

**„Ressourcenverteilung zwischen
Aufgaben-abhängigem
Arbeitsgedächtnis und Bewegung“**

Diplomarbeit

der Fakultät für Biologie

der EBERHARD-KARLS-UNIVERSITÄT
TÜBINGEN

vorgelegt von

Odoj, Bartholomäus

Tübingen, Februar 2010

ERKLÄRUNG:

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

Tübingen, den

*„Was man nicht im Kopf hat, hat man in
den Beinen“*

Volksmund

Inhaltsverzeichnis

1. ALLGEMEINE EINLEITUNG:	- 4 -
<i>Die unterschiedlichen Gedächtnisstrukturen:</i>	- 4 -
<i>Das Arbeitsgedächtnis:</i>	- 5 -
<i>Cowans „embedded-process-Modell“</i>	- 6 -
<i>Baddeleys und Hitchs „Multi-Komponenten-Modell“</i>	- 7 -
<i>Gedächtniseinheiten/ chunks:</i>	- 9 -
<i>Trade-off zwischen Bewegung und Auslastung des Arbeitsgedächtnisses</i>	- 10 -
<i>Wissenschaftliche Fragestellung</i>	- 10 -
2. EXPERIMENTALBLOCK I: „TRADE-OFF ZWISCHEN ARBEITSGEDÄCHTNISAUSLASTUNG UND LAUFGESCHWINDIGKEIT“	- 11 -
2.1. SPEZIELLE EINLEITUNG FÜR EXPERIMENTALBLOCK I: „TRADE-OFF ZWISCHEN ARBEITSGEDÄCHTNISAUSLASTUNG UND LAUFGESCHWINDIGKEIT“	- 11 -
2.2. VORVERSUCHE.....	- 12 -
<i>Material und Methoden:</i>	- 13 -
<i>Vorversuch 1:</i>	- 15 -
<i>Vorversuch 2:</i>	- 19 -
<i>Vorversuch 3:</i>	- 21 -
<i>Vorversuch 4:</i>	- 24 -
2.3. HAUPTVERSUCH: MATERIAL UND METHODEN.....	- 32 -
<i>Versuchspersonen:</i>	- 32 -
<i>Apparatur:</i>	- 32 -
<i>Software:</i>	- 32 -
<i>Muster:</i>	- 33 -
<i>Fehlerarten:</i>	- 33 -
<i>Auswertung:</i>	- 34 -
<i>Versuchsaufbau:</i>	- 34 -
2.4. HAUPTVERSUCH: ERGEBNISSE	- 34 -
<i>Auswertung der Fehler:</i>	- 34 -
<i>Auswertung der Strategien:</i>	- 38 -
<i>Auswertung der Zeiten:</i>	- 42 -
2.5. SPEZIELLE DISKUSSION FÜR EXPERIMENTALBLOCK I:	- 49 -
<i>Fehler:</i>	- 49 -
<i>Strategien:</i>	- 50 -
<i>Zeiten:</i>	- 51 -
3. EXPERIMENTALBLOCK II: „ VERARBEITUNG HAPTISCHER INFORMATION IM ARBEITSGEDÄCHTNIS“	- 54 -
3.1. SPEZIELLE EINLEITUNG FÜR EXPERIMENTALBLOCK II: „VERARBEITUNG HAPTISCHER INFORMATION IM ARBEITSGEDÄCHTNIS“	- 54 -
3.2. MATERIAL UND METHODEN.....	- 57 -
<i>Allgemeiner Versuchsaufbau:</i>	- 57 -
<i>Vortest:</i>	- 58 -
<i>Muster und Texturen:</i>	- 58 -
<i>Fehlerarten:</i>	- 60 -
<i>Kisten:</i>	- 61 -
<i>Versuchspersonen:</i>	- 62 -
<i>Tracking:</i>	- 62 -
<i>Auswertung:</i>	- 62 -
<i>Laufstrategien:</i>	- 62 -
3.3. ERGEBNISSE	- 63 -
<i>Auswertung der Fehler:</i>	- 63 -
<i>Auswertung der Legereihenfolge:</i>	- 64 -
<i>Auswertung der Laufstrategien:</i>	- 65 -
<i>Auswertung der Zeiten:</i>	- 67 -

3.4. SPEZIELLE DISKUSSION FÜR EXPERIMENTALBLOCK II:	- 72 -
<i>Fehler:</i>	- 72 -
<i>Legereihenfolge:</i>	- 73 -
<i>Laufstrategien:</i>	- 73 -
<i>Bearbeitungs- und Transferzeiten:</i>	- 74 -
4. ALLGEMEINE DISKUSSION	- 77 -
5. REFERENZEN	- 79 -
6. DANKSAGUNG	- 81 -
7. ANHANG	- 82 -
7.1 EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG FÜR ALLE VERSUCHSPERSONEN	- 82 -
7.2 VERSUCHSANLEITUNG FÜR HAUPTVERSUCH BEI EXPERIMENTALBLOCK I	- 83 -
7.3 FRAGEBOGEN FÜR HAUPTVERSUCH BEI EXPERIMENTALBLOCK I	- 84 -
7.4 VERSUCHSANLEITUNG FÜR EXPERIMENTALBLOCK I	- 85 -
7.5 FRAGEBOGEN EXPERIMENTALBLOCK II	- 86 -

1. Allgemeine Einleitung:

„Als Kognition bezeichnet man jeden Prozess, durch den ein Lebewesen Kenntnis von einem Objekt erhält oder sich seiner Umwelt bewusst wird. Dazu zählen: Wahrnehmung, Erkennen, Vorstellen, Urteilen, Gedächtnis, Lernen, Denken und oft auch Sprache.“ (Wagenknecht, 1980).

Diese Diplomarbeit befasst sich mit den Prozessen der Kognition, die das Gedächtnis (im Besonderen das Arbeitsgedächtnis) betreffen. Mittlerweile sind verschiedene Gedächtnisstrukturen definiert, die sich in der Dauer der Erhaltung von Informationen unterscheiden.

Die unterschiedlichen Gedächtnisstrukturen:

In diesem Abschnitt werden kurz die verschiedenen Gedächtnisstrukturen, wie das sensorische Gedächtnis, das Kurzzeitgedächtnis, das Arbeitsgedächtnis als erweitertes Konzept des Kurzzeitgedächtnisses und das Langzeitgedächtnis vorgestellt.

Das Gedächtnis mit dem schnellsten Verlust von Informationen ist das **sensorische Gedächtnis**. Dieses lässt sich nochmals in das echoische und das ikonische Gedächtnis unterteilen. Das echoische Gedächtnis speichert alle akustischen Informationen die aufgenommen werden automatisch und ohne Erfordernis von Aufmerksamkeit für eine Zeitspanne von ca. 2 s. Das ikonische Gedächtnis speichert alle visuellen Informationen ebenso automatisch und ohne Erfordernis von Aufmerksamkeit für eine Zeitspanne von 0,2-0,5 s. Da dem sensorischen Gedächtnis eine hohe Kapazität zugesprochen wird, beruht der Verlust von Informationen auf einem zeitlichen Verfall (Gazzaniga et al., 2008).

Das **Kurzzeitgedächtnis** kann Informationen für einen Zeitraum zwischen Sekunden und Minuten speichern. Es hat Zugriff auf Informationen aus dem sensorischen Gedächtnis und kann durch Aufmerksamkeitssteuerung ausgewählte Informationen in den Kurzgedächtnisspeicher übertragen. Dort können Informationen durch *rehearsal*, ständigem gedanklichen Aufsagen der gemerkten Informationen, ins Langzeitgedächtnis übertragen werden. Ohne *rehearsal* gehen die Informationen nach 30 s verloren (McAfoose & Baune, 2009). Lange Zeit galt für das Kurzzeitgedächtnis eine limitierte Kapazität von 7 (\pm 2) Gedächtniseinheiten (Miller, 1956). Neuere Studien geben ein Kapazitätslimit von 4 Gedächtniseinheiten an (Cowan, 2000). Hierbei muss allerdings die Frage geklärt werden, was unter einer Gedächtniseinheit zu verstehen ist. Dies wird an späterer Stelle dieser Diplomarbeit erläutert. Der Verfall von Informationen kann beim Kurzzeitgedächtnis zum einen ein zeitlicher Verfall sein, zum andern kann durch eine, die Kapazitäten übertreffende Menge von Informationen, die bereits gespeicherte Information überlagert werden. Auf dem Konzept des Kurzzeitgedächtnisses baut das Konzept des Arbeitsgedächtnisses auf.

Das **Arbeitsgedächtnis** hat, wie bereits im Kurzzeitgedächtnis-Konzept beschrieben, die Möglichkeit, Informationen für Sekunden, bis hin zu Minuten, zu speichern. Auch hier gibt es eine limitierte Kapazität, die nur wenigen Gedächtniseinheiten (4-7) umfasst (Cowan, 2000). Die Erweiterung des Kurzzeitgedächtnis-Konzeptes beruht darauf, dass das Arbeitsgedächtnis nicht nur Informationen kurze Zeit erhalten kann (passives Gedächtnis), es kann diese Informationen auch manipulieren. Die Informationen erhält das Arbeitsgedächtnis zum einen vom sensorischen Gedächtnis, zum anderen kann es auch auf benötigte Informationen aus dem Langzeitgedächtnis zugreifen. Es dient also als Kopplungsstelle zwischen Wahrnehmung, Langzeitgedächtnis und Handlung (Cowan, 2003). Wann wir auf das Arbeitsgedächtnis zugreifen, welche Prozesse dabei eine Rolle spielen und welche geläufigen Modelle es vom Arbeitsgedächtnis gibt, wird in späteren Abschnitten dieser Einleitung genauer beschrieben.

Das **Langzeitgedächtnis** kann Informationen für Tage, bis hin zu Jahren speichern. Hier unterscheidet man zwischen deklarativem (explizitem) Gedächtnis und nicht-deklarativem (prozeduralem) Gedächtnis. Das deklarative Gedächtnis speichert Tatsachen und Ereignisse und lässt sich nochmals in semantisches Gedächtnis für Wissen über die Welt (Beispiel: „Durch Tübingen fließt der Neckar.“) und episodisches Gedächtnis für Erinnerungen an Erlebtes (Beispiel: „Letzten Sommer war ich im Neckar baden.“) unterteilen. Das nicht-deklarative Gedächtnis speichert Ergebnisse von Konditionierungsvorgängen und Bahnungen. Zum Abrufen dieser Informationen ist keine Aufmerksamkeit erforderlich (Beispiel: Auto- oder Fahrradfahren). Das Langzeitgedächtnis verfügt über eine nahezu unbegrenzte Kapazität.

Das Arbeitsgedächtnis:

Das Arbeitsgedächtnis wird in etlichen Situationen des Alltags in Anspruch genommen. Als Beispiel kann hier das Backen eines Kuchens nach Rezept angeführt werden. Bei dieser einfachen Aufgabe schaltet sich eine Vielzahl von aktiven Prozessen des Arbeitsgedächtnisses mit ein. Zum einen muss das Rezept zumindest teilweise memoriert werden: „Wie viel Mehl, wie viel Zucker und wie viele Eier benötige ich?“, „Wann vermische ich was miteinander?“. Weiterhin muss auf verschiedene Informationen aus dem Langzeitgedächtnis zugegriffen werden: „Wo ist das Mehl, wo ist der Zucker?“, „Wie funktionieren der Backofen und das Handrührgerät?“. Zuletzt muss der Backvorgang geplant werden und verschiedene Entscheidungen müssen getroffen werden, um das Backen zu erleichtern: „Wie viele Schritte aus dem Rezept merke ich mir, bevor ich es mir erneut durchlese?“, „Was mache ich zuerst (z.B.: Backofen vorheizen), was kann ich schon für später vorbereiten (z.B.: Schüsseln aus dem Schrank holen), welche Zutaten hole ich wann (z.B.: Milch und Eier gleichzeitig, da sich beide im Kühlschrank befinden)?“. Würde man nicht die Hilfe des Arbeitsgedächtnisses in Anspruch nehmen, würde man das Rezept Schritt für Schritt abarbeiten, was den Vorgang des Kuchenbackens zu einer langwierigen Aufgabe machen würde.

Es wird deutlich, dass das Arbeitsgedächtnis in vielen Situationen des Alltags beansprucht wird und viele verschiedene Prozesse steuert. Seit längerem wird versucht, das Arbeitsgedächtnis in einem passenden Modell darzustellen und die verschiedenen, vom Arbeitsgedächtnis gesteuerten Funktionen und Prozesse, miteinander zu verknüpfen. Im Folgenden werden die zwei bekanntesten und weitgehend anerkannten Modelle, Cowans „*embedded-process-Modell*“ (Cowan, 1999) und Baddeleys und Hitchs „Multi-Komponenten-Modell“ (Baddeley, 2000), beschrieben.

Cowans „*embedded-process-Modell*“

Cowan betrachtet das Arbeitsgedächtnis als einen im Langzeitgedächtnis eingebetteten Prozess (Abb. 1). Es besteht aus einem aktivierten Teil von Erinnerungen des Langzeitgedächtnisses und einem Aufmerksamkeitsfokus, dem sogenannten *focus of attention*. Die Aktivierung von Erinnerungen verläuft nach Cowan automatisch. Ein Teil der aktivierten Erinnerungen kann dann in den Aufmerksamkeitsfokus gelangen. Dieser hat jedoch eine limitierte Kapazität von 4 ± 1 Gedächtniseinheiten. Durch *rehearsal*, also ständigem Wiederholen der gespeicherten Gedächtniseinheiten, kann die Information im Fokus der Aufmerksamkeit behalten werden und steht für kognitive Prozesse, wie beispielsweise der Entscheidungsfindung oder der Bewertung von Objekten, zur Verfügung. Oberauer ergänzte dieses Modell durch einen noch engeren Aufmerksamkeitsfokus (Oberauer, 2002), welcher es ermöglicht einzelne Gedächtniseinheiten getrennt vom restlichen Aufmerksamkeitsfokus für kognitive Prozesse zu verwenden und die Aufmerksamkeit zwischen den Gedächtniseinheiten nach Belieben hin- und herzuschieben.

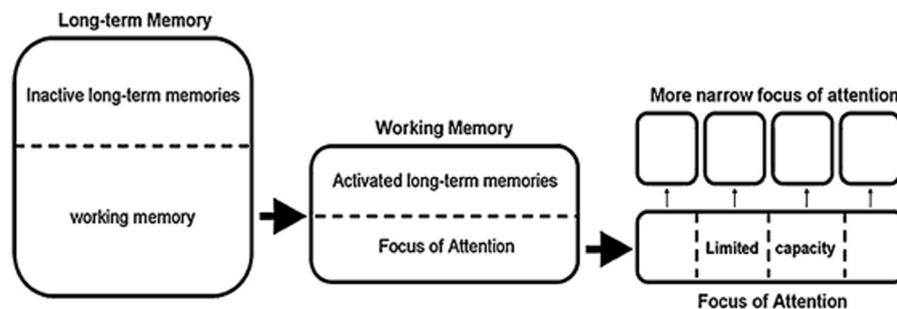


Abb. 1: Cowans „*embedded-process-Modell*“ (Cowan, 1999), erweitert durch Oberauer (Oberauer, 2002). Das Arbeitsgedächtnis ist ein in das Langzeitgedächtnis eingebetteter Prozess, der mit Hilfe eines Aufmerksamkeitsfokus eine begrenzte Anzahl von 4 ± 1 Gedächtniseinheiten aus aktivierten Erinnerungen des Langzeitgedächtnisses ziehen kann und mit Hilfe eines noch engeren Aufmerksamkeitsfokus zwischen diesen einzelnen Gedächtniseinheiten nach Belieben hin- und herspringen kann, um sie für kognitive Prozesse zu verwenden.

Baddeleys und Hitches „Multi-Komponenten-Modell“

Dieses Modell ist weniger prozessorientiert und bezieht sich eher auf die verschiedenen Modalitäten des Arbeitsgedächtnisses. Im Gegensatz zu Cowans Modell ist das Arbeitsgedächtnis in Baddeleys und Hitches Multi-Komponenten-Modell eine vom Langzeitgedächtnis unabhängige Einheit (Abb. 2). Sie besteht aus mehreren Komponenten: dem *phonological loop*, dem *visual-spatial sketchpad*, dem *episodic buffer* und der *central executive*. Diese vier Komponenten werden im Folgenden mit ihren unterschiedlichen Funktionen beschrieben:

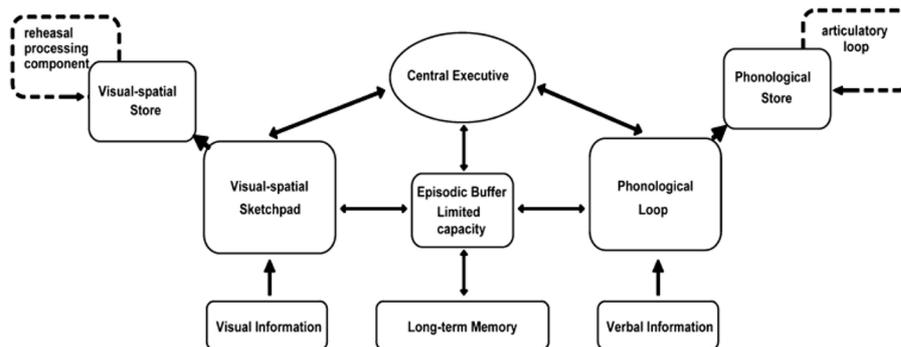


Abb. 2: Das erweiterte „Multi-Komponenten-Modell“ von Baddeley und Hitch (Baddeley, 2000). Verbale Information wird im *phonological store*, der Speichereinheit des *phonological loops*, durch *rehearsal* im *articulatory loop*, gespeichert. Visuelle Information wird im *visual-spatial store*, der Speichereinheit des *visual-spatial sketchpads*, ebenfalls durch *rehearsal*, gespeichert. Das Speichern von Informationen muss aktiv erfolgen und benötigt Aufmerksamkeit, die von der zentralen Exekutive („*central executive*“) gesteuert und verteilt wird. Eine zusätzliche Komponente, das *episodic buffer* kann, ebenfalls mit Hilfe von Aufmerksamkeit, auf Erinnerungen des Langzeitgedächtnisses zugreifen und mit den anderen beiden Komponenten (*phonological loop* und *visual-spatial sketchpad*) interagieren.

Eine Komponente ist der ***phonological loop*** („phonologische Schleife“). Dieser ist ein Teilsystem des Arbeitsgedächtnisses, welches verbale Information speichert und verarbeitet. Es ist eingeteilt in den passiven *phonological store* („phonologischer Speicher“), in welchen verbale Information automatisch einfließt und für ca. 2 Sekunden gespeichert wird, und dem *articulatory loop* („Artikulationsschleife“), welcher mit Hilfe von *rehearsal* die Information aktiv für längere Zeit im *phonological store* halten kann. Das *rehearsal* kann durch lautes Sprechen während der Aufrechterhaltung der Information unterbunden werden. Es wurden drei Effekte des *phonological loops* gefunden, die seine Funktionsweise und Besonderheiten genauer charakterisieren können. Der „Effekt phonologischer Ähnlichkeit“ beschreibt, dass ähnlich klingende verbale Informationen schlechter memoriert werden können, als verschieden klingende verbale Informationen. Dies lässt sich damit erklären, dass die Information phonologisch kodiert ist und ähnlich klingende verbale Informationen weniger Unterscheidungsmerkmale aufweisen, als verschieden klingende.

Der „Wortlängeneffekt“ zeigt, dass man sich eine geringere Anzahl von langen Worten merken kann, als von kurzen Worte. Dies bestätigt die Annahme, dass der *phonological store* verbale Information nur für kurze Zeit speichern kann. Es können nur so viele Wörter für längere Zeit behalten werden, wie über *rehearsal* in ca. 2 Sekunden wiederholt werden können. Da längere Wörter mehr Zeit benötigen, um in Gedanken aufgesagt zu werden, kann man in 2 Sekunden nur wenige lange Worte wiederholen, im Gegensatz zu kurzen Worten. Der *Irrelevant-speech*-Effekt zeigt, dass man verbale Gedächtnisaufgaben schlechter lösen kann, sobald verbale Information als Stör-Reiz im Hintergrund abgespielt wird. Dies bestätigt die Aussage, dass der *phonological store* verbale Informationen passiv aufnimmt und neue Information alte Information aufgrund begrenzter Kapazität verdrängen kann. Auch visuelle Information kann in verbale Information umkodiert werden und im *phonological loop* gespeichert werden (Baddeley, 1999). Memoriert man beispielsweise eine Sequenz von verschiedenen Bildern mit bekannten Motiven, kann die Information durch Benennung der Motive (Beispiel: „Auto, Ente, Mann, Apfel“) verbal kodiert und somit der *phonological loop* als Speicher verwendet werden.

Das *visual-spatial sketchpad* („visuell-räumlicher Skizzenblock“) ist die Komponente des Arbeitsgedächtnisses, in welcher visuelle (wie sieht ein Objekt aus) und räumliche (wo befindet sich ein Objekt) Informationen gespeichert werden. Das *visual-spatial sketchpad* lässt sich in einen *visual-spatial store* („visuell-räumlicher Speicher“) und eine *rehearsal processing component* („*rehearsal*-ausführende Komponente“) aufspalten. Ähnlich wie beim *phonological loop* zeigen Studien, dass auch hier Informationen automatisch in den *visual-spatial store* gelangen und aktiv über *rehearsal* aufrecht erhalten werden müssen. Das *visual-spatial sketchpad* hat ebenfalls eine begrenzte Kapazität. Versuche mit unterschiedlichen *Interference*-Aufgaben zeigten, dass man zwischen dem visuellen Teil und dem räumlichen Teil dieser Komponente unterscheiden muss. Dies zeigte Baddeley (2003) mit der *Corsi-Block*-Aufgabe (für den räumlichen Teil des *visual-spatial sketchpad*) und einer *pattern-span*-Aufgabe (für den visuellen Teil des *visual-spatial sketchpad*). Keine der beiden Aufgaben beeinflusste die Leistung der Versuchspersonen auf die jeweils andere Aufgabe.

Der *episodic buffer* („episodischer Puffer“) wurde erst im Jahre 2000 von Baddeley zum Multi-Komponenten-Modell hinzugefügt. Er stellt eine multi-modale Komponente mit limitierter Kapazität dar, welche Zugriff auf das Langzeitgedächtnis hat und sowohl phonologische, als auch visuelle Informationen verarbeiten und in Episoden speichern kann. Der *episodic buffer* ist durch die *central executive* aufmerksamkeitsgesteuert. Er kann auch als Speicher der *central executive* mit begrenzter Kapazität gesehen werden (Baddeley, 2003).

Die *central executive* („zentrale Exekutive“) ist ein Aufmerksamkeitssystem, welches für die Koordination der anderen Komponenten zuständig ist. Es steuert die Aufmerksamkeit auf relevante Informationen und/oder unterdrückt irrelevante Informationen. Es kann die Informationen aus den verschiedenen Komponenten und aus dem Langzeitgedächtnis integrieren und kognitive Prozesse koordinieren. Die *central executive* ist die komplexeste und am wenigsten verstandene Komponente des Multi-Komponenten-Modells (McAfoose & Baune, 2009).

In den Modellen von Cowan und Baddeley & Hitch wird von einer limitierten Kapazität ausgegangen, die in einer bestimmten Anzahl von Gedächtniseinheiten angegeben wird. Was genau eine Gedächtniseinheit ist, wird nun etwas näher erläutert.

Gedächtniseinheiten/chunks:

Als Gedächtniseinheiten, auch *chunks* genannt, werden Einheiten von Informationen betitelt, die einen Speicherplatz des Arbeitsgedächtnisses ausfüllen (Miller, 1956). Der Informationsgehalt dieser Einheit (*bit*) kann ganz unterschiedlich sein. So stellt bei einer Reihe von Buchstaben ohne Zusammenhang (Beispiel: X, L, P, W, L, T) jeder Buchstabe für sich eine einzelne Gedächtniseinheit dar. Oder aber, mehrere Buchstaben können zu einer größeren Gedächtniseinheit zusammengefasst werden, die ebenfalls einen Speicherplatz des Arbeitsgedächtnisses ausfüllt. Beispielsweise kann die Buchstabenfolge A, R, D, Z, D, F, R, T, L auch zu Abkürzungen für Fernsehsender zusammengefasst werden: ARD, ZDF, RTL. Somit werden diese 9 Gedächtniseinheiten auf 3 Gedächtniseinheiten reduziert. Das Zusammenfassen von Information zu einer Gedächtniseinheit wird auch *chunking* genannt (nach Miller, 1956). Für das *chunking* spielen die Aufmerksamkeit und der Zugriff auf das Langzeitgedächtnis eine entscheidende Rolle. Ein *chunk* kann zum einen mit Hilfe von Informationen des Langzeitgedächtnisses gebildet werden (wie am Beispiel der Fernsehsender gezeigt), zum anderen können auch neu gebildete *chunks* im Langzeitgedächtnis gespeichert werden (Cowan, 2000). In einem *chunk* können unterschiedliche Arten von Information miteinander verbunden sein (Farbe, Form, Position, Textur, Klang, usw.). Was einen *chunk* in seinem Informationsgehalt begrenzt und wie viel Information in den verschiedenen Modalitäten liegt, ist allerdings noch unklar.

Durch die begrenzte Ressource „Aufmerksamkeit“, die ständig neu eingeteilt wird und zu einer begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses führt, müssen im Alltag adaptive Beschaffungs- und Verarbeitungskosten des Arbeitsgedächtnisses gegen die Kosten für Verhalten abgewogen werden. Dies wurde schon am Beispiel für das Backen eines Kuchens deutlich: wie viel merke ich mir, um mir ein erneutes Nachschauen im Rezept zu ersparen? Was hole ich wann, um mir einen unnötigen Umweg zu ersparen? Einige Studien haben nun einen *trade-off*, also eine Optimierung des Energieaufwandes, zwischen Auslastung des Arbeitsgedächtnisses und Bewegung gefunden. Dieser *trade-off* wird im Folgenden genauer vorgestellt.

Trade-off zwischen Bewegung und Auslastung des Arbeitsgedächtnisses

Ballard et al. haben 1995 den *trade-off* zwischen Auslastung des Arbeitsgedächtnisses und Bewegung für eine Musterkopieraufgabe gefunden. Hierzu befestigten sie große Lego-Duplo-Bauplatten an einer Wand und teilten diese in drei Bereiche ein: *model* (dort wurde ein zu kopierendes Muster präsentiert), *source* (dort wurde eine Vielzahl von Steinen angeboten, die für das Kopieren des Musters verwendet werden sollten) und *workspace* (in diesem Bereich sollte das Muster kopiert werden). Mit Hilfe eines Eye-Trackers wurden Augenbewegung und Blickrichtung analysiert. Es wurde die Blickreihenfolge für die verschiedenen Stationen ausgewertet und in verschiedene Strategien zusammengefasst. Diese wurden dann in Strategien mit niedriger Gedächtnislastung, d.h. mit zwei Blicken auf das Modell, und in Strategien mit höherer Gedächtnislastung, d.h. mit einem oder keinem Blick auf das Modell, eingeteilt. Es wurde gezeigt, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nie vollständig ausgelastet wurde, geht man von Cowans Annahme einer Kapazität von 4 ± 1 Gedächtniseinheiten aus (Cowan, 2000). Es wurden zumeist Strategien mit niedriger Gedächtnislastung verwendet. Dies kann an hohen Kosten für das Memorieren oder an niedrigen Kosten für die Augenbewegung liegen. Bei einer Vergrößerung der Distanz zwischen den verschiedenen Stationen stiegen die Kosten für die Augenbewegung. Ballard et al. zeigten, dass nun vermehrt die Strategie mit hoher Gedächtnislastung angewendet wurde. Es wurde versucht, die erhöhten Kosten für die Augenbewegung mit erhöhten Kosten für das Memorieren auszugleichen. Somit kann man von einem *trade-off* zwischen Augen- und Armbewegung und Arbeitsgedächtnislastung sprechen, bei dem versucht wird, die Auslastung des Arbeitsgedächtnisses so gering wie möglich zu halten.

Auch Hardiess et al. (2008) fanden diesen *trade-off* bei einem visuellen Suchparadigma.

Wissenschaftliche Fragestellung

In dieser Diplomarbeit wird die Ressourcenverteilung zwischen Arbeitsgedächtnis und Bewegung betrachtet. Es wird untersucht, ob weitere *trade-offs*, wie zum Beispiel zwischen Arbeitsgedächtnislastung und Laufgeschwindigkeit, nachzuweisen und zu isolieren sind. Eine genauere Erläuterung ist in Kapitel „2.1 Spezielle Einleitung für Experimentalblock I“ ausgeführt.

Weiterhin wird untersucht, wie das Arbeitsgedächtnis mit haptischen Informationen umgeht. Die Ergebnisse werden mit denen für visuelle Informationen verglichen und in Zusammenhang mit Baddeleys „Multi-Komponenten-Modell“ diskutiert. Weitere Informationen über die Verarbeitung haptischer Informationen finden sich im Kapitel „3.1 Spezielle Einleitung für Experimentalblock II“.

2. Experimentalblock I: „*trade-off* zwischen Arbeitsgedächtnisauslastung und Laufgeschwindigkeit“

2.1. Spezielle Einleitung für Experimentalblock I: „*trade-off* zwischen Arbeitsgedächtnisauslastung und Laufgeschwindigkeit“

Angelehnt an die Studie von Ballard et al. (1995), untersuchten Hardiess et al. (2010, unveröffentlicht) den *trade-off* zwischen Arbeitsgedächtnisauslastung und Bewegung mit höheren Kosten für Bewegung. Sie verwendeten dieselbe Musterkopieraufgabe wie Ballard et al. (1995) und trennten die verschiedenen Stationen (Modell, Ressourcen und Arbeitsplatz) räumlich voneinander. Weiterhin kreierten sie 2 unterschiedliche Bedingungen („near“- und „far“-Bedingung), indem sie die Abstände der Stationen voneinander unterschiedlich groß gestalteten. In der „near“-Bedingung waren die Abstände zwischen den Stationen geringer, in der „far“-Bedingung größer. Dies hatte zur Folge, dass die Versuchspersonen zwischen den Stationen hin- und herlaufen mussten. Sie teilten, aufgrund der Besuche bei den Stationen und aufgrund der Anzahl der Modellbesuche, verschiedene Laufstrategien ein. Diese unterschieden sie in Strategien mit hoher Gedächtnisauslastung (ohne Modellbesuch) und Strategien mit niedriger Gedächtnisauslastung (mit Modellbesuch). Es zeigte sich, dass Versuchspersonen bei der „far“-Bedingung häufiger die Strategie mit hoher Gedächtnisauslastung verwendeten, als bei der „near“-Bedingung. Somit kann der *trade-off* auf das Laufen ausgeweitet werden und ist nicht nur auf die Augenbewegung beschränkt. In weiteren Versuchen mit unterschiedlichen Musterkomplexitäten und *chunks* (2010, unveröffentlicht) fanden Hardiess et al. einen weiteren interessanten Effekt: je komplizierter das Muster, welches zu memorieren war, desto langsamer liefen die Versuchspersonen zwischen den verschiedenen Stationen hin und her.

In einer weiteren Studie (Lindenberg et al., 2000) wurde gezeigt, dass ältere Menschen beim Memorieren, während sie in einer auf dem Boden aufgetragenen Spur liefen, langsamer und ungenauer liefen (häufigeres Übertreten der Spur), als ohne Memorieren.

Dies kann eventuell mit einem weiteren *trade-off*, bei welchem die Verteilung von Aufmerksamkeit als Ressource eine Rolle spielt, erklärt werden. Wie bereits erwähnt, benötigt aktives *rehearsal* Aufmerksamkeit, welche von der *central executive* des Arbeitsgedächtnisses verteilt wird. Aktives *rehearsal* ist wichtig, um Informationen im Arbeitsgedächtnis zu behalten. Auch das sichere Bewegen im Raum benötigt Aufmerksamkeit für verschiedene Prozesse, wie dem „*spatial updating*“, also dem Aktualisieren räumlicher Informationen oder auch der Hindernisvermeidung (Sholl&Fraone, 2004). Es wäre möglich, dass diese verschiedenen Prozesse um Aufmerksamkeit konkurrieren. Bei einer hohen Auslastung des Arbeitsgedächtnisses durch Memorieren komplexer Muster könnte die Ressource Aufmerksamkeit nicht ausreichen, um andere

aufmerksamkeitsfordernde Prozesse, die sicheres Laufen sicherstellen, zu garantieren. Daraus könnte langsames und ungenaueres Laufen resultieren.

