

Eberhard Karls Universität Tübingen
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Fachbereich Biologie

Bachelorarbeit
Kognitionswissenschaft

**Abstand und räumliche Vorstellung –
ein Experiment in virtueller Umgebung**

Annika Meert

29.05.2019

Betreuer & Gutachter

Prof. Dr. H. A. Mallot
Kognitive Neurowissenschaften
Fachbereich Biologie
Universität Tübingen

Annika Meert:

*Abstand und räumliche Vorstellung –
ein Experiment in virtueller Umgebung*
Bachelorarbeit Kognitionswissenschaft

Eberhard Karls Universität Tübingen

Bearbeitungszeitraum: 01.02.2019 - 29.05.2019

Zusammenfassung

In welcher Ausrichtung ein Ort, bei dessen Abruf aus dem Gedächtnis, repräsentiert ist, hängt davon ab, wie weit Abrufort und Zielort voneinander entfernt sind und wie die beiden Orte geografisch zueinander liegen. Für den sogenannten *Standort-Effekt* konnten bereits in einer Studie von Röhrich et al. [22] Belege gefunden werden. Unklar bleibt allerdings, welche Reichweite der Effekt hat und ob eine mögliche graduelle Abnahme des Effekts mit Zunahme der metrischen Distanz zum Zielort vorzufinden ist.

In dieser Bachelorarbeit wurde die Untersuchung des Standort-Effekts in die virtuelle Realität übertragen. Versuchspersonen sollten an verschiedenen Standorten in der Tübinger Innenstadt die beiden Zielorte Holzmarkt und Marktplatz virtuell nachbauen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind konsistent mit den von Röhrich et al. erhaltenen Werten. Sie sprechen sehr stark für einen Einfluss des Standortes auf die Wahl der Ausrichtung eines Zielortes – also für einen Standort-Effekt. Des Weiteren konnten Hinweise auf eine graduelle Abnahme dieses Effekts mit Zunahme der metrischen Distanz zum Zielort gefunden werden. Um die tatsächliche Reichweite des Effekts bestimmen zu können, müssen jedoch Befragungsorte mit einbezogen werden, die noch weiter vom Zielort entfernt liegen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	vii
1 Einleitung	1
1.1 Repräsentationen von Raum im Gedächtnis	1
1.2 Räumliche kognitive Fähigkeiten	3
1.3 Ausrichtung räumlicher Repräsentation	5
1.3.1 Situations- und Standortabhängigkeit	6
1.4 Ziele dieser Bachelorarbeit	10
2 Methode und Material	11
2.1 Stichprobe	11
2.2 Material	11
2.3 Durchführung	12
2.3.1 Globaler Ablauf des Versuchs	12
2.3.2 Lokaler Ablauf für einen Befragungsort	13
2.4 Befragungsorte	14
2.4.1 Befragungsorte Holzmarkt	14
2.4.2 Befragungsorte Marktplatz	15
2.5 Versuchsdesign	16
2.6 Kategorisierung der Daten	16

3	Ergebnisse	19
3.1	Absolute und prozentuale Häufigkeiten	19
3.1.1	Standortabhängigkeit	22
3.1.2	Sequenzeffekte	25
3.2	Datenbereinigung	28
3.3	Orientierungsvektoren	30
3.3.1	Distanz zum Zielort	33
4	Diskussion	35
	Literaturverzeichnis	43

Abbildungsverzeichnis

1.1	Ansichts-basiertes Modell: räumliches Arbeits- und Langzeitgedächtnis	7
2.1	Befragungsorte auf Tübinger Karte	14
2.2	Screenshot: Holzmarkt in Süd-Ausrichtung	17
3.1	Anordnungshäufigkeiten Holzmarkt	21
3.2	Anordnungshäufigkeiten Marktplatz	22
3.3	Durchschnitt über alle Befragungsorte mit Zielort Holzmarkt . .	23
3.4	Durchschnitt über alle Befragungsorte mit Zielort Marktplatz .	23
3.5	Häufigkeiten für Sequenzen 1 und 2	26
3.6	Häufigkeiten für Sequenzen 3 und 4	27
3.7	Häufigkeiten nach Abzug des Durchschnitts für Zielort Holzmarkt	29
3.8	Häufigkeiten nach Abzug des Durchschnitts für Zielort Marktplatz	29
3.9	Orientierungsvektoren Holzmarkt auf Tübinger Karte	31
3.10	Orientierungsvektoren Marktplatz auf Tübinger Karte	31
3.11	Abweichung der Orientierungsvektoren zur Luftlinie Holzmarkt .	32
3.12	Abweichung der Orientierungsvektoren zur Luftlinie Marktplatz	32
3.13	Länge der Vektoren in Abhängigkeit zur Distanz zum Zielort . .	33

Tabellenverzeichnis

2.1	Rohdaten	18
3.1	Absolute Häufigkeit mit Zielort Holzmarkt	19
3.2	Absolute Häufigkeit mit Zielort Marktplatz	20
3.3	Prozentuale Häufigkeit mit Zielort Holzmarkt	20
3.4	Prozentuale Häufigkeit mit Zielort Marktplatz	21
3.5	Erwartete absolute Anzahl der Ausrichtungen Holzmarkt	24
3.6	Erwartete absolute Anzahl der Ausrichtungen Marktplatz	24
3.7	Chi ² -Werte für östlich und westlich gelegene Befragungsorte des Holzmarktes	24
3.8	Chi ² -Werte für östlich und westlich gelegene Befragungsorte des Marktplatzes	25
3.9	Chi ² -Werte der Sequenzen 1 und 2	25
3.10	Chi ² -Werte der Sequenzen 3 und 4	28

Kapitel 1

Einleitung

Während wir uns durch unsere Umwelt bewegen, nehmen wir ständig den Raum um uns herum wahr. Bei einem Spaziergang durch die Altstadt wissen wir beispielsweise, dass sich links von uns der kleine Brunnen vor der Kirche befindet oder wir auf unser Lieblingscafé treffen, wenn wir in 150 Metern rechts in die Seitenstraße abbiegen. Wir sind in der Lage, Wege zu planen, zum Beispiel dann, wenn wir uns an einen Treffpunkt begeben wollen. Befinden wir uns auf dem Weg zu unserem Treffpunkt, können wir auf die aktuellen Gegebenheiten unserer Umwelt reagieren. So ist möglicherweise der Weg durch eine Baustelle versperrt, und wir müssen einen anderen Weg wählen.

Wir sind also einerseits in der Lage, den Raum, in dem wir uns momentan befinden und all die sich ständig ändernden Umweltinformationen wahrzunehmen und auf sie zu reagieren. Andererseits können wir uns mental an andere Orte begeben und uns bereits bekannte Orte vorstellen. All diese kognitiven Fähigkeiten werden in unserem räumlichen Gedächtnis verarbeitet. Im Folgenden wird zunächst auf die Organisation sowie auf die Fähigkeiten des räumlichen Gedächtnisses genauer eingegangen. Daraufhin soll näher betrachtet werden, wie räumliche Repräsentationen in unserem Gedächtnis ausgerichtet sind und welchen Einfluss situationsbedingte Faktoren darauf haben.

1.1 Repräsentationen von Raum im Gedächtnis

Die räumliche Organisation unserer Umgebung wird häufig in Kategorien unterschiedlichen Maßstabes eingeteilt. Ein Grund dafür ist, dass je nach Maßstab die kognitiven Fähigkeiten, die unser Gehirn leisten muss, stark variieren. So kann ein Problem im nahen Umfeld beispielsweise das Aufsuchen

einer Tasse im Schrank sein. Dabei spielt vor allem der Raum in einem Abstand von wenigen Zentimetern eine Rolle. Andererseits kann zum Beispiel das Finden eines Weges eine räumliche Repräsentation von mehreren Kilometern beinhalten.

Grüsser [11] schlägt daher eine Aufteilung des räumlichen Umfeldes in vier verschiedene Kategorien vor: Der sogenannte *grasp space*, auf Deutsch „Greifraum“, bezieht sich auf unser direktes Umfeld bzw. auf den Raum, der für uns in greifbarer Nähe liegt; der *near- und far-distant action space* stellt den Raum dar, in dem wir Handlungen ausführen können, während der *visual background* über den Handlungsraum hinausgeht.

Montello [17] nimmt ebenfalls eine Aufteilung des Raumes nach Maßstab vor. Die von ihm definierten *psychological spaces* sind aber räumlich weitläufiger als die von Grüsser definierten Kategorien. *Figural spaces* sind nach seiner Definition kleiner als wir selbst und beinhalten Objekte und Bilder. Die *vista spaces* umfassen all das, was ein Beobachter von seinem Blickwinkel aus sehen kann und sind somit größer als wir selbst. Die *environmental spaces* sind durch den vom Menschen zu Fuß erkundbaren Raum begrenzt, während die *geographical spaces* über die Erkundungsfähigkeiten eines Individuums hinausgehen.

Eine weitere Unterscheidung wird häufig zwischen der allozentrischen und der egozentrischen räumlichen Repräsentation vorgenommen.

Egozentrische Repräsentationen sind zeitlich begrenzt und basieren auf der aktuellen Position des Betrachters. Objekte der Umwelt werden somit relativ zum Betrachter abgebildet. Bei Bewegung des Betrachters werden egozentrische Repräsentationen aktualisiert, um sie dem aktuellen Sichtfeld anzupassen. Durch diese Aktualisierung sind wir in der Lage, zielgerichtete Bewegungen auszuführen, nach Objekten zu greifen, sie zu bewegen – und so mit unserer Umgebung zu interagieren. Aus den egozentrischen Repräsentationen werden sowohl die Erinnerungen des Arbeitsgedächtnisses als auch die des Langzeitgedächtnisses konstruiert [6] [14] [26].

Allozentrische Repräsentationen der Umwelt im Langzeitgedächtnis kann man sich ähnlich wie topografische Karten vorstellen. Sie sind unabhängig von der aktuellen Position des Betrachters und verändern sich bei dessen Bewegung nicht. Da sie über längere Zeiträume erhalten bleiben, hängen sie nicht von direktem visuellen Input ab [5] [26].

Auch auf neurophysiologischer Ebene gibt es Hinweise auf eine Unterscheidung zwischen allozentrischer und egozentrischer Repräsentation. Die allozentrische Karte kann im Hippocampus und im mittleren Temporallappen lokalisiert werden, während es Hinweise auf die Verarbeitung der egozentrischen Repräsentation im Parietallappen gibt [5]. Die Verbindung sowie die Übersetzung zwischen den beiden Repräsentationen wird im retrosplenialen Kortex vermutet [5].

Eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Ebenen räumlicher Repräsentation wirft die Frage auf, wie diese Ebenen interagieren. Wang und Spelke [30] gehen davon aus, dass sich räumliche Erinnerungen ausschließlich auf egozentrische räumliche Repräsentationen stützen. Egozentrische Repräsentation und die Repräsentation der Oberflächengeometrie unserer Umwelt soll dann zur Reorientierung eines Individuums genutzt werden können. Weiterhin zeigten sich in den Experimenten von Brockmole und Wang keine Hinweise auf eine Interaktion zwischen den verschiedenen Repräsentationsebenen [29] [3]. Im Gegensatz dazu kamen Hirtle und Jonides [13], die mit verschiedenen Methoden den Recall natürlicher Umgebungen testeten, zu der Schlussfolgerung, dass die verschiedenen Ebenen hierarchisch ineinander verschachtelt sind. Weitere Studien deuten darauf hin, dass sowohl egozentrische als auch allozentrische Repräsentationen vorhanden sind – und sogar parallel genutzt werden [5] [18] [25] [27].

1.2 Räumliche kognitive Fähigkeiten

Die kognitiven Fähigkeiten, die das räumliche Gedächtnis leistet, erfordern ein komplexes Zusammenspiel von Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis. Viele räumliche Aufgaben verlangen das ständige Abgleichen neuer Informationen mit bereits Bekanntem.

Eine der grundlegendsten räumlichen Fähigkeiten ist die *Ortserkennung*. Das Wiedererkennen von bereits bekannten Orten erfordert Erinnerungen an Wahrnehmungen, die diesen bestimmten Ort charakterisieren. Bei diesen Charakteristika, die als *Landmarken* bezeichnet werden, handelt es sich meist um physische Objekte, die aus der Umgebung herausstechen, einen hohen Wiedererkennungswert haben und daher gut erinnert werden können. Das sind z. B. Gebäude, Bäume, aber auch geometrische Eigenschaften eines Ortes wie Kreuzungen oder Abzweigungen [10] [15].

Während wir uns durch eine Umgebung bewegen, verändern wir ständig unsere Position und Orientierung. Durch diese Bewegung verändert sich auch das räumliche Verhältnis zwischen uns und den Objekten, die uns umgeben. Der egozentrische kognitive Prozess, der dieses Verhältnis trackt, nennt sich *spatial updating*. Durch spatial updating sind wir in der Lage, mit unserer Umgebung interagieren und auf Veränderungen reagieren zu können. So befindet sich beispielsweise eine Tasse, die anfangs uns gegenüber stand, nach einer Linksdrehung auf unserer rechten Seite. Durch spatial updating tracken wir die Lage der Tasse und können so, auch nach einer Drehung, zielgerichtet nach ihr greifen [28] [32].

Spatial updating ist nicht nur beim Menschen vorzufinden. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass auch Insekten wie etwa die Ameise ihren Startpunkt, zum Beispiel das Nest, zurückverfolgen können. Die Ameise nutzt dabei die Strategie der *Wegintegration*, bei der kontinuierlich Bewegungsvektoren aufaddiert werden und so der Heimvektor, also die Luftlinie zwischen aktueller Position und Startpunkt, bestimmt werden kann [28].

In einer unbekanntem Umgebung ist die Wegintegration die einzige Möglichkeit der Orientierung. In bekannter Umgebung können sowohl die durch Wegintegration erhaltenen Informationen als auch Landmarken-Informationen zur Orientierung genutzt werden [8].

Genannte Mechanismen werden für komplexere räumliche Fähigkeiten wie die *Navigation* benötigt. Schölkopf und Mallot [23] definieren Navigation als das Planen und Entlanggehen eines Weges im Raum. Die Navigation ist eine aus mehreren Ebenen bestehende komplexe Aufgabe. So sind zum einen auf Ebene der Richtungssteuerung beispielsweise Hindernisse zu vermeiden oder Ablenkungen durch Wind auszugleichen. Zum anderen müssen auf Ebene der Wegplanung an jeder Kreuzung, auf die man trifft, Wegentscheidungen getroffen werden. Eine effiziente Strategie ist dabei, Plätze mit salienten Landmarken als Entscheidungspunkte für den darauffolgenden Pfad zu wählen. Um diese komplexen Aufgaben ausführen zu können, muss räumliches Wissen aus dem Langzeitgedächtnis aktiviert und in einen Zustand des Arbeitsgedächtnisses übertragen werden, in dem Planung, Schlussfolgerung und Formulierung stattfindet [23] [31].

