oder nur die zeitliche Reihenfolge der Felder (zeitliche Bedingung) abfragten. Dafür wurden sechs Versuchspersonen im Alter von 20 bis 27 Jahren getestet. Alle Teilnehmer schnitten signifikant besser in der zeitlichen- bzw. räumlichen-Bedingung ab, im Vergleich zum Corsi-Test. Dabei war die Performance in der räumlichen Bedingung deutlich besser als in der zeitlichen Bedingung. Daraus folgt, dass der geringere Informationsgehalt sowie die Anwendung von Strategien führt zu einer effizienteren Nutzung der limitierten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses. Zudem wurde anhand des Experiments der Einfluss des Alters auf die Gedächtnisleistung untersucht. Dafür wurden zwei Personen im Alter von 49 bis 51 Jahren getestet. In allen drei Bedingungen nahm die Performance mit Zunahme des Alters ab. Dies zeigt eine modalitätsübergreifende, altersabhängige Abnahme der Gedächtnisleistung. Zusätzlich wurde ein Teilnehmer mehrfach getestet, um einen Lerneffekt zu untersuchen. Die Performance blieb über die Testversuche nahezu konstant. Der Corsi-Test sowie die modifizierten Bedingungen scheinen robust gegen Lernprozesse zu sein.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1. Einleitung	1
1.1. Arbeitsgedächtnis	1
1.1.1. Kapazität	2
1.2. Theorien und Prozesse	3
1.2.1. Neuronale Komponenten	6
1.3. Visuell-räumliches Arbeitsgedächtnis	7
1.4. Corsi-Block-Tapping-Test	10
1.4.1. Ressourcen und Strategien	12
1.5. Ziel der Arbeit	13
1.5.1. Vorarbeit	13
1.5.2. Fragestellungen	14
2. Material und Methoden	15
2.1. Versuchspersonen	15
2.2. Apparatur	15
2.3. Bedingungen	16
2.4. Stimulus	17
2.5. Versuchsdurchführung	18
2.6. Analyse	21
2.6.1. Abhängige Variablen	21
2.6.2. Zufallswahrscheinlichkeit	22
2.6.3. Ausschluss von Daten	24
2.6.4. Statistische Analyse	25

3. Ergebnisse	27
3.1. Corsi-Spanne	27
3.1.1. Reaktionszeit	30
3.1.2. Einfluss von Pfadkreuzungen	31
3.2. Alter und AG	33
3.3. Lernprozess im Corsi-Test	35
4. Diskussion	36
4.1. Corsi-Paradigma	36
4.2. Altersprozesse	39
4.3. Lernprozesse	40
4.4. Fazit	41
A. Anhang	42
Literaturverzeichnis	46

Abbildungsverzeichnis

1.1. Multikomponenten-Modell nach Baddeley	4
1.2. Neuronale Komponenten des AG	7
1.3. Formen des Corsi-Block-Tapping-Tests	11
2.1. <i>Encoding</i> -Phase der Z- und R-Bedingung	17
2.2. R- und Z-Bedingung - Bildschirmausgabe	20
2.3. Zufallswahrscheinlichkeiten für korrekte <i>trials</i> und Klicks	24
3.1. Gewichtete Corsi-Spannen	29
3.2. Prozentualer Anteil korrekter <i>trials</i> und Klicks	30
3.3. Reaktionszeit pro Klick	31
3.4. Geklickte Pfade im <i>Recall</i> der R-Bedingung	32
3.5. Corsi-Spannen in <i>trials</i> mit/ohne Pfadkreuzungen	32
3.6. Vergleiche der Corsi-Spannen zwischen Altersgruppen	34
3.7. Gewichtete Corsi-Spannen - Lerneffekt	35
4.1. Gewichtete Corsi-Spannen der Vorarbeit	38
A.1. Während dem Experiment durchgehend sichtbare Muster	42
A.2. Anzahl der VP pro Sequenzlänge und Bedingung	43
A.3. Gewichtete Spannen aller VP	43
A.4. Schriftliche Versuchsdurchführung	44
A.5. Bildschirmausgaben pro Bedingung	45

Tabellenverzeichnis

2.1. Maximal erreichte Sequenzlänge der VP	25
--	----

Abkürzungsverzeichnis

AG	Arbeitsgedächtnis
KZG	Kurzzeitgedächtnis
LZG	Langzeitgedächtnis
R-Bedingung	räumliche Bedingung
RZ-Bedingung	räumlich-zeitliche Bedingung
RZ	Reaktionszeit
SEM	Standardfehler
SD	Standardabweichung
SL	Sequenzlänge
Z-Bedingung	zeitliche Bedingung

1. Einleitung

Das Gedächtnis ist die Fähigkeit des Gehirns, Informationen aus der Umwelt aufzunehmen, zu speichern und wiederzugeben, wenn diese benötigt werden. Eine strukturelle und funktionelle Kategorisierung des Gedächtnisses wird schon seit Beginn an in Feldern der kognitiven und neuropsychologischen Wissenschaften diskutiert. Eine weitgehend akzeptierte Einteilung des Gedächtnisses beinhaltet das Kurzzeitgedächtnis (Abk. KZG; engl. *short term memory*), das Langzeitgedächtnis (Abk. LZG; engl. *long term memory*) und das Arbeitsgedächtnis (Abk. AG; engl. *working memory*). Die Unterscheidung zwischen LZG und KZG basiert zum Einen auf der Dauer, wie lange die kodierte Information im Gedächtnis aufrechterhalten werden kann und zum Anderen in der gespeicherten Informationsmenge. Aus dem LZG mit unbegrenzt großer Kapazität, können gespeicherte Informationen theoretisch ein Leben lang abgerufen werden (Atkinson & Shiffrin, 1968). Die Existenz eines LZG in einem funktionierenden Menschen ist zudem unumstritten (Cowan, 2008), da es für wichtige kognitive Fähigkeiten wie dem Verstehen und Verständigen in einer Sprache entscheidend ist. Das KZG mit begrenzter Kapazität, ermöglicht einen Abruf der Information innerhalb weniger Sekunden bis eine Minute und wird als passiver Speicherort definiert, z.B. wird eine Reihe bedeutungsloser Zahlen im KZG behalten. Das Konzept des AG, welches Ähnlichkeiten mit dem KZG hat, sich aber in Funktionalität und Struktur unterscheidet, wurde eingeführt, um die aktiven Gedächtnisprozesse hervorzuheben. Im AG liegt die Priorität auf der Verarbeitung und Manipulation der wahrgenommenen Informationen (Zimmer, 2008). Im Folgenden werden die wichtigsten kognitiven Prozesse und Konzepte des AG vorgestellt.

1.1. Arbeitsgedächtnis

Das AG ist für die erfolgreiche Bewältigung alltäglicher Aufgaben entscheidend und in einem hohen Maß an zielgerichteten Verhaltensweisen beteiligt. Schon beim Lösen einer einfachen mathematischen Rechenaufgabe im Kopf werden die wichtigsten

Prozesse rekrutiert. Es beginnt mit einer Aufgabe, beispielsweise

$$2 + 2 \cdot 4 = ?.$$

Der sensorische Input wird visuell oder akustisch wahrgenommen. An dieser Stelle wird der Aufgabe eine Bedeutung zugeordnet, um die von außen wahrgenommenen Informationen in den richtigen Kontext einordnen zu können. Es muss erkannt werden, dass es sich bei 2 und 4 um Zahlen handelt, die zusammengerechnet werden können und ein Produkt ergeben. Zudem müssen die arithmetischen Operatoren + und \cdot als solche erkannt werden und ihre Vorrangregeln (Punkt vor Strich) bekannt sein, um auf das korrekte Ergebnis zu kommen. Für die Einordnung werden bereits gelernte und gespeicherte Informationen aus dem LZG herangezogen (Kontrolle). Um die Aufgabenstellung aufrecht zu erhalten, muss die kurzfristig gespeicherte Information immer wieder gedanklich aufgefrischt werden (*rehearsal*). Um das Lösen zu erleichtern, wird die Aufgabe gedanklich logisch unterteilt (Gruppieren). Zuerst wird die Teilaufgabe $2 \cdot 4$ berechnet und das Teilergebnis aufrechterhalten (*rehearsal*). Die Teilaufgabe wird durch das Ergebnis gedanklich überschrieben (*updating*). Zuletzt wird die aktualisierte Aufgabe $2 + 8$ berechnet und das korrekte Ergebnis „10“ verbal ausgegeben.

Das AG wird als ein kognitives System mit begrenzter Kapazität beschrieben, das Informationen für eine kurze Periode aufrechterhalten kann. Die wahrgenommenen Informationen werden zielgerichtet, der Aufgabe entsprechend verarbeitet und manipuliert. Die Verbindung und Interaktion mit dem LZG sind für die Funktionsfähigkeit des AG von wichtiger Bedeutung, da nur die Informationen korrekt verarbeitet werden können, die bereits im LZG gespeichert sind.

1.1.1. Kapazität

Neben der kurzfristigen Speicherung von Informationen in einem Zeitraum von mehreren Sekunden, ist die limitierte Kapazität eine definierende Eigenschaft des AG. Die Kapazität berechnet sich aus der Menge an Informationen, die parallel im AG aufrechterhalten werden können (Zimmer, 2008). Luck und Vogel (1997) schätzen die Kapazität des räumlichen AG auf ungefähr drei bis vier Items, unabhängig von der Anzahl an Eigenschaften (Form, Farbe, Orientierung), die ein Item umfasst. Die genaue Definition einer gespeicherten Einheit (*Chunk*) hat sich dennoch als schwierig erwiesen (Zimmer, 2008). Verschiedene Faktoren wie die Anzahl an *Chunks*, ihre

Eigenschaften und Komplexität limitieren das visuelle AG. Neben den sensorischen Faktoren der *Chunks* limitiert auch die individuelle Wahrnehmung der Beobachter die Kapazität. Beispielsweise kann die Komplexität (z.B. geometrische Eigenschaft) eines Stimulus von zwei Personen unterschiedlich wahrgenommen werden, je nachdem ob der Stimulus der Person bekannt ist und ein Eintrag im LZG existiert. Es gibt noch weitere individuelle Eigenschaften, die limitierend wirken können, wodurch deutliche interindividuelle Unterschiede der Kapazitäten des AG gemessen werden können (Eng, Chen & Jiang, 2005). Zudem steht die Kapazität in enger Verbindung mit der Leistungsfähigkeit des Gedächtnisses und der Performance anderer komplexer kognitiver Aufgaben, die sich bei jeder Person unterscheidet. Die genauen Mechanismen der Limitierung sind jedoch nicht bekannt.

Training

Auch ein Training von AG-Aufgaben kann die Kapazität beeinflussen. In mehreren Studien konnte für verschiedene AG-Aufgaben eine Erhöhung der Performance nach einem Training beobachtet werden (Olson & Jiang, 2004). Dennoch wird davon ausgegangen, dass ein Training die Kapazität für die zu merkenden Objekte nicht direkt erhöht. Es wird eher von einem allgemeinen Lerneffekt ausgegangen, der nicht auf die Items beschränkt ist (Chen, Yee Eng & Jiang, 2006). Zudem kann das Üben einer AG-Aufgabe zur Verbesserung der Taktik führen, welche das Lösen der Aufgabe erleichtert und die Performance verbessert.

1.2. Theorien und Prozesse

Der Begriff des AG wurde erstmals von Miller, Galanter und Pribram (1960) eingeführt. Seitdem wurden einige theoretische Konzepte über die Funktionsweise und Struktur des AG entwickelt. Das AG ist seitdem für die kognitive Neuropsychologie von zentraler Bedeutung.

Das wohl einflussreichste Modell ist das Multikomponenten-Modell von Baddeley und Hitch (1974), welches die strikte dichotome Unterteilung des Gedächtnisses in KZG und LZG revolutionierte. Ihnen gelang es, mithilfe von Parallelaufgaben (*dual-task*) das AG in drei Komponenten einzuteilen. Grundsätzlich ist bekannt, dass die parallele Ausführung von Aufgaben aus der gleichen Domäne (verbal oder visuell) die Gedächtnisleistung beeinträchtigen. Dagegen beeinflussen sich Parallelaufgaben, die unterschiedliche Domänen beanspruchen, nicht negativ (Baddeley, Cocchini, Della Sala, Logie & Spinnler, 1999). Eine Komponente ist die zentrale Exekutive, gedacht

als übergeordnetes Kontrollsystem, welches zur Steuerung der Aufmerksamkeit und zur Koordination der beiden untergeordneten textitilave-Systeme, dem *phonological loop* (Abk. PL) und dem *visuospatial sketchpad* (Abk. VSSP) beiträgt. Der PL speichert phonologische Information (z.B. Klänge) und beinhaltet eine *rehearsal loop*, um den Zerfall von Informationen zu verhindern. Im VSSP werden wahrgenommene visuelle und räumliche Informationen gespeichert. Baddeley (2000) überarbeitete das Multikomponenten-Modell und fügte eine vierte Komponente, den *episodic buffer*, hinzu. Mit der zusätzlichen Komponente werden verschiedene sensorische (multi-modale) Informationen einbezogen, indem Repräsentationen gespeichert werden, die phonologische, visuelle und räumliche Informationen integrieren. Zusätzlich werden semantische Informationen (Faktenwissen) mit einbezogen. Dadurch existiert eine Verbindung zwischen dem AG und dem LZG.

Die Beziehung zwischen der zentralen Exekutiven und den drei untergeordneten Systemen ist bidirektional. Dadurch werden bottom-up Mechanismen und somit auch das LZG mit einbezogen (Abbildung 1.1).

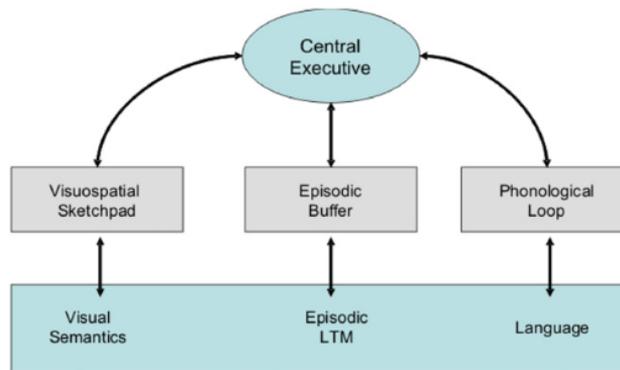


Abbildung 1.1.: Schematische Darstellung des Multikomponenten-Modells von Baddeley (2000). Die schwarzen Pfeile stellen die bidirektionale Beziehung zwischen der zentralen Exekutiven und den drei getrennten slave-Systemen (VSSP, PL und episodic buffer) und dem LZG (Basis) dar (Zimmer, 2008).

Eine weitaus größere Bedeutung des LZG wird in dem theoretischen Konzept des AG nach Cowan (1999) postuliert. In seinem *embedded processes*-Modell des AG spielen das LZG und die Aufmerksamkeit eine wichtige Rolle bei der Funktionalität des AG. Dabei wird das Gedächtnis in keine strukturell abgegrenzten Teilsysteme unterteilt, sondern besteht aus einem einheitlichen System. Nach Cowan (2008) kann das AG als kurzzeitiger Speicherort mit begrenzter Kapazität beschrieben werden, der stark von der Aufmerksamkeit und anderen exekutiven Prozessen abhängig ist, die wiederum

mit dem LZG interagieren. Es wird eine hierarchische Beziehung zwischen KZG, LZG und AG angenommen, wobei innerhalb des LZG eine Teilmenge von aktivierten Informationen existieren, die dem AG zugeschrieben werden (Cowan, 1999). Da theoretisch grenzenlos viele Repräsentationen des LZG aktiviert werden können, erklärt Cowan (2005) die limitierte Kapazität damit, dass nur bis zu 4 *Chunks* parallel im Fokus der Aufmerksamkeit stehen können. Oberauer (2002) definierte einen weiteren schmalen Aufmerksamkeitsfokus, der nur einen *Chunk* speichert. Integriert in dem 4-*Chunks*-Fokus können somit einzelne *Chunks* gezielt verarbeitet werden, wie beispielsweise beim Lösen von mathematischen Teilaufgaben (s. Abschnitt 1.1).

Moderne Theorien über die Struktur und die Funktionalität des AG basieren auf neuronalen Aktivitäten, die während der Durchführung von AG-Aufgaben gemessen werden können. Demnach schließt Zimmer (2008), dass das AG nicht auf ein abgegrenztes Teilsystem beschränkt werden kann. Je nach Anforderung der zu lösenden Aufgabe ist ein Netzwerk aus neuronalen Strukturen aktiv. Ähnlich zur Theorie nach Cowan (1999) verarbeiten gewisse Strukturen die wahrgenommenen Informationen domänenspezifisch (z.B. räumliche Informationen). Das heißt, dass Informationen unabhängig ihrer Modalität (z.B. visuell, verbal) und Inhalte (z.B. Gesichter, Orte) in unterschiedlichen Hirnstrukturen verarbeitet und repräsentiert werden (Fuster, 1997), dies aber nicht in separaten Puffern stattfindet. Dennoch existieren weiterhin – ähnlich der Multikomponenten-Theorie von Baddeley und Hitch (1974) – modalitätsspezifische Strukturen, die für Informationen nur einer Modalität kodieren (z.B. visuelle Information). Daher wäre es laut Zimmer (2008) angemessener, von unterschiedlichen Aufgaben mit spezifischen Anforderungen an das AG zu sprechen.

