

Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Institut für Neurobiologie

Lehrbereich für kognitive Neurowissenschaften

Bachelorarbeit

Raumkognition

Untersuchung der Auswirkung propriozeptorischer Reize auf die
Ortserkennung in einer virtuellen Umgebung

Marie Admard

12.03.2014

Gutachter

Prof. Dr. Hanspeter A. Mallot

Lehrstuhl für kognitive Neurowissenschaften

Universität Tübingen

Zweitgutachterin

Prof. Dr. Bettina Rolke

Lehrstuhl für evolutionäre Kognition

Universität Tübingen

Admard, Marie:

Raumkognition

Untersuchung der propriozeptorischen Reize auf die Ortserkennung in einer virtuellen Umgebung.

Bachelorarbeit

Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Bearbeitungszeitraum: 1. Dezember 2013 bis 31. März 2013

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei meinem Betreuer Stephan Lancier, der mir zu jeder Zeit und bei allen Fragen weiterhelfen konnte. Ein großer Dank geht an Janis Plöger, der mich mit konstruktiven Diskussionen und bei der Korrektur der Bachelorarbeit unterstützt hat. Nicht zuletzt gebührt meinen Eltern Dank, da sie während des Studiums nicht nur finanziell, sondern vor allem auch emotional für mich da waren.

Marie Admard, März 2014

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und von dieser als Teil einer Prüfung angenommen.

Unterschrift

Datum

Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit wird die Ortserkennung beim Menschen mit einem HMD in einer virtuellen Umgebung mit Hilfe von Landmarken untersucht. Während der Lernphase lernten die Versuchspersonen die Umgebung kennen, in dem sie von verschiedenen Startpunkten aus zu Zielen navigieren sollten. In der Testphase wurde die gesamte Umgebung mit Nebel überdeckt und die Versuchspersonen sollten nun ein neues Ziel finden. Die Größe der Landmarken wurde in der Testphase manipuliert, so dass zwei Landmarken vergrößert und zwei verkleinert wurden. Im Vergleich zur Kontrollgruppe, verschob sich das Ziel bei der Experimentalgruppe in Richtung des Punktes, an dem die retinale Größe der Landmarken der Landmarkengröße der Lernphase entsprach. Das deutet darauf hin, dass die Größen- bzw. Distanzinformation der Landmarken eine größere Rolle bei der Ortserkennung beim Menschen spielt, als die Winkel zwischen den Landmarken bzw. die propriozeptorische Information der Körperlage. Im Vergleich zu den Ergebnissen von Dorer (2013), wichen die Versuchspersonen mit HMD jedoch weniger weit vom Zielort ab, so dass vermutlich durch *spatial updating* die Lage der Objekte genauer repräsentiert ist und deswegen der Einfluss der Zielfindung durch die Distanzbestimmung mittels der retinalen Größe der Landmarken geringer wird.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Methoden.....	6
2.1 Versuchspersonen	6
2.2 Apparatur und Stimuli.....	6
2.2.1 Apparatur	6
2.2.2 Stimuli	8
2.3 Versuchsablauf und Versuchsdesign	11
2.3.1 Lernphase	11
2.3.2 Testphase	13
2.3.3 Kontrollversuch	14
2.4 Datenerhebung und Auswertung.....	14
3 Ergebnisse	15
3.1 Entscheidungspunkte.....	15
3.2 Ausrichtung der Hauptachsen	21
3.3 Startpositionen.....	24
4 Diskussion	25
Anhang	A2

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1.1:</i> Querschnittsansicht des Versuchsaufbaus Morris-Water-Maze.....	3
<i>Abbildung 1.2:</i> Landmarkenkonfiguration bei Waller, Loomis, Golledga und Beall (2000) in Lern- und Testphase.....	5
<i>Abbildung 2.1:</i> Versuchspersonen mit HMD, Kopf- und Rumpftarget.....	7
<i>Abbildung 2.2:</i> Vogelperspektive des Versuchsaufbaus.....	8
<i>Abbildung 2.3:</i> Virtuelle Umgebung aus der Egoperspektive.....	9
<i>Abbildung 2.4:</i> alle möglichen Startpositionen aus allen vier Startpositionen.....	10
<i>Abbildung 2.5:</i> Zielbeschreibung der Testphase auf dem Bildschirm.....	12
<i>Abbildung 2.6:</i> Virtuelle Umgebung mit Nebel überdeckt.....	13
<i>Abbildung 3.1:</i> Entscheidungspunkte aller Versuchspersonen der Experimental- und Kontrollgruppe mit Fehlerellipse.....	17
<i>Abbildung 3.2:</i> Trajektorien aller Versuchspersonen der Experimental- und Kontrollgruppe.....	18
<i>Abbildung 3.3:</i> Mittlere Entscheidungspunkte der Experimental- und Kontrollgruppe mit Standardabweichung.....	19
<i>Abbildung 3.4:</i> wahres Distanzverhältnis gegenüberliegender Landmarken verglichen mit dem wahrgenommenen Distanzverhältnis dieser Landmarken.....	20
<i>Abbildung 3.5:</i> Ausrichtung der Hauptachsen aller Versuchspersonen.....	21
<i>Abbildung 3.6:</i> Ausrichtung der Hauptachsen der zehn besten Versuchspersonen.....	22
<i>Abbildung 3.7:</i> Achsenlängen mit Standardabweichung für die Experimental- und Kontrollgruppe.....	23
<i>Abbildung 3.8:</i> Fehlerellipsen der Entscheidungspunkte aus den jeweiligen Starttricht- ungen.....	24

1 Einleitung

Zu den wichtigsten Fähigkeiten von Menschen und Tieren gehört es sich in ihrer Umgebung zurechtzufinden. Dabei müssen wichtige Fragen wie der aktuelle Aufenthaltsort, das Befinden von Zielorten, wie zum Beispiel Futterquellen, und den Weg vom aktuellen Standort zu einem Zielort geklärt werden. Diese Fähigkeit lässt sich unter dem Begriff Raumkognition zusammenfassen. Sowohl Menschen, als auch Tiere sind dabei in der Lage eine mentale räumliche Repräsentation ihrer Umwelt zu erstellen, um sich zu orientieren.

Tolman und Honzik (1930) prägten dafür den Begriff der kognitiven Karte. Dabei handelt es sich um eine nicht metrische Repräsentation der Umgebung. In ihren Experimenten mit Ratten stellten sie fest, dass Tiere kein einfaches Reiz-Reaktions-Muster verfolgen, sondern eine räumliche Darstellung ihrer Umwelt abspeichern. O'Keefe und Nadel (1978) zeigten anhand von elektrophysiologischen Studien an Ratten, dass die kognitive Karte im Hippocampus kodiert wird. Auch mit Experimenten bei Amnesie Patienten mit Hippocampus-Läsion konnte nachgewiesen werden, dass Menschen ihre Umgebung als kognitive Karte repräsentieren (O'Keefe & Nadel, 1979).

Ein wichtiger Bestandteil der kognitiven Karte sind die Orientierungspunkte, sogenannte Landmarken, die benutzt werden, um die aktuelle Lokation und Wege zu Zielen zu ermitteln (Biegler & Morris, 1993). Landmarken stellen Referenzpunkte in der Umgebung dar. Die Salienz von Landmarken ist für den Betrachter im Vergleich zu anderen Objekten höher, daher können sie als Hinweisreize dienen. Landmarken können die unterschiedlichsten Objekte sein, wie etwa ein Kirchturm oder ein Berg.

Um die Ortserkennung mittels Landmarkenanordnung zu untersuchen, führten Cartwright und Collet (1982) eine Reihe von Experimenten mit Honigbienen durch. In diesen Experimenten befand sich in der Trainingsphase eine Futterquelle mit Landmarken in einem Raum ohne weitere Hinweisreize. Die Bienen lernten die Futterquelle mit einer oder mehreren Landmarken zu assoziieren. Die Futterquelle wurde später für die Testphase entfernt und die Größe und Position der Landmarken verändert. Die Bienen suchten an dem Ort, an dem das Bild der Landmarken dem der Trainingsphase glich. Cartwright und Collet (1983) schlossen daraus, dass Bienen mithilfe eines Abbildes der Landmarken navigieren und entwarfen das sogenannte Schnappschuss-Modell. Dieses Modell basiert auf dem Vergleich eines Abbildes von einem zuvor besuchten Ort, ein sogenannter

Schnappschuss, und dem aktuellen retinalen Bild. Dieser Abgleich liefert Information über Ortserkennung und Richtungsfindung. Der beim Schnappschuss-Modell abgeleitete Richtungsvektor bestimmt dann die neue Zielrichtung. Ist die *catchment area*, in der die Differenz des Schnappschusses und des aktuellen Bildes einen bestimmten Schwellenwert unterschritten hat, erreicht, wird der Zielort erkannt (Franz, Schölkopf, Mallot & Bühlhoff, 1998). Im Schnappschuss wird Information über Winkel zwischen Landmarken und Größe der Landmarken gespeichert. Dieses Verhalten wurde auch bei anderen Tieren, beispielsweise an Vögeln wie dem Kiefernhäher (Kamil & Jones, 1997) und Grabwespen (Tinbergen & Kruyt, 1938) festgestellt. Gillner, Weiß und Mallot (2008) zeigten beim Menschen mit Hilfe eines Head-Mounted Displays (HMD), dass Versuchspersonen einen Schnappschuss verwendeten, um einen Ort zu lokalisieren. Dafür wurde ein Versuch in einem Raum durchgeführt, der ausschließlich mit einem an der Wand befindlichen Farbgradienten versehen war. Die Versuchspersonen sollten den Ort wiederfinden, von dem aus sie an einen anderen Ort teleportiert wurden. Nur der gleichmäßige Farbgradient diente dabei als Anhaltspunkt. Wurde der Raum vergrößert oder der Kontrast des Farbgradienten verringert, nahm die Performance ab, was auch das Schnappschuss-Modell voraussagte.

