

Eberhard Karls Universität Tübingen
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Institut für Neurobiologie - Kognitive Neurowissenschaften

Bachelorarbeit Kognitionswissenschaft

Einfluss eines "spatial images" aus dem Langzeitgedächtnis auf die Leistung in einer räumlichen Aufgabe

Vorgelegt von Tobias Feuerecker

Matrikelnummer: 3871663

August 2017

Gutachter:

Prof. Dr. Hanspeter A. Mallot

Betreuerin

Banafsheh Grochulla

Feuerecker, Tobias:

*Einfluss eines "spatial images" aus dem Langzeitgedächtnis auf
die Leistung in einer räumlichen Aufgabe*

Bachelorarbeit Kognitionswissenschaft

Eberhard Karls Universität Tübingen

Bearbeitungszeitraum: 19.4.2017 - 19.8.2017

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese schriftliche Abschlussarbeit selbständig verfasst habe, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen benutzt habe und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommenen Aussagen als solche gekennzeichnet habe.

Datum, Ort

Unterschrift

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei Banafsheh Grochulla und Herrn Professor Mallot bedanken, die mir diese Bachelorarbeit mit ihrer Unterstützung und ihren konstruktiven Vorschlägen möglich gemacht haben. Auch die abwechslungsreichen und interessanten Gespräche in der Bachelorrunde waren eine gute Möglichkeit, um etwas über die Arbeit der anderen Bachelorstudenten zu erfahren und haben mich für das eigene Projekt motiviert. Ich möchte mich ebenfalls bei den übrigen Mitgliedern des Lehrstuhls für kognitive Neurowissenschaften bedanken, die mir mit Ideen und Anregungen bei meiner Bachelorarbeit geholfen haben. Besonders möchte ich mich noch bei Heinz Bendele bedanken, der bei technischen und organisatorischen Fragen immer zur Stelle war.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	8
2	Einleitung	9
2.1	Theoretischer Hintergrund	9
2.2	Relevante empirische Befunde	11
2.3	Idee und Hypothese des Experiments	12
3	Methoden	14
3.1	Stichprobe	14
3.2	Versuchsaufbau und Material	14
3.3	Versuchsablauf	16
3.4	Design	17
4	Ergebnisse	18
4.1	Vertrautheit der Ort-Paarungen	18
4.2	Lerneffekt	19
4.3	Allgemeines Vorgehen für die vier Ort-Paarungen	19
4.4	Ergebnisse für die vier Ort-Paarungen	20
5	Diskussion	25
5.1	Rückblick	25
5.2	Diskussion der Ergebnisse	25
5.3	Weitere Störfaktoren im Experiment	28
5.4	Ausblick	29
5.5	Fazit	31
6	Literaturverzeichnis	32
7	Anhang	34

Abbildungsverzeichnis

2.1	Veranschaulichung der Hypothese	13
3.1	Karte der verwendeten Orte	15
3.2	Veranschaulichung des Versuchsablaufs	16
4.1	Vertrautheit mit den Ort-Paarungen	18
4.2	Lerneffekt	19
4.3	Ergebnisse Cafe Hirsch - Krumme Brücke	21
4.4	Ergebnisse Haaggasse - Marktplatz	22
4.5	Ergebnisse Haagtor - Krumme Brücke	23
4.6	Ergebnisse Kirchgasse - Holzmarkt	24
7.1	Fragebogen	34
7.2	Funktion zur Bestimmung der Abweichungen	35
7.3	Panoramas der Startorte	37
7.4	Panoramas der Zielorte (ohne Zahlenstrahl)	38

Tabellenverzeichnis

4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	20
--	----

1. Zusammenfassung

In den letzten Jahren wurde gezeigt, dass mentale Repräsentationen eines Raumes oder Ortes aus dem Langzeitgedächtnis in das Arbeitsgedächtnis abgerufen werden können, deren Beschaffenheit von der momentanen Position und Orientierung der Person abhängt. Man bezeichnet diese Repräsentationen als "spatial images". Die Funktionsweise solcher spatial images ist jedoch noch nicht sonderlich weit erforscht worden. In dieser Studie soll ein Einfluss von spatial images aus dem Langzeitgedächtnis auf eine räumliche Aufgabe untersucht werden, die in einer virtual-reality Umgebung durchgeführt wurde. In dem hier beschriebenen Experiment war es die Aufgabe der Probanden, sich verschiedene Orientierungen eines Ortes zu merken und zu reproduzieren, während sie bereits ein konkretes spatial image desselben Ortes im Arbeitsgedächtnis hatten. Gemäß unserer Hypothese sollte das spatial image einen Einfluss auf die Leistung der Probanden in Form einer systematischen Abweichung der Reproduktionen haben. Die Abweichung der reproduzierten Orientierungen würde erwartungsgemäß in Richtung der Orientierung des spatial images aus dem Langzeitgedächtnis zeigen, sofern die beiden Orientierungen eine ausreichende räumliche "Ähnlichkeit" (d.h. Überschneidung) haben.

Die Ergebnisse konnten diese Hypothese jedoch nicht bestätigen und deuten vielmehr auf eine Reihe von Störfaktoren im Experiment hin, die in der Diskussion näher erläutert werden. Auch wenn diese Störfaktoren eine stichhaltige Interpretation bezüglich der Hypothese verhindern, könnten sie dennoch von Bedeutung sein: Es konnten Hinweise auf eine Art Gelbe-Haus-Bias und einen Weg-Bias gefunden werden, die das Antwortverhalten der Probanden beeinflussten. Eine weitere Erforschung dieser vermeintlichen Effekte könnte weitere Aufschlüsse darüber geben, wie sich der Mensch in seiner Umgebung orientiert.

Zur Klärung ob eine Beeinflussung gemäß unserer Hypothese stattfindet, müsste jedoch ein entsprechend modifiziertes Nachfolgeexperiment durchgeführt werden, das solche Störfaktoren eliminiert. Allerdings sollte man auch die Möglichkeit in Betracht ziehen, dass grundsätzlich keine (oder eine ganz andere) Beeinflussung durch das spatial image aus dem Langzeitgedächtnis stattfindet. Möglicherweise kann das spatial image aus dem Langzeitgedächtnis von den Probanden einfach ignoriert (vielleicht sogar aktiv gehemmt), oder spurlos überschrieben werden, da es für die Aufgabe grundsätzlich nicht relevant ist.

2. Einleitung

2.1 Theoretischer Hintergrund

Schon seit einiger Zeit beschäftigen sich Wissenschaftler mit der Frage, wie es der Mensch schafft, sich in seiner komplexen Umwelt zurechtzufinden. Um der Antwort auf diese Frage näherzukommen, ist es von entscheidender Bedeutung zu verstehen, wie der Mensch abhängig von seiner momentanen Position eine bestimmte Zielposition im Gehirn modellieren und den Weg dorthin planen kann. Die Beschaffenheit und Funktionsweise dieser Raumrepräsentation eines Zielortes stellen das Kernthema dieser Arbeit dar.

Ein zentraler Begriff, der für diese Studie von großer Bedeutung ist, ist das *spatial image* (Loomis et al., 2013; Giudice et al., 2013). Es beschreibt die dreidimensionale Repräsentation eines Ortes oder Raumes im Arbeitsgedächtnis und ist nicht zu verwechseln mit dem *visual image*, also dem Bild, das durch das visuelle System des Menschen erzeugt wird. Es gibt mehrere Modalitäten, die ein *spatial image* erzeugen können: Die drei menschlichen Sinne Sehen, Hören und Fühlen sowie die Sprache und das Langzeitgedächtnis. Loomis et al. (2013) fanden Evidenz dafür, dass diese Modalitäten funktional äquivalent sind, d.h. dass es für das *spatial image* und dessen Weiterverarbeitung unerheblich ist, von welcher Modalität die Informationen über den Raum stammen. Das *spatial image* wird daher auch als *amodal* bezeichnet.

Die mentale Repräsentation eines Raumes kann generell in zwei verschiedenen Formen vorliegen: *egozentrisch* und *allozentrisch* (Klatzky, 1998). Egozentrisch bedeutet, dass sich die mentale Repräsentation auf die Position und Orientierung der Person bezieht. Eine allozentrische Repräsentation hingegen basiert auf dem Verhältnis von Objekten, Häusern etc. zueinander, ist also invariant bezüglich Position und Orientierung der Person. Wenn sich beispielsweise zwei Menschen in einem Raum gegenüber stehen und Person A sagt, dass sich ein Objekt "rechts" befindet, ist es für Person B logischerweise auf der linken Seite. Person A hat also eine egozentrische Repräsentation des Raumes und des Objekts. Eine allozentrische Repräsentation würde vorliegen, wenn Person A sagen würde, das Objekt befindet sich "auf dem Tisch" oder "über der Tür". Es gibt Evidenz dafür, dass egozentrische und allozentrische Repräsentationen parallel existieren und genutzt werden, um räumliche Aufgaben und Probleme zu lösen (Burgess, 2006). Burgess (2006) schlägt hierfür eine komplementäre Rolle der beiden Repräsentationsarten vor.

Laut einer Theorie von Tatler und Land (2011) ermöglicht das Zusammenspiel von ego-

zentrischer und allozentrischer Repräsentation, sowie dem visuellen Input, dem Menschen ein effektives und zielgerichtetes Handeln, wenn er sich innerhalb einer bestimmten Umgebung bewegt. Land (2014) schlug ein *internal model* der Außenwelt vor, also eine stabile mentale Repräsentation der Umgebung, die auch Objekte enthält, die gerade nicht im Blickfeld des Betrachters liegen. Dieses *internal model* interagiert mit dem Motorsystem, um ein zielgerichtetes Handeln innerhalb der Umgebung zu ermöglichen. Eine wichtige Rolle spielt dabei auch das *spatial updating*, also das ständige Aktualisieren der räumlichen Information, um jederzeit korrekte Informationen über die Umwelt erhalten zu können. Ein Modell zum *spatial updating* wurde von Byrne et al. (2007) präsentiert.

Die Raumrepräsentationen im Langzeitgedächtnis (LZG) und im Arbeitsgedächtnis (AG) sind vermutlich unterschiedlich. Man nimmt heute an, dass Raumrepräsentationen im LZG grundsätzlich allozentrisch sind, wohingegen sie im situationsabhängigen AG in egozentrischer Form vorliegen (Röhrich et al., 2014). AG und LZG interagieren insofern, dass aus einer Raumrepräsentation im LZG ein *spatial image* im AG abgerufen werden kann und umgekehrt aus den im AG erzeugten *spatial images* eine allgemeine Raumrepräsentation im LZG erzeugt oder aktualisiert werden kann (Loomis et al., 2013; Giudice et al., 2013; Röhrich et al., 2014). Ein Algorithmus, der letzteres Problem innerhalb eines künstlichen Labyrinths mit Hilfe eines neuronalen Netzes löst, wurde von Schölkopf und Mallot (1995) präsentiert. Die aus zahlreichen einzelnen (egozentrischen) Blickwinkeln entstandene Repräsentation der gesamten Umgebung wird als *view graph* bezeichnet. Dieser *view graph* wurde auch von Röhrich et al. (2014) verwendet, um eine allozentrische Raumrepräsentation des LZG zu modellieren. Eine situationsabhängige Raumrepräsentation im Arbeitsgedächtnis kann daraus ganz einfach abgeleitet werden, indem man einen entsprechenden Teilgraphen aus dem gesamten *view graph* extrahiert.

Schon seit einiger Zeit ist Wissenschaftlern die besondere Bedeutung des Hippocampus für die Orientierung von Tieren bewusst (siehe z.B. O'Keefe und Nadel, 1978). Die 2014 mit dem Nobelpreis ausgezeichnete (Quelle: Nobelprize.org [1]) Entdeckung von Ortszellen (O'Keefe und Dostrovsky, 1971; O'Keefe, 1976) und Gitterzellen (Hafting et al., 2005) sind nennenswerte Fortschritte in der Erforschung des Hippocampus bzw. des entorhinalen Cortex, der in enger Verbindung mit dem Hippocampus steht. Eine aktuelle Studie zur Hippocampus-Aktivität bei Rhesusaffen während einer Suchaufgabe in einer virtuellen Umgebung wurde von Wirth et al. (2017) durchgeführt. Die Autoren zeigten, dass die Codierung des Raums im Gehirn vermutlich komplexer ist als nur eine Repräsentation von Position und Orientierung. Die Repräsentation des Raums im Gehirn sei vielmehr als eine Kombination aus visueller Information und aufgabenspezifischem Wissen zu verstehen.