Prozesse und Aufgaben

Es gibt eine Reihe von primären Prozessen und Aufgaben, die das AG charakterisieren und notwendig sind, um komplexe kognitive Aufgaben, wie eine mathematische Rechenaufgabe (s. Abschnitt 1.1), erfolgreich lösen zu können.

Eine Aufgabe ist die kurzfristige Speicherung spezifischer Information eines Stimulus und beschreibt das passive AG. Eine zweite Aufgabe ist der Abruf von vor längerer Zeit kodierten Informationen eines Stimulus aus dem LTM und dient als Prozess der *Kontrolle* von wahrgenommenen Informationen, um diese in den richtigen Kontext einzuordnen und die Aufgabe somit zielgerichtet lösen zu können. Der Prozess des Wiederholens oder *Auffrischens* (*rehearsal*) der bereits gespeicherten AG-Inhalte ist nötig, um Informationen während dem Lösen der Aufgaben aufrechtzuerhalten.

Das aktive AG wird über die Fähigkeit der *Manipulation* wahrgenommener Reize definiert. Dabei werden beispielsweise zwei Zahlen entsprechend der Aufgabe addiert.

Das *Überschreiben* (*updating*) von AG-Inhalten ist ein Prozess, der nicht mehr benötigte oder teilweise bearbeitete Informationen durch neue Inhalte ersetzt, wie beispielsweise beim Weiterrechnen mit einem Zwischenergebnis (Zimmer, 2008).

Eine weitere wichtige Aufgabe ist das sinnvolle Strukturieren oder *Gruppieren* von AG-Inhalten. Exemplarisch kann eine Erleichterung beim Lösen einer räumlichen Aufgabe stattfinden, indem mehr Informationen gruppiert gespeichert werden können (Sala & Courtney, 2007). Auf die Fähigkeit wird in Abschnitt 1.4.1 näher eingegangen.

1.2.1. Neuronale Komponenten

Als kognitives System bezieht das AG das gesamte Gehirn funktionell mit ein. Die vereinfachte Darstellung gibt einen Einblick in die funktionelle Einteilung des AG (Abbildung 1.2). Generell sind die anterioren Strukturen eher für die Kontrolle relevant und die posterioren Strukturen repräsentieren die Reize (Fuster, 1997). Die gleichen posterioren Strukturen sind auch an der Wahrnehmung und der Langzeiterinnerung der Merkmale beteiligt (Jonides, Lacey & Nee, 2005).

Der dorsolaterale präfrontale Cortex (Abk. DLPFC) ist in Aufgaben involviert, die exekutive Kontrolle benötigen. Er steuert die Prozesse des AG, wozu das Speichern, Manipulieren, Abrufen und Auffrischen von Informationen gehören (Kim, Kroger, Calhoun & Clark, 2015).

Der anteriore cinguläre Cortex (Abk. ACC) fungiert als „*attention controller*“ und steuert die Anpassung der wahrgenommenen Informationen basierend auf den Anforderungen der Aufgabe (Osaka et al., 2003). Der parietale Cortex (Abk. PAR) fungiert als „*workspace*“ für die Verarbeitung von wahrgenommenen Informationen, wie z.B. sensorische Informationen aus der Umwelt (Owen, McMillan, Laird & Bullmore, 2005).

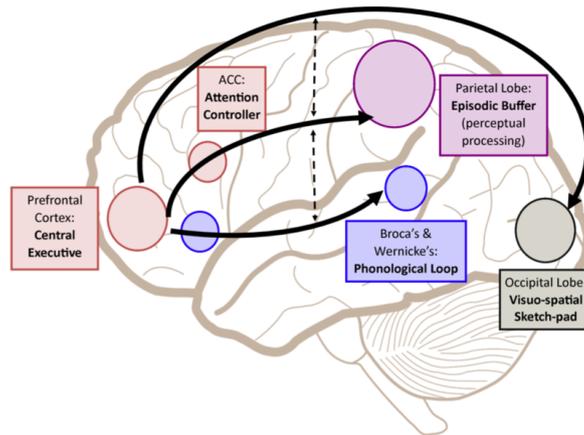


Abbildung 1.2.: Vereinfachte Darstellung der beteiligten neuronalen Komponenten des AG. Die Aufteilung ist an das Multikomponenten-Modell von Baddeley (2010) angelehnt. Es ist die kontrollierende Funktion der zentralen Exekutiven auf die drei *slave*-Systeme (anhand der schwarzen Pfeile) dargestellt (Chai et al., 2018).

1.3. Visuell-räumliches Arbeitsgedächtnis

Die Abgrenzung des AG in ein visuell-räumliches AG (Abk. vAG) ist im Sinne des oben vorgestellten Multikomponenten-Modell von Baddeley und Hitch (1974). Im Folgenden soll weiter auf die Struktur und die Inhalte, die im vAG gespeichert und verarbeitet werden, eingegangen werden. Dabei werden die wichtigsten Aufgaben und Prozesse des visuellen und räumlichen Teilsystems betrachtet. Der Fokus liegt dabei auf dem räumlichen AG.

Generell speichert das vAG räumliche sowie visuelle Informationen und besitzt einen spezifischen Prozess zum Wiederholen oder Auffrischen (*rehearsal*) der bereits gespeicherten Informationen. Die Kapazität ist beschränkt und das vAG kann durch Parallelaufgaben, die auf die gleichen Komponenten des vAG zugreifen, beeinträchtigt werden. Die parallele Ausführung zweier statisch-visuellen Aufgaben ist mehr defizitär, als das Ausführen einer visuellen und einer räumlichen Aufgabe und umgekehrt (Logie & Marchetti, 1991). Auf der Grundlage wird angenommen, dass die Verarbeitung visueller und räumlicher Informationen innerhalb des vAG von getrennten Prozessen verarbeitet werden.

Die visuelle und räumliche Teilkomponente des vAG, kann jeweils dem ventralen und dorsalen Pfad der visuellen Informationsverarbeitung zugeordnet werden.

Visuelles System

Das visuelle System ist somit für die visuelle Verarbeitung der Objektidentität ver-

antwortlich und repräsentiert die wahrgenommenen Objektinformationen, wie z.B. Form, Farbe und Gestalt (Goodale & Milner, 1992). Innerhalb des ventralen Systems reagieren bestimmte Hirnareale modalitätsspezifisch auf wahrgenommene visuelle Merkmale, wie z.B. Farben oder Formen. Die unterschiedlichen Strukturen werden dann aktiv, wenn der spezifische Informationstyp zum Lösen von AG-Aufgaben benötigt wird (Zimmer, 2008). Eine typische visuelle Aufgabe, um speziell das visuelle AG zu beanspruchen, ist der *visual-pattern* Test, bei dem das Merken eines Musters ausgefüllter Zellen in einer Matrix notwendig ist (Della Sala, Gray, Baddeley, Allamano & Wilson, 1999).

Multimodales räumliches System

Der räumlichen Teilkomponente kann der dorsale Pfad, der für die Verarbeitung von räumlichen Informationen relevant ist, zugeordnet werden. Räumliche Repräsentationen umfassen Rauminformationen, wie z.B. räumliche Orte (Koordinaten), welche die räumliche Umgebung repräsentieren. Da im dorsalen Pfad während visuell- und auditiv-räumlichen Stimuli Aktivität gezeigt werden konnte, wird von einem supramodalen räumlichen AG und weniger von einer visuell-räumlichen Komponente ausgegangen (Lehnert & Zimmer, 2008). Dieses multimodal-räumliche System repräsentiert spezifische, räumliche Positionen, die eine Abbildung der Umgebung darstellen (Zimmer, 2008). Eine klassische räumliche Aufgabe, die das räumliche AG beansprucht, ist der Corsi-Test (s. Abschnitt 1.4).

Aufmerksamkeit

Awh, Jonides und Reuter-Lorenz (1998) konnten zeigen, dass zur erfolgreichen Lösung von räumlichen AG-Aufgaben die räumliche Aufmerksamkeit beteiligt ist, und somit einen entscheidenden Aspekt des räumlichen AG darstellt. Es wird vermutet, dass mithilfe von verdeckter Aufmerksamkeitsverschiebung die räumliche Information im Corsi-Test eingepägt wird (Smyth & Scholey, 1994). Wird die räumliche Aufmerksamkeit während der Beibehaltungsphase (*Retention*), z.B. durch eine visuelle Aufgabe, von dem Zielort abgelenkt, so wird die Leistung des räumlichen AG stark beeinträchtigt (Awh et al., 1998). Ein, auf der Aufmerksamkeit basierender, räumlicher *rehearsal*-Prozess, scheint zum (sequenziellen) vAG beizutragen. Dieser Prozess wird durch Parallelaufgaben wie dem „*spatial tapping*“ unterbrochen, welche die räumliche Komponente unterdrücken sollen (Zimmer, Speiser & Seidler, 2003). Interferenz-Effekte durch dynamische Informationen lassen sich somit mit einer Ablenkung der Aufmerksamkeit erklären. Bewegte Objekte erregen die räumliche Aufmerksamkeit. Um diesen folgen zu können, wird die Aufmerksamkeit kontinuierlich umgelenkt. Dies erschwert das räumliche *rehearsal* und führt somit zu einer verringerten Gedächtnisleistung.

Zudem gibt es Hinweise darauf, dass räumliche (positionsbezogene) und dynamische Informationen unterschiedlich im AG verarbeitet werden (Zimmer, 2008).

Zeitliche Information

Jones, Madden und Miles (1992) beobachteten einen relevanten Einfluss von zeitlicher Information auf das AG. Der Interferenz-Effekt von parallel präsentierten, irrelevanten Informationen war sehr viel geringer, wenn diese keine sequenzielle (zeitliche) Komponente aufwiesen (Jones, Farrand, Stuart & Morris, 1995). Daraus folgte die Vermutung, dass zeitliche und räumliche Informationen gemeinsam enkodiert werden (F. B. Parmentier, Maybery & Jones, 2004) und dass zeitliches Gruppieren den Pfad im Corsi-Test strukturieren kann (F. B. R. Parmentier, Andrés, Elford & Jones, 2006). Somit spielen neben der räumlichen auch die zeitlichen Informationen eine wichtige Rolle im Corsi-Test, die bei der Auswertung der Testergebnisse berücksichtigt werden müssen.

Bindung von Objekt und Position

Neben dem getrennt betrachteten, visuellen und räumlichen AG existiert noch ein dritter Prozess, der Objekte an Orte bindet. Somit kann zwischen den folgenden drei Gedächtnisprozessen unterschieden werden. Das Gedächtnis von objektbezogenen (visuellen) Informationen (*object memory*), das räumliche Gedächtnis (*spatial memory*) und dem Verbinden vom Objekt mit seiner Position (*memory for object to location assignment*) (Postma & De Haan, 1996). Aus der Sichtweise der beiden Autoren ist das vAG für Objekte, gebunden an eine Position, weder visuell noch räumlich, sondern eine Verbindung beider Informationen, repräsentiert durch *object files*¹. Bezogen auf das Multikomponentenmodell von Baddeley (2000) sollten die Informationen von Objekten, verbunden mit ihrer räumlichen Position, im *episodic buffer* gehalten werden. Die Vermutung wird durch die Beobachtung gestützt, dass weder visuelle noch räumliche Parallelaufgaben die räumliche Gedächtnisleistung beeinflussten. Zudem konnte gezeigt werden, dass Faktoren, die für das LZG relevant sind, das Gedächtnis beeinflussen.

In Bezug auf die Bindung von Objekten und ihren Positionen lässt sich eine weitere Unterscheidung treffen. Ort und visuelles Erscheinungsbild eines Objekts können getrennt werden und abhängig von der Aufgabe unterschiedliche Rollen einnehmen. Die Position eines Objekts im Raum kann ein charakteristisches Merkmal sein, wodurch sich ein Objekt unter einer Anzahl identischer Objekte unterscheiden lässt. Der Corsi-Test ist so ein Aufgabentyp, da die identisch wahrgenommenen Objekte bestimmte Positionen markieren. Die Position wird hier als individuelles Merkmal

¹ *Object files* repräsentieren in einem Objekt gebundene Informationen (Form, Farbe, Ort etc.).

gespeichert. Dagegen ist die Position eines Objekts, welches sich von den Anderen optisch unterscheidet, ein zusätzliches Merkmal und dadurch mit den weiteren Merkmalen des Objekts gebunden. Hierbei wird das *object file* gemerkt.

Eine weitere Art der Informationsverarbeitung des vAG ist, dass die Positionen einzelner Objekte als eine „globale Form“ repräsentiert werden und sich – ähnlich eines geometrischen Objekts – als eine Figur gemerkt werden kann (s. Abschnitt 1.4.1). Das erfolgt unabhängig davon, ob die Form verbal bezeichnet (z.B. L-förmig) werden kann oder nicht (willkürliche Form) (Zimmer & Lehnert, 2006).

Eine strikte strukturelle und funktionelle Trennung zwischen den Teilkomponenten des vAG ist nicht immer möglich, da das visuelle AG teilweise räumliche Informationen mit einbezieht und umgekehrt. Welche Merkmale für die Einordnung in die visuelle oder räumliche Subkomponente entscheidend sind und wie die Komponenten miteinander interagieren, bleibt im Rahmen des Multikomponenten-Modell unklar (Zimmer, 2008).

1.4. Corsi-Block-Tapping-Test

Der Corsi-Test, auch Block-Tapping-Test oder Blockspanne genannt, ist eines der gängigsten Testverfahren, um das räumliche AG zu messen. Unter anderem findet der Corsi Test häufige Anwendung in der klinischen Neurophysiologie und dient der Diagnostik einiger neurologischer Krankheitsbilder (Baddeley, 2003).

Der originale Corsi-Test wurde von Corsi (1972) eingeführt und besteht aus neun identischen Holzblöcken, die unregelmäßig auf einem Holzbrett platziert werden (Abbildung 1.3 (a)). Der Versuchsleiter zeigt auf eine bestimmte Reihenfolge von Blöcken, die sich die Testperson einprägen muss (*Encoding*). Darauf folgt ein kurzes Intervall (*Retention*), in dem die gezeigte Sequenz gespeichert werden soll und somit der Anspruch an das AG erhöht wird. Im Anschluss muss die Sequenz reproduziert werden, indem die Testperson die Blöcke in der richtigen Reihenfolge und Position mit dem Zeigefinger antippt (*Recall*). Die Anzahl an Blöcken (Sequenzlänge) wird solange erhöht, bis die Sequenz nicht mehr korrekt wiedergegeben werden kann. Die höchste Anzahl an Items, die in korrekter Reihenfolge wiedergegeben werden kann, bildet die gemessene Merkspanne, auch Corsi-Spanne genannt.

Abhängig der kognitiven Ansprüche, wird jeder Durchgang des Corsi-Tests in drei Phasen unterteilt. Während die Sequenz präsentiert wird, muss die Sequenz von der Testperson enkodiert werden (*Encoding-Phase*). Während der *Retention-Phase* muss die zeitliche und räumliche Information gespeichert werden und in der *Recall-Phase*

muss die korrekte Sequenz reproduziert werden. Mit der Zeit wird die ursprüngliche Form der Item-Präsentation immer öfter durch computerbasierte Verfahren ersetzt. Dabei wird eine Anzahl an Items (häufig Quadrate) auf einem Bildschirm präsentiert (Abbildung 1.3 (b)). Die relevanten Positionen werden über das Programm markiert, wodurch die beeinflussende motorische Komponente des Versuchsleiters wegfällt. Der *Recall* erfolgt mit dem Mauszeiger. Mit der neuen Methode steht die Reproduzierbarkeit des Corsi-Tests im Fokus. Da bisher kein standardisiertes Versuchsdesign definiert wurde, existiert zwischen den Studien eine hohe Variabilität der Aufgabe, bezogen auf das Layout (Aussehen und Anordnung der Blöcke), der Durchführung (z.B. Länge und Reihenfolge der Sequenzen, Präsentationsrate) und der Auswertung (verschiedene Bewertungstechniken) (Berch, Krikorian & Huha, 1998). Problematisch dabei ist, dass auch kleine Veränderungen, wie eine längere Präsentationsdauer der Blöcke, den Schwierigkeitsgrad des Tests beeinflussen und somit der Vergleich zwischen den Studienergebnissen erschwert wird (Weicker, Hudl & Thöne-Otto, 2017). Der Corsi-Test unterscheidet sich in einem bestimmten Punkt entscheidend von den anderen räumlichen Gedächtnisaufgaben, wie z.B. dem *visual-pattern-Test*, bei denen die Informationen gleichzeitig dargeboten werden. Da die einzelnen Items nacheinander präsentiert werden, ist neben dem Behalten ihrer räumlichen Position, eine sequenzielle Verarbeitung der Reize notwendig. Das heißt, es existiert mit dem Merken einer Reihenfolge eine zusätzliche Anforderung an das Gedächtnis.