Loomis, Klatzky und Giudice (2013) postulieren eine mentale räumliche Repräsentation beim Menschen, welche sie das *spatial image* nennen. Das *spatial image* wird im Arbeitsgedächtnis aus sensorischer Information (auditiv, visuell und haptisch), sprachlichem Input und Information aus der kognitiven Karte des Langzeitgedächtnisses gebildet. Über propriozeptorische Reize wird das *spatial image* mittels *spatial updating* aktualisiert. In einer Experimentreihe von Farrell und Robertson (1998) konnte dieses *spatial updating* nachgewiesen werden. Die Versuchspersonen mussten auf Ziele zeigen, die kreisförmig um sie herum angeordnet waren. In der Bedingung *updating* wurden die Versuchspersonen mit verbundenen Augen aktiv gedreht, in der anderen Bedingung *imagining* sollten sie sich mit verbundenen Augen die Drehung vorstellen. Anschließend sollten die Versuchspersonen auf das Ziel zeigen. Die absoluten Rotationsfehler und die Reaktionszeiten waren in der Bedingung *updating* deutlich geringer, was die Annahme eines *spatial updating* Prozesses unterstützt.

Morris (1981) hat gezeigt, dass Ratten nur durch distale Hinweise einen Zielpunkt wiederfinden, den sie weder sehen, hören noch riechen können. In der sogenannten Morris-Water-Maze (siehe Abbildung 1.1) wurden Ratten in einem Raum mit vier leicht zu

unterscheidenden Wänden in ein rundes Wasserbecken gesetzt. Im Wasserbecken befand sich entweder eine schwarze Plattform, die sichtbar 1 cm über der Wasseroberfläche herausragte oder eine weiße Plattform, die 1 cm unter der Wasseroberfläche endete. Das Wasser wurde mit Milch getrübt, sodass die Ratte nicht durch das Wasser sehen konnte. Wurde die Ratte nun in das Becken mit der schwarzen, sichtbaren Plattform gesetzt, begann sie sofort zielstrebig zu dieser Plattform zu schwimmen. Veränderte man die Zielposition der weißen, unsichtbaren Plattform nicht, konnten Ratten auch diese zielsicher finden, nachdem sie diese einmal gefunden hatten. In einem weiteren Experiment zeigte Morris, dass Ratten auch von ungelernten Startpositionen in der Lage waren, die weiße Plattform zielstrebig aufzusuchen. Dies zeigte, dass Ratten einen Zielort auch ohne proximale Hinweise, sondern nur anhand distaler Hinweise, wiederfinden.

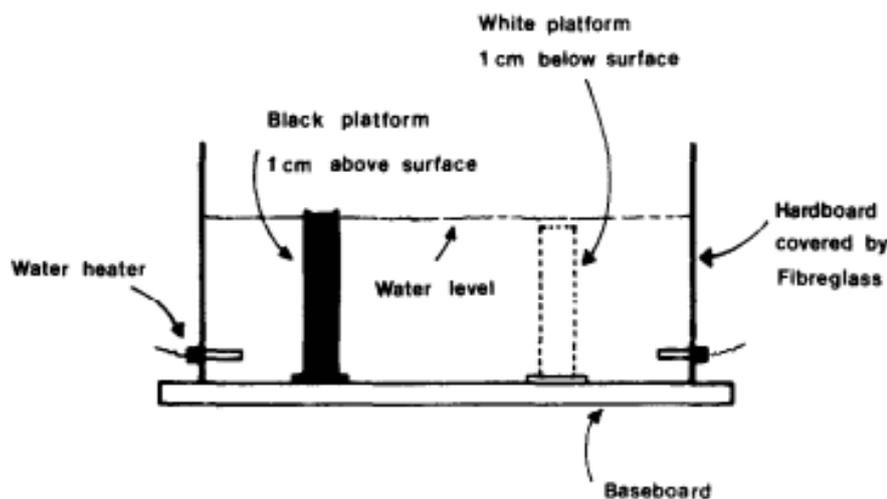


Abbildung 1.1: Querschnittsansicht des Versuchsaufbaus Morris-Water-Maze, der beide Plattformen in Relation zur Wasseroberfläche zeigt. Die Ratte hatte entweder die schwarze, sichtbare Plattform oder die weiße unsichtbare Plattform als Fluchtmöglichkeit vor dem Wasser.

Im Gegensatz zu den Versuchen an Tieren wurden beim Menschen Versuche zur Ortserkennung meist in computergenerierten, virtuellen Umgebungen durchgeführt. Deswegen übertrugen Jacobs, Thomas, Laurance und Nadel (1998) den Versuchsaufbau Morris-Water-Maze in eine virtuelle Umgebung. Es wurde die Performance der Ortsfindung

untersucht, wenn distale Hinweise von einer, zwei, drei oder vier Wänden entfernt wurden. Bei der Entfernung aller vier Hinweisreize verschlechterte sich die Performance der Versuchspersonen deutlich. Es lässt sich also sagen, dass die Beziehung zwischen distalen Hinweisen eine Rolle spielt und die Ortserkennung in einer virtuellen Umgebung vergleichbar ist mit der Ortserkennung in einer realen Umgebung.

Cheng (1986) fand heraus, dass Ratten auch geometrische Informationen bei der Orientierung nutzen. In einer rechteckigen Umgebung befanden sich an jeder Ecke unterscheidbare Hinweisreize. Die Ratten lernten die Belohnung in einer Ecke zu finden. Bei der anschließenden Testphase zeigten die Ratten einen Rotationsfehler, das heißt, sie suchten auch an der gegenüberliegenden Ecke. Waller, Loomis, Golledge und Beall (2000) untersuchten den Einfluss von Distanzen und Winkelinformation zu Landmarken bei der Ortserkennung. Die Versuchspersonen lernten ein bestimmtes Ziel im Verhältnis zu drei unterschiedlichen Landmarken und mussten in der Testphase zum Ziel zurückkehren. Die Anordnung der Landmarken wurde nach der Lernphase verändert (siehe Abbildung 1.2). Den Versuchspersonen wurde dabei gesagt, sie würden aus einer anderen Richtung kommen und die Konfiguration hätte sich nicht geändert. Das Experiment zeigte, dass die Distanz zu den Landmarken richtig einzuordnen für das Navigieren, in diesem Fall für die Zielerkennung, in virtueller Umgebung wichtiger ist, als die Winkelinformation zwischen den Landmarken. Erst mit ansteigender Orthogonalität zwischen den Landmarken und vor allem bei nicht von Landmarken umschlossenen Zielen wurden die Winkel bevorzugt.

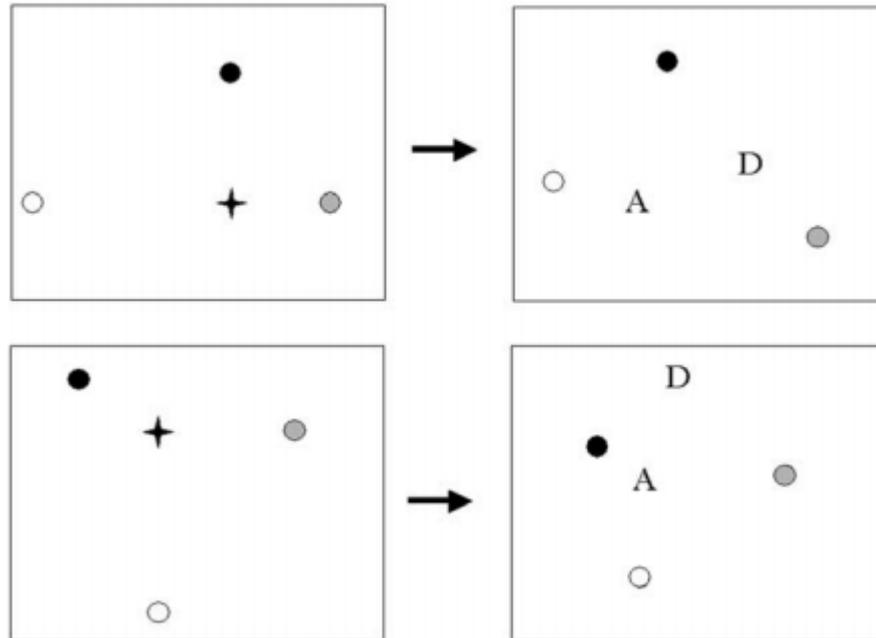


Abbildung 1.2: Landmarkenkonfiguration bei Waller, Loomis, Golledge und Beall (2000) in der Lern- und Testphase. Die linken Bilder zeigen eine Konfiguration während der Lernphase, die Bilder auf der rechten Seite zeigen die manipulierten Konfigurationen in der Testphase. Man sieht oben links, als Stern markiert, von der gelernten Zielposition aus sind alle Landmarken zum Betrachter orthogonal. Oben rechts bleibt bei D die Distanz zu den Landmarken gleich wie in der Lernphase und bei A die Zielposition mit den rechten Winkeln bestehen. Auf den unteren Bildern zeigt der Stern auf dem linken Bild ebenfalls die gelernte Zielposition. Auf dem rechten Bild zeigt D den Punkt an, bei dem die Distanz zu den Landmarken gleich bleibt, hier jedoch liegt der Punkt außerhalb der Landmarkenkonfiguration. A zeigt die Zielposition, bei der die Winkel zu den Landmarken gleich bleiben.