Neben dem Hippocampus gibt es noch andere Bereiche im Gehirn, die für die Orientierung wichtig sind. Dazu gehört unter anderem der retrospleniale Cortex, der für eine Vielzahl an kognitiven Fähigkeiten von Bedeutung ist, wie z.B. das episodische Gedächtnis, Navigation, Vorstellung und dem Planen für die Zukunft (Vann et al., 2009). Wolbers und Büchel (2005) führten eine Studie zum Zusammenspiel des Hippocampus' und des retrosplenialen Cortex'

beim Menschen mit Hilfe von bildgebenden Verfahren und virtual-reality Technik durch. Furuya et al. (2014) untersuchten die neuronale Aktivität der hippocampalen Formation und des Gyrus parahippocampalis bei Japanmakaken, die eine wichtige Rolle bei der Navigation und dem episodischen Gedächtnis spielen.

2.2 Relevante empirische Befunde

Eine etwas ältere aber dennoch interessante Studie stammt von Bisiach und Luzzatti (1978). In dieser Studie wurden zwei Menschen mit linksseitigem unilateralem Neglect gebeten, sich einen bekannten Platz in einer bestimmten Orientierung vorzustellen und ihn zu beschreiben. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass sich der Neglect auf die linke Seite der imaginären Umgebung auswirkte und das Phänomen des Neglects somit nicht nur eine Störung des Input-Output Mechanismus sein kann, da in diesem Fall kein (physikalischer) Input vorhanden war. Röhrich et al. (2014) schlossen später aus diesen Ergebnissen, dass Raumrepräsentationen aus dem LZG in Form von egozentrischen spatial images in das AG abgerufen werden können.

Ein wichtiges Experiment, das die Voraussetzungen für dieses Experiment geschaffen hat, stammt von Basten et al. (2012). In deren Studie wurden Besucher des Mensengebäudes auf der Morgenstelle der Universität Tübingen gebeten, eine Skizze des Holzmarkts (in Vogelperspektive) anzufertigen. Dabei handelt es sich um einen bekannten Ort in der Tübinger Altstadt, der sich ca. 2,5km südöstlich vom Mensengebäude befindet. Im zweiten Teil des Experiments wurde zuvor ein Teil der Probanden angewiesen, sich vorzustellen, einen bestimmten Weg zu gehen, der in westlicher Richtung über den Holzmarkt führt (*mental travel*). Der andere Teil der Probanden sollte sich vorstellen, den selben Weg zu gehen, allerdings in die andere Richtung (also in östlicher Richtung). Im ersten Teil der Studie zeigte sich eine klare Präferenz der Probanden für eine südliche Orientierung der Skizzen. Im zweiten Teil hingegen waren westliche/östliche Orientierungen der Skizzen weitaus häufiger als im ersten Teil, wenn sie sich zuvor den westlichen/östlichen Weg über den Holzmarkt vorgestellt hatten. Die Autoren interpretierten die Ergebnisse so, dass die Vorstellung einen bestimmten Weg zu gehen, einen priming Effekt bewirkte, der den Abruf von egozentrischen Ort-Repräsentationen vom Langzeit- ins Kurzzeitgedächtnis beeinflusste.

In einer nachfolgenden Studie von Röhrich et al. (2014) wurden diese Befunde noch genauer untersucht: Die Studie teilte sich in zwei getrennte Experimente, die beide in der Tübinger Altstadt stattfanden. Dort wurden Passanten an unterschiedlichen Orten gebeten, einen von zwei bekannten Orten (den Marktplatz und den Holzmarkt) zu skizzieren (ebenfalls in Vogelperspektive). Die Orientierung der Skizzen hing signifikant von der Position ab, an der die Passanten sie anfertigten. Je nachdem welche Orientierung die Passanten hätten, wenn sie von ihrer momentanen Position zum skizzierten Ort gelaufen wären, wurde diese Orientierung häufiger am oberen Rand skizziert (Diese Abhängigkeit der Orientierung existierte jedoch nur, wenn die beiden Orte nahe beieinander waren. Wurde die Skizze an einem von vier Orten in etwa 2km Entfer-

nung angefertigt, gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Skizzen). Die Autoren schlossen aus den Ergebnissen, dass die Probanden ein konkret orientiertes spatial image aus dem LZG abgerufen haben, um die Aufgabe zu lösen. Der Inhalt des spatial images wirkte sich dann darauf aus, wie die Probanden die Aufgabe lösten, also in welcher Orientierung sie den entsprechenden Ort zeichneten.

2.3 Idee und Hypothese des Experiments

In dem hier beschriebenen Experiment soll nun die Frage geklärt werden, ob eine speziell orientierte Raumrepräsentation bzw. ein spatial image eines Ortes im AG eine räumliche Aufgabe beeinflussen kann. Dafür werden die Probanden zu Beginn jedes Trials dazu gebracht, ein konkretes egozentrisches spatial image eines Zielortes aus dem LZG abzurufen. Das Zentrum dieses spatial images soll dabei dieselbe Orientierung wie der Proband haben, wenn dieser von seinem Startort aus kommend an dem Zielort ankommen würde. Im Anschluss daran wird den Probanden derselbe Ort in einer anderen Orientierung gezeigt (-60° , 60° oder 180° davon entfernt), was ein zweites spatial image des entsprechenden Ortes im AG erzeugen sollte, basierend auf dem visuellen Input. Vermutlich wird dieses zweite spatial image das erste ersetzen, sodass nicht beide gleichzeitig im AG existieren. Diese gezeigte Orientierung soll in der letzten Phase mit Hilfe des erzeugten spatial images wiedererkannt und berichtet werden. Es soll nun untersucht werden, ob das zweite spatial image (visuell) durch das erste spatial image (LZG) beeinflusst wird, wenn die Orientierungen der Modalitäten LZG und visueller Input eine gewisse Nähe im Raum haben. Da spatial images wie oben erwähnt amodal sind und das zweite spatial image entsteht, wenn sich das erste noch im AG befindet, wäre eine solche Beeinflussung prinzipiell denkbar. Wir erwarten, dass sich die Beeinflussung in Form einer systematischen Abweichung der Antworten in Richtung der Orientierung des spatial images aus dem LZG äußert (in diesem Experiment -60° und 60° zwischen den beiden Orientierungen). Wenn die beiden spatial images um 180° entgegen gesetzt sind, wäre hingegen keine systematische Abweichung zu erwarten, entweder weil sie zu weit auseinander liegen, um zu sich zu beeinflussen, oder weil sich die systematischen Abweichungen in beide Richtungen ausgleichen würden. Abbildung 2.1 visualisiert diese Hypothese. Denkbar ist ebenfalls ein Lerneffekt, der aufgrund der Gewöhnung an die Experimentalumgebung zu geringeren Abweichungen in der zweiten Hälfte des Experiments führt. Für die Durchführung wurden, wie schon bei Röhrich et al. (2014), Orte aus der Tübinger Altstadt gewählt, die hier jedoch in einer virtual-reality dargestellt wurden, um eine experimentelle Umgebung zu schaffen, die Zeit- und Winkelgenauigkeit gewährleistet. Der Versuch wurde in einer Pilotstudie an einem Mitglied der Arbeitsgruppe getestet und schien die erwarteten Ergebnisse zu liefern.

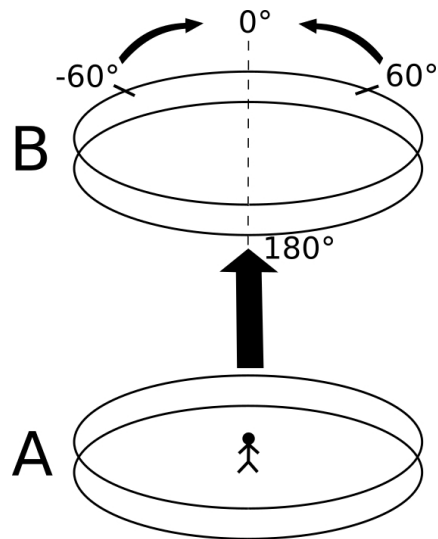


Abbildung 2.1 Veranschaulichung der Hypothese. Das Vorhandensein eines konkreten spatial image des Zielortes B im Arbeitsgedächtnis sollte das Antwortverhalten der Probanden in Form einer Abweichung beeinflussen, wenn sie sich an bestimmte Orientierungen des Zielortes erinnern sollen. Die Abweichung würde in der $\pm 60^\circ$ -Bedingung in Richtung des 0° Winkels zeigen (wie durch die gekrümmten Pfeile angedeutet), in der 180° -Bedingung hingegen sollte keine systematische Abweichung zu beobachten sein.

3. Methoden

3.1 Stichprobe

Bei den Probanden handelte es sich um Studierende der Universität Tübingen, die naiv bezüglich des Ziels der Studie waren. Von den insgesamt 20 Probanden waren 13 männlich und 7 weiblich, der Altersdurchschnitt betrug 21,7 Jahre ($SD = 1,22$ Jahre). Alle Probanden waren deutsche Muttersprachler und hatten normale oder korrigierte Sehstärke. Mit einer Ausnahme lebten alle Probanden in Tübingen oder der näheren Umgebung und das seit durchschnittlich 2,6 Jahren (Die Angabe über die Aufenthaltsdauer erfolgte in 0,5 Jahresschritten). Die Teilnahme wurde grundsätzlich nicht vergütet. In ein paar einzelnen Fällen wurden für die Teilnahme an einem anderen Experiment der Arbeitsgruppe 2 Euro zusätzlich bezahlt, wenn die Probanden an diesem Experiment teilgenommen hatten. In einem Fall wurde die Teilnahme mit einem Schein über eine geleistete Versuchspersonenstunde vergütet, die im Rahmen des Kognitionswissenschafts- und Psychologiestudiums geleistet werden müssen.

3.2 Versuchsaufbau und Material

Für die Durchführung des Versuchs wurde eine Oculus Rift sowie ein Asus Gaming-Laptop (Bezeichnung: GL052VS, für weitere Details siehe Anhang) verwendet. Das Experiment selbst, das in einer virtual-reality Umgebung stattfand, wurde mit der Spiele Engine Unity (Version 5.5.1f1) programmiert und durchgeführt. Für den Programmcode und die Experimentalumgebung in Unity wurden Teile aus einem vorangegangenen Experiment der Arbeitsgruppe verwendet. Die Probanden saßen während des gesamten Versuchs auf einem Stuhl mit dem sie sich frei drehen konnten, ohne Beschränkung durch Kabel oder andere Hindernisse. Das Laptop stand dabei auf einer Metallplatte, die an der Rückenlehnen des Stuhls angebracht war. Mit der rechten Hand hielten die Probanden eine Computermaus, mit der Linken das Kabel der Oculus Rift.

Für den Versuch wurden insgesamt sieben Panoramabilder der Tübinger Altstadt verwendet, die an bestimmten Orten aufgenommen wurden. Diese Bilder sollten den Probanden das Gefühl vermitteln, sich an den entsprechenden Orten zu befinden. Jeder dieser Orte war in diesem Experiment entweder ein Start- oder ein Zielort. Zu den Startorten gehörten das Cafe Hirsch, die Haaggasse, das Haagtor und die Kirchgasse. Die Zielorte waren die Krumme Brücke, der Marktplatz vor dem Tübinger Rathaus (das Rathaus war zum Zeitpunkt der Aufnahme von einem Baugerüst umgeben) und der Holzmarkt an der Stiftskirche. Jedem der Startorte war nur

genau einer der Zielorte für das gesamte Experiment zugeordnet, der durch einen eindeutigen und geraden Weg erreicht werden konnte (Abbildung 3.1 zeigt die Lage der sieben Orte in der Altstadt).