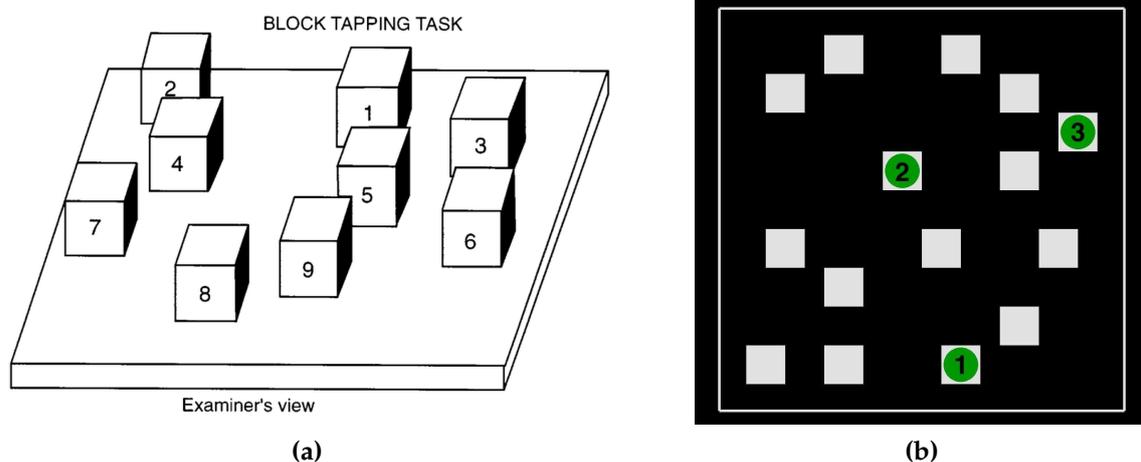


Abbildung 1.3.: Gezeigt ist (a) die Schematische Darstellung des originalen Corsi Block Tapping-Tests (Milner, 1971). In (b) ist eine Bildschirmaufnahme der computerisierten Form des Corsi-Tests zu sehen. Die Markierungen sind entsprechend ihrer präsentierten Reihenfolge mit den Zahlen 1, 2 und 3 gekennzeichnet.

1.4.1. Ressourcen und Strategien

Ressourcen

Vandierendonck, Kemps, Fastame und Szmalec (2004) fanden heraus, dass die Performance im Corsi-Test am stärksten durch paralleles Ausführen einer räumlichen AG-Aufgabe (z.B. *matrix tapping*) beeinflusst wird. Eine AG-Aufgabe, welche die zentrale Exekutive beansprucht, führte ebenso zu Interferenz-Effekten und einer reduzierten Merkspanne. Auch die parallele Durchführung einer verbalen AG-Aufgabe (z.B. *articulatory suppression*) zeigte einen geringen Einfluss auf die Merkspanne für längere Sequenzen.

Die Ergebnisse der Studie führten zum Entschluss, dass das Merken einer Sequenz im Corsi-Test hauptsächlich durch das räumliche System kodiert wird. Bei einer höheren Anforderung, wie einer größeren Itemzahl pro Sequenz (Sequenzlänge) oder das Abrufen der Sequenz in umgekehrter Reihenfolge, können zusätzliche exekutive und verbale Ressourcen einbezogen werden, die das Lösen der Corsi-Aufgabe unterstützen.

Strategien

Eine Untersuchung mit variiertem Darbietung des Corsi-Tests zeigte, dass sich Testpersonen weniger die Positionen der Items einer Sequenz in geordneter Reihenfolge einprägen. Es werden eher die einzelnen Positionen als Verbindung oder Pfad durch verdeckte Aufmerksamkeitsverschiebung (s. Abschnitt 1.3) erfasst. Das kann beispielsweise dazu führen, dass eine anspruchsvollere, längere Sequenz einen geringeren Einfluss auf die Leistung hat, da sie mit der, durch die Verbindungen erzeugten Gesamtgestalt interagiert und somit einfacher zu merken ist. Generell wurde untersucht, dass Sequenzen mit räumlich näher beieinander liegenden Items oder Sequenzen, die eine Struktur erkennen lassen, die Performance erhöhen. Das Gruppieren einzelner Positionen ist bei sequenzieller Präsentation der Items schwieriger als bei simultaner Präsentation (Woods, Wyma, Herron & William, 2015). Das heißt, die räumliche Komponente (Position der Items im Raum) wird von zusätzlichen nicht-räumlichen Merkmalen (Gestaltbildung) beeinflusst (Weicker et al., 2017).

1.5. Ziel der Arbeit

1.5.1. Vorarbeit

Die folgenden Experimente dieser Arbeit basieren auf einem, im Rahmen einer Masterarbeit entwickeltem Programm (Schäfer, 2020). In dieser wurde eine computerisierte Form des Corsi-Tests, sowie zwei modifizierte Bedingungen der Corsi-Aufgabe entwickelt und getestet. Das Ziel der Vorarbeit war, den Einfluss zeitlicher und räumlicher Eigenschaften von Informationen auf das AG zu untersuchen, sowie die Art der Verarbeitung der verschiedenen Modalitäten. Um dies zu testen, sollten die räumliche und zeitliche Komponente beim kurzzeitigen Lernen einer Sequenz getrennt und ihre jeweiligen Anforderungen an das Gedächtnis untersucht werden. Somit wurde neben der, zum klassischen Corsi-Test äquivalenten, räumlich-zeitlichen Bedingung, eine räumliche Bedingung und eine zeitliche Bedingung getestet. In den modifizierten Bedingungen sollte jeweils nur die räumliche bzw. zeitliche Information einer Sequenz verarbeitet und abgefragt werden. Eine nähere Beschreibung der Bedingungen erfolgt in Abschnitt 2.3.

Problemstellung

Die Problematik im Experiment der Vorarbeit lag in der Methodik. In allen drei Bedingungen wurden die Sequenzen in gleicher Form präsentiert. Diese entsprachen den Sequenzen, die im klassischen Corsi-Test enkodiert werden müssen. Den Versuchsteilnehmern wurde vor Beginn des Experiments erklärt, welche Informationen sie sich in den modifizierten Bedingungen merken mussten. In der zeitlichen Bedingung sollten sie sich nur die Reihenfolge merken, in der die Felder markiert werden. Dagegen sollte sie sich in der räumlichen Bedingung nur die markierten Positionen merken, unabhängig ihrer Reihenfolge. Dieser Informationsgehalt war auch in der Wiedergabe (*Recall*) erforderlich. Die Versuchsteilnehmer sollten somit je nach Aufgabenstellung nur die relevanten Informationen (Reihenfolge, Position oder beides) aus der präsentierten Sequenz filtern und wiedergeben. Die Ergebnisse des „Modality Experiment“ (Schäfer, 2020) spiegelten die Problematik dahingegen wieder, dass der erwartete Effekt zwischen den Bedingungen nicht deutlich gezeigt werden konnte und eine große Streuung in den Ergebnissen bestand.

1.5.2. Fragestellungen

In dieser Arbeit soll das Experiment mit einer angepassten Methodik wiederholt werden. Die angepassten Bedingungen werden in Abschnitt 2.3 beschrieben.

Basierend auf den Ergebnissen der Vorarbeit nehmen wir an, dass die Merkspanne in der räumlich-zeitliche Bedingung am geringsten sein wird. Da sich die VP die räumliche und zeitliche Information einer Sequenz merken müssen, ist die Belastung des AG am höchsten. In den modifizierten Bedingungen wird eine höhere Merkspanne erwartet, da nur ein Teil der Informationen gemerkt werden muss und somit die Belastung des AG geringer sein sollte. Zwischen den zwei Bedingungen wird eine höhere Merkspanne in der räumlichen Bedingung erwartet, da hilfreiche Strategien, wie z.B. die Gruppierung von Feldern, besser herangezogen werden können (s. Abschnitt 1.4.1).

Neben dem Vergleich der Methodiken sollen die Leistungen zweier Altersgruppen verglichen werden. Da die Leistung im Corsi-Test, analog zur Kapazität des AG, mit zunehmendem Alter abnimmt (Woods et al., 2015), wird eine geringere Merkspanne der VP der älteren Altersgruppe im Vergleich zur jüngeren Altersgruppe erwartet. Daneben soll getestet werden, wie sich die Leistung innerhalb der Bedingungen unterscheidet.

Als letztes soll untersucht werden, ob ein Lernprozess in den jeweiligen Bedingungen nach mehrmaliger Durchführung des Experiments zu beobachten ist. Da ein Trainings-Effekt in bereits durchgeführten AG-Aufgaben beobachtet werden konnte (Abschnitt 1.1.1), wird eine Steigerung der Performance mit häufigerer Durchführung des Experiments erwartet. Auch hier soll untersucht werden, wie und ob die Leistung innerhalb der Bedingungen variiert.

2. Material und Methoden

2.1. Versuchspersonen

Insgesamt nahmen acht Versuchspersonen (Abk. VP) an allen drei Bedingungen des Experiments teil, wovon drei männlich und fünf weiblich waren. Die VP wurden in zwei Altersgruppen aufgeteilt. Das Alter der jungen Gruppe ($n = 6$) lag zwischen 20 und 27 Jahren ($\bar{x} = 23,5$, $SD = 2,32$). Fünf davon sind Studenten verschiedener Universitäten sowie eine Schülerin. Das Alter der älteren Gruppe ($n = 2$) lag bei 49 und 51 Jahren ($\bar{x} = 50$, $SD = 1,41$), wovon beide berufstätig sind. Aufgrund der bestehenden Corona-Pandemie konnte nur eine geringe Anzahl an VP des engeren Umfelds ausgewählt werden. Die Teilnehmer waren normalsichtig oder trugen eine entsprechend korrigierende Sehhilfe. Alle VP waren naiv in Bezug auf die theoretischen Hintergründe und das Ziel des Experiments. Die Teilnahme war freiwillig und ohne Vergütung. Sie konnte zu jedem Zeitpunkt und ohne negative Folgen für den Teilnehmer abgebrochen werden. Während des gesamten Versuchablaufs wurden die Corona-Kontaktverordnungen, Abstandseinhaltung und Hygienemaßnahmen eingehalten.

2.2. Apparatur

Das Experiment wurde auf einem 24-Zoll-Monitor mit einer Höhe von 29,9 cm und einer Breite von 53,1 cm sowie einer Full-HD-Auflösung von 1920 x 1080 Pixel, durchgeführt. Jede VP wurde so vor den Monitor gesetzt, dass ihre Augen auf Höhe der Bildschirmmitte lagen und zwischen Gesicht und Monitor ein Abstand von ca. 70 cm bestand. Die Implementierung und Visualisierung des, dieser Arbeit zugrundeliegenden Experiments, erfolgte über Matlab R2018b (MATLAB R2018b, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States) mit der Psychtoolbox-3 Erweiterung. Das Skript, sowie die Abänderungen für das Experiment dieser Arbeit wurden von der Vorarbeit weitgehend übernommen (Schäfer, 2020). Die Ausführung, Datenerhebung und Auswertung des Experiments erfolgte über Matlab

R2020a (MATLAB R2020a, The Math- Works, Inc., Natick, Massachusetts, United States).

2.3. Bedingungen

Das Experiment basiert auf dem klassischen Corsi-Test. Als Kontrollbedingung wird die computerisierte Form des klassischen Corsi-Tests, als eine der drei Bedingungen, getestet. Zudem gibt es zwei abgeänderte Versionen des Tests, die sich in der Präsentation der Sequenz, wie auch der Wiedergabe der gemerkten Informationen (Reihenfolge und/oder Position der Items) unterscheiden.

Die charakterisierende räumliche und zeitliche Komponente des Corsi-Tests soll in den zwei modifizierten Bedingungen getrennt voneinander getestet werden, woraus die drei unten beschriebenen Bedingungen folgen.

In der **räumlich-zeitlichen Bedingung** (Abk. RZ-Bedingung) sollten die VP die computerisierte Form des klassischen Corsi-Tests durchführen. Dabei musste die, in der *Encoding*-Phase präsentierte Sequenz, identisch in Reihenfolge und Position der Markierungen wiedergegeben werde. Zwischen *Encoding* und *Recall* liegt eine *Retention*-Phase von sechs Sekunden.

Die RZ-Bedingung ist identisch zu der *Spatiotemoral Condition* der Vorarbeit (Schäfer, 2020).

In der **zeitlichen Bedingung** (Abk. Z-Bedingung) sind alle relevanten Quadrate, die zu der präsentierten Sequenz gehören, mit Beginn der *Encoding*-Phase deutlich markiert. Das heißt, dass jede der Positionsmarkierungen in einer bestimmten Reihenfolge optisch hervorgehoben wird. Die restlichen Quadrate bleiben weiß (s. Abbildung 2.1 (a)). Die Positionsmarkierungen bleiben in der *Retention*- und *Recall*-Phase sichtbar. In der *Recall*-Phase sollten die VP die bereits markierten Positionen in der korrekten zeitlichen Reihenfolge wiedergeben. Dadurch, dass die räumlichen Positionen markiert sind, soll die räumliche Information aus der Sequenz entfernt und nur die zeitlichen Informationen der präsentierten Sequenz enkodiert werden.

Im Gegensatz zur Vorarbeit, in der die Positionen erst in der *Retention*-Phase markiert wurden (Schäfer, 2020), tauchen hier die Markierungen mit Beginn der *Encoding*-Phase auf. Dadurch sollte verhindert werden, dass schon während des Enkodierens Informationen unbewusst eingepreßt werden, die nicht für die Wiedergabe nötig bzw. gefragt sind.

In der **räumlichen Bedingung** (Abk. R-Bedingung) werden in der *Encoding*-Phase alle zu merkenden Quadrate gleichzeitig hervorgehoben (s. Abbildung 2.1 (b)). In der *Recall*-Phase sollen die gemerkten Quadrate in beliebiger Reihenfolge wiedergegeben werden. Die zeitliche Reihenfolge spielt weder im Enkodieren noch in der Wiedergabe eine Rolle.

In der Vorarbeit wurde auch in der R-Bedingung eine Sequenz, gleich der Sequenz in der RZ- und Z-Bedingung, präsentiert, wobei nur die räumliche Information gemerkt werden musste (Schäfer, 2020). Mit der simultanen Präsentation der Markierungen wird die zeitliche Information während dem Enkodieren nun vollständig entfernt.

Die modifizierten Bedingungen sind so konzipiert, dass in der R-Bedingung nur das räumliche AG und in der Z-Bedingung nur die Ressourcen, die für das Verarbeiten zeitlicher Informationen benötigt werden, beansprucht werden sollen. Die RZ-Bedingung als Äquivalent zum klassischen Corsi-Test dient als Kontrollbedingung, die sowohl die zeitliche also auch die räumliche Komponente des AG beansprucht (s. Abschnitt 1.4).



Abbildung 2.1.: Gezeigt ist die Bildschirmausgabe während der *Encoding*-Phase der (a) Z- und (b) R-Bedingung für die SL von 3.

2.4. Stimulus

Muster

Das Muster, welches während der *Encoding*-, *Retention*- und *Recall*-Phase durchgehend sichtbar ist, besteht aus 15 Quadraten mit einer Größe von 90x90 Pixel. Es ist auf eine quadratischen Fläche von insgesamt 934x934 Pixel beschränkt und wird von vier Balken mit jeweils einer Breite von sechs Pixel umrahmt (s. Abbildung 2.1). Die Anzahl an Quadraten wurde so gewählt, damit das Verhältnis von zu merkenden Quadraten

(engl. *target*) und Distraktoren ausgeglichen ist (Schäfer, 2020). Die Positionen der Quadrate sind randomisiert gewählt, jedoch mit der Bedingung, dass zwischen den äußeren Rändern der Quadrate in jede Richtung ein Abstand von mindestens 20 Pixel besteht. Insgesamt gibt es vier Muster, wobei diese so erstellt wurden, dass eine Musteranordnung jeweils an der horizontalen, vertikalen und an beiden Achsen gespiegelt wurde (Abbildung A.1). Alle vier Muster alternieren in jedem Durchgang des Experiments (engl. *trial*). Jeder VP wurde nach dem *latin-square-Design* eine Reihenfolge der Muster zugeteilt. Diese Musterabfolge wiederholte sich dann für jede Sequenzlänge² (Abk. SL). Die SL entspricht der Anzahl an Quadraten der präsentierten Sequenz.

Sequenzen

Die Sequenzen wurden pseudorandomisiert gewählt, mit der Bedingung, dass keine Teilsequenz von drei oder mehr aufeinanderfolgenden Markierungen in mehreren Sequenzen auftauchen. Pro Sequenz wurde kein Quadrat öfter als ein Mal markiert. Die Gesamtlängen der Sequenzen, also die Distanz zwischen den einzelnen Feldern aufaddiert, wurden so gewählt, dass sie innerhalb einer SL homogen sind.

Zudem hatte eine Sequenz mit einer Anzahl von n *targets* eine längere Gesamtlänge als jede Sequenz mit $n+1$ *targets* und eine kürzere Gesamtlänge als jede Sequenz mit $n-1$ *targets* (Schäfer, 2020).

2.5. Versuchsdurchführung

Die drei Bedingungen des Experiments wurden in einem *within-subject Design* getestet, das heißt, jede VP wurde für alle Bedingungen getestet. Die Reihenfolge der getesteten Bedingungen wurden basierend auf dem *latin-square-Design* einer VP zugeordnet. Auch die Reihenfolge der vier Muster wurde nach demselben Prinzip über alle VP balanciert. Innerhalb einer VP blieb die zugeordnete Reihenfolge für alle folgenden SL gleich.