Im ersten Experimentalblock wird nun versucht, die Vermutung über diesen *trade-off* zu bestätigen und ihn zu isolieren. Hierzu wird eine Musterkopieraufgabe, wie bei Ballard et al., mit unterschiedlichen Mustergrößen und -komplexitäten verwendet und die Laufzeit für eine Strecke zwischen Modell und Arbeitsplatz mit Ressource analysiert.

2.2. Vorversuche

Die Vorversuche dienten zur Optimierung einiger Parameter des Hauptversuchs, wie beispielsweise Wegstrecken, Memorierungszeiten oder Musterarten, die für das Isolieren des erwarteten Effektes notwendig sind. Dies war nötig, da in der Literatur nur wenige Anhaltspunkte für geeignete Parameter zu finden sind. Bei den Vorversuchen wurde eine geringe Anzahl von Versuchspersonen getestet. Auf eine detaillierte Auswertung der Vorversuche wurde verzichtet.

In den Vorversuchen wurden Laufzeiten mit selbstgebauten Lichtschranken gemessen. Nach den Vorversuchen wurde klar, dass Messungen mit diesem Lichtschrankenaufbau, im Vergleich zu Messungen mit dem Headtracking-System aus dem Versuch von Hardiess et al. (2010, unveröffentlicht), ungeeignet waren, um zuverlässige Werte im Zehntelsekunden-Bereich zu liefern. Dies lag an der Montierung der Lichtschranken in Kniehöhe. Dadurch kam es im Vergleich zum Headtracking zu einer Verschiebung der Zeiten um -122 ms bei einer Laufstrecke von 5 m, da beim Gehen der Fuß dem Kopf (Körper) meist vorangestellt ist. Weiterhin kam es bei der Lichtschrankenmessung zu einer Standardabweichung von 139 ms, welche auf das Durchqueren der Lichtschranke in unterschiedlichen Phasen des Gehens zurückzuführen ist. Die abweichenden Werte für die Lichtschranken im Verhältnis zum Headtracking-System sind in Abb. 3 dargestellt. Als Folge dessen wurde im Hauptversuch mit dem Headtracking-System (siehe 2.3. Material und Methoden, Kapitel „Apparatur“, S. 32) gemessen.

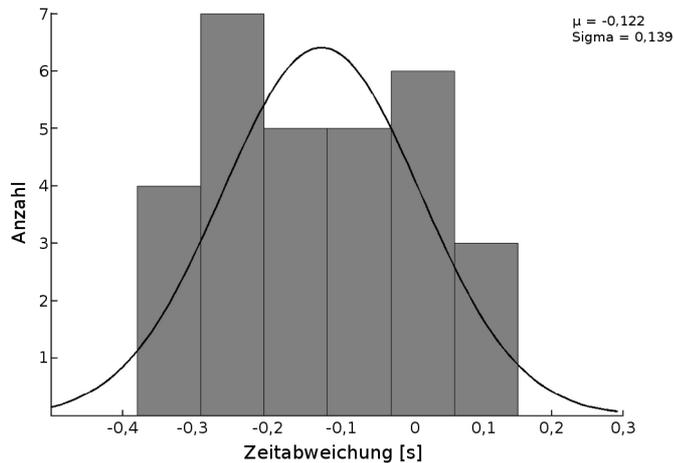


Abb. 3: Abweichung der Lichtschrankenmessung im Vergleich zum Headtrackingsystem mit gefitteter Gauss-Funktion. Es wurden 3 Versuchspersonen mit je 10 Läufen gemessen. Die Laufdistanz betrug 5 m. Die Lichtschrankenmessung verschob sich im Mittel um -0,122 s mit einer Standardabweichung von 0,139 s.

Material und Methoden:

Allgemeiner Versuchsaufbau:

Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, am Monitor präsentierte Muster, bestehend aus bis zu 7 Lego-Duplo-Steinen (im Folgenden „*Steine*“ genannt), so exakt wie möglich nachzubauen. Dazu sollten sie sich das Muster einprägen und sich an einen, einige Meter entfernten, dafür vorgesehenen Arbeitsplatz begeben. Der Arbeitsplatz bestand aus einem auf ein DINA4-Blatt aufgedruckten Gitternetz, welches das Positionieren der Steine und somit das Kopieren der Muster erleichtern sollte. Direkt beim Arbeitsplatz befand sich eine Kiste mit einer ausreichenden Anzahl von Steinen zum Nachbauen (im Folgenden „*Ressource*“ genannt). Es wurde die Zeit gemessen, welche die Versuchspersonen für das Memorieren des Musters, Laufen zum Arbeitsplatz, Nachbauen des Musters und Zurücklaufen zum Monitor, benötigten.

Im Laufe der Vorversuche wurden folgende Parameter des Versuchsaufbaus variiert:

- Vorversuch 1: Freies Laufen mit Übersteigen von Hindernissen, unterschiedliche Mustergrößen
- Vorversuch 2: Laufen mit vorgegebener Spur um Hindernisse, unterschiedliche Mustergrößen
- Vorversuch 3: Laufen mit Pfad über ein Hindernis mit unterbundenem *rehearsal*, unterschiedliche Mustergrößen

- Vorversuch 4: Kurze Präsentationsdauer für Muster, konstante Mustergrößen, jedoch unterschiedliche Musterkomplexität

Apparatur:

Für die Präsentation der Muster wurde ein *Intel Pentium 4* (2,60 GHz, 512 MB RAM) PC mit dem Betriebssystem *Microsoft Windows XP Professional (Version 2002)* verwendet. Die Muster wurden auf einem *EIZO FlexScan L367* Monitor mit 15 Zoll gezeigt. Für Vorversuch 1-3 wurden die präsentierten Muster mit einer *Canon PowerShot G7* Kamera (10.0 Megapixel) abfotografiert. Die Zeit wurde in den Vorversuchen mit selbstgebauten Lichtschranken mit einer Infrarotlichtlampe mit Lichtreflektor auf der einen Seite und einem Infrarotlichtsensor auf der anderen Seite gemessen. Die Lichtschranken wurden am Startpunkt (Monitor mit Modell) und am Zielpunkt (Arbeitsbereich) mit Hilfe von Stativen auf einer Höhe von 50 cm und einem Abstand zwischen Lampe und Sensor von 100 cm installiert.

Software:

Das Programm zur Durchführung des Versuchs wurde mit *Matlab Version 7.7.0.471 (R2008b)* geschrieben. Ausgewertet wurde mit *Matlab Version 7.7.0.471 (R2008b)* und *Microsoft Excel 2002*. Die in Vorversuch 4 präsentierten Muster wurden mit *Adobe Photoshop CS* erstellt.

Muster (Vorversuch 1-3):

Es wurden sieben verschiedenfarbige Steine für die Generierung der Präsentationsmuster verwendet: rot, blau, grün, gelb, schwarz, weiß, orange. Die Muster unterschieden sich in Größe, Form und Farbkombination. Es wurden 4 verschiedene Mustergrößen verwendet: 1er-Muster, 3er-Muster, 5er-Muster und 7er-Muster. Von jeder Mustergröße gab es 4 verschiedene Modelle.

Um die Komplexität der Muster konstant zu halten, wurden folgende Regeln festgesetzt:

- Die Kanten der Steine lagen immer komplett an denen der benachbarten Steine an
- Kein Muster war länger oder breiter als 4 Steine in einer Reihe
- Es kam nie ein Stein derselben Farbe zweimal in einem Muster vor

Die Muster wurden abfotografiert und den Versuchspersonen anschließend als Bilddatei präsentiert. Beispiele der jeweiligen Mustergrößen sind in Abbildung 4 dargestellt.

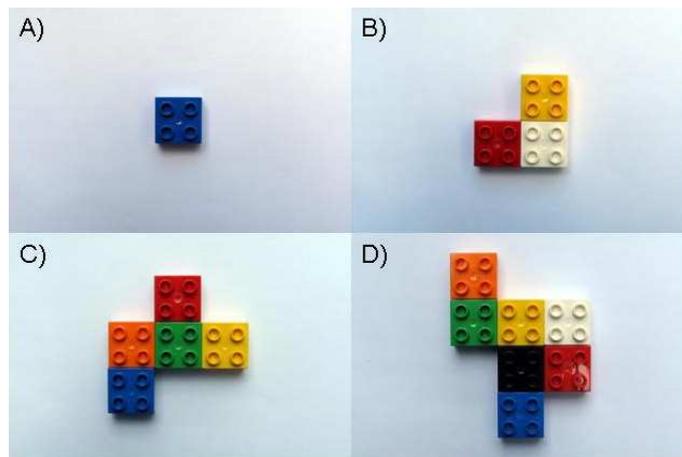


Abb. 4: Beispielmuster für die Vorversuche 1-3. A) 1er-Muster; B) 3er-Muster; C) 5er-Muster; D) 7er-Muster

Es wurden zwei Probedurchgänge mit 4er-Mustern durchgeführt, um die Versuchspersonen an die Aufgabe zu gewöhnen. Darauf folgten 16 Hauptdurchgänge.

Als Ressource stand den Versuchspersonen eine Box mit 14 Steinen zur Verfügung, von denen jeweils 2 die gleiche Farbe hatten (rot, blau, grün, gelb, schwarz, weiß, orange).

Hindernisse:

Als Hindernisse wurden leere Druckerpapierkartons benutzt, welche mit weißem Papier abgeklebt worden waren. Die Kartons waren 31 cm lang, 22 cm breit und 19 cm tief. Die Hindernisse konnten nach Angaben der befragten Versuchspersonen bequem überstiegen oder umlaufen werden.

Vorversuch 1:

Spezieller Versuchsaufbau:

In diesem Vorversuch wurden 4 Versuchspersonen getestet. Die jeweilige Versuchsperson stellte sich zu Beginn des Experimentes vor den Monitor, an welchem das Muster präsentiert wurde (M in Abb. 5). Durch Anklicken eines „Start“-Buttons mit der Maus wurde das Experiment gestartet. Es wurde zunächst eine Kurzanleitung präsentiert, in der nochmals die wichtigsten Punkte zur Versuchsdurchführung aufgeführt wurden. Anschließend konnte sich die Versuchsperson durch Drücken eines „Weiter“-Buttons das erste Muster beliebig lange präsentieren lassen. Nach dem Einprägen des Musters begab sich die Versuchsperson in Richtung Arbeitsplatz.

Beim Passieren der ersten Lichtschranke (LS1, Abb. 5) wurde das Muster auf dem Monitor ausgeblendet, um späteres Zurückblicken und neues Einprägen zu verhindern. Auf dem Weg zum Arbeitsplatz musste die Versuchsperson über 3 Hindernisse (H, Abb. 5) steigen, welche in unterschiedlichem Abstand voneinander (2 m, 5 m und 8,5 m von der ersten

Lichtschanke entfernt) aufgebaut wurden. Dies sollte eine regelmäßige Schrittfolge der Versuchsperson unterbinden und somit mehr Aufmerksamkeit auf das Gehen lenken.

Nach Passieren der zweiten Lichtschanke erreichte die Versuchsperson den Arbeitsplatz mit Ressource (A und R, Abb. 5). Die Strecke zwischen den 2 Lichtschanken betrug 10 m.

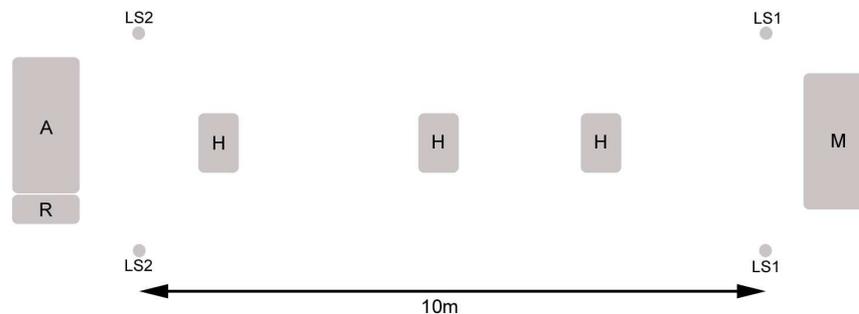


Abb. 5: Versuchsaufbau für Vorversuch 1.
M: Modell (Präsentation der Muster); LS: Lichtschranken (für die Zeitmessung);
H: Hindernisse (zum Übersteigen) ; A: Arbeitsbereich (Kopieren der Muster) ;
R: Ressource (Auswahl an Steinen)

Nachdem die Versuchsperson das Muster nachgebaut hatte, lief sie auf demselben Weg wieder zurück. Währenddessen wurde das Muster zur späteren Fehleranalyse abfotografiert und die gelegten Steine wurden wieder in die Ressourcen-Box zurückgelegt.

Nach erneutem Passieren der ersten Lichtschanke erschien ein „Weiter“-Button auf dem Monitor, durch dessen Anklicken mit der Maus der nächste Durchgang begann, indem das nächste Muster präsentiert wurde.

Insgesamt bestand der Versuch aus 2 Probedurchgängen und 16 Hauptdurchgängen, in denen die Muster randomisiert präsentiert wurden.

Es wurden folgende Zeiten gemessen:

- Memorierungszeit: Zeit ab Musterpräsentation bis zum Passieren der ersten Lichtschanke
- Laufzeit mit memoriertem Muster: Zeit ab Passieren der ersten Lichtschanke bis zum Passieren der zweiten Lichtschanke
- Nachbauzeit: Zeit ab Passieren der zweiten Lichtschanke bis zum erneuten Passieren der zweiten Lichtschanke
- Rücklaufzeit: Zeit ab dem zweiten Passieren der zweiten Lichtschanke bis zum erneuten Passieren der ersten Lichtschanke.

Ergebnisse:

Die Versuchspersonen kopierten in den Vorversuchen 1-3, bis zu einer Größe von 5 Steinen pro Mustern, die Muster mit einer Quote von über 70% richtig. Für 7er-Muster fiel die Quote nie unter 50%. Auf eine genauere Analyse der Fehler wurde für Vorversuch 1-3 verzichtet.

In Abb. 6 sind die gemittelten Zeiten für die jeweiligen Zeitabschnitte gegen die Mustergröße aufgetragen. Abb. 6 A zeigt die Memorierungszeit für die unterschiedlichen Mustergrößen. Man sieht, dass die Memorierungszeit von 1,60 s mit einem Standardfehler (im Folgenden mit „SEM“ abgekürzt) von $\pm 0,26$ s bei 1er-Mustern auf 19,42 s (SEM: $\pm 1,77$ s) bei 7er-Mustern stieg. Den größten Sprung bei der Memorierungszeit gab es mit 10,56 s zwischen den 5er- und 7er-Mustern.

Für den Laufzeitunterschied bei den verschiedenen Mustergrößen (Abb. 6, B) wurde das Delta in Bezug auf das 1er-Muster gebildet (Delta= Laufzeitmittelwert für 1er/3er/5er/7er-Muster - Laufzeitmittelwert für 1er-Muster). Die Laufzeiten für das 1er-Muster wurden als Richtwert genommen, da man nur beim 1er-Muster sichergehen kann, dass die Auslastung des Arbeitsgedächtnisses (Anzahl der gemerkten Steine während des Laufs) sehr gering ist (1 Stein). Auch in den folgenden Vorversuchen wurde der Wert für Delta auf diese Art berechnet. Hier ist zu erkennen, dass die Zeit im Bezug zum 1er-Muster leicht abfiel, je größer das zu kopierende Muster ist (Abfall um bis zu 140 ms für 7er-Muster). Der Standardfehler für diese Zeit war jedoch hoch (129 ms für 7er-Muster).

Die Zeit, die für das Nachbauen benötigt wurde (Abb. 6, C), stieg von 3,94 s (SEM: $\pm 0,19$ s) beim 1er-Muster auf 25,55 s (SEM: $\pm 1,25$ s) beim 7er-Muster.

Die Zeit für das Zurücklaufen (Abb. 6, D) lag relativ konstant zwischen 7,08 s (SEM: $\pm 0,86$ s) für 1er-Muster und 6,81 s (SEM: $\pm 0,90$ s) für 7er-Muster.

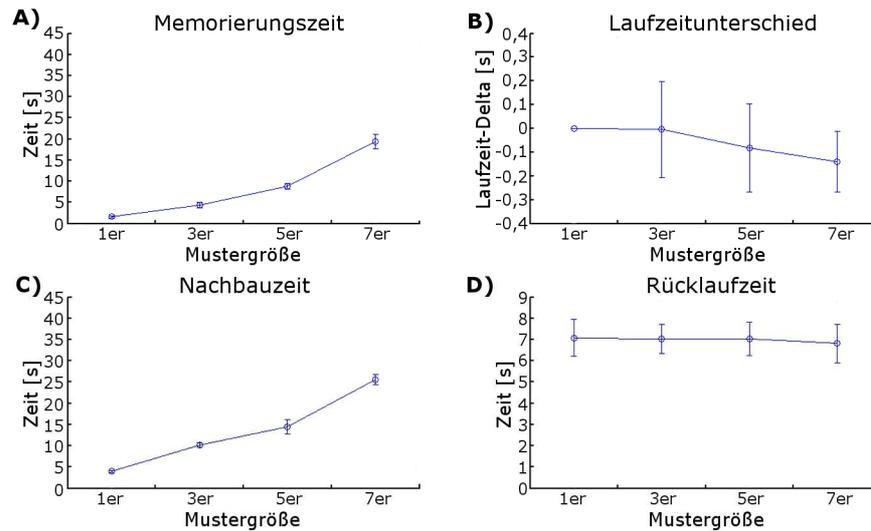


Abb. 6: Gemittelte Zeiten für Vorversuch 1.

A) Memorierungszeit: Die Zeit vom ersten Blick auf das Muster bis zum Passieren der ersten Lichtschranke; B) Laufzeitunterschied: Der Unterschied der Zeit, die für das Zurücklegen der Strecke zwischen erster und zweiter Lichtschranke benötigt wurde; C) Nachbauzeit: Zeit, die vom ersten Passieren der zweiten Lichtschranke bis zum zweiten Passieren der zweiten Lichtschranke benötigt wurde; D) Rücklaufzeit: Zeit, die bis zum Zurücklaufen der Strecke zwischen zweiter und erster Lichtschranke benötigt wurde. Alle Zeiten mit Standardfehler, $n = 4$.

Diskussion:

Die Fehlerquote zeigt, dass die Aufgabe für die Versuchspersonen gut lösbar war. Der Anstieg der Memorierungszeit bei steigender Mustergröße lässt darauf schließen, dass der Aufwand zum Memorieren größer wird. Somit ist gezeigt, dass Muster schwieriger zu memorieren sind, wenn man die Anzahl der Steine erhöht. Der starke Sprung der Memorierungszeit zwischen Mustergröße 5 und 7 deutet an, dass sich ein zusätzlicher Prozess zum Memorieren hinzu geschaltet hat. Es ist zum einen zu vermuten, dass bei einer Mustergröße von 7 Steinen der Prozess des *chunkings* stattfindet (Simon, 1974; Cowan, 2000), zum anderen könnte man auch annehmen, dass bei einer Mustergröße von 7 Steinen die Speicherkapazität des Arbeitsgedächtnisses erschöpft ist (Cowan, 2000) und das Muster ins Langzeitgedächtnis übertragen wird (Nikolic & Singer, 2007). Zur genaueren Diskussion dieser Annahmen siehe Diskussion des Hauptversuches (S. 42, Abschnitt „Auswertung der Zeiten“).

Da die Laufzeit bei steigender Mustergröße in Abb. 6 abfällt, kann man sagen, dass die Versuchspersonen nach dem Memorieren größerer Muster die Strecke schneller zurücklegen. Aufgrund des hohen Standardfehlers und der Messungenauigkeit unseres Versuchsaufbaus (siehe Abb. 3, S. 13) ist eine weitere statistische Auswertung nicht aussagekräftig.

Die Dauer für das Nachbauen der Muster nimmt permanent mit der Mustergröße zu. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit steigender Anzahl abgelegter Steine mehr Zeit benötigt

wird. Da die Dauer etwa linear zunimmt, kommt es wohl außer dem Zeitaufwand für die physikalische Bewegung des Ablegens der Steine zu keinem zusätzlichen Zeitaufwand.

Da die Zeit für das Zurücklaufen nach dem Kopieren der Muster relativ konstant ist, hat die Mustergröße keinen Einfluss auf das Laufverhalten der Versuchspersonen, nachdem das Muster kopiert wurde.

Da bei der Laufzeit zwischen Memorieren und Kopieren der Muster der erwartete Effekt nicht gezeigt werden konnte, kam es zur Überlegung, dass dies wohl auf zu geringe Kosten für die Aufmerksamkeit auf den Laufweg zurückzuführen sein könnte. Somit wurde versucht, die Kosten für den Laufweg in Vorversuch 2 zu erhöhen.

Vorversuch 2:

Spezieller Versuchsaufbau:

Um die Kosten für den Laufweg zu erhöhen wurde in diesem Vorversuch eine schmale Linie mit Krepp-Band auf den Boden geklebt, welche in Bögen um die Hindernisse führte (Abb. 7). Die Versuchspersonen bekamen zusätzlich die Anweisung, dieser Linie so genau wie möglich zu folgen. In diesem Vorversuch wurden 5 Versuchspersonen getestet. Der Rest des Versuchsaufbaus ist mit Vorversuch 1 identisch.

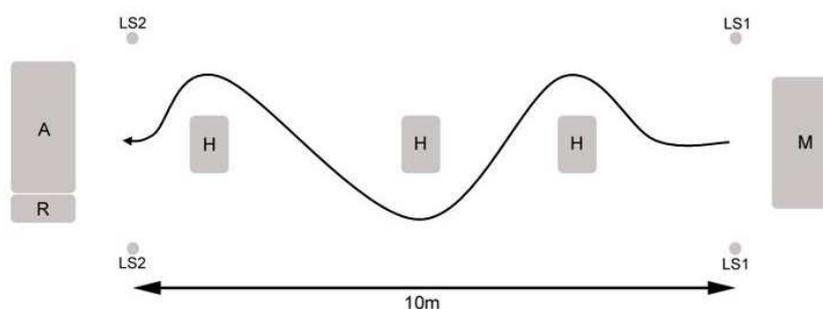


Abb. 7: Versuchsaufbau für Vorversuch 2.

M: Modell (Präsentation der Muster); LS: Lichtschranken (für die Zeitmessung);
H: Hindernisse (zum Umlaufen) ; A: Arbeitsbereich (Kopieren der Muster) ;
R: Ressource (Auswahl an Steinen). Geschwängelte Linie : Spur, auf welcher die Versuchspersonen um die Hindernisse geführt wurden.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse für Vorversuch 2 sind in Abb. 8 dargestellt. Abb. 8 A zeigt die Memorierungszeit in Abhängigkeit von der Mustergröße. Die Zeit stieg von durchschnittlich 1,71 s (SEM: $\pm 0,30$ s) bei 1er-Mustern auf 27,35 s (SEM: $\pm 4,00$ s) bei 7er-Mustern. Auch hier war der größte Sprung bei den Memorierungszeiten zwischen 5er- und 7er-Mustern zu

beobachten (15,29 s). Generell war ein Anstieg der Memorierungszeiten im Vergleich zu Vorversuch 1 zu erkennen.

Bei den Deltas der Laufzeiten vom Modell zum Arbeitsbereich (Abb.8, B) gab es ebenfalls, wie bei Vorversuch 1, geringe Abfälle mit hohen Standardfehlern. Das größte Delta war bei den 3er-Muster zu finden (-0,21 s; SEM: $\pm 0,10$ s). Auch die anderen Mustergrößen hatten ein Delta im Negativbereich.

Die Zeit, die für das Nachbauen der Muster (Abb. 8, C) benötigt wurde, stieg mit der Mustergröße an (von 4,33 s (SEM:0,42 s) für 1er-Muster bis 24,15 s (SEM:3,55 s) für 7er-Muster). Hier zeigte sich kein nennenswerter Unterschied zu den Zeiten von Vorversuch 1.

Die Dauer für das Zurücklaufen (Abb. 8, D) pendelte sich hier bei einer Zeit knapp über 8 s ein (Min: 8,09 s (SEM: $\pm 0,46$ s) bei 5er-Mustern; Max: 8,27 s (SEM: $\pm 0,49$ s) bei 1er-Mustern).

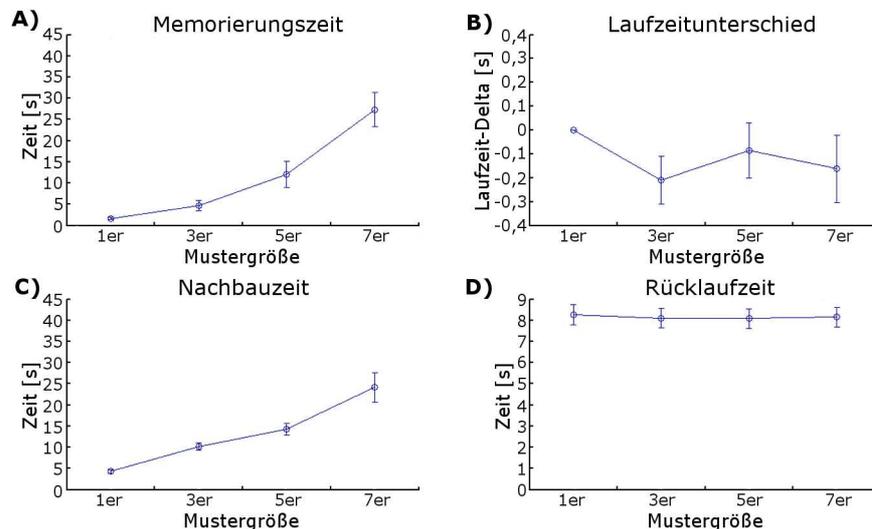


Abb. 8: Gemittelte Zeiten für Vorversuch 2.
Zur Erklärung der Zeiten siehe Abb. 6, S. 18. Alle Zeiten mit Standardfehler, n= 5.

Diskussion:

Auch bei Vorversuch 2 ist wie bei Vorversuch 1 zu sehen, dass es bei der Memorierungszeit einen großen Sprung zwischen 5er- und 7er-Muster gibt. Dies bestätigt die Vermutung, dass man für das Memorieren von 7er-Mustern auf weitere Ressourcen zugreifen muss. Der große Unterschied in der Memorierungszeit zwischen den beiden Vorversuchen ist unerwartet, da es sich um die gleichen Muster handelt. Dies kann aber möglicherweise durch die sehr kleine Stichprobengröße erklärt werden (n= 5).

Die Deltas der Laufzeiten schwankten auch hier zwischen 0 und -200 ms und werden aufgrund des hohen Standardfehlers und des ungenauen Messaufbaus nicht diskutiert.

Die Nachbauzeiten in Vorversuch 2 sind nahezu identisch mit denen aus Vorversuch 1, was auch zu erwarten war, da es sich um die gleichen Muster handelte.

Die Rücklaufzeit war hier ebenfalls nahezu konstant. Die Erhöhung der Rücklaufzeit von ca. 7 s in Vorversuch 1 auf ca. 8 s in Vorversuch 2 ist durch die Verlängerung der Laufstrecke durch die gebogene Spur um die Hindernisse zu erklären.

Da trotz der erhöhten Kosten für den Laufweg der erwartete Effekt nicht gezeigt werden konnte, wurden weitere Überlegungen angestellt, weshalb der erwartete Effekt nicht eintrat. Beispielsweise könnte eine Strecke von 10 m zu lang sein, um das Memorierte im Arbeitsgedächtnis zu behalten, so dass sich die Versuchspersonen übermäßig beeilen, um die gespeicherte Information so schnell wie möglich wieder abzugeben. Eine weitere Erklärung wäre, dass die Versuchspersonen noch auf einen anderen Speicher, wie beispielsweise den *phonological loop*, zurückgreifen (Baddeley, 2003), um das Memorierte besser zu behalten. Diese Überlegungen führten zu den veränderten Parametern in Vorversuch 3.

Vorversuch 3:

Spezieller Versuchsaufbau:

In diesem Vorversuch wurde mit Krepp-Band ein 20 cm schmaler Pfad auf den Boden geklebt. Die Strecke zwischen den Lichtschranken wurde auf 5 m verkürzt, um die Laufzeit zu verkürzen und somit ein zeitabhängiges Vergessen des Musters zu vermeiden (Abb. 9). Weiterhin wurde ein *rehearsal* der Farbkombinationen, wie es laut einiger Versuchspersonenberichte in den anderen Vorversuchen oft gemacht wurde, unterbunden. Dies wurde durch die Anweisung, wiederholt laut das Wort „AJA-BEJA“ aufzusagen, gewährleistet. Zweck dieser Unterbindung war es, das Muster gezwungenermaßen im *visual-spatial sketchpad* abzuspeichern und nicht auf die Ressourcen des *phonological loops* zurückzugreifen. Das Wort „AJA-BEJA“ wurde als Nonsense-Wort bewusst ausgewählt, um eine bildliche Verbindung zum gesagten Wort auszuschließen. Es wurden 10 Versuchspersonen getestet. Der Rest des Versuchsdesigns entsprach dem, der ersten beiden Vorversuche.

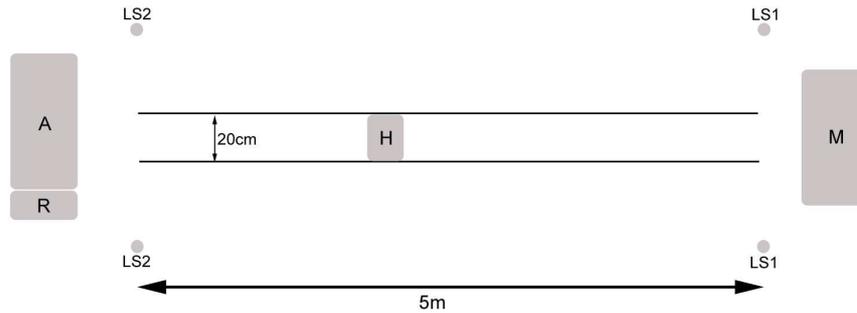


Abb. 9: Versuchsaufbau für Vorversuch 3.
M: Modell (Präsentation der Muster); LS: Lichtschranken (für die Zeitmessung);
H: Hindernisse (zum Übersteigen) ; A: Arbeitsbereich (Kopieren der Muster) ;
R: Ressource (Auswahl an Steinen); Durchgezogene Linien: Pfad, innerhalb
welchem die Versuchspersonen laufen sollten

Ergebnisse:

Abb. 10 A zeigt die Memorierungszeit für die verschiedenen Mustergrößen für Vorversuch 3. Die Zeiten lagen mit Werten von 2,15 s (SEM: $\pm 0,38$ s) für 1er-Muster bis 36,88 s (SEM: $\pm 6,58$ s) für 7er-Muster nochmals deutlich über den Memorierungszeiten der Vorversuche 1 und 2. Auch hier war der größte Sprung zwischen 5er- und 7er-Mustern zu beobachten.

Das Delta der Laufzeiten ist in Abb. 10, B gezeigt. Die Laufzeiten für größere Muster stiegen im Vergleich zum 1er-Muster im Schnitt um mehr als 110 ms (Min.: 0,11 s (SEM: $\pm 0,06$ s) für 5er-Muster; Max.: 0,13 s (SEM: $\pm 0,07$ s) für 3er-Muster).

Die Nachbauzeiten (Abb. 10, C) für die verschiedenen Mustergrößen stiegen von 4,17 s (SEM: $\pm 0,24$ s) für 1er-Muster bis hin zu 32,89 s (SEM: $\pm 2,77$ s) für 7er-Muster. Die Zeiten sind im Vergleich zu den ersten beiden Vorversuchen erhöht.

Die Rücklaufzeiten (Abb. 10, D) lagen mit Werten zwischen 4,48 s (SEM: $\pm 0,19$ s) für 1er-Muster und 4,63 s (SEM: $\pm 0,22$ s) für 3er-Muster unter den Werten der Vorversuche 1 und 2.

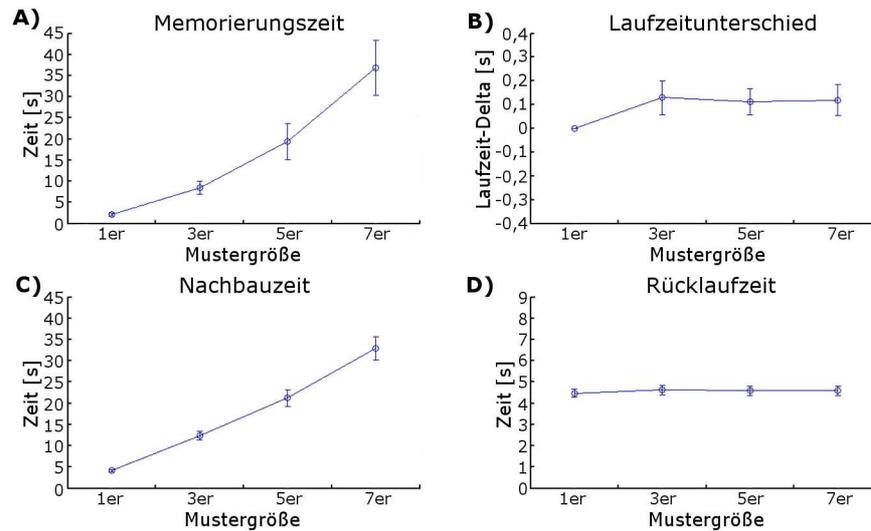


Abb. 10: Gemittelte Zeiten für Vorversuch 3.
Zur Erklärung der Zeiten siehe Abb. 6, S. 18. Alle Zeiten mit Standardfehler, n= 10.