Die Bilder der Startorte hatten eine Auflösung von $16640 \times 1754 - 1794$ Pixeln, die Bilder der Zielorte hatten eine Auflösung von $23552 \times 2816 - 2834$ Pixeln. Die Auflösung der Höhe variierte in beiden Fällen leicht (für die Auflösung aller Bilder siehe Anhang). Entsprechend schwankte auch der vertikale Sehwinkel zwischen 33.5° und 34.1° bei den Startorten und 36.9° und 37.1° bei den Zielorten. Die Panoramas wurden in der Experimentalumgebung auf Zylindern mit den Maßen $200 \times 200 \times 133$ (Längeneinheiten in Unity) aufgetragen. Bilder von Asphalt und einem wolkenigen Himmel wurden unter bzw. über den Zylindern positioniert, um die Umgebung realistischer erscheinen zu lassen.

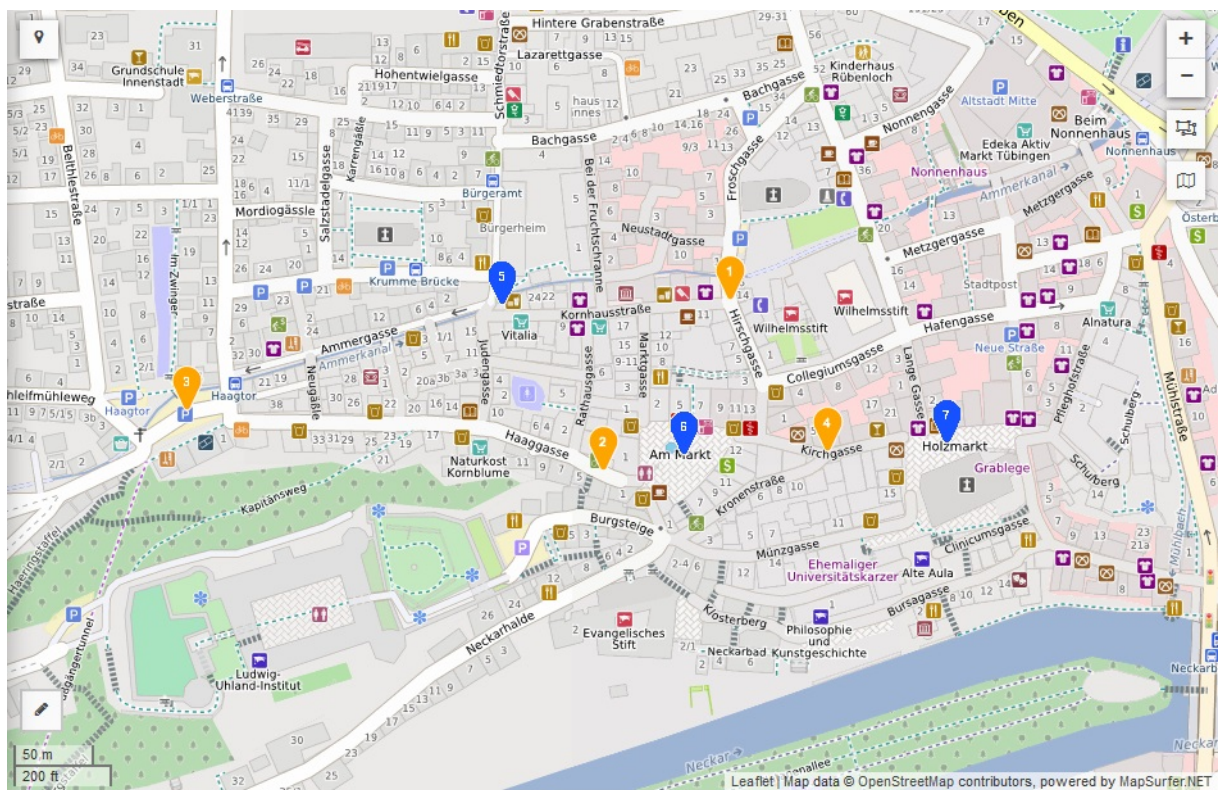


Abbildung 3.1 Lage der im Experiment verwendeten Orte in der Tübinger Altstadt. Die gelben Markierungen geben die Startorte an, die blauen Markierungen die Zielorte. 1 = Cafe Hirsch, 2 = Haaggasse, 3 = Haagtor, 4 = Kirchgasse, 5 = Krumme Brücke, 6 = Marktplatz, 7 = Holzmarkt. Die Zuordnungen für das Experiment sind folgende: 1-5, 2-6, 3-5, 4-7.

Quelle: OpenStreetMap [2]

3.3 Versuchsablauf

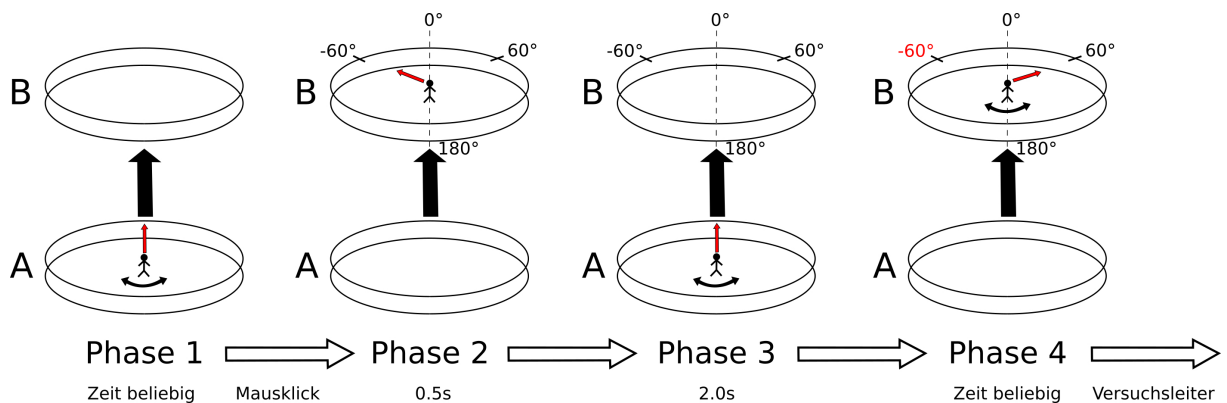


Abbildung 3.2 Skizzierter Ablauf der vier Phasen eines Trials. Die Probanden befanden sich zu jeder Zeit in der Mitte eines Zylinders auf dem ein Panorama aufgetragen war. Der rote Pfeil gibt die Blickrichtung der Probanden an, der dicke schwarze Pfeil stellt den Weg von A nach B dar. Der gekrümmte Pfeil zeigt an, dass sich die Probanden innerhalb des Panoramas frei drehen konnten. Die gestrichelte Linie zeigt den Blickwinkel an, den man bei der Ankunft an B hat. In diesem Beispiel ist die in Phase 4 gesuchte Orientierung -60° . (Die Skizze dient nur zum Verdeutlichen des Versuchsablaufs. Seitenverhältnisse und Winkel können abweichen)

Das gesamte Experiment dauerte etwa eine Stunde. Zu Beginn wurden die Probanden über den Ablauf des Experiments aufgeklärt und hatten die Möglichkeit, Fragen zu stellen. Im Anschluss daran wurde den Probanden jedes der im Experiment verwendeten Panoramas gezeigt und der zugehörige Name des Ortes genannt, sodass sie sich mit ihnen vertraut machen konnten. Nach dieser Einführungsphase wurde das eigentliche Experiment gestartet.

Jeder Trial des Experiments bestand aus insgesamt vier Phasen und beinhaltete genau einen Startort A und einen Zielort B. In jeder Phase betrachteten die Probanden den entsprechenden Ort von der Mitte eines Zylinders aus, auf dem das jeweilige Panoramabild aufgetragen war. Somit ergab sich ein 360° Eindruck der Orte. Der Versuchsablauf ist in Abbildung 3.2 skizziert.

In der ersten Phase befanden sich die Probanden an einem der vier Startorte A. Ein Instruktionstext, der mittig im Gesichtsfeld präsentiert wurde, forderte sie dazu auf, sich in Richtung eines Weges auszurichten, der direkt zu einem der Zielorte B führt. Zudem wurden sie aufgefordert, sich vorzustellen diesen Weg zu Ort B zu laufen. Nachdem sich die Probanden ausgerichtet und sich den Weg zu B möglichst bildlich vorgestellt hatten, konnten sie selbstständig mit einem Mausclick die nächste Phase starten. Die Zeit in dieser Phase war nicht begrenzt.

Die zweite Phase begann mit einem schwarzen Bildschirm für 0,5 Sekunden. Anschließend wurde der zum Startort zugehörige Zielort B in einer von drei möglichen Orientierungen gezeigt: Sei für jeden Zielort derjenige Blickwinkel der 0° -Winkel, den man sieht, wenn man von A kommend an B ankommt, dann waren die drei potenziellen Winkel der -60° -, der 60° - und der 180° -Winkel. Diese Orientierung sollten sich die Probanden einprägen. Nach 0,5 Sekunden folgte ein schwarzer Bildschirm, der ebenfalls für 0,5 Sekunden präsentiert wurde und auf den die nächste Phase folgte. Die Szene in dieser Phase war unbeweglich, selbst wenn die

Probanden den Kopf bewegten. Sie wurden daher angewiesen, während dieser Szene den Kopf nicht zu bewegen, da eine Kopfbewegung bei einer statischen Szene den Eindruck erweckt, als würde die Szene in die entgegengesetzte Richtung shiften. Ein solcher scheinbarer Shift hätte das Antwortverhalten den Probanden verfälschen können.

In der dritten Phase befanden sich die Probanden erneut an dem Startort A aus der ersten Phase. Ihre Orientierung zu Beginn war dabei die selbe, wie beim Verlassen der ersten Phase. Nach 2,0 Sekunden startete automatisch die nächste Phase, wobei die Probanden in diesem Zeitraum keine speziellen Anweisungen erhielten.

In der vierten Phase befanden sich die Probanden wieder am Zielort B, dieses Mal jedoch in einer der beiden Orientierungen, die in der zweiten Phase nicht gezeigt wurden. Über dem Panorama war in dieser Phase ein Zahlenstrahl zu sehen mit den Zahlen 0 bis 71 (5° zwischen zwei Zahlen). Die Aufgabe der Probanden war es nun, die in der zweiten Phase gezeigte Orientierung wieder einzustellen und anschließend dem Versuchsleiter mündlich die Zahl mitzuteilen, die ihrer Meinung nach die Mitte der zuvor gezeigten Orientierung angab. Diese Zahl wurde dann vom Versuchsleiter eingegeben und der nächste Trial gestartet. Um zu verhindern, dass sich die Probanden an bestimmte Zahlen erinnerten, wurde die Skala geshiftet, wenn eine Bedingung erneut dargeboten wurde (Jede Bedingung wurde vier mal dargeboten; die Shifts betragen 0, 14, 32 und 56 Längeneinheiten in positiver Richtung auf dem Zahlenstrahl)

Das Experiment teilte sich in zwei gleich große Blöcke, zwischen denen die Probanden eine Pause einlegen konnten. Nach Beenden des Experiments füllten die Probanden einen Fragebogen aus, (Siehe Anhang) in dem sie gefragt wurden, wie lange sie schon in Tübingen lebten und wie sie ihre Vertrautheit mit den gezeigten Ort-Paarungen auf einer Skala von 1 bis 7 einschätzten.

3.4 Design

Wie bereits erwähnt, wurden für das Experiment vier Ort-Paarungen verwendet. Bei jeder dieser Paarungen wurde in der zweiten Phase einer von drei Winkeln abgefragt und zu Beginn der vierten Phase einer der beiden anderen Winkel als Startwinkel verwendet. Jede sich daraus ergebende Kombination wurde insgesamt vier mal wiederholt. Somit ergeben sich $4 \times 3 \times 2 \times 4 = 96$ Trials also 48 Trials pro Block. Jede der 24 Kombinationen kam genau zwei mal pro Block vor. Innerhalb der Blocks wurde die Reihenfolge, in der die Kombinationen dargeboten wurden, für jeden Proband individuell randomisiert. Jeder Proband durchlief jede experimentelle Bedingung; es handelt sich also um ein Design mit Messwiederholung.