Vor Beginn des Experiments wurde den VP sowohl in schriftlicher (s. Abbildung A.4) als auch mündlicher Form der experimentelle Ablauf erklärt und alle Fragen bezüglich der Durchführung geklärt. Es wurde sichergestellt, dass den VP der generelle Ablauf des Corsi-Tests sowie der modifizierten Bedingungen klar waren.

Das Experiment begann bei einer SL von 3. Diese SL wurde für jede der drei Bedingungen jeweils vier Mal getestet, das heißt jeder Durchlauf (*trial*) bestand aus vier *subtrials*.

² Somit bleiben die vier *subtrials* pro SL im Schweregrad vergleichbar.

Pro SL musste jede VP somit zwölf *subtrials* durchführen. Danach erhöhte sich die SL um eins. Ab einer SL von 6 und aufsteigend waren die Bedingungen adaptiv. Die VP mussten mindestens eines der vier *subtrials* einer Bedingung erfolgreich durchführen, damit diese Bedingung für die nächsthöhere SL getestet wurde. Sollte eine VP in allen vier *subtrials* einer Bedingung scheitern, wurden die übrigen Bedingungen solange getestet, bis diese erfolgreich durchgeführt werden konnten. Es konnte maximal eine SL von 10 erreicht werden. Eine Bedingung endete somit entweder nachdem eine VP in vier *subtrials* einer SL scheiterte oder wenn die maximale SL von 10 erreicht wurde.

Ablauf der trials

Jeder VP wurde zu Beginn des Experiments eine ID zugeteilt, wodurch die Reihenfolge der Bedingungen bzw. der Muster festgelegt wurde. Vor jedem neuen *trial* wurde der VP Informationen über die momentane Bedingung und SL sowie die Anzahl bisher durchgeführten *trials* auf dem Bildschirm ausgegeben. Nach drei Sekunden konnte die VP durch das Drücken der Leertaste den *trial* starten. Darauf folgend wurde das Muster aus 15 weißen Quadraten, umrahmt von einem weißen Rahmen, auf schwarzem Hintergrund gezeigt. Nach 500 ms wurde in der RZ- und Z-Bedingung das erste Quadrat der Sequenz mit einem Kreis in hellgrüner Farbe für 1000 ms hervorgehoben. Mit einer Verzögerung von 500 ms wurde das zweite Quadrat für 1000 ms markiert, bis das letzte Quadrat der jeweiligen Sequenz markiert wurde. Zusätzliche dazu wurden in der Z-Bedingung mit Erscheinen des Musters auch die schwarzen Positionsmarkierungen gezeigt, welche nacheinander mit einer Verzögerung von 500 ms für jeweils 1000 ms hellgrün markiert wurden (s. Abbildung 2.2 (a)). In der R-Bedingung wurden dagegen alle relevanten Quadrate einer Sequenz (mit $SL = n$) gleichzeitig für n -Sekunden hellgrün markiert (s. Abbildung 2.2 (b)).

Direkt nachdem das letzte Quadrat einer Sequenz markiert wurde, bzw. die Präsentationszeit beendet war, begann die *Retention*-Phase. In dieser Phase blieb das Muster sichtbar, jedoch färbten sich die weißen Quadrate für sechs Sekunden grau. In dieser Zeit sollten sich die VP die Sequenz der markierten Kreise im Gedächtnis merken. In der Z-Bedingung blieben die schwarzen Positionsmarkierungen bestehen (s. Abbildung 2.2 (a)).

Die *Recall*-Phase begann, sobald die Quadrate wieder weiß wurden und der initiale Mauszeiger (Fadenkreuz) zentral in der Bildschirmmitte erschien (s. Abbildung 2.2). Ab dann konnten die VP durch Anklicken der Quadrate mit dem Mauszeiger die gemerkte Sequenz wiedergeben. Ein geklicktes Quadrat wurde für 400 ms hellgrün hervorgehoben. Für diese Zeit wurde der *Recall* blockiert, was durch einen unsichtbaren Mauszeiger gekennzeichnet wurde. Dennoch war es theoretisch möglich, den

Mauszeiger zu bewegen. Je nach Bedingung unterschieden sich die Anforderungen in der *Recall*-Phase. In der RZ-Bedingung mussten Position und Reihenfolge der präsentierten Sequenz wiedergegeben werden. In der Z-Bedingung mussten die VP durch Anklicken der Positionsmarkierungen nur die zeitliche Reihenfolge wiedergeben. In der R-Bedingung sollten die VP die Positionen der simultan präsentierten Markierungen in beliebiger Reihenfolge wiedergeben.

Jedes der Quadrate hatte eine Klick-Toleranz von 5 Pixel, welche auf seine äußersten Randpunkte addiert wurden. Ein Klick in diesem Bereich wurde als Klick auf das jeweilige Quadrat erfasst und gewertet. Wenn ein Klick keines der Quadrate getroffen hatte, leuchteten alle Quadrate für 400 ms rot auf.

Inkorrekte Klicks oder mehrfaches Anklicken des gleichen Quadrates führten weder zu einem Fehlersignal, noch wurde der Klick aus den Daten ausgeschlossen. Mit anderen Worten: Jeder Klick auf den Bildschirm wurde als eine Antwort gewertet.

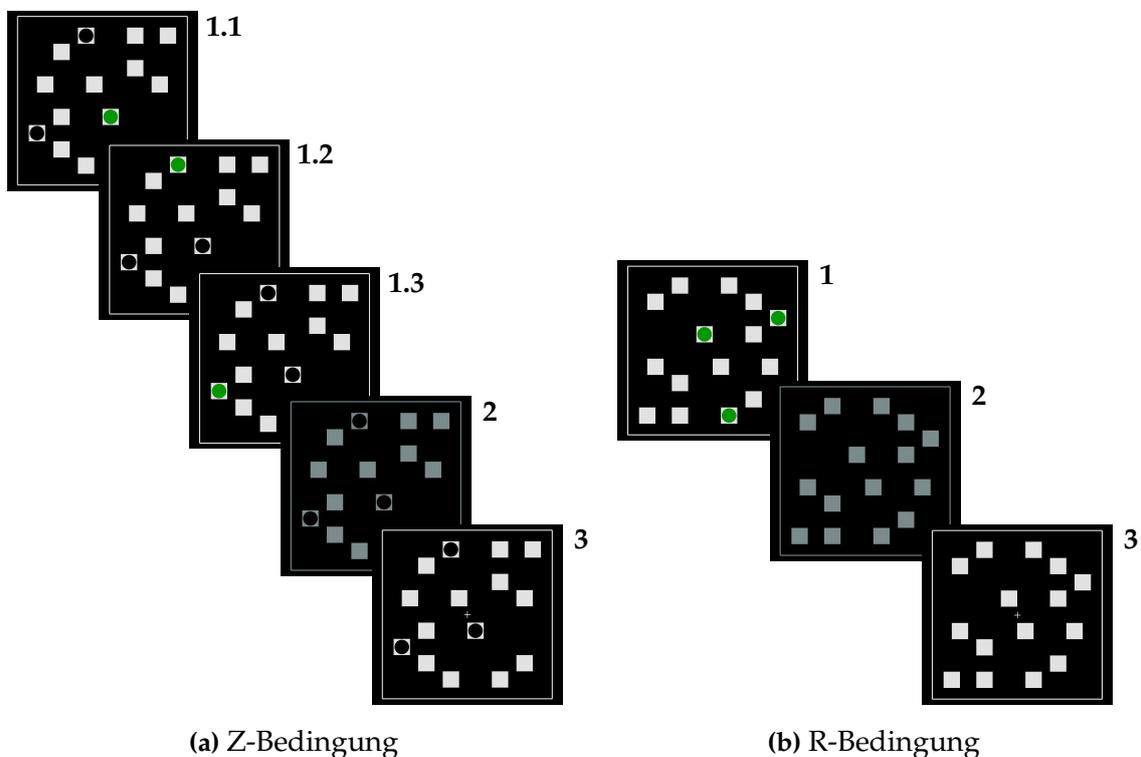


Abbildung 2.2.: Zu sehen sind die Bildschirm Ausgaben der (a) Z-Bedingung und der (b) R-Bedingung während der *Encoding*-, *Retention*- und *Recall*-Phase. Alle zur *Encoding*-Phase gehörigen Screenshots sind mit einer 1 gekennzeichnet, die *Retention*-Phase mit einer 2 und die *Recall*-Phase mit dem zentralen, initialen Mauszeiger mit einer 3. Der Versuchablauf wird hier exemplarisch an einer SL von 3 gezeigt.

2.6. Analyse

2.6.1. Abhängige Variablen

Corsi-Spanne

Um die individuelle Kapazität des AG quantifizieren und mit anderen vergleichen zu können, wurde basierend auf der klassischen Corsi-Spanne eine gewichtete Corsi-Spanne berechnet. Die gewichtete Spanne wird für jede VP und jeweils jede Bedingung berechnet. Die Spannen über alle SL berechnen sich über die kurzen SL von 4 bis 6, da in den SL alle VP am Experiment teilgenommen haben (s. adaptive Bedingungen in Abschnitt 2.5).

Im Gegensatz zur klassischen Corsi-Spanne wird eine größere Gewichtung der höheren SL miteinbezogen. Die gewichtete Spanne stellt somit ein plausibleres Maß dar, da mit steigender SL die Anforderung an das AG erhöht wird. Die Gewichtung nimmt linear mit der SL zu, wodurch eine gute Performance in höheren SL stärker gewichtet wird. Grundsätzlich wird ein *trial* als korrekt bezeichnet, wenn alle Quadrate, abhängig von den Anforderungen der jeweiligen Bedingung, korrekt wiedergegeben wurden. Jeder korrekte *trial* wird mit einer eins und jeder inkorrekte *trial* mit einer null gewichtet. Die gewichtete Corsi-Spanne wird so berechnet, dass alle korrekten *trials* einer SL addiert und mit dem Wert der jeweiligen SL multipliziert werden. Das Produkt wird durch die Anzahl an *trials* pro SL geteilt. Da jeder *trial* aus vier *subtrials* besteht, wird hier immer durch vier geteilt (s. (2.1)). Zuletzt wird ein konstanter Wert $C = 3$ addiert, da angenommen wird, dass die *trials* der Sequenzen mit einer Länge von eins und zwei mit Sicherheit von den VP korrekt gelöst werden können (Hurlstone & Hitch, 2015).

Die gewichtete Corsi-Spanne wird für jede Bedingung getrennt berechnet, das heißt für jede VP werden drei Spannen berechnet.

$$C + \sum_{SL=SL_{min}}^{SL_{max}} SL \cdot \frac{\sum_{i=1}^{Trials_{SL}} CorrectTrials_{SL}}{Trials_{SL}} \quad (2.1)$$

Reaktionszeiten

Die Reaktionszeiten (Abk. RZ) wurden mit Beginn der *Recall*-Phase bis zur Eingabe des letzten Klicks der wiedergegebene Sequenz gemessen. Der Beginn der *Recall*-Phase wurde deutlich durch die weiß werdenden Quadrate nach der *Retention*-Phase

gekennzeichnet. Da zwischen jedem Klick für eine Zeit von 400 ms keine Eingabe möglich war (s. Abschnitt 2.5), wurde diese gesamte Zeitspanne mit $(SL - 1) \cdot 0,4$ Sekunden berechnet und von der totalen RZ subtrahiert. Zuletzt wurde die RZ pro *trial* durch die entsprechende SL geteilt (s. (2.2)), um die Vergleichbarkeit der RZ über die SL zu gewährleisten.

$$RZ = \frac{RZ_{total} - (SL - 1) \cdot 0,4s}{SL} \quad (2.2)$$

2.6.2. Zufallswahrscheinlichkeit

Um die Ergebnisse korrekt beurteilen zu können, muss die Wahrscheinlichkeit berechnet werden, in der eine korrekte Antwort rein aus Zufall angegeben wird. Dabei gilt der klassische Corsi-Test³ als robust dagegen, einen kompletten *trial* alleine durch Raten korrekt zu absolvieren. Die R- und Z-Bedingung sind demgegenüber anfälliger für zufällig korrekte Antworten in Abhängigkeit von der SL (Schäfer, 2020).

Die folgenden Formeln sind an die Bedingungen des Experiments angepasst. Es wird angenommen, dass kein Feld mehrfach geklickt und mit jedem Klick ein Quadrat getroffen wird. Zudem wird in der Z-Bedingung angenommen, dass nur die Felder mit den Positionsmarkierungen geklickt werden. In den Formeln entspricht die 15 der maximalen Anzahl an Quadraten, die theoretisch geklickt werden kann.

Die Wahrscheinlichkeit einen *trial* alleine durch Raten korrekt durchzuführen, berechnet sich wie in den folgenden Formeln. Für jede Bedingung unterscheidet sich die Berechnung wie folgt.

RZ-Bedingung

$$p_{korrekteTrials} = \frac{1}{\frac{15!}{(15-SL)!}} = \frac{(15-SL)!}{15!}$$

³ Die RZ-Bedingung dieses Experiments entspricht dem klassischen Corsi-Test.

Z-Bedingung

$$p_{korrekteTrials} = \frac{1}{SL!}$$

R-Bedingung

$$p_{korrekteTrials} = \frac{1}{\binom{15}{SL}}$$

Zusätzlich wurde die erwartete Anzahl an zufällig korrekten Klicks, als möglicher Störfaktor (engl. *confounder*) für die Klick-basierte Analyse, berechnet. Um den Erwartungswert zu berechnen, wird die Formel $E(X) = n \cdot p$ verwendet. Dabei ist p die Wahrscheinlichkeit, einen korrekten Klick zufällig zu erzielen und n die Häufigkeit, also Anzahl an Klicks, die pro SL durchgeführt werden (hier: $n = SL$).

Um den in Abbildung 2.3 (b) gezeigten prozentualen Anteil zufällig korrekter Klicks relativ der SL zu berechnen, wurden die Werte durch die jeweilige SL geteilt.

RZ-Bedingung

$$EV_{korrekteKlicks} = SL \cdot \frac{1}{15}$$

Z-Bedingung

$$EV_{korrekteKlicks} = SL \cdot \frac{1}{SL}$$

R-Bedingung

$$EV_{korrekteKlicks} = SL \cdot \frac{SL}{15}$$

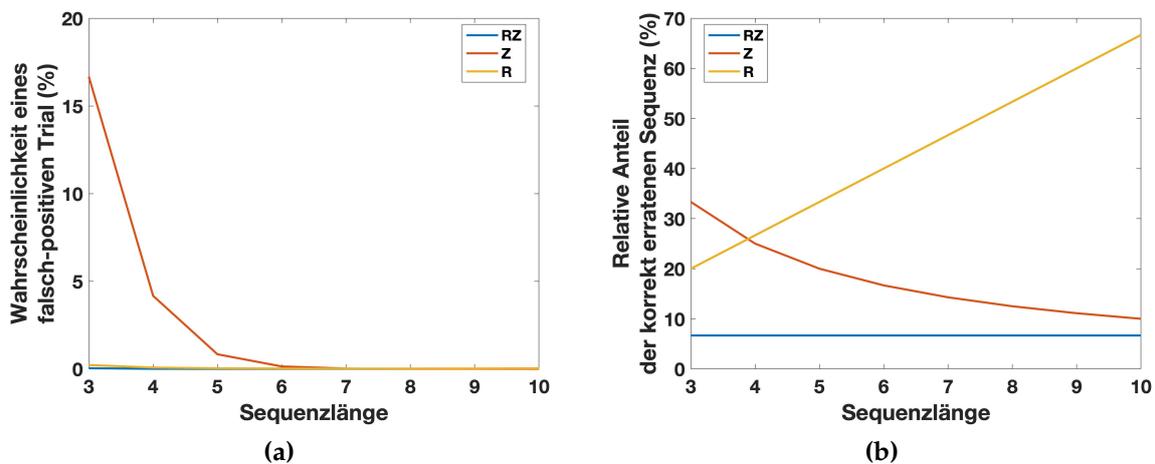


Abbildung 2.3.: Eingezeichnet ist (a) die Zufallswahrscheinlichkeit von einem korrekten *trial* aufgetragen gegen die SL und (b) der relative Anteil von zufällig korrekt erzielten Klicks pro SL (Schäfer, 2020).

2.6.3. Ausschluss von Daten

Die Daten der VP, die bei einer SL von 4 über alle *trials* weniger als ein Drittel der Klicks korrekt wiedergeben konnten, wurden von der Analyse ausgeschlossen. Bei den VP, die in den SL kleiner als 4 schlechter abschneiden, wird an der richtige Motivation bzw. dem Verständnis der Aufgabe gezweifelt (Schäfer, 2020). Keiner der getesteten VP erfüllte dieses Kriterium.

Es wurde angenommen, dass eine VP, die für eine der Bedingungen aus dem Test ausgeschieden ist, die jeweilige Bedingung auch für die nächst höhere SL nicht erfolgreich lösen könnte (s. Abschnitt 2.5). Zudem wurde angenommen, dass vier *subtrials* pro SL und Bedingung ausreichend waren, um sicherzustellen, dass eine VP die benötigte AG-Kapazität zum Lösen der Aufgabe besitzt. Dementsprechend

wurden nicht durchgeführte *trials* in der Analyse als inkorrekt gewertet.