Diskussion:

Die erhöhte Dauer für das Memorieren im Vergleich zu den ersten beiden Vorversuchen ist wohl auf das Unterbinden des *rehearsals* zurückzuführen, da sich am Versuchsdesign sonst nichts verändert hat, das die Memorierung betreffen könnte. Dadurch benötigen die Versuchspersonen mehr Zeit, sich die Muster einzuprägen. Somit kann angenommen werden, dass das *rehearsal* das Einprägen der Muster erleichtert.

Die Laufzeiten stiegen bei einer Mustergröße ab 3 Steinen zwar an, allerdings sind auch hier die Laufzeitunterschiede zu gering und der Standardfehler zu hoch, um nicht von der Messungenauigkeit beeinflusst zu werden. Somit kann man auch hier keine Aussage über den erwarteten Laufzeit-Effekt aus den Werten ziehen. Die leichte Erhöhung der Nachbauzeit im Vergleich zu den ersten beiden Versuchen ist entweder durch die etwas größere Stichprobengröße von 10 Versuchspersonen, oder aber durch das Unterbinden des *rehearsals* zu erklären, wodurch die Versuchspersonen etwas mehr Zeit benötigten, um das zu kopierende Muster aus dem Gedächtnis abzurufen. Die niedrigere Rücklaufzeit im Vergleich zu den ersten beiden Vorversuchen ist auf die Verkürzung der Laufstrecke auf 5 m zurückzuführen.

Auch mit diesem Versuchsdesign konnte der erwartete Effekt nicht nachgewiesen werden. Weitere Überlegungen waren nun, zum einen das Versuchsdesign näher an das Versuchsdesign von Hardiess et al. (2010, unveröffentlicht) anzupassen. Diese benutzen für ihren Versuch Muster unterschiedlicher Komplexität und es fand kein Unterbinden des *rehearsals* statt. Zum anderen wurde überlegt, die Memorierungszeit zu verringern. Dies sollte ausschließen, dass andere Ressourcen als das Arbeitsgedächtnis, wie zum Beispiel das Langzeitgedächtnis, in Anspruch genommen werden. Diese Überlegungen führten zum Versuchsdesign für Vorversuch 4.

Vorversuch 4:

Muster:

In diesem Vorversuch variierten die Muster nicht in ihrer Größe, sondern in ihrer Komplexität.

Es wurden 5er-Muster gebildet, die in drei Kategorien nach ihrer Komplexität eingeteilt wurden:

- einfaches 5er-Muster: Die Kanten benachbarter Steine lagen immer komplett aneinander (Abb. 11, B)
- mittel-komplexes 5er-Muster: 2 Steine lagen mit ihrer Kante nur zur Hälfte an den benachbarten Steinen an, die restlichen Kanten benachbarter Steine lagen komplett aneinander (Abb. 11, C)
- komplexes 5er-Muster: 2 Steine lagen mit ihrer Kante nur zur Hälfte an den benachbarten Steinen, 2 Steine berührten die benachbarten Steine nur an der Ecke, die restlichen Steine lagen mit ihren Kanten komplett an den benachbarten Steinen an (Abb. 11, D)

Um einen Kontrollwert für eine niedrige Gedächtnislast zu haben, wurde in jedem zweiten Durchgang ein 2er-Muster präsentiert (Abb. 11, A).

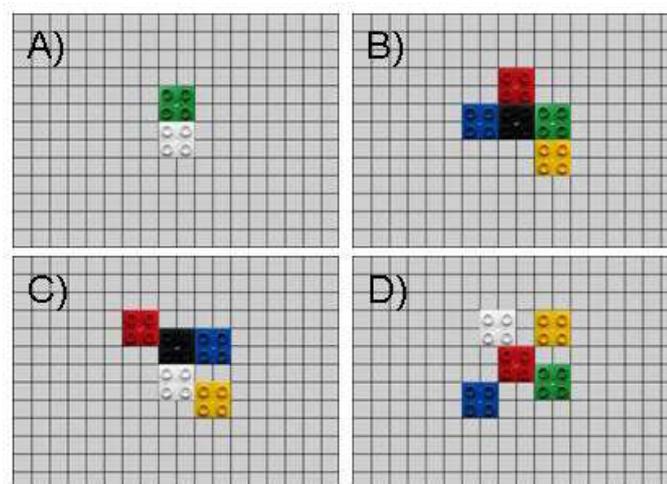


Abb. 11: Beispielmuster für Vorversuch 4.

A) 2er-Muster; B) 5er-Muster einfach; C) 5er-Muster mittelkomplex; D) 5er-Muster komplex

Insgesamt wurden aus jeder Komplexitäts-Kategorie 3 Muster präsentiert, wobei die Reihenfolge randomisiert wurde, sodass der Versuch 18 Durchgänge beinhaltete (9 5er-Muster + 9 2er-Muster). Zu Beginn eines jeden Versuches wurden zusätzlich 2 Probedurchgänge mit 3er-Mustern durchgeführt, um die Versuchsperson an die Aufgabe zu gewöhnen.

Versuchsaufbau:

Der Versuchsaufbau dieses Vorversuches ähnelt dem Versuchsaufbau der anderen Vorversuche: Die Versuchspersonen sollten ein Muster an einem 5 m entfernten Arbeitsplatz aufbauen. Hierzu mussten sie innerhalb eines markierten Pfades bleiben (siehe Abb. 9, S. 22), auf welchem sich in diesem Vorversuch allerdings kein Hindernis befand.

Weiterhin wurden sowohl die Präsentationsmuster verändert (siehe Abschnitt „Muster“), als auch die Präsentationszeit wurde verkürzt. Letzteres sollte bewirken, dass die Versuchspersonen nicht beliebig lange memorieren und somit die Muster eventuell auf andere Ressourcen als das Arbeitsgedächtnis, wie beispielsweise die des Langzeitgedächtnisses, zurückgreifen. Die Musterpräsentation ist in Abb. 12 dargestellt. Zunächst wurde ein Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms für eine Dauer von 2 s präsentiert. Anschließend wurde das Muster in der Bildschirmmitte für 500 ms präsentiert (Luck & Vogel, 1997; Todd & Marois, 2004). Ein anschließendes Maskiermuster für die Dauer von 50 ms sollte verhindern, dass ein Nachbild entsteht, welches beim Memorieren helfen könnte.

Der Versuch wurde in 3 Teilversuche aufgeteilt, von denen die letzten beiden Teilversuche (Teilversuch 2a und 2b) als „*within subject*“-Design („Lauf- und Standbedingung“) und der erste Teilversuch als „*between subject*“-Design durchgeführt wurde.

Die Teilversuche unterschieden sich wie folgt voneinander:

- Teilversuch 1: Die Versuchspersonen sollten die Muster immer am 5 m entfernten Arbeitsplatz nachbauen. Die Muster wurden ihnen nur einmal präsentiert. Es wurden 5 Versuchspersonen getestet
- Teilversuch 2a (Abb. 12, oben): Die Versuchspersonen sollten die Muster immer am 5 m entfernten Arbeitsplatz nachbauen („Laufbedingung“). Sie hatten nach Rückkehr zum Muster allerdings die Entscheidung, sich das gleiche Muster nochmals präsentieren zu lassen und am Arbeitsplatz weiterzubauen, oder sich das nächste Muster anzeigen zu lassen. Gelegte Steine durften jedoch nicht korrigiert werden. Es wurden 8 Versuchspersonen getestet
- Teilversuch 2b (Abb. 12, unten): Dieser Teilversuch diente der Untersuchung, ob die Leistungen beim Kopieren der Muster vom Laufen beeinflusst werden. Nach dem Maskiermuster wurde für 4 s ein schwarzer Bildschirm gezeigt, gefolgt von einem GO!-Zeichen, welches den Versuchspersonen als Startsignal diente, das Muster neben dem Monitor zu kopieren („Standbedingung“). Ein erneutes Anschauen des Musters war möglich. Korrigieren von gelegten Steinen jedoch nicht. Hier wurden dieselben Versuchspersonen getestet wie in Teilversuch 2a („*within subject*“-Design)

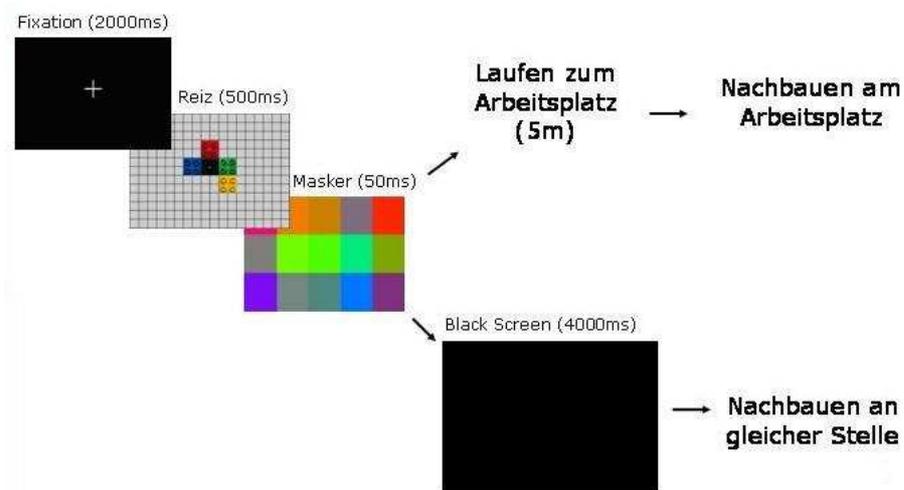


Abb. 12: Versuchsaufbau für Vorversuch 4.

Die am Monitor präsentierten Bilder in chronologischer Reihenfolge: Nach einer Fixationsphase wird das Muster kurz präsentiert. Danach folgt ein Maskiermuster, anschließend wird der Bildschirm schwarz. In Versuchsteil 1 und 2a läuft die Versuchsperson sofort zum Arbeitsplatz, in Versuchsteil 2b wartet die Versuchsperson 4 s an der gleichen Stelle und kopiert anschließend das Muster.

Ergebnisse:

Teilversuch 1:

Abb. 13 A zeigt die Memorierungszeit der Versuchspersonen nachdem das Muster präsentiert wurde. Da das Muster nach 500 ms ausgeblendet wurde, wird als Memorierungszeit die Dauer betrachtet, welche die Versuchspersonen benötigten, bis sie das Laufen zum Arbeitsplatz begannen. Es ist zu sehen, dass die Versuchspersonen bei den präsentierten 2er-Mustern im Schnitt nach 1,16 s (SEM: $\pm 0,09$ s) losliefen. Bei den 5er-Mustern gab es einen Sprung auf ca. 3 s (Min.: 2,73 s (SEM: $\pm 0,63$ s) für einfache 5er-Muster; Max.: 3,03 s (SEM: $\pm 0,60$ s) für komplexe 5er-Muster).

Der Vergleichswert, aus dem das Delta der Laufzeiten für Vorversuch 4 gebildet wurde (Abb. 13, B), war die gemittelte Laufzeit der 2er-Muster, da dort, ähnlich den 1er-Mustern der anderen Vorversuche, die Gedächtnislast gering war. Es bestanden kaum Laufzeitunterschiede zwischen den verschiedenen Musterkomplexitäten. (Min.: -0,03 s (SEM: $\pm 0,05$ s) für mittel-komplexe 5er-Muster; Max.: 0,08 s (SEM: $\pm 0,04$ s) für einfache 5er-Muster).

Die Nachbauzeit (Abb. 13, C) lag bei den 2er-Mustern bei 5,41 s (SEM: $\pm 0,42$ s) und stieg für die 5er-Muster auf Werte zwischen 14,97 s (SEM: $\pm 1,74$ s) für einfache 5er-Muster und 18,65 s (SEM: $\pm 2,08$ s) für mittel-komplexe 5er-Muster.

In Abb. 13 D ist die Rücklaufzeit zu sehen. Diese lag konstant zwischen 3,33 s (SEM: $\pm 0,09$ s) für mittel-komplexe 5er-Muster und 3,45 s (SEM: $\pm 0,11$ s) für komplexe 5er-Muster.

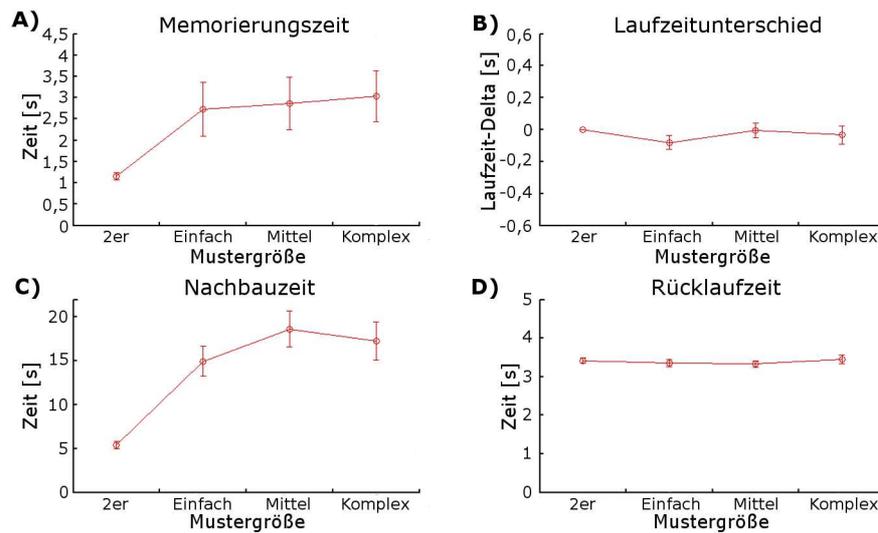


Abb.13: Gemittelte Zeiten für Vorversuch 4, Teilversuch1.
Zur Erklärung der Zeiten siehe Abb. 6, S. 18. Alle Zeiten mit Standardfehler angegeben, n= 5.

Die Fehlerquote stieg bei diesem Teilversuch im Vergleich zu den Vorversuchen 1-3 beträchtlich an (Abb. 14). Während die 2er-Muster noch in 91,11% (SEM: $\pm 4,16\%$) der Fälle richtig kopiert wurden, fiel der prozentuale Anteil der richtig kopierten 5er-Muster auf unter 30% (Max.: 26,67% (SEM: $\pm 19,44\%$) für einfache 5er-Muster; Min: 6,67% (SEM: $\pm 6,67\%$) für mittel-komplexe 5er-Muster).

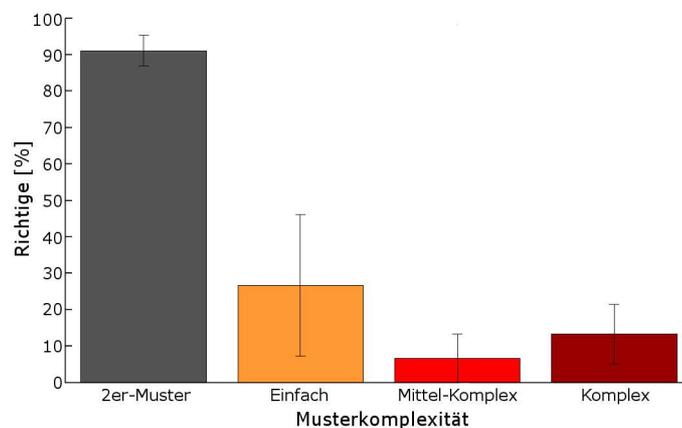


Abb.14: Anteil der richtig kopierten Muster in Vorversuch 4, Teilversuch1. Alle Werte mit Standardfehler.

Teilversuche 2a und 2b:

In Abb. 15 werden die prozentualen Anteile der richtig kopierten Muster für die Teilversuche 2a und 2b untersucht. Abb. 15 A zeigt den Anteil für die Laufbedingung, Abb. 15 B zeigt den Anteil die Standbedingung. In der Laufbedingung wurden die 2er-Muster zu 100% richtig kopiert, in der Standbedingung zu 94,5% (SEM: $\pm 2,08\%$). Einen ersten Abfall gab es beim Kopieren der einfachen 5er-Muster. Diese wurden zu 83,33% (SEM: $\pm 9,86\%$) in

der Lauf- und zu 81,42% (SEM: $\pm 7,30\%$) in der Standbedingung richtig kopiert. Ein weiterer Abfall war bei den restlichen Mustern zu vermerken, die sich untereinander allerdings kaum unterscheiden (Laufbedingung: 50% (SEM: $\pm 12,36\%$) für mittel-komplexe, 38,88% (SEM: $\pm 11,59\%$) für komplexe 5er-Muster; Standbedingung: 58,67% (SEM: $\pm 8,26\%$) für mittel-komplexe, 54,83% (SEM: $\pm 10,52\%$) für komplexe 5er-Muster).

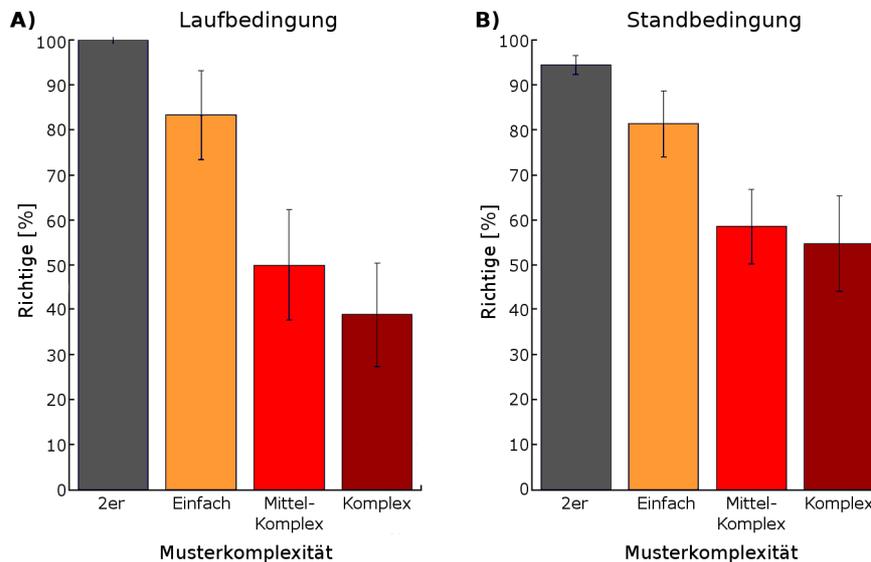


Abb.15: Anteil der richtig kopierten Muster der Teilversuch 2a und 2b in Vorversuch 4. A) Anteil für Teilversuch 2a: Laufbedingung; B) Anteil für Teilversuch 2b: Standbedingung. Alle Werte mit Standardfehler, n= 8.

Betrachtet man die Zeiten in Teilversuch 2a, war der Unterschied zwischen der Memorierungszeit für die 2er-Muster und der Memorierungszeit für die 5er-Muster nicht mehr so groß wie in Teilversuch 1 (Abb. 16 A). Die Memorierungszeit lag durchschnittlich zwischen 2,24 s (SEM: $\pm 0,57$ s) für 2er-Muster und 3,07 s (SEM: $\pm 0,47$ s) für mittel-komplexe 5er-Muster.

Bei der Laufzeit (Abb. 16 B) waren ähnlich wie im Teilversuch 1 keine großen Unterschiede zu vermerken. Der maximale Unterschied im Vergleich zur durchschnittlichen Laufzeit für die 2er-Muster lag hier bei 0,05 s (SEM: $\pm 0,06$ s) für komplexe 5er-Muster.

Die Nachbauzeit (Abb. 16 C) sprang von 6,93 s (SEM: $\pm 0,61$ s) bei 2er-Mustern auf bis zu 11,32 s (SEM: $\pm 2,64$ s) für mittel-komplexe 5er-Muster.

Die Rücklaufzeit (Abb. 16 D) lag konstant bei ca. 3,3 s und stieg nur bei den komplexen 5er-Mustern auf 3,76 s (SEM: $\pm 0,57$ s).

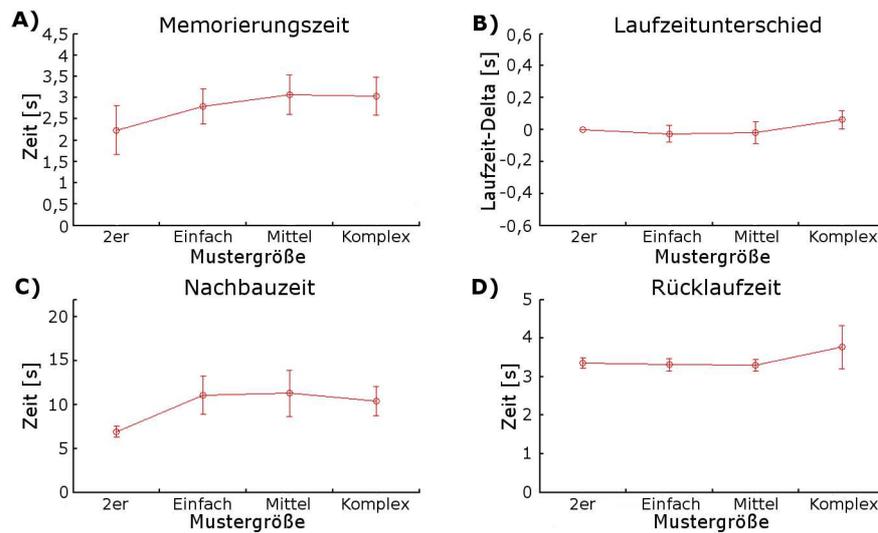


Abb.16: Gemittelte Zeiten für Vorversuch 4, Teilversuch 2a.
Zur Erklärung der Zeiten siehe Abb. 6, S.18. Alle Zeiten mit Standardfehler, n= 8.

In Abb. 17 ist der Laufzeitunterschied für den ersten Lauf und für die restlichen Läufe pro Muster aufgetragen. Der Laufzeitunterschied zwischen den Mustern schwankte beim ersten Lauf zwischen $-0,06$ s (SEM: $\pm 0,17$ s) für mittel-komplexe 5er-Muster und $0,06$ s (SEM: $\pm 0,18$ s) für komplexe Muster. Bei den restlichen Läufen gab es einen Abfall zwischen $-0,16$ s (SEM: $\pm 0,17$ s) für einfache 5er-Muster und $-0,04$ s (SEM: $\pm 0,08$ s) für komplexe 5er-Muster.

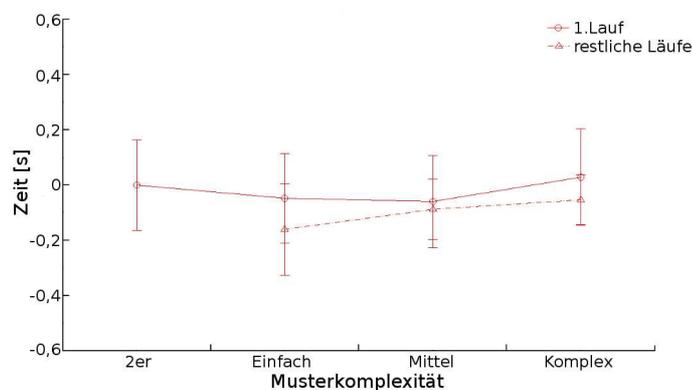


Abb.17: Gemittelte Laufzeitunterschiede für Vorversuch 4, Teilversuch 2a. Aufgeteilt in ersten Lauf (nur nach erster Präsentation der Muster; durchgezogene Linie) und restliche Läufe (nach allen weiteren Präsentationen der Muster; gestrichelte Linie). Zur Erklärung der Deltabildung siehe Text. Alle Zeiten mit Standardfehler, n= 8.

Diskussion:

Teilversuch 1:

Die Memorierungszeiten (Abb. 13, S. 27) stiegen mit Größe und Komplexität der Muster. Ein großer Unterschied bei den Zeiten war zwischen den 2er- und den 5er-Mustern zu vermerken. Allerdings waren keine großen Unterschiede zwischen den verschiedenen Komplexitäten zu erkennen. Somit ist anzunehmen, dass die Komplexität keinen erheblichen Einfluss auf die Memorierungsdauer der Muster hat, die Größe der Muster allerdings schon. Bemerkenswerte Laufzeitunterschiede konnten auch bei diesem Versuchsaufbau nicht gefunden werden. Es war auch nicht zu erkennen, dass 5er-Muster mit steigender Komplexität länger nachgebaut werden. Die Komplexität scheint somit ebenso keinen Einfluss auf die Nachbauzeit zu haben. Auch die Rücklaufzeit wird nicht von der Komplexität der Muster beeinflusst. Bei der Betrachtung des Anteils der richtig kopierten Muster für die verschiedenen Musterkomplexitäten konnte ebenfalls kein deutlicher Unterschied zwischen den verschiedenen Komplexitäten erkannt werden. Es ist jedoch deutlich, dass dieses Versuchsdesign für die Versuchspersonen zu schwierig ist, da bei allen Komplexitätsstufen weniger als 30% (Mittelwert: 15,63%) der Muster richtig kopiert wurden. Somit kann man sagen, dass eine einmalige Memorierungszeit von 500 ms nicht ausreichte, um sich ein Muster mit 5 Steinen einzuprägen. Das Versuchsdesign wurde für die Teilversuche 2a und 2b dahingehend verändert, dass die Versuchspersonen die Möglichkeit hatten, sich das Muster so oft wie nötig einblenden zu lassen.

Teilversuche 2a und 2b:

Hier zeigt der Anteil der richtig kopierten Muster, dass dieses Versuchsdesign durchaus lösbar ist. Einfache Muster konnten zu über 80% richtig kopiert werden. Zwischen mittelkomplexen und komplexen Mustern war kein großer Unterschied zu erkennen, somit kann man davon ausgehen, dass beide Musterkomplexitäten ähnlich schwierig zu kopieren waren. Die einzige Gemeinsamkeit dieser beiden Musterkomplexitäten waren die halb angrenzenden Kanten. Somit ist anzunehmen, dass die Positions-Information für halbkantig angrenzende Steine am schwierigsten zu memorieren, verarbeiten und/oder abzurufen ist. Angrenzungen über die Ecken und an der gesamten Kante bereiten hingegen weniger Schwierigkeiten. Diese Annahme wird im Hauptversuch noch genauer diskutiert (siehe Kapitel „2.5 Spezielle Diskussion für Experimentalblock I“, Abschnitt „Fehler“, S. 49).

Da sich die Anteile der richtig kopierten Muster zwischen Laufbedingung (Teilversuch 2a) und Standbedingung (Teilversuch 2b) kaum unterschieden, kann man davon ausgehen, dass das Laufen an sich keinen Einfluss auf die Gedächtnisleistung der Versuchspersonen hatte.

Die Memorierungszeiten für alle Läufe lagen etwas unter den Memorierungszeiten für Teilversuch 1. Dies lässt sich dadurch erklären, dass in Teilversuch 1 versucht wurde, das

gesamte Muster im Gedächtnis zu behalten. In Teilversuch 2 konnte das Muster in mehreren Schritten memoriert werden.

Die Laufzeitunterschiede lieferten auch hier aufgrund der geringen Differenz keine diskutierbaren Werte. Spaltete man die Läufe jedoch in ersten Lauf und restliche Läufe auf, so ließ sich erkennen, dass die Werte für die ersten Läufe immer über den Werten der restlichen Läufe lagen. Eine Begründung hierfür könnte sein, dass sich die Versuchspersonen beim ersten Lauf am meisten merken, ihre Gedächtnislastung somit höher ist als bei den restlichen Läufen und dadurch weniger Ressourcen für das Laufen zur Verfügung stehen. Da bei diesem Versuchsdesign allerdings nur das fertig kopierte Muster für die Auswertung abfotografiert wurde, stehen keine Informationen darüber zur Verfügung, ob die Versuchspersonen beim ersten Lauf mehr Steine ablegten, als bei den restlichen Läufen. Somit konnte die Annahme mit diesem Versuchsdesign nicht bestätigt werden. Weiterhin sind auch hier die Zeitunterschiede zu gering, um die Messungenauigkeiten auszugleichen.

Die Nachbauzeiten waren niedriger als die Nachbauzeiten von Teilversuch 1. Dies liegt daran, dass in Teilversuch 1 das gesamte Muster auf einmal kopiert werden musste und in Teilversuch 2 weniger Steine pro Aufenthalt am Arbeitsbereich abgelegt wurden.

Die Rücklaufzeit zeigte keinen Unterschied zu Teilversuch 1. Somit wird die Rücklaufgeschwindigkeit nicht von der mehrmaligen Präsentation der Muster beeinflusst.

Aus den Vorversuchen konnten einige wichtige Erkenntnisse über Parameter und Versuchsdesign gezogen werden. Die wichtigste Erkenntnis war die Ungenauigkeit der Lichtschrankenmessung, da es diese unmöglich machte, den von Hardiess et al. (2010, unveröffentlicht) gefundenen Effekt, zu isolieren. Weiterhin wurde klar, dass das bloße Abfotografieren der fertig kopierten Muster nicht ausreicht, um genaue Schlüsse über die Gedächtnislastung und Gedächtnisleistung der Versuchspersonen zu ziehen. Ein positiver Schluss kann jedoch aus der Art der Muster gezogen werden. Sowohl die unterschiedlichen Mustergrößen, als auch die verschiedenen Musterkomplexitäten zeigten beim Kopieren die erwarteten Abweichungen im Schwierigkeitsgrad. Auch die verkürzte Präsentationszeit der Muster scheint den erwarteten Effekt zu bringen, dass die Versuchspersonen keine anderen Ressourcen, wie beispielsweise das Langzeitgedächtnis, mit einbeziehen. Die Erkenntnisse aus den Vorversuchen wurden in den Versuchsaufbau des Hauptversuches eingebracht.

2.3. Hauptversuch: Material und Methoden

Versuchspersonen:

Es wurden 32 Personen im Alter von 20-30 Jahren getestet (Durchschnittsalter: 24,41; STD: $\pm 2,51$). Darunter befanden sich 19 Frauen (Durchschnittsalter: 23,84; STD: $\pm 2,26$) und 13 Männer (Durchschnittsalter: 25,23; STD: $\pm 2,71$). Alle Versuchspersonen waren Studenten oder Angestellte der Universität Tübingen.

7 Versuchspersonen (4 w, 3 m) wurden aufgrund von Ausfällen des Trackingsystems, Fehlfunktion der Software oder Missverstehen der Aufgabe aus der Auswertung herausgenommen.

Die Versuchspersonen wurden mit einer Pauschale von 5 Euro bei einem durchschnittlichen Zeitaufwand von 30 Minuten entlohnt.

Apparatur:

Für die Präsentation der Muster wurde ein *Intel Pentium 4* (2,60 GHz, 512 MB RAM) PC mit dem Betriebssystem *Microsoft Windows XP Professional (Version 2002)* verwendet. Die Muster wurden auf einem *EIZO FlexScan L367* Monitor präsentiert.

Die Versuchspersonen wurden mit Hilfe des gleichen Headtrackingsystems getrackt, mit dem auch Hardiess et al. ihre Versuche durchgeführt hatten: es handelte sich um ein auf Infrarotlicht basierendes Trackingsystem (ARTtrack/DTrack von A.R.T. GmbH, Weilheim, Deutschland) mit 6 Freiheitsgraden und einer Echtzeit-Verzögerung von 40 ms. Das Gerät trackte einen festen Körper, welcher aus einem Metallgerüst mit 5 Reflektionskugeln bestand. Dieses war auf einem speziellen Helm befestigt, welchen die Versuchspersonen während des Versuches trugen. Die Trackingfrequenz betrug 60 Hz. Mit Hilfe der Position der Versuchspersonen im Raum wurden Anzahl und Dauer der Besuche der verschiedenen Bereiche und die Laufzeiten errechnet.

Der Arbeitsplatz wurde mit einer Weitwinkelkamera den gesamten Versuch über gefilmt, um das Ablegen der Steine genau zu rekonstruieren.

Software:

Das Programm zur Durchführung des Versuchs wurde mit *Matlab Version 7.7.0.471 (R2008b)* geschrieben. Die Auswertung wurde mit *Matlab Version 7.7.0.471 (R2008b)* und mit *Microsoft Excel 2002* erstellt. Alle präsentierten Muster wurden, wie in Vorversuch 4 mit *Adobe Photoshop CS*, erstellt. Das Tracking wurde mit Hilfe der Trackingsoftware *DTrack Version 1.22.2* von *A.R.T GmbH* durchgeführt.