Von der Analyse ausgeschlossen wurden alle Durchgänge, in denen die Antwort der Probanden mehr als 3 Standardabweichungen vom allgemeinen Mittelwert für die entsprechende Orientierung in Phase 2 entfernt war. Davon waren insgesamt 40 Trials ($\approx 2,1\%$ der Daten) betroffen. In der Einführungsphase, in der den Probanden die Orte gezeigt wurden, wurden keine Daten erfasst.

4. Ergebnisse

4.1 Vertrautheit der Ort-Paarungen

Die Einschätzung der Probanden ihrer Vertrautheit mit den vier Ort-Paarungen (per Fragebogen) wurden mit beidseitigen Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests verglichen mit einer anschließenden Bonferroni-Korrektur der p-Werte. Die Skala reichte von 1 bis 7, wobei 1 für die geringste und 7 für die höchste Vertrautheit stand. Die Tests ergaben, dass die Ort-Paarung Kirchgasse - Holzmarkt ($Mdn = 6$) den Probanden am vertrautesten war und zwar im Vergleich mit allen anderen Ort-Paarungen Cafe Hirsch - Krumme Brücke ($Mdn = 4$), $Z = -2.78$, $p = .006$, Haaggasse - Marktplatz ($Mdn = 5$), $Z = -2.51$, $p = .012$ und Haagtor - Krumme Brücke ($Mdn = 5$), $Z = -2.30$, $p = .021$. Zwischen den restlichen Ort-Paarungen gab es keine signifikanten Unterschiede (Abb. 4.1).

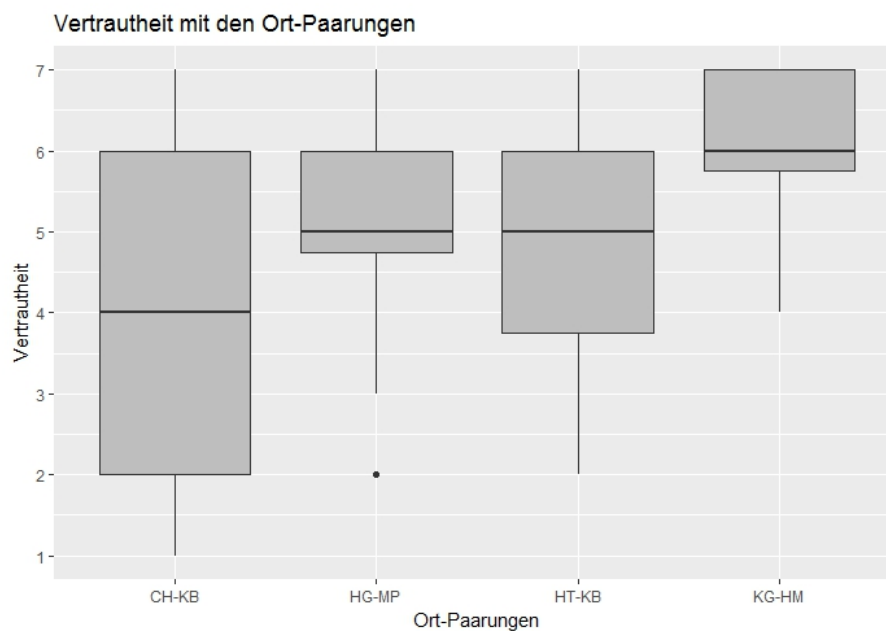


Abbildung 4.1 Ergebnisse des Fragebogens in Form von Boxplots zur Vertrautheit der Probanden mit den vier Ort-Paarungen Cafe Hirsch - Krumme Brücke (CH-KB), Haaggasse - Marktplatz (HG-MP), Haagtor - Krumme Brücke (HT-KB) und Kirchgasse - Holzmarkt (KG-HM). Die Skala reicht von 1 (gar nicht vertraut) bis 7 (sehr vertraut).

4.2 Lerneffekt

Um einen allgemeinen Lerneffekt während dem Experiment zu untersuchen, wurde die durchschnittliche absolute Abweichung der Antworten (in Längeneinheiten auf dem Zahlenstrahl) in Block 1 und Block 2 mit einem einseitigen t-Test für abhängige Stichproben verglichen. Die Abweichung der Antworten war in Block 1 ($M = 1.05$) größer als in Block 2 ($M = 0.80$), $t(19) = 4.32$, $p < .001$ (Abb. 4.2). Die Abweichungen in beiden Blöcken unterschieden sich signifikant von null ($t(19) = 10.10$, $p < .001$ für Block 1 und $t(19) = 7.94$, $p < .001$ für Block 2).

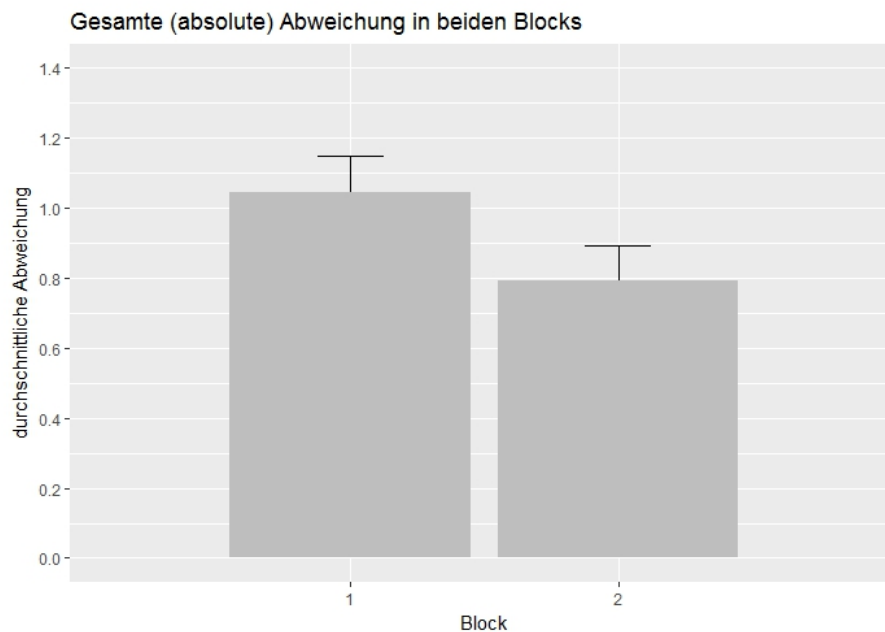


Abbildung 4.2 Die gemittelten (absoluten) Abweichungen der Antworten von der tatsächlich abgefragten Orientierung. Die Abweichung im 2. Block ist signifikant kleiner als im 1. Block.

4.3 Allgemeines Vorgehen für die vier Ort-Paarungen

Um das Antwortverhalten der Probanden auf eine systematische Abweichung hin zum 0° Winkel zu untersuchen, wurde die Abweichung der Antworten in den jeweils drei Bedingungen (-60° , 60° und 180°) der vier Ort-Paarungen untersucht. Die Einheit der Abweichungen sind wie schon im vorigen Kapitel die Zahlen auf dem Zahlenstrahl (1 Längeneinheit $\hat{=}$ 5°). Im Gegensatz zum vorigen Kapitel wird hier allerdings die Richtung der Abweichungen berücksichtigt (Die Funktion, die zur Bestimmung der richtungsabhängigen Abweichung verwendet wurde, ist im Anhang erläutert). Es wurden in jeder Bedingung zwei Einstichproben t-Tests durchgeführt: Ein linksseitiger und ein rechtsseitiger, um auf eine Abweichung in die entsprechende Richtung zu testen. Tabelle 4.1 fasst die Ergebnisse aller vier Ort-Paarungen zusammen.

4.4 Ergebnisse für die vier Ort-Paarungen

Bei der Ort-Paarung Cafe Hirsch - Krumme Brücke gab es eine signifikante Abweichung des Antwortverhaltens der Probanden in der -60° -Bedingung ($M = 0.87$) in positive Richtung, $t(19) = 3.21$, $p = .002$. Keine andere Abweichung war signifikant. Abbildung 4.3 zeigt die Ergebnisse dieser Ort-Paarung in Form eines Histogramms und eines Pfeilplots.

Bei der Ort-Paarung Haaggasse - Marktplatz gab es eine signifikante Abweichung in der 180° -Bedingung ($M = -1.08$) in negativer Richtung, $t(19) = -6.40$, $p < .001$. Keine andere Abweichung war signifikant. Abbildung 4.4 zeigt die Ergebnisse dieser Ort-Paarung in Form eines Histogramms und eines Pfeilplots.

Bei der Ort-Paarung Haagtor - Krumme Brücke gab es eine signifikante Abweichung in der 60° -Bedingung ($M = -0.54$) in negativer Richtung, $t(19) = -3.77$, $p < .001$. Auch in der 180° -Bedingung gab es eine signifikante Abweichung ($M = -0.43$) in negativer Richtung, $t(19) = -1.83$, $p = .041$. Abbildung 4.5 zeigt die Ergebnisse dieser Ort-Paarung in Form eines Histogramms und eines Pfeilplots.

Bei der Ort-Paarung Kirchgasse - Holzmarkt gab es eine signifikante Abweichung in der 60° -Bedingung ($M = -0.26$) in negativer Richtung, $t(19) = -2.64$, $p = .008$. Auch in der 180° -Bedingung gab es eine signifikante Abweichung ($M = -0.49$) in negativer Richtung, $t(19) = -3.48$, $p = .001$. Abbildung 4.6 zeigt die Ergebnisse dieser Ort-Paarung in Form eines Histogramms und eines Pfeilplots.

Tabelle 4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse. Aus Platzgründen sind in der ersten Spalte nur die Startorte ohne die zugehörigen Zielorte genannt. In der Spalte Winkel steht der Winkel, der in Phase 2 des Experiments abgefragt wurde. Die mittlere Abweichung der Antworten von diesem Winkel steht in der dritten Spalte und die p-Werte der links- bzw. rechtsseitigen t-Tests in der vierten bzw. fünften Spalte. Die p-Werte des links- und des rechtsseitigen Tests ergeben trivialerweise 1. Signifikante p-Werte sind grün gefärbt.

Startort	Winkel	Mittlere Abweichung	t-Test (links)	t-Test (rechts)
Cafe Hirsch	-60°	0.87	.998	.002
Cafe Hirsch	60°	-0.04	.423	.577
Cafe Hirsch	180°	0.05	.591	.409
Haaggasse	-60°	-0.13	.109	.891
Haaggasse	60°	-0.31	.128	.872
Haaggasse	180°	-1.08	< .001	1
Haagtor	-60°	0.06	.612	.388
Haagtor	60°	-0.54	< .001	.999
Haagtor	180°	-0.43	.041	.959
Kirchgasse	-60°	-0.27	.087	.913
Kirchgasse	60°	-0.26	.008	.992
Kirchgasse	180°	-0.49	.001	.999