Für die Analyse, die auf den korrekt wiedergegebenen Klicks basieren, wurden die fehlenden Daten der höheren SL nicht berücksichtigt. Für die Berechnung des prozentualen Anteils korrekter Klicks wurde das Verhältnis der korrekten Klicks zu den durchgeführten Klicks betrachtet.

In Tabelle 2.1 sind die maximalen SL aufgelistet, die jede VP in der jeweiligen Bedingung erreicht hat. Die maximalen SL sind äquivalent der klassischen Corsi-Spanne (s. Abschnitt 1.4). Die Daten der älteren Altersgruppen wurden lediglich für die Analyse eines Alterseffektes (s. Abschnitt 3.2) verwendet. Für alle weiteren Analysen wurden nur die Daten der jüngeren Altersgruppe einbezogen, um diese mit den Daten der Vorarbeit vergleichen zu können.

Tabelle 2.1.: Aufgelistet sind die maximalen SL, die eine VP in jeder der drei Bedingung erreicht hat. Die vorletzten beiden Zeilen der VP 7 und 8 zeigen die Leistungen der älteren Altersgruppe ($n = 2$), die durch eine doppelte horizontale Linie von den Leistungen der jüngeren Altersgruppe ($n = 6$) getrennt sind. Die Mittelwerte der beiden Gruppen sind jeweils mit \emptyset gekennzeichnet.

VP	RZ	Z	R
1	8	9	10
2	9	9	10
3	10	10	10
4	7	9	10
5	6	9	10
6	8	8	10
\emptyset	8	9	10
7	8	8	10
8	8	7	9
\emptyset	8	7,5	9,5

2.6.4. Statistische Analyse

Für die folgenden Analysen wurden nichtparametrische Tests gewählt, da aufgrund der kleinen Stichprobengröße keine Verteilungsannahme der Daten getroffen werden konnten.

Um die, mit der neuen Methodik des Experiments gesammelten Daten, mit den Daten der Vorarbeit zu vergleichen (Schäfer, 2020), wurde der Wilcoxon-Rangsummen-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Es wurden insgesamt drei Tests, jeweils einer für den Vergleich der RZ-, Z- und R-Bedingung durchgeführt.

Um die Corsi-Spannen, welche über die kurzen SL und über alle SL errechnet wurden, innerhalb der Bedingungen zu vergleichen, wurde der nichtparametrische Friedman-Test für gepaarte Stichproben mit mehr als zwei Messwiederholungen verwendet. Dieser testet, ob ein Effekt zwischen den Gruppen (hier den drei Bedingungen) existiert, genauer gesagt, ob sich die empirischen Mediane in den Gruppen unterscheiden. Der Friedman-Test gilt als nichtparametrisches Äquivalent zur ANOVA mit wiederholten Messungen, jedoch untersucht dieser keine Interaktionen.

Alle Tests wurden mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ durchgeführt.

Zu beachten ist, dass die Ergebnisse durch die geringe Anzahl an VP eingeschränkt werden und dies eine umfangreiche statistische Analyse erschwert.

Dabei ist anzumerken, dass bei einer größeren Stichprobenanzahl und einer Normalverteilungsannahme der Daten, eine mehrfaktorielle ANOVA mit der SL und den Bedingungen als wiederholte Messungen und den korrekten *trials*, als abhängige Daten durchgeführt werden könnte. Dadurch könnten Interaktionen sowie Unterschiede zwischen den drei Bedingungen getestet werden.

Um die Frage zu beantworten, ob ein Effekt innerhalb der drei Testbedingungen zwischen zwei Altersgruppen existiert, könnte eine zweifaktorielle *mixed-design* ANOVA durchgeführt werden. Aufgrund des sehr kleinen Stichprobenumfangs ($n = 2$) der älteren Altersgruppe wurde hier auf einen statistischen Test verzichtet und mithilfe der deskriptiven Statistik mögliche Trends analysiert (s. Abschnitt 3.3). Aufgrund dessen wurden die älteren VP auch von den restlichen Analysen ausgeschlossen.

Dokumentation

Alle, im Ergebnisteil dokumentierten Werte, werden als Mittelwert und Standardfehler (Abk. $\bar{x} \pm SEM$) angegeben. Eine Ausnahme bilden Fehler, die als Standardabweichung (Abk. *SD*) gekennzeichnet sind. Der Standardfehler wurde gewählt, da es das Ziel ist, die Mittelwerte der Gruppen zu vergleichen und der SEM ein Schätzwert dafür ist, wie genau der Mittelwert tatsächlich erhoben werden konnte.

Die Zufallswahrscheinlichkeiten (s. Abschnitt 2.6.2) sind als horizontale, schwarze Linien in den entsprechenden Säulendiagrammen eingezeichnet.

3. Ergebnisse

3.1. Corsi-Spanne

Um die Leistung des räumlichen AG quantifizieren und zwischen den VP vergleichen zu können, wurden in der folgenden Auswertung die individuellen gewichteten Corsi-Spannen pro Bedingung berechnet (s. Abschnitt 2.6.1).

Für die folgende Analyse wurden nur die VP der jüngeren Altersgruppe ($n = 6$) einbezogen. Da die räumliche und zeitliche Verarbeitung des AG getrennt untersucht werden sollen, wurde die Spanne für jede Bedingung separat berechnet (s. Abbildung 3.1 (a)). Die gewichteten Spannen, die über alle SL berechnet wurden, können theoretisch Werte im Intervall $[3, 55]$ annehmen. In der RZ-Bedingung ist die gewichtete Corsi-Spanne mit einem durchschnittlichen Wert von $25,25 \pm 2,81$ ($\bar{x} \pm SEM$) am geringsten. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem Wert der Vorarbeit ($\bar{x} = 26,21$, $SEM = 4,07$) (Schäfer, 2020), womit von der Replizierbarkeit des Corsi-Test ausgegangen werden kann. Die mittlere, gewichtete Corsi-Spanne liegt in der Z-Bedingung mit einem Wert von $35,5 \pm 2,35$ etwas höher als in der RZ-Bedingung. Am höchsten ist die mittlere Corsi-Spanne in der R-Bedingung mit einem Wert von $51,42 \pm 7,49$.

Um die Ergebnisse aus Abbildung 3.1 (a) mit den Ergebnissen der Vorarbeit (Schäfer, 2020) zu vergleichen, wurde ein Wilcoxon-Rangsummentest für ungepaarte Stichproben durchgeführt. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Corsi-Spannen der RZ-Bedingung festgestellt werden ($W = 108$, $p = .5997$). Dagegen unterschieden sich die Corsi-Spannen der Z-Bedingung ($W = 86$, $p < .01$) sowie der R-Bedingung ($W = 78$, $p < .001$) signifikant voneinander.

In Abbildung 3.1 (b) sind die Corsi-Spannen nur für die kurzen Sequenzlängen (Abk. SL) von 4 bis 6 berechnet worden. Die Spannen für kurze SL können theoretisch Werte im Intervall $[6, 21]$ annehmen. Zu beachten ist, dass in dem Bereich der kurzen SL alle VP erfolgreich am Test teilgenommen haben. Ab einer SL von 7 hat sich die Teilnehmerzahl aufgrund der adaptiven Bedingungen verringert (s. Abbildung A.3). Auffällig ist der deutliche Anstieg der schwarze Kurve in Abbildung 3.1 (a). Dabei

ist derselbe Anstieg der Spannen bei jeder VP zu sehen. Anzumerken ist die große Streuung der Spannen in der RZ-Bedingung, die sich in einem großen Intervall von [18, 36] erstrecken. Dagegen liegen die Spannen in der R-Bedingung stets in einem kleineren Intervall von [47, 55].

In Abbildung 3.1 (b) ist nahezu kein Anstieg der schwarzen Kurve, welche die über alle VP gemittelten Spannen pro Bedingung zeigt, sichtbar. Die Mittelwerte liegen hier näher beieinander (RZ: $19,13 \pm 0,71$, Z: $19,92 \pm 0,63$, R: 21 ± 0). Generell ist der Unterschied zwischen den Corsi-Spannen der einzelnen Bedingungen ab einer SL von 7 sichtbar größer.

Um diesen Effekt zu testen, wurde sowohl für die Spannen der kurzen SL als auch für die Spannen aller SL ein Friedman-Test (s. Abschnitt 2.6.4) durchgeführt. Die mittleren Corsi-Spannen der drei Bedingungen, berechnet aus allen SL, unterscheiden sich signifikant voneinander ($\chi^2(2) = 12, p < .01, n = 6$). Um zu testen welche der Gruppen sich signifikant voneinander unterscheiden, wurde anschließend ein Post-hoc-Test (Dunn-Šidàk-Test) durchgeführt. Dieser zeigt, dass sich lediglich die Corsi-Spannen der RZ- und der R-Bedingung signifikant unterscheiden ($p = .002$). Für die kurzen SL besteht dagegen kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der Corsi-Spannen pro Bedingung ($\chi^2(2) = 4.59, p = .10, n = 6$).

Werden die höheren SL in die Analyse einbezogen, steigt die mittlere Performance, beginnend mit der RZ-Bedingung, gefolgt von der Z- und zuletzt der R-Bedingung, signifikant an. Werden nur die geringen SL betrachtet, ist kein signifikanter Anstieg und somit kein Unterschied zwischen den Mittelwerten vorhanden. Dadurch zeigt sich erst mit steigender SL ein signifikanter Unterschied in der Performance, die jeweils in den drei Bedingungen erreicht werden konnte.

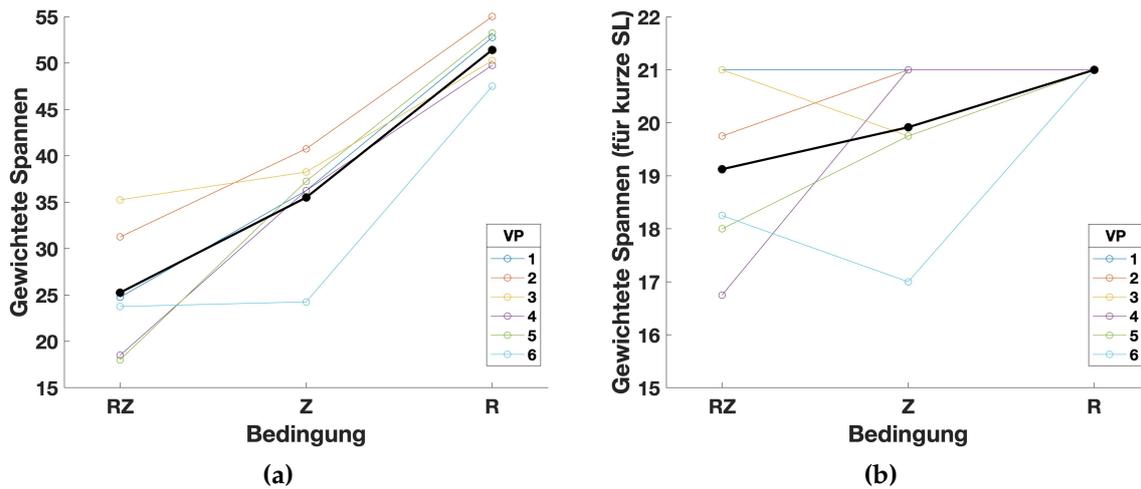


Abbildung 3.1.: Gewichtete Corsi-Spannen. (a) Gewichtete Corsi-Spannen errechnet über alle SL und (b) über die kurzen SL 4 bis 6 aufgetragen für die drei Bedingungen RZ, Z und R. Jede farbige Kurve präsentiert die Spannen einer VP pro Bedingung. Die schwarze Kurve zeigt die über alle VP gemittelte gewichtete Corsi-Spanne pro Bedingung.

In Abbildung 3.2 ist der prozentuale Anteil korrekter *trials* (a) bzw. Klicks (b), gemittelt über alle VP ($n = 6$), gezeigt. Generell ist in allen drei Bedingungen eine Abnahme der prozentual korrekten Angaben mit Zunahme der SL zu sehen.

Abbildung 3.2 (a) zeigt in der RZ-Bedingung einen exponentiellen Abfall der Performance ab einer SL von 5, wobei der prozentuale Anteil von korrekten *trials* bei einer SL von 10 auf $4,17 \pm 4,17\%$ fällt. Ein ähnlich starker Abfall der Performance ist in der Z-Bedingung zu sehen, jedoch bleibt der prozentuale Anteil bis zu der SL von 7 zwischen 90 - 100% und sinkt bei der SL von 10 auf $8,33 \pm 5,76\%$. In der R-Bedingung ist nur ein leichter Abfall zu sehen. Bis zu der SL von 9 bleibt der prozentuale Anteil zwischen 90 - 100%, wobei er bei einer SL von 10 auf ein Minimum von durchschnittlich $79,17 \pm 8,47\%$ fällt. Die Performance in allen SL der R-Bedingung unterschied sich zudem nicht signifikant voneinander (Friedman, $\chi^2(7) = 9.33, p = .23, n = 6$).

Die Klick-basierte Analyse ist äquivalent der *trial*-basierten Analyse. Auffällig ist der nahezu konstant hohe, prozentuale Anteil an Klicks in der R-Bedingung (s. Abbildung 3.2 (b)), der in allen SL weit über den eingezeichneten Zufallswahrscheinlichkeiten liegt (s. Abschnitt 2.6.2). Ein statistischer Test für die RZ- und Z-Bedingung war weder für die *trials* noch für die Klicks möglich, da aufgrund der adaptiven Bedingungen eine ungleiche Stichprobengröße in den höheren SL bestand und der Test aufgrund fehlender Datenpunkte nicht durchgeführt werden konnte.

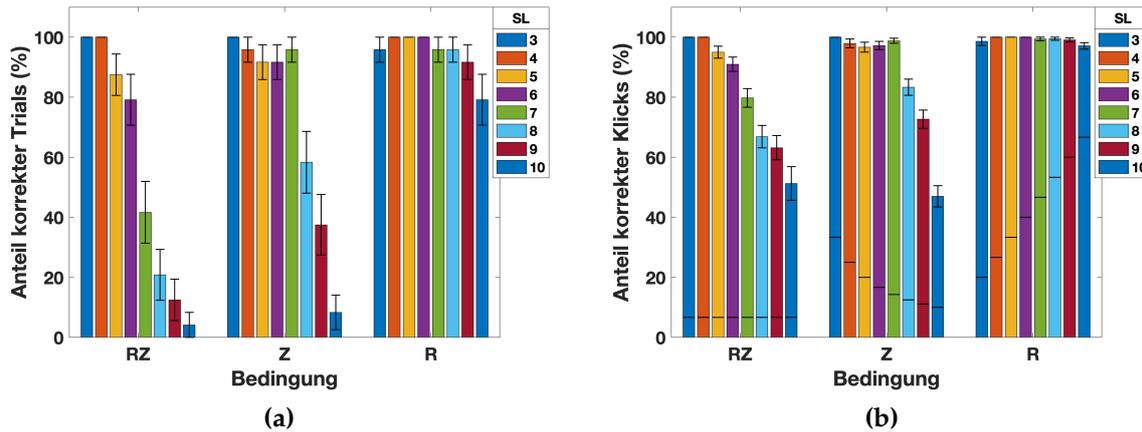


Abbildung 3.2.: Prozentualer Anteil korrekter *trials* (a) und korrekter Klicks (b) pro SL und gemittelt über alle VP ($n = 6$) aufgetragen für die drei Bedingungen. Jeder der 8 Balken pro Bedingung steht für eine SL. Die Wahrscheinlichkeiten aus Zufall einen korrekten Klick zu erzielen sind für jede SL in (b) eingezeichnet. Fehlerbalken: Standardfehler.

3.1.1. Reaktionszeit

Die Analyse der mittleren Reaktionszeiten (Abk. RZ) pro Klick zeigt eine deutlich geringere RZ pro Klick mit zunehmender SL. In Abbildung 3.3 ist die mittlere RZ der VP pro Klick in Millisekunden dargestellt. Die mittlere RZ liegt in allen drei Bedingungen zu Beginn (SL = 3) zwischen 1500 und 1600 ms pro Klick. Die RZ nimmt in der Z- und R-Bedingung mit steigender SL stetig ab und pendelt sich ab einer SL von 7 auf einen Wert zwischen 1100 und 1200 ms ein. In der RZ-Bedingung sinkt die mittlere RZ zu Beginn ab und steigt ab einer SL von 9 wieder an. Zu beachten ist eine geringere Teilnehmerzahl ($n = 3$) in der RZ-Bedingung ab der SL von 9. Der Anstieg der RZ in der RZ-Bedingung kann möglicherweise durch die kleine Stichprobe und den größeren Einfluss einzelner Datenpunkte beeinflusst werden. Dies wird ebenso durch die steigenden Fehlerbalken (SEM) mit abnehmendem Stichprobenumfang deutlich. Für die Analyse der RZ war nur ein Test der R-Bedingung möglich. Die RZ pro Klick unterschieden sich über die SL signifikant voneinander (Friedman, $\chi^2(7) = 28.94, p < .001, n = 6$). Ein anschließender Post-hoc-Test ergab, dass sich die RZ lediglich in der SL 3 von den SL 8, 9 und 10 sowie der SL 4 von der SL 9 signifikant unterschied. Für die RZ- und Z-Bedingung konnte kein statistischer Test durchgeführt werden (s. Abschnitt 3.1).