Muster:

Im Hauptversuch wurden 2 Gruppen von Mustern verwendet.

Die erste Gruppe beinhaltete, wie in den Vorversuchen 1-3, Muster unterschiedlicher Größe (1er-, 3er-, 5er-, und 7er-Muster; siehe Abb. 4, S. 15).

Die zweite Gruppe beinhaltete, wie in Vorversuch 4, Muster unterschiedlicher Komplexität (einfache, mittel-komplexe und komplexe Muster, siehe Abb. 11, S. 24).

Fehlerarten:

Zur Unterscheidung der Kopierfehler wurden 3 Fehlerkategorien festgelegt:

- **Positionsfehler:** Ein Stein wurde an einer falschen Stelle im Muster eingebaut (Abb. 18 B)
- **Farbfehler:** Ein Stein der falschen Farbe wurde in das Muster mit eingebaut (Abb. 18 C)
- **switch:** 2 Steine des Muster wurden beim Kopieren vertauscht (Abb. 18 D)

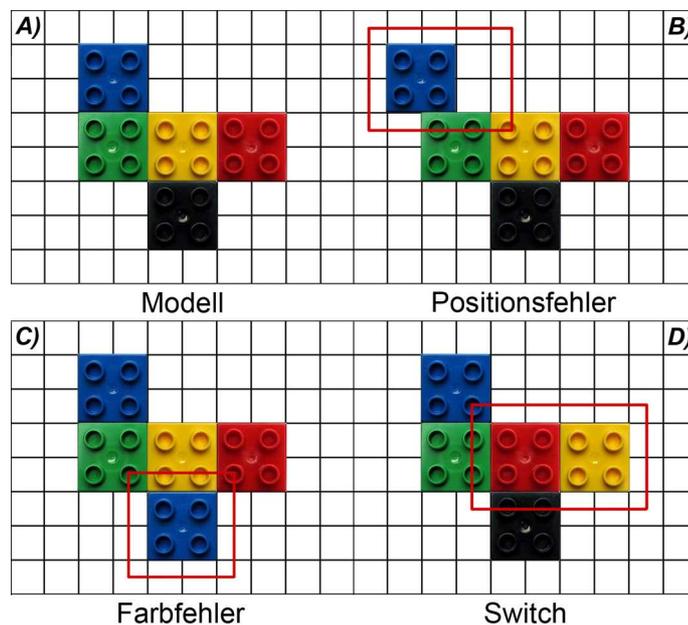


Abb. 18: Beispiele für die verschiedenen Fehlerarten des Hauptversuchs in Experimentalblock I: A): Modell auf welches sich die Fehler beziehen; B): Positionsfehler; C): Farbfehler; D): Switch.

Auswertung:

Die statistische Auswertung wurde zum Teil mit *Matlab (Version 7.7.0.471 (R2008b))*, zum Teil mit dem Statistikprogramm *SPSS* durchgeführt. Statistische Signifikanzen sind in den Schaubildern wie folgt angegeben:

- * : Signifikanzniveau $\rightarrow p < 0,05$
- ** : Signifikanzniveau $\rightarrow p < 0,01$
- *** : Signifikanzniveau $\rightarrow p < 0,001$
- kein * : Werte sind nicht signifikant verschieden $\rightarrow p > 0,05$

Versuchsaufbau:

Der Versuch wurde als „*within-subject*“-Design in zwei Versuchsteilen durchgeführt. Die Reihenfolge der Versuchsteile wechselte ausgeglichen zwischen den Versuchspersonen.

Die Versuchsteile unterschieden sich in der Art der präsentierten Muster. In Versuchsteil „Größe“ wurden die Muster aus den Vorversuchen 1-3 verwendet. Der Versuch bestand aus 16 Durchgängen (vier Durchgänge pro Mustergröße; Mustergrößen: ein Stein, drei Steine, fünf Steine, sieben Steine). Im Versuchsteil „Komplexität“ wurden die Muster aus Vorversuch 4 verwendet. Allerdings wurden keine 2er-Muster verwendet, sodass dieser Versuchsteil aus 12 Durchgängen bestand (4 Durchgänge pro Musterkomplexität; Komplexitäten: einfach, mittel-komplex, komplex).

In beiden Versuchsteilen wurde das Muster wie in Vorversuch 4, Teilversuch 2 (siehe Abb. 12, S. 26) präsentiert (2 s Fixationskreuz, 500 ms Muster, 50 ms Maskiermuster, nochmaliges Anschauen des Musters möglich, nachdem zum Arbeitsplatz gelaufen wurde. Jedoch ohne Möglichkeit, bereits abgelegte Steine zu korrigieren).

Die zurückzulegende Strecke betrug 4,5 m, um eine noch genauere Anpassung an das Versuchsdesign von Hardiess et al. (2010, unveröffentlicht) zu erreichen. Die Zeiten wurden mit einem Headtracker erfasst. Der Arbeitsplatz wurde gefilmt um, eine genauere Auswertung, wie zum Beispiel die Anzahl der abgelegten Steine pro Lauf, zu ermöglichen.

2.4. Hauptversuch: Ergebnisse

Auswertung der Fehler:

Zunächst wurde untersucht, ob die Reihenfolge der verschiedenen Aufgabenteile einen Einfluss auf die Durchführung des Versuches und die Leistung der Versuchspersonen hatte. Abb. 19 zeigt ein Balkendiagramm, welches die verschiedenen Aufgabenteile gegen den prozentualen Anteil richtig kopierter Muster darstellt.

Während der prozentuale Anteil der richtig kopierten Muster für den Versuchsteil „Komplexität“ beim ersten Durchgang bei 65,8% (SD: 20,60) lag, lag er beim zweiten Durchgang bei 68,5% (SD: 18,59). Obwohl der zweite Wert etwas höher lag, war der Unterschied zwischen den beiden Werten nicht signifikant (T-Test: $t(23) = -0,34$; $p = 0,76$; SD: 19,58).

Beim Versuchsteil „Größe“ lag der prozentuale Anteil der richtig kopierten Muster beim ersten Durchgang bei 87,4% (SD: 9,18), beim zweiten Durchgang lag der Wert bei 82,6% (SD: 13,66). Auch hier waren die Werte nicht signifikant unterschiedlich voneinander (T-Test: $t(23) = -1,03$; $p = 0,31$; SD: 11,54).

Zwischen den Versuchsteilen ließ sich allerdings ein signifikanter Unterschied erkennen. Sowohl die Versuchspersonen, deren erster Aufgabenteil „Komplexität“ und zweiter Aufgabenteil „Größe“ war (gepaarter T-Test: $t(12) = 3,57$; $p < 0,05$; SD: 19,12), als auch die Versuchspersonen, deren erster Versuchsteil „Größe“ und der zweite Versuchsteil „Komplexität“ war (gepaarter T-Test: $t(11) = 2,99$; $p < 0,01$; SD: 19,47) lösten den Versuchsteil „Größe“ signifikant besser als den Versuchsteil „Komplexität“.

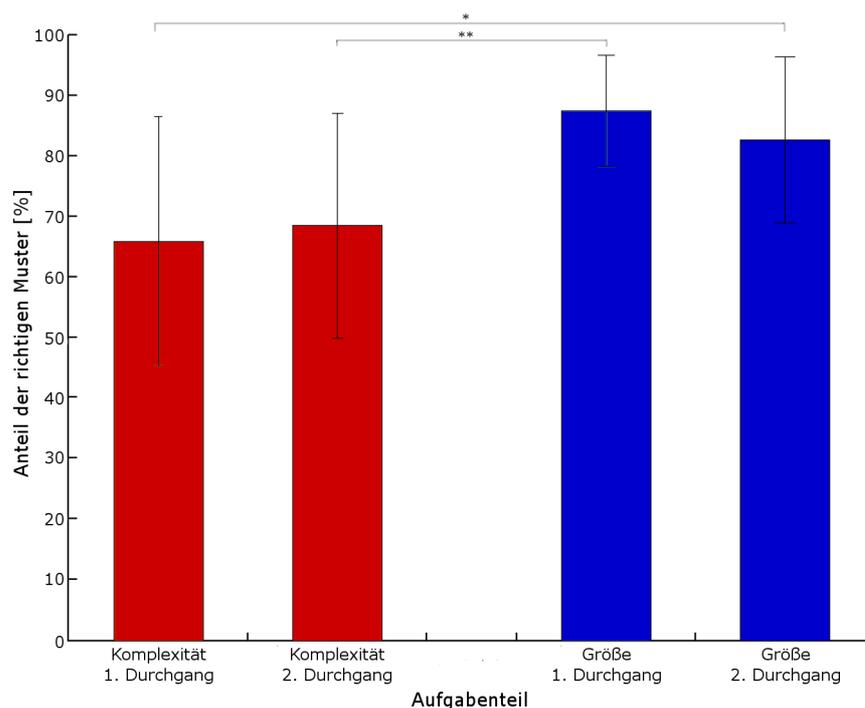


Abb. 19: Prozentualer Anteil der richtig kopierten Muster für die einzelnen Aufgabenteile. Die Aufgabenteile werden nochmals in der Reihenfolge, in der sie präsentiert werden, unterschieden. Alle Werte mit Standardabweichung, $n = 25$.

Weiterhin wurde die Ausführung der Versuchspersonen für die verschiedenen Versuchsteile genauer untersucht. In Abb. 20 ist der prozentuale Anteil richtig kopierter Muster gegen die Mustergrößen des Versuchsteils „Größe“ aufgeführt. Den Versuchspersonen gelang es in 100% der Fälle das 1er-Muster richtig zu kopieren. Die übrigen Werte fielen von 89,67%

(SEM: $\pm 2,98$) für 3er-Muster auf 66,33% (SEM: $\pm 5,78$) für 7er-Muster. Die Werte für die einzelnen Mustergrößen waren signifikant unterschiedlich von einander (ANOVA-One-Way: $F(3,95) = 13,54$; $p < 0,001$).

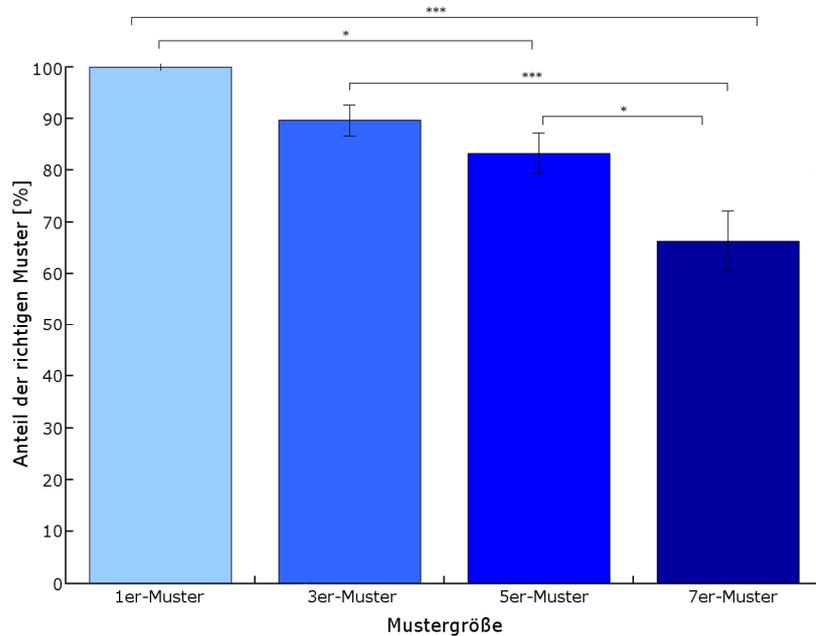


Abb. 20: Prozentualer Anteil der richtig kopierten Muster des Aufgabenteils „Größe“. Aufgeteilt in die verschiedenen Mustergrößen. Alle Werte mit Standardfehler, $n = 25$.

Abb. 21 zeigt dasselbe Schaubild für den Aufgabenteil „Komplexität“. Für die einfachen Muster in diesem Aufgabenteil lag der Anteil der richtig kopierten Muster bei 88,33% (SEM: $\pm 3,08$). Die Werte für mittel-komplexe Muster fielen auf 58% (SEM: $\pm 5,98$) und die komplexen Muster kopierten die Versuchspersonen in 54% der Fälle (SEM: $\pm 5,97$) richtig. Ein ANOVA-One-Way-Test zeigte, dass die Werte signifikant unterschiedlich voneinander waren (ANOVA-One-Way: $F(2,71) = 13,02$; $p < 0,001$). Ein PostHoc-Test mit Bonferroni-Korrektur zeigte allerdings auch, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen mittel-komplexen und komplexen Mustern gab. Ein gepaarter T-Test für die Ergebnisse der einfachen Muster des Versuchsteils „Komplexität“ und die Ergebnisse der 5er-Muster des Versuchsteils „Größe“ (beide Mustertypen beinhalten die gleichen Muster: 5 Steine mit ganz anliegenden Kanten) ergaben keinen signifikanten Unterschied ($t(24) = 1,21$; $p = 0,24$; SD: 20,69).

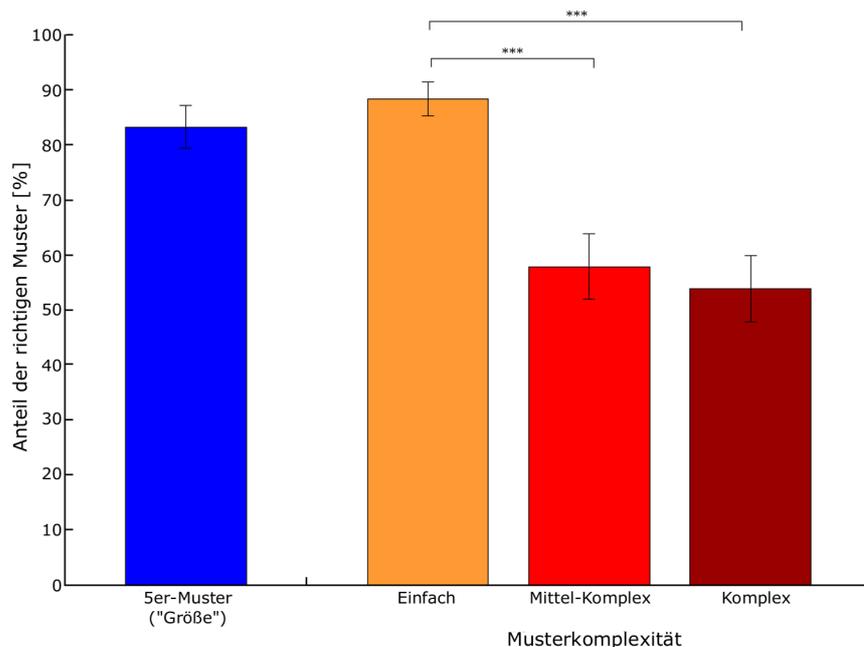


Abb.21: Prozentualer Anteil der richtig kopierten Muster des Aufgabenteils „Komplexität“, aufgeteilt in die verschiedenen Musterkomplexitäten. Zum Vergleich wird der Anteil richtig kopierter 5er-Muster des Aufgabenteils „Größe“ aufgeführt, da es sich hierbei um dieselben Muster handelt, wie bei Musterkomplexität „Einfach“. Alle Werte mit Standardfehler, n= 25.

Abb. 22 zeigt den Anteil der Fehlerarten pro Muster, aufgeteilt auf Mustergrößen und Musterkomplexitäten. Wie schon in Abb. 20 gezeigt wurde, wurden die Muster, welche einen Stein groß waren zu 100% richtig nachgebaut. Demzufolge sind diese in Abb. 22 nicht mehr aufgeführt. Bei den Anteilen gilt 1 als 100%.

Für den Aufgabenteil „Größe“ sieht die Aufteilung der Fehlerarten wie folgt aus: Für alle Mustergrößen war der Anteil von Positionsfehlern pro Muster am höchsten (0,08 (SEM: $\pm 0,04$) für 3er-Muster; 0,10 (SEM: $\pm 0,05$) für 5er-Muster; 0,30 (SEM: $\pm 0,10$) für 7er-Muster). Beim Anteil der Farbfehler stachen die 7er-Muster mit einem Fehleranteil von 0,27 (SEM: $\pm 0,07$) Fehlern pro Muster heraus, während dieser Anteil für die anderen Mustergrößen unter 0,08 lag. Der Anteil der *switches* betrug für alle Mustergrößen gemittelt einen Anteil von 0,7 Fehlern pro Muster. Ein ANOVA-One-Way-Test über die einzelnen Fehlertypen zeigte zwischen den verschiedenen Mustergrößen einen Trend zu unterschiedlichen Fehleranteilen bei Positionsfehlern (ANOVA-One-Way: $F(2,71)= 2,94$; $p= 0,06$), signifikant unterschiedliche Fehleranteile bei Farbfehlern (ANOVA-One-Way: $F(2,71)= 6,61$; $p < 0,01$) und keinen signifikanten Unterschied bei den *switches* (ANOVA-One-Way: $F(2,71)= 2,08$; $p= 0,13$).

Die Aufteilung für den Aufgabenteil „Komplexität“ sah wie folgt aus: Auch hier war der höchste Anteil von Fehlern pro Muster bei den Positionsfehlern zu finden (0,1 (SEM: $\pm 0,05$) für einfache Muster; 0,61 (SEM: $\pm 0,12$) für mittel-komplexe Muster; 0,53 (SEM: $\pm 0,09$) für komplexe Muster). Der Anteil der Farbfehler war sehr gering und unterschied sich zwischen

den Musterkomplexitäten kaum (Mittelwert für alle 3 Komplexitäten: 0,05). Beim Anteil der *switches* stach nur der Wert für komplexe Muster mit 0,13 (SEM: $\pm 0,05$) heraus. Der Anteil für die anderen beiden Komplexitäten lag jeweils unter 0,03 Fehlern pro Muster. Zwischen den verschiedenen Musterkomplexitäten gab es einen signifikanten Unterschied bei den Positionsfehlern (ANOVA-One-Way: $F(2,71) = 8,38$; $p < 0,01$), keinen signifikanten Unterschied zwischen den Fehleranteilen der Farbfehler (ANOVA-One-Way: $F(2,71) = 0,13$; $p = 0,88$) und einen signifikanten Unterschied bei den Switches (ANOVA-One-Way: $F(2,71) = 3,39$; $p < 0,05$).

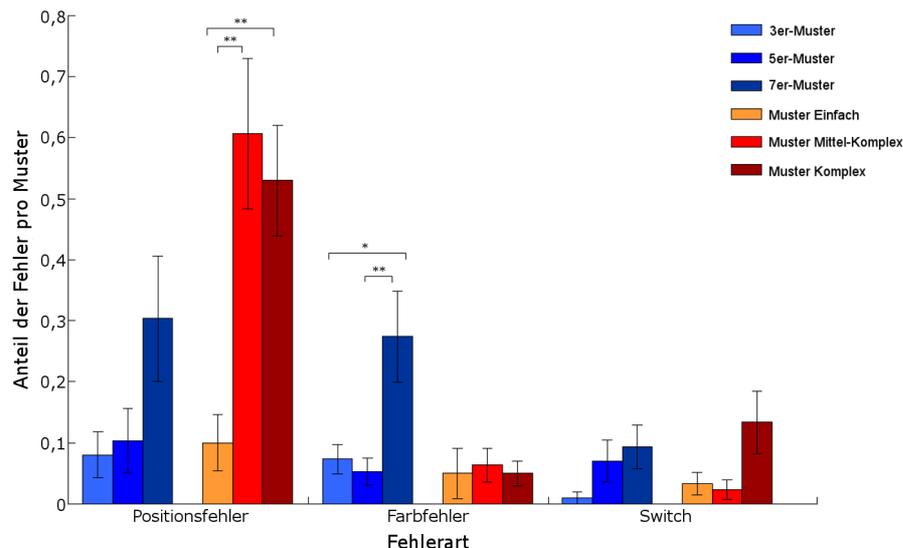


Abb. 22: Anzahl der Fehlerarten pro Muster für die beiden Versuchsteile „Größe“ (blaue Balken) und „Komplexität“ (rote Balken). Alle Werte mit Standardfehler.

Auswertung der Strategien:

Auch die Anzahl der Läufe für die einzelnen Muster der beiden Versuchsteile wurde genauer untersucht. Ein Balkendiagramm, welches die Anzahl der Läufe gegen die Mustergröße im Versuchsteil „Größe“ zeigt, ist in Abb. 23 dargestellt. Zum Kopieren der 1er-Muster benötigten alle Versuchspersonen immer genau einen Lauf. Auch das 3er-Muster wurde fast immer in einem Lauf kopiert. Beim 5er-Muster gab es einen Anstieg auf 1,84 Läufe (SEM: $\pm 0,09$). Ein weiterer Anstieg war beim Kopieren der 7er-Muster zu vermerken, welche im Mittel nach 2,99 Läufen (SEM: $\pm 0,16$) fertig kopiert waren. Die Werte waren signifikant unterschiedlich zueinander (ANOVA-One-Way: $F(3,96) = 110,02$; $p < 0,001$). Die jeweiligen Signifikanzniveaus sind ebenfalls in Abb. 23 angezeigt.

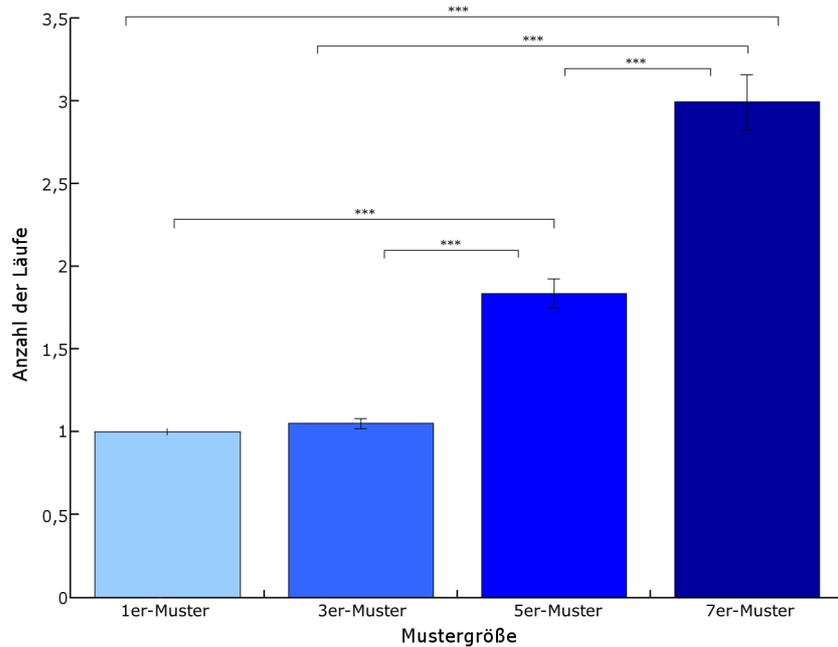


Abb. 23: Anzahl der Läufe aufgetragen gegen die verschiedenen Mustergrößen des Aufgabenteils "Größe". Alle Werte mit Standardfehler, n= 25.

In Abb. 24 ist die gemittelte Anzahl der Läufe gegen die unterschiedlichen Musterkomplexitäten des Versuchsteils „Komplexität“ aufgetragen. Der größte Unterschied war zwischen den Mustern mit einfacher Komplexität (im Mittel: 1,88 Läufe, SEM: $\pm 0,07$) und den restlichen Musterkomplexitäten zu erkennen (2,23 Läufe, SEM: $\pm 0,09$ für mittelkomplexe Muster; 2,29 Läufe, SEM: $\pm 0,10$ für komplexe Muster). Eine ANOVA über die Werte zeigte, dass diese signifikant unterschiedlich voneinander sind. (ANOVA-One-Way: $F(2,72) = 7,21$; $p < 0,01$). Die jeweiligen Signifikanzniveaus sind ebenfalls im Schaubild angegeben.

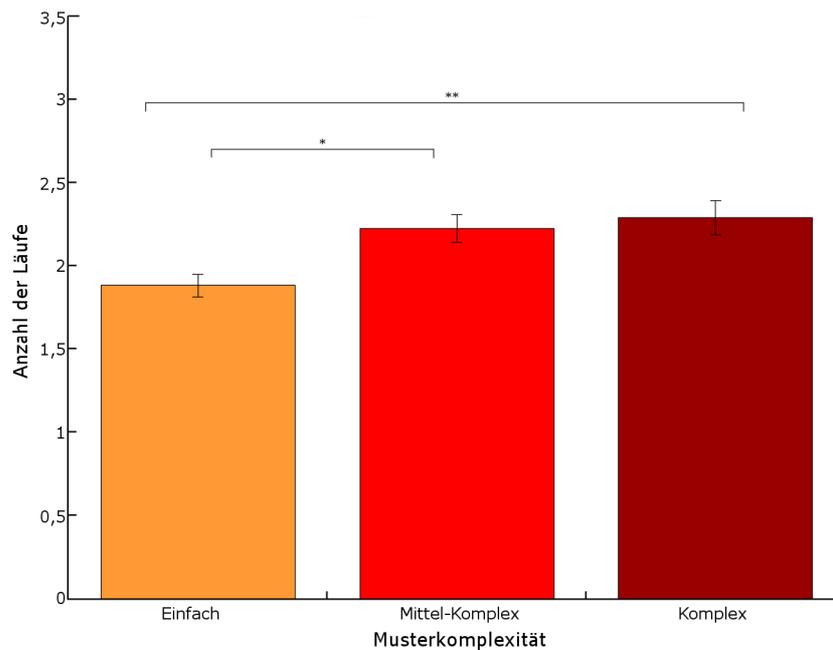


Abb. 24: Anzahl der Läufe gegen die verschiedenen Musterkomplexitäten des Versuchsteils „Komplexität“ aufgetragen. Alle Werte mit Standardfehler, n= 25.

Die Ablegestrategien werden in diesem Experimentalblock in die Sequenz der abgelegten Steine pro Lauf aufgeteilt. Legte eine Versuchsperson beispielsweise ein 5er-Muster in 2 Läufen ab, wobei sie im ersten Lauf 4 Steine ablegte und im zweiten Lauf den letzten Stein ablegte, so wurde dies als Strategie „4-1“ benannt.

Die prozentualen Anteile für die verschiedenen Ablegestrategien für den Versuchsteil „Größe“ sind in Abb. 25 dargestellt. Nicht aufgeführt sind hier die Anteile der Ablegestrategien für die 1er-Muster und für die 3er-Muster, da diese Muster im Mittel in über 95% der Fälle beim ersten Lauf komplett nachgebaut wurden und keine nennenswerte andere Strategie angewandt wurde.

Bei einer Mustergröße von 5 Steinen war mit „3-2“ eine bevorzugte Strategie mit einem Anteil von 50% zu finden. Mit „5-0“ (20,8%) und „2-3“ (14,6%) gab es noch zwei weitere Strategien, die in knapp 15% der Fälle oder häufiger vorkommen. Unter „Sonstige“ fallen 4 weitere Strategien, die jeweils einen Anteil von unter 4,5% aufwiesen. Somit wurden für das Kopieren von 5er-Mustern insgesamt 8 verschiedene Strategien angewandt.

Bei den 7er-Mustern gab es mit „2-2-3“ (20,7%), „2-3-2“ (17,2%), „3-2-2“ (14,9%) ebenfalls 3 stärker vertretene Strategien. Die restlichen Strategien hatten jeweils einen Anteil unter 9%. Unter „Sonstige“ fallen 9 weitere Strategien, die unter 4,5% lagen. Somit wurden für das Kopieren von 7er-Mustern insgesamt 15 verschiedene Strategien angewandt.

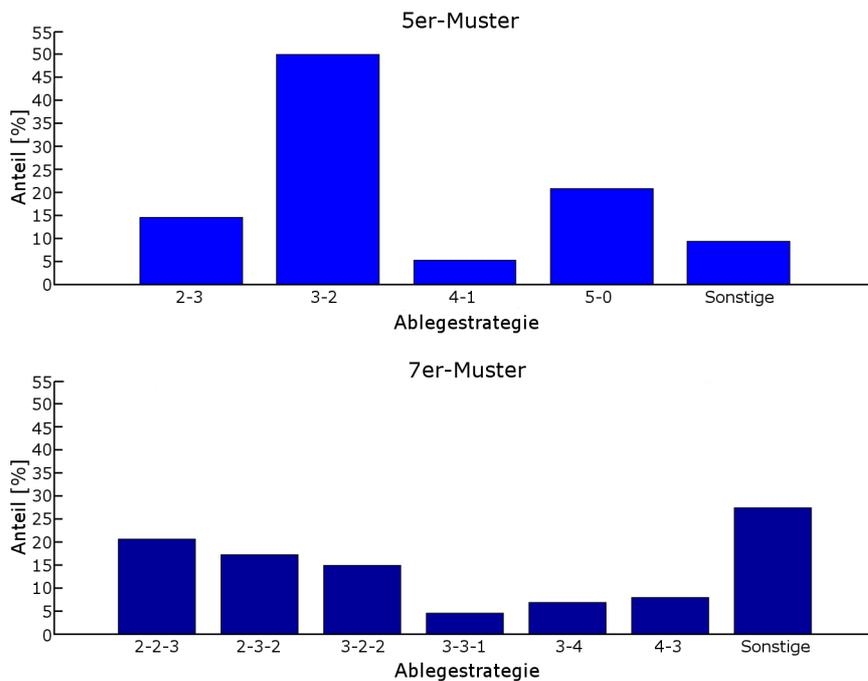


Abb. 25: Prozentualer Anteil der Ablegestrategien für 5er- und 7er-Muster des Versuchsteils „Größe“. Die Ablegestrategien werden mit der Anzahl der abgelegten Steine pro Lauf dargestellt (Bsp.: „3-2“ bedeutet, die Versuchsperson lief zweimal und legte beim ersten Lauf 3 Steine und beim zweiten Lauf 2 Steine ab). Unter „Sonstige“ fallen alle Strategien, die unter 4,5% der Fälle angewendet wurden.

Für den Versuchsteil „Komplexität“ sind die Anteile der verschiedenen Ablegestrategien in Abb. 26 abgebildet. Bei allen drei Musterkomplexitäten ließ sich mit „3-2“ eine Hauptstrategie erkennen. Diese wurde im Mittel über alle Komplexitäten in 46,47% aller Fälle benutzt (48,5% für einfache Muster; 50% für mittel-komplexen Muster; 40,9% für komplexe Muster). Bei den einfachen Mustern gab es 3 weitere Strategien, die einen Anteil von mehr als 10% hatten („2-3“ (16,5%), „5-0“ (16,5%) und „4-1“ (12,4%)). Bei den mittel-komplexen und komplexen Mustern gab es davon jeweils eine („4-1“ (12,2%) für mittel-komplexe Muster; „2-3“ (12,9%) für komplexe Muster). Unter „Sonstige“ fallen Strategien, die unter 1% verwendet wurden (4 weitere Strategien für einfache Muster; 7 weitere Strategien für mittel-komplexe Muster; 9 weitere Strategien für komplexe Muster). Somit wurden für einfache Muster insgesamt 10, für mittel-komplexe Muster insgesamt 17 und für komplexe Muster insgesamt 19 verschiedene Strategien angewandt.

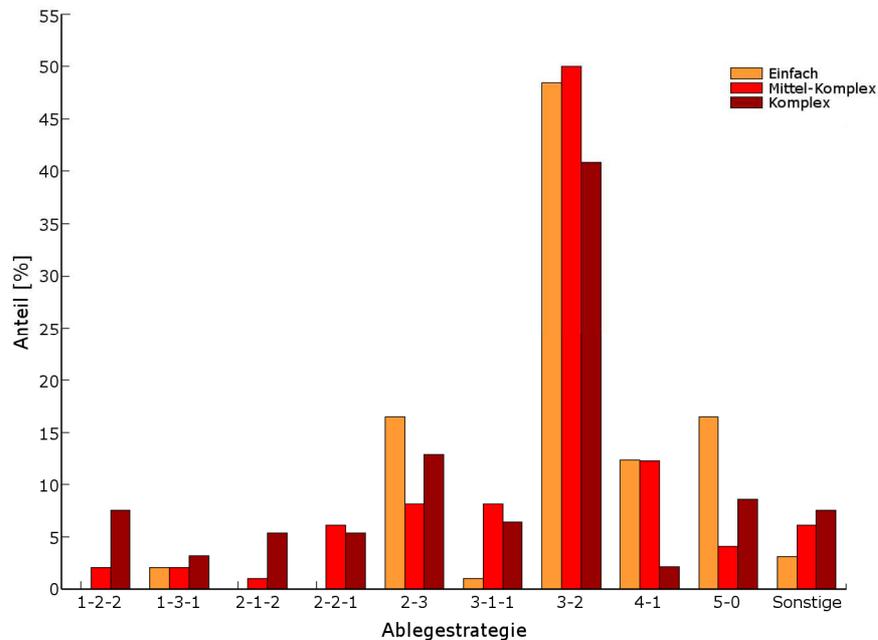


Abb. 26: Prozentualer Anteil der Ablegestrategien für den Versuchsteil „Komplexität“. Die Ablegestrategien werden mit der Anzahl der abgelegten Steine pro Lauf dargestellt (Bsp.: „4-1“ bedeutet, die Versuchsperson lief zweimal und legte beim ersten Lauf 4 Steine und beim zweiten Lauf einen Stein ab).