O’Keefe und Nadel [19] haben in diesem Zusammenhang den Begriff der *kognitiven Karte* verwendet. Dabei handelt es sich um einen neuronalen Mechanismus, der ähnliche Aufgaben erfüllt, wie dies beim Verwenden einer echten Karte der Umgebung der Fall ist. Die kognitive Karte muss sowohl Informationen zu bekannten Orten enthalten als auch zu deren räumlichen Beziehungen untereinander. Die zuvor beschriebenen Entscheidungspunkte werden, in einem graph-basierten Vorgehen, also durch Knoten mit Kanten ersetzt, welche die räumlichen Beziehungen zwischen den Orten beschreiben. Dadurch sind an einen Entscheidungspunkt nicht mehr nur eine, sondern mehrere mögliche motorische Aktionen geknüpft. Das sogenannte *map behaviour* ermöglicht uns beispielsweise, Wege um Hindernisse herum ausfindig zu machen, bereits bekannte Wege erneut zu laufen oder einen neuen Weg zwischen zwei willkürlichen Punkten der Umgebung zu finden [23].

Aber nicht immer geht mit räumlichen kognitiven Leistungen tatsächlicher visueller Input oder Bewegung einher. Eine Eigenbewegung im Raum oder verschiedene Umweltansichten derselben oder entfernter Umgebungen können sich auch lediglich vorgestellt werden (*mental travelling*) [1]. Eine

weitere räumliche kognitive Leistung ist die *mental rotation*, bei der Objekte gedanklich gedreht und so aus verschiedenen Blickwinkeln imaginiert werden können [24] [20].

1.3 Ausrichtung räumlicher Repräsentation

Wenn wir von räumlichen Repräsentationen im Langzeitgedächtnis sprechen, stellt sich die Frage, in welcher Ausrichtung diese Repräsentationen abgespeichert sind. In einigen Studien findet man Evidenz dafür, dass alle Orte einer für uns vertrauten Umgebung, zum Beispiel unserer Heimatstadt, mit derselben Ausrichtung abgespeichert und somit innerhalb eines *global reference frame* repräsentiert sind. Frankenstein et al. [9] fanden in einem Experiment in virtueller Umgebung Hinweise auf einen global reference frame in Nord-Ausrichtung. Im Gegensatz zu den global reference frames stehen die *local reference frames*, die nur kleinere Gebiete umfassen und somit innerhalb einer Stadt Langzeit-Repräsentationen mit unterschiedlichen Ausrichtungen zulassen.

Frankenstein et al. argumentieren mit dem Einfluss von physischen Karten, die meist eine Nord-Ausrichtung haben, um einen global reference frame in Nord-Ausrichtung zu erklären. Andere Studien betonen eher den Einfluss von salienten Umwelteigenschaften wie geometrische Gegebenheiten und Achsen in der Umwelt (z. B. Straßen, Flüsse) oder Landmarken auf die Ausrichtung der räumlichen Repräsentation in unserem Gedächtnis [4] [16]. Weitere Faktoren könnten die individuelle Erfahrung einer Person sowie die Blickrichtung beim Wahrnehmen und Codieren eines Ortes sein. So kann beispielsweise der Wohnort einer Person einen Einfluss darauf haben, von welcher Seite sie am häufigsten auf einen Ort trifft, wodurch dann eine bestimmte Ansicht häufiger wahrgenommen wird als eine andere.

Im Gegensatz zu den Theorien, die besagen, dass wir für jeden uns bekannten Ort eine bestimmte Ansicht abgespeichert haben, befürworten andere Theorien, dass die Erinnerungen an vertraute Orte in einer orientierungsunabhängigen Weise repräsentiert sind [7]; danach entsteht die Ausrichtung eines Ortes also erst bei Abruf der Erinnerung.

Orte könnten außerdem auch als eine Sammlung unterschiedlicher Ansichten abgespeichert sein, wobei bei Abruf der Erinnerung an einen Ort eine angemessene Ansicht ausgewählt wird [1] [31].

1.3.1 Situations- und Standortabhängigkeit

Sowohl bei einer Langzeit-Speicherung ohne festgelegte Orientierung als auch bei der Speicherung einer Sammlung von verschiedenen Ansichten eines Ortes entscheidet sich die erinnerte Orientierung erst bei Abruf der Erinnerung. Daher sind hier zusätzlich situationsbedingte Faktoren zu betrachten, die einen Einfluss auf die Auswahl der Orientierung der Ansicht haben. Situationsbedingte Faktoren können beispielsweise ein Zielort sein, den eine Person anstrebt, oder ein Standort, an dem sich die Person gerade befindet.

Basten, Meilinger und Mallot [1] führten in diesem Kontext eine Studie durch, die den Aspekt der Situationsabhängigkeit mithilfe eines Priming-Paradigmas bei Abruf der Erinnerung an einen Ort untersuchte. Für die Studie wurden 2 Experimente durchgeführt, in denen Passanten gebeten wurden, an einem Ort in 2,5 km Entfernung zum Zielort (Holzmarkt Tübingen) eine Skizze des Holzmarktes anzufertigen. Experiment 1 bestand lediglich aus der Anfertigung der Skizze und diente somit als Vergleichswert, wohingegen in Experiment 2 zuvor eine Priming-Task (mental travelling) ausgeführt wurde. Die Ergebnisse der Experimente wiesen große Unterschiede in Sachen Skizzenorientierung auf: Versuchspersonen, die zuvor keine Priming-Task erhalten hatten, skizzierten den Holzmarkt vorwiegend in Süd-Ausrichtung, wohingegen Versuchspersonen mit vorherigem Priming diejenige Ausrichtung häufiger wählten, die der zuvor vorgestellten Begehungsrichtung auf den Holzmarkt entsprach.

Faktoren, die Basten et al. in Experiment 1 als ausschlaggebend für die Wahl der Ausrichtung sahen, waren sowohl das geometrische Layout des Platzes bzw. die intrinsische Achse (Ost-West) als auch die Kirche, die eine herausstechende Landmarke im Süden des Holzmarktes darstellt – und damit eine große Rolle bei der starken Tendenz zur Süd-Ausrichtung spielen könnte. Auch persönliche Präferenzen der Versuchsperson, wie z. B. ein Lieblingsgeschäft, könnten die Wahl der Ausrichtung beeinflussen. Bei vorherigem mental travelling schien zusätzlich die zuvor vorgestellte Begehungsrichtung einen großen Einfluss auf die Wahl der Ausrichtung zu haben – und weist somit auf eine Situationsabhängigkeit bei der Wahl der Ausrichtung hin.

Wenn Orte also im Langzeitgedächtnis (LZG) ohne festgelegte Orientierung repräsentiert sind, muss offenbar nach Abruf der Information aus dem LZG eine Transformation (mental rotation) in die finale Perspektive stattfinden. Im Gegensatz dazu würde bei Speicherung mehrerer Ansichten eines Ortes im LZG das Priming zu einer Voraktivierung von einer der Ansichten führen und somit deren Abruf erleichtern.

Ein in der vorherigen Studie nicht betrachteter Aspekt ist die Standortabhängigkeit. Da die Befragungen der Versuchspersonen stets an demselben

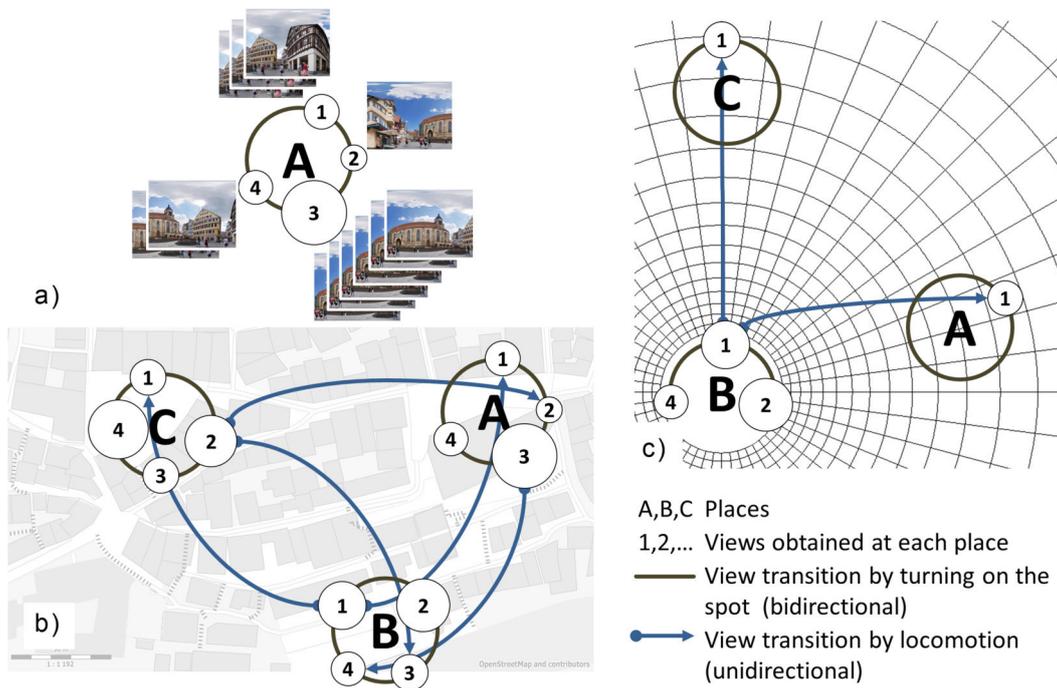


Abbildung 1.1: Ansichts-basiertes Modell des räumlichen Arbeits- und Langzeitgedächtnisses aus der Studie von Röhrich et al. [22]

Ort nord-westlich des Holzmarktes stattfanden, vermag keine Aussage darüber getroffen zu werden, ob bzw. inwieweit der Standort die Wahl der Ausrichtung beeinflusst.

Um den Aspekt der Standortabhängigkeit zu untersuchen, führten Röhrich, Hardiess und Mallot [22] eine Studie durch, die auf einem von Schölkopf und Mallot [23] entwickelten Modell des Zusammenspiels von räumlichem Arbeits- und Langzeitgedächtnis basiert.

Das zentrale Konzept dieses *ansichts-basierten Modells* ist eine Ansicht bzw. ein Bild bzw. eine Repräsentation eines Bereichs der Umwelt an einer bestimmten Position. Die einfachste Repräsentation eines Ortes A im LGZ ist eine Sammlung mehrerer Ansichten (1, 2, 3, 4; siehe Abbildung 1.1 a)). Die Ansichten können dabei überlappen und außerdem unterschiedlich salient sein. Salientere bzw. *kanonische Ansichten*, wie es in Abbildung 1.1 a) die Ansicht 3 ist, werden in dem Modell mithilfe mehrerer Kopien einer Ansicht repräsentiert und sind an der Kreisgröße der jeweiligen Ansicht ablesbar.

Aus der Repräsentation eines Ortes im LZG kann man nun eine Langzeitrepräsentation einer größeren Umgebung konstruieren; diese kognitive Karte kann dann zur Wegplanung und Wegfindung genutzt werden. Dazu werden die Ansichten mehrerer Plätze durch Kanten in einem *view graph* miteinander verbunden (siehe Abbildung 1.1 b)). Sie stellen die Routen zwischen den Plätzen dar sowie die dazugehörigen Ansichten, auf die man trifft, wenn man

die Route abläuft. Innerhalb eines Platzes erhält man verschiedene Ansichten durch eine Drehbewegung um die eigene Achse; diese sind durch die schwarzen Verbindungslinien zwischen den Ansichten gekennzeichnet.

Das ansichts-basierte Modell für das Arbeitsgedächtnis stellt ein Sub-Graph des gesamten View-Graph dar (siehe Abbildung 1.1 c)). Dieser enthält die aktuelle Position des Betrachters, die Blickrichtung sowie ausgehende Wegkanten zu in wenigen Schritten erreichbaren Plätzen und deren zugehörige Ansicht. Der Beobachter in Abbildung 1.1 c) befindet sich aktuell an Ort B und ist so gedreht, dass er die Ansicht 1 des Platzes B sieht. Wegoptionen gibt es zu den Plätzen A und C, wobei die Ansichten, auf die der Beobachter treffen würde, in beiden Fällen die Ansicht 1 des jeweiligen Platzes ist.

Sobald sich der Beobachter bewegt, verändern sich die aktuelle Ansicht sowie ausgehende Wegoptionen. Dies könnte durch ein ständiges Abrufen des aktuellen Sub-Graph aus dem Langzeitgedächtnis in das Arbeitsgedächtnis erfolgen oder, in einem kleineren Maßstab, durch spatial updating direkt im Arbeitsgedächtnis (z. B. mental rotation).

Bei Vorliegen des Standort-Effekts würde man also für Befragungsorte, die nah an dem zu skizzierenden Zielort liegen, erwarten, dass diejenige Ansicht, auf die man – von seiner aktuellen Position auf den Zielort zulaufend – trifft, bereits in das Arbeitsgedächtnis geladen wurde und somit häufiger skizziert wird. Für entfernt gelegene Zielorte jedoch ist aktuell keine Ansicht im Arbeitsgedächtnis vertreten, weshalb eine der im Langzeitgedächtnis gespeicherten Ansichten ausgewählt werden muss. Dabei wird nach dem Modell von Schölkopf und Mallot mit hoher Wahrscheinlichkeit die kanonische Ansicht eines Platzes gewählt.

Um dies zu untersuchen, wurden Passanten an nahen und entfernten Standorten in Tübingen gebeten, eine Skizze des Holzmarktes anzufertigen bzw. – in einem weiteren Experiment – eine Skizze des Marktplatzes. *Nahe Standorte* waren in einem Abstand von ca. 150 m rund um den Holzmarkt/Marktplatz angeordnet, *entfernte Standorte* in einem Abstand von ca. 2 km.

Die Skizzen der nahen Standorte unterschieden sich signifikant voneinander und wiesen somit auf einen Standort-Effekt hin. Bei der entfernten Standortbedingung hingegen konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Befragungsorten festgestellt werden; die Häufigkeitsverteilung für den Holzmarkt zeichnete allerdings eine starke kanonische Ansicht in Süd-Ausrichtung aus, während die Häufigkeitsverteilung für den Marktplatz ausgeglichener war. Röhrich et al. sehen die Ursache dafür vor allem in der Topografie der beiden Orte begründet. So ist der Holzmarkt in südlicher Richtung ansteigend, hat, ebenfalls in südlicher Richtung, eine hervorstechende Landmarke (Kirche), und Zugänge zum Holzmarkt aus nördlicher Richtung sind nur selten begangen. Im Gegensatz dazu ist die Salienz der Gebäude auf dem Marktplatz

ausgeglichener und sämtliche Wege, die auf den Marktplatz führen, werden häufig genutzt.

Wie im Modell vorhergesagt, zeigte sich für die nahen Standorte eine Tendenz zu derjenigen Ausrichtung, die grob der Luftlinie zum Zielort entsprach. Die Ursache hierfür könnte zum einen automatisches spatial updating sein, wodurch die passende Ansicht bereits im Arbeitsgedächtnis vorläge; zum anderen wäre auch mental travelling denkbar, wobei hier die Ansicht erst während des Experiments in das Arbeitsgedächtnis geladen würde. Außerdem könnten auch beide Effekte gleichzeitig auftreten.