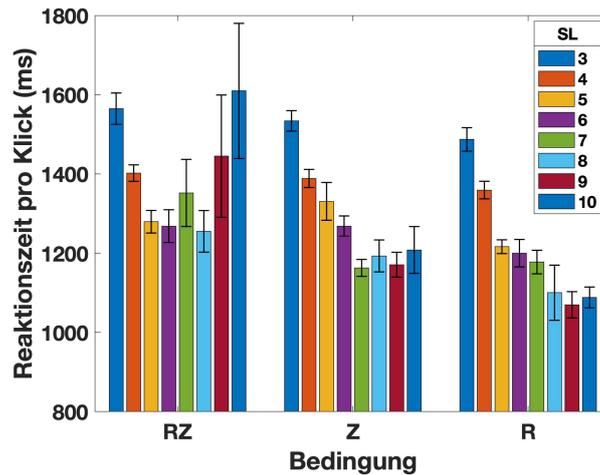


Abbildung 3.3.: Reaktionszeit (ms) pro Klick und gemittelt über alle VP ($n = 6$) aufgetragen für die drei Bedingungen. Für jede Bedingung ist die RZ für die SL 3 bis 10 (von links) eingezeichnet. Fehlerbalken: Standardfehler.

3.1.2. Einfluss von Pfadkreuzungen

Um zu untersuchen wie sich Personen räumliche Informationen einprägen, wurden die in der *Recall*-Phase der R-Bedingung angeklickten Quadrate sowie deren gewählte Reihenfolge ausgewertet. Hauptsächlich wurden die wiedergegebenen SL von 4 und 6 für einige VP ($n = 5$) ausgewertet. Auffällig war, dass das Kreuzen von Pfaden in allen Fällen vermieden wurde (s. Abbildung 3.4). Oft wurden die Positionen der Markierungen als Pfade im oder gegen den Uhrzeigersinn eingepägt. Je nach Anordnung der markierten Positionen, wurden räumlich näher aneinander liegende Markierungen gruppiert und nacheinander angeklickt. Zudem hat die Befragung der VP unmittelbar nach Durchführung des Tests ergeben, dass die Mehrheit der VP versucht hatte, während des Enkodierens die markierten Positionen strategisch zu gruppieren oder als Pfad zu integrieren.

Die Vermutung einer besseren Performance im Corsi-Test durch Vermeidung von Pfadkreuzungen (engl. *crossings*) wird durch die Beobachtung in Abbildung 3.5 gestützt. Im Mittel liegt die gewichtete Corsi-Spanne der RZ-Bedingung in den *trials* mit integrierten Pfadkreuzungen bei einem Wert von $18,17 \pm 1,05$ und in den *trials* ohne Pfadkreuzungen bei $20,08 \pm 0,58$. In der Z-Bedingung steigt die gewichtete Spanne von durchschnittlich $19,25 \pm 1,31$ in *trials* mit Kreuzungen und auf einen Wert von $20,58 \pm 0,42$ in *trials* ohne Kreuzungen. Die Corsi-Spannen wurden nur für die SL von 4 bis 6 berechnet, da in diesen SL bewusst Pfadkreuzungen integriert bzw. vermieden wurden (s. „*crossing range*“ in Schäfer (2020)).

Die R-Bedingung kann hier vernachlässigt werden, da alle VP in den SL von 4 bis 6 eine Spanne von 21 hatten und in der *Encoding*-Phase keine Pfadkreuzungen aufgrund simultaner Präsentation der Markierungen gezeigt wurden.

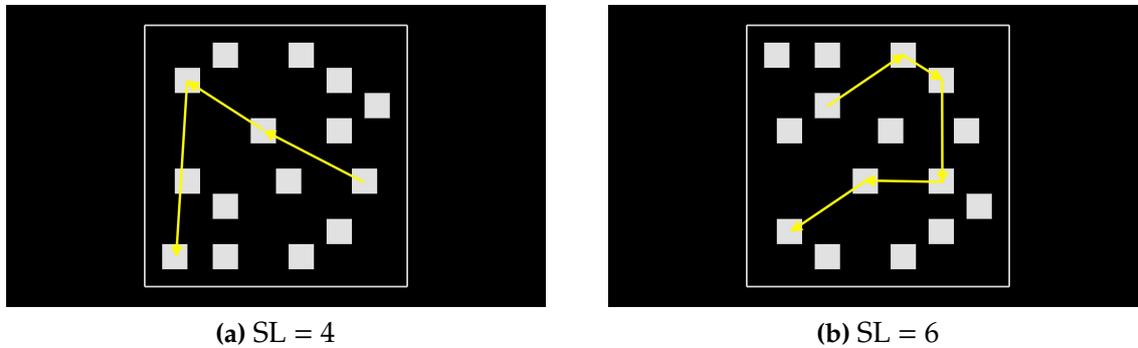


Abbildung 3.4.: Geklickter Pfad für zwei verschiedene SL einer VP während der *Recall*-Phase der R-Bedingung. Die Pfeile zeigen die sequenzielle Abfolge der Klicks an.

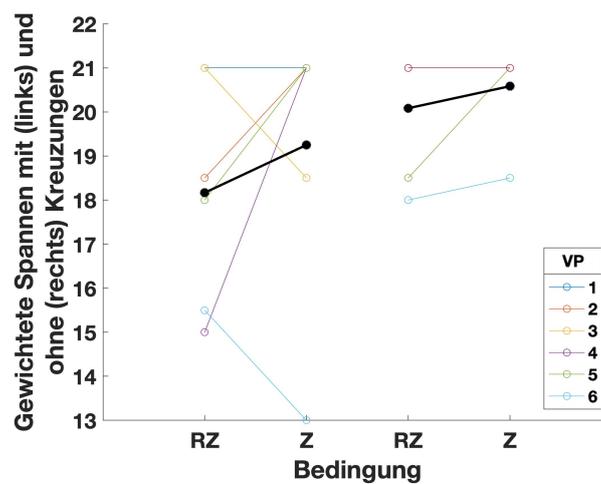


Abbildung 3.5.: Gewichtete Corsi-Spannen der VP ($n = 6$) in *trials* mit Kreuzungen (links) und ohne Kreuzungen (rechts) aufgetragen für die RZ- und Z-Bedingungen. Die Spannen wurden für die SL 4 bis 6 berechnet. Die schwarzen Kurven zeigen die, über alle VP gemittelten, Corsi-Spannen pro Bedingung.

3.2. Alter und AG

Um mögliche Unterschiede in der Leistung des rAG zwischen unterschiedlichen Altersgruppen sowie zwischen den Bedingungen zu untersuchen, wurden zusätzlich zwei VP mittleren Alters getestet. Abbildung 3.6 zeigt die gewichtete Corsi-Spanne, jeweils gemittelt über die VP der jüngeren Altersgruppe ($\bar{x} = 23,5$, $SD = 2,32$) und der älteren Altersgruppe ($\bar{x} = 50$, $SD = 1,41$).

Generell ist eine sichtliche Abnahme der räumlichen Gedächtnisleistung mit Zunahme des Alters zu sehen (Abbildung 3.6). In allen drei Bedingungen hatte die ältere Altersgruppe eine tendenziell geringere Corsi-Spanne erreicht. In der RZ-Bedingung lag die Spanne der älteren Gruppe im Mittel bei $20,13 \pm 3,63$ und der jüngeren Gruppe bei $25,25 \pm 2,81$. In der Z-Bedingung lag die Spanne der älteren Gruppe bei durchschnittlich $27,38 \pm 2,63$ und der jüngeren Gruppe bei $35,5 \pm 2,35$. In der R-Bedingung erreichte die jüngere Gruppe im Durchschnitt eine Spanne von $51,42 \pm 1,12$, wohingegen die Spanne der älteren Gruppe, mit einer Differenz von 11,29, bei $40,13 \pm 1,38$ lag. Pro Bedingung wurde ein Wilcoxon-Rangsummentest durchgeführt, um die Mittelwerte der Altersklassen zu vergleichen. Für keine der Bedingungen konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden (RZ: $W = 30,5$, $p = .36$; Z: $W = 31$, $p = .21$; R: $W = 33$, $p = .07$). Basierend auf Abbildung 3.6 ist die Abnahme in allen Bedingungen ähnlich. Anzumerken ist, dass die Spreizung zwischen Jung und Alt in der R-Bedingung tendenziell größer ist und sich die mittlere Corsi-Spanne der älteren Altersgruppe nahezu signifikant von der Performance der jungen Altersgruppe unterscheidet. Der Haupteffekt, dass die Performance entlang der RZ-, Z- und R-Bedingungen steigt, ist in beiden Altersgruppen anhand der deskriptiven Statistik deutlich zu sehen.

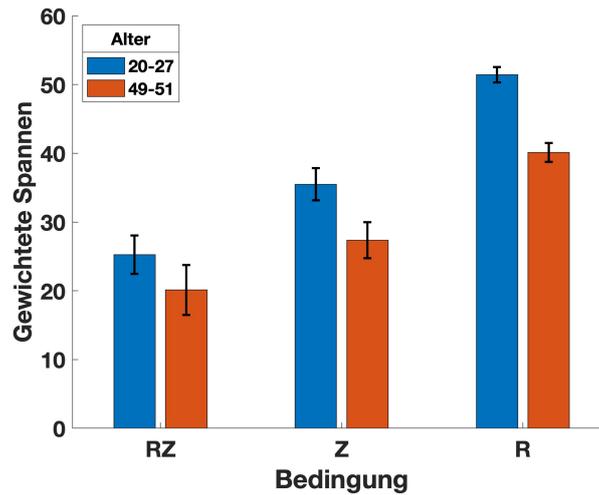


Abbildung 3.6.: Gewichtete Corsi-Spanne aufgetragen für die drei Bedingungen. Die Spannen sind über alle VP ($m = 8$) gemittelt. Die blauen Säulen stellen die VP ($n = 6$) im Alter von 20-27 Jahren und die orangenen Säulen die VP ($n = 2$) im Alter von 49-51 Jahren dar. Fehlerbalken: Standardfehler.

Anzumerken ist, dass eine anschließende Befragung der älteren VP ergeben hat, dass keine Probleme oder Unsicherheiten mit der Bedienung des Computers bzw. der Maus, während der Durchführung des Tests, auftraten. Eine schlechtere Performance aufgrund eingeschränkter technischer Kenntnisse kann somit ausgeschlossen werden.

3.3. Lernprozess im Corsi-Test

Um zu testen, ob ein Lerneffekt nach mehrmaliger Durchführung des Experiments zu beobachten ist, wurde eine VP innerhalb einer Woche drei Mal gemessen. Die gewichtete Corsi-Spanne wurde pro Bedingung für jede der drei Messwiederholungen berechnet. Grundsätzlich wurde an allen drei Messtagen innerhalb der Bedingungen eine ähnliche Corsi-Spanne erreicht. Die Spanne lag in der RZ-Bedingung im Durchschnitt bei $28,83 \pm 4,98$, in der Z-Bedingung bei $36,25 \pm 1,3$ und in der R-Bedingung bei $53,42 \pm 0,8$. Auffällig ist, dass derselbe Effekt, der in Abschnitt 3.1 für mehreren VP zu sehen war, innerhalb einer VP bestehen blieb.

Basierend auf den nah beieinander liegenden Corsi-Spannen (s. Abbildung 3.7) konnte keine Veränderung der Performance im klassischen Corsi-Test sowie in den modifizierten Bedingungen nach mehrmaliger Durchführung beobachtet werden.

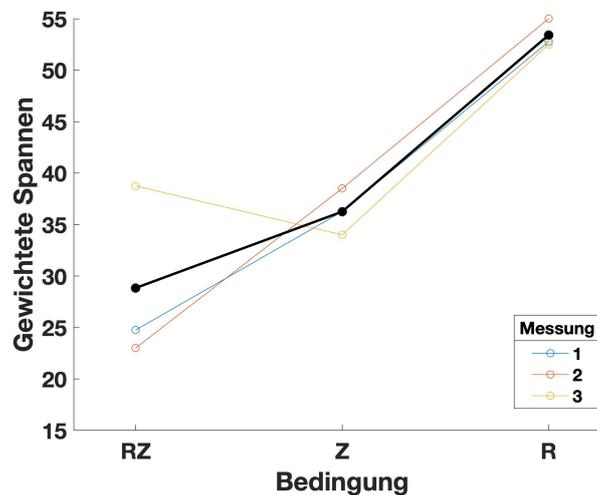


Abbildung 3.7.: Gewichtete Corsi-Spannen ($n = 3$) aufgetragen für die drei Bedingungen. Die farbigen Kurven stellen jeweils eine der drei Messwiederholungen dar. Die schwarze Kurve zeigt die Mittelwerte der Corsi-Spannen pro Bedingung.

4. Diskussion

Mithilfe des Experiments sollten die räumliche und zeitliche Komponente des AG, die beim kurzzeitigen Erlernen von Sequenzen involviert sind, untersucht werden. Dazu wurde das Versuchsdesign eines bereits bestehenden Experiments (s. Schäfer (2020)) hinsichtlich der *Encoding*-Phase der getesteten Bedingungen verändert. Neben dem klassischen Corsi-Test wurden zwei Variationen des Tests durchgeführt, in denen jeweils nur die zeitliche, sequenzielle Information oder nur die räumliche Information einer Sequenz abgefragt wurden. Zusätzlich wurden mithilfe des Experiments Alters- und Lerneffekte untersucht. Insgesamt konnte in der R- und Z-Bedingung eine bessere Performance erzielt werden als in der RZ-Bedingung. Dieser Effekt zeigte sich vor allem in den höheren SL. Dies bestätigt, dass sowohl zeitliche als auch räumliche Informationen zu den Anforderung des Corsi-Tests an das AG gehören. Dabei war die Performance in der R-Bedingung tendenziell besser als in der Z-Bedingung. Im Vergleich zur Vorarbeit konnte mit der neuen Methodik eine signifikant bessere Performance in der Z- und R-Bedingung erzielt werden, wohingegen sich die Performance der RZ-Kontrollbedingung nicht signifikant unterschied. Außerdem wurde gezeigt, dass mit steigendem Alter die Performance in allen drei Bedingungen abnimmt. Zusätzlich dazu, konnte nach mehrmaliger Durchführung des Experimentes kein Einfluss von Lernprozessen auf die Performance beobachtet werden.

4.1. Corsi-Paradigma

Das Vergleichen der Daten des Experiments dieser Arbeit mit den Daten der Vorarbeit gibt Einblicke in die Funktionsfähigkeit und Verlässlichkeit des computerisierten Corsi-Tests. Die vergleichbare Performance in der RZ-Bedingung – dem Äquivalent zum klassischen Corsi-Test – lässt auf die Anwendbarkeit des computerisierten Corsi-Tests und die Replizierbarkeit der Ergebnisse schließen. Auf dieser Grundlage können die Ergebnisse der beiden Arbeiten miteinander verglichen werden.

Die Annahme, dass die Änderung der *Encoding*-Phase den Effekt einer besseren Leistung in den modifizierten Bedingungen (R und Z) verstärkt, kann bestätigt werden. Auffällig war die konsistente Leistung der VP über die drei Bedingungen. In der Vorarbeit war die Performance der einzelnen VP dagegen sehr unbeständig. Im Durchschnitt wurden ähnliche Corsi-Spannen in allen drei Bedingungen erreicht (s. Abbildung 4.1). Durch die veränderte Methodik der Experiments, hauptsächlich der *Encoding*-Phase der modifizierten Bedingungen, konnte ein deutlicher Unterschied der Leistungen in den Bedingungen gezeigt werden. Die Ergebnisse sind konsistent mit der Annahme, dass das Merken von jeweils nur räumlicher oder zeitlicher Information das AG weniger belasten, als das gemeinsame Merken beider Informationen in Form einer Sequenz (Schäfer, 2020). Das Entfernen der zeitlichen bzw. räumlichen Information aus der *Encoding*-Phase der jeweiligen Bedingung ermöglicht, dass nur der gefragte Informationstyp enkodiert wurde. Die zusätzliche Belastung des Gedächtnisses durch Filtermechanismen (Schäfer, 2020) wurde mit der angepassten Methodik verhindert. Die Performance in der Z-Bedingung hat sich entgegen der Erwartung nicht signifikant von der Performance in den beiden anderen Bedingungen unterschieden. Dies könnte jedoch an der wenig aussagekräftigen statistischen Analyse liegen. Zudem lässt sich mithilfe der deskriptiven Analyse ein deutlicher Unterschied der Performance zwischen den Bedingungen feststellen. Verglichen mit der RZ-Bedingung konnte eine deutlich bessere Performance in der Z-Bedingung erzielt werden. Aufgrund dessen kann nicht ausgeschlossen werden, dass räumliche wie auch zeitliche Aspekte zu den Anforderungen des Corsi-Tests an das AG beitragen.