Auswertung der Zeiten:

Die gemittelten Zeiten für den Versuchsteil „Größe“ werden in Abb. 27 („alle Läufe“) dargestellt. Zusätzlich wurden die Werte in Zeiten für den ersten Lauf und für die restlichen Läufe (alle Läufe außer dem ersten Lauf) unterteilt. Diese werden ebenfalls in Abb. 27 gezeigt. Keine Versuchsperson benötigte für die 1er-Muster mehr als einen Lauf. Somit waren die Werte für dieses Muster für den ersten Lauf und für alle Läufe identisch. Für die restlichen Läufe lieferte dieses Muster keine Werte. Da nur 3 Versuchspersonen zwei Läufe für ein oder mehrere 3er-Muster benötigten, wurde der zweite Lauf bei den 3er-Mustern aufgrund seiner geringen Stichprobengröße komplett aussortiert. Somit floßen auch für das 3er-Muster keine Werte in die Darstellung der „restlichen Läufe“.

Die Memorierungszeit (Abb. 27 A) für diesen Versuchsteil lag bei 1,46 s (SEM: $\pm 0,11$ s) für das 1er-Muster. Für alle Läufe stieg sie auf ein Maximum von 2,66 s (SEM: $\pm 0,24$ s) bei den 5er-Mustern. Für den ersten Lauf stieg die Memorierungszeit auf ein Maximum von 3,06 s (SEM: $\pm 0,27$ s), ebenfalls bei 5er-Mustern. Bei den restlichen Läufen betrug die längste Memorierungszeit 2,44 s (SEM: $\pm 0,20$ s) für 7er-Muster. Eine ANOVA über die Werte aller Läufe zusammen zeigte, dass die Memorierungszeit signifikant mit der Mustergröße stieg (ANOVA-One-Way: $F(3,96) = 8,84$; $p < 0,001$). Eine PostHoc-Analyse mit Bonferroni-Korrektur zeigte jedoch, dass es zwischen den Memorierungszeiten für 5er- und 7er-Muster keine signifikanten Unterschiede mehr gab. Zwischen der Memorierungszeit des ersten Laufes und der restlichen Läufe gab es einen signifikanten Unterschied bei den 5er- und bei

den 7er-Mustern (gepaarter T-Test für 5er-Muster: $t(21)= 3,68$, $p < 0,01$, SD: 1,38; gepaarter T-Test für 7er-Muster: $t(24)= 4,17$, $p < 0,001$, SD: 0,67).

Die Laufzeit (Abb. 27, B) für das 1er-Muster lag bei 3,33 s (SEM: $\pm 0,08$ s). Für alle Läufe zusammengenommen war dies der Maximalwert und fiel höchstens auf 3,30 s (SEM: $\pm 0,07$ s) für 7er-Muster. Für den ersten Lauf alleine schwankte die Laufzeit für die weiteren Muster zwischen 3,31 s (SEM: $\pm 0,07$ s) für 3er-Muster und 3,34 s (SEM: $\pm 0,08$ s) für 5er-Muster. Für die restlichen Läufe an bewegte sich der Wert für die Laufzeit zwischen 3,27 s (SEM: $\pm 0,06$ s) für 5er-Muster und 3,29 s (SEM: $\pm 0,07$ s) für 7er-Muster. Eine ANOVA über die Werte für alle Läufe zusammen zeigte, dass diese nicht signifikant unterschiedlich waren (ANOVA-One-Way: $F(3,96)= 0,03$, $p= 0,99$, SD: 0,37). Ein gepaarter T-Test für die Laufzeiten zwischen dem ersten Lauf und den restlichen Läufen beim 5er-Muster (Mustergröße mit der größten Differenz zwischen beiden Werten: 0,07 s) zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Werten (gepaarter T-Test: $t(21)= 1,33$; $p= 0,20$; SD: 0,12).

Die Nachbauzeit (Abb. 27, C) lag für die 1er-Muster bei 4,54 s (SEM: $\pm 0,23$ s). Sie stieg für alle Läufe auf bis zu 10,86 s (SEM: $\pm 0,59$ s) bei 5er-Mustern. Für den ersten Lauf stieg die Nachbauzeit auf bis zu 11,76 s (SEM: $\pm 0,67$ s) bei 5er-Mustern. Die Werte für die restlichen Läufe stiegen von 8,86 s (SEM: $\pm 0,37$ s) für 5er-Muster auf 9,97 s (SEM: $\pm 0,43$ s) für 7er-Muster. Lässt man die Werte für das 1er-Muster außen vor, so gab es für alle Läufe zusammen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Werten der restlichen Mustergrößen (ANOVA-One-Way: $F(2,72)= 0,95$; $p= 0,39$; SD: 2,57). Die Zeiten zwischen dem ersten Lauf und den restlichen Läufen unterschieden sich nur für die 5er-Muster signifikant voneinander (gepaarter T-Test: $t(21)= 4,11$, $p < 0,001$, SD: 2,75).

Bei den Rücklaufzeiten wurden alle Rücklaufzeiten berücksichtigt, die innerhalb eines Durchganges lagen. Wurde der letzte Stein abgelegt, so galt der Durchgang als beendet und der letzte Rücklauf zum Monitor wurde nicht mehr berücksichtigt. Da alle 1er-Muster mit nur einem Lauf kopiert wurden, lieferte diese Mustergröße keine Rücklaufzeiten für die Auswertung. Die Rücklaufzeiten (Abb. 27, D)) für alle Läufe lagen zwischen 3,35 s (SEM: $\pm 0,06$ s) bei 3er-Mustern und 3,40 s (SEM: $\pm 0,08$ s) bei 7er-Mustern. Die Werte waren nicht signifikant unterschiedlich voneinander (ANOVA-One-Way: $F(2,47)= 0,1$; $p= 0,91$; SD: 0,38). Für den ersten Lauf lagen die Rücklaufzeiten zwischen 3,35 s (SEM: $\pm 0,06$ s) bei 3er-Mustern und 3,41 s (SEM: $\pm 0,08$ s) für 7er-Muster. Die restlichen Läufe hatten ein Rücklaufzeitminimum bei 3,31 s (SEM: $\pm 0,04$ s) für 5er-Muster und ein Rücklaufzeitmaximum bei 3,34 s (SEM: 0,08 s) für 7er-Muster. Zwischen dem ersten Lauf und den restlichen Läufen gab es keine signifikanten Unterschiede (gepaarter T-Test für 5er-Muster: $t(7)= -1,45$, $p= 0,19$, SD: 0,12; gepaarter T-Test für 7er-Muster: $t(23)= 1,52$, $p= 0,14$, SD: 0,15).

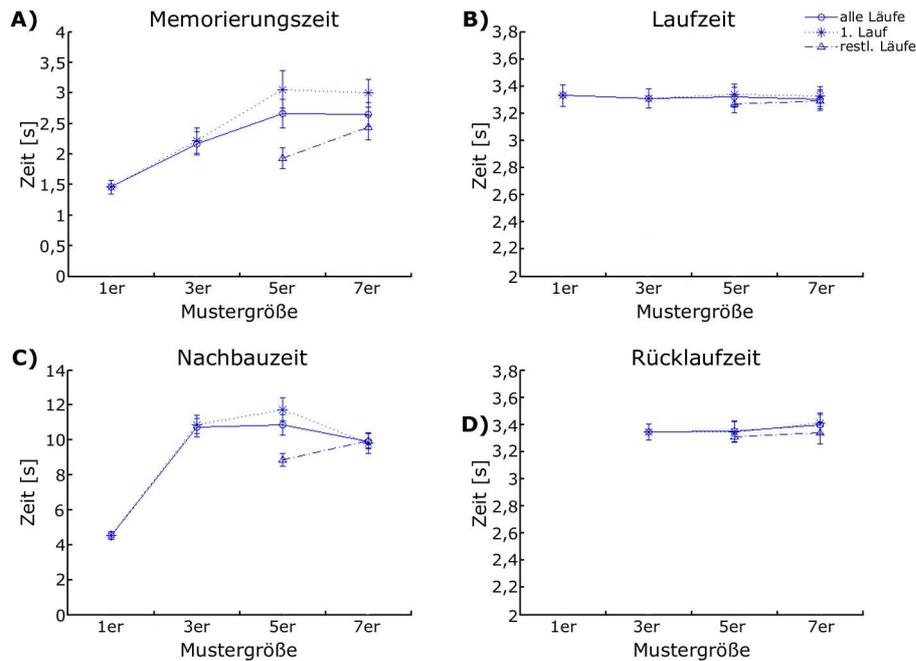


Abb. 27: Gemittelte Zeiten für den Versuchsteil „Größe“. Aufgetragen sind jeweils alle Läufe (durchgezogene Linie) sowie die Aufteilung in ersten Lauf (gepunktete Linie mit Sternen) und restliche Läufe (gestrichelte Linie mit Dreiecken). Alle Werte mit Standardfehler, n= 25.

Abb. 28, zeigt die gemittelten Zeiten aller Läufe für den Versuchsteil „Komplexität“ (siehe „alle Läufe“). Diese sind nochmals aufgeteilt in die Zeiten für den ersten Lauf und für die restlichen Läufe. Bei den Memorierungszeiten (Abb. 28, A) lagen die Werte für alle Läufe zwischen 2,65 s (SEM: $\pm 0,20$ s) für einfache Muster und 2,89 s (SEM: $\pm 0,25$ s) für komplexe Muster. Eine ANOVA über alle Läufe zeigte für die Memorierungszeit keinen signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Komplexitäten (ANOVA-One-Way: $F(2,72) = 0,29$; $p = 0,75$). Die Werte für den ersten Lauf waren höher als die Werte für alle Läufe und liegen zwischen 3,21 s (SEM: $\pm 0,29$ s) für einfache Muster und 3,45 s (SEM: $\pm 0,30$ s) für komplexe Muster. Die Werte für die restlichen Läufe lagen unter den Werten für alle Läufe und befanden sich zwischen 1,93 s (SEM: $\pm 0,12$ s) für einfache Muster und 2,31 s (SEM: $\pm 0,20$ s) für komplexe Muster. Innerhalb aller Musterkomplexitäten ließen sich signifikante Unterschiede zwischen dem ersten Lauf und den restlichen Läufen finden (gepaarter T-Test für einfache Muster: $t(23) = 5,37$, $p < 0,001$, SD: 1,14; gepaarter T-Test für mittel-komplexe Muster: $t(24) = 4,86$, $p < 0,001$, SD: 1,09; gepaarter T-Test für komplexe Muster: $t(23) = 5,15$, $p < 0,001$, SD: 1,01).

Die Laufzeiten (Abb. 28, B) aller Läufe bewegten sich zwischen 3,31 s (SEM: $\pm 0,08$ s) für einfache Muster und 3,33 s (SEM: $\pm 0,08$ s) für komplexe Muster. Die Werte für den ersten Lauf lagen knapp über den Werten für alle Läufe zusammen (Min.: 3,33 s (SEM: $\pm 0,08$ s) für mittel-komplexe Muster; Max.: 3,38 s (SEM: $\pm 0,09$ s) für komplexe Muster), die Werte für die restliche Läufe lagen knapp darunter (Min.: 3,25 s (SEM: $\pm 0,07$ s) für einfache

Muster; Max.: 3,31s (SEM: $\pm 0,08$ s) für mittel-komplexe Muster). Weder die Werte zwischen den Musterkomplexitäten, noch die Werte innerhalb einer Komplexität zwischen dem ersten Lauf und den restlichen Läufen zeigten signifikante Unterschiede voneinander (ANOVA-One-Way für alle Läufe: $F(2,72) = 0,01$, $p = 0,99$, SD: 0,39; gepaarter T-Test für einfache Muster: $t(23) = 2,12$, $p = 0,06$, SD: 0,14; gepaarter T-Test für mittel-komplexe Muster: $t(24) = 1,35$, $p = 0,19$, SD: 0,10; gepaarter T-Test für komplexe Muster: $t(23) = 1,78$, $p = 0,09$, SD: 0,24).

Die Nachbauzeiten (Abb. 28, C) für alle Läufe lagen zwischen 10,37 s (SEM: $\pm 0,48$ s) für mittel-komplexe Muster und 10,99 s (SEM: $\pm 0,60$ s) für einfache Muster. Die Werte waren nicht signifikant unterschiedlich voneinander (ANOVA-One-Way für alle Läufe: $F(2,72) = 0,32$, $p = 0,73$). Alle Werte für den ersten Lauf lagen über den Werten für alle Läufe (Min.: 11,37 s (SEM: 0,69 s) für komplexe Muster; Max.: 12,46 s (SEM: $\pm 0,77$ s) für einfache Muster). Alle Werte für die restlichen Läufe lagen darunter (Min.: 8,67 s (SEM: $\pm 0,47$ s) für einfache Muster; Max.: 9,81 s (SEM: $\pm 0,48$ s) für komplexe Muster). Die Nachbauzeiten zwischen dem ersten Lauf und den restlichen Läufen unterschieden sich für jede Komplexität signifikant voneinander (gepaarter T-Test für einfache Muster: $t(23) = 4,55$, $p < 0,001$, SD: 3,86; gepaarter T-Test für mittel-komplexe Muster: $t(24) = 4,43$, $p < 0,001$, SD: 3,16; gepaarter T-Test für komplexe Muster: $t(23) = 2,10$, $p < 0,05$, SD: 2,96).

Ebenso wie beim Versuchsteil „Größe“ wurden bei den Rücklaufzeiten nur die Rücklaufzeiten berücksichtigt, die innerhalb eines Durchganges lagen. Auch hier floss der letzte Rücklauf zum Monitor nach Beendigung des Nachbauens der Muster nicht mit in die Rücklaufzeiten ein. Die Rücklaufzeiten (Abb. 28, D) für alle Läufe lagen zwischen 3,37 s (SEM: $\pm 0,08$ s) für mittel-komplexe Muster und 3,40 s (SEM: $\pm 0,09$ s) für einfache Muster. Sie waren nicht signifikant unterschiedlich voneinander (ANOVA-One-Way: $F(2,70) = 0,01$; $p = 0,99$; SD: 0,42). Die Rücklaufzeiten für den ersten Lauf schwankten zwischen 3,35 s (SEM: $\pm 0,08$ s) für mittel-komplexe Muster und 3,36 s (SEM: $\pm 0,08$ s) für einfache Muster. Die Werte für die restlichen Läufe lagen zwischen 3,32 s (SEM: $\pm 0,07$ s) für mittel-komplexe Muster und 3,47 s (SEM: $\pm 0,14$ s) für komplexe Muster. Die Werte zwischen dem ersten Lauf und den restlichen Läufen innerhalb einer Komplexität unterschieden sich nicht signifikant voneinander (gepaarter T-Test für einfache Muster: $t(3) = -0,04$, $p = 0,96$, SD: 0,24; gepaarter T-Test für mittel-komplexe Muster: $t(10) = 0,90$, $p = 0,39$, SD: 0,12; gepaarter T-Test für komplexe Muster: $t(17) = -0,96$, $p = 0,35$, SD: 0,41).

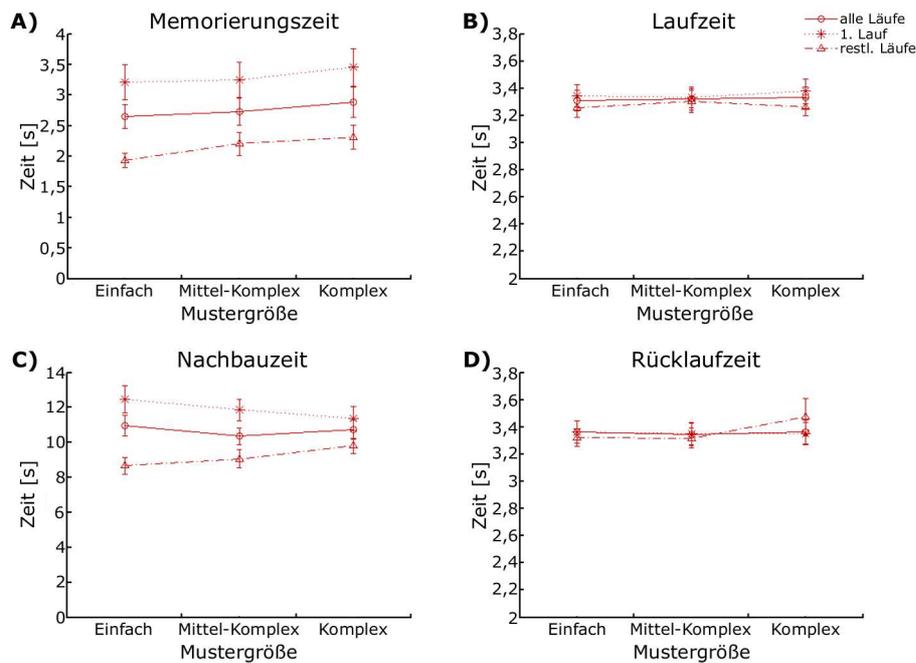


Abb. 28: Gemittelte Zeiten für den Versuchsteil „Komplexität“. Aufgetragen sind jeweils alle Läufe (durchgezogene Linie) sowie die Aufteilung in ersten Lauf (gepunktete Linie mit Sternen) und restliche Läufe (gestrichelte Linie mit Dreiecken). Alle Werte mit Standardfehler, n= 25.

Weiterhin wurden für beide Aufgabenteile Memorierungs- und Nachbauzeit im Verhältnis zu den abgelegten Steinen untersucht. Keine Versuchsperson legte in einem Lauf mehr als 5 Steine ab. Abb. 29 A zeigt diese Untersuchung für den Aufgabenteil „Größe“. Die Nachbauzeiten stiegen kontinuierlich von 7,35 s (SEM: $\pm 0,48$ s) für einen abgelegten Stein auf 16,26 s (SEM: $\pm 0,38$ s) für 5 abgelegte Steine. Eine ANOVA zeigte, dass die Nachbauzeit beim Versuchsteil „Größe“ signifikant mit der Anzahl der abgelegten Steine stiegen (ANOVA-One-Way: $F(4,86) = 27,48$; $p < 0,001$). Die Memorierungszeit für den Versuchsteil „Größe“ lag zwischen 2,39 s (SEM: $\pm 0,19$ s) für 3 abgelegte Steine und 3,62 s (SEM: $\pm 0,34$ s) für 5 abgelegte Steine. Eine ANOVA für diese Werte zeigte, dass es einen Trend zu längerem Memorieren für mehr abgelegte Steine gab (ANOVA-One-Way: $F(4,86) = 2,12$; $p = 0,09$).

Die Nachbauzeiten für den Aufgabenteil „Komplexität“ (Abb. 29, B) stiegen von 6,54 s (SEM: $\pm 0,38$ s) für einen abgelegten Stein auf 17,99 s (SEM: $\pm 0,45$ s) für 7 abgelegte Steine. Auch hier stieg die Nachbauzeit signifikant mit der Anzahl der abgelegten Steine (ANOVA-One-Way: $F(4,93) = 50,72$; $p < 0,001$). Die Werte für die Memorierungszeit stiegen von 2,20 s (SEM: $\pm 0,21$ s) für einen abgelegten Stein auf 4,07 s (SEM: $\pm 0,41$ s) für 5 abgelegte Steine. Hier stieg die Memorierungszeit signifikant mit der Anzahl der abgelegten Steine an (ANOVA-One-Way: $F(4,93) = 3,62$; $p < 0,01$).

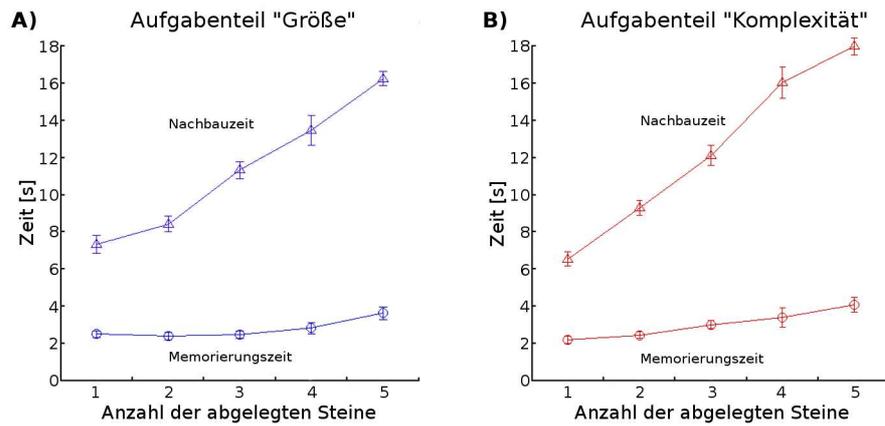


Abb. 29: Memorierungs- und Nachbauzeit in Abhängigkeit von den abgelegten Steinen für die Aufgabenteile „Größe“ (A) und „Komplexität“ (B)

In Abb.30 sind die Laufzeiten der Versuchspersonen vom Modell zum Arbeitsplatz gegen die Anzahl der abgelegten Steine pro Lauf aufgetragen. Als Null-Linie wurde für jede Versuchsperson der Mittelwert der vier Läufe des 1er-Musters aus dem Versuchsteil „Größe“ verwendet. Das Delta der Laufzeiten wurde gebildet, indem dieser Mittelwert von den jeweiligen anderen Laufzeiten der Versuchspersonen abgezogen wurde. Somit entsprach ein positives Delta der Laufzeiten einer längeren Laufzeit von Modell zu Arbeitsplatz, ein negatives Delta einer kürzeren Laufzeit. Die Laufzeiten der 1er-Muster des Aufgabenteils „Größe“ flossen nicht in die Auswertung mit ein. Die „n“s über den SEM-Balken geben die jeweilige Anzahl von Werten an, die in diese Kategorie mit einfließen. Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass in beiden Aufgabenteilen langsamer gelaufen wurde, wenn 5 Steine abgelegt wurden (Laufzeitunterschied: 60,56 ms (SEM: $\pm 26,17$ ms) für Aufgabenteil „Größe“; 98,54 ms (SEM: $\pm 45,51$ ms) für Aufgabenteil „Komplexität“). Der einzige weitere Wert, der einen größeren Laufzeitunterschied als ± 40 ms hatte, war der Wert für den ersten Lauf bei einem Stein beim Aufgabenteil Komplexität (101,58 ms (SEM: $\pm 44,39$)). Alle anderen Werte hatten einen Laufzeitunterschied von höchstens ± 40 ms.

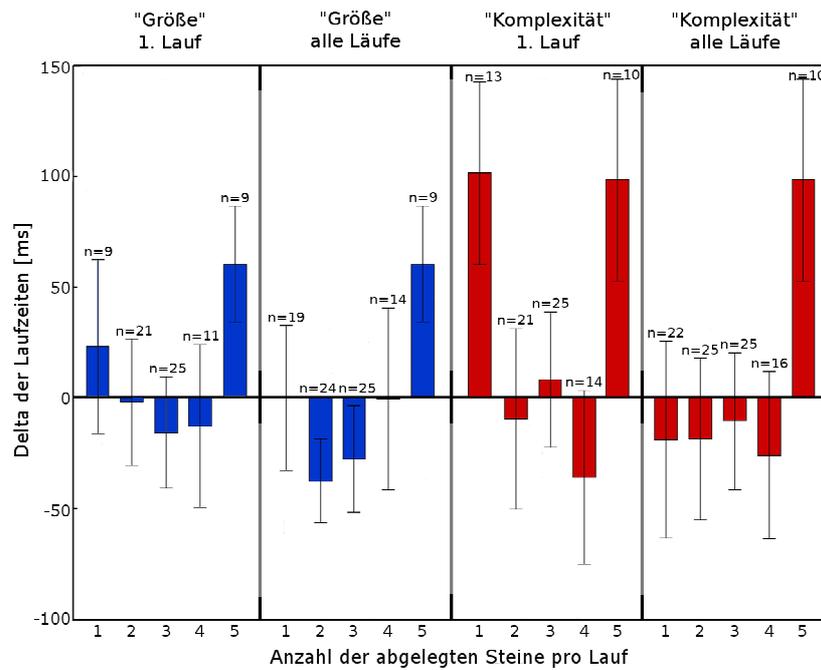


Abb. 30: Laufzeitunterschiede für die beiden Versuchsteile „Größe“ und „Komplexität“ gegen die Anzahl der abgelegten Steine pro Lauf. Das Delta wurde in Bezug zur Laufzeit für die 1er-Muster des Versuchsteils „Größe“ gebildet. Weiterhin werden neben den Laufzeitunterschieden für alle Läufe zusätzlich die Laufzeitunterschiede für den 1. Lauf angegeben. Alle Werte mit Standardfehler.

Zuletzt wurde untersucht, ob es möglicherweise eine Korrelation zwischen Laufzeit und Memorierungszeit gibt. In Abb. 31 sind für beide Versuchsteile die Memorierungszeiten gegen die Laufzeiten aufgetragen. Eine Berechnung des Korrelationskoeffizienten führte zu niedrigen Ergebnissen von $R=0,268$ für den Versuchsteil „Größe“ (Abb. 31, A) und $R=0,286$ für den Versuchsteil „Komplexität“ (Abb. 31, B). Aufgrund des niedrigen Korrelationskoeffizienten, muss die Hypothese, dass es eine Korrelation zwischen Memorierungszeit und Laufzeit gibt, abgelehnt werden.

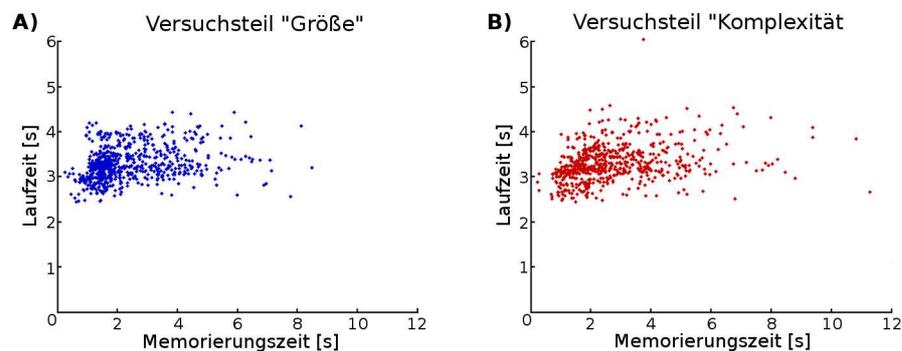


Abb. 31: Laufzeit gegen Memorierungszeit für die Versuchsteile „Größe“ (A) und Komplexität (B).

2.5. Spezielle Diskussion für Experimentalblock I:

Fehler:

Die Auswertung der Fehler zeigt, dass die Aufgabe von den Versuchspersonen gut zu lösen war. Die Werte für den Anteil richtig kopierter Muster fielen in keinem Aufgabenteil unter 65% (Mittelwert für Aufgabenteil „Größe“: 85%; Mittelwert für Aufgabenteil „Komplexität“: 67,15%; siehe auch Abb. 19, S. ...). Es ist auch zu sehen, dass das Kopieren von Mustern unterschiedlicher Komplexität signifikant schwieriger war, als das Kopieren von Mustern unterschiedlicher Größe. Dies lässt darauf schließen, dass in den Mustern unterschiedlicher Komplexität mehr Information steckt und/oder, dass diese Information daher schwerer zu memorieren, bzw. abzurufen ist. Ein Grund hierfür könnten die anderen Systeme sein, die beim Aufgabenteil „Größe“ zur Hilfe genommen wurden, wie beispielsweise der *phonological loop*, was zu einer Ressourcenerweiterung führt (*phonological store*) und somit die Aufgabe erleichtert (Baddeley, 1993; McAfoose & Baune, 2009). Ein Indiz dafür sind die Angaben der Versuchspersonen auf dem Fragebogen, bei denen die meisten beschrieben, dass sie sich die Farben der Muster (meist von oben links nach unten rechts) in Gedanken aufsagten. Die Position der Muster bei unterschiedlicher Komplexität lässt sich jedoch gedanklich schwerer in Worte fassen.

Die Tatsache, dass es beim Anteil der richtig kopierten Muster für beide Versuchsteile „Größe“ und „Komplexität“ keinen signifikanten Unterschied machte, ob sie im ersten oder im zweiten Durchgang gemacht wurden, zeigt, dass die Reihenfolge der Aufgabenteile keinen Einfluss auf die Fehler hatte. Die verschiedenen Aufgabenteile beeinflussten sich also nicht untereinander im Ergebnis. Diese Annahme wird ebenfalls dadurch bekräftigt, dass sich der Anteil richtig kopierter 5er-Muster aus Aufgabenteil „Größe“ nicht signifikant von den einfachen Mustern des Aufgabenteils „Komplexität“ unterschied (s. Abb. 21, S. 37).

Die Auswertung der prozentualen Anteile richtig kopierter Muster verdeutlicht die Schwierigkeit, ein Muster richtig zu kopieren, wenn Mustergröße und Musterkomplexität zunehmen. Interessant ist jedoch, dass es beim Versuchsteil „Komplexität“ kaum einen Unterschied im Schwierigkeitsgrad für mittel-komplexe und komplexe Muster gab. Dies lässt darauf schließen, dass der schwierigste Teil beim Memorieren der Muster, der Kontakt zweier Steine mit halber Kantenlänge sein muss, da dies die einzige Gemeinsamkeit in der Komplexität der beiden Musterarten und gleichzeitig der einzige gemeinsame Unterschied zu den Mustern einfacher Komplexität war. Der Kontakt der Steine über Eck hingegen scheint die Verarbeitung oder Wahrnehmung der Muster nicht zu beeinflussen.

Bei der Auswertung der Fehlerarten stachen sowohl die Fehler der 7er-Muster, als auch die Positionsfehler für den Aufgabenteil „Komplexität“ heraus. Bei den 7er-Mustern wurden zum beinahe gleichen Teil Positions- und Farbfehler begangen. Dies lässt sich mit der Größe der Muster erklären, welche die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, die laut Cowan bei 3-5

Einheiten liegt (Cowan, 2000), übertreffen. Der hohe Anteil an Positionsfehlern und der geringe Anteil an den restlichen Fehlerarten bei mittel-komplexen und komplexen Mustern bestätigen nochmals die Vermutung, dass die am schwierigsten zu memorierende Information bei beiden Musterkomplexitäten wohl im Kontakt zweier Steine mit halber Kantenlänge liegt. Bei 5er-Mustern mit ausschließlich ganz anliegenden Kanten wurden für beide Versuchsteile wenige Fehler gemacht.

Strategien:

Die Auswertung der Läufe pro Mustergröße beim Aufgabenteil „Größe“ spiegelt ebenfalls sehr gut Cowans Annahme über die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses (3-5 Einheiten) wieder (Cowan, 2000). Während 1er- und 3er-Muster mit einem Lauf kopiert werden konnten, brauchten die Versuchspersonen im Mittel knappe 2 Läufe für das 5er-Muster und knappe 3 Läufe für das 7er-Muster. Die Laufanzahl für die 5er-Muster unterschiedlicher Komplexitäten zeigt, dass sich auch die Komplexität signifikant auf die Laufanzahl und somit auf die Gedächtnisbelastung auswirkt. Allerdings scheint die meiste Positionsinformation, wie schon im Abschnitt „Fehler“ erwähnt, in den zur Hälfte anliegenden Kanten zu liegen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass sich ganzkantige berührende Quadrate, so wie auch Quadrate, die sich über Eck berühren, geläufige Muster in unserem Alltag sind (zum Beispiel: Schachbrettmuster, Kachelmuster auf Straßen oder in Bädern). Halbkantig anliegende Quadrate sind jedoch ungewohnter und benötigen wohl mehr Aufmerksamkeit. Die räumliche Information fordert also ebenso ihre Ressourcen, wie die visuelle Information. Eine ungewohnte räumliche Anordnung benötigt mehr Ressourcen als eine gewohnte räumliche Anordnung. Somit kann man annehmen, dass eine Speicher- oder Verarbeitungseinheit des Arbeitsgedächtnisses nicht auf einen Stein reduziert werden kann. Vielmehr spielen noch weitere Informationen, wie Farbe, Position und die in der Anleitung schon erwähnte Möglichkeit zur *chunk*-Bildung mit hinein (Miller, 1956; Cowan, 2000).