In dieser Studie wurde der Versuchsaufbau aus der Bachelorarbeit von Marcel Dorer (2013) übernommen, in der die Größe der Landmarken manipuliert wurde, um zu testen, ob die retinale Größen- bzw. Distanzinformation oder die Winkelinformation zwischen den Landmarken eine größere Rolle spielt bei der Ortserkennung beim Menschen. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass die Versuchspersonen sich anhand der Größe der Landmarken orientierten. Die HMD-Installation ermöglicht den Versuchspersonen den Zugang zu propriozeptorische Informationen. Wir nehmen an, dass durch diese Information das *spatial image* der virtuellen Umgebung durch *spatial updating* aktualisiert wird. Dadurch erhalten die Versuchspersonen genauere Informationen über die räumlichen Beziehungen der Landmarken von ihrer Position im virtuellen Raum aus. Durch die Manipulation der Landmarkengrößen, erwarten wir aus diesem Grund eine geringere Abweichung vom Zielpunkt.

2 Methoden

In diesem Kapitel werden die Stichprobe, die verwendete Hard- und Software und die damit generierte virtuelle Welt beschrieben. Des Weiteren wird der Versuchsablauf beschrieben.

2.1 Versuchspersonen

Die Stichprobe bestand aus 40 naiven Probanden im Alter zwischen 19 und 46 Jahren, wovon 15 weiblich und 25 männlich waren. Alle Versuchspersonen hatten ein gutes Sehvermögen oder sie trugen eine Sehhilfe. Die Probanden wurden zufällig in eine Experimental- und eine Kontrollgruppe eingeteilt. Vor Beginn des Experiments mussten alle Probanden eine Einverständniserklärung unterschreiben, in der sie schriftlich über den Ablauf des Experiments informiert wurden und ihre freiwillige Teilnahme bestätigten. Am Ende des Versuchs mussten die Versuchspersonen noch einen Fragebogen ausfüllen, in dem Fragen zum Experiment und Fragen zum Orientierungssinn nach dem Muster von Münzer und Hölscher (2011) gestellt wurden. Das Experiment dauerte etwa 60 Minuten und jeder Proband bekam eine Entlohnung von 2 Euro für jede angefangene viertel Stunde.

2.2 Apparatur und Stimuli

2.2.1 Apparatur

Die Navigationsleistung der Probanden wurde mittels eines HMD, einem visuellen Ausgabegerät gemessen (siehe Abbildung 2.1). Das HMD nVisor SX60 von NVIS® hat ein diagonales Sichtfeld von 60° und die zwei Bildschirme des HMD befinden sich unmittelbar vor den Augen, so dass die Versuchspersonen, abgeschottet von der Realität, den Eindruck haben können, sich in einer virtuellen Welt zu bewegen. Die Auflösung des HMD war 1280 x 1024 Pixel je Auge, die Bildwiederholungsfrequenz lag bei 60 Hz. Für den HMD-PC wurde ein PC mit einem Intel® Core™ i5-3470 CPU Prozessor und eine GeForce – GTX 560 Ti Grafikkarte verwendet. Es wurde ein ARTtrack & DTtrack System von ART® mit vier Kameras benutzt, um die Position und Rotation der Versuchsperson mittels optischen IR Trackings zu detektieren. Das Kopftarget bestehend aus einem „rigid body“ mit reflektierenden Markern wurde auf dem HMD befestigt, um die

Rotation des Kopfes zu erfassen. Ein weiterer „rigid body“ am Bauch (Rumpftarget) ermöglichte es, die Rotation des Rumpfes zu messen. Eine Veränderung der Blickrichtung und der Ausrichtung des Körpers wurde mit einer Verzögerung von 20 bis 40 ms angepasst. Die gemessene Rotationsmatrix des Trackersystems wurde per LAN Verbindung an den HMD-PC gesendet und die entsprechende Änderung des virtuellen Auges mit einer Verzögerung von weniger als 16.67 ms ausgeführt. Die Versuchspersonen wurden instruiert sich während des Versuchs in der Mitte der vier Kameras aufzuhalten, um eine bestmögliche Erfassung des Kopf- und Rumpftargets durch die Kameras zu erhalten. Die Computermaus wurde zur Fortbewegung und zur Bestätigung des Ziels verwendet. Mit der linken Maustaste bewegte man sich vorwärts, mit der rechten Maustaste bewegte man sich rückwärts, durch Klicken auf die mittlere Maustaste bestätigte man das Ziel. Die Laufrichtung wurde über die Rotation des Rumpfes bestimmt und die Blickrichtung der virtuellen Kamera wurde über die Rotation des Kopfes geschwenkt.



Abbildung 2.1:

Abbildung 2.1: Versuchsperson mit HMD, Kopf- und Rumpftarget

Für die Kontrollgruppe wurde ein PC mit einem Intel® Core™ i3-210 CPU Prozessor und einer NVIDIA GeForce GTX560 Grafikkarte verwendet. Die virtuelle Umgebung wurde auf einem 30 Zoll Bildschirm, mit einer Auflösung von 2560x1600 Pixeln, also

einem Bildschirmverhältnis von 16:10, dargestellt. Der Bildschirm hatte eine Bildwiederholungsfrequenz von 60 Hz. Die Probanden saßen in einem Abstand von 60 cm zum Bildschirm (FOV 56.6°). Über die Tasten W, A, S, und D konnten die Probanden sich fortbewegen. Mit dem Drücken auf die Taste W bewegte man sich nach vorne, mit der Taste S zurück. Mit den Tasten A und D bewegte man sich seitlich nach links und rechts. Die Blickrichtung konnte mit Hilfe der Maus horizontal nach links und rechts geschwenkt werden. Die Bewegung der Maus um einen Pixel hatte eine Drehung des virtuellen Auges um 0.1°.



Abbildung 2.2: Virtuelle Umgebung aus der Vogelperspektive. Plusförmige Brücke mit vier Landmarken in Form von schwebenden farbigen Ballons (rot, blau, gelb, magenta). Zu sehen ist ein Ziel aus der Lernphase und der Kreuzungspunkt der Brücke (Entscheidungspunkt), den die Versuchspersonen in der Versuchsphase finden sollten.

2.2.2 Stimuli

Mit der Entwicklungsumgebung VisualStudio® 2008 Version 9.0.21022.8 RTM wurde mit C++ und OpenSceneGraph Version 2.8.2 die virtuelle Umgebung erstellt. Die Objekte in dieser virtuellen Umgebung wurden mit der Software MultiGen Creator von MultiGen-Paradigm® erzeugt. Die virtuelle Umgebung bestand aus einer Grünfläche ohne

für die Ortserkennung wichtige Orientierungspunkte. Auf dieser Grünfläche war ein zentral gelegener See mit unregelmäßiger Form zu sehen. Über den See verlief kreuzförmig eine Brücke. Vier schwebende Landmarken in Form von Ballons in den Farben blau, rot, gelb und magenta waren über dem See verteilt positioniert. Die Längeneinheiten der virtuellen Umgebung werden in Meter angegeben. Die beiden Brückenelemente hatten jeweils eine Länge von 65 m und waren 10 m breit (siehe Abbildung 2.2). Der Kreuzungspunkt der Brücke wurde auf den Punkt (0, 0) des Koordinatenkreuzes gelegt. Jede Landmarke hatte einen Radius von 1 m. Die Positionen der Landmarken waren wie folgt: blau (24.5, 16.5, 1.8), rot (-20, 28, 1.8), gelb (-31, -27, 1.8) und magenta (20, -33, 1.8) (siehe Abbildung 2.2).