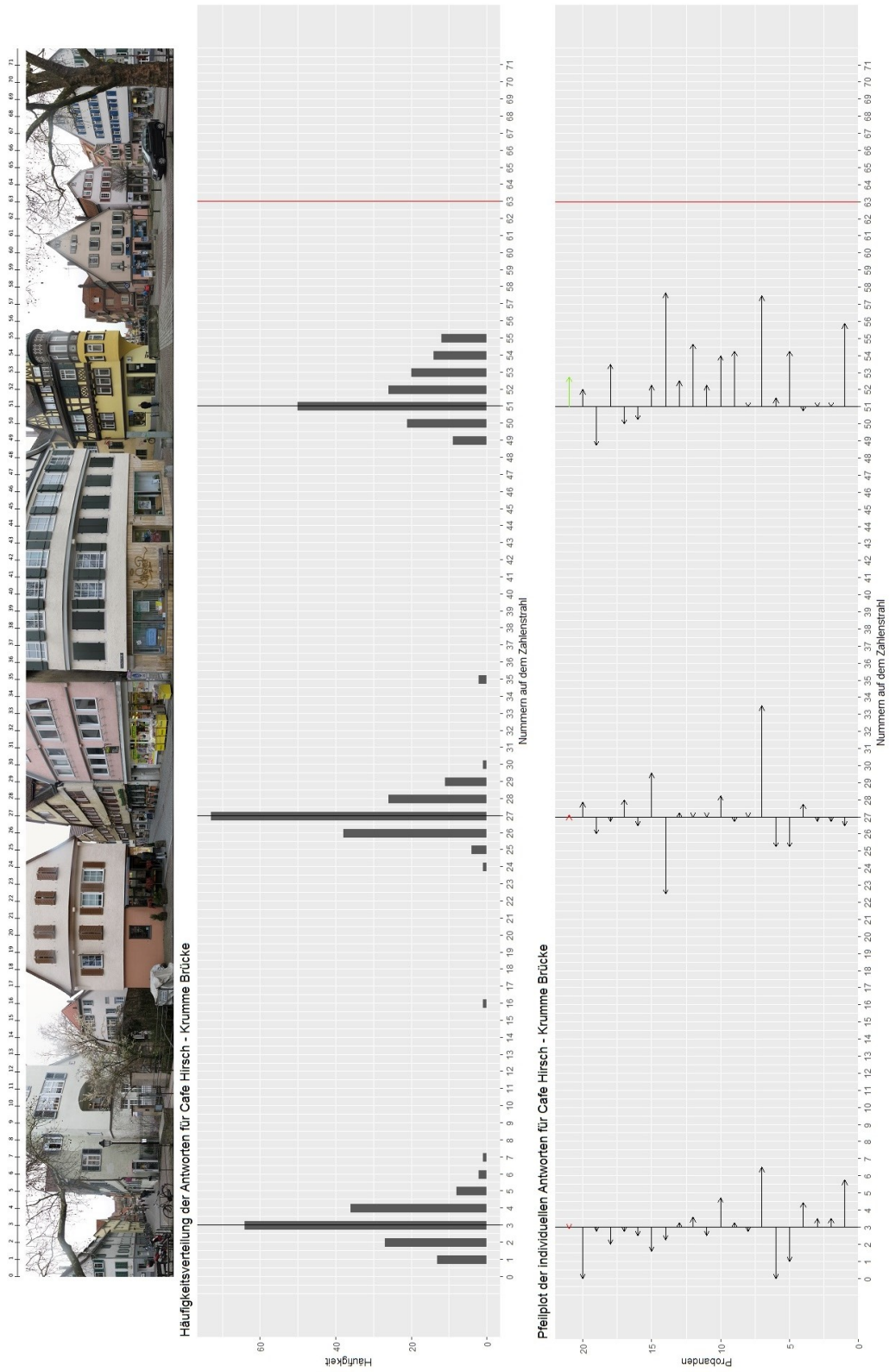
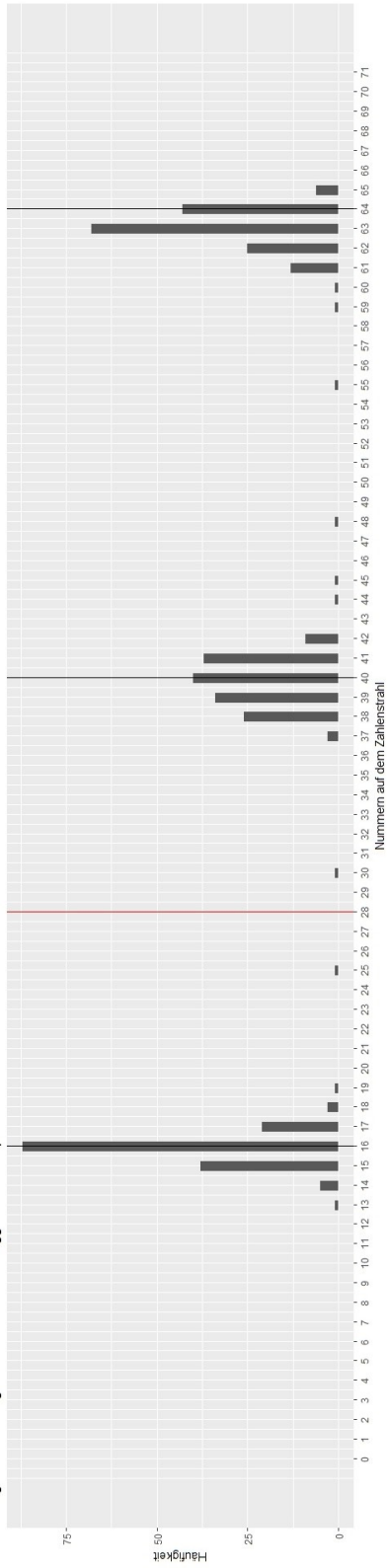


Abbildung 4.3 Ergebnisse für die drei Bedingungen der Paarung Cafe Hirsch - Krumme Brücke in Form einer Häufigkeitsverteilung und eines Pfeilplots. Die rote vertikale Linie gibt den Blickwinkel bei Ankunft an der Krummen Brücke an. Die schwarze vertikale Linie links bzw. recht davon gibt entsprechend den -60° - bzw. 60° -Winkel an. Die schwarze Linie die übrig bleibt, gibt den 180° -Winkel an. Der Pfeilplot zeigt die individuelle Abweichung für alle 20 Probanden in den drei Bedingungen, sowie die daraus resultierende Abweichung in Form der farbigen Pfeile (grün = signifikant, rot = nicht signifikant). Die Pfeile sind für eine bessere Sichtbarkeit mit dem Faktor 2 skaliert.



Häufigkeitsverteilung der Antworten für Haagasse - Marktplatz



Pfeilplot der individuellen Antworten für Haagasse - Marktplatz

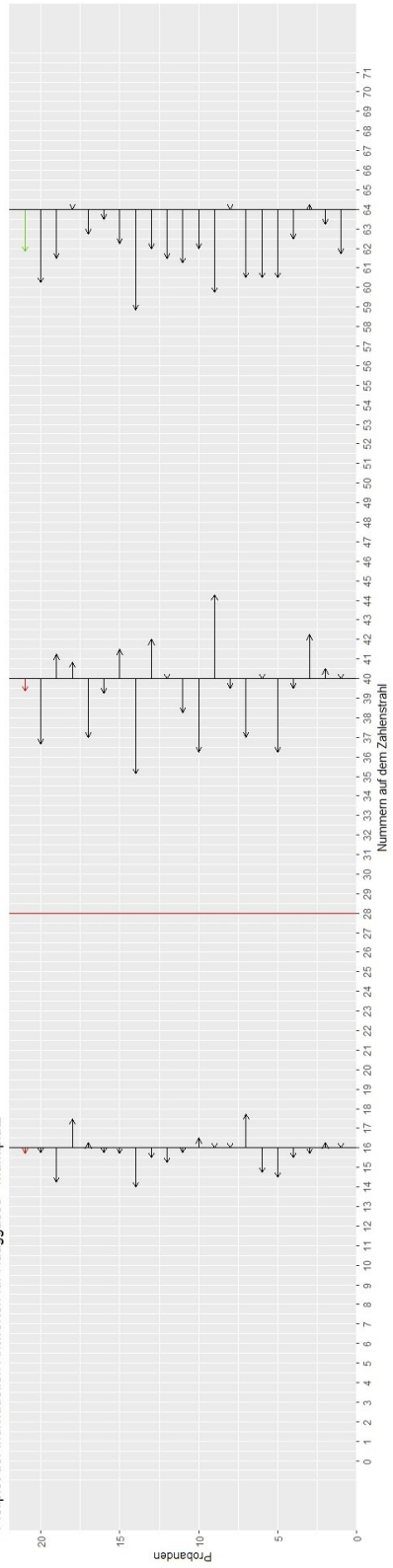
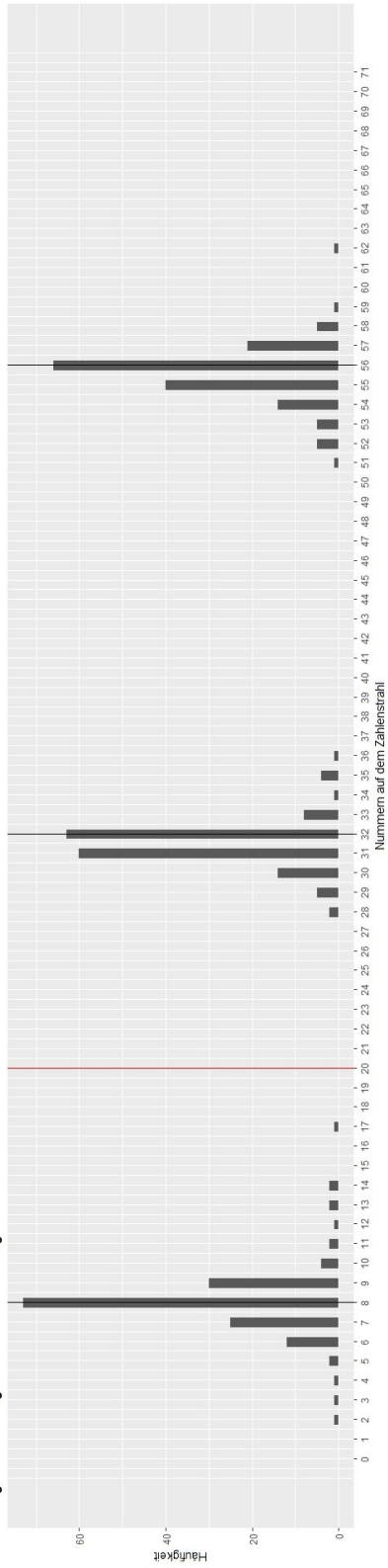


Abbildung 4.4 Ergebnisse für die drei Bedingungen der Paarung Haagasse - Marktplatz in Form einer Häufigkeitsverteilung und eines Pfeilplots (Beschreibung siehe Abbildung 4.3).



Häufigkeitsverteilung der Antworten für Haagtor - Krumme Brücke



Pfeilplot der individuellen Antworten für Haagtor - Krumme Brücke

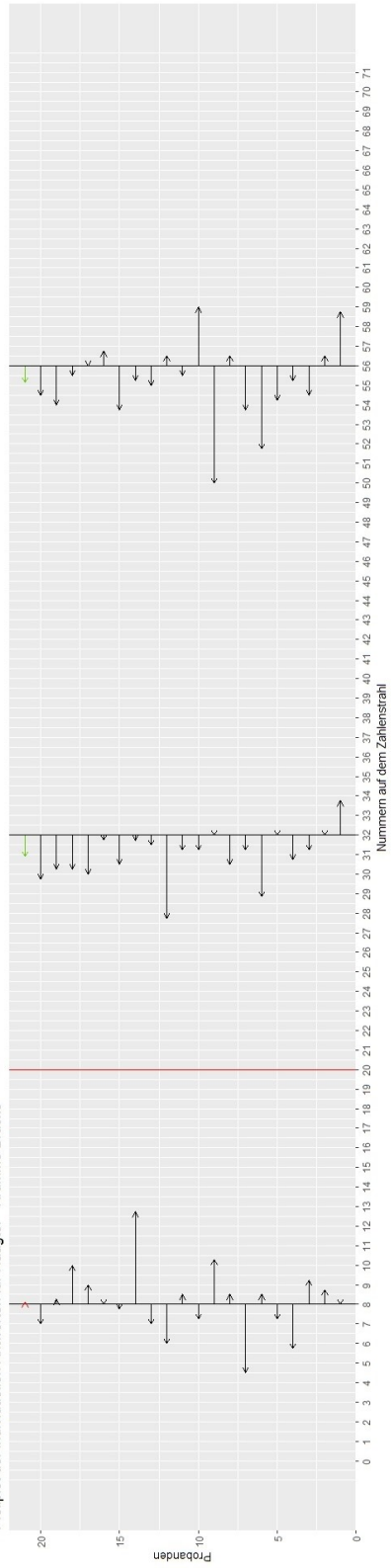


Abbildung 4.5 Ergebnisse für die drei Bedingungen der Paarung Haagtor - Krumme Brücke in Form einer Häufigkeitsverteilung und eines Pfeilplots (Beschreibung siehe Abbildung 4.3).