Die Auswertung der Ablegestrategien für die Aufgabenteile „Größe“ und „Komplexität“ zeigt, dass sich die Anzahl unterschiedlicher Strategien häuft, je größer und komplexer das Muster ist. Dies ist zum einen dadurch zu erklären, dass es bei größeren Mustern auch mehr Möglichkeiten gibt, mit welcher Strategie man sie ablegt. Zum anderen kann man wohl annehmen, dass bei schwierigeren Mustern andere Faktoren zu dieser Häufung unterschiedlicher Strategien führen: Häufiger auftretende Fehler könnten zu vermehrten Läufen führen. Es könnten mehr Kontrollläufe (Lauf ohne Ablegen von Steinen) aufgetreten sein, um das richtige Kopieren zu gewährleisten und es könnten weniger Steine pro Lauf abgelegt worden sein, da die Positionsinformation den Speicher des Arbeitsgedächtnisses zu sehr auslastete. Diese Faktoren könnten zu der Vielzahl an verschiedenen Strategien führen. Allerdings findet man bei jeder Musterart beider Aufgabenteile auch Hauptstrategien („3-2“

für alle 5er-Muster, „2-2-3“, „2-3-2“ und „3-2-2“ für 7er-Muster). Die Hauptstrategien lassen darauf schließen, dass es hier einen *trade-off* zwischen der Anzahl der Läufe und der Auslastung des Arbeitsgedächtnisses (also zwischen Bewegung und Memorierung) gibt, welcher durch die Hauptstrategie ausbalanciert ist. Ansonsten gäbe es keinen Grund eine Strategie unterbewusst häufiger zu verwenden als andere Strategien.

Zeiten:

Betrachtet man die Auswertung der Memorierungszeiten beider Aufgabenteile „Größe“ (Abb. 27 A, S. 44) und „Komplexität“ (Abb. 28 A, S. 46), lässt sich ein Plateau für Muster ab einer Größe von 5 Steinen erkennen, welches zwischen 2,65 und 3,45 Sekunden liegt. Somit gibt es eine maximale Zeit, die für das Memorieren aufgebracht wird. Die Memorierungszeit ist ab einer Mustergröße von 5 Steinen unabhängig von Größe und Komplexität der Muster. Dies zeigt, dass die Aufgabe im Arbeitsgedächtnis gelöst wird, da die von Nikolic und Singer (Nikolic & Singer, 2007)) vorgeschlagene Zeitspanne von 5 Sekunden, die benötigt wird, um eine Auslastung des Arbeitsgedächtnisses in das Langzeitgedächtnis zu übertragen, deutlich über der Memorierungszeit beider Aufgabenteile liegt. Die Memorierungszeit steigt allerdings mit der Anzahl der abgelegten Steine (Abb. 29, S. 47). Die Werte sind signifikant für den Aufgabenteil „Komplexität“, und liefern einen Trend für den Aufgabenteil „Größe“. Beim ersten Lauf wurde, im Vergleich zu den restlichen Läufen, bei allen Mustern mit einer Größe ab 5 Steinen, in beiden Versuchsteilen signifikant länger memoriert. Wie bereits gezeigt wurde, steigt die Memorierungszeit mit der Anzahl der abgelegten Steine. Demzufolge wird der Hauptgrund darin vermutet, dass beim ersten Lauf mehr Steine abgelegt werden als bei den restlichen Läufen. Dies lässt sich durch die bereits diskutierten Ablegestrategien belegen: Die meisten häufig angewandten Strategien zeigten eine höhere Zahl abgelegter Steine für den ersten Lauf, als für die restlichen (Beispiel: „3-2“, „5-0“, „3-2-2“). Ein weiterer Grund könnte sein, dass sich die Versuchspersonen beim ersten Lauf mehr als nur die Steine merken, die sie anschließend ablegen. Beim ersten Lauf wird zunächst das gesamte Muster erfasst, inklusive Form und Anzahl der Steine. Erst anschließend wird die Aufmerksamkeit auf Steine gelenkt, die man sich merken will. Man speichert also mehr Informationen ab, als man für den ersten Lauf benötigt. Bei den restlichen Läufen greifen die Versuchspersonen auf die Informationen zurück, die sie sich aus dem ersten Lauf gemerkt haben. Dementsprechend fällt es leichter, sich den Rest des Musters zu merken. Dies spricht für Baddeleys Modell, in welchem visuelle und räumliche Informationen im *visual-spatial store* erhalten werden können, bis sie wieder benötigt werden (Baddeley, 2003; McAfoose & Baune, 2009).

Die Nachbauzeiten (Abb. 27 C, S. 44; Abb. 28 C, S. 46) für alle Läufe zeigen für beide Aufgabenteile keine auffälligen Werte. Die Zeiten des Aufgabenteils „Größe“ für das Nachbauen der 3er-Muster sind ähnlich den Zeiten für das Nachbauen der 5er- und 7er-Muster, da bei den meisten Läufen zwischen 2 und 4 Steine abgelegt wurden und somit für die Ablage der Steine ähnlich lange gebraucht wurde. Die Nachbauzeiten für den ersten Lauf

sind bei beiden Aufgabenteilen meist höher als die Zeiten für die restlichen Läufe. Dies lässt sich wie bei den Memorierungszeiten dadurch erklären, dass beim ersten Lauf mehr Steine abgelegt werden als bei den restlichen Läufen und dieses Ablegen einen längeren Zeitraum benötigt. Dass die Nachbauzeit signifikant mit der Anzahl abgelegter Steine steigt, wird in Abb. 29 (S. 47) deutlich gezeigt.

Die Rücklaufzeiten für alle Läufe beider Aufgabenteile liegen bei ca. 3,45 s. Sie zeigen keine besonderen Abweichungen voneinander. Auch eine Aufspaltung in ersten Lauf und restliche Läufe zeigt keinen signifikanten Unterschied. Somit kann behauptet werden, dass folgende Faktoren keinen Einfluss auf die Rücklaufzeit haben: die Musterart (Größe oder Komplexität), die Anzahl abgelegter Steine pro Lauf und die Nummer des Laufes.

Die Hypothese war, dass die Laufzeit zwischen Modell und Arbeitsbereich mit einer höheren Auslastung des Arbeitsgedächtnisses steigt. In diesem Versuch können allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den Laufzeiten bei unterschiedlichen Mustergrößen (Abb. 27 B, S. 44) oder Musterkomplexitäten (Abb. 28 B, S. 46) gefunden werden. Auch wurden bei beiden Aufgabenteilen keine signifikanten Unterschiede zwischen dem ersten Lauf und den restlichen Läufen gefunden. Die Betrachtung der Laufzeiten in Relation zur Anzahl abgelegter Steine, die stellvertretend für die Auslastung des Arbeitsgedächtnisses stehen, zeigt nur ansatzweise die erwarteten Ergebnisse (Abb. 30, S. 48): bei einer Gedächtnisauslastung von bis zu 4 Steinen sticht nur ein Wert heraus („Komplexität“, 1. Lauf bei einem Stein), der allerdings nicht erklärt werden kann und somit als Ausreißer gewertet werden muss. Weiterhin zeigen die Werte für eine Gedächtnisauslastung von 5 Steinen für beide Versuchsteile einen Anstieg der Laufzeit um 60-100 ms. Diese Werte geben Grund zu Spekulationen: eventuell beansprucht erst eine Gedächtnisauslastung ab 5 Steinen die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses soweit, dass sich diese auf die Laufgeschwindigkeit auswirkt. Die Überlegung, ob die Memorierungszeit ein besseres Maß für die Auslastung des Arbeitsgedächtnisses ist, als die Anzahl abgelegter Steine, lässt sich mit der Tatsache verknüpfen, dass die Versuchspersonen im ersten Lauf mehr Informationen speichern, als durch die Anzahl der abgelegten Steine zu erkennen ist. Für diese Überlegung spricht ebenfalls, dass beim Aufgabenteil „Größe“ kein signifikanter Anstieg der Memorierungszeit mit der steigenden Anzahl abgelegter Steine zu finden ist (Abb. 29, S. 47). Dementsprechend könnte bei zwei Läufen mit 3 abgelegten Steinen ein Lauf eine höhere Auslastung des Arbeitsgedächtnisses haben, als der andere, obwohl die gleiche Anzahl an Steinen abgelegt wurde. Allerdings führte auch dieser Ansatz nicht zum erwarteten Ergebnis (Abb. 31, S. 48). Für beide Aufgabenteile gibt es keine Korrelation zwischen den Memorierungszeiten und den Laufzeiten.

Es wurde gezeigt, dass der von Hardiess et al. (2010, unveröffentlicht) gefundene Effekt mit diesem Versuchsdesign nicht zu isolieren ist. Dies kann verschiedene Gründe haben. Zum einen waren die Distanzen, die bei Hardiess' Versuchsdesign bis zu einer Aktualisierung des

memorierten Musters (*memoryrefresh*) zurückgelegt werden mussten durch die Aufspaltung von Ressourcen und Arbeitsbereich in 2 verschiedene Stationen, um ein Vielfaches höher. Somit war auch die Zeit zwischen den *memoryrefreshs* um ein Vielfaches höher. Es könnte sein, dass durch diese kürzeren Distanzen der Effekt in der Streuung der Versuchszeiten nicht zu erkennen ist. Demzufolge wären die Parameter in diesem Versuch trotz mehrerer Vorversuche falsch gewählt worden. Dies gilt es in Folgeversuchen auszuschließen.

In der Einleitung wurde bereits erläutert, dass das Arbeitsgedächtnis eine aktive Einheit mit vielen Prozessen ist. In den bisherigen Versuchsdesigns werden allerdings, anders als bei Hardiess et al. (2010, unveröffentlicht), keine oder kaum Prozesse, wie beispielsweise Entscheidungsfindung oder Planung abverlangt, sondern alleinig das Memorieren. Es könnte sein, dass gerade diese Prozesse einen Hauptteil der Ressourcen beanspruchen. Um diesen Aspekt zu berücksichtigen, müsste ein neues Versuchsdesign verwendet werden, in welchem die Versuchsperson sich beispielsweise bei jedem Lauf zwischen 2 Ressourcen-Stationen, an denen sie die Steine für das zu kopierende Muster holt, entscheiden muss. Ein solches Versuchsdesign könnte die Prozesse des Arbeitsgedächtnisses eher beanspruchen und somit zu dem gewünschten Ergebnis führen.

Zuletzt könnte es natürlich auch sein, dass der theoretische Ansatz nicht stimmt und die verzögerten Laufzeiten, wie sie bei Hardiess et al. (2010, unveröffentlicht) auftreten nicht auf den *trade-off* zwischen der Arbeitsgedächtnisbelastung und der Laufgeschwindigkeit zurückzuführen sind. Bevor man diese Theorie allerdings verwirft, wären weitere Versuchsansätze, wie bereits erwähnt, sicherlich ratsam.

3. Experimentalblock II: „ Verarbeitung haptischer Information im Arbeitsgedächtnis“

3.1. Spezielle Einleitung für Experimentalblock II: „Verarbeitung haptischer Information im Arbeitsgedächtnis“

Die haptische Wahrnehmung ist hauptsächlich für die Charakterisierung von Materialbeschaffenheit bei Oberflächen und Gewicht und Größe von Objekten zuständig. Dazu greift das haptische System bei einer aktiven Untersuchung von Objekten auf sensorische Informationen aus der Haut (Mechano- und Thermorezeptoren) und auf sensorische Informationen aus der Tiefensensibilität (Lage-, Kraft- und Bewegungssinn) zurück.

Die räumliche Auflösung des menschlichen Körpers korreliert mit der Dichte der Mechanorezeptoren in der Haut (Goldreich & Kanics, 2003). Um die räumliche Auflösung des Menschen zu charakterisieren haben sich über die Jahre zwei Methoden durchgesetzt: der *two-point touch threshold* („Zwei-Punkte-Berühr-Grenzwert“) und der *point-localization threshold* („Punkt-Lokalisierungs-Grenzwert; Weinstein, 1968). Der *two-point touch threshold* wird bestimmt, indem man eine Versuchsperson mit einer oder zwei Nadeln in unterschiedlichen Abständen zueinander berührt. Die Versuchsperson muss nun ohne visuelle Hilfe entscheiden, ob sie von einer oder zwei Nadeln berührt wurde. Der kleinste Abstand zwischen den zwei Berührungspunkten, bei dem man noch zwei unterschiedliche Punkte wahrnimmt, wird als *two-point touch threshold* bezeichnet. Der *point-localization threshold* wird bestimmt, indem man eine Person mit einer Nadel zweimal zeitlich versetzt berührt. Die Person muss angeben, ob der zweite Berührungspunkt identisch mit dem ersten ist oder an einer anderen Stelle liegt. Der Abstand, bei dem man noch unterschiedliche Berührungspunkte spüren kann, wird *point-localization-threshold* genannt. Weiterführende Studien (Steven & Patterson, 1995) haben auch gezeigt, dass die räumliche Auflösung im Alter von 12 bis 85 um fast 1% pro Jahr sinkt. Die durchschnittliche Verteilung der beiden Grenzwerte über den Körper ist in Abb. 32 dargestellt.

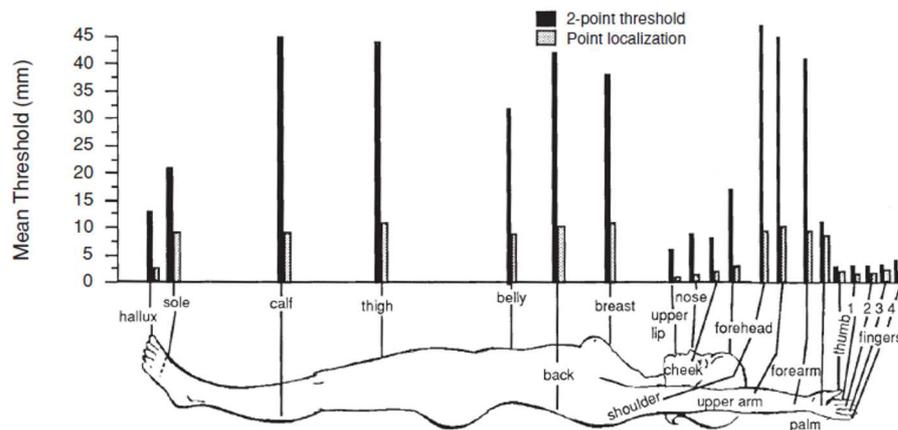


Abb. 32: *two-point touch* und *point localization threshold* für verschiedene Körperstellen (Abbildung aus "Skin and Touch" von S.J. Lederman, 1991)

Bei dem haptischen und dem visuellen System gibt es viele Gemeinsamkeiten. Es gibt beim haptischen System ebenfalls ein „was“- und ein „wo“-System. Diese nutzen verschiedene Verarbeitungswege, die durch *fMRI* („*functional magnetic resonance imaging*“) und in Verhaltensstudien (Reed et al., 2005) nachgewiesen werden können. Das „was“-System verarbeitet Informationen über Oberflächen und Objekte mit ihren vielen verschiedenen Eigenschaften (Klatzky et al., 1985). Das „wo“-System verarbeitet zum einen die Information, die angibt wo genau auf dem eigenen Körper eine Berührung stattfindet und zum anderen die Information, die angibt wo sich dieser Gegenstand im Raum befindet (Lederman & Klatzky, 2009).

Weiterhin findet man verschiedene Effekte, die auch beim visuellen System vorkommen. Hier ist zum Beispiel die *change blindness* zu nennen, die Unfähigkeit, Veränderungen in einer wahrgenommen Umgebung zu erkennen, wenn der Aufmerksamkeitsfokus nicht auf diesem Punkt liegt. Die *change blindness* wurde schon oft beim visuellen System gezeigt (zum Beispiel bei Rensick et al. 1997) und auch beim haptischen System gefunden (Gallace et al., 2006). Ein weiterer Effekt, der in ähnlicher Weise in beiden Systemen gefunden wurde, ist das Phi-Phänomen, eine illusionäre Bewegung, die wahrgenommen wird, wenn zwei Reize in einem kurzen räumlichen und zeitlichen Abstand präsentiert werden (Boring, 1942). Beim visuellen System schon seit Beginn des 20. Jahrhunderts bekannt, wurde dieser Effekt später auch beim haptischen System nachgewiesen (Sherrick & Rogers, 1966).

Sathian und Lacey (2007) fanden heraus, dass der visuelle Cortex auch bei der haptischen Wahrnehmung Aktivität aufweist. Dies gilt sowohl für sehende, als auch für blinde Personen. Sie folgerten daraus, dass diese Beteiligung des visuellen Cortex für haptische Wahrnehmung folgende Gründe haben könnte: Zum einen könnte es sich um wissensgesteuerte Prozesse handeln, bei denen man sich ein visuelles Bild des Erfühlten erstellt oder sich an ein visuelles Bild erinnert. Zum anderen könnte die Aktivierung der Areale darauf schließen lassen, dass es sich nicht, wie angenommen, um visuelle Areale, sondern um „multisensorische“ Areale handelt.

Im zweiten Experimentalblock wurde untersucht, wie haptische Information im Vergleich zur visuellen Information im Arbeitsgedächtnis verarbeitet wird. Dies wurde mit Hilfe einer Musterkopieraufgabe, ähnlich der von Hardiess et al. (2010, unveröffentlicht) untersucht (siehe Kapitel „2.1. Spezielle Einleitung für Experimentalblock I“, S. 11). Für diese Aufgabe wurden allerdings modifizierte Lego-Steine mit unterschiedlichen Texturen als haptische Information verwendet. Es wird untersucht, ob sich die Ergebnisse dieser Aufgabe von den Ergebnissen der visuellen Aufgabe unterscheiden und ob die Ergebnisse sich mit Baddeleys Multi-Komponenten-Modell vereinbaren lassen, oder ob Baddeleys Modell nochmals überarbeitet werden muss.

3.2. Material und Methoden

Allgemeiner Versuchsaufbau:

Aufgabe der Versuchsperson war es, ein Muster aus modifizierten Lego-Duplo-Steinen (im Folgenden „Steine“ genannt) mit unterschiedlichen Texturen als Oberfläche (siehe Kapitel „*Muster und Texturen*“, S. 58), ohne visuelle Hilfe zu erfüllen und dieses zu kopieren. Hierzu wurden 3 Kisten (siehe Kapitel „*Kisten*“, S. 60) in einem gleichseitigen Dreieck aufgestellt. Die Seitenlänge betrug 4,50 m. Eine Kiste diente als Modellbereich (M), die zweite Kiste als Ressourcenbereich (R) und die dritte Kiste als Arbeitsbereich (W, für den englischen Ausdruck *work space*). Im Modellbereich befand sich für jeden Durchgang das jeweilige Muster, welches kopiert werden sollte. Im Ressourcenbereich wurden von jeder Steintextur 3 Exemplare zum Kopieren der Muster zur Verfügung gestellt. Im Arbeitsbereich befand sich eine leere Bauplatte, auf welcher das Muster kopiert werden sollte. Eine Darstellung des Versuchsaufbaus ist in Abb. 33 zu sehen.

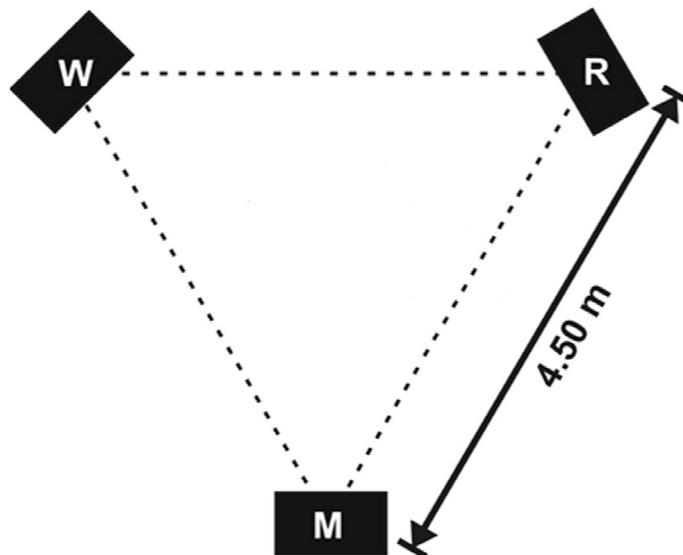


Abb. 33: Versuchsaufbau für Experimentalblock II.
M: Modellbereich; R: Ressourcenbereich; W: Arbeitsbereich

Für das Kopieren eines Musters galten folgende Regeln:

- Das Muster sollte so zügig und so genau wie möglich kopiert werden (Form und Texturen sollten beachtet werden)
- Es durfte immer nur ein Stein pro Ressourcenbesuch aus der Kiste genommen werden

- Die Steine aus dem Ressourcenbereich durften zu keiner Zeit angeschaut werden (hierbei wurde die Versuchsperson dazu angehalten, den Stein während des Transports von der Ressource zum Arbeitsbereich in der verschlossenen Hand hinter dem Rücken zu halten um ein versehentliches Betrachten zu vermeiden)
- Einmal am Arbeitsplatz abgelegte Steine durften nicht mehr korrigiert werden

Der Versuch bestand aus 10 Durchgängen mit 10 verschiedenen Mustern. Zu Beginn eines jeden Durchgangs stand die Versuchsperson in der Mitte des gleichseitigen Dreiecks. Dorthin begab sie sich auch am Ende eines jeden Durchgangs. Zwischen den Durchgängen wurde das Muster im Modellbereich durch den Versuchsleiter ausgetauscht und die zum Kopieren verwendeten Steine aus dem Arbeitsbereich zurück in den Ressourcenbereich geräumt. Weder das kopierte Muster, noch die verwendeten Steine wurden der Versuchsperson gezeigt. Es gab also keinerlei Rückmeldung über die Leistung an die Versuchsperson (vollständige Versuchsanleitung: siehe Anhang).

Nach dem Versuch füllte jede Versuchsperson einen Fragebogen mit Fragen über die Bewertung des Versuchs, ihre persönliche Einschätzung und über die angewandten Strategien aus (vollständiger Fragebogen: siehe Anhang).

Vortest:

Jede Versuchsperson absolvierte vor ihrem Versuch einen Vortest, um zu überprüfen, ob sie die unterschiedlichen Texturen problemlos auseinanderhalten kann und um die Versuchsperson sowohl an den blinden Umgang mit den Steinen und der Bauplatte, als auch an den Grad der Texturunterschiede zu gewöhnen.

Hierbei wurde in der Modell-Kiste eine Reihe mit den sechs unterschiedlichen Texturen festgesteckt, bei der jede Textur genau einmal vorkam. Weiterhin befanden sich von jeder Textur 2 weitere Steine lose in der Kiste. Die Aufgabe war es, die losen Steine den festgesteckten Steinen derselben Textur zuzuordnen und sie zu diesen zu stecken.

Alle Versuchspersonen absolvierten diesen Vortest fehlerfrei.

Muster und Texturen:

Für die Muster wurden modifizierte quadratische Lego-Duplo-Steine verwendet. Hierbei wurden dünne Plastikplättchen (1 mm) auf die 4 Noppen der Steine geklebt, welche als Unterlage für die verschiedenen Oberflächentexturen dienten. Für die Texturen wurden 6 verschiedene Materialien ausgesucht, die in vorangegangenen Tests als gut voneinander differenzierbar ermittelt wurden. Die verschiedenen Oberflächenstrukturen waren: Metall, die raue Seite eines Klettbandes (Tesa), Isolierschaumgummi (AF/Armaflex), Schaumstoff,

Schleifpapier (KL371, Körnigkeit: 120), Spültuch (JES Collection, 85% Viskose, 15% Polypropylen). Ein Beispiel für solch einen modifizierten Stein ist in Abb.34 zu sehen.

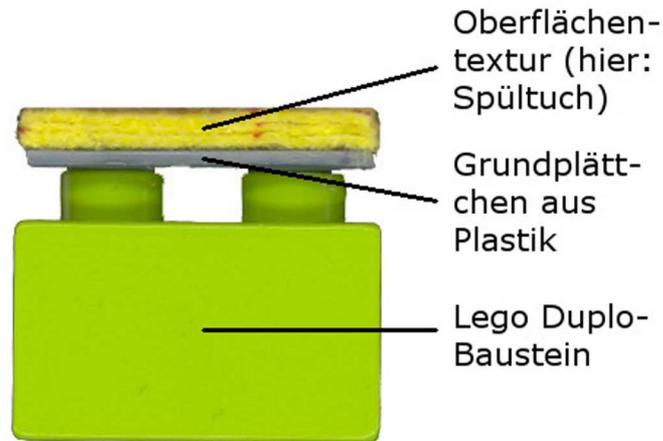
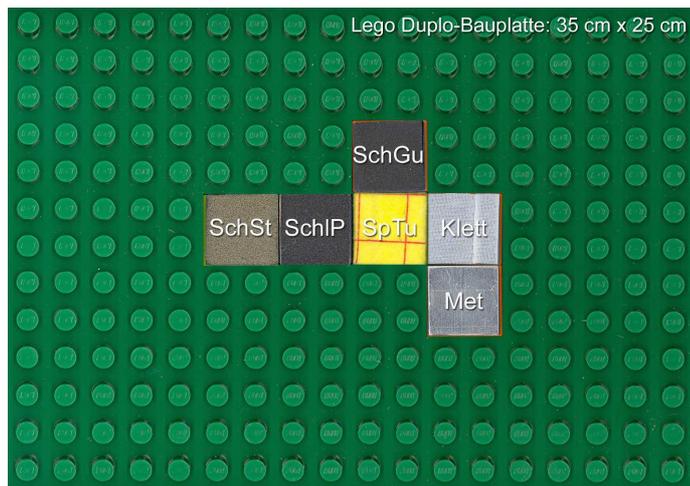


Abb. 34: Beispiel für einen Baustein für Experimentblock II. Ein Lego-Duplo-Baustein wurde mit einem Plastikplättchen beklebt, auf welchem eine Oberfläche befestigt wurde.

Für die Muster wurden folgende Regeln festgelegt:

- Die Muster bestanden immer aus 6 Bausteinen
- Jede Oberflächentextur kam genau einmal vor
- Die Kanten der Bausteine hatten immer vollen Kontakt mit ihren benachbarten Steinen (siehe Musterkomplexität „Einfach“ in Experimentblock I)
- Die Muster waren nie länger, bzw. breiter als 4 Steinlängen

Die Muster wurden auf einer zugeschnittenen Lego-Duplo-Bauplatte (35 cm x 25 cm) festgesteckt. Ein Beispielmuster mit Original-Größenverhältnis zur Bauplatte ist in Abb.35 dargestellt.



Klett = Klettband; **Met** = Metallplättchen; **SchGu** = Schaumgummi; **SchSt** = Schaumstoff; **SchIP** = Schleifpapier (KL371, Körnigkeit: 120); **SpTu** = Spültuch

Abb.35: Beispielmuster für Experimentalblock II auf Lego-Duplo-Bauplatte mit Oberflächentexturbeschriftung

Fehlerarten:

Es wurden 5 verschiedene Arten von Fehlern unterschieden, die beim Kopieren eines Musters auftreten können:

- Positionsfehler: Ein Stein mit der richtigen Textur wurde nicht an die gleiche Position wie im Modell abgelegt
- Texturfehler: Die Form des Modells wurde richtig kopiert, ein Stein besaß jedoch eine andere Textur als beim Modell an dieser Position
- Switch: 2 Steine lagen an einer richtigen Position, die Texturen wurden allerdings vertauscht
- Folgefehler: Ein Stein wurde aufgrund eines zuvor begangenen Positionsfehlers an einer falschen Stelle angelegt
- Stein zu wenig gelegt: Das Modell wurde mit nur 5 Steinen nachgebaut

Beispiele für die jeweiligen Fehlerarten sind in Abb. 36 dargestellt.

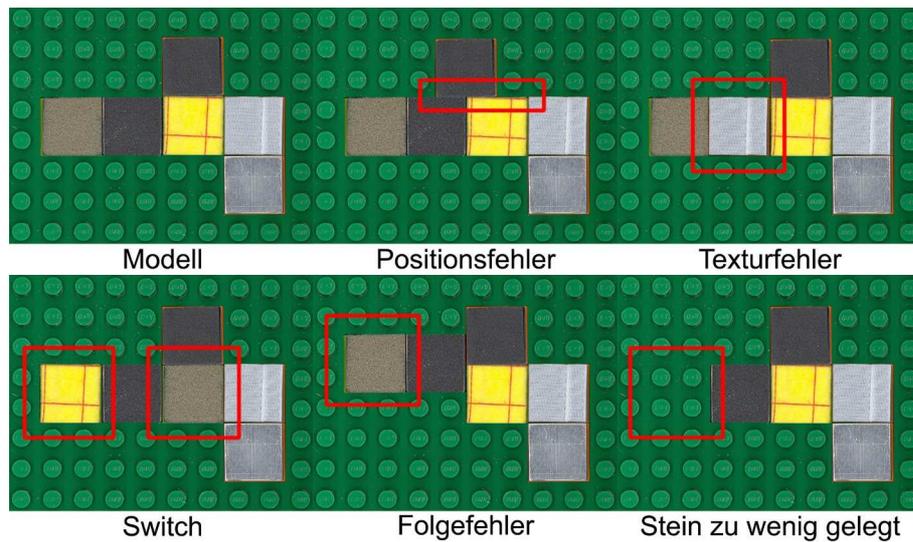


Abb. 36: Beispiele für die verschiedenen Fehlerarten in Experimentalblock II

Kisten:

Modell, Ressourcensteine und Arbeitsbereich befanden sich in Holzkisten mit 37 cm Breite x 20 cm Höhe x 30 cm Tiefe. Sichtschutz war durch einen Deckel mit einem daran befestigten weißen Baumwolltuch mit Eingriffspalt für die Hände der Versuchspersonen gewährleistet. Der Deckel stand in einem Winkel von ca. 35° geöffnet. Die Kisten befanden sich auf Podesten von 85 cm Höhe (s. Abb. 37).



Abb. 37: Kiste im Arbeitsbereich mit Versuchsperson

Versuchspersonen:

Es wurden 16 Personen im Alter von 19-31 Jahren getestet (Durchschnittsalter: 23,13; STD: 3,30). Darunter befanden sich 8 Frauen (Durchschnittsalter: 23; STD: 2,78) und 8 Männer (Durchschnittsalter: 23,25; STD: 3,96). Alle Versuchspersonen waren Studenten oder Angestellte der Universität Tübingen.

2 Versuchspersonen (1 w, 1 m) wurden aufgrund von Missverstehen der Aufgabe aus der Auswertung (sie bauten das Muster in der Ressource vor) herausgenommen.

Die Versuchspersonen wurden mit einem Stundenlohn von 8 Euro/Stunde, bei einem durchschnittlichen Zeitaufwand von 60 Minuten entlohnt.

Jede Versuchsperson unterschrieb eine Einverständniserklärung (siehe Anhang) und konnte den Versuch zu jeder Zeit abbrechen.

Tracking:

Zum Erfassen der Zeiten wurde wie im Hauptversuch des Experimentalblocks I ein Headtracking-System verwendet: Ein auf Infrarotlicht basierendes Trackingsystem (ARTtrack/DTrack von A.R.T. GmbH, Weilheim, Deutschland) mit 6 Freiheitsgraden und einer Echtzeit-Verzögerung von 40 ms und Trackingfrequenz von 60 Hz. Auch hier wurden, mit Hilfe der Position der Versuchspersonen im Raum, die Anzahl und die Dauer der Besuche der verschiedenen Bereiche und die Laufzeiten errechnet.