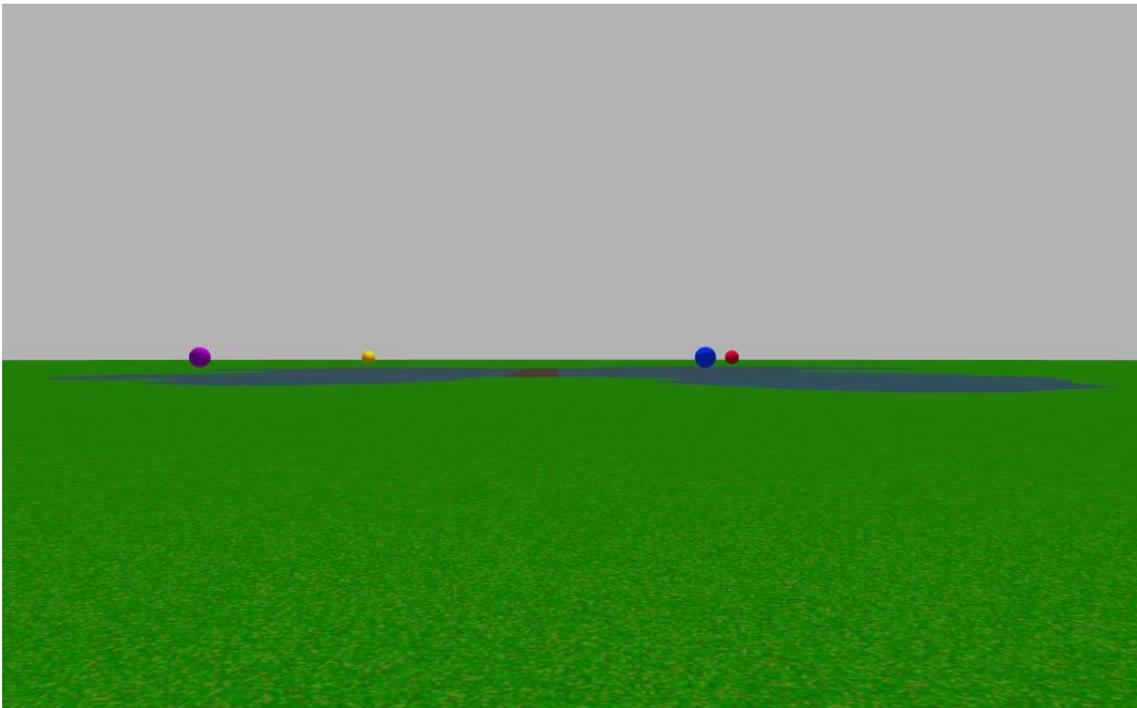


Abbildung 2.3: Virtuelle Umgebung aus der Egoperspektive während der Lernphase. Man erkennt den See, die Brücke und die vier verschiedenfarbigen Landmarken, die zur Orientierung in der Testphase dienten.

Um die Landmarken gab es eine unsichtbare „Fangzone“, in der Probanden, die diesen Bereich betraten, an die vorherige Startposition zurückgesetzt wurden. Das virtuelle Auge

hatte eine Höhe von 1.8 m (fovy 43.8, zNear 0.8) und befand sich auf Augenhöhe (Kamera) des Zentrums der Landmarken. Somit war es nicht möglich die Distanz zu einer Landmarke über die Winkelabweichung zwischen der Augenhöhe und der Landmarke zu bestimmen (Ooi & He, 2007). Die blaue Zielplattform, die während der Lernphase zu sehen war, hatte einen Radius von 3 m. Sie war 60 m vom Kreuzungspunkt der Brücke entfernt und war erst ab einer Entfernung von 50 m zu sehen. Das Ziel wurde erkannt, sobald die Probanden im Radius von 5 m vor dem Ziel waren. Die Startpositionen wurden randomisiert in einer Entfernung von 90 bis 110 m zum Kreuzungspunkt der Brücke. Diese Startpositionen variierten längs zum Ziel in 5 m Schritten. Auch seitlich zum Kreuzungspunkt der Brücke wurde die Startposition in 5 m Schritten variiert, um jeweils 10 m nach links und rechts. Es gab also für jede Startrichtung 20 mögliche Startpositionen, da sie nie in Verlängerung der Brücke starteten (siehe Abbildung 2.4). Die Versuchspersonen bewegten sich mit einer Geschwindigkeit von 15 m/s vorwärts.

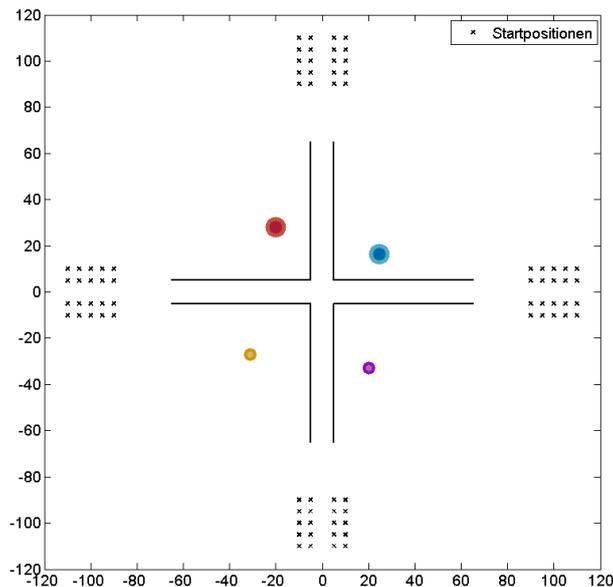


Abbildung 2.4: Alle möglichen Startpositionen aus allen vier Startrichtungen

2.3 Versuchsablauf und Versuchsdesign

In diesem Abschnitt werden die zwei Phasen des Experiments erklärt. Vor dem Versuch las die Versuchsperson eine Versuchsbeschreibung durch, auf der das Ziel der Studie nicht erklärt wurde. Während der ersten Durchgänge konnten offene Fragen geklärt werden. Der Versuchsperson wurde das Rumpftarget um den Bauch gelegt und das HMD mit Kopftarget aufgesetzt. Während des Versuchs, sollte sich die Versuchsperson nur drehen und nicht laufen, damit die beiden Targets möglichst gut von den Kameras erkannt wurden. Vor jedem Durchgang wurde die Versuchsperson vom Versuchsleiter mit dem Rücken zum See gedreht, damit alle Versuchspersonen bei jedem Durchgang die gleichen Bedingungen hatten.

2.3.1 Lernphase

Die Lernphase umfasste 12 Durchgänge, drei aus jeder Himmelsrichtung. Der Versuchsperson wurde vor jedem dieser Durchgänge die Zielbeschreibung auf dem Bildschirm präsentiert, das sie finden sollte (siehe Abbildung 2.5). In der Lernphase befand sich das Ziel entweder rechts oder links vom See. Diese Zielangaben bezogen sich immer auf die aktuelle Startposition. Die Versuchsperson wurde instruiert immer über die Brücke zu gehen ohne ins Wasser zu fallen, um zum Ziel zu gelangen. Sobald sie das Ziel erreicht hatten, begann der nächste Durchgang. Während acht Durchgängen der Lernphase, konnten die Versuchspersonen die Grünfläche, den See, die Brücke, die Landmarken und auch den Horizont sehen, um sich zu orientieren.



Abbildung 2.5: Zielbeschreibung der Testphase auf dem Bildschirm, die vor jedem Durchgang zu sehen war.

Es gab vier Durchgänge, aus jeder Himmelsrichtung einen, bei denen die komplette virtuelle Umgebung mit Nebel überdeckt war und nur noch die Landmarken zu sehen waren (siehe Abbildung 2.6). Durch den Nebel, war die Horizontkante nicht mehr erkennbar. Während die Durchgänge ohne Nebel dazu dienten, dass sich die Versuchsperson die Umgebung einprägen konnte, waren die Durchgänge mit Nebel zur Vorbereitung auf die Testphase da. Vergaß eine Versuchsperson ihr Ziel, wurde ihr gesagt, dass sie in eine Landmarke steuern sollte. Dabei wurde sie an die letzte Startposition zurückgesetzt und ihr Ziel erschien erneut. Das Lernen erfolgte inzidentell, den Versuchspersonen wurde also nicht gesagt, worauf sie achten müssen, um die Aufgabe später gut lösen zu können.

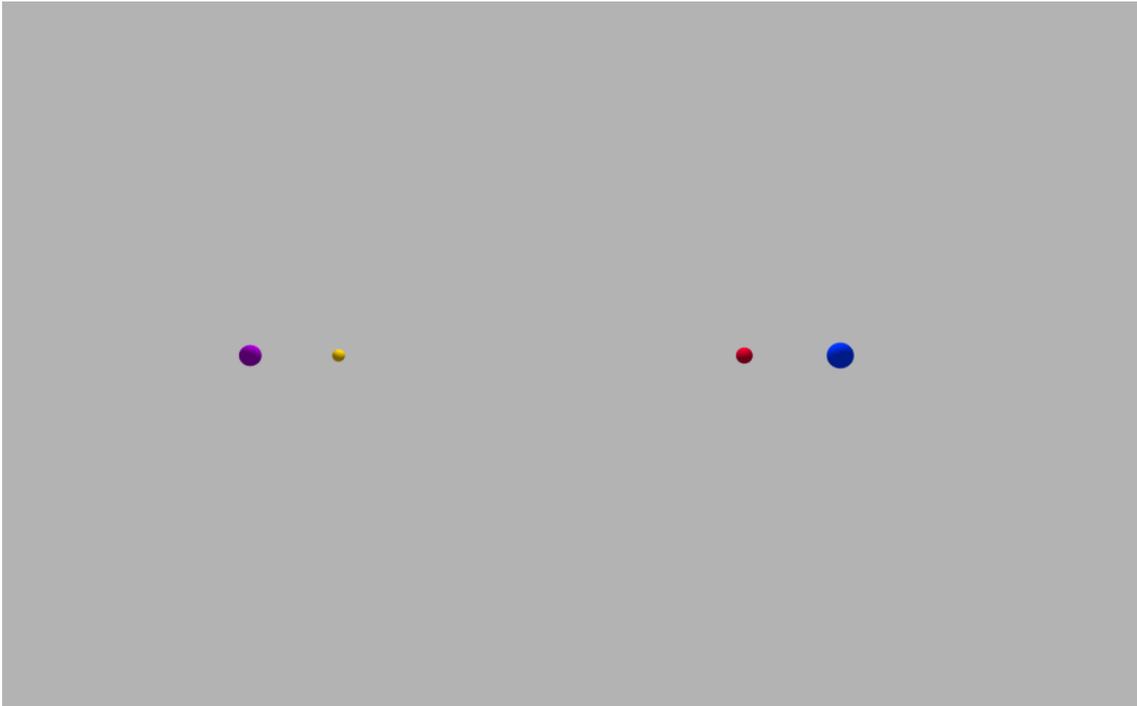


Abbildung 2.6: Virtuelle Umgebung mit Nebel überdeckt während der Testphase. In der Nebelbedingung ist die Horizontkante nicht mehr sichtbar und deshalb kann das Verhältnis von Horizont zu Objekt nicht mehr als Mittel zur Distanzbestimmung verwendet werden.