Da in der Studie nur Orte mit zwei unterschiedlichen Distanzen (150 m und 2 km) zum Zielort getestet wurden, konnte keine Aussage über die Reichweite oder ein mögliches graduelles Abflachen des Standort-Effekts getroffen werden. Der Standort-Effekt war bei Orten in einer Distanz von 150 m zum Zielort vorzufinden, bei einer Distanz von 2 km nicht.

Rath [20] untersuchte daher in der Tübinger Innenstadt Orte mit einer Distanz von 70 - 600 m zum Zielort Holzmarkt. Um die kanonische Süd-Ausrichtung von einer standort-bedingten Ausrichtung unterscheiden zu können, wurden nur Orte westlich und östlich des Holzmarktes gewählt.

Außerdem wurde in dieser Studie anstatt der Skizzen ein Magnetboard verwendet, auf dem Versuchspersonen vorgegebene Elemente anordnen sollten.

An 4 der 6 westlich und östlich gelegenen Standorte konnte ein Standort-Effekt gefunden werden. Am Standort Pflughofstraße, der den nächstgelegenen Standort auf östlicher Seite darstellte, wurde eine Anordnungsverteilung mit starker Tendenz zur Süd-Richtung gefunden. Allerdings fällt auf, dass sich der Befragungsort eher in nord-östlicher Richtung befindet und die Straße hier in einem starken Knick verläuft, was die starke Tendenz zur Anordnung in Süd-Ausrichtung erklären könnte. Auch die weiter entfernten Orte in westlicher Richtung sind durch einige Faktoren schwer einzuordnen. So sind sie durch keine geradlinige Straße mit dem Holzmarkt verbunden und nur durch einen steilen Anstieg erreichbar. Die Lage auf dem Österberg grenzt diese Befragungsorte überdies räumlich von der Altstadt ab – und könnte von daher möglicherweise andere Abrufvoraussetzungen für Orte in der Altstadt haben.

Aufgrund dieser Ergebnisse kann bezüglich der Reichweite und der graduellen Abnahme des Effekts mit Zunahme der Distanz zum Zielort keine genauere Aussage getroffen werden. Rath schloss daraus, dass der Standort-Effekt nicht nur durch metrische Distanz, sondern auch durch andere Faktoren wie dem Grad der Straßenverwinkelung und der kognitiven Zugehörigkeit zu einem Bereich bestimmt wird. Um also eine graduelle Abnahme des Effekts genauer untersuchen zu können, müssen diese Einflüsse so weit wie möglich reduziert werden.

1.4 Ziele dieser Bachelorarbeit

In dieser Bachelorarbeit soll die Untersuchung des Standort-Effekts [22] in eine virtuelle Umgebung übertragen und so für zwei Zielorte der Tübinger Innenstadt (*Holzmarkt* und *Marktplatz*) getestet werden. Auch die Anfertigung der Skizze bzw. die Anordnung der Klötze auf dem Magnetboard soll virtuell umgesetzt werden.

Um nun die Reichweite und eine mögliche graduelle Abnahme des Effekts bei Zunahme der Distanz zum Zielort untersuchen zu können, werden Orte in unterschiedlichen Distanzen zu den Zielorten gewählt. Wie auch in der Studie von Rath befinden sich diese westlich und östlich der beiden Zielorte, um so einen standortbedingten Effekt von der südlichen kanonischen Ansicht unterscheiden zu können. Die ausgeprägt kanonische Ansicht in Süd-Ausrichtung findet sich nur für den Holzmarkt, wohingegen die Häufigkeitsverteilung für den Marktplatz ausgeglichener ist. Daher wird die gewählte Achse (Ost-West) für die Befragungsorte auch für den Zielort Marktplatz verwendet.

Anders als die Orte von Rath, befinden sich die hier gewählten Orte jedoch nicht auf der südwestlich-nordöstlichen verlaufenden Straße, die durch die Tübinger Innenstadt zieht, sondern auf der nordwestlich-südöstlichen. Die gewählten Orte liegen damit auf einer fast durchgängig geradlinig verlaufenden Straße, wodurch die Luftlinien-Richtung eines jeden Befragungsortes zum Zielort grob mit dem Straßenverlauf übereinstimmt. Dadurch wird versucht, die zuvor beschriebenen Faktoren, welche die Ausrichtungsverteilung beeinflussen können, zu minimieren, um so tatsächlich eine Aussage über die Veränderung des Standort-Effekts mit Zunahme der metrischen Distanz treffen zu können.

Kapitel 2

Methode und Material

In der vorliegenden Studie wurden Versuchspersonen an verschiedenen Befragungsorten in der Virtual Reality gebeten, sich mental an dem jeweiligen Ort einzufinden und daraufhin abwechselnd den Holzmarkt und den Marktplatz virtuell nachzubauen. Nach Absolvierung der Hälfte der Befragungsorte wurde ein Zwischenexperiment namens *Perspective Taking Ability Test* durchgeführt.

2.1 Stichprobe

An der Studie nahmen insgesamt 43 Versuchspersonen teil. Die Daten von 3 Versuchspersonen wurden nicht weiter ausgewertet, weil sie die Voraussetzungen nicht erfüllten. Teilnahmevoraussetzung war, seit mindestens einem Jahr in Tübingen zu wohnen. Voraussetzung für die weitere Auswertung der Daten war, dass mindestens 3 der 6 Befragungsorte von der Versuchsperson erkannt wurden und mindestens 3 der 6 nachgebauten Orte einer Himmelsrichtung zugeordnet werden konnten.

Unter den weiterhin relevanten 40 Versuchspersonen waren 19 Frauen und 21 Männer im Alter von 18 bis 48 Jahren ($M = 23,88$). Das Geschlechterverhältnis war mit 52,5 % männlichen Teilnehmern und 47,5 % weiblichen Teilnehmern fast ausgeglichen. 4 der Versuchspersonen waren linkshändig, die restlichen 36 Personen rechtshändig. Die Teilnehmer wohnten seit durchschnittlich 6,16 Jahren in Tübingen. Alle Versuchsteilnehmer waren naiv bezüglich der Fragestellung des Experiments und erhielten für ihre Teilnahme entweder 8 Euro oder eine Versuchspersonenstunde vergütet.

2.2 Material

Für die Durchführung des Experiments wurde das „Oculus Rift“-VR-Headset verwendet sowie der rechte „Oculus Touch“-Controller. Das Experiment wurde

auf der Spiele-Engine „Unity“ entwickelt.

Für jeden Befragungsort wurden jeweils hintereinander drei 360° x 180°-Fotosphären in der VR-Brille präsentiert. Während des Experiments saß die Versuchsperson auf einem Stuhl. Die Versuchsperson hatte die Möglichkeit, sich um 360° auf dem Stuhl zu drehen sowie den Kopf zu heben und zu senken, um so die gesamte Fotosphäre zu betrachten. Der Abstand der einzelnen Fotosphären an einem Befragungsort betrug 2 - 3 m.

Das Zwischenexperiment wurde an einem Computerbildschirm durchgeführt.

2.3 Durchführung

Der Versuch fand *Auf der Morgenstelle 28, 72076 Tübingen* statt. Die Versuchspersonen befanden sich also immer an demselben Ort.

2.3.1 Globaler Ablauf des Versuchs

Zu Beginn des Versuchs wurden die Probanden gebeten, die Einverständniserklärung zu lesen und zu unterschreiben. Daraufhin wurden allgemeine Daten wie Alter, Geschlecht, Händigkeit sowie der Zeitraum der Ansässigkeit in Tübingen erhoben. Anschließend bekamen die Versuchspersonen eine einheitliche, verbale Instruktion zur Benutzung der VR-Brille sowie zum Versuchsablauf.

Jeder Versuchsperson wurden insgesamt 6 verschiedene Befragungsorte in der Tübinger Innenstadt präsentiert. Die Aufgabe der Versuchsperson bestand jeweils darin, sich den Ort anzuschauen und sich mental an dem Ort einzufinden. Dann sollte jeweils ein virtuelles Modell eines Zielortes mit dem VR-Controller erstellt werden.

Falls die Versuchsperson den Ort nicht erkennen konnte, wurde ein einheitlicher Tipp gegeben, wie beispielsweise: *Du befindest dich in der Nähe des Neckarmüllers*. Die nachzubauenden Tübinger Zielorte waren abwechselnd der Holzmarkt und der Marktplatz.

Nach Absolvierung von 3 Befragungsorten fand ein Zwischenexperiment statt, bei dem die Fähigkeit, sich in bestimmte Perspektiven hineinzuversetzen, getestet wurde.

Auf das Zwischenexperiment folgte der zweite Block, in dem erneut 3 Befragungsorte getestet wurden.

Insgesamt wurden 12 verschiedene Befragungsorte getestet: 6 mit Zielort Holzmarkt, 6 mit Zielort Marktplatz. Pro Befragungsort gab es 20 Versuchspersonen.

2.3.2 Lokaler Ablauf für einen Befragungsort

Für jeden Befragungsort gab es drei Fotosphären in einem jeweiligen Abstand von 2 - 3 m. Die Versuchsperson befand sich immer zunächst in der Fotosphäre, die am weitesten entfernt zum Zielort lag. Dabei waren die Fotosphären immer so ausgerichtet, dass die Versuchsperson in Richtung Zielort schaute. Die Aufgabe bestand dann darin, sich in der Fotosphäre umzuschauen und sich mental an dem Ort einzufinden. Durch einen Tastendruck auf dem VR-Controller konnte die Versuchsperson in die nächste Fotosphäre gelangen, um sozusagen ein paar Schritte vorwärts zu laufen. Von der zweiten Fotosphäre gelangte die Versuchsperson wiederum durch einen Tastendruck in die dritte Fotosphäre, die dann dem Zielort am nächsten gelegen war.

Ein weiterer Tastendruck führte zum Erscheinen einer hellbraunen Ebene in Richtung des Zielortes. Auf der Ebene befanden sich Klötze in randomisierter Reihenfolge. Außerdem erschien ein weißer Klotz stellvertretend für die Hand der Versuchsperson, welcher mit der Bewegung des Controllers und damit der eigenen Handbewegung bewegt werden konnte. Um den Zielort nachzubauen, konnten die Klötze gegriffen und auf der Ebene verschoben werden.

Die 5 Klötze zur Anordnung des Holzmarktes wurden analog zur Studie von Rath [20] gewählt:

1. Kirche mit Beschriftung *Stiftskirche*
2. Brunnen vor Stiftskirche mit Beschriftung *Brunnen*
3. Ladenzeile mit Beschriftung *Vodafone, Lush, Reisebüro*
4. Ladenzeile mit Beschriftung *Osiander, Antiquariat, New Yorker*
5. Ladenzeile mit Beschriftung *Bäcker, Confiserie, Café*

Der Marktplatz sollte aus folgenden 5 Klötzen angeordnet werden:

1. Rathaus mit Beschriftung *Rathaus*
2. Brunnen vor dem Rathaus mit Beschriftung *Brunnen*
3. Treppe, die zur Haaggasse führt, mit Beschriftung *Treppe*
4. Ladenzeile mit Beschriftung *Wein-Öl-Laden, Kreissparkasse, Marktschenke*
5. Ladenzeile mit Beschriftung *Fotoladen, Kaffeehaus Ranitzky, Jesus Live*

Sobald die Versuchsperson mit der Anordnung der Klötze fertig geworden war, sollte sie einen Screenshot aufnehmen, indem sie eine weitere Taste drückte.

2.4 Befragungsorte

Im Folgenden sind die Befragungsorte für den Holzmarkt und für den Marktplatz aufgeführt:

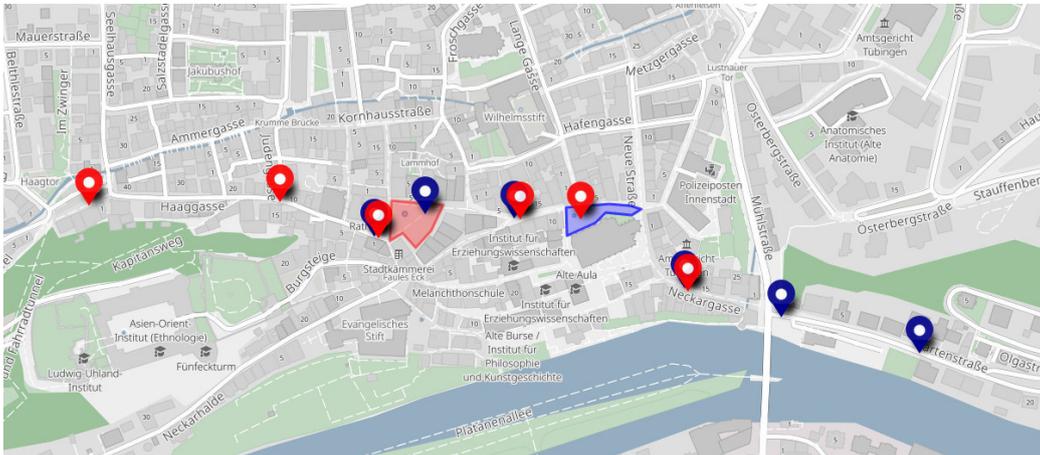


Abbildung 2.1: blau: Befragungsorte Holzmarkt, rot: Befragungsorte Marktplatz. Quelle: Open Street Maps

Von den 6 Befragungsorten pro Zielort befanden sich jeweils 3 Orte westlich und 3 Orte östlich des Zielortes. Die Befragungsorte lagen auf einer fast geradlinig verlaufenden Straße, und die Abstände der Orte östlich und westlich waren aufeinander abgestimmt, sodass man 3 Kategorien der Distanz erhielt: Die dem Zielort nahen Befragungsorte befanden sich in einer Distanz von 50 - 100 m; die mittlere Distanz zum Zielort betrug 150 - 200 m; die weit entfernt gelegenen Befragungsorte hatten zum Zielort eine Distanz von 200 - 350 m.