Auswertung:

Die statistische Auswertung wurde sowohl mit *Matlab (Version 7.7.0.471 (R2008b))*, als auch mit dem Statistikprogramm *SPSS* durchgeführt. Statistische Signifikanzen sind in den Schaubildern wie folgt angegeben:

- * : Signifikanzniveau $\rightarrow p < 0,05$
- ** : Signifikanzniveau $\rightarrow p < 0,01$
- *** : Signifikanzniveau $\rightarrow p < 0,001$
- kein * : Werte sind nicht signifikant verschieden $\rightarrow p > 0,05$

Laufstrategien:

Im Versuch wurden unterschiedliche Laufstrategien ausgewertet, die im Folgenden erklärt werden. Bestimmt wurden diese Laufstrategien aus den Besuchen der verschiedenen Bereiche des Versuchsaufbaus. Eine Laufstrategie enthielt alle Besuche zwischen zwei Arbeitsplatzbesuchen. Ausgewertete Laufstrategien waren:

- W – R – W: Die Versuchsperson lief vom Arbeitsplatz (W) zu den Ressourcen (R) und anschließend wieder zum Arbeitsplatz
- W – M – R – W: Die Versuchsperson lief vom Arbeitsplatz zum Modell (M), dann zu den Ressourcen und anschließend zum Arbeitsplatz

- W – M – W: Die Versuchsperson lief vom Arbeitsplatz zum Modell und anschließend wieder zum Arbeitsplatz
- W – R – M – W: Die Versuchsperson lief vom Arbeitsplatz zu den Ressourcen, dann zum Modell und anschließend zum Arbeitsplatz
- Sonstige: Alle Kombinationen von Besuchen zwischen 2 Arbeitsplatzbesuchen

3.3. Ergebnisse

Auswertung der Fehler:

Abb. 38 zeigt den prozentualen Anteil der richtig kopierten Muster. Berechnet wurde die Anzahl aller Muster geteilt durch die Anzahl aller richtigen Muster für die jeweiligen Durchgänge. Nimmt man den Anteil der Durchgänge 1-5 wurden im Schnitt 80% (SEM: $\pm 1,48$) der Muster richtig nachgebaut. Bei den Durchgängen 6-10 wurden 87,14% (SEM: $\pm 1,20$) der Muster richtig nachgebaut. Gemittelt über alle Durchgänge zusammen wurden 82,14% (SEM: $\pm 0,85$) der Muster richtig nachgebaut. Ein gepaarter T-Test zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Durchgängen 1-5 und den Durchgängen 6-10 (gepaarter T-Test: $t(13) = -0,81$; $p = 0,43$; SD: 32,92).

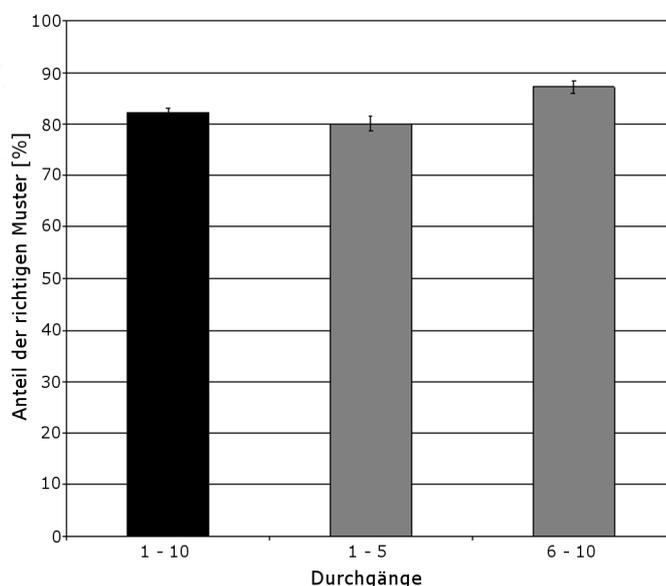


Abb. 38: Prozentualer Anteil der richtig nachgebauten Muster für die Durchgänge 1-10 und aufgeteilt in die Durchgänge 1-5 und 6-10. Alle Werte mit Standardfehler, $n = 14$.

Eine Untersuchung der Fehler über die einzelnen Durchgänge zeigte, dass bei jedem Muster ähnlich viele Fehler gemacht wurden. Am häufigsten wurden Muster 1 und 3 falsch kopiert (je viermal). Am seltensten wurden Muster 5, 8 und 9 falsch kopiert (je einmal).

Muster 4, 6 und 10 wurden je dreimal falsch kopiert und Muster 2 und 7 je zweimal. In den ersten Durchgängen wurden nicht viel mehr Fehler begangen, als in den folgenden Durchgängen.

In Abb. 39 ist der prozentuale Anteil der verschiedenen Fehlerarten dargestellt. Die häufigste Fehlerart war der Positionsfehler, der 50% aller Fehler ausmachte. Die zweithäufigste Fehlerart war der Folgefehler, der in 20,59% aller Fälle begangen wurde. Ein Texturfehler trat in 11,76% der Fälle auf und ein Switch, als auch das Ablegen von nur 5 Steinen kamen zu jeweils 8,82% vor.

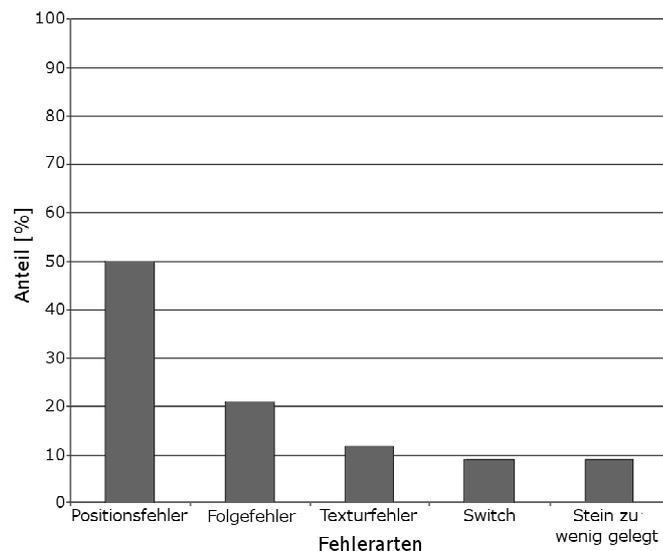


Abb. 39: Prozentualer Anteil der verschiedenen Fehlerarten.

Auswertung der Legereihenfolge:

Weiterhin wurde die Legerichtung der einzelnen Steine analysiert. Dies diente zur Untersuchung der Frage, ob Versuchspersonen Muster in einer bestimmten Richtung kopieren. Hierzu wurde die Reihenfolge, mit der die einzelnen Steine innerhalb eines richtig kopierten Musters abgelegt wurden, ausgewertet und die relativen Positionen der Steine zueinander in einem Koordinatensystem festgelegt. Dem ersten Stein wurde die Position (0|0) zugeteilt. Den folgenden Steinen wurde eine Position relativ zum ersten Stein zugeteilt. Wurde beispielsweise ein Stein anliegend über den ersten Stein gelegt, erhielt er die Position (0|1), wurde ein Stein anliegend links vom ersten Stein abgelegt, erhielt er die Position (-1|0). Den verschiedenen Positionen wurden anschließend Werte von 5 bis 1 gegeben. Die Werte wurden ab der Position des zweiten Steines absteigend nach Ablegereihenfolge verteilt, d.h. die Position des Steines, der als zweiter gelegt wurde, erhielt den Wert 5, die Position des Steines der als dritter gelegt wurde, erhielt den Wert 4, usw. Die Werte der Positionen wurden über alle Muster und Versuchspersonen aufaddiert. Die Position (0|0) erhielt aus Gründen der Darstellung den Wert der umliegenden Position mit dem höchsten Wert.

Eine Darstellung der gewichteten Legereihenfolge ist in Abb. 40 zu sehen. Man sieht, dass die größte gewichtete Häufigkeit (Wert: 268) bei dem Stein rechts vom ersten abgelegten Stein (Position (0|0)) zu finden war (Position (1|0)). Die zweitgrößte gewichtete Häufigkeit (Wert: 227) war beim Stein unterhalb des ersten abgelegten Steines zu finden (Position (0|-1)). Der Stein mit der drittgrößten relativen Häufigkeit (Wert: 182) lag auf der Position (1|-1).

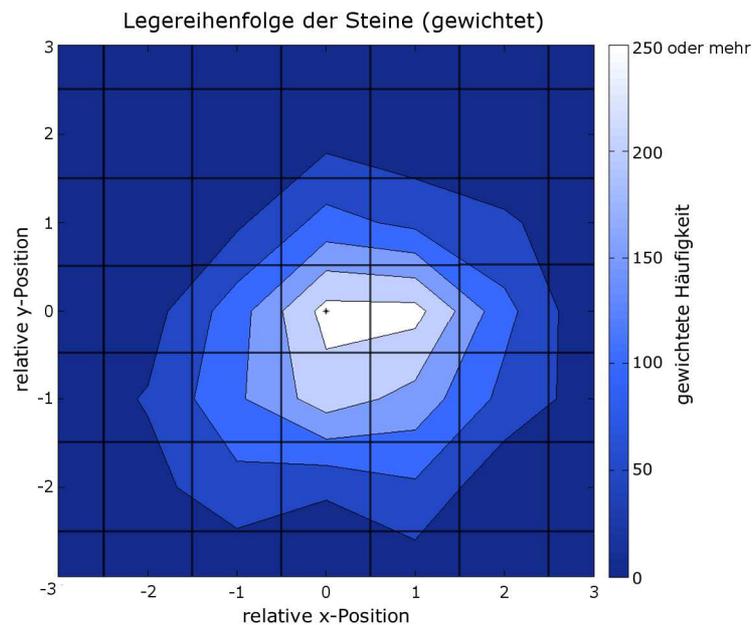


Abb. 40: Legereihenfolge der Steine (gewichtete Häufigkeit) relativ zum ersten Stein (zur genaueren Erklärung: siehe Text)

Auswertung der Laufstrategien:

In Abb. 41 ist der prozentuale Anteil der verschiedenen Laufstrategien zu sehen. Die Werte wurden über alle Versuchspersonen gemittelt und auf die Durchgänge 1-5 und 6-10 aufgeteilt. Bei beiden Durchgangsgruppen ließen sich die zwei gleichen Hauptstrategien erkennen. Hier wurde zwischen einer Hauptstrategie mit niedriger Auslastung des Arbeitsgedächtnisses (W-M-R-W, siehe Kapitel „*Laufstrategien*“ des Material und Methoden-Teils, S. 62) mit einem Besuch beim Modell und einer Hauptstrategie mit hoher Gedächtnisauslastung (W-R-W), ohne Besuch beim Modell unterschieden. Während in den Durchgängen 1-5 die Strategie W-M-R-W zu 29,29% (SEM: $\pm 0,78$) und die Strategie W-R-W zu 69,90% (SEM: $\pm 0,78$) verwendet wurde, wurde in den Durchgängen 6-10 die Strategie W-M-R-W zu 15,05% (SEM: $\pm 0,78$) und die Strategie W-R-W zu 84,14% (SEM: $\pm 0,84$) verwendet. Gepaarte T-Tests zwischen den beiden Durchgangsgruppen zeigten für die jeweiligen Strategieanteile einen signifikanten Unterschied (W-M-R-W: $t(13) = 5,29$, $p < 0,01$, SD: 10,06; W-R-W: $t(13) = -4,97$, $p < 0,01$, SD: 10,71).

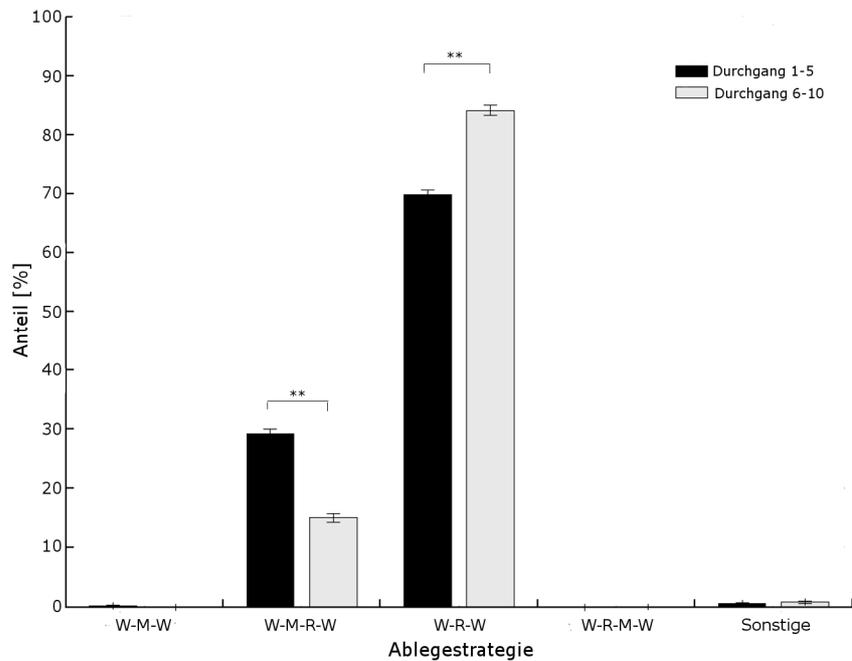


Abb. 41: Prozentualer Anteil der verschiedenen Laufstrategien, gemittelt über alle Versuchspersonen für die Durchgänge 1-5 und 6-10. Abkürzungen für die Strategien: W= Arbeitsbereich, M= Modell, R= Ressource. Alle Werte mit Standardfehler.

Abb. 42 zeigt die durchschnittliche Anzahl der angewendeten Hauptstrategien pro Durchgang. Während die Strategie W-R-W im ersten Durchgang im Schnitt 2,79 Mal (SEM: $\pm 0,26$) verwendet wurde, stieg die Anzahl bis zum fünften Durchgang auf 4,07 Mal (SEM: $\pm 0,20$). Im zehnten Durchgang wurde sie durchschnittlich 4,36 Mal (SEM: $\pm 0,20$) verwendet.

Die Strategie W-M-R-W wurde in Durchgang 1 durchschnittlich 2,14 Mal (SEM: $\pm 0,23$) angewandt. Bis zum fünften Durchgang fiel die durchschnittliche Anzahl auf 0,86 Mal (SEM: $\pm 0,21$) und lag beim zehnten Durchgang bei 0,64 (SEM: $\pm 0,20$).

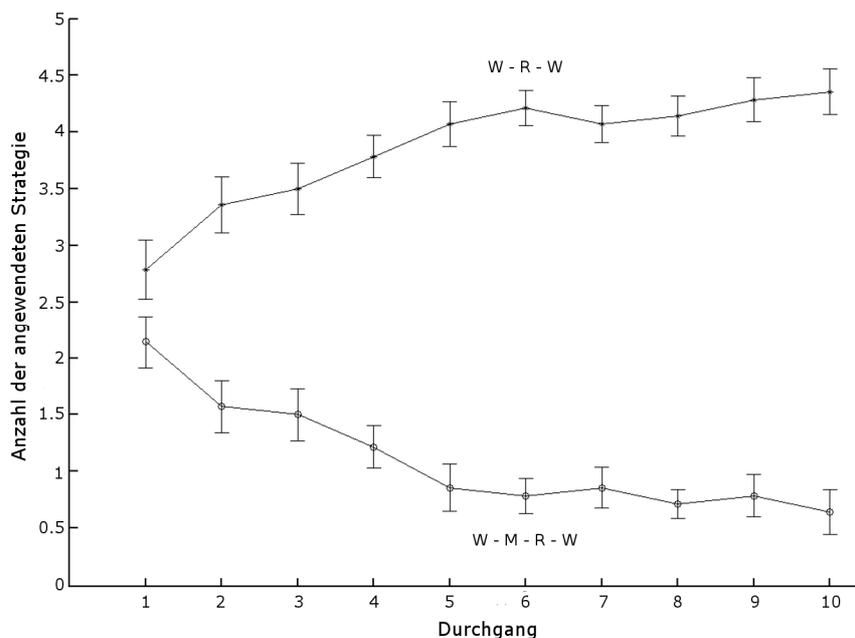


Abb. 42: Anzahl der angewendeten Hauptstrategien pro Durchgang über alle Versuchspersonen gemittelt. Abkürzungen für die Strategien: W= Arbeitsbereich; R= Ressource; M= Modell. Alle Werte mit Standardfehler.

Auch die absolute Anzahl der Modellbesuche aller Versuchspersonen sank vom ersten Durchgang (33) bis hin zum fünften Durchgang (15) um 18 Besuche und änderte sich vom sechsten Durchgang (13) bis zum zehnten Durchgang (9) um 4 Besuche.

Auswertung der Zeiten:

Abb. 43 zeigt sowohl die Gesamtdauer der einzelnen Durchgänge über die Versuchspersonen gemittelt (links), als auch ein Balkendiagramm für die gemittelte Gesamtdauer der zusammengefassten Durchgänge 1-5 und 6-10 (rechts). Während es zwischen der durchschnittlichen Gesamtdauer beim ersten Durchgang (Wert: 193,35 s; SEM: $\pm 8,02$ s) und beim zweiten Durchgang (Wert: 158,40 s; SEM: $\pm 6,96$ s) einen signifikanten Abfall von 34,95 s gab (gepaarter T-Test für Durchgang 1 gegen Durchgang 2: $t(8) = 4,51$; $p < 0,01$; SD: 20,59), betrug der Abfall der Gesamtdauer zwischen Durchgang 2 und Durchgang 5 (Wert: 142,55 s; SEM: $\pm 7,74$ s) 15,85 s. Die durchschnittliche Gesamtdauer für Durchgang 10 betrug 136,09 s (SEM: $\pm 5,71$ s; Differenz zu Durchgang 5: 6,46 s).

Aus dem Balkendiagramm ist zu entnehmen, dass die Dauer für die Durchgänge 1-5 (Wert: 159,87 s; SEM: $\pm 8,87$ s) signifikant höher war, als die Dauer für die Durchgänge 6-10 (Wert: 138,51 s; SEM: $\pm 1,78$ s; gepaarter T-Test: $t(13) = 3,69$; $p < 0,01$; SD: 18,35). Auch ein gepaarter T-Test für die Durchgänge 2-5 gegen die Durchgänge 6-10 zeigte einen signifikanten Unterschied (gepaarter T-Test: $t(13) = 2,61$; $p < 0,05$; SD: 18,15).

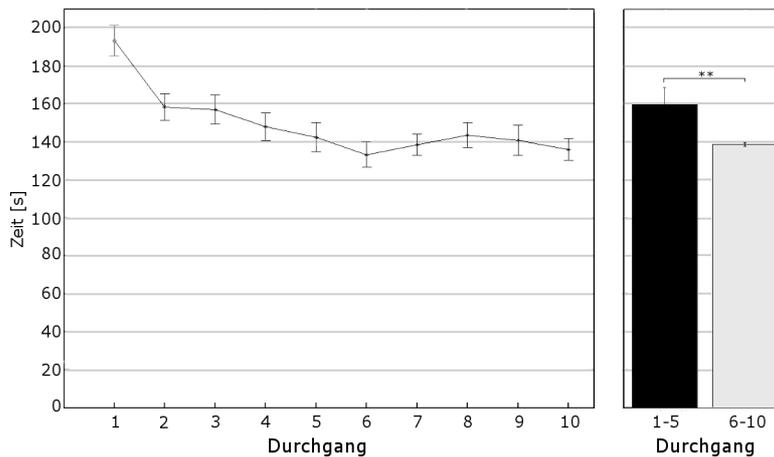


Abb. 43: Gesamtdauer der Durchgänge über alle Versuchspersonen gemittelt. Links: alle Durchgänge einzeln aufgeführt. Rechts: Durchgänge 1-5 und 6-10 zusammengefasst. Alle Werte mit Standardfehler, n= 14

In Abb. 44 sind die gemittelten Besuchszeiten der einzelnen Stationen angegeben. Die Besuchszeiten wurden in die verschiedenen Durchgänge unterteilt.

Abb. 44 A zeigt die Besuchszeiten beim Modell. Hierbei wird zwischen erstem Besuch beim Modell (Kreis-Marker) und den folgenden Besuchen (Dreieck-Marker) unterschieden. Man sieht, dass die Besuchszeiten beim ersten Modellbesuch signifikant höher waren (gepaarter T-Test über die gemittelten VP-Zeiten: $t(13)= 5,08$; $p< 0,01$; SD: 11,68). Eine Untersuchung der Werte für den ersten Modellbesuch zeigten keinen signifikanten Unterschied über die Durchgänge (ANOVA-One-Way: $F(9,130)= 0,18$; $p= 1,00$). Auch die Untersuchung der Werte für die folgenden Modellbesuche zeigten keinen signifikanten Unterschied über die Durchgänge (ANOVA-One-Way: $F(9,99)= 0,88$; $p= 0,54$).

Abb. 44 B zeigt die gemittelten Besuchszeiten der Versuchspersonen bei der Ressource (durchgezogene Linie) und beim Arbeitsbereich (gestrichelte Linie). Diese sind auf die Durchgänge aufgeteilt. Hier ist zu erkennen, dass die Ressourcenbesuche signifikant länger dauerten, als die Besuche am Arbeitsbereich (gepaarter T-Test: $t(13)=6,82$; $p<0,001$; SD:1,00). Ein ANOVA-One-Way-Test über die gemittelten Werte der Versuchspersonen bei den Ressourcenbesuchen zeigte zwar einen signifikanten Unterschied über die Durchgänge (ANOVA-One-Way: $F(9,130)= 5,21$; $p< 0,001$), die PostHoc-Analyse mit Bonferroni-Korrektur zeigte jedoch, dass es nur zwischen dem ersten und den restlichen Durchgängen signifikante Unterschiede gab (Min.: Durchgang 1 und 2, $p< 0,01$; Max.: Durchgang 1 und 5-10: $p< 0,001$). Die Durchgänge 2-10 waren voneinander nicht signifikant verschieden. Testet man mit dem ANOVA-One-Way-Verfahren die Werte der Arbeitsbereich-besuchszeiten, erhält man ebenfalls ein signifikantes Ergebnis (ANOVA-One-Way: $F(9,130)= 3,03$; $p< 0,01$). Hier zeigte eine PostHoc-Analyse mit Bonferroni-Korrektur allerdings nur einen signifikanten Unterschied zwischen Durchgang 1 und den Durchgängen

4, 5, 6 und 8 (jeweils $p < 0,05$). Alle anderen Werte zeigten keine signifikanten Unterschiede untereinander.

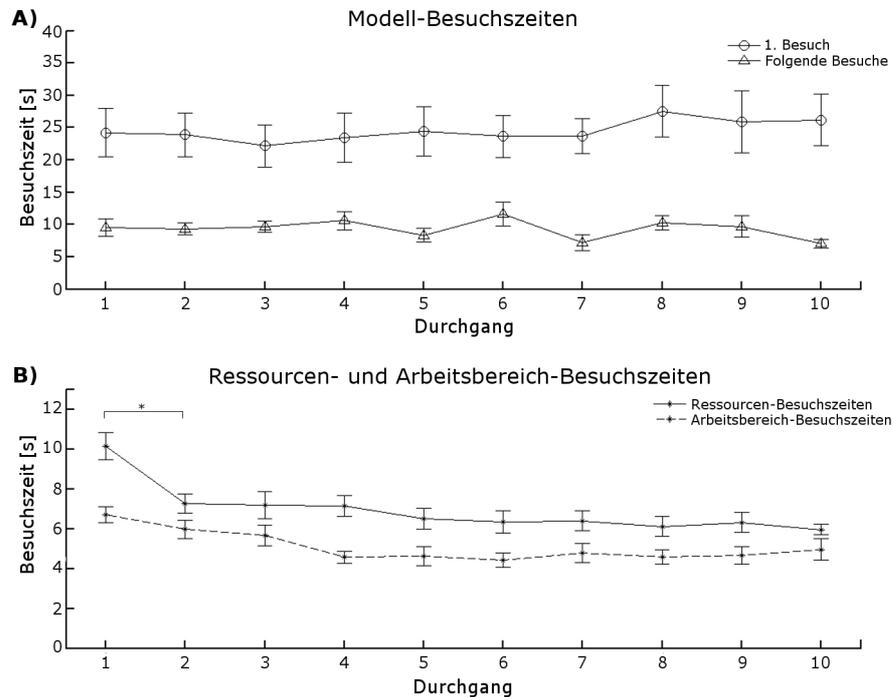


Abb. 44: Besuchszeiten bei den einzelnen Stationen auf die Durchgänge aufgeteilt: A) Modell-Besuchszeiten aufgeteilt in den ersten Besuch (runder Marker) und die folgenden Besuche beim Modell (dreieckiger Marker) über die Durchgänge. B) Ressourcen-Besuchszeiten (durchgezogene Linie) und Arbeitsbereich-Besuchszeiten (gestrichelte Linie) über die Durchgänge. Alle Werte mit Standardfehler, $n = 14$.

Auch die Auslastung des Arbeitsgedächtnisses im Verhältnis zur Memorierungszeit wurde untersucht. Als Auslastung wird, wie schon in Experimentalblock I, die Anzahl der abgelegten Steine nach einem Modellbesuch betrachtet. Da man ab dem zweiten Modellbesuch nicht mehr mit Sicherheit bestimmen kann, ob die Gedächtnisauslastung nach dem Besuch nur auf diesen und nicht teilweise auch auf vorherige Modellbesuche zurückzuführen ist, wurden nur Gedächtnisauslastungen nach dem ersten Besuch eines jeden Modells untersucht, da hierbei kein Vorwissen über das Muster vorhanden war.

Abb. 45 zeigt einen Boxplot für die Auslastung des Arbeitsgedächtnisses nach dem ersten Modellbesuch gegen die Memorierungszeit beim ersten Modellbesuch. Hier ist zu sehen, dass sich die Memorierungszeiten von einer Gedächtnisauslastung von einem Stein bis hin zu einer Gedächtnisauslastung von 5 Steinen kaum unterschieden (niedrigster Wert bei Gedächtnisauslastung von 3 Steinen: Mittelwert: 18,92 s; Median: 13,75 s; höchster Wert bei Gedächtnisauslastung von 4 Steinen: Mittelwert: 22,15 s; Median: 24,09 s). Für eine Gedächtnisauslastung von 6 Steinen stieg die Memorierungszeit stark an (Mittelwert: 37,85 s; Median: 38,50 s). Eine ANOVA zeigte, dass die Werte signifikant unterschiedlich sind (ANOVA-One-Way: $F(5,160) = 11,29$; $p < 0,001$). Eine PostHoc-Analyse mit

Bonferroni-Korrektur zeigte jedoch, dass sich nur die Memorierungszeit für 6 abgelegte Steine signifikant von den restlichen Memorierungszeiten unterschied.

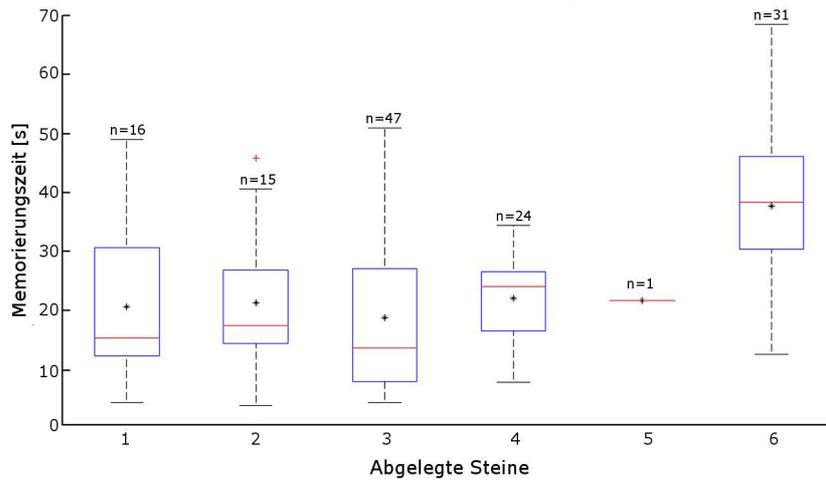


Abb. 45: Boxplot für die Anzahl der abgelegten Steine nach dem ersten Modellbesuch gegen die Memorierungszeit beim ersten Modellbesuch (schwarzer Stern: Mittelwert, roter Balken: Median, blaues Rechteck: Quartile, gestrichelte Linien: äußerste Werte, roter Stern: Ausreißer)

In Abb. 46 sind die gemittelten Transferzeiten aller Strecken und Versuchspersonen gegen die Durchgänge aufgetragen. Die Werte variierten zwischen 3,15 s (SEM: $\pm 0,03$ s; 10. Durchgang) und 3,36 s (SEM: $\pm 0,07$ s; 5. Durchgang). Ein ANOVA-One-Way-Test zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Durchgängen (ANOVA-One-Way: $F(9,130) = 0,25$; $p = 0,99$).

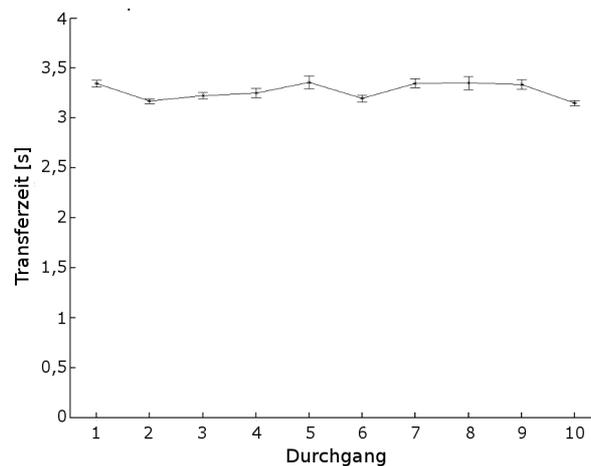


Abb. 46: Transferzeiten über alle Stationen und alle Versuchspersonen gemittelt, auf Durchgänge aufgeteilt. Alle Werte mit Standardfehler, $n = 14$.

Abb. 47 zeigt die Transferzeiten für diesen Versuchsteil, aufgeteilt auf die unterschiedlichen Transferstrecken (graue-schwarze Balken). Weiterhin wurde diese haptische Aufgabe mit verschiedenen visuellen Aufgaben aus vorhergehenden Versuchen

mit gleichem Versuchsaufbau (Hardiess et al. 2010, unveröffentlicht) verglichen. Hierzu zählten folgende Aufgaben:

- „Visuell komplex“: Die Muster wurden visuell erfasst, bestanden aus 6 Bausteinen und waren komplex. Die Eigenschaften der komplexen Muster waren dieselben wie die Eigenschaften der komplexen Muster in Vorversuch 4 und im Hauptversuch von Experimentalblock I (jede Farbe kam genau einmal vor, 2 Steinpaare lagen mit ihrer Kante nur zur Hälfte aneinander, 2 Steinpaare berührten sich nur an der Ecke; siehe S. 24)
- „Visuell komplex mit einem *chunk*“: Die Eigenschaften der Muster waren die gleichen, wie bei „visuell komplex“. Die Muster beinhalteten jedoch je einen *chunk*, d.h. eine vor den Versuchen eingeprägte Kombination von 2 Steinen, die exakt auf dieselbe Weise in allen Mustern vorkam
- „Visuell komplex mit 2 *chunks*“: Die Komplexität der Muster war gleich wie bei „visuell komplex“. Die Versuchspersonen prägten sich jedoch vor dem Versuch 2 *chunks* ein, die in den Mustern immer wieder vorkamen
- „Visuell einfach“: Die Muster wurden nach denselben Regeln erstellt, wie die Muster in Experimentalblock II (6 Bausteine, jede Farbe kam genau einmal vor, die Kanten der Bausteine hatten immer vollen Kontakt mit ihren benachbarten Steinen, die Muster waren nie länger, bzw. breiter als 4 Steinlängen; siehe S. 59)

Es ist zu sehen, dass die Transferzeiten zwischen allen Strecken, außer der Strecke Ressource-Modell (R-M) von der haptischen Aufgabe, über „visuell komplex“, „visuell komplex mit einem *chunk*“, „visuell komplex mit 2 *chunks*“, bis hin zur Aufgabe mit „visuell einfachen“ Mustern durchgehend abfielen. Da sich die Datensätze der anderen Versuche noch in Bearbeitung befinden, wurden diese Ergebnisse nicht auf Signifikanz geprüft.

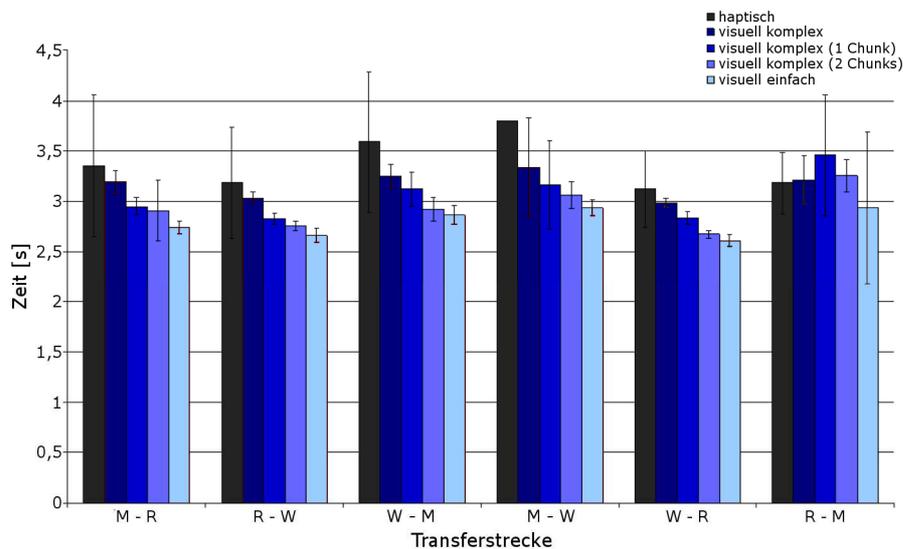


Abb. 47: Gemittelte Transferzeiten der einzelnen Transferstrecken (M= Modell; R= Ressource; W= Arbeitsbereich) für unterschiedliche Aufgabenstellungen. Alle Werte mit Standardfehler. Für genauere Beschreibung der Aufgabenstellungen: siehe Text.