2.3.2 Testphase

Direkt im Anschluss an die Lernphase begann die Testphase. In der Testphase gab es 48 Durchgänge, bei denen die Startrichtungen der Himmelsrichtung austariert waren. In der Testphase wurde den Versuchspersonen die neue Zielbeschreibung auf dem Bildschirm präsentiert. Das Ziel war in dieser Phase immer der Kreuzungspunkt der Brücke. Die Probanden mussten das Erreichen des Ziels, die sogenannten Entscheidungspunkte, in der Testphase selber durch das Drücken der mittleren Maustaste bestätigen. Zur Orientierung dienten nur die Landmarken. Der Rest der virtuellen Umgebung war durch einen grauen Nebel verdeckt, der keine Hinweisreize bot. Während der Testphase wurden die rote und die blaue Landmarke im Vergleich zur Lernphase um 15 % vergrößert, während die gelbe und magentafarbene Landmarke um 15 % verkleinert wurden. Auch in der Testphase wurden die Probanden an die letzte Startposition zurückgesetzt, wenn sie sich einer Landmarke zu sehr näherten.

2.3.3 Kontrollversuch

Die Kontrollgruppe machte den Versuch am PC. Sie hatten ebenfalls die Lernphase, wie die Experimentalgruppe. In der Testphase wurden die Landmarkengrößen jedoch nicht manipuliert. Ansonsten unterschied sich der Versuch nicht.

2.4 Datenerhebung und Auswertung

Während des Versuchs wurde ständig die Position und Blickrichtung der Versuchsperson aufgezeichnet. Es wurden Entscheidungspunkte einzelner Versuchspersonen ausgeschlossen, die sich außerhalb des Vierecks der vier Landmarken befanden und somit durch versehentliches Drücken entstanden waren. Des Weiteren wurde die Blickausrichtung in Grad und die Zeit in Millisekunden erhoben. Die Auswertung erfolgte mit Matlab® R2013a und IBM® SPSS® Statistics 21. Alle Tests wurden mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ durchgeführt.

3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Entscheidungspunkte der Versuchspersonen, die Ausrichtung der ersten Hauptachse der Fehlerellipse und die Entscheidungspunkte aus den jeweiligen Startrichtungen ausgewertet. Außerdem veranschaulicht eine Heatmap mit den Trajektorien aller Versuchspersonen die Laufwege der Versuchspersonen während der Testphase.

3.1 Entscheidungspunkte

Die Entscheidungspunkte jeder Versuchsperson wurden als Maß für die Navigationsleistung erfasst und ausgewertet.

Durch die Manipulation der Landmarkengrößen, wurde ein theoretischer Kreuzungspunkt errechnet, der den Landmarkengrößen am Kreuzungspunkt der Brücke in der Lernphase entsprach. Mit folgender Formel wurde der theoretische Kreuzungspunkt errechnet.

$$\operatorname{argmin}_x \sum_{i=0}^4 (\alpha_i(0) - \alpha_i(x))^2$$

α_i : Sichtwinkel der Landmarke i an Position x

Der theoretische Kreuzungspunkt lag bei $(-1.0652, -7.1813)$. Bei einem Vergleich der Daten der Experimental- und Kontrollgruppe zeigte sich bei der Experimentalgruppe eine Verschiebung in Richtung Süden. Mit einem Hotelling-Test wurde bestätigt, dass der Unterschied der Entscheidungspunkte der Kontrollgruppe zu dem Kreuzungspunkt der Brücke $(0, 0)$ signifikant ist, $F(2,18) = 9.655$, $p = .0014$. Der mittlere Entscheidungspunkt (M) der Entscheidungspunkte aller Versuchspersonen der Kontrollgruppe ($M = (-1.197, -2.910)$) wich vom Kreuzungspunkt der Brücke ab. Diese mittlere Abweichung, in Richtung der weiterentfernten gelben Landmarke, bezeichneten wir als Bias. Um festzustellen, ob die Versuchspersonen der Experimentalgruppe den gleichen Bias aufwiesen wie die Kontrollgruppe, wird ein weiterer theoretischer Kreuzungspunkt errechnet. Die Länge

und Richtung des Bias, den die Kontrollgruppe zeigte, wurde auf den errechneten theoretischen Kreuzungspunkt addiert. Dieser errechnete theoretische Kreuzungspunkt mit Bias lag bei (-2.1778, -9.9898).

Die Kontrollgruppe war näher am Kreuzungspunkt der Brücke als die Experimentalgruppe. Der mittlere Entscheidungspunkt aller Entscheidungspunkte der Experimentalgruppe ($M = (-2.262, -8.324)$) war näher am errechneten theoretischen Kreuzungspunkt der Brücke als am Kreuzungspunkt der Brücke. Mit einem Hotelling-Test wurde untersucht, ob sich die Entscheidungspunkte der Experimental- und der Kontrollgruppe signifikant von den Kreuzungspunkten der Brücke unterscheiden. Zum Kreuzungspunkt der Brücke unterschieden sich die Entscheidungspunkte der Experimentalgruppe signifikant, $F(2,18) = 102.276, p < .0001$. Ebenfalls signifikant war der Unterschied der Entscheidungspunkte zwischen der Experimentalgruppe und dem theoretischen Kreuzungspunkt $F(2,18) = 4.434, p = .027$, sowie die Entscheidungspunkte der Experimentalgruppe zum theoretischen Kreuzungspunkt mit Bias, $F(2,18) = 95.117, p < .0001$. Die Entscheidungspunkte der Experimental- und der Kontrollgruppe zeigten beim Hotelling Test einen signifikanten Unterschied, $F(2,37) = 21.843, p < .0001$ (siehe Abbildung 3.1). Des Weiteren wurde ein gepaarter T-Test für die mittleren Abweichungsfehler zwischen den Mittelwerten zum theoretischen Kreuzungspunkt und für die mittleren Abweichungsfehler zwischen den Mittelwerten zum theoretischen Kreuzungspunkt mit Bias berechnet (Abbildung 3.3). Diese mittleren Abweichungsfehler unterschieden sich nicht signifikant voneinander, $p = .702$.

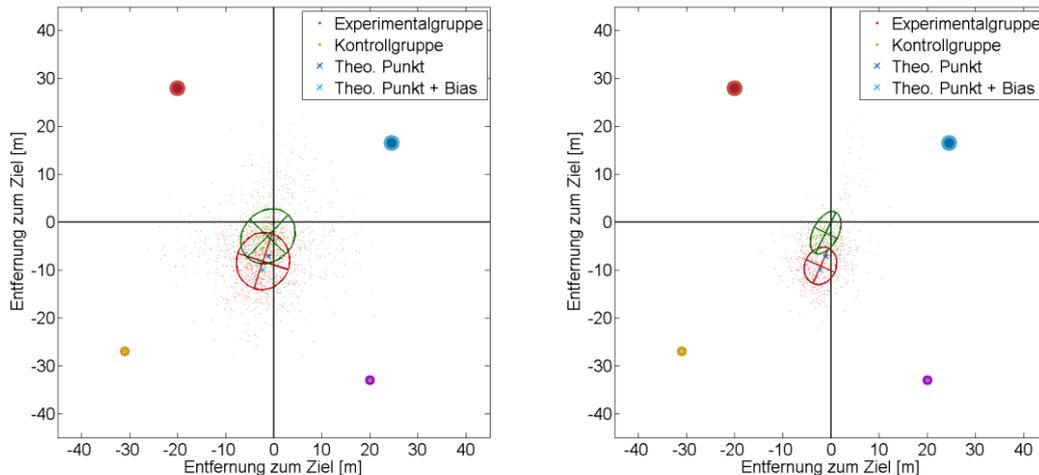


Abbildung 3.1: Entscheidungspunkte aller Versuchspersonen der Experimental- und Kontrollgruppe mit Fehlerellipse (links). Die verschiedenfarbigen Punkte symbolisieren die Landmarken. Der dunkle Kreis steht dabei für die Größe vor der Manipulation, während die hellen Kreise die Manipulation der Landmarken darstellt (rot und blau um 15 % vergrößert, gelb und magenta um 15 % verkleinert). Die Entscheidungspunkte der Experimentalgruppe zeigen im Mittel eine Verschiebung in Richtung Süden. Entscheidungspunkte der 50 % besten Versuchspersonen der Experimental- und Kontrollgruppe mit Fehlerellipse (rechts).