2.4.1 Befragungsorte Holzmarkt

Befragungsorte westlich des Holzmarktes:

Befragungsort **H1**: Haaggasse 2

Distanz zum Holzmarkt: ca. 220 m

ungefähre GPS-Koordinaten: 48° 31' 12.8" N 9° 03' 11.1" E

Befragungsort **H2**: Marktplatz/Am Markt

Distanz zum Holzmarkt: ca. 160 m

ungefähre GPS-Koordinaten: 48° 31' 13.1" N 9° 03' 13.5" E

Befragungsort **H3**: Kirchgasse 2 - 4

Distanz zum Holzmarkt: ca. 80 m

ungefähre GPS-Koordinaten: 48° 31' 13.1" N 9° 03' 17.5" E

Befragungsorte östlich des Holzmarktes:

Befragungsort **H4**: Neckargasse 10

Distanz zum Holzmarkt: ca. 100 m

ungefähre GPS-Koordinaten: 48° 31' 10.9" N 9° 03' 25.9" E

Befragungsort **H5**: Kreuzung Neckargasse/Mühlstraße

Distanz zum Holzmarkt: ca. 210 m

ungefähre GPS-Koordinaten: 48° 31' 10.1" N 9° 03' 30.3" E

Befragungsort **H6**: Gartenstraße 14

Distanz zum Holzmarkt: ca. 320 m

ungefähre GPS-Koordinaten: 48° 31' 09.1" N 9° 03' 35.5" E

2.4.2 Befragungsorte Marktplatz

Befragungsorte westlich des Marktplatzes:

Befragungsort **M1**: Vor dem Haagtor 1/2

Distanz zum Marktplatz: ca. 300 m

ungefähre GPS-Koordinaten: 48° 31' 13.4" N 9° 02' 58.4" E

Befragungsort **M2**: Kreuzung Judengasse/Haaggasse 12

Distanz zum Marktplatz: ca. 120 m

ungefähre GPS-Koordinaten: 48° 31' 13.7" N 9° 03' 07.3" E

Befragungsort **M3**: Haaggasse 2

Distanz zum Marktplatz: ca. 50 m

ungefähre GPS-Koordinaten: 48° 31' 12.8" N 9° 03' 11.1" E

Befragungsorte östlich des Marktplatzes:

Befragungsort **M4**: Kirchgasse 8

Distanz zum Marktplatz: ca. 100 m

ungefähre GPS-Koordinaten: 48° 31' 13.3" N 9° 03' 19.2" E

Befragungsort **M5**: Holzmarkt

Distanz zum Marktplatz: ca. 180 m

ungefähre GPS-Koordinaten: 48° 31' 13.5" N 9° 03' 22.4" E

Befragungsort **M6**: Neckargasse 10

Distanz zum Marktplatz: ca. 280 m

ungefähre GPS-Koordinaten: 48° 31' 10.9" N 9° 03' 25.9" E

2.5 Versuchsdesign

Jede Versuchsperson bekam 6 der insgesamt 12 Befragungsorte präsentiert. Es wurden 4 Sequenzen erstellt, um potenzielle Effekte aufgrund der Reihenfolge ausschließen zu können. Sequenz 2 ist Sequenz 1 umgekehrt und Sequenz 4 ist dementsprechend Sequenz 3 umgekehrt.

Sequenz 1:

H1 → **M6** → **H3** → **M2** → **H5** → **M1**

Sequenz 2:

M1 → **H5** → **M2** → **H3** → **M6** → **H1**

Sequenz 3:

H4 → **M3** → **H6** → **M5** → **H2** → **M4**

Sequenz 4:

M4 → **H2** → **M5** → **H6** → **M3** → **H4**

2.6 Kategorisierung der Daten

Die von den Versuchspersonen aufgenommenen Screenshots wurden anschließend ihrer Ausrichtung nach kategorisiert (north-up, east-up, south-up, west-up). Von den insgesamt 240 aufgenommenen Screenshots konnten 239 einer

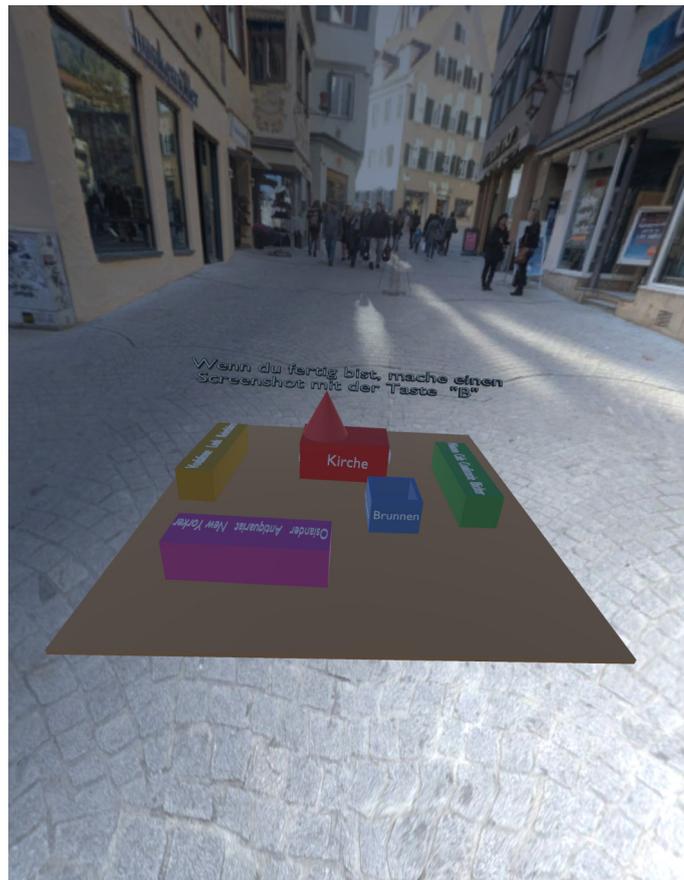


Abbildung 2.2: Screenshot: Holzmarkt in Süd-Ausrichtung

Himmelsrichtung zugeordnet werden. Anordnungen, die zwar dem Grundriss des Holzmarktes bzw. des Marktplatzes entsprachen, aber kleine Fehler wie beispielsweise das Verwechseln zweier Ladenzeilen oder das Nichterkennen eines der Bauklötze beinhalteten, wurden trotzdem in die Auswertung mit einbezogen.

Aus Tabelle 2.1 kann für jede Versuchsperson sowohl die zugehörige Sequenz als auch die Kategorisierung der Daten für jeden Befragungsort nachvollzogen werden.

Versuchsperson	Sequenz	1	2	3	4	5	6	Ergebnis
1	1	O	W	O	W	W	W	24.6
2	2	O	W	O	O	W	O	18.7
3	3	S	O	S	O	S	O	12.6
4	4	W	O	W	O	S	W	15.9
5	1	S	S	S	S	S	S	19.1
6	2	O	W	O	O	O	O	18.4
7	3	S	O	S	W	S	W	24.7
8	4	W	S	W	S	O	S	27.3
9	1	O	W	O	O	W	O	25.2
10	2	W	S	W	S	W	S	25.7
11	3	W	O	W	W	O	W	16.1
12	4	W	O	W	O	W	O	26.8
13	1	O	S	O	S	O	S	23.2
14	2	S	S	S	S	S	S	17.6
15	3	W	W	W	W	O	W	25.5
16	2	N	S	N	O	W	O	27.0
17	3	S	S	S	S	S	?	20.0
18	2	N	W	N	O	N	O	18.1
19	3	W	O	W	O	O	W	24.4
20	4	W	S	W	S	W	S	26.0
21	1	O	W	O	O	W	O	22.1
22	2	O	W	O	O	W	O	16.8
23	3	W	O	W	W	N	W	26.7
24	4	W	S	W	S	W	S	17.5
25	1	O	W	O	W	O	W	14.2
26	2	W	S	W	S	W	S	18.9
27	3	W	S	W	W	W	W	22.9
28	4	W	O	W	W	O	W	23.2
29	1	S	S	O	O	W	O	18.8
30	2	O	W	O	O	W	O	19.4
31	3	W	W	W	W	O	W	18.9
32	4	W	O	W	O	W	O	23.3
33	1	O	W	O	W	W	O	22.7
34	2	O	O	O	O	O	O	24.5
35	3	S	O	W	W	O	W	12.7
36	4	W	O	W	W	O	W	17.1
37	1	S	S	O	S	S	S	20.5
38	2	O	W	O	W	O	W	25.8
39	3	S	N	S	N	S	N	28.9
40	4	W	O	W	S	O	S	15.4

Tabelle 2.1: Rohdaten: Für jede Versuchsperson ist die zugehörige Sequenz und die Anordnungsausrichtung für jeden Befragungsort angegeben. Außerdem befindet sich auf der rechten Seite das Ergebnis des Zwischenexperiments *Perspective Taking Ability Test*

Kapitel 3

Ergebnisse

3.1 Absolute und prozentuale Häufigkeiten

Die absoluten Zahlen der Anordnungen für den Holzmarkt können der Tabelle 3.1 entnommen werden, die für den Marktplatz der Tabelle 3.2. Der prozentuale Anteil jeder Ausrichtung ist in den Tabellen 3.3 und 3.4 vermerkt und grafisch in den Abbildungen 3.1 und 3.2 veranschaulicht.

Lage zum Holzmarkt	Befragungsort	N	O	S	W
westlich	Haaggasse 2	0	13	6	1
westlich	Marktplatz	1	11	7	1
westlich	Kirchgasse	0	15	4	1
östlich	Neckargasse	0	2	9	9
östlich	Kreuzung Mühlstraße	0	3	6	11
östlich	Gartenstraße	0	3	8	9

Tabelle 3.1: Absolute Häufigkeit der Anordnungen nach Befragungsort mit Zielort Holzmarkt

Aus den Daten geht hervor, dass sich – für den Holzmarkt wie für den Marktplatz – die Anordnungshäufigkeiten für die östlich und westlich gelegenen Befragungsorte deutlich voneinander unterscheiden.

Bei allen 3 westlichen Befragungsorten mit Zielort Holzmarkt (Haaggasse 2, Marktplatz, Kirchgasse) ist eine deutliche Dominanz der östlichen Anordnung erkennbar, und bei 2 der 3 östlichen Befragungsorten (Kreuzung Mühlstraße, Gartenstraße) dominiert die westliche Anordnung. Beim Befragungsort Neckargasse ist die westliche Anordnung genauso häufig gewählt worden wie die südliche.

Lage zum Marktplatz	Befragungsort	N	O	S	W
westlich	Haagtor 2	2	10	4	4
westlich	Kreuzung Judengasse	2	9	4	5
westlich	Haaggasse 2	1	10	3	6
östlich	Kirchgasse	1	1	0	17
östlich	Holzmarkt	1	2	1	16
östlich	Neckargasse	1	3	5	11

Tabelle 3.2: Absolute Häufigkeit der Anordnungen nach Befragungsort mit Zielort Marktplatz

Lage zum Holzmarkt	Befragungsort	N	O	S	W
westlich	Haaggasse 2	0	0.65	0.30	0.05
westlich	Marktplatz	0.05	0.55	0.35	0.05
westlich	Kirchgasse	0	0.75	0.2	0.05
östlich	Neckargasse	0	0.1	0.45	0.45
östlich	Kreuzung Mühlstraße	0	0.15	0.3	0.55
östlich	Gartenstraße	0	0.15	0.4	0.45

Tabelle 3.3: Prozentuale Häufigkeit nach Befragungsort mit Zielort Holzmarkt

Die Daten für den Zielort Marktplatz liefern ähnliche Ergebnisse. Alle 3 westlich gelegenen Befragungsorte (Haagtor, Kreuzung Judengasse, Haaggasse 2) weisen eine Dominanz der östlichen Anordnung auf. Alle östlich gelegenen Befragungsorte (Kirchgasse, Holzmarkt, Neckargasse) wiederum zeigen eine deutliche Dominanz der westlichen Anordnung.

Somit zeigen die Befragungsorte sowohl für den Holzmarkt als auch für den Marktplatz eine Dominanz der Ausrichtung, die der tatsächlichen Lage des Zielortes entspricht.

Für den Zielort Holzmarkt ist außerdem die Südausrichtung für alle Befragungsorte relativ häufig gewählt worden: an der Haaggasse 2 mit 30 %, am Marktplatz mit 35 % und an der Kirchgasse mit 20 %. Auf der östlichen Seite des Holzmarktes erreicht die Südausrichtung an der Neckargasse sogar 45 %, an der Kreuzung Mühlstraße 30 % und an der Gartenstraße 40 %. Sie ist somit an 5 der 6 Befragungsorte die zweithäufigste Anordnung. An einem Befragungsort kommt sie sogar gleich häufig vor wie die Ausrichtung, die der tatsächlichen Lage des Zielortes entspricht; an keinem der Befragungsorte

Lage zum Marktplatz	Befragungsort	N	O	S	W
westlich	Haagtor	0.1	0.5	0.2	0.2
westlich	Kreuzung Judengasse	0.1	0.45	0.2	0.25
westlich	Haaggasse 2	0.05	0.5	0.15	0.3
östlich	Kirchgasse	0.0526	0.0526	0	0.8948
östlich	Holzmarkt	0.05	0.1	0.05	0.8
östlich	Neckargasse	0.05	0.15	0.25	0.55

Tabelle 3.4: Prozentuale Häufigkeit nach Befragungsort mit Zielort Marktplatz

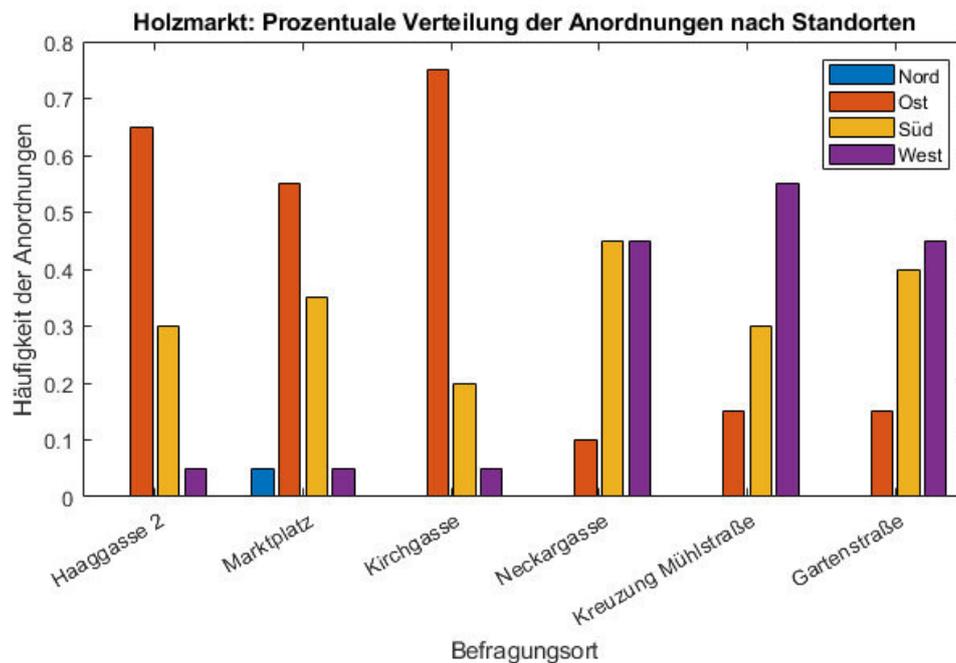


Abbildung 3.1: Häufigkeit der Anordnungen nach Standorten mit Zielort Holzmarkt

jedoch ist sie die häufigste Anordnung. Die Nordausrichtung wurde bis auf ein Mal überhaupt nicht gewählt.