Dieser Effekt der besseren Leistung in den modifizierten Bedingungen verstärkt sich mit zunehmender SL. Mit Anstieg der SL steigt die Anforderung an das AG, wobei die Kapazität des AG stärker beansprucht wird. Somit wird ab einer SL von 7 sichtbar, dass bei einer gemeinsamen Verarbeitung von räumlicher und zeitlicher Information das Limit der Kapazität bei vergleichsweise kürzeren SL erreicht wird. In den modifizierten Bedingungen wird dieses Limit später erreicht. Vergleicht man dieses Ergebnis mit Ergebnissen aus Parallelaufgaben, deutet dies eventuell auf eine getrennte Verarbeitung der Modalitäten im rAG hin.

Die signifikant bessere Performance in der R-Bedingung lässt sich dadurch erklären, dass Strategien wie das Gruppieren von einzelnen Positionen bei simultaner Präsentation angewandt werden können und somit das Merken von räumlichen Positionen erleichtert. Diese Strategie lässt sich nicht mehr anwenden, wenn eine zeitliche Komponente hinzukommt (s. Abschnitt 1.4.1). Die Anwendung von Strategien während des Enkodierens führt zu einer effizienteren Nutzung der limitierten AG-Kapazität.

Die Menge an Informationseinheiten, die gleichzeitig gespeichert werden können, vergrößert sich. Auffällig war, dass alle VP eine ähnlich hohe Performance in Bezug auf die Corsi-Spannen, wie auch bei der Betrachtung der korrekt erzielten Klicks in der R-Bedingung erzielen konnten.

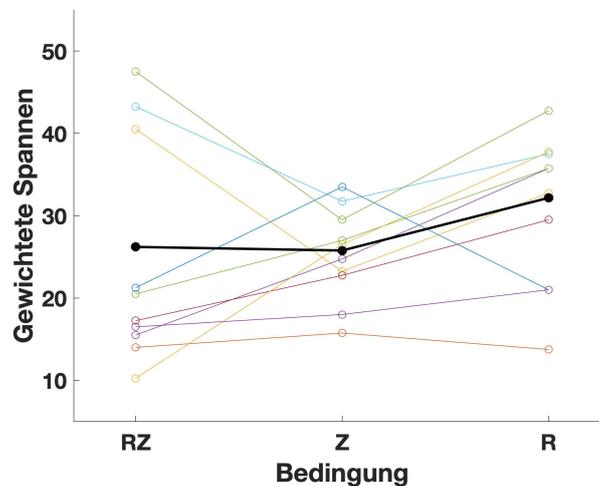


Abbildung 4.1.: Gewichtete Corsi-Spannen der VP (n = 12) aufgetragen für die drei Bedingungen RZ, Z und R. Die Spannen wurden über alle SL berechnet. Jede farbige Kurve präsentiert die Spannen einer VP pro Bedingung. Die schwarze Kurve zeigt die, über alle VP gemittelten, gewichteten Corsi-Spannen (Schäfer, 2020).

Reaktionszeit

Die Analyse der RZ zeigte, dass mit zunehmender Länge der zu merkenden Sequenz, die mittlere RZ pro Klick abnimmt. Die Vermutung liegt nahe, dass mit zunehmendem Informationsgehalt der Bedarf die Informationen schneller „loszuwerden“ ansteigt. Die Tatsache, dass Informationen, die vorübergehend für den Abruf oder zur weiteren Verarbeitung im AG beibehalten werden, nach kurzer Zeit aus dem Gedächtnis verschwinden, ist ein allgemein bekanntes Phänomen (Barrouillet, De Paepe & Langerock, 2012). Viele Studien sprechen für einen zeitlichen Verfall (engl. *decay*) von Informationen. Es wird angenommen, dass dieser Verfall während des *Recalls* eintritt, das heißt, dass die letzten Items einer Sequenz stärker von dem zeitlichen Verfall betroffen sind als die ersten Items, da diese später abgerufen werden (Lemaire & Portrat, 2018). Um diesem zeitlichen Verfall entgegenzuwirken, nimmt die RZ pro Klick mit steigender SL ab, damit die Items schneller wiedergegeben werden können, bevor sie vergessen werden.

Pfadkreuzungen

Wie in Abschnitt 1.4.1 beschrieben, werden Sequenzen oft als Pfade, das heißt Verbindungen zwischen den zu merkenden Items gemerkt. Studien zeigen, dass das Kreuzen des Pfades einer Sequenz die Schwierigkeit des Corsi-Tests beeinflussen kann (F. B. R. Parmentier et al., 2006). Die Ergebnisse zeigten eine etwas schlechtere Performance in den *trials*, in denen Sequenzen mit Pfadkreuzungen präsentiert wurden, im Vergleich zu den *trials* ohne Pfadkreuzungen. Die Tendenz dafür, dass in der RZ- und Z-Bedingung Pfadkreuzungen die Lösung der Aufgabe erschweren, ist konsistent mit den Ergebnissen der Vorarbeit (Schäfer, 2020).

Die Auswertung der wiedergegebenen Pfade in der R-Bedingung zeigte, dass die VP Pfadkreuzungen auch im *Recall* systematisch vermieden haben. Zudem zeigte die Analyse welche Strategien angewandt wurden, um das Merken der räumlichen Informationen zu erleichtern. Nah beieinander liegende Felder wurden gedanklich gruppiert und nacheinander angeklickt. Manche Pfade wurden strukturiert wiedergegeben, z.B. im oder gegen den Uhrzeigersinn. Es ist bereits bekannt, dass die genannten Eigenschaften der Pfade zu einer höheren Performance führen (De Lillo, 2004). Die Ergebnisse sprechen dafür, dass Pfadkreuzungen einen negativen Einfluss auf die zeitliche und räumliche Komponenten des AG haben.

Dies muss zukünftig jedoch für einen größeren Stichprobenumfang und mit einer statistischen Analyse gestützt werden.

4.2. Altersprozesse

Um zusätzlich Altersprozesse im räumlichen AG zu untersuchen, wurden zwei VP im Alter von durchschnittlich 50 Jahren getestet. Der Haupteffekt, dass der Corsi-Test mit zunehmenden Alter schwieriger ist und somit die Kapazität des AG mit steigenden Alter abnimmt, ist konsistent mit den Erkenntnissen der Literatur (Hedden & Gabrieli, 2004). Neben der geringeren Performance in der RZ-Bedingung nahm die Performance mit steigendem Alter nahezu gleichermaßen in den modifizierten Bedingungen ab. Zu beachten ist eine tendenziell stärkere Abnahme der Performance in der R-Bedingung. Innerhalb der Bedingungen blieb der in Abschnitt 3.1 beschriebene Effekt auch in der älteren Altersgruppe erhalten. Die Performance im klassischen Corsi-Test war am geringsten, stieg in der Z-Bedingung an und war in der R-Bedingungen am besten. Somit wurden Jung und Alt gleichermaßen von der Trennung der räumlichen und zeitlichen Information beeinflusst.

Jedoch ist zu beachten, dass in früheren Studien ein Alterseffekt eher in höheren

Altersklassen beobachtet wurde. In Längsschnittstudien konnten bisher nur wenige Belege für einen altersabhängigen Nachlass der Gedächtnisleistung in einem Alter vor 60 Jahren gefunden werden (Wilson et al., 2002). Darauf basierend könnten für VP in einem Alter über 60 Jahren möglicherweise signifikante oder abweichende Ergebnisse erzielt werden.

Generell stützen die Ergebnisse dieser Arbeit die bereits belegte altersabhängige Abnahme der Gedächtnisleistung (Park et al., 2002), welche die Komponenten des AG nahezu gleichermaßen beeinflusst. Tendenziell wird die räumliche Komponente stärker vom Alterungsprozess beeinflusst. Die Ergebnisse benötigen jedoch zusätzliche Belege durch zukünftige Studien.

4.3. Lernprozesse

Um zu untersuchen, ob ein Lerneffekt nach mehrmaliger Durchführung des Experiments eintritt, wurde innerhalb einer Woche eine VP drei Mal in einem Abstand von drei Tagen gemessen. Basierend auf der geringen Streuung der Daten, kann ein Lerneffekt in allen drei Bedingungen ausgeschlossen werden. Für die getestete VP hatte ein Training von einer Woche keinen Einfluss auf die Kapazität des AG. Entgegen der Beobachtung von Olson und Jiang (2004) konnte hier keine Verbesserung der Performance in der AG-Aufgabe durch ein Training festgestellt werden.

Auch die Annahme, dass durch ein Training die Strategie zur erfolgreichen Lösung von AG-Aufgabe verbessert wird (s. Abschnitt 1.1.1), kann für den Corsi-Test sowie den modifizierten Formen des Tests, im Umfang dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Dies ist konsistent mit dem Befund von Caviola, Marmarella, Cornoldi und Lucangeli (2009), dass im Corsi-Test vorwärts⁴ durch ein metakognitives Strategietraining keine signifikante Leistungssteigerung erzielt werden kann.

Die Befunde müssen jedoch durch weitere Studien mit mehreren VP und über verschiedene Zeiträume der Trainingsphase gestützt werden.

⁴ Mit dem Corsi-Test vorwärts ist die klassische Durchführung des Corsi-Tests gemeint, indem die gemerkte Sequenz in präsentierter Reihenfolge, also vorwärts, wiedergegeben wird.

Verbesserungsmöglichkeiten

Die Schwachstelle der Arbeit ist die pandemiebedingte, geringe Anzahl an VP. Zentrale Tendenzen sind in der Auswertung der Ergebnisse deutlich sichtbar, jedoch müssen diese durch einen größeren Stichprobenumfang gestützt werden, damit eine zuverlässigere statistische Analyse möglich ist und mit einer stärkeren Aussagekraft auf die Gesamtpopulation geschlossen werden kann. Dies sollte v.a. bei der Analyse und den Rückschlüssen auf die Alters- und Lerneffekte beachtet werden.

4.4. Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch die Änderung des Versuchsdesigns – genauer: der *Encoding*-Phase der Bedingungen – der erwartete Effekt verstärkt werden konnte. Die Performance der modifizierten Bedingungen, in denen die zeitlichen und räumlichen Informationen getrennt voneinander abgefragt wurden, war deutlich besser als die Performance im klassischen Corsi-Test, wobei die Modalitäten gemeinsam enkodiert und wiedergegeben werden mussten. Dabei bestand eine hohe Stabilität der Performance innerhalb der Bedingungen, da bei jeder VP der erwartete Effekt zu sehen war.

Die Vergleichbarkeit der erreichten Corsi-Spannen in der RZ-Bedingung beider Arbeiten zeigt die Verlässlichkeit des Tests und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

Die Kapazität des räumlichen AG kann bei ausschließlich räumlicher Information durch die Gruppierung der Informationen zu einer geringeren Anzahl an Gedächtniseinheiten (*Chunks*) effizienter genutzt werden. Dies ist nicht mehr möglich, wenn zeitliche Information zur Anforderung der Aufgabe gehört. Dazu führen Pfadkreuzungen zu Interferenzen, welche die Lösung von AG-Aufgaben mit einer zeitlichen als auch einer räumlichen Komponente erschweren.

Auch das Alter der Personen hat einen Einfluss auf die Kapazität des AG. Diese sinkt mit zunehmendem Alter und betrifft nahezu gleichermaßen die zeitliche und räumliche Komponente des AG. Es scheint einen etwas größeren negativen Einfluss auf die räumliche Komponente des AG zu haben. Generell lässt sich mit zunehmendem Alter auf eine modalitätsübergreifende Abnahme der Kapazität des räumlichen AG schließen.

Weitere Untersuchungen eines Lerneffekts ergaben, dass der Corsi-Test im Rahmen dieser Arbeit robust gegen Lernprozesse ist.

A. Anhang

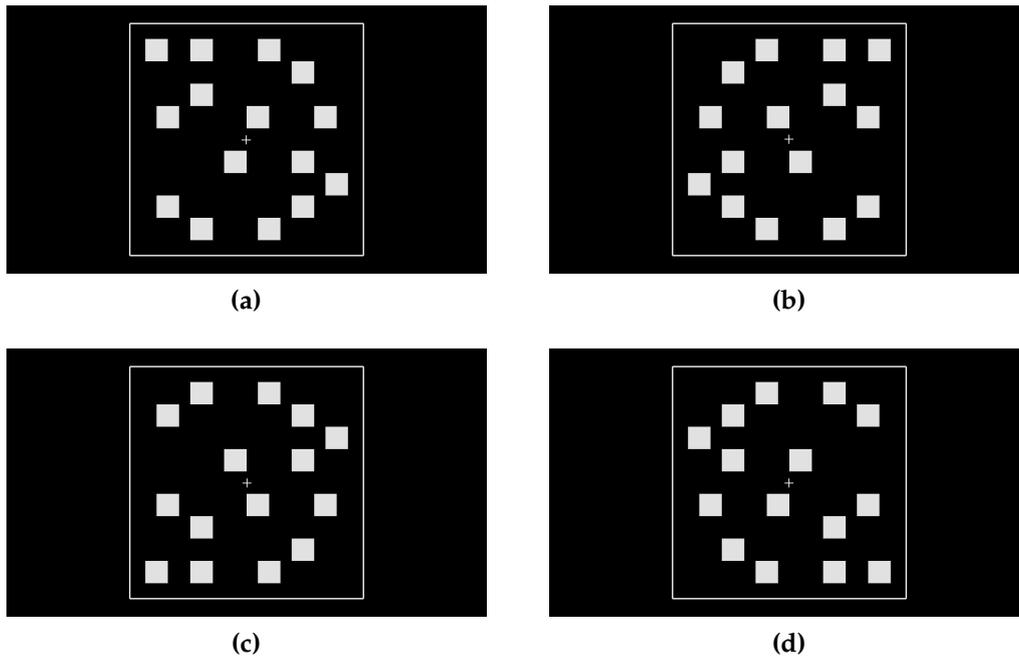


Abbildung A.1.: Zu sehen sind die vier Muster, die in jedem *trial* in einer bestimmten Reihenfolge gezeigt wurden. Dabei wurde eine Musteranordnung an der horizontalen und vertikalen sowie an beiden Achsen gespiegelt.

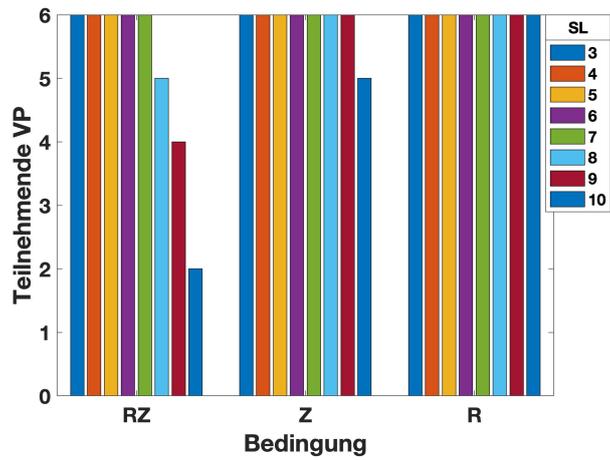


Abbildung A.2.: Anzahl der am Experiment erfolgreich teilnehmenden VP pro Sequenzlänge aufgetragen für die drei Bedingung RZ, Z und R.

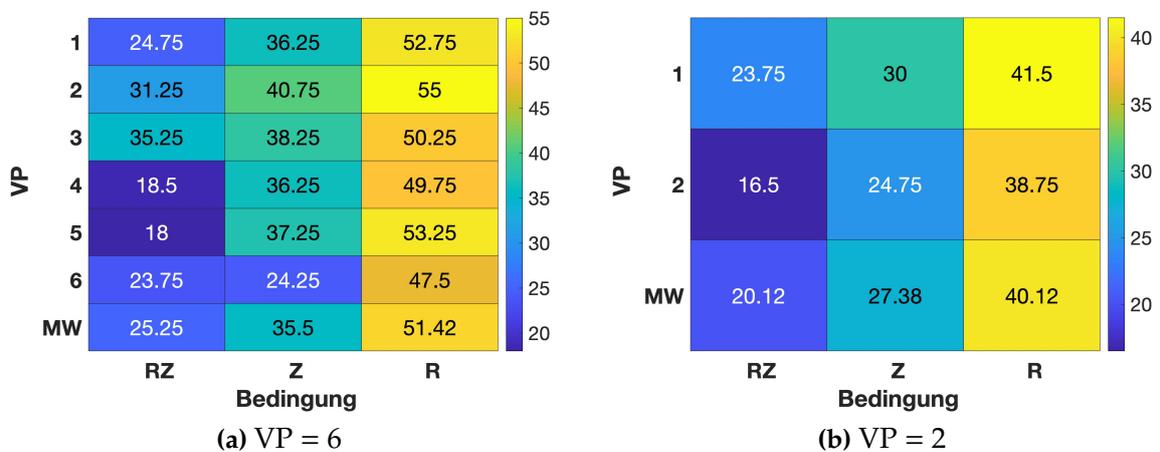


Abbildung A.3.: Gewichtete Corsi-Spanns für jede der drei Bedingungen RZ, Z und R, errechnet für (a) alle VP ($n = 6$) der jungen Altersgruppe und für (b) alle VP ($n = 2$) der älteren Altersgruppe. Die Werte der letzten Zeile entsprechen dem Mittelwert.