Um den Weg, den die Versuchspersonen in der Testphase abgelaufen sind, nachzuvollziehen, wurden Heatmaps mit Trajektorien erstellt. Die Heatmap wurde in 1 m² große Bereiche eingeteilt. Die Häufigkeit, in der die Versuchspersonen diese Bereiche besuchten, wurde in einer Heatmap dargestellt. Die Versuchspersonen folgten dem Verlauf der Brücke, außer aus der Startrichtung Ost. Dort befand sich ein großer Anteil der Trajektorien neben der Brücke. Sie tendierten dazu aus dieser Startrichtung die Landmarken in blau und magenta mittig zu durchqueren, um den Zielort anzulaufen (siehe Abbildung 3.2). Die Bereiche mit der größten Häufigkeit spiegelten auch die Lage der Fehlerellipsen der Entscheidungspunkte beider Gruppen wieder.

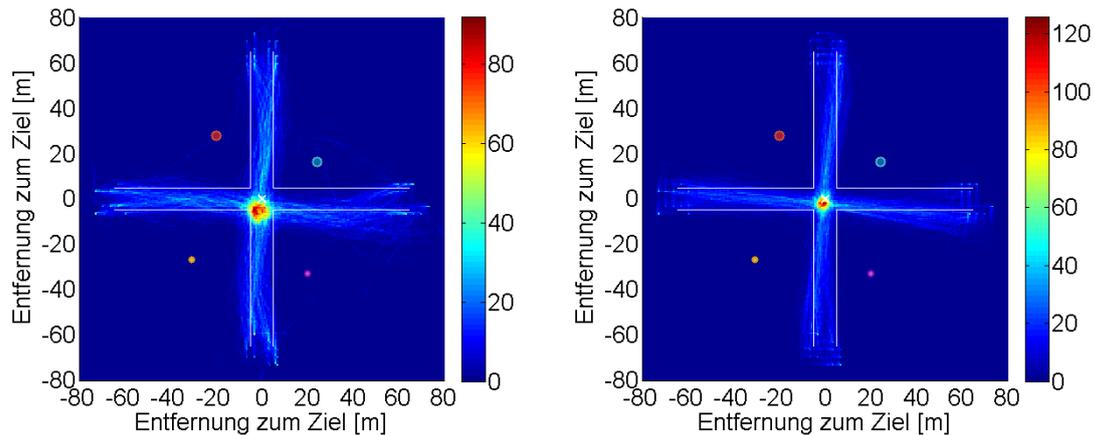


Abbildung 3.2: Heatmap der Trajektorien aller Versuchspersonen der Experimentalgruppe (links) und Kontrollgruppe (rechts). Die Brücke und die Brückenmitte (Kreuz) wurden in der Farbe Weiß eingezeichnet.

Um die Auswirkungen der Performance zu untersuchen, wurden für die zehn besten Versuchspersonen der Experimental- und Kontrollgruppe mit der geringsten Streuung, also den kleinsten Hauptachsen, ebenfalls Hotelling Tests zu den Kreuzungspunkten der Brücke durchgeführt. Bei den zehn besten Versuchspersonen der Kontrollgruppe zeigte sich kein signifikanter Unterschied zum Kreuzungspunkt der Brücke, $F(2,8) = 1.424$, $p = .296$. Aber ein Test auf Binomialverteilung mit einem Testanteil von 25 % zeigte, dass signifikant mehr mittlere Entscheidungspunkte der Versuchspersonen im dritten Quadranten lagen, $p < .001$ (siehe Abbildung 3.3). Für die Experimentalgruppe ergab sich für die zehn besten Versuchspersonen weder zum theoretischen Kreuzungspunkt ($F(2,8) = 2.879$, $p = .114$), noch zum theoretischen Kreuzungspunkt mit Bias ($F(2,8) = 0.893$, $p = .447$) ein signifikanter Unterschied (siehe Abbildung 3.1).

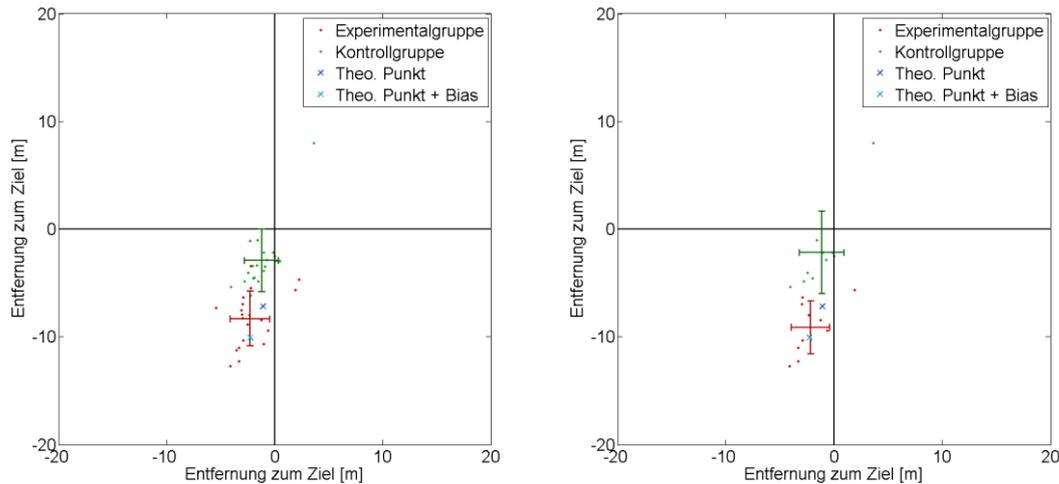


Abbildung 3.3: Mittlere Entscheidungspunkte aller Versuchspersonen der Experimental- und Kontrollgruppe mit Standardabweichung in x- und y-Richtung (rechts). Die Standardabweichung der Experimentalgruppe liegt bei (1.578, 2.891) und bei der Kontrollgruppe bei (1.821, 2.536). Die mittleren Entscheidungspunkte der zehn besten Versuchspersonen der Experimentalgruppe (SD = (1.762, 2.457)) und der Kontrollgruppe (SD = (2.078, 3.822)) mit Standardabweichung in x- und y-Richtung (rechts).

Um zu untersuchen, wieso es in beiden Gruppen einen Versatz des mittleren Entscheidungspunktes gab, wurden die Distanzverhältnisse der gegenüberliegenden Landmarken zum Kreuzungspunkt der Brücke für die Kontrollgruppe bzw. zum theoretischen Kreuzungspunkt für die Experimentalgruppe berechnet (Abbildung 3.4). Ebenfalls wurde das wahrgenommene Distanzverhältnis der Versuchspersonen berechnet. Bei der Experimentalgruppe wurde dabei das Distanzverhältnis vom theoretischen Kreuzungspunkt errechnet, da dort die retinale Größe der Landmarken der Größe der Landmarken am Kreuzungspunkt der Brücke entsprach. Mit einem gepaarten T-Test wurde gezeigt, dass es bei der Experimentalgruppe für die Landmarken rot und magenta zu keiner Unterschätzung der am weitesten entfernten Landmarke kommt, $p = .438$. Das wahre Distanzverhältnis von 1.199 der Landmarken rot und magenta unterschied sich nicht signifikant vom wahrgenommenen Distanzverhältnis von 1.216. Für die Landmarken blau und gelb gab es bei der Experimentalgruppe jedoch einen signifikanten Unterschied des wahren Distanzverhältnisses von 0.971 und dem wahrgenommenen Distanzverhältnisses von 1.07, $p = 0.005$. Die Versuchspersonen unterschätzten die Distanz der am weitest entfernten gelben Landmarke. Bei der Kontrollgruppe gab es für die Landmarken blau und gelb ($p < .0001$)

und für Landmarken rot und magenta ($p < .0001$) einen signifikanten Unterschied. Das wahre Distanzverhältnis von 0.719 der Landmarken blau und gelb wurde bei den Versuchspersonen der Kontrollgruppe beim wahrgenommenen Distanzverhältnis von 0.84 für die gelbe Landmarke unterschätzt. Der Distanzunterschied vom Kreuzungspunkt der Brücke zur roten und magentafarbenen Landmarken ist gering, sodass die Versuchspersonen die Distanzen als gleich wahrnehmen. Ein gepaarter T-Test der wahrgenommenen Verhältnisse von 0.983 gegen das Verhältnis von 1 bestätigte diese Aussage, $p = .524$.

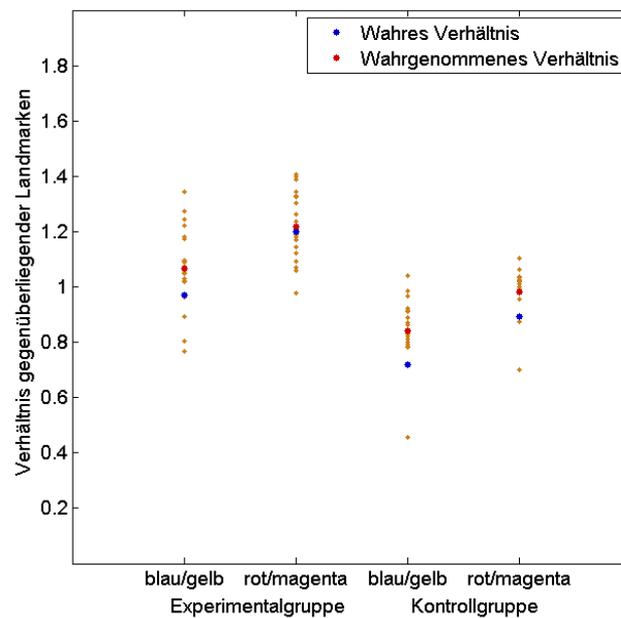


Abbildung 3.4: wahres Distanzverhältnis (blau) gegenüberliegender Landmarken verglichen mit dem wahrgenommenen Distanzverhältnis (rot) dieser Landmarken. Das Distanzverhältnis zwischen den Landmarken rot und magenta wurde von der Experimentalgruppe am besten eingeschätzt.