Für den Zielort Marktplatz ist solch eine Tendenz weniger erkennbar. Die zwei alternativen Ausrichtungen Nord und Süd wurden ungefähr gleich häufig gewählt, wobei die Südausrichtung auch hier leicht dominiert. Hier ist sie jedoch nur an einem der 6 Befragungsorte die zweithäufigste Ausrichtung, und insgesamt findet man niedrigere Werte als beim Holzmarkt. So findet man, wie auch vorher für den Zielort Holzmarkt, die höchste Anzahl der Südausrichtungen für den Zielort Marktplatz am Befragungsort Neckargasse

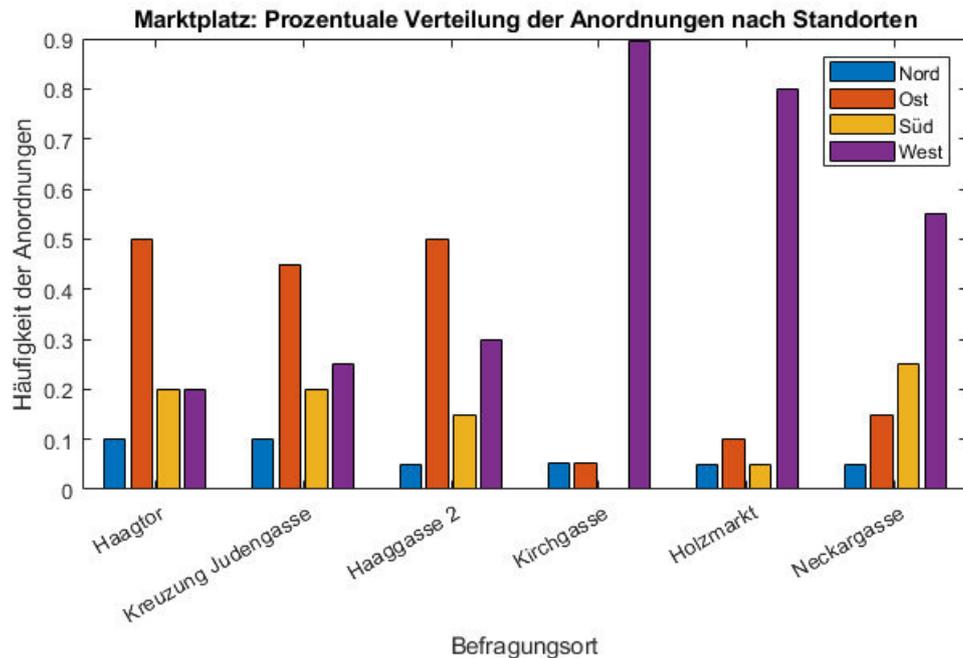


Abbildung 3.2: Häufigkeit der Anordnungen nach Standorten mit Zielort Marktplatz

mit 25 % der Anordnungen. Die Nordausrichtungen wurden insgesamt für die Anordnung des Marktplatzes häufiger gewählt als für den Holzmarkt, trotzdem liegt die Anordnungshäufigkeit für alle Befragungsorte bei nur höchstens 10 %.

Sowohl für den Holzmarkt als auch für den Marktplatz können auch Ausrichtungen, die der tatsächlichen Lage des Zielortes entgegengesetzt sind, gefunden werden. Insbesondere bei den westlich des Marktplatzes gelegenen Befragungsorten ist eine relativ hohe Anordnungshäufigkeit der westlichen Ausrichtung zu finden. Bei 2 der 3 Orte (Kreuzung Judengasse, Haaggasse 2) handelt es sich mit 25 % und 30 % um die zweithäufigste Anordnung.

Insgesamt weisen die jeweils östlichen und westlichen Befragungsorte eines Zielortes relativ einheitliche Ausrichtungsverteilungen auf.

3.1.1 Standortabhängigkeit

Um nun zu testen, ob die Häufigkeitsverteilungen für Holzmarkt und Marktplatz vom Parameter Standort (östlich, westlich) abhängen, wird ein Chi²-Unabhängigkeitstest für östliche und westliche Befragungsorte durchgeführt.

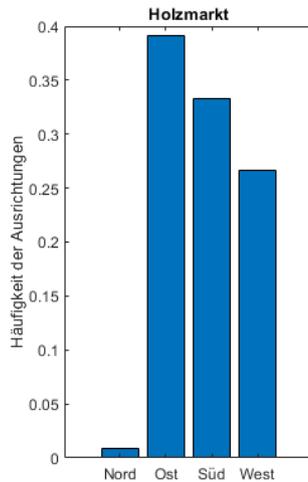


Abbildung 3.3: Durchschnittliche Anordnungshäufigkeit der Befragungsorte mit Zielort Holzmarkt für Himmelsrichtungen Norden, Osten, Süden, Westen

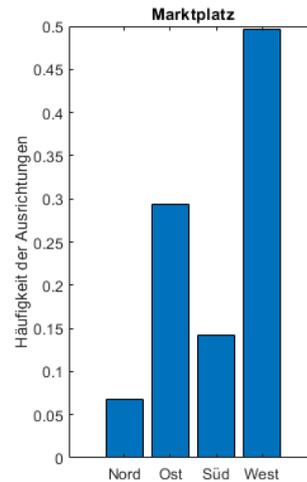


Abbildung 3.4: Durchschnittliche Anordnungshäufigkeit der Befragungsorte mit Zielort Marktplatz für Himmelsrichtungen Norden, Osten, Süden, Westen

Dafür wird zunächst der Durchschnitt der Anordnungshäufigkeiten aller Befragungsorte für Holzmarkt und Marktplatz berechnet. Die durchschnittliche Häufigkeit der Anordnungen für den Holzmarkt ist der Abbildung 3.3 zu entnehmen, die für den Marktplatz analog Abbildung 3.4.

Aus den durchschnittlichen Häufigkeiten können dann die erwarteten Werte jeweils für Norden, Osten, Süden, Westen für die Befragungsorte berechnet werden. Dabei werden die Werte der westlich zum Zielort gelegenen Befragungsorte und die Werte der östlich zum Zielort gelegenen Befragungsorte gepoolt – und somit aufsummiert. Die Werte sind entsprechend in den Tabellen 3.5 und 3.6 vermerkt.

Mit den ermittelten Werten (Tabellen 3.1 und 3.2) und den erwarteten Werten (Tabellen 3.5 und 3.6) für östlich und westlich gelegene Befragungsorte wurde nun für den Chi²-Test folgende Formel angewendet:

$$\frac{(\text{ermittelter Wert} - \text{erwarteter Wert})^2}{\text{erwarteter Wert}}$$

Die ausgerechneten Werte und die sich ergebenden Chi²-Summen für den Holzmarkt sind in Tabelle 3.7 vermerkt, die für den Marktplatz in Tabelle 3.8.

Befragungsort	N	O	S	W
westlich des Holzmarktes (Haaggasse, Marktplatz, Kirchgasse)	0.5	23.5	20	16
östlich des Holzmarktes (Neckargasse, Kreuzung Mühlstraße, Gartenstra- ße)	0.5	23.5	20	16

Tabelle 3.5: Erwartete absolute Anzahl der Ausrichtungen nach Befragungsort mit Zielort Holzmarkt

Befragungsort	N	O	S	W
westlich des Marktplat- zes (Haagtor, Kreuzung Judengasse, Haaggasse 2)	4.034	17.647	8.571	29.748
östlich des Marktplatzes (Kirchgasse, Holzmarkt, Neckargasse)	3.966	17.353	8.429	29.252

Tabelle 3.6: Erwartete absolute Anzahl der Ausrichtungen nach Befragungsort mit Zielort Marktplatz

Zusätzlich sind in den Tabellen die zugehörigen p-Werte eingetragen. Setzt man das Signifikanzniveau auf $\alpha = 0.05$, so zeigt sich eine sehr hohe Signifikanz für alle Befragungsorte.

Befragungsort	N	O	S	W	Chi ² -Wert	p-Wert
westlich des Holzmarktes (Haaggasse, Marktplatz, Kirchgasse)	0.5	10.22	0.45	10.56	21.73	<0.0001
östlich des Holzmarktes (Neckargasse, Kreuzung Mühlstraße, Gartenstra- ße)	0.5	10.22	0.45	10.56	21.73	<0.0001

Tabelle 3.7: Berechnung des Chi²-Wertes für östlich und westlich gelegene Befragungsorte des Holzmarktes

Befragungsort	N	O	S	W	Chi ² -Wert	p-Wert
westlich des Marktplat- zes (Haagtor, Kreuzung Judengasse, Haagasse 2)	0.23	7.30	0.69	7.31	15.53	<0.001
östlich des Marktplatzes (Kirchgasse, Holzmarkt, Neckargasse)	0.24	7.43	0.7	7.44	15.81	<0.001

Tabelle 3.8: Berechnung des Chi²-Wertes für östlich und westlich gelegene Befragungsorte des Marktplatzes

3.1.2 Sequenzeffekte

Da eine Versuchsperson hintereinander verschiedene Zielorte in der Virtual Reality nachbauen sollte, ist außerdem zu prüfen, ob es Sequenzeffekte gibt. Die Ergebnisse für die jeweiligen Sequenzen können den Abbildungen 3.5 und 3.6 entnommen werden.

Zur Überprüfung wird ein weiterer Chi²-Test durchgeführt, bei dem jeweils Sequenz 1 und Sequenz 2 mit deren Mittelwert und Sequenz 3 und Sequenz 4 mit deren Mittelwert verglichen wird (für Sequenzen siehe Versuchsdesign 2.5). Damit der Chi²-Test durchgeführt werden kann, werden alle Werte, die einen Mittelwert von < 2 ergeben, außen vor gelassen, da der Chi²-Test für zu kleine erwartete Werte keine verlässlichen Daten liefert.

Die Daten zur Berechnung der Chi²-Werte können den Tabellen 3.9 und 3.10 entnommen werden.

Befragungsort	N	O	S	W	Summe	p-Wert
Haaggasse 2 (H)	-	0.0070	0.0606	-	0.0677	0.95-0.99
Neckargasse (M)	-	-	2.3347	0.0009	2.3356	0.80-0.90
Kirchgasse (H)	-	0.4181	0.3743	-	0.7924	0.90-0.95
Kreuzung Judengasse (M)	-	0.5120	0.7619	0.4456	1.7196	0.90-0.95
Kreuzung Mülhstraße (H)	-	-	0.3413	0.0009	0.3423	0.95-0.99
Haagtor (M)	-	0.1031	0.7619	0.0222	0.8872	0.95-0.99

Tabelle 3.9: Aufsummierte Chi²-Werte der Sequenzen 1 und 2 für alle Befragungsorte; (H) für Zielort Holzmarkt, (M) für Zielort Marktplatz

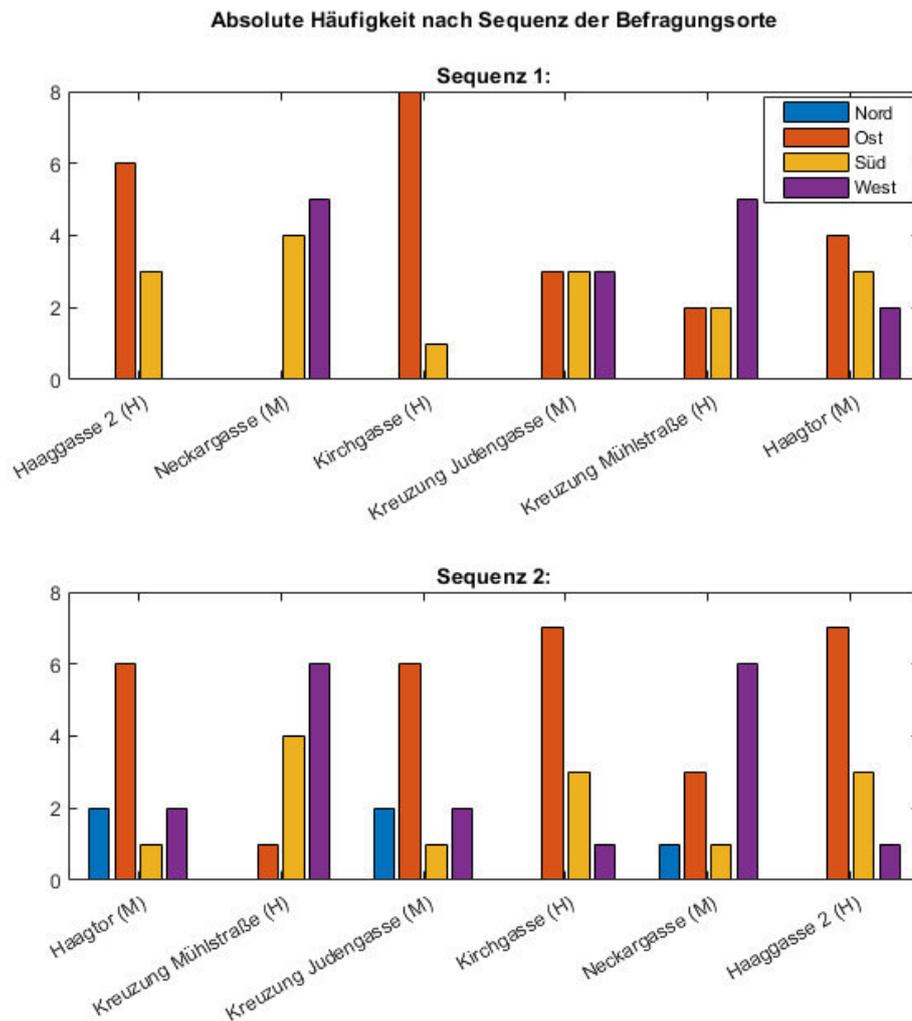


Abbildung 3.5: Absolute Häufigkeit für Sequenzen 1 und 2, Sequenzen werden von links nach rechts gelesen; (H) für Zielort Holzmarkt, (M) für Zielort Marktplatz

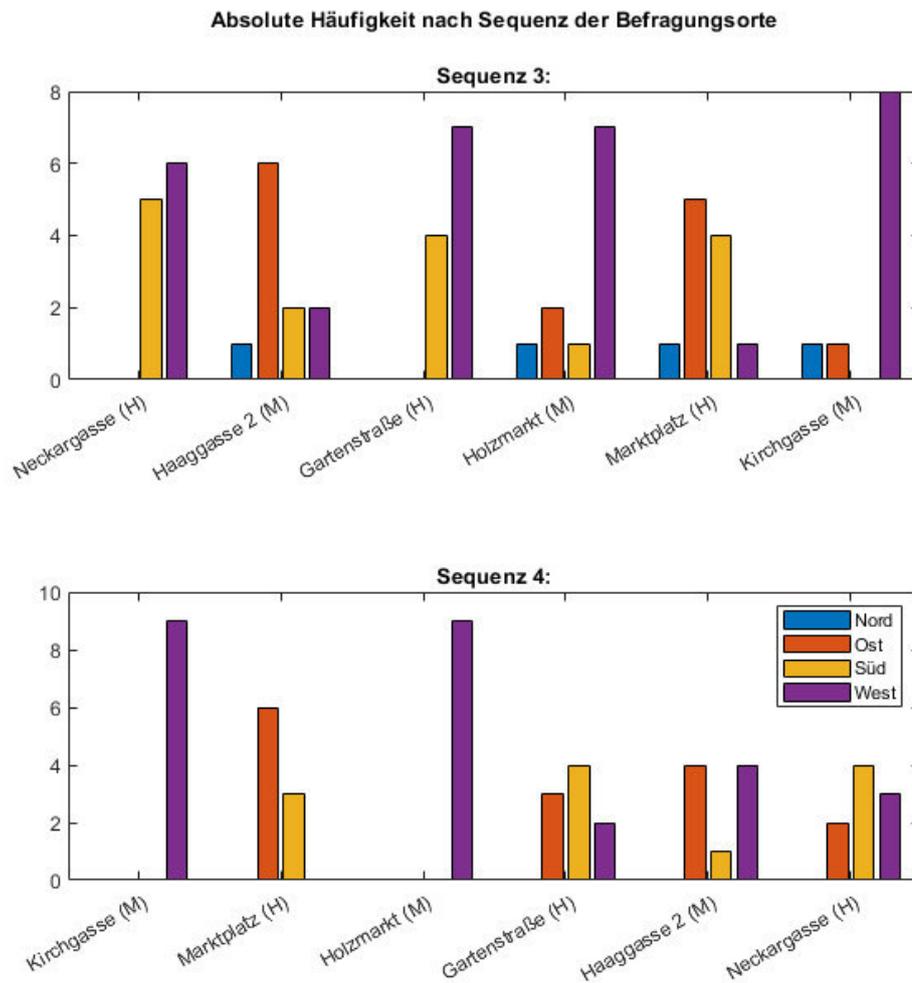


Abbildung 3.6: Absolute Häufigkeit für Sequenzen 3 und 4, Sequenzen werden von links nach rechts gelesen; (H) für Zielort Holzmarkt, (M) für Zielort Marktplatz