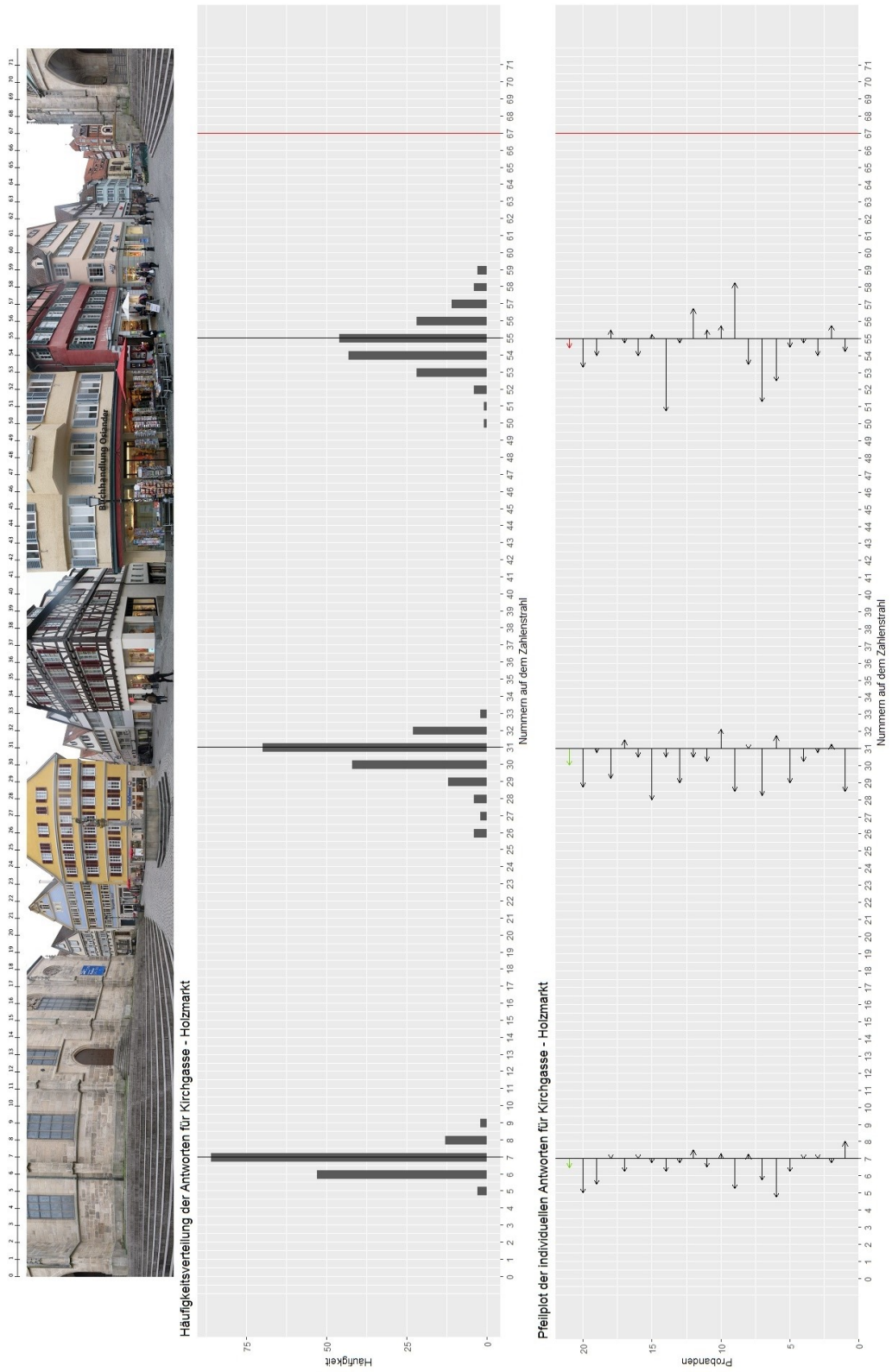


Abbildung 4.6 Ergebnisse für die drei Bedingungen der Paarung Kirchgasse - Holzmarkt in Form einer Häufigkeitsverteilung und eines Pfeilplots (Beschreibung siehe Abbildung 4.3).

5. Diskussion

5.1 Rückblick

Mit diesem Experiment sollte überprüft werden, ob ein spatial image aus dem LZG ein zweites, unmittelbar darauf folgendes spatial image (erzeugt durch visuellen Input) beeinflussen kann. Durch eine solche Beeinflussung würde es erwartungsgemäß zu einer Abweichung des Antwortverhaltens kommen, falls das zweite spatial image zum Lösen der Aufgabe verwendet wird. Es wurde eine systematische Abweichung zum 0° -Winkel in der $\pm 60^\circ$ -Bedingung erwartet, wohingegen in der 180° -Bedingung keine Abweichung zu erwarten wäre. Es wurde ebenfalls ein Lerneffekt bezüglich der Abweichungen im ersten und zweiten Block erwartet.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Das Ergebnis des Fragebogens, nämlich dass den Probanden die Ort-Paarung Kirchgasse - Holzmarkt am vertrautesten war, ist nicht überraschend. Da die Orte Kirchgasse und Holzmarkt sehr nahe beieinander liegen und im viel besuchten Zentrum der Altstadt liegen, war es zu erwarten, dass diese Paarung die höchste Wertung bezüglich Vertrautheit erhält. Die Krumme Brücke und besonders das Cafe Hirsch liegen eher etwas abgeschieden, was die insgesamt eher niedrigere Wertung und die große Streuung erklären könnte (auch wenn der Unterschied zu den beiden übrigen Paarungen nicht signifikant war).

Auch der erwartete Lerneffekt zeigte sich in Form von durchschnittlich geringeren (absoluten) Abweichungen im zweiten Block. Von den insgesamt 20 Probanden zeigten 17 im zweiten Block eine geringere Abweichung der Antworten als im ersten. Das ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Probanden während dem Experiment mit den Orten und der Aufgabe vertrauter wurden und eine gewisse Routine bekamen. Diese Routine äußerte sich bei den meisten Probanden auch darin, dass sie gegen Ende schneller antworteten und sich präziser zu Zielort und Zielorientierung hin drehten (Beobachtung des Versuchsleiters). Eine in beiden Blöcken signifikante Abweichung der Antworten von null zeigt, dass die Aufgabe schwer genug war, um eine gewisse Unsicherheit im Antwortverhalten der Probanden zu erzeugen.

Die Ergebnisse des Experiments konnten die Hypothese, dass das erste spatial image das Antwortverhalten der Probanden beeinflusst, nicht bestätigen. Es konnte keine systematische Abweichung in der -60° - und der 60° -Bedingung nachgewiesen werden. Von den insgesamt 12 Bedingungen deckten sich nur 4 mit der Hypothese.

Bei der Ort-Paarung Cafe Hirsch - Krumme Brücke gab es gemäß der Hypothese eine signifikante Abweichung in positiver Richtung in der -60° -Bedingung, allerdings keine negative Abweichung in der 60° -Bedingung. In der 180° -Bedingung gab es wie erwartet keine Abweichung. Auffällig ist, dass in der -60° -Bedingung ein gelbes Haus sowie ein Weg im Zentrum des Blickfeldes liegen.

Bei der Ort-Paarung Haaggasse - Marktplatz entsprach keines der Ergebnisse der Hypothese. In der $\pm 60^\circ$ -Bedingung gab es keine Abweichungen, während es in der 180° -Bedingung eine starke Abweichung in negativer Richtung gab. Als Zentrum der Orientierung in der 180° -Bedingung wurde der rechte Rand der Straße festgelegt, da dort der Bürgersteig verläuft und man dort am Marktplatz ankommen würde, wenn man in der Haaggasse startet. Interessanterweise wich der Großteil der Antworten um eine Längeneinheit nach links ab, also zur Mitte der Straße hin. Man kann ebenfalls erkennen, dass im Hintergrund der linken Straßenhälfte ein gelbes Haus zu sehen ist.

Bei der Ort-Paarung Haagtor - Krumme Brücke entspricht nur die 60° -Bedingung der Hypothese, in der es eine negative Abweichung gab. In der -60° -Bedingung hingegen gab es keine Abweichung und in der 180° Bedingung gab es eine negative Abweichung in Richtung des gelben Hauses.

Das gleiche Ergebnis findet sich auch bei der Ort-Paarung Kirchgasse - Holzmarkt: Eine der Hypothese entsprechende negative Abweichung in der 60° -Bedingung, keine Abweichung in der -60° -Bedingung und eine negative Abweichung in der 180° -Bedingung in Richtung eines gelben Hauses.

Wenn man zunächst die 180° -Bedingungen betrachtet, fällt auf, dass es in drei von vier Fällen eine Abweichung gab, was der Hypothese widerspricht. In zwei dieser drei Fälle liegt das Zentrum der Orientierung direkt neben einem gelben Haus und in einem Fall ist sie um eine Längeneinheit vom Zentrum der Straße entfernt (jedoch ist auch hier ein gelbes Haus im Blickfeld präsent). Im einzigen Fall in dem es keine Abweichung gab, liegt das Zentrum der Orientierung mittig auf dem ankommenden Weg und es sind keine gelben Häuser oder andere, möglicherweise saliente Reize vorhanden. Es wäre also denkbar, dass die gelben Häuser und der Versatz der Straße das Antwortverhalten der Probanden beeinflussen. Die gelben Häuser stören das Antwortverhalten vermutlich aufgrund ihrer Salienz gegenüber den in ihrer Umgebung vorherrschenden Grau- und Brauntönen. Dieser mögliche "Gelbe-Haus-Bias" sollte in einem Nachfolgeexperiment nach Möglichkeit eliminiert werden (siehe unten). Die Herkunft der Abweichung in der 180° -Bedingung am Marktplatz ist weniger eindeutig. Zum einen könnte das verdeckte gelbe Haus im Hintergrund für die Abweichung verantwortlich sein, zum anderen könnte an dem Versatz zwischen der Straßenmitte und dem Zentrum der abgefragten Orientierung liegen. Letztere Möglichkeit könnte damit erklärt werden, dass die Probanden ein gewisses Symmetriebedürfnis haben, sie also dazu neigen, kleine Unstimmigkeiten bei einem ansonsten symmetrischen Gesamteindruck (wie z.B. hier zwei Häuserkanten die eine Straße begrenzen) auszugleichen und ihre Vorstellung von der Szene zu zentrieren. Verlässliche Evidenz hierfür

gibt es allerdings keine.

Was die $\pm 60^\circ$ -Bedingungen angeht, kann man festhalten, dass immer wenn es eine signifikante Abweichung gab, diese auch in die von der Hypothese vorhergesagte Richtung zeigte, auch wenn das nur drei von acht Bedingungen betrifft. Es muss nun also geklärt werden, warum es in den restlichen Bedingungen keine entsprechenden Abweichungen gegeben hat.

Eine Interpretationsmöglichkeit der Ergebnisse wäre, dass die Hypothese falsch ist und ein aus dem LZG abgerufenes spatial image keinen Einfluss auf die Leistung der Probanden hat. Es wäre denkbar, dass das visuelle spatial image das aus dem LZG einfach ersetzt, ohne in irgendeiner Form von ihm beeinflusst zu werden. Das könnte daher kommen, dass das spatial image aus dem LZG für die zu lösende Aufgabe nicht relevant ist. Möglicherweise wird es bei oder vor dem Präsentieren des aufgabenrelevanten Testbildes in Phase 2 sogar aktiv gehemmt. In diesem Fall wären Abweichungen in der Aufgabe auf die Beschaffenheit der Zielorte zurückzuführen und nicht auf den Einfluss eines spatial images aus dem LZG.