3.2 Ausrichtung der Hauptachsen

Um die Ausrichtung der Fehlerellipsen zu testen, wurde für jede Versuchsperson die erste Hauptachse der Fehlerellipsen verwendet und der Winkel dieser im Koordinatensystem berechnet. Diese Hauptachsen wurden zusammen mit den Landmarken in einem Schaubild abgebildet (siehe Abbildung 3.5). Um herauszufinden, ob die Hauptachsen der Fehlerellipsen in Richtung zweier gegenüberliegender Landmarken ausgerichtet sind, wurde die Umgebung in vier Sektoren unterteilt. Der Winkel zwischen zwei nebeneinanderliegenden Landmarken wurde halbiert, um die Sektoren zu unterteilen. Über die Winkel konnten die Hauptachsen eindeutig Sektoren zugewiesen werden. Ein Test auf Binomialverteilung mit einer Testverteilung von 50 % zeigte weder für die Experimental- ($p = 1$) noch für die Kontrollgruppe ($p = .268$) eine Ausrichtung der Hauptachsen in Richtung zweier gegenüberliegender Sektoren.

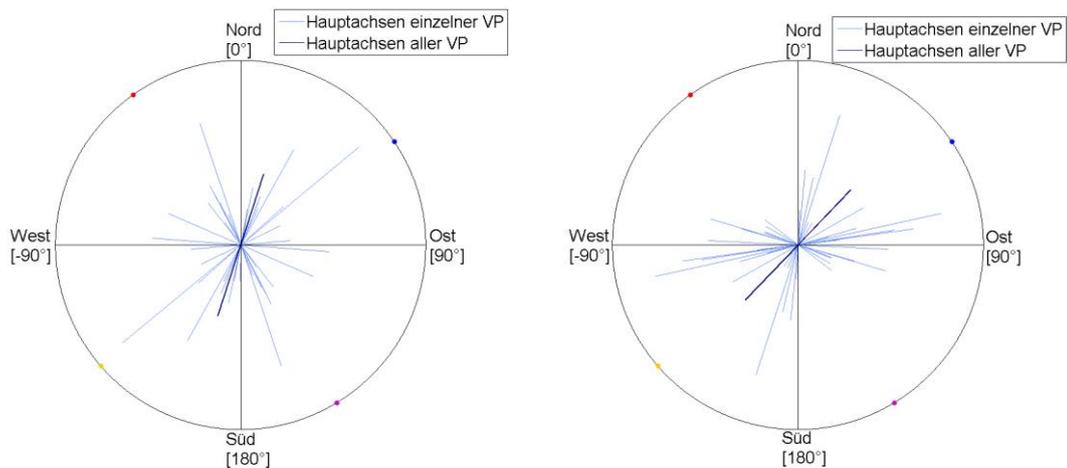


Abbildung 3.5: Die Hauptachsen wurden jeweils für positive und negative Winkel abgetragen. Die Hauptachsen der Fehlerellipsen einzelner Versuchspersonen (hellblau) der Experimentalgruppe, mittlere Hauptachse aller Versuchspersonen (dunkelblau) der Experimentalgruppe (links). Hauptachsen der Fehlerellipsen einzelner Versuchspersonen (hellblau) der Kontrollgruppe, mittlere Hauptachsen aller Versuchspersonen (dunkelblau) der Kontrollgruppe (rechts).

Da in Abbildung 3.1 der zehn besten Versuchspersonen die Fehlerellipsen im Vergleich zu allen Versuchspersonen gestreckt wirkten, wurde auch hierfür getestet, ob es eine Ausrichtung der Hauptachsen in Richtung zweier gegenüberliegender Landmarken gibt. Genauso wie bei allen Versuchspersonen, gab es auch bei den Hauptachsen der zehn besten Versuchspersonen weder für die Experimental. ($p = .824$) noch für die Kontrollgruppe ($p = 1$) eine signifikante Ausrichtung in Richtung zweier gegenüberliegender Landmarken (siehe Abbildung 3.6).

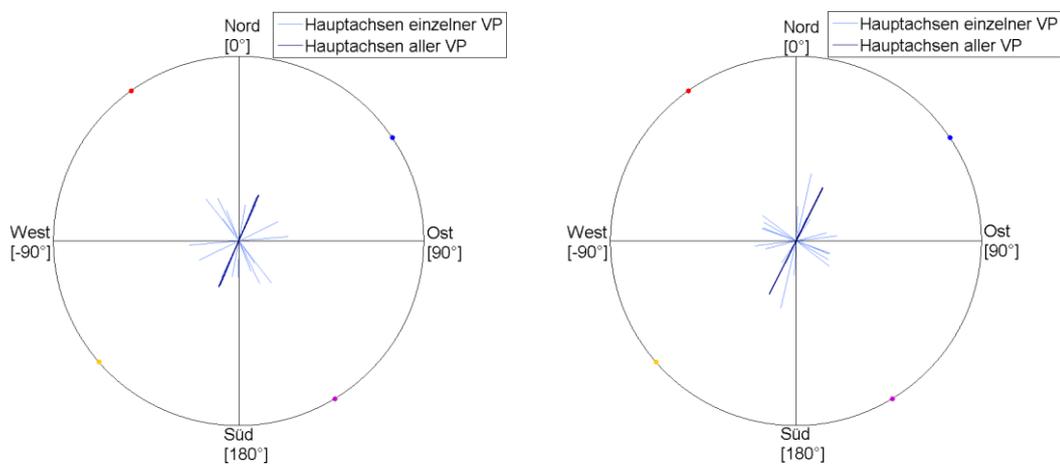


Abbildung 3.6: Ausrichtung der Hauptachsen der Fehlerellipsen der zehn besten Versuchspersonen. Die vier Landmarken sind auf dem Kreis abgebildet. Die Hauptachsen aller Versuchspersonen (hellblau) der Experimentalgruppe, mittlere Hauptachse der Fehlerellipse aller Versuchspersonen (dunkelblau) der Experimentalgruppe (links). Die Hauptachsen aller Versuchspersonen (hellblau) der Kontrollgruppe, mittlere Hauptachse der Fehlerellipse aller Versuchspersonen (dunkelblau) der Kontrollgruppe (rechts).

Mit einem ungepaarten T-Test wurde noch getestet, ob es einen Unterschied zwischen den summierten Achsenlängen der ersten und zweiten Hauptachse aller Versuchspersonen und den Achsenlängen der besten zehn Versuchspersonen gibt (Abbildung 3.7). Für die Experimentalgruppe ergab sich kein signifikanter Unterschied, $p = .578$. Für die Kontrollgruppe ergab sich jedoch ein signifikanter Unterschied der Achsenlängen, $p = .022$.

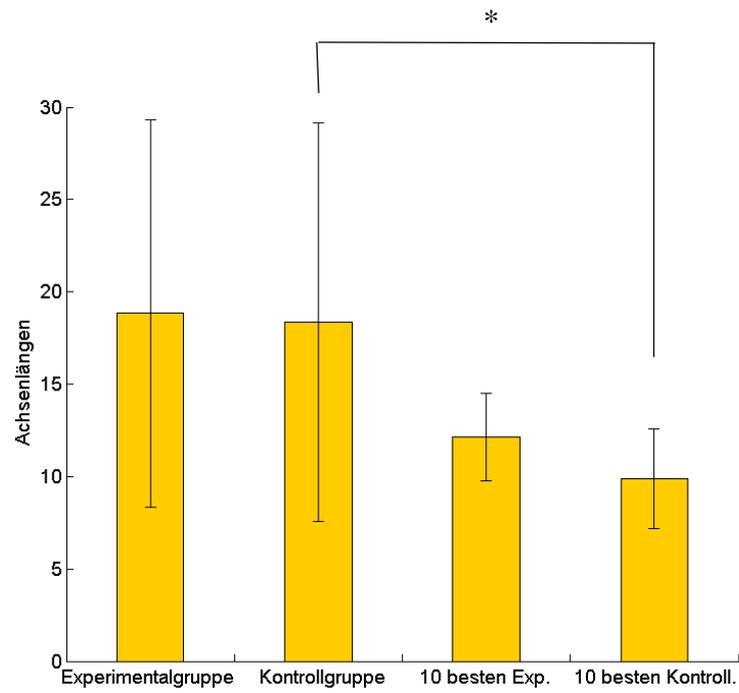


Abbildung 3.7: Achsenlängen mit Standardabweichung für die Experimental- und Kontrollgruppe, sowie für die besten zehn Versuchspersonen der Experimental- und der Kontrollgruppe.