Befragungsort	N	O	S	W	Summe	p-Wert
Neckargasse 2 (H)	-	-	0.0011	0.5120	0.5123	0.95-0.99
Haaggasse 2 (M)	-	0.1031	-	1.1013	1.2044	0.8-0.9
Gartenstraße (H)	-	-	0.0808	1.9976	2.0784	0.5-0.7
Holzmarkt (M)	-	-	-	0.8081	0.8081	0.5-0.7
Marktplatz (H)	-	0.4013	0.0132	-	0.4145	0.95-0.99
Kirchgasse (M)	-	-	-	0.2111	0.2111	0.8-0.9

Tabelle 3.10: Aufsummierte Chi²-Werte der Sequenzen 3 und 4 für alle Befragungsorte; (H) für Zielort Holzmarkt, (M) für Zielort Marktplatz

Die ermittelten p-Werte weisen an keinem der Befragungsorte auf eine Signifikanz hin. Daraus ist zu schließen, dass die Reihenfolge keinen relevanten Einfluss auf die Anordnungen der Versuchspersonen hatte, weswegen die Berücksichtigung der Reihenfolge in den nun folgenden Betrachtungen außen vor bleiben wird.

3.2 Datenbereinigung

Um den Effekt der Lage des Befragungsortes auf die Anordnung des Zielortes besser zu verdeutlichen, wird nun der Durchschnitt aller Befragungsorte (siehe Abbildungen 3.3 und 3.4) von jedem der einzelnen Befragungsorte abgezogen. Dadurch wird beispielsweise die beim Holzmarkt unabhängig vom Befragungsort vorhandene Tendenz zur Süd-Ausrichtung herausgerechnet. Die Verteilung nach Abzug der durchschnittlichen Häufigkeit kann den Abbildungen 3.7 und 3.8 entnommen werden.

Dadurch wird nun sehr anschaulich klar, dass bei den westlich gelegenen Befragungsorten deutlich häufiger die östliche Ansicht und deutlich weniger häufig die westliche Ansicht gewählt wird als im Durchschnitt. Im Gegensatz dazu wird bei den östlich gelegenen Befragungsorten deutlich häufiger die westliche Ansicht und weniger häufig die östliche Ansicht gewählt als im Durchschnitt. Daraus folgt, dass sowohl beim Holzmarkt als auch beim Marktplatz bei allen Befragungsorten die geografisch entgegengesetzten Himmelsrichtungen Osten und Westen negativ miteinander korrelieren. Sehr starke negative Korrelationen finden sich zum Beispiel bei der Kirchgasse mit Zielort Holzmarkt, ebenso auch mit Zielort Marktplatz.

Bei den Himmelsrichtungen Norden und Süden ist dies nicht vorzufinden, wobei die Werte für diese Himmelsrichtungen bei den meisten Befragungsorten ohnehin fast bei Null liegen.

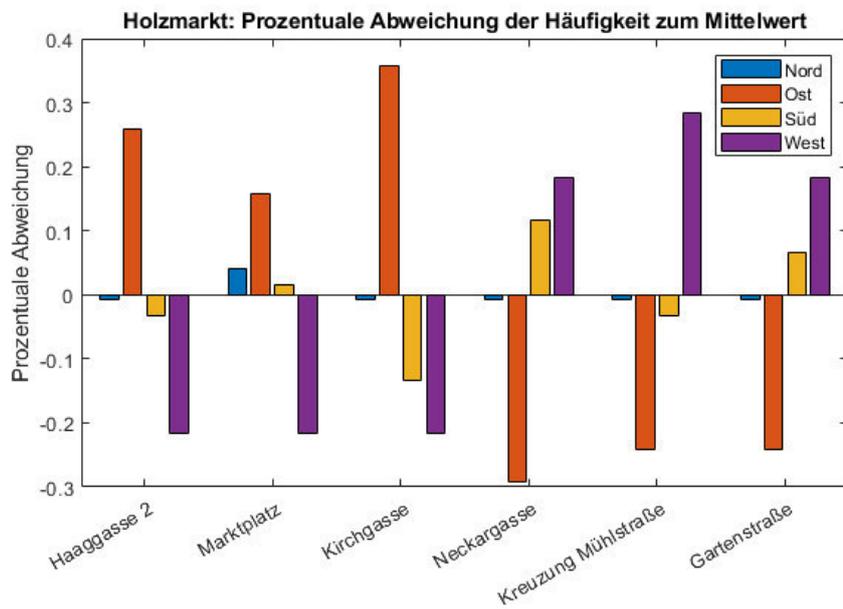


Abbildung 3.7: Prozentuale Häufigkeit nach Standort für den Zielort Holzmarkt nach Abzug der durchschnittlichen Häufigkeit

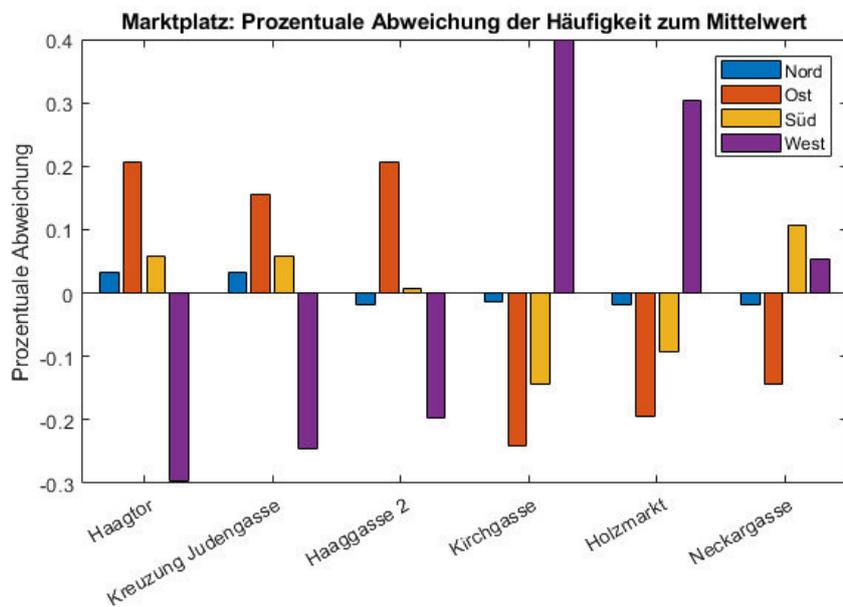


Abbildung 3.8: Prozentuale Häufigkeit nach Standort für den Zielort Marktplatz nach Abzug der durchschnittlichen Häufigkeit

Die hier berechneten Verteilungen für jeden Befragungsort sind die auch in der Studie von Röhrich et al. [22] berechneten *ortsabhängigen Komponenten*. Die ortsabhängige Komponente setzt sich zusammen aus der prozentualen Häufigkeit eines jeden Befragungsortes für jede Himmelsrichtung (n_i, o_i, s_i, w_i) und aus der durchschnittlichen prozentualen Häufigkeit $(\bar{n}, \bar{o}, \bar{s}, \bar{w})$. Um die ortsabhängige Komponente zu erhalten, wird die durchschnittliche Häufigkeit von der Häufigkeit jedes Befragungsortes abgezogen.

3.3 Orientierungsvektoren

Mit der im vorherigen Kapitel 3.2 berechneten ortsabhängigen Komponente können nun die ortsabhängigen Orientierungsvektoren folgendermaßen berechnet werden:

$$\vec{w}_i = \begin{pmatrix} (e_i - \bar{e}) - (w_i - \bar{w}) \\ (n_i - \bar{n}) - (s_i - \bar{s}) \end{pmatrix}$$

Dieser Vektor zeigt in diejenige Zeichenrichtung, die resultiert, wenn alle Ausrichtungen des Befragungsortes miteinander verrechnet werden. Sollten die Vektoren für die entsprechenden Befragungsorte also in eine Karte eingetragen werden, so müssten sie – bei Vorliegen des Standort-Effekts – in Luftlinienrichtung zum Zielort zeigen. Die Länge des Vektors gibt an, wie stark die Verteilung an dem Befragungsort von dem Standort beeinflusst wird. Genauer gesagt zeigt ein langer Vektor, dass es zum einen eine große Abweichung von der durchschnittlichen Verteilung gibt, zum anderen viele kohärente Anordnungen. Die Orientierungsvektoren für den Holzmarkt sind in Abbildung 3.9 in einer Karte von Tübingen eingetragen, die für den Marktplatz in Abbildung 3.10 .

Die Gradabweichung zwischen Luftlinienrichtung und Orientierungsvektoren kann außerdem durch die Abbildungen 3.11 und 3.12 verdeutlicht werden. Die 0°-Linie bezeichnet dabei die Luftlinienrichtung für die einzelnen Vektoren.

3 der 6 Vektoren mit dem Zielort Holzmarkt zeigen mit weniger als 10° Abweichung in Richtung Luftlinie Holzmarkt. Es handelt sich um die Befragungsorte Haagasse 2, Marktplatz und Kirchgasse. Die zwei weiteren Befragungsorte Kreuzung Mühlstraße und Gartenstraße haben Abweichungen von 26.3° und 33.1°. Die größte Abweichung hat Befragungsort Neckargasse mit einer Abweichung von 58.7°. Bei den Orientierungsvektoren für den Zielort Marktplatz liegt die größte Abweichung bei 46.1°, ebenfalls am Befragungsort Neckargasse. Für all die anderen Befragungsorte liegt die Abweichung bei höchstens 15.5°.

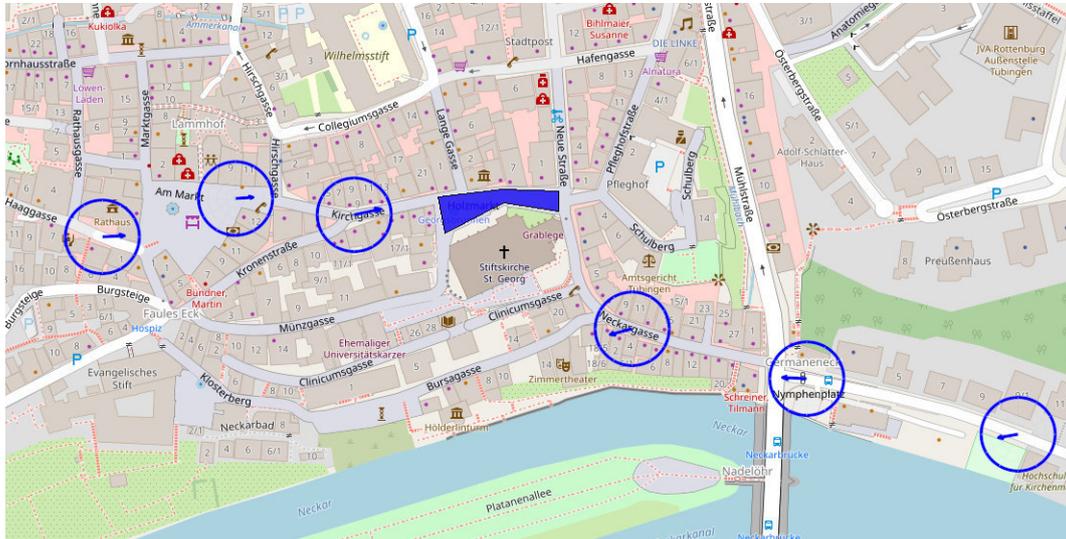


Abbildung 3.9: Ortsabhängige Orientierungsvektoren an den jeweiligen Be-fragungsorten für Zielort Holzmarkt

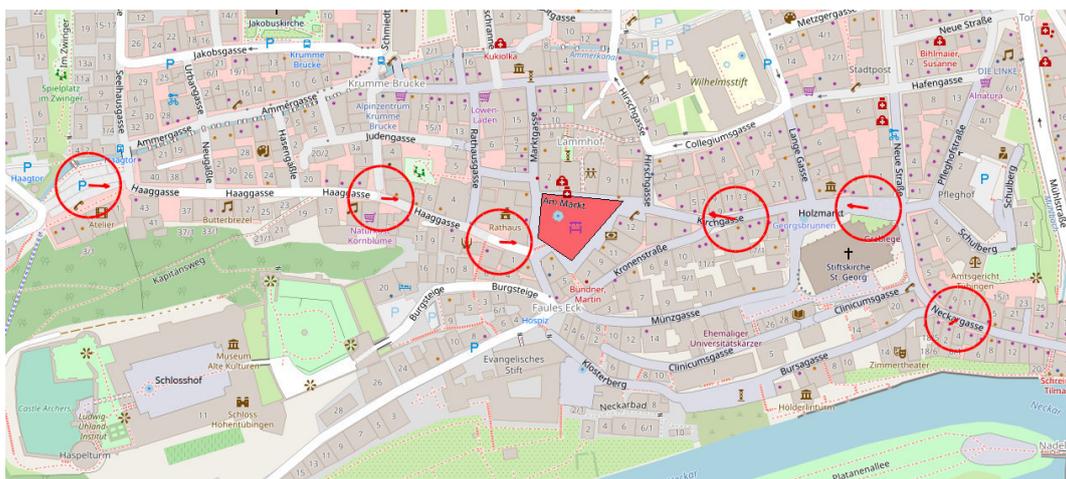


Abbildung 3.10: Ortsabhängige Orientierungsvektoren an den jeweiligen Be-fragungsorten für Zielort Marktplatz

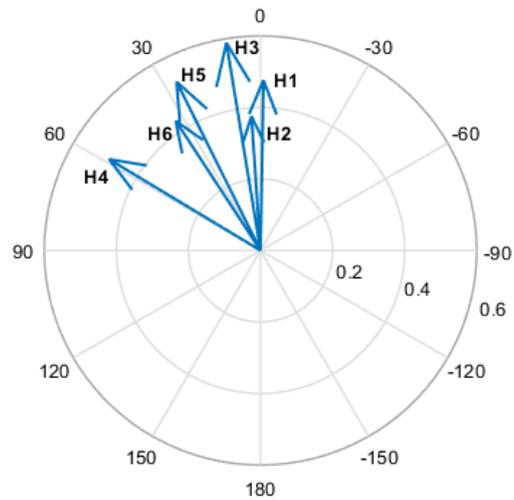


Abbildung 3.11: Abweichung der ortsabhängigen Orientierungsvektoren zur Luftlinie (0° -Linie) für Zielort Holzmarkt

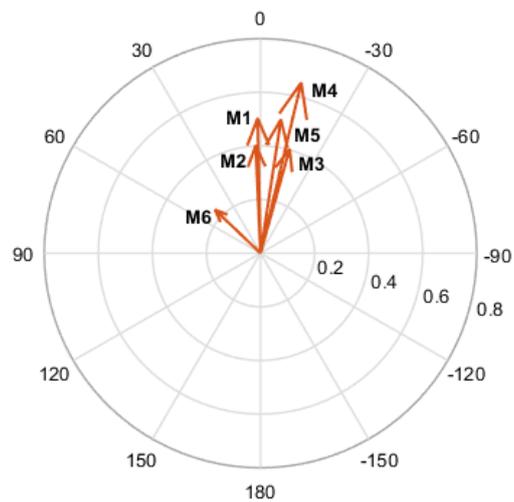


Abbildung 3.12: Abweichung der ortsabhängigen Orientierungsvektoren zur Luftlinie (0° -Linie) für Zielort Marktplatz

Für die 239 Vektoren aller Anordnungen der Versuchspersonen von Holzmarkt und Marktplatz wird dann der V-Wert berechnet, um so herauszufinden, ob es ein Bias der Orientierungsvektoren zum Luftlinienvektor (0° -Linie) gibt.