3.4. Spezielle Diskussion für Experimentalblock II:

Fehler:

Wie durch den Vortest bereits gezeigt wurde, hatten die Versuchspersonen keine Probleme damit, die verschiedenen Texturen zu unterscheiden. Folglich kann man davon ausgehen, dass die haptische Diskriminierungsfähigkeit der gewählten Texturen sicher gegeben war und eventuell aufgetretene Fehler nicht auf die Verwechslung von ähnlichen Texturen zurückzuführen sind.

Da weniger als 20% der Muster falsch kopiert wurden (Abb. 38, S. 63), kann festgehalten werden, dass die Aufgabe für die Versuchspersonen lösbar war. Die Fehleranzahl war bei allen Mustern etwa gleich, daher ist anzunehmen, dass die Muster untereinander ähnlich schwer zu kopieren sind. Da die Aufteilung des Fehleranteils in den Durchgängen 1-5 und den Durchgängen 6-10 keinen signifikanten Unterschied zeigte, kann ein Lerneffekt hinsichtlich der haptischen Verarbeitung, der sich auf die Fehlerzahl beim Kopieren der Muster, ausgeschlossen werden.

Bei den Fehlerarten fiel der hohe Anteil des Positionsfehlers auf (Abb. 39, S. 64). Daraus können zwei Schlüsse gezogen werden, entweder beinhaltet die Position am meisten Information, oder aber, die Positionsinformation kann haptisch am schlechtesten erfasst oder behalten werden. Ein weiteres Indiz für diese Annahme ist die relativ hohe Anzahl der Folgefehler, welche wiederum auf Positionsfehlern beruhen. Da Texturfehler nur ein gutes Zehntel aller Fehler ausmachten, kann man davon ausgehen, dass die Texturen haptisch gut erfasst, gespeichert und abgerufen werden konnten. Dies spiegelt sich auch in den Ergebnissen des Vortests wider.

Legereihenfolge:

Aus der Auswertung der Legereihenfolge der Steine pro Muster (Abb. 40, S. 65) lässt sich eine allgemeine Legerichtung von links oben nach rechts unten erkennen. Die meisten Steine wurden rechts neben dem ersten abgelegten Stein, die zweitmeisten Steine unterhalb des ersten abgelegten Steines angebaut. Dies ist wohl auf die allgemeine Leserichtung in unserem Kulturkreis zurückzuführen. Es ist allerdings dennoch interessant, dass sich diese Leserichtung auch haptisch in der Legerichtung widerspiegelt. Es wäre auch interessant zu sehen, ob sich die Legerichtung in Kulturkreisen mit anderer Leserichtung ebenfalls dieser anpasst. Weitere Untersuchungen wurden in diesem Bereich jedoch nicht durchgeführt.

Laufstrategien:

Bei der Auswertung der Laufstrategien ist ein klarer Unterschied im Anteil der beiden Hauptstrategien für die ersten und die zweiten 5 Durchgänge zu sehen (Abb. 41, S. 66). Die anderen möglichen Strategien wurden kaum angewandt und werden hier deswegen nicht weiter diskutiert. Der Unterschied im Anteil der Hauptstrategien lässt sich mit einem Lerneffekt begründen, der bei den Versuchspersonen im Laufe des Versuchs entsteht und der sie zu einer möglichst optimalen Strategie führt. Dieser Lerneffekt lässt sich noch besser beobachten, untersucht man die Hauptstrategien-Verteilung für die einzelnen Durchgänge (Abb. 42, S. 67). Hier sah man über die Durchgänge 1-5 eine deutliche Zunahme der gedächtnislastungsreichen Strategie W-R-W, welche mehr Kosten für das Memorieren und weniger Kosten für das Laufen benötigt und eine deutliche Abnahme der gedächtnislastungsarmen Strategie W-M-R-W, welche mehr Kosten für das Laufen benötigt und weniger Kosten für das Memorieren. Für die letzten 5 Durchgänge blieb die Verteilung der beiden Strategien relativ konstant. Das bedeutet, dass die Versuchspersonen 5 Durchgänge benötigen, um das Verhältnis zwischen der gedächtnislastungsreichen und der gedächtnislastungsarmen Strategie, also den *trade-off* zwischen Memorieren und Laufen, anzupassen. Die Dauer von 5 Durchgängen war um einiges länger, als bei der visuellen Aufgabenstellung, die Hardiess et al. (2010, unveröffentlicht) durchführten, bei welcher die Versuchspersonen schon nach dem zweiten Durchgang ihr optimales Verhältnis der Ressourcenverteilung für den *trade-off* zwischen Memorieren und Laufen gefunden hatten. Somit kann man sagen, dass man länger benötigt um ein optimales Kostenverhältnis zwischen Memorieren und Laufen herzustellen, wenn man haptische Informationen verarbeiten muss. Grund hierfür ist wohl, dass man im Alltag viel seltener haptische Informationen im Arbeitsgedächtnis halten muss. Ist man dann mit solch einer Aufgabe konfrontiert, muss man die Kosten für das haptische Memorieren erst kennen- und abschätzen lernen, bis man sie gegen die Kosten für das Laufen abwägen kann. Weitere Belege für diesen *trade-off* werden im folgenden Abschnitt „Bearbeitungs- und Transferzeiten“ dieser Diskussion besprochen. Die haptische Aufgabenstellung war der visuellen Aufgabenstellung (Hardiess et al., 2010)

sehr ähnlich und lieferte auch ähnliche Ergebnisse. Somit kann man darauf schließen, dass haptische Information zumindest ähnlich, wie visuelle Information im Arbeitsgedächtnis verarbeitet wird. Wie genau diese Ergebnisse in Baddeleys Multi-Komponenten-Modell passen könnten, wird im Kapitel „4. Allgemeine Diskussion“ nochmals genauer besprochen.

Bearbeitungs- und Transferzeiten:

Bearbeitungszeiten:

Untersucht man die gemittelte Gesamtdauer der einzelnen Durchgänge (Abb. 43, S. 68, links), so kann man die Ergebnisse in 3 signifikant unterschiedliche Abschnitte einteilen. Der erste Abschnitt ist der signifikante Abfall der Gesamtdauer vom ersten zum zweiten Durchgang von fast 35 s. Dieser Abfall kann dem Eingewöhnen an das Versuchsdesign zugeschrieben werden. Da es beim Versuch keine Probemuster zu kopieren gab, benötigten die Versuchspersonen den ersten Durchgang, um sich an die Aufgabenstellung, d.h. an das Erfühlen der richtigen Steine im Ressourcenbereich und das Feststecken der Steine in die Bauplatte am Arbeitsplatz, zu gewöhnen. Nach dem ersten Durchgang war dieses Eingewöhnen erfolgt. Für die restlichen Durchgänge benötigten die Versuchspersonen mindestens eine halbe Minute weniger Zeit. Dass diese Eingewöhnung der Grund für den starken Abfall der Gesamtdauer nach dem ersten Durchgang ist, zeigen zum einen die Besuchszeiten für die verschiedenen Bereiche. Bei den Besuchszeiten des Modells gab es für den ersten Durchgang keinen Unterschied zu den restlichen Durchgängen (Abb.44 A, S. 69). Allerdings sah man signifikante Unterschiede zwischen dem ersten Durchgang und den restlichen Durchgängen bei den Besuchszeiten von Ressource und Arbeitsbereich (Abb. 44 B, S. 69). Zum anderen zeigt die Auswertung der gemittelten Transferzeiten zwischen allen Bereichen für die einzelnen Durchgänge (Abb. 46, S. 70), dass die Geschwindigkeit zwischen den Durchgängen nicht signifikant zu- oder abnahm. Somit ist auch ein schnelleres Laufen nicht der Grund für den Gesamtdauerunterschied zwischen Durchgang 1 und den restlichen Durchgängen. Dies verdeutlicht, dass im ersten Durchgang die Handhabung des Versuchs erlernt wurde und nicht das Memorieren schwerer fiel oder komplett andere Strategien angewandt wurden.

Der zweite Abschnitt ist der kontinuierliche Abfall der Gesamtdauer vom zweiten bis zum fünften Durchgang. Für diesen Abfall ist der Lernprozess für den *trade-off* zwischen Memorieren und Laufen verantwortlich. Es wurden 4 weitere Durchgänge benötigt, um die Ressourcen für diesen *trade-off* optimal zu verteilen. Dies wird ebenfalls durch die Besuchszeiten der verschiedenen Bereiche belegt (Abb. 44, S. 69). Es gab für die Durchgänge 2-5 weder beim Modell, noch bei Ressource und Arbeitsbereich signifikante Unterschiede in den Besuchszeiten pro Besuch. Auch die Laufgeschwindigkeit zwischen den verschiedenen Bereichen (Abb. 46, S. 70) blieb über die Durchgänge konstant und kann kein Grund für die fallende Gesamtdauer über die Durchgänge 2-5 sein. Also ist die abfallende Gesamtdauer der Durchgänge Folge unterschiedlicher Besuchsanzahlen der Bereiche. Somit

ist hier eine vom *trade-off* gesteuerte Laufstrategieverschiebung, wie sie im Abschnitt „Laufstrategien“ (S. 62) beschrieben ist, der Grund.

Die Durchgänge 6-10 zeigten eine konstante Gesamtdauer in den einzelnen Durchgängen, die wiederum durch die konstanten Besuchszeiten bei den verschiedenen Bereichen (Abb. 44, S. 69) und den konstanten Transferzeiten zwischen den Bereichen (Abb. 46, S. 70) bestätigt wird. Hier sind die Ressourcen des *trade-offs* optimal verteilt und die verschiedenen Durchgänge werden in ähnlicher Geschwindigkeit absolviert.

Der erste Besuch dauerte signifikant länger als die folgenden Besuche, dies belegen eine Aufspaltung der Modellbesuchszeiten im ersten Besuch und auch die folgenden Besuche für die einzelnen Durchgänge (Abb. 44 A, S. 69). Zu beobachten war dies schon bei den Modellbesuchszeiten für die Versuche der visuellen Aufgabe in Experimentalblock I (siehe Kapitel „2.4 Hauptversuch: Ergebnisse“, Abschnitt „Auswertung der Zeiten“, S. 42). Auch hier ist die Erklärung, dass beim ersten Besuch wohl zunächst das gesamte Muster haptisch erfasst wird. Erst nach einer groben Vorstellung von Form, Anzahl der Steine und Art der Texturen werden einzelne Steine gezielt memoriert. Bei den folgenden Besuchen kann auf diese Information wieder zurückgegriffen werden und die Versuchspersonen benötigen weniger Zeit, um weitere Steine zu memorieren. Auch hier ist eine Parallele zum visuellen System vorhanden, die im Kapitel „4. Allgemeine Diskussion“ nochmals aufgegriffen wird.

Ziel der Auswertung der Memorierungszeit im Verhältnis zur Anzahl der abgelegten Steine in einem Lauf (Abb. 45, S. 70) war es, herauszufinden, mit welchem Aufwand wie viele Steine memoriert werden können und daraus zu schließen, aus wie vielen Gedächtniseinheiten die Kapazität des haptischen Arbeitsgedächtnisses bestehen könnte. Die Anzahl der in einem Lauf abgelegten Steine galt als Quantifizierung des Gedächtnisinhaltes und somit auch als Hinweis auf die Arbeitsgedächtnisauslastung. Die Auswertung zeigt, dass die Memorierungszeit für eine Anzahl von bis zu 5 abgelegten Steinen relativ konstant blieb, sie sich aber signifikant erhöhte, sobald die Versuchspersonen 6 Steine memorierten. Dies legt die Vermutung nahe, dass sich bei einer Gedächtnisauslastung von 6 Steinen zusätzliche Prozesse hinzu schalten, die das Memorieren von 6 Steinen ermöglichen. Ein solcher Prozess könnte möglicherweise das *chunking* (Simon, 1974; Cowan, 2000) sein (Beispiel: 2 ähnliche, oder gut miteinander verbindbare Texturen, die nebeneinander liegen, werden als eine Gedächtniseinheit abgespeichert). Weiterhin könnten die Informationen des ausgelasteten Arbeitsgedächtnisses ins Langzeitgedächtnis übertragen worden sein (Nikolic & Singer, 2007), um die Möglichkeit zu geben, weitere Informationen im nun geleerten Speicher des Arbeitsgedächtnisses zu memorieren. Der Zeitunterschied zwischen der durchschnittlichen Memorierungszeit für eine Gedächtnisauslastung von 4 Steinen (höchster Wert) und der durchschnittlichen Memorierungszeit für eine Gedächtnisauslastung von 6 Steinen von 15,70 s (Zeitunterschied der Mediane: 14,41 s) würde laut Nikolic und Singer (2007) ausreichen, um einen voll ausgelasteten Speicher des Arbeitsgedächtnisses ins

Langzeitgedächtnis zu übertragen und den Arbeitsgedächtnisspeicher erneut zu füllen. Somit wird gezeigt, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses für haptische Informationen ca. 5 Gedächtniseinheiten beträgt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen für die Kapazität visueller Information und mit Cowans (2000) genereller Annahme von 4 ± 1 Gedächtniseinheiten für das Arbeitsgedächtnis.

Transferzeiten:

Eine statistische Auswertung der Transferzeiten bei unterschiedlichen Aufgaben (Abb. 47, S. 72) ist noch nicht möglich, da sich die Datensätze der anderen Aufgaben noch in Bearbeitung befinden. Somit lässt sich an dieser Stelle noch keine Aussage über die Signifikanz dieser Ergebnisse treffen. Dennoch ist es interessant, diese Werte zu diskutieren. Der Lauf der Strecke M-W ist ein Kontrolllauf und der Lauf der Strecke R-M ist ein erneuter Anlauf zum Memorieren des Modells ohne vorherigem Steinablegen. Beide Transferstrecken sind zu vernachlässigen, da diese Strecken für den regulären Ablauf des Versuchs nicht relevant sind und es viele nicht erkennbare Prozesse in diesen Läufen geben kann, welche die Transferzeiten beeinflussen könnten. Der Fokus wird hier auf die Zeiten der restlichen Transferstrecken (M-R, R-W, W-M und W-R) gelegt. Diese zeigten, dass die Abstufung der Transferzeiten der visuellen Aufgaben der Abstufung des angenommenen Schwierigkeitsgrades (und somit auch der Ressourcenbeanspruchung im Arbeitsgedächtnis) für die jeweiligen Muster entspricht. Beim Kopieren der einfachen Muster wurden die Transferstrecken am schnellsten zurückgelegt, beim Kopieren visuell-komplexer Muster ohne *chunks* (Muster mit größter Ressourcenbeanspruchung) wurden die Transferstrecken am langsamsten zurückgelegt. Die Tatsache, dass bei allen relevanten Transferstrecken die Zeiten bei der haptischen Aufgabe am höchsten waren, bekräftigt die Annahme aus Experimentalblock I dieser Diplomarbeit, dass es einen *trade-off* zwischen Arbeitsgedächtnisauslastung und Laufgeschwindigkeit gibt. Hierbei sind die Kosten für haptisches Memorieren höher und beanspruchen somit mehr Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses, als für visuelles Memorieren. Dies lässt sich leicht damit Begründen, dass das visuelle Arbeitsgedächtnis im Alltag ständig in Gebrauch ist. Zum Memorieren haptischer Informationen wird das Arbeitsgedächtnis jedoch recht wenig verwendet.

4. Allgemeine Diskussion

Betrachtet man die Ergebnisse der Versuche dieser Diplomarbeit, wurden viele Fragen geklärt. Auch wenn der *trade-off* zwischen Arbeitsgedächtnisauslastung und Laufgeschwindigkeit nicht eindeutig isoliert wurde, zeigen die Ergebnisse beider Experimentalblöcke, dass dieser *trade-off* tatsächlich existiert. Der Speicher des Arbeitsgedächtnisses konkurriert mit anderen Prozessen wie *spatial updating* und *obstacle avoidance* um die Ressource Aufmerksamkeit (Sholl & Fraone, 2004; Hardiess et al., 2010). Ist diese durch hohe Gedächtnisauslastung stark beansprucht, läuft man aufgrund weniger Aufmerksamkeit für die Umgebung langsamer. Die Gedächtnisauslastung hängt von der Art der Informationsaufnahme und der Komplexität der Muster ab. Je komplexer ein Muster, desto höher ist die Gedächtnisauslastung. Haptische Informationen lasten das Arbeitsgedächtnis mehr aus, als visuelle Informationen.

Eine höhere Gedächtnisauslastung kann auch durch eine höhere Anzahl von gemerkten Steinen pro Muster erreicht werden. Dies zeigt, dass der Informationsgehalt einer Gedächtniseinheit schwer zu pauschalisieren ist, wie schon diverse Studien zeigten (Miller, 1956; Cowan, 2000; Baddeley, 2000). In dieser Diplomarbeit wurde nochmals deutlich, dass die Komplexität der Muster, welche durch das Anliegen benachbarter Kanten definiert wurde, und somit die Positionsinformation einen entscheidenden Teil des Informationsgehalts einer Gedächtniseinheit ausmacht. Wie diese allerdings in Gedächtniseinheiten aufgeteilt wird, muss noch genauer untersucht werden. Ebenso, wie die Frage, ob komplexere Muster auch Einfluss auf die haptische Informationsverarbeitung haben.

Das ist zumindest anzunehmen, da in dieser Diplomarbeit gezeigt wird, dass die Verarbeitung haptischer Informationen sehr der Verarbeitung visueller Informationen im Arbeitsgedächtnis gleicht. Dies ließ auch die ähnliche Verarbeitung von haptischer Information im Vergleich zur visuellen Informationen in anderen Prozessen vermuten (Sathian & Lacey, 2007). Nun ist die Frage, wie sich die Verarbeitung haptischer Information im Arbeitsgedächtnis in Baddeleys „Multi-Komponenten-Modell“ einbauen lässt. Zum einen könnte man eine neue Komponente einführen, ein haptisch-räumliches Untersystem, das speziell für haptische Informationen zuständig ist. Allerdings liefern die Ergebnisse sehr ähnliche Werte für visuelle und haptische Informationen, so dass es wahrscheinlicher ist, dass die Informationen ebenfalls im *visual-spatial sketchpad* verarbeitet werden. Diese Überlegung wird auch von den Ergebnissen von Sathian & Lacey (2007) unterstützt, die Aktivität im visuellen Cortex bei haptischen Wahrnehmungsprozessen finden. Somit scheint die Bezeichnung *visual-spatial sketchpad* zu speziell, da nicht nur visuelle Reize in dieser Komponente verarbeitet werden. Daher würde ich den Begriff „*sensory-spatial sketchpad*“ vorschlagen, da es sich vermutlich viel mehr um eine multi-sensorische Komponente handelt. Um die Eigenschaften dieser multi-sensorischen

Komponente zu untersuchen, würden sich *interference*-Aufgaben (ähnlich zu Baddeley, 2003) anbieten. In einer solchen Aufgabe könnte der Versuchsperson ein haptisches Muster zum Memorisieren präsentiert werden. Nach der Memorierungsphase könnte man die Versuchsperson eine visuelle *interference*-Aufgabe lösen lassen, in welcher sie beispielsweise Bilder miteinander vergleichen soll. Anschließend würde man untersuchen, ob diese *interference*-Aufgabe Einfluss auf die Leistung (zum Beispiel Fehleranzahl oder Kopierdauer) der Versuchsperson hatte, das haptisch memorierte Muster zu kopieren. Wenn dies der Fall wäre könnte man zumindest eine Teilung der nicht-räumlichen Komponente des *sketchpads* für haptische und visuelle Informationen nachweisen.

5. Referenzen

- AMORIM, M.-A., GLASAUER, S., CORPINOT, K., & BERTHOZ, A. (1997): Updating an object's orientation and location during non-visual navigation: A comparison between two processing modes. *Perception & Psychophysics*, 59, 404-418
- BADDELEY, A. D., & HITCH, G. J. (1974): Working memory. In G. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation*, 8, 47–89. New York: Academic.
- BADDELEY, A. D. (1999): *Essentials of human memory*. East Sussex: Psychology Press
- BADDELEY, A. D. (2000): The episodic buffer: a new component for working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417–423.
- BADDELEY, A. D. (2003): Working Memory: Looking Back And Looking Forward. *NATURE REVIEWS | NEUROSCIENCE*, 2003, 4, 829-839
- BALLARD, H.D., HAOYHOE, M.M., PELZ, J.B. (1995): Memory Representations in Natural Tasks, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1995, 7, 66-80
- BORING, E. G. (1942): *Sensation and perception in the history of experimental psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts
- COWAN, N. (1999): An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake, & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62–101). Cambridge: Cambridge University Press
- COWAN, N. (2000): The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *BEHAVIORAL AND BRAIN SCIENCES*, 2000, 24, 87–185
- COWAN, N. (2008): What are the differences between long-term, short-term, and working memory? *Progress in Brain Research*, 2008, 169, 323-338
- DROLL, J. A., HAYHOE, M. M. (2007): Trade-offs Between Gaze and Working Memory Use. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2007, 33, 1352–1365
- GALLACA, A., AUVRAY, M., TAN, H. Z., SPENCE, C. (2006): When visual transients impair tactile change detection: A novel case of crossmodal change blindness? *Neuroscience Letters*, 398, 280-285
- GAZZANIGA, M.S., IVRY, R.B., MANGUN, G.R.(2008): *Cognitive Neuroscience, the biology of the mind*. 3rd edition, Norton and Norton company
- GOLDMANN, H. (1980) *Lexikon der Psychologie*. Freiburg: Verlag Herder KG
- GOLDREICH, D., KANICS, I. M. (2003): Tactile acuity is enhanced in blindness. *Journal of Neuroscience*, 23, 3439-3445
- HARDIESS, G., GILLNER, M., MALLOT, H.A. (2008): Head and eye movements and the role of memory imitations in a visual search paradigm. *Journal of Vision*, 2008, 8, 1–13
- KLATZKY, R. L., LEDERMAN, S. J., METZGER, V. A. (1985): Identifying objects by touch: An “expert system”. *Perception & Psychophysics*, 37, 299-302
- LEDERMAN S. J., KLATZKY, R. L. (2009): Haptic perception: A tutorial. *Attention, Perception & Psychophysics*, 2009, 71, 1439-1459
- LEDERMAN, S. J. (1991): Skin and touch. *Encyclopedia of human biology* (Vol. 7, pp. 51-63). San Diego: Academic Press

- LINDENBERGER, U., MARSISKE, M., BALTES, P. B. (2000): Memorizing While Walking: Increase in Dual-Task Costs From Young Adulthood to Old Age. *Psychology and Aging*, 2000, 15, 417-436
- LIU, K.(2005): Visual working memory for briefly presented scenes *Journal of Vision*, 2005, 5, 650-658
- LUCK, S.J., VOGEL, E.K. (1997): The capacity of visual working memory for features and conjunctions *NATURE*, 1997, 390, 279-281
- MCAFOOSE, B. T., BAUNE, J. M. (2009): Exploring Visual–Spatial Working Memory: A Critical Review of Concepts and Models. *Neuropsychol. Rev.*, 2009, 19, 130–142
- MILLER, G. A. (1956): The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review* 63:81–97
- NIKOLIC, D., SINGER, W. (2007): Creation of visual long-term memory. *Perception & Psychophysics*, 2007, 69, 904-912
- OBERAUER, K. (2002): Access to information in working memory: exploring the focus of attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, 411–421
- REED, C. L., KLATZKY, R. L., HALGREN, E. (2005): What vs. where in touch: An fMRI study. *NeuroImage*, 25, 718-726
- RENSIK, R. A., O'REGAN, J. K., & Clark, J. J. (1997): To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, 8, 368-373
- SATHIAN, K., LACEY, S. (2007): Tactile perception: Beyond somatosensory cortex. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 61, 254-264
- SHERRICK, C. E., ROGERS, R. (1966): Apparent haptic movement. *Perception & Psychophysics*, 1, 175-180
- SHOLL, M. J., FRAONE, S. K. (2004): Human Spatial Memory – Remembering where (Chapter 4). Edited by Gary L. Allen, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Chapter 4, 67-100
- SIMON, H. A. (1974): How Big Is a Chunk? *SCIENCE*, 1974, 183, 482-488
- STEVENS, J. C., & PATTERSON, M. Q. (1995): Dimensions of spatial acuity in the touch sense: Changes over the life span. *Somatosensory & Motor Research*, 12, 29-47
- WEINSTEIN, S. (1968): Intensive and extensive aspects of tactile sensitivity as a function of body part, sex, and laterality. In D. R. Kenshalo (Ed.), *The skin senses* (pp. 195-222). Springfield, IL: Thomas

6. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich recht herzlich bei allen bedanken, die mir bei dieser Diplomarbeit geholfen haben.

Zunächst ist meine Familie zu nennen, die mich das ganze Studium über finanziell und moralisch unterstützt hat.

Weiterhin gilt der Dank meiner Schwester, meiner Freundin und meinen Freunden, die dafür gesorgt haben, dass diese Diplomarbeit so wenige Fehler wie möglich enthält.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen beiden Betreuern, Gregor Hardiess und Kai Basten, die mir bei der Entstehung dieser Diplomarbeit tatkräftig zur Seite standen und immer ein offenes Ohr für meine Probleme hatten.

Zuletzt möchte ich mich bei der ganzen Abteilung der „Kognitiven Neurowissenschaften“ für die freundliche Atmosphäre und die entspannende Mittagspausen mit sportlicher Betätigung bedanken.

7. Anhang

7.1 Einverständniserklärung für alle Versuchspersonen

Einverständniserklärung

Sie haben sich bereit erklärt, an einem Experiment zum Arbeitsgedächtnis beim Menschen teil zu nehmen.

Das Experiment kann zu jedem Zeitpunkt abgebrochen werden.

Ort, Datum: _____

Name der Versuchsperson: _____

Unterschrift: _____

7.2 Versuchsanleitung für Hauptversuch bei Experimentalblock I

Danke für die Entscheidung, bei unserem Versuch als Versuchsperson mitzuwirken.

Deine Aufgabe ist es, dir ein am Computer präsentiertes Muster, bestehend aus quadratischen Lego Duplo-Bausteinen, einzuprägen und an einem dafür vorgesehenen Arbeitsplatz nachzubauen.

Das am Computer präsentierte Muster verschwindet jedoch nach kurzer Präsentationszeit, so dass du zum Einprägen nur wenig Zeit hast. Vor jeder Präsentation eines Musters erscheint für 2 Sekunden ein Fixationskreuz, um deinen Blick auf die Bildschirmmitte zu richten, in welcher das Muster anschließend kurz präsentiert wird.

Beim Weg zum Arbeitsplatz musst Du innerhalb einer markierten Spur bleiben.

Am Arbeitsplatz angekommen, sollst du **das Muster so genau wie möglich kopieren**. Dafür stehen am Arbeitsplatz eine Kiste mit genügend Steinen und ein Kopierbereich zur Verfügung. Der Kopierbereich besteht aus einem Blatt Papier, auf dem sich ein Raster befindet, um dir das Ablegen zu erleichtern.

Solltest du dir das Muster bei der ersten Präsentation nicht komplett eingepägt haben, so darfst du es dir, wenn du zum Computer zurückgekehrt bist, nochmals anzeigen lassen. Dies machst du durch drücken der „Nochmal“-Taste. Du musst danach jedoch wieder direkt zum Arbeitsplatz laufen um am Muster weiterzubauen. Diesen Vorgang darfst du so oft wiederholen, bis du dir sicher bist, dass du das Muster exakt nachgebaut hast.

Gelegte Steine dürfen jedoch nicht korrigiert werden!

Zunächst werden in 2 Durchgängen Probemuster präsentiert um dich an die Aufgabe zu gewöhnen.

Anschließend beginnt der eigentliche Versuch, in dem du zwischen 12 und 16 Muster unterschiedlicher Größe und Form bzw. Komplexität kopieren sollst.

Ein Durchgang besteht also aus:

- **Einprägen des Musters**
- **Laufen zum Arbeitsplatz**
- **Exaktes Nachbauen des Musters mit anschließendem Zurücklaufen zum Computer**
- **Eventuell zweites Einprägen, Laufen zum Arbeitsplatz, ...**

Damit man deine Bewegungen verfolgen kann, trägst du für die Dauer des Versuches einen Tracking-Helm mit 5 Markern, welche von Infrarotkameras erfasst werden. Du beginnst jeden neuen Durchgang sobald du bereit bist mit Drücken der „Weiter...“-Taste am Computer. **Viel Spaß.**

7.3 Fragebogen für Hauptversuch bei Experimentalblock I

Name:

Datum:

Alter:

Geschlecht: m w

- Bitte kreise die Zahl ein, die am ehesten deiner Antwort entspricht -

- Hat dir das Experiment Spaß gemacht?
sehr wenig 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 sehr viel
- Warst du motiviert?
sehr wenig 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 sehr viel
- Wie schwer fandest du das Experiment?
sehr schwer 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 sehr leicht
- Wie gut schätzt du deine eigene Leistung beim Kopieren der Muster ein?
sehr schlecht 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 sehr gut
- Hattest du eine Strategie beim Lösen der Aufgabe?
Wenn ja, welche?

7.4 Versuchsanleitung für Experimentalblock I:

Danke für die Entscheidung, bei unserem Versuch teilzunehmen.

Deine Aufgabe ist es, dir ein Muster, bestehend aus quadratischen Lego Duplo-Bausteinen, durch Erfühlen einzuprägen und in einem dafür vorgesehenen Arbeitsbereich nachzubauen.

Die Bausteine besitzen unterschiedliche Oberflächentexturen, die du im Vortest schon kennen gelernt hast. Die Texturen sollten beim Nachbauen des Musters berücksichtigt werden. Zum Erfühlen des Musters darfst du beide Hände benutzen.

Das zu erfüllende Muster befindet sich in einer Kiste mit der Aufschrift „Modell-Bereich“. Außerdem befinden sich 2 weitere Kisten im Raum: Eine zweite Kiste, mit der Aufschrift „Ressource“, beinhaltet mehrere Bausteine jeder Texturart. Dort holst du die Bausteine, die du zum Kopieren des Musters benötigst. In der dritten Kiste, mit der Aufschrift „Arbeitsbereich“, baust du das Muster nach.

Zu Beginn eines jeden Durchganges stehst du in der Mitte des Raumes. Von dort darfst du so häufig du willst zwischen den verschiedenen Kisten hin- und herlaufen. Allerdings gelten für das Kopieren der Muster folgende Regeln/Anweisungen:

- **das Muster soll so zügig und so genau wie möglich kopiert werden (Form und Texturen beachten)!**
- **du darfst immer nur einen Stein pro Ressourcenbesuch aus der Kiste nehmen!**
- **du darfst die Steine aus dem Ressourcenbereich zu keiner Zeit anschauen (hierbei halte die Steine bitte in Deiner verschlossenen Hand hinter dem Rücken)!**
- **am Arbeitsplatz abgelegte Steine dürfen NICHT mehr korrigiert werden!**
- **du darfst NICHT spicken!**

Am Ende eines jeden Durchganges begibst du dich wieder in die Mitte des Raumes, schaust in Richtung Tür und bleibst so ruhig wie möglich stehen. Währenddessen wechselt der Versuchsleiter die Muster und bringt die Steine aus dem Arbeitsbereich wieder zur Ressource.

Der Versuch besteht aus 10 Durchgängen und somit aus 10 Mustern, die kopiert werden sollen.

Viel Spaß!!!

7.5 Fragebogen Experimentalblock II

Fragebogen

Name:

Alter:

Datum:

Geschlecht: m w

Händigkeit:

- Bitte kreise die Zahl ein, die am ehesten Deiner Antwort entspricht -

- Hat Dir das Experiment Spaß gemacht?
sehr wenig 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 sehr viel
- Warst Du motiviert?
sehr wenig 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 sehr viel
- Wie schwer fandest Du das Experiment?
sehr schwer 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 sehr leicht
- Wie gut schätzt Du Deine eigene Leistung beim Kopieren der Muster ein?
sehr schlecht 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 sehr gut
- Mit welcher Hand hast Du die Texturen erfüllt?
 Links Rechts Beide
- Mit welcher Hand hast Du die Form des Musters ertastet?
 Links Rechts Beide
- Wie hast Du Dir die Texturen gemerkt (in Worten, bildlich, ...)?

- Hattest Du eine besondere Strategie beim Nachbauen der Muster? Wenn ja, welche?