Es ist allerdings auch möglich, dass die Ursache für die Ergebnisse eine andere ist: Laut der Hypothese erzeugen die Probanden ein spatial image aufgrund des visuellen Testbildes in Phase zwei, dessen Inhalt durch das bereits existierende spatial image aus dem LZG beeinflusst wird. Wenn die Probanden allerdings in der zweiten Phase kein spatial image erzeugen, sondern eine andere Strategie zur Lösung der Aufgabe anwenden, wäre es nicht verwunderlich, wenn die erwartete Beeinflussung des Antwortverhaltens ausbleibt. Einige Probanden gaben im Gespräch nach dem Experiment an, sich in der zweiten Phase bestimmte Bildkomponenten (wie Kanten, Laternen etc.) im Zentrum des Blickfeldes eingepägt zu haben. Diese Komponenten suchten sie dann in der vierten Phase, um die korrekte Orientierung anzugeben. Wie viele Probanden genau diese Strategie angewendet haben ist nicht bekannt, allerdings wurde diese oder eine ähnliche Strategie von den meisten Probanden angegeben, die nach einer bestimmten Strategie gefragt wurden. Es ist gut möglich, dass das Selektieren und Merken einer einzelnen Bildkomponente kein spatial image im AG erzeugt. Sollte in diesen Fällen wider Erwarten doch ein spatial image erzeugt worden sein, würde sich das gegebenenfalls nicht im Antwortverhalten zeigen, da das Antwortverhalten alleine vom Wiedererkennen der isolierten Bildkomponente abhängt und nicht von einer Repräsentation des Raumes unabhängig von deren Form.

In diesem Fall müsste man sicherstellen, dass das Fokussieren und Selektieren von einzelnen Bildkomponenten während der zweiten Phase unmöglich gemacht wird. Wenn diese Voraussetzung erfüllt ist, wäre es möglich, dass durch den gesamten visuellen Eindruck ein spatial image im AG der Probanden entsteht, das sie dann zum Lösen der Aufgabe verwenden müssen. Erst dann kann man überprüfen, ob dieses spatial image gemäß der Hypothese von einem zuvor existierenden spatial image beeinflusst wird. Eine Möglichkeit zur Modifikation des vorliegenden Experiments wird in Kapitel 5.4 beschrieben.

5.3 Weitere Störfaktoren im Experiment

Dass das Experiment nicht die vorhergesagten Ergebnisse lieferte, könnte noch eine Reihe weiterer Gründe haben, neben den bereits Genannten. Ein Grund könnte sein, dass den Probanden durch die Oculus Umgebung kein ausreichender räumlicher Eindruck vermittelt wurde. Eine virtuelle Realität kann keine "wirkliche" Realität vollständig ersetzen, denn es fehlen Faktoren wie die Geräuschkulisse oder Wind, die im Labor nicht imitiert werden können. Auch der visuelle Eindruck ist nicht völlig realistisch: So kann es zu Unschärfen bei Verrutschen der Brille, sowie zu Flimmern und Ruckeln des Bildes kommen, je nach verwendeter Soft- und Hardware. Auch die Auflösung der Brille entspricht nicht der des menschlichen Auges in der Realität.

Dieser Mangel an räumlichem Empfinden könnte allerdings auch eine Folge der verwendeten Panoramas sein. Da die Panoramas selbst zweidimensionale Bilder sind, wäre es denkbar, dass sie den Probanden kein Gefühl des "Dortseins" vermitteln konnten. Es würde demnach also nicht reichen, die Probanden im dreidimensionalen Raum mit zweidimensionalen Bildern zu umgeben um eine glaubwürdige räumliche Experimentalumgebung zu schaffen. Ein weiteres Problem der Panoramas ist, dass sie sehr viele Details enthalten. Wie bereits erwähnt, ist es denkbar, dass diese Details einen Einfluss auf das Antwortverhalten der Probanden haben und somit die Daten verfälschen. Beispielsweise befindet sich an der Krümmen Brücke eine Laterne, die in der -60° -Bedingung (Startort Haagtor) ziemlich genau in der Mitte des Blickfeldes steht. Einige Probanden gaben nach dem Experiment an, sich an dieser Laterne (sowie anderen Details) orientiert zu haben, um die Orientierung aus der zweiten Phase wiederzufinden. Neben diesen Details enthalten die Panoramas auch saliente Objekte. Das beste Beispiel dafür sind die bereits erwähnten gelben Häuser, die sich an allen vier Zielorten befinden. Sollte es wirklich eine Art Gelbes-Haus-Bias geben, würde auch dieser das Antwortverhalten der Probanden beeinflussen.

Ein weiterer Punkt könnten die gewählten Orte bzw. die Verbindung zwischen Start- und Zielort sein. Als 0° -Winkel am Zielort wurde für das Experiment immer die Orientierung gewählt, die von der Aufnahmeposition des Panoramas aus gesehen dem Ankunftswege entgegengesetzt war. Wenn dieser Weg jedoch eher tangential und nicht senkrecht auf den Zielort trifft (wie z.B. bei der Paarung Cafe Hirsch - Krümme Brücke), stellt sich die Frage, wie sich die Probanden den Zielort in der ersten Phase vorstellen: Blicken sie in ihrer Vorstellung eher entlang der Richtung, die ihnen der Weg vorgibt, oder sehen sie so wie gewünscht durch die Mitte des Zielortes auf die gegenüberliegende Szene? Man sollte also sicherstellen, dass die Möglichkeiten, sich den Zielort verschiedenartig vorzustellen, minimiert werden, indem man Ort-Paarungen wählt, bei denen der Ankunftswege möglichst senkrecht auf den Zielort trifft. Das gilt ganz besonders dann, wenn man in einem Nachfolgeexperiment den $\pm 60^\circ$ -Winkel auf $\pm 30^\circ$ verkleinert (siehe Kapitel 5.4).

Abgesehen von den verwendeten Materialien und Orten könnte das Problem auch am Versuchsaufbau liegen: Der sperrige Instruktionstext in Phase 1 war vermutlich ungünstig gewählt.

Zum einen könnte er das Gefühl des "Dortseins" gestört haben (wenn man sich in der echten Altstadt befindet, schwebt dort kein Text), zum anderen konnten die Probanden an ihm die Mitte des Blickfeldes abschätzen, da er zentriert war (Ein Proband gab an, ihn dafür verwendet zu haben).

Auch der Zahlenstrahl in Phase vier könnte ein Problem gewesen sein. Dadurch dass man den Probanden eine endlich Auswahl an Antworten fest vorgibt, nimmt man ein gewisses Maß an Unsicherheit aus dem Experiment, das beim Untersuchen von systematischen Abweichungen allerdings nützlich wäre. Es wäre vermutlich sinnvoller, die Wahl der Orientierung ganz den Probanden zu überlassen, ohne diskrete Schritte vorzugeben.

Man sollte aber auch in Erwägung ziehen, dass man möglicherweise den vorhergesagten Effekt nicht auf diese Art experimentell untersuchen kann. Ein gravierender Unterschied zwischen diesem und den Experimenten von Basten et al. (2012) und Röhrich et al. (2014) ist, dass es in deren Experimenten keine richtigen und falschen Antworten gab, da es den Probanden freigestellt war, wie sie die Orte zeichneten. In diesem Experiment hingegen gibt es einen Leistungsdruck auf die Probanden, die korrekte Orientierung wiederzufinden. Das führte vermutlich dazu, dass die Probanden eine effektive aber unerwünschte Strategie (das Selektieren einzelner Bildkomponenten) entwickelten, um die Aufgabe mit möglichst wenigen Fehlern zu erledigen. Dies führte jedoch dazu, dass durch das Testbild in Phase zwei vermutlich kein oder nur ein für die Aufgabe irrelevantes spatial image im AG erzeugt wurde.

5.4 Ausblick

Für ein Anschlussexperiment könnte man einige Aspekte modifizieren, um Störfaktoren auszuschalten und möglicherweise die vorhergesagten Ergebnisse zu erzielen. Grundsätzlich sollte man für die Experimentalumgebung ein dreidimensionales Modell der Tübinger Altstadt verwenden. Das sollte zum einen zu einer besseren Raumwahrnehmung führen und zum anderen würde dieses Modell weniger Details enthalten als die Panoramas. Um noch mehr Homogenität herzustellen, könnte man das Experiment in schwarz weiß durchführen, wodurch beispielsweise der Gelbe-Haus-Bias verschwinden sollte, sofern er existiert. Zudem sollte man die Orientierung in der 180°-Bedingung immer mittig auf Wegen und Straßen positionieren, um einen möglichen "Weg-Bias" zu verhindern.

Es wäre auch möglich, dass die $\pm 60^\circ$ Winkel des Testbildes zu groß gewählt sind. Es könnte sein, dass sich das spatial image aus dem LZG und die Orientierung in der zweiten Phase stärker überlagern müssen, damit es zu einer Beeinflussung durch das spatial image kommt. Man könnte also die Winkel zwischen den beiden Orientierungen auf $\pm 30^\circ$ verkleinern, um die Überlagerung zu vergrößern.

Neben den allgemeinen Änderungen sollten auch in den einzelnen Phasen konkrete Änderungen vorgenommen werden. Der Instruktionstext in Phase eins sollte nicht mehr in der Mitte des Blickfeldes stehen und nur das Ziel in Kurzform angeben, also z.B. "Ziel: Marktplatz" in der

linken unteren Ecke des Blickfeldes. In der zweiten Phase könnte man das Testbild dunkler und/oder unschärfer präsentieren, damit Anhaltspunkte wie Ecken oder Kanten nicht mehr so leicht selektiert und zur Orientierung verwendet werden können. Eine weitere Möglichkeit wäre, die Mitte (und gegebenenfalls die Ränder) des Testbilds mit vertikalen Balken (10 – 15° Sehwinkel breit) zu maskieren. Somit könnten die Probanden keine einzelnen Bildkomponenten mehr aus dem relevanten Bereich selektieren und müssten sich auf ihren Eindruck von der Peripherie verlassen. Um sicherzustellen, dass die Probanden während der zweiten Phase die maskierte Mitte des Blickfeldes fokussieren, sollte man dort ein Fixationskreuz oder eine einfache Zweitaufgabe präsentieren. In der letzten Phase, in der die Probanden die Orientierung aus Phase zwei wieder einstellen sollen, sollte man den Zahlenstrahl aus oben genannten Gründen entfernen. Stattdessen würden die Probanden die Orientierung wie zuvor einstellen und dann selbstständig mit einem Mausklick den Winkel abspeichern und den nächsten Trial starten. Auch hier sollte man den Instruktionstext minimalisieren und vorzugsweise am Rand statt in der Mitte präsentieren.

Sollte sich der vorhergesagte Effekt zeigen, müsste man zusätzlich noch ein Kontrollexperiment mit einer zweiten Versuchsgruppe durchführen, die die Zuordnungen von Start und Zielorten nicht kennt. Alternativ kann man auch die selbe Versuchsgruppe testen wenn das Kontrollexperiment vor dem eigentlichen Experiment stattfindet. Das Kontrollexperiment wäre ähnlich dem eigentlichen Experiment, mit der Ausnahme, dass der Startort darin nicht vorkommt, um zu testen, ob die systematische Abweichung wirklich durch ein zuvor aus dem LZG abgerufenes spatial image ausgelöst wurde. Phase eins und drei würden dann in einer komplett schwarzen Umgebung stattfinden.

Des Weiteren könnte man noch zwei Experimente durchführen, um den Gelbe-Haus-Bias und den Weg-Bias zu untersuchen. Dafür würde man eine virtuelle Häuserfront konstruieren, die den Probanden umgibt. Um das zu realisieren, würde man diesen Versuch also ebenfalls mit einer Oculus Rift durchführen. Die Häuserfront wäre insgesamt unauffällig bezüglich Form und Farbe. Wenn man die Häuser leicht unterschiedlich gestaltet, was die Szene weniger künstlich erscheinen lässt, könnte man ihre Anordnung innerhalb der Häuserfront randomisieren, um einen Effekt spezieller Anordnungen auszuschließen. An einer Stelle wird diese Häuserfront durch ein gelbes Haus bzw. einen Weg unterbrochen. In einem kurz dargebotenen Testbild wird nun die Häuserfront in einer bestimmten Orientierung gezeigt, wobei das gelbe Haus bzw. der Weg immer innerhalb des Blickfeldes liegen sollten. Man würde also in diesem Schritt die Abweichung von Haus bzw. Weg vom Zentrum des Blickwinkels manipulieren. Auch könnte man die Darbietungsdauer des Testbildes variieren. In der nächsten Phase ist es dann die Aufgabe der Probanden, beginnend mit einer anderen Orientierung, die zuvor gezeigte Orientierung wieder einzustellen. Gemäß den Ergebnissen aus dem Experiment würde man hier eine systematische Abweichung der Antworten hin zum gelben Haus bzw. der Wegmitte erwarten. Zusätzlich könnte man noch untersuchen, ob die Abweichung der Antworten stärker oder schwächer wird, wenn die Abweichung des Hauses bzw. Weges von der Mitte im Testbild kleiner bzw. größer

wird.