Der V-Test verwendet die folgende Teststatistik [2]:

$$u = (2n)^{(1/2)}v$$

wobei:

$$v = r * \cos(\bar{\phi} - \theta_0)$$

Folgende Werte können berechnet werden: $r = 0.539$, $\bar{\phi} = 0.800$, $\theta_0 = 0$

Daraus ergibt sich: $V(N = 239) = 0.376$, $u = 8.211$ und $p < 0.0001$.

Der V-Test weist also signifikant auf eine Tendenz der Orientierungsvektoren in Richtung der Luftlinie hin.

3.3.1 Distanz zum Zielort

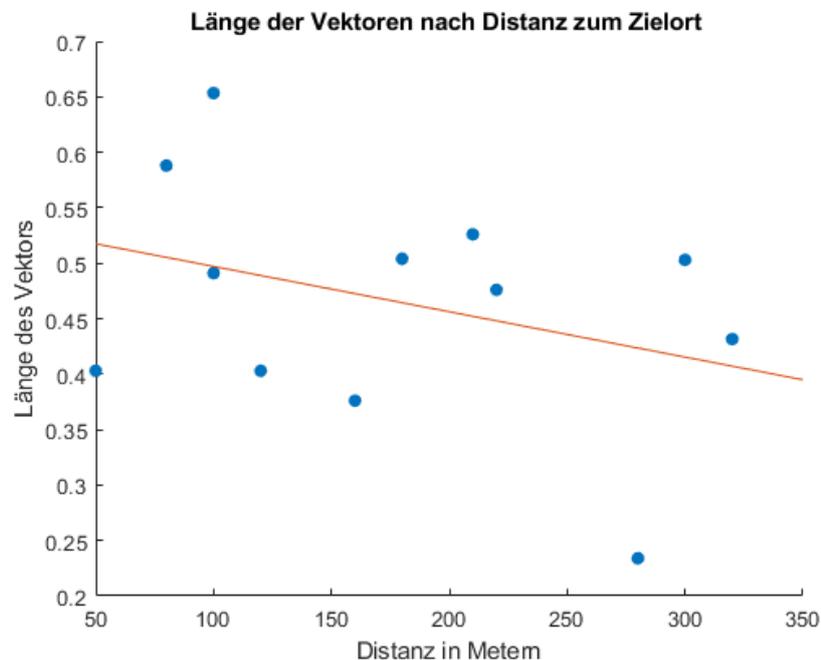


Abbildung 3.13: Länge der Vektoren in Abhängigkeit zur Distanz zum Zielort

Zur Untersuchung der Reichweite des Standort-Effekts wird nun die Norm der zuvor berechneten Vektoren in Abhängigkeit zu der Distanz zum Zielort sowohl für den Marktplatz als auch für den Holzmarkt in Abbildung 3.13 vermerkt.

Die rote Gerade stellt die Regressionsgerade für die gegebenen Datenpunkte dar. Die Regressionsgerade hat eine negative Steigung, was auf einen negativen Zusammenhang zwischen der Distanz zum Zielort und der Länge des Vektors hindeutet. Der Korrelationskoeffizient gibt uns an, wie viel von der Streuung der Y-Werte durch die Korrelation zu den X-Werten erklärt werden kann. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r_{XY} = -0.3425$, was auf eine negative mittlere Korrelation hinweist.

Kapitel 4

Diskussion

In dieser Bachelorarbeit wurde die Untersuchung des Standort-Effekts [22] in die Virtual Reality übertragen. Versuchspersonen sollten an verschiedenen Orten in der Tübinger Innenstadt die beiden Zielorte Holzmarkt und Marktplatz in virtueller Umgebung nachbauen. Dabei wurde auch die von Rath [20] verwendete Methode bestehend aus Magnetboard und Bauklötzen virtuell umgesetzt. Versuchspersonen konnten mit einem Controller virtuelle Objekte auf einer Ebene verschieben, um so Holzmarkt und Marktplatz zu konstruieren.

Die Nutzung virtueller Technologien zur Untersuchung der räumlichen Kognition erfreut sich immer größerer Beliebtheit. Einer der Gründe dafür ist, dass der Versuch in einem Labor durchgeführt werden kann, was die experimentelle Durchführung extrem vereinfacht. Experimente, die sehr große räumliche Bereiche abdecken, wie z. B. eine Navigationsstudie in einer Stadt, sind außerhalb der Virtual Reality nur schwer umzusetzen. Das liegt auch an der fehlenden Kontrolle über die sich ständig verändernden Umwelteigenschaften. Eine Versuchsdurchführung in virtueller Umgebung bietet hingegen ein hohes Maß an Kontrollierbarkeit, sodass das Experiment mehrfach unter gleichen Bedingungen durchgeführt werden kann [12].

Von diesen Faktoren profitierte auch die vorliegende Studie. So konnten die Befragungsorte mithilfe der 360° x 180° -Panoramen für jede Versuchsperson mit den gleichen Inhalten und in gleicher Ausrichtung dargeboten werden. Die Ausrichtung der Panoramen fand immer in Richtung Zielort statt, wodurch mithilfe von 3 aufeinanderfolgenden Fotosphären eine Art Laufrichtung zum Zielort simuliert wurde. In einem Experiment in realer Umgebung haben Versuchspersonen hingegen verschiedene Laufrichtungen oder Wegziele bei der Befragung, was einen Einfluss auf die Ausrichtung ihrer Skizzen haben könnte.

Jedoch hat eine Versuchsanordnung in virtueller Umgebung auch immer Nachteile, die nicht außer Acht gelassen werden sollten [12]. Einer dieser Nachteile ist die *cyber-* oder *simulator-sickness*, bei der es unter anderem zu

Desorientierung, Ungleichgewicht oder Übelkeit kommen kann. Verursacht wird diese durch kurze Unterbrechungen oder Verzögerungen in der Simulation, vor allem aber durch einen sensorischen Konflikt zwischen visuellen und vestibulären Reizen. In der vorliegenden Arbeit wurde daher auf eine reibungslose Simulation geachtet und Bewegungen des Kopfes direkt mit dem visuellen Input verknüpft, sodass visueller Input und vestibuläre Reize übereinstimmten.

Ein weiterer Faktor, der einen Einfluss auf die Versuchsergebnisse haben könnte, ist das Vorhandensein von zwei verschiedenen Umgebungen. So könnten virtuelle und physische Realität gleichzeitig kognitiv repräsentiert sein und somit im Konflikt stehen. Der physische Ort der Versuchspersonen befand sich auf der Morgenstelle und lag damit nord- bzw. nord-westlich der Zielorte. Eine vermehrte Ausrichtung der beiden Zielorte in südlicher Ansicht könnte somit durch den Einfluss des physischen Ortes der Versuchspersonen erklärt werden. Die südliche Ansicht wurde jedoch nur für den Zielort Holzmarkt unabhängig vom Befragungsort relativ häufig gewählt. Da der physische Standort der Versuchspersonen aber für beide Zielorte gleichermaßen wirken müsste, spielt er daher wohl in den vorliegenden Ergebnissen eine eher untergeordnete Rolle. Auch muss infrage gestellt werden, inwieweit der Grad der Realität in der virtuellen Umgebung der wissenschaftlichen Fragestellung, die untersucht werden soll, genügt. Kann von einer Versuchsanordnung in virtueller Umgebung auf kognitive Prozesse in realer Umgebung geschlossen werden? In dieser Arbeit wurden Fotosphären verwendet, welche die verschiedenen Orte zu einem bestimmten Zeitpunkt abbildeten. Die Fotosphären waren von relativ hoher Qualität und enthielten viele Details. Trotzdem gingen einige Informationen über die reale Umgebung verloren, die möglicherweise einen Einfluss auf die Anordnung der Zielorte gehabt haben könnten. Da die hier gewonnenen Ergebnisse aber konsistent mit zuvor in realen Umgebungen durchgeführten Studien sind, kann man davon ausgehen, dass dieser Einfluss nur geringfügig ist und der Grad der Realität der Fragestellung genügt.

Wie auch schon vorherige Studien [22] [20], weisen die Ergebnisse dieser Bachelorarbeit sehr eindeutig auf einen Standort-Effekt für Standorte hin, die dem Zielort nahegelegen sind. Die berechneten Orientierungsvektoren tendieren signifikant zu einer Ausrichtung in Luftlinienrichtung zum Zielort. Der Standort hat demnach also einen Einfluss auf die Ausrichtung der Repräsentation eines Ortes, wenn dieser nahe genug am Zielort liegt. Außerdem wird diejenige Ausrichtung häufiger gewählt, welche grob der Ausrichtung des Zielortes in Luftlinienrichtung vom Standort aus entspricht. Die entsprechende Ansicht des Zielortes scheint also zugänglicher zu sein als andere Ansichten desselben Ortes – und wird deshalb häufiger abgerufen.

Die Ergebnisse sind konsistent mit dem von Schölkopf und Mallot erstellten Modell zum Zusammenspiel des räumlichen Langzeit- und Arbeitsgedächtnis-

ses [23]. Das ansichts-basierte Modell für das Arbeitsgedächtnis enthält die Position des Betrachters, die Blickrichtung sowie ausgehende Wegkanten zu in wenigen Schritten erreichbaren Plätzen und deren zugehörige Ansicht.

Wenn sich die Versuchsperson also in der Virtual Reality an einem bestimmten Ort einfindet, könnten passende Ansichten naher Orte zum einen durch *automatisches spatial updating* bereits vor der Aufgabenstellung im Arbeitsgedächtnis vorliegen. Hierbei sind 2 Möglichkeiten denkbar: die ausgehenden Wegkanten und passenden Ansichten werden kontinuierlich aus dem Langzeitgedächtnis in das Arbeitsgedächtnis geladen, oder es findet eine Transformation direkt im Arbeitsgedächtnis statt (z. B. mental rotation). Zum anderen könnte, während sich die Versuchsperson an einem Ort in der Virtual Reality befindet, die Aufforderung, den Holzmarkt/Marktplatz nachzubauen, zu einem *mental travelling* führen, wodurch dann die passende Ansicht des Ortes in das Arbeitsgedächtnis geladen wird. Bereits im Arbeitsgedächtnis vorliegende Ansichten sind leichter zugänglich als andere Ansichten und werden deshalb häufiger gewählt.

Die von Schölkopf et al. [23] und Röhrich et. al [22] beschriebene kanonische Ansicht ist auch in den Ergebnissen dieser Arbeit wiederzufinden - jedoch um einiges geringer. Die Ergebnisse zum Zielort Holzmarkt von Röhrich et al. waren, unabhängig vom Befragungsort, von einer starken Dominanz der Süd-Ausrichtung geprägt: sie stellte an 9 der 10 nahen Befragungsorten die dominante Ansicht dar. In der hier vorliegenden Studie zeigten sich zwar, unabhängig vom Befragungsort, relativ hohe Werte der Süd-Ausrichtung, jedoch stellte diese bei keinem der Befragungsorte die dominante Ansicht dar. Die relativ hohen Werte der südlichen Ausrichtung können durch verschiedene Faktoren erklärt werden: Die Stiftskirche im Süden des Holzmarktes stellt eine saliente Landmarke dar, die viele Menschen zur Orientierung und zur Beschreibung des Platzes nutzen. Versuchspersonen könnten daher dazu tendieren, den Platz in einer Ansicht mit Blick auf die Stiftskirche und damit in Süd-Ausrichtung zu bauen. Außerdem ist der Holzmarkt ansteigend in Richtung Süden. Studien zeigen, dass man dazu neigt, höher gelegene Punkte auch höher auf einem Blatt einzuordnen [21]. Auch die geometrischen Gegebenheiten des Platzes könnten die Wahl der Ausrichtung beeinflussen; so hat der Holzmarkt ein rechteckiges Format mit einer langen Ost-West-Achse, was dazu verleitet auf einem rechteckigen Papier dementsprechend die Nord- oder Süd-Ausrichtung zu wählen. Ein weiterer Faktor könnten die Wege sein, die auf den Holzmarkt führen. Wege auf den Holzmarkt aus südlicher Richtung (mit nördlicher Ansicht) werden nur sehr selten benutzt, während andere Wege – aus dem Norden oder aus dem Osten kommend – sehr häufig verwendet werden. Versuchspersonen könnten also dazu tendieren, Plätze in derjenigen Ansicht anzuordnen, in der sie den Platz am häufigsten sehen. Für den Marktplatz fanden Röhrich et al. eine ausgeglichene Häufigkeitsver-

teilung der Anordnungen. Somit konnte keine allein dominierende kanonische Ansicht bestimmt werden, sondern lediglich die zwei häufiger auftretenden Ausrichtungen Süd und West. Auch in der vorliegenden Studie ist keine dominierende kanonische Ansicht feststellbar, und die Anordnungen sind – bis auf die jeweilige Ansicht in Luftlinienrichtung – ausgeglichener. Auf westlicher Seite des Marktplatzes stellt die westliche Ausrichtung in 2 von 3 Fällen die zweithäufigste Anordnung dar – obwohl diese der Anordnung in Luftlinienrichtung entgegengesetzt ist. Dies könnte durch eine kanonische Ansicht des Marktplatzes in westlicher Richtung erklärt werden. Die westlichen Ausrichtungen in zum Marktplatz östlich gelegener Richtung sind extrem hoch, allerdings ist hier die westliche Ausrichtung gleichzeitig auch die Ansicht in Luftlinienrichtung. Die auffallend hohen Werte könnten also durch einen gleichzeitigen Einfluss des Standort-Effekts und der kanonischen Ansicht entstanden sein. Die Süd-Ausrichtung ist nur in einem Fall die zweithäufigste Ausrichtung, weswegen man nicht von einer Tendenz zur Süd-Ausrichtung sprechen kann.