Corsi-Block-Tapping Test mit 3 Bedingungen

Danke für Deine Teilnahme am Experiment! Die Teilnahme erfolgt freiwillig und kann zu jedem Zeitpunkt unbegründet abgebrochen werden, ohne dass Dir daraus Nachteile entstehen. Deine erhobenen Daten werden - in anonymisierter Form - im Rahmen dieser Arbeit analysiert und veröffentlicht.

Überblick:

Mit dem Corsi Experiment soll das räumliche-zeitliche Arbeitsgedächtnis am Bildschirm untersucht werden. Jeder Durchgang des Experiments beginnt mit der **Encoding**-Phase: Hierbei werden auf dem Bildschirm verschiedene Quadrate mit einem Kreis markiert. Die markierten Positionen und/oder die Reihenfolge solltest Du dir so gut wie möglich einprägen.

Direkt im Anschluss folgt die **Retention**-Phase: Der Bildschirm erscheint für 6 Sekunden grau. Währenddessen soll sich die Sequenz der markierten Kreise im Gedächtnis gemerkt werden.

Die **Recall**-Phase beginnt, sobald die Quadrate wieder weiß werden. Der Mauszeiger (Kreuz) erscheint in der Mitte des Bildschirms und Du sollst durch Anklicken der jeweiligen Quadrate die gemerkte Sequenz wiedergeben.

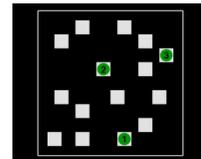
Insgesamt gibt es acht Sequenzlängen. Die kürzeste Sequenzlänge besteht aus 3 markierten Quadraten und dient als Trainingsversuch, um den Ablauf kennenzulernen und bei Bedarf Fragen zu stellen. Danach werden Sequenzlängen von 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 10 Quadraten abgefragt. Bevor sich die Sequenzlänge erhöht, erscheint der Text „Die Kreisanzahl erhöht sich“ auf dem Bildschirm.

Verschiedene Bedingungen:

Jede Sequenzlänge wird unter 3 verschiedene Bedingungen getestet. Pro Bedingung wird die jeweilige Sequenzlänge 4-mal wiederholt.

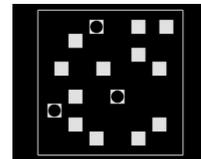
Bedingung 1: zeitlich-räumliche Bedingung

Die Bedingung wird mit dem Text „Es folgt die zeitlich-räumliche Bedingung“ eingeleitet. In der *Encoding*-Phase werden einzelne Quadrate nacheinander (in einer zeitlichen Reihenfolge) je eine Sekunde lang markiert. Ihre Position und Reihenfolge musst Du dir merken und in der *Recall*-Phase wiedergeben.



Bedingung 2: zeitliche Bedingung

Die Bedingung wird mit dem Text „Es folgt die zeitliche Bedingung“ eingeleitet. In der *Encoding*-Phase sind die relevanten Positionen (Quadrate) mit einem schwarzen Kreis markiert. Die Positionen werden hintereinander je eine Sekunde lang grün markiert. Hier musst Du dir die zeitliche Reihenfolge merken, in der die grünen Kreise aufleuchten. In der *Retention* und *Recall*-Phase bleiben die Positionen markiert und du sollst im *Recall* lediglich die Reihenfolge durch Klicken wiedergeben.



Bedingung 3: räumliche Bedingung

Die Bedingung wird mit dem Text „Es folgt die räumliche Bedingung“ eingeleitet. In der *Encoding*-Phase werden alle zu merkenden Quadrate gleichzeitig mit einem grünen Kreis markiert. Hier musst Du dir nur die Position der Markierungen merken. In der *Recall*-Phase sollst Du durch Klicken die korrekten Positionen in beliebiger Reihenfolge wiedergeben.

Anmerkungen:

- Da auch die Zeit zwischen den Klicks gezählt wird, versuche die Aufgaben so zügig aber trotzdem so genau wie möglich zu lösen.
- Eine Bedingung wird abgebrochen, wenn die gleiche Sequenzlänge 4-mal falsch wiedergeben wurde. Die Bedingung wird dann für die folgenden Längen nicht mehr getestet.
- Die Bedingungen werden in einer zufälligen Reihenfolge getestet, also nicht unbedingt 1, 2, 3.
- Triffst Du mit einem Klick keines der Quadrate, leuchten alle Quadrate rot auf. Der Fehlklick wird dennoch gewertet.

Abbildung A.4.: Versuchsdurchführung, die jede VP vor Beginn des Experiments vorgelegt bekommen hat.

Bedingung 1: Zeitlich-Räumliche Bedingung

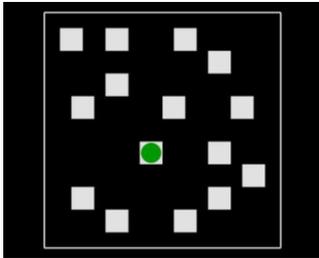


Abb. 1.1: *Encoding-Phase* (1s pro Markierung). Markierung 1 von 3 ist hier dargestellt.

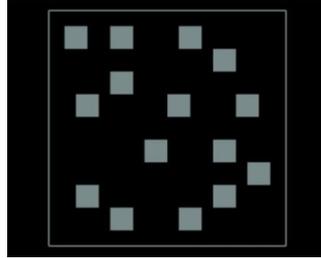


Abb. 1.2: *Retention-Phase* (6s)

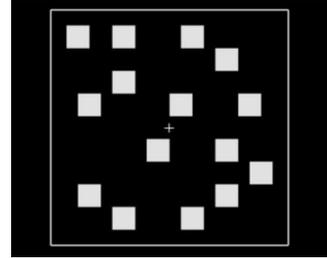


Abb. 1.3: *Recall-Phase* (initialer Mauszeiger zentral)

Bedingung 2: Zeitliche Bedingung

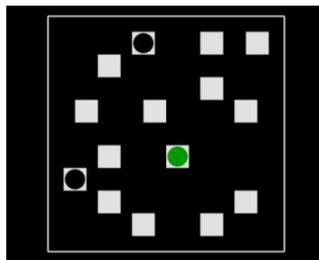


Abb. 2.1: *Encoding-Phase* (1s pro Markierung). Markierung 1 von 3 ist hier dargestellt.

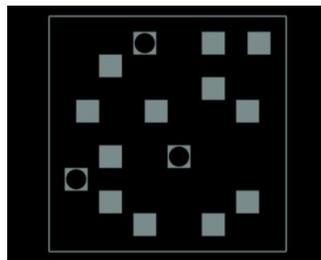


Abb. 2.2: *Retention-Phase* (6s)

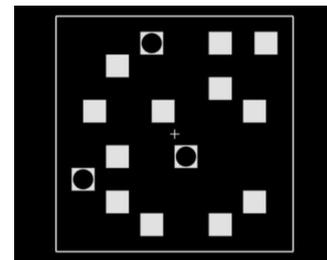


Abb. 2.3: *Recall-Phase* (initialer Mauszeiger zentral)

Bedingung 3: Räumliche Bedingung

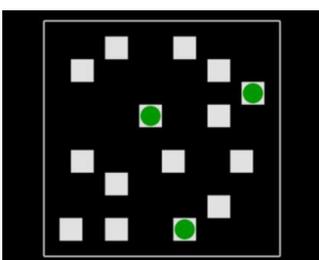


Abb. 3.1: *Encoding-Phase*. (Hier: 3s). Gleichzeitige Präsentation der relevanten Markierungen.

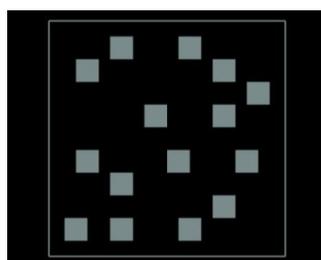


Abb. 3.2: *Retention-Phase* (6s)

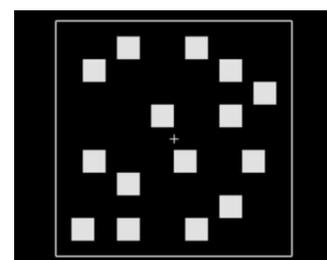


Abb. 3.3: *Recall-Phase* (initialer Mauszeiger zentral)

Abbildung A.5.: Für jede der drei Bedingungen wurden die Bildschirmausgaben für die *Encoding-*, *Retention-* und *Recall-Phase* eines *trials*, exemplarisch für eine SL von 3, den VP vor Beginn des Experiments zur Erklärung vorgelegt. 45

Literaturverzeichnis

- Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *The psychology of learning and motivation*, 2, 89-195.
- Awh, E., Jonides, J. & Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Rehearsal in spatial working memory. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 24 (3), 780-90. doi: 10.1037//0096-1523.24.3.780
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends Cogn Sci*, 4 (11), 417-423. doi: 10.1016/s1364-6613(00)01538-2
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nat Rev Neurosci*, 4 (10), 829-39. doi: 10.1038/nrn1201
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Curr Biol*, 20 (4), R136-40. doi: 10.1016/j.cub.2009.12.014
- Baddeley, A., Cocchini, G., Della Sala, S., Logie, R. H. & Spinnler, H. (1999). Working memory and vigilance: evidence from normal aging and alzheimer's disease. *Brain Cogn*, 41 (1), 87-108. doi: 10.1006/brcg.1999.1097
- Baddeley, A. & Hitch, G. (1974). Working memory. In *Psychology of learning and motivation* (Bd. 8, S. 47-89). Elsevier.
- Barrouillet, P., De Paepe, A. & Langerock, N. (2012). Time causes forgetting from working memory. *Psychon Bull Rev*, 19 (1), 87-92. doi: 10.3758/s13423-011-0192-8
- Berch, D. B., Krikorian, R. & Huha, E. M. (1998). The corsi block-tapping task: methodological and theoretical considerations. *Brain Cogn*, 38 (3), 317-38. doi: 10.1006/brcg.1998.1039
- Caviola, S., Marmarella, I. C., Cornoldi, C. & Lucangeli, D. (2009). A metacognitive visuospatial working memory training for children. *International Electronic Journal of Elementary Education* (1), 122-136.

- Chai, W. J., Abd Hamid, A. I. & Abdullah, J. M. (2018). Working memory from the psychological and neurosciences perspectives: A review. *Front Psychol*, 9, 401. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00401
- Chen, D., Yee Eng, H. & Jiang, Y. (2006). Visual working memory for trained and novel polygons. *Visual Cognition*, 14 (1), 37-54. doi: 10.1080/13506280544000282
- Corsi, P. M. (1972). *Human memory and the medial temporal region of the brain* (Unveröffentlichte Dissertation). McGill University, Montreal.
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. (S. 62-101). New York, NY, US: Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9781139174909.006
- Cowan, N. (2005). *Working memory capacity*. New York, NY, US: Psychology Press. doi: 10.4324/9780203342398
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Prog Brain Res*, 169, 323-38. doi: 10.1016/S0079-6123(07)00020-9
- De Lillo, C. (2004). Imposing structure on a corsi-type task: Evidence for hierarchical organisation based on spatial proximity in serial-spatial memory. *Brain and Cognition*, 55 (3), 415-426. doi: 10.1016/j.bandc.2004.02.071
- Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N. & Wilson, L. (1999). Pattern span: a tool for unwinding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, 37 (10), 1189-1199.
- Eng, H. Y., Chen, D. & Jiang, Y. (2005). Visual working memory for simple and complex visual stimuli. *Psychon Bull Rev*, 12 (6), 1127-33. doi: 10.3758/bf03206454
- Fuster, J. M. (1997). Network memory. *Trends Neurosci*, 20 (10), 451-9. doi: 10.1016/S0166-2236(97)01128-4
- Goodale, M. A. & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends Neurosci*, 15 (1), 20-5. doi: 10.1016/0166-2236(92)90344-8
- Hedden, T. & Gabrieli, J. D. E. (2004). Insights into the ageing mind: a view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews Neuroscience*, 5 (2), 87-96. doi: 10.1038/nrn1323

- Hurlstone, M. J. & Hitch, G. J. (2015). How is the serial order of a spatial sequence represented? insights from transposition latencies. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 41 (2), 295-324. doi: 10.1037/a0038223
- Jones, D., Farrand, P., Stuart, G. & Morris, N. (1995). Functional equivalence of verbal and spatial information in serial short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21 (4), 1008.
- Jones, D., Madden, C. & Miles, C. (1992). Privileged access by irrelevant speech to short-term memory: The role of changing state. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 44 (4), 645-669.
- Jonides, J., Lacey, S. C. & Nee, D. E. (2005). Processes of working memory in mind and brain. *Current Directions in Psychological Science*, 14 (1), 2-5. doi: 10.1111/j.0963-7214.2005.00323.x
- Kim, C., Kroger, J. K., Calhoun, V. D. & Clark, V. P. (2015). The role of the frontopolar cortex in manipulation of integrated information in working memory. *Neurosci Lett*, 595, 25-9. doi: 10.1016/j.neulet.2015.03.044
- Lehnert, G. & Zimmer, H. D. (2008). Modality and domain specific components in auditory and visual working memory tasks. *Cogn Process*, 9 (1), 53-61. doi: 10.1007/s10339-007-0187-6
- Lemaire, B. & Portrat, S. (2018). A computational model of working memory integrating time-based decay and interference. *Front Psychol*, 9, 416. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00416
- Logie, R. H. & Marchetti, C. (1991). Visuo-spatial working memory: Visual, spatial or central executive. *Mental images in human cognition*, 80, 105Á.
- Luck, S. J. & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390 (6657), 279-281.
- Miller, G. A., Galanter, E. & Pribram, K. H. (1960). Plans and the structure of behavior. *New York, NY: Henry Holt and Company*. doi: <https://doi.org/10.1037/10039-000>
- Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin*, 27, 272-277.

- Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory: exploring the focus of attention. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 28 (3), 411-21.
- Olson, I. R. & Jiang, Y. (2004). Visual short-term memory is not improved by training. *Mem Cognit*, 32 (8), 1326-32. doi: 10.3758/bf03206323
- Osaka, M., Osaka, N., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., Aso, T. & Shibasaki, H. (2003). The neural basis of individual differences in working memory capacity: an fmri study. *Neuroimage*, 18 (3), 789-97. doi: 10.1016/s1053-8119(02)00032-0
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R. & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: a meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Hum Brain Mapp*, 25 (1), 46-59. doi: 10.1002/hbm.20131
- Park, D. C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D. & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychol Aging*, 17 (2), 299-320.
- Parmentier, F. B., Maybery, M. T. & Jones, D. M. (2004). Temporal grouping in auditory spatial serial memory. *Psychonomic Bulletin Review*, 11 (3), 501-507.
- Parmentier, F. B. R., Andrés, P., Elford, G. & Jones, D. M. (2006). Organization of visuospatial serial memory: Interaction of temporal order with spatial and temporal grouping. *Psychological Research*, 70 (3), 200-217. doi: 10.1007/s00426-004-0212-7
- Postma, A. & De Haan, E. H. (1996). What was where? Memory for object locations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49 (1), 178-199.
- Sala, J. B. & Courtney, S. M. (2007). Binding of what and where during working memory maintenance. *Cortex*, 43 (1), 5-21. doi: 10.1016/s0010-9452(08)70442-8
- Schäfer, J. (2020). *Modality dependencies and visual updating processes in spatial working memory* (Unveröffentlichte Masterarbeit). Eberhard Karls Universität Tübingen.
- Smyth, M. M. & Scholey, K. A. (1994). Interference in immediate spatial memory. *Memory Cognition*, 22 (1), 1-13.
- Vandierendonck, A., Kemps, E., Fastame, M. C. & Szmalec, A. (2004). Working memory components of the corsi blocks task. *Br J Psychol*, 95 (Pt 1), 57-79. doi: 10.1348/000712604322779460

- Weicker, J., Hudl, N. & Thöne-Otto, A. (2017). „Was misst eigentlich die Blockspanne?“ –Der Goldstandard im Fokus. *Zeitschrift für Neuropsychologie*, 28 (1), 45-54. doi: 10.1024/1016-264X/a000194
- Wilson, R. S., Beckett, L. A., Barnes, L. L., Schneider, J. A., Bach, J., Evans, D. A. & Bennett, D. A. (2002). Individual differences in rates of change in cognitive abilities of older persons. *Psychol Aging*, 17 (2), 179-93.
- Woods, D., Wyma, J., Herron, T. & William, Y. (2015). An improved spatial span test of visuospatial memory. *Memory*, 24 (8), 1142-1155. doi: 10.1080/09658211.2015.1076849
- Zimmer, H. D. (2008). Visual and spatial working memory: from boxes to networks. *Neurosci Biobehav Rev*, 32 (8), 1373-95. doi: 10.1016/j.neubiorev.2008.05.016
- Zimmer, H. D. & Lehnert, G. (2006). The spatial mismatch effect is based on global configuration and not on perceptual records within the visual cache. *Psychol Res*, 70 (1), 1-12. doi: 10.1007/s00426-004-0186-5
- Zimmer, H. D., Speiser, H. R. & Seidler, B. (2003). Spatio-temporal working-memory and short-term object-location tasks use different memory mechanisms. *Acta Psychol (Amst)*, 114 (1), 41-65. doi: 10.1016/s0001-6918(03)00049-0