5.5 Fazit

Anhand der Ergebnisse des Experiments können zu diesem Zeitpunkt noch keine Aussagen über die untersuchte Hypothese gemacht werden. Eine Reihe von Modifikationen ist vermutlich notwendig, um die Auswirkungen eines aus dem LZG abgerufenen spatial images auf eine räumliche Aufgabe untersuchen zu können.

Dennoch gab das Experiment Aufschluss darüber, wie sich die Probanden in einer solchen experimentellen Umgebung verhalten und welche Aspekte grundsätzlich bei einer solchen räumlichen Aufgabe zu beachten sind. So konnten beispielsweise Hinweise auf so etwas wie einen Gelbes-Haus-Bias und einen Weg-Bias gefunden werden. Möglicherweise kann man anhand dieser beiden Effekte weitere raumkognitive Erkenntnisse gewinnen, wenn man ihren Ursprung und ihre Funktionsweise weiter erforscht.

Es ist natürlich möglich, dass in dem Nachfolgeexperiment keine systematische Abweichung in den Daten zu erkennen ist, auch wenn die Modifikationen dafür sorgen, dass die Probanden in der zweiten Phase ein spatial image aus dem visuellen input erzeugen. In diesem Fall könnte man die Ergebnisse als Evidenz gegen die Hypothese ansehen. Möglicherweise kann das spatial image aus dem Langzeitgedächtnis von den Probanden grundsätzlich ignoriert (vielleicht sogar aktiv gehemmt), oder "spurlos" überschrieben werden, da es für die Aufgabe nicht relevant ist. Das zweite spatial image würde dann nicht vom spatial image aus dem LZG beeinflusst werden.

6. Literaturverzeichnis

Bücher

O'Keefe, J., Nadel, L. (1978). *The Hippocampus as a Cognitive Map*. Oxford: Clarendon

Fachartikel

Basten, K., Meilinger, T., Mallot, H.A. (2012) Mental travel primes place orientation in spatial recall. *Lecture Notes in Artificial Intelligence* 7463: 378–385.

Bisiach, E., Luzzatti, C. (1978) Unilateral neglect of representational space. *Cortex* 14: 129–133.

Burgess, N. (2006) Spatial memory: how egocentric and allocentric combine. *Trends in Cognitive Sciences* 10: 551–557.

Byrne, P., Becker, S., Burgess, N. (2007) Remembering the past and imagining the future: A neural model of spatial memory and imagery. *Psychological Review* 114: 340–375.

Furuya, Y., Matsumoto, J., Hori, E., Boas, C.V., Tran, A.H., et al. (2014) Place-related neuronal activity in the monkey parahippocampal gyrus and hippocampal formation during virtual navigation. *Hippocampus* 24: 113–130.

Giudice, N.A., Klatzky, R.L., Bennett, C.R., Loomis, J.M. (2013) Combining locations from working memory and long-term memory into a common spatial image. *Spatial Cognition and Computation* 13: 103–128.

Hafting, T., Fyhn, M., Molden, S., Moser, M.B., Moser E.I. (2005). Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex. *Nature* 436:801–806

Klatzky, R.L. (1998) Allocentric and egocentric spatial representations: Definitions, distinctions, and interconnections. In: *Freksa C, Habel C, Wender KF, editors, Spatial Cognition. An Interdisciplinary Approach to Representing and Processing Spatial Knowledge, Berlin: Springer Verlag, number 1404 in Lecture Notes in Artificial Intelligence*. pp. 1–17.

Land, M.F. (2014) Do we have an internal model of the outside world? *Philosophical Transactions of the Royal Society (London) B* 369: 20130045.

Loomis, J.M., Klatzky, R.L., Giudice, N.A. (2013) Representing 3D space in working memory: Spatial images from vision, hearing, touch, and language. In: *Lacey S, Lawson R, editors, Multisensory Imagery: Theory and Applications, New York: Springer.* pp. 131–156.

O'Keefe, J. (1976) Place units in the hippocampus of the freely moving rat. *Experimental Neurology* 51:78–109

O'Keefe, J., Dostrovsky, J. (1971). The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. *Brain Research* 34:171–175

Röhrich, W.G., Hardiess, G., Mallot, H.A. (2014) View-Based Organization and Interplay of Spatial Working and Long-Term Memories. *PLoS ONE* 9(11): e112793.
doi:10.1371/journal.pone.0112793

Schölkopf, B., Mallot, H.A. (1995) View-based cognitive mapping and path planning. *Adaptive Behavior* 3: 311–348.

Tatler, B.W., Land, M.F. (2011) Vision and the representation of the surroundings in spatial memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society (London) B* 366: 596–610.

Vann, S.D., Aggleton, J.P., Maguire, E.A. (2009) What does the retrosplenial cortex do? *Nature Reviews Neuroscience* 10: 792–802.

Wirth, S., Baraduc, P., Plante, A., Pinède, S., Duhamel, J.R. (2017) Gaze-informed, task-situated representation of space in primate hippocampus during virtual navigation. *PLoS Biol* 15(2): e2001045. doi:10.1371/journal.pbio.2001045

Wolbers, T., Büchel, C. (2005) Dissociable retrosplenial and hippocampal contributions to successful formation of survey representations. *The Journal of Neuroscience* 25: 3333–3340.

Internetquellen

[1] https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2014/press.html
Abgerufen am 14.08.2017 um 20.44 Uhr

[2] <https://www.openrouteservice.org/directions?n1=48.520499&n2=9.053158&n3=17&a=null,null,48.521103,9.054054,48.520158,9.052992,48.520495,9.0495,48.520264,9.054869,48.521078,9.052139,48.520239,9.053668,48.520307,9.055862,null,null&b=0&c=0&k1=en-US&k2=km>
Abgerufen am: 02.08.2017 um 10.23 Uhr

7. Anhang

Details zum verwendeten Gaming-Laptop GL052VS

Edition: Windows 10 Home

Processor: Intel(R) Core(TM) i7-6700HQ CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz

Installed RAM: 8.00 GB

System type: 64-bit operating system, x64-based processor

Fragebogen nach dem Experiment

Fragebogen zum Abschluss

VP: ____ (wird vom Versuchsleiter eingetragen)

Lebt seit ____ Jahren in Tübingen (in Halbjahresschritten)

Bitte geben Sie für die folgenden vier Ort-Paarungen, die eben im Experiment gezeigt wurden, an, wie vertraut Sie mit dem Weg von A nach B im täglichen Leben sind.

Die Skala geht von 1 bis 7, wobei 1 so viel heißt wie "Ich wusste bei mindestens einem der beiden Orte nicht, wo diese/r in der Altstadt liegt/liegen und hatte überhaupt keine Vorstellung von dem Weg." und 7 "Ich kenne beide Orte sehr gut und gehe den Weg zwischen ihnen regelmäßig."

	1	2	3	4	5	6	7
Cafe Hirsch → Krumme Brücke							
Haaggasse → Marktplatz							
Haagtor → Krumme Brücke							
Kirchgasse → Holzmarkt							

Abbildung 7.1 Fragebogen den die Probanden nach dem Experiment ausgefüllt haben.

Funktion zur Bestimmung der Abweichungen auf dem Zahlenstrahl

```
480
481 dev_from_correct <- function(daten, korrekt) {
482   # convert the viewing angle to the corresponding number by dividing it by 5
483   korrekt <- korrekt / 5
484   # create empty vector to save the biases
485   bias <- numeric()
486
487   for(i in 1:length(daten)){
488     if(daten[i] == korrekt) {
489       bias <- c(bias, 0)
490     }
491     else if((daten[i] > korrekt) & (daten[i] - korrekt > 36)) {
492       bias <- c(bias, -(72 - (daten[i] - korrekt)))
493     }
494     else if((daten[i] > korrekt) & (daten[i] - korrekt <= 36)) {
495       bias <- c(bias, daten[i] - korrekt)
496     }
497     else if((daten[i] < korrekt) & (korrekt - daten[i] > 36)) {
498       bias <- c(bias, (72 - (korrekt - daten[i])))
499     }
500     else if((daten[i] < korrekt) & (korrekt - daten[i] <= 36)) {
501       bias <- c(bias, -(korrekt - daten[i]))
502     }
503   }
504 }
505 return(mean(bias))
506 }
507
```

Abbildung 7.2 Selbstgeschriebene Funktion in R um die durchschnittliche Abweichung der Antworten (eines Probanden) auf dem Zahlenstrahl von der korrekten Orientierung zu berechnen.

Erläuterung:

Die Funktion bestimmt immer die kleinere Abweichung in der kreisförmigen Umgebung und berücksichtigt dabei auch Sonderfälle, wie z.B. dass die korrekte Orientierung 1 ($\hat{=}$ 5°) und die Antwort 71 ($\hat{=}$ 355°) ist. Die entsprechende Abweichung ist dann -2 und nicht 70, wie es eine Bestimmung der Differenz auf dem eindimensionalen Zahlenstrahl ergeben würde.

Die Funktion erhält zwei Parameter *daten* und *korrekt*: *daten* ist ein Vektor mit den Antworten des Probanden für diese Bedingung (insgesamt 8 Elemente, sofern keine Ausreißer entfernt wurden) und *korrekt* die korrekte Orientierung in Grad (Achtung: hier ist nicht $\pm 60^\circ$ und 180° gemeint, sondern die Orientierung bezüglich der Panoramas selbst). Die korrekte Orientierung wird in Zahlenstrahleinheiten umgewandelt, indem sie durch 5 geteilt wird (da $1LE \hat{=}$ 5°). Es gibt 5 Möglichkeiten, wie das Verhältnis zwischen den einzelnen Antworten und der korrekten Orientierung aussehen kann:

1. Sie sind identisch. Die Abweichung ist somit 0.
2. Die Antwort ist größer als die korrekte Orientierung und die Differenz der beiden ist größer 36. Wähle also die kleinere Abweichung in negativer Richtung (Das wäre im oben genannten Beispiel der Fall).
3. Die Antwort ist größer als die korrekte Orientierung und die Differenz der beiden ist kleiner/gleich 36. Wähle also für die Abweichung die normale Differenz in positiver Richtung.
4. Die Antwort ist kleiner als die korrekte Orientierung und die Differenz der beiden ist größer 36. Wähle die kleinere Abweichung in positiver Richtung.
5. Die Antwort ist kleiner als die korrekte Orientierung und die Differenz der beiden ist klei-

ner/gleich 36. Wähle die normale Differenz in negativer Richtung.

Diese Prozedur wird für jede Antwort des Probanden durchgeführt und deren Abweichungen in einem Vektor *bias* gespeichert. Zum Schluss wird der Mittelwert von *bias* gebildet und zurückgegeben.

Panoramas der Startorte



Abbildung 7.3 Panoramas der Startorte. Von links nach rechts: Cafe Hirsch (16640 × 1754), Haaggasse (16640 × 1790), Haagtor (16640 × 1794), Kirchgasse (16640 × 1756). (Die Angaben zur Auflösung beziehen sich auf die im Experiment verwendeten Panoramas und nicht auf die hier dargestellten)

Panoramas der Zielorte (ohne Zahlenstrahl)



Abbildung 7.4 Panoramas der Zielorte ohne Zahlenstrahl. Von links nach rechts: Krumme Brücke (23552×2834), Marktplatz (23552×2816), Holzmarkt (23552×2819). (Die Angaben zur Auflösung beziehen sich auf die im Experiment verwendeten Panoramas und nicht auf die hier dargestellten)