Weshalb die Ergebnisse – neben den Werten in Richtung Luftlinienrichtung – für den Marktplatz ausgeglichener waren als für den Holzmarkt, könnte in der Topografie des Marktplatzes begründet liegen: Der Marktplatz hat keine Achse vorzuweisen, die bedeutend länger ist als eine andere. Außerdem sind die Häuser, die den Marktplatz umschließen, weniger unterschiedlich in ihrer Salienz als die des Holzmarktes. Lediglich das Rathaus sticht hervor; dieser Faktor könnte aber wiederum durch den Anstieg des Platzes in südlicher Richtung ausgeglichen werden. Die Wege, die auf den Marktplatz führen, sind außerdem alle recht bekannt und viel begangen.

Obwohl die Einflüsse der kanonischen Ansichten sowohl beim Holzmarkt als auch beim Marktplatz erkennbar waren, waren sie deutlich weniger ausgeprägt als in der Studie von Röhrich et al. [22]. Dies könnte an der Versuchsdurchführung in virtueller Umgebung liegen, durch die man in der Lage ist, Faktoren wie die aktuelle Laufrichtung und die Wegziele der Versuchspersonen zu kontrollieren. Auch könnte das virtuelle Magnetboard, ähnlich wie bei Rath [20], eine bessere Methode zur Erhebung der Anordnungsausrichtung sein, da Versuchspersonen nicht durch Bedenken hinsichtlich ihrer Zeichenkünste beeinflusst werden. Schlussendlich könnte auch die Wahl der Standorte der ausschlaggebende Faktor sein. So waren einige der hier verwendeten Standorte deutlich näher am Zielort gelegen als bei der Studie von Röhrich et al. [22]. Da Versuchspersonen, wenn man von einer graduellen Abnahme des Standort-Effekts ausgeht, eine ausgeprägtere Vorstellung des Zielortes haben, wenn sie sich näher an ihm befinden, wählen sie häufiger die Ansicht in Luftlinienrichtung. Röhrich et al. wählten außerdem auch Standorte, die schräg zum Zielort ausgerichtet waren. Da aber nur wenige Versuchspersonen schräge Anordnungen zeichnen, wird häufig eine alternative Ansicht gewählt.

Besonders deutlich wird der Standort-Effekt für beide Zielorte am nahen Befragungsort Kirchgasse. Hier wählen die Versuchspersonen fast ausschließlich die Ansicht der beiden Zielorte in Luftlinienrichtung vom Befragungsort. Die Norm der Orientierungsvektoren ist an diesem Standort für beide Zielorte, Holzmarkt und Marktplatz, die größte, was auf viele kohärente Anordnungen hinweist. Diese eindeutigen Ergebnisse sind wahrscheinlich auf den Standort zurückzuführen. Die Kirchgasse liegt direkt auf dem Weg zwischen den beiden Plätzen Holzmarkt und Marktplatz; hier haben Versuchspersonen aufgrund der Nähe zum Zielort und der Bekanntheit des Standortes womöglich bereits eine sehr klare Repräsentation der beiden Plätze im Arbeitsgedächtnis vorliegen und wählen daher sehr häufig diese Ausrichtung.

Die Ergebnisse der beiden anderen nahen Befragungsorte fallen etwas geringer, aber trotzdem sehr eindeutig aus. Am Befragungsort Neckargasse mit Zielort Holzmarkt wurde die West-Ausrichtung genauso häufig wie die Süd-Ausrichtung gewählt. Die etwas häufiger auftretende Wahl der Süd-Ausrichtung könnte an der Lage des Standortes liegen; dieser liegt nämlich östlich bis süd-östlich des Holzmarktes, die Straße jedoch führt eher aus südlicher Richtung hinter der Kirche auf den Holzmarkt. Wie vorher erwähnt, werden jedoch schräge Ansichten eher selten gewählt, weswegen möglicherweise vermehrt die kanonische Ansicht des Holzmarktes und damit die Süd-Ausrichtung gewählt wurde.

Besonders auffällig sind hier auch die zugehörigen Orientierungsvektoren. Sowohl für den Holzmarkt als auch für den Marktplatz findet man den Orientierungsvektor mit der größten Abweichung zur Luftlinienrichtung am Standort Neckargasse. Der Orientierungsvektor für den Zielort Holzmarkt zeigt zwar mit ca. 194.7° fast in westliche Richtung (180.0°). Die Abweichung zum Luftlinienvektor beträgt aber an dieser Stelle trotzdem 58.7° aufgrund der süd-östlichen Lage des Standortes Neckargasse. Dies ist auch – allerdings etwas geringer – für die zwei weiteren östlich gelegenen Standorte des Holzmarktes so zu beobachten. Aufgrund der Lage ergibt sich am Standort Kreuzung Mühlstraße eine Abweichung zur Luftlinienrichtung von 26.3° und in der Gartenstraße eine Abweichung von 33.0° . Dadurch kann die in Abbildung 3.11 auffallende Tendenz der Vektoren zur linken Seite erklärt werden.

Wie bereits erwähnt, findet sich am Standort Neckargasse auch die größte Abweichung der Orientierungsvektoren für den Zielort Marktplatz. Hier zeigt sich eine Abweichung zum Luftlinienvektor von 46.1° . Dies könnte ebenfalls durch die Lage des Standortes Neckargasse zum Zielort Marktplatz begründet sein. Zusätzlich ist hier aber anzumerken, dass dieser Orientierungsvektor deutlich kürzer als die anderen ist und somit weniger Aussagekraft hat. Somit könnte auch schlichtweg die Distanz des Standortes zum Zielort eine Rolle spielen.

Am nahen Befragungsort Haaggasse 2 mit dem Zielort Marktplatz wurde neben der Luftlinienrichtung auch relativ häufig die entgegengesetzte Richtung

gewählt. Dies gilt auch für den mittleren Standort Kreuzung Judengasse und den entfernten Standort Haagtor auf westlicher Seite des Marktplatzes. Begründet werden könnte dies durch eine kanonische Ansicht in westlicher Ausrichtung, für die auch Röhrich et al. Belege fanden. Eine kanonische Ansicht in westlicher Ausrichtung für den Marktplatz könnte auch die extrem hohen Werte der West-Ansichten östlich des Marktplatzes erklären. Hier würden nämlich die kanonische Ausrichtung und der Standort-Effekt gleichzeitig wirken. Eine andere Erklärung für die gelegentlich auftretenden, der Luftlinienrichtung entgegengesetzten Ausrichtungen könnten Sequenzeffekte sein. Allerdings hat der dazu durchgeführte Chi^2 -Test für keinen der Befragungsorte ein signifikantes Ergebnis geliefert, weswegen von keinem relevanten Einfluss der Sequenz auf die Ausrichtung der Anordnungen ausgegangen wird.

Insgesamt sind die Verteilungen für alle Befragungsorte jeweils östlich und westlich eines Zielortes sehr ähnlich. Dies spricht für eine geringe Beeinflussung unterschiedlicher Faktoren auf die verschiedenen Befragungsorte. Die von Rath [20] beschriebenen Faktoren, die einen Einfluss auf den Standort-Effekt haben könnten (Straßenverwinkelung, kognitive Zugehörigkeit eines Standortes zu einem bestimmten Bereich, Erreichbarkeit des Standortes), scheinen somit weitestgehend minimiert worden zu sein. Die Standorte wurden dafür auf einer fast geradlinig verlaufenden Straße angeordnet, sodass die Luftlinienrichtung zum Zielort mit dem Straßenverlauf übereinstimmte. Verwinkelungen oder Zugänge zum Zielort aus einer anderen Richtung konnten so das Ergebnis für bestimmte Standorte nicht mehr beeinflussen. Lediglich am Standort Neckargasse, der auf einem leicht verwinkelten Abschnitt der Straße und eher süd-östlich der Zielorte lag, konnten leicht abweichende Ergebnisse gefunden werden.

Um dann die Reichweite sowie eine mögliche graduelle Abnahme des Standort-Effekts mit Zunahme der metrischen Distanz zu untersuchen, wurde die Länge der berechneten Orientierungsvektoren in Abhängigkeit zur Distanz zum Zielort vermerkt – und so eine mittlere negative Korrelation gefunden. Dies spricht in der Tat dafür, dass der Einfluss des Standort-Effekts auf die Wahl der Ausrichtung mit der metrischen Distanz graduell abnimmt.

Jedoch sind sowohl die Ausrichtungshäufigkeiten in Luftlinienrichtung als auch die Länge der Vektoren für alle drei Standortkategorien (nah, mittel, weit) relativ hoch. Der Standort-Effekt scheint also an allen Orten noch einen sehr starken Einfluss auf die Wahl der Ausrichtung zu haben.

Um also eine genauere Aussage über die tatsächliche Reichweite und den weiteren graduellen Verlauf treffen zu können, müssen Orte getestet werden, die noch weiter entfernt vom Zielort liegen. Dies könnten beispielsweise Standorte sein, die weiter hinten in der Gartenstraße oder hinter dem Haagtor gelegen sind.

Ein dann möglicherweise auftretendes Problem für eine Umsetzung in der Virtual Reality könnte sein, dass diese weit von der Innenstadt entfernten Orte womöglich nicht mehr von den Versuchspersonen erkannt werden. Orte, die weiter außerhalb liegen, sind nämlich deutlich seltener begangen und haben weniger Landmarken, an denen sich die Versuchspersonen orientieren können. In realer Umgebung befinden sich die Versuchspersonen bereits an dem Standort und wissen somit, wo sie sich befinden. In virtueller Umgebung jedoch muss dafür gesorgt werden, dass Versuchspersonen in der Lage sind, den Ort zu erkennen, um dann aufgrund der Daten eine Aussage treffen zu können.

Literaturverzeichnis

- [1] K. Basten, T. Meilinger, and H. A. Mallot. Mental travel primes place orientation in spatial recall. *Spatial Cognition VIII Lecture Notes in Computer Science*, page 378–385, 2012.
- [2] E. Batschelet. *Circular statistics in biology*. Academic Press, 1981.
- [3] J. R. Brockmole and R. F. Wang. Spatial processing of environmental representations. *Neurobiology of Attention*, page 146–151, 2005.
- [4] T. T. Brunyé, H. Burte, L. A. Houck, and H. A. Taylor. The map in our head is not oriented north: Evidence from a real-world environment. *Plos One*, 10(9), 2015.
- [5] N. Burgess. Spatial memory: how egocentric and allocentric combine. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(12):551–557, 2006.
- [6] N. Burgess. Spatial cognition and the brain. *The Year in Cognitive Neuroscience*, 1124(1):77–97, 2008.
- [7] P. Byrne, S. Becker, and N. Burgess. Remembering the past and imagining the future: A neural model of spatial memory and imagery. *Psychological Review*, 114(2):340–375, 2007.
- [8] T. S. Collet and C. M. Path integration in insects. *Current opinion in Neuroscience*, 10(6):757–762, 2000.
- [9] J. Frankenstein, B. J. Mohler, H. H. Bühlhoff, and T. Meilinger. Is the map in our head oriented north? *Psychological Science*, 23(2):120–125, 2011.
- [10] S. Gillner, A. M. Weiß, and H. A. Mallot. Visual homing in the absence of feature-based landmark information. *Cognition*, 109(1):105–122, 2008.
- [11] O. J. Grüsser. Space perception and the gazemotor system. *Human Neurobiology*, 1:73–76, 1982.

- [12] G. Hardiess, T. Meilinger, and H. Mallot. Virtual reality and spatial cognition. *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, pages 133–137, 12 2015.
- [13] S. C. Hirtle and J. Jonides. Evidence of hierarchies in cognitive maps. *Memory and Cognition*, 13(3):208–217, 1985.
- [14] R. L. Klatzky. Allocentric and egocentric spatial representations: Definitions, distinctions, and interconnections. *Spatial Cognition Lecture Notes in Computer Science*, page 1–17, 1998.
- [15] H. A. Mallot. Spatial cognition: Behavioral competences, neural mechanisms, and evolutionary scaling. *Kognitionswissenschaft*, 8(1):40–48, 1999.
- [16] T. P. McNamara, B. Rump, and S. Werner. Egocentric and geocentric frames of reference in memory of large-scale space. *Psychonomic Bulletin Review*, 10(3):589–595, 2003.
- [17] D. R. Montello. Scale and multiple psychologies of space. *Lecture Notes in Computer Science Spatial Information Theory. A Theoretical Basis for GIS*, page 312–321, 1993.
- [18] W. Mou and McNamara. Allocentric and egocentric updating of spatial memories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(1):142–157, 2004.
- [19] J. O’Keefe and L. Nadel. *The Hippocampus as a Cognitive Map*. Oxford: Clarendon Press, 1978.
- [20] V. Rath. Bildliche Vorstellungen von nahen und entfernten Orten. *Zulassung zum Staatsexamen Fachbereich Biologie, Universität Tübingen*, 2018.
- [21] J. D. Restat, S. D. Steck, H. F. Mochnatzki, and H. A. Mallot. Geographical slant facilitates navigation and orientation in virtual environments. *Perception*, 33(6):667–687, 2004.
- [22] W. G. Röhrich, G. Hardiess, and H. A. Mallot. View-based organization and interplay of spatial working and long-term memories. *PLoS ONE*, 9(11), 2014.
- [23] B. Schölkopf and H. A. Mallot. View-based cognitive mapping and path planning. *Adaptive Behavior*, 3(3):311–348, 1995.
- [24] R. N. Shepard and J. Metzler. Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972):701–703, 1971.

- [25] M. J. Sholl and T. L. Nolin. Orientation specificity in representations of place. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23(6):1494–1507, 1997.
- [26] B. W. Tatler and M. F. Land. Vision and the representation of the surroundings in spatial memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1564):596–610, 2011.
- [27] D. Waller and E. Hodgson. Transient and enduring spatial representations under disorientation and self-rotation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(4):867–882, 2006.
- [28] R. F. Wang. Between reality and imagination: When is spatial updating automatic? *Perception Psychophysics*, 66(1):68–76, 2004.
- [29] R. F. Wang and J. R. Brockmole. Human navigation in nested environments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(3):398–404, 2003.
- [30] R. F. Wang and E. S. Spelke. Human spatial representation: insights from animals. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(9):376–382, 2002.
- [31] J. M. Wiener and H. A. Mallot. Fine-to-coarse route planning and navigation in regionalized environments. *Spatial Cognition and Computation*, 3(4):331–358, 2003.
- [32] T. Wolbers, M. Hegarty, C. Büchel, and J. M. Loomis. Spatial updating: how the brain keeps track of changing object locations during observer motion. *Nature Neuroscience*, 11(10):1223–1230, 2008.

Selbständigkeitserklärung

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

Ort, Datum

Unterschrift