3.3 Startpositionen

Bei jedem Durchgang starteten die Versuchspersonen aus vier unterschiedlichen Himmelsrichtungen, Nord, Ost, Süd und West. Um herauszufinden, ob die mittleren Entscheidungspunkte der Versuchspersonen in die entsprechende Startrichtung verschoben waren, wurden Hotelling-Tests für die gegenüberliegenden Startrichtungen durchgeführt. Für die Mittelwerte jeder Versuchsperson der Experimentalgruppe ergaben sich für die Startrichtungen Nord ($M_{nord} = (-1.776, -6.926)$) und Süd ($M_{süd} = (-2.284, -10.811)$) kein signifikanter Unterschied der mittleren Entscheidungspunkte, $F(2,18) = 2.866, p = .0831$. Für die Startrichtungen Ost ($M_{ost} = (-0.641, -8.461)$) und West ($M_{west} = (-4.389, -8.089)$) gab es ebenfalls keinen signifikanten Unterschied der mittleren Entscheidungspunkte, $F(2,18) = 2.22, p = .138$ (siehe Abbildung 3.8). Für die Mittelwerte jeder Versuchsperson der Kontrollgruppe ergaben sich für die Startrichtungen Nord ($M_{nord} = (-1.413, 0.592)$) und Süd ($M_{süd} = (-0.361, -5.328)$) ein signifikanten Unterschied, $F(2,18) = 7.989, p = .003$. Ebenfalls gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den Startrichtungen Ost ($M_{ost} = (2.645, -3.168)$) und West ($M_{west} = (-5.469, -3.784)$), $F(2,18) = 8.072, p = .003$.

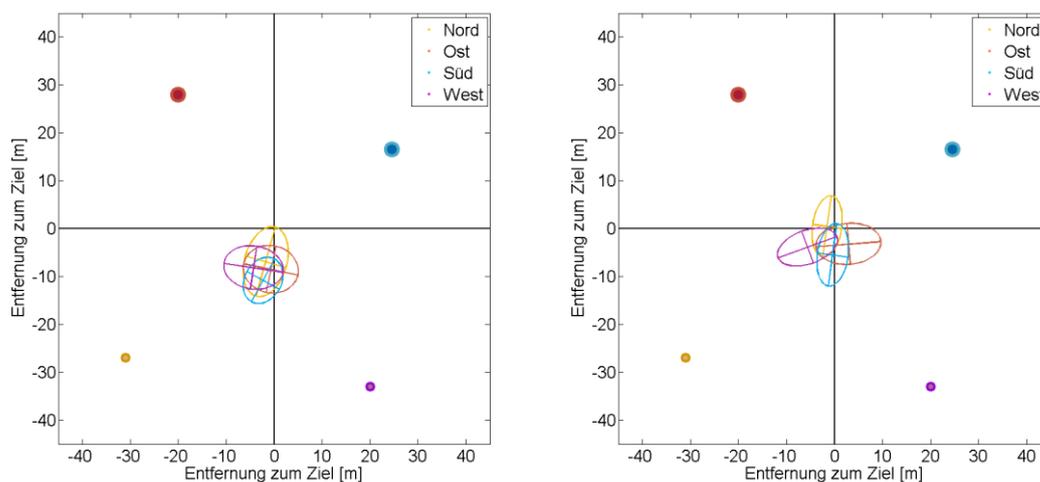


Abbildung 3.8: Fehlerellipsen der Entscheidungspunkte für die jeweiligen Startrichtungen aller Versuchspersonen der Experimentalgruppe (links) und Kontrollgruppe (rechts).

4 Diskussion

In dieser Arbeit sollte untersucht werden, ob für die Ortserkennung die Distanzinformation auch bei einem Versuch mit HMD eine größere Rolle spielt als die Winkelinformation zwischen den Landmarken. Die Ergebnisse zwischen den Entscheidungspunkten der Experimental- und der Kontrollgruppe zeigen einen signifikanten Unterschied. Das heißt, durch die Manipulation der Landmarkengröße verschieben sich die Entscheidungspunkte der Experimentalgruppe, die während des Versuchs mit einem HMD in der virtuellen Welt navigierten, signifikant in Richtung des theoretischen Kreuzungspunktes, an dem die retinale Größe der Landmarken mit der Größe der Landmarken am Kreuzungspunkt der Brücke während der Lernphase übereinstimmt. Dieses Ergebnis ist vergleichbar mit den Ergebnissen der Bachelorarbeit von Dorer (2013). Das spricht für eine untergeordnete Rolle der Winkelinformation zwischen den Landmarken, wie bei Waller, Loomis, Golledge und Beall (2000) für nicht orthogonale Beziehung zu Landmarken und für von Landmarken umschlossene Ziele. Bei der Kontrollgruppe bleiben die Distanz- bzw. Größeninformation der Landmarken und die Winkel zwischen den Landmarken am Zielort in der Testphase im Vergleich zur Lernphase unverändert. Jedoch zeigt sich bei der Kontrollgruppe eine Verschiebung in Richtung der vom Kreuzungspunkt der Brücke am weitesten entfernten Landmarke. Im Gegensatz zu dem Experiment am PC (Dorer, 2013), unterschieden sich in dieser Studie die mittleren Entscheidungspunkte vom theoretischen Kreuzungspunkt mit Bias. Jedoch wichen sie auch, über den theoretischen Kreuzungspunkt hinaus, ab. Also lagen sie genau zwischen den beiden berechneten theoretischen Kreuzungspunkten. Dies könnte daraufhin deuten, dass die Versuchspersonen mit HMD durch die zusätzliche Information der Ausrichtung des eigenen Körpers und Kopfes die virtuelle Umgebung als *spatial image* repräsentiert haben könnten und dieses durch *spatial updating* aktualisiert wird, was zu einer genaueren Information der Eigenposition und der Lage der umgebenden Objekte führt (Loomis, Klatzky & Giudice (2013). Die Lage der mittleren Entscheidungspunkte der Experimentalgruppe lässt zwei Schlussfolgerungen zu. Der Bias, den die Versuchspersonen mit HMD zeigen, wurde kleiner oder die Winkelinformation zwischen den Landmarken war durch die propriozeptorische Information der Körperlage verbessert. Um zu sehen, ob der Bias kleiner geworden ist, könnte die Kontrollgruppe mit HMD getestet werden.

Da die Versuchspersonen eine hohe Streuung der Entscheidungspunkte aufwiesen, wurden aus beiden Gruppen die jeweils 50 % der Versuchspersonen bestimmt, die die kleinste Streuung aufwiesen. Für diese Versuchspersonen lässt sich vermuten, dass sie aufgrund der Konsistenz in ihren Entscheidungspunkten eine besser verfügbare und genauere mentale Repräsentation der virtuellen Umgebung hatten. Ein Hotelling-Test zeigte, dass die Ergebnisse der zehn besten Versuchspersonen aus der Kontrollgruppe keinen signifikanten Unterschied zum Kreuzungspunkt der Brücke zeigten, wobei ein Verteilungstest verdeutlichte, dass die mittleren Entscheidungspunkte der Versuchspersonen im Quadranten des systematischen Fehlers lagen. Das deutet daraufhin, dass der Ausreißer aus dem ersten Quadranten des Koordinatensystems (siehe Abbildung 3.3) die Varianz des kleineren Datensatzes so vergrößerte, so dass keine Signifikanz zum Kreuzungspunkt der Brücke mehr festgestellt wurde. Bei der Experimentalgruppe gibt es keinen Unterschied zwischen den Entscheidungspunkten aller Versuchspersonen und der zehn besten, da auch hier der mittlere Entscheidungspunkt zwischen dem theoretischen Kreuzungspunkt und dem theoretischen Kreuzungspunkt mit Bias.

Um mehr über den systematischen Fehler, den beide Versuchsgruppen machten, herauszufinden, wurden die Distanzverhältnisse zwischen den gegenüberliegenden Landmarken berechnet. Bei der Kontrollgruppe wurden die Distanzverhältnisse falsch eingeschätzt. Diese fehlerhafte Einschätzung könnte die Ursache für den systematischen Fehler sein. Bei der Experimentalgruppe wird nur das Distanzverhältnis von blau und gelb falsch eingeschätzt. Das könnte ein Grund dafür sein, dass die Experimentalgruppe weniger weit abgewichen ist als beim Experiment von Dorer (2013), also der Bias sich verringert hat, aufgrund der Einschätzung der Distanzverhältnisse. Die Ergebnisse zeigen jedoch eine bessere Abschätzung in der Experimentalgruppe für die Distanzen zu den Landmarken rot und magenta. Das tatsächliche Distanzverhältnis unterscheidet sich also nicht von dem mittleren Distanzverhältnis aller Versuchspersonen der Experimentalgruppe. Das könnte darauf hinweisen, dass durch das HMD die Versuchspersonen mit Hilfe einer *spatial image* Repräsentation die Lage der Landmarken in der virtuellen Umgebung besser einschätzen können und somit deren Distanz besser wiedergaben.

Durch eine höhere Salienz einer Landmarke, könnten die Versuchspersonen weniger Informationen über die restlichen Landmarken abspeichern. Die Salienz der Landmarken wurde in der Bachelorarbeit von Gross (2013) getestet. Die Farben wurden bei gleicher Landmarkenkonfiguration um 180° gedreht. Es ergab sich ebenfalls ein systematischer

Fehler in Richtung der am weitesten entfernten Landmarke. Die Farbe der Landmarken kann somit nicht für die fehlerhafte Einschätzung der Distanzen verantwortlich gemacht werden. Das korrekte Einschätzen von Distanzen wurde von Gilinsky (1951) untersucht, in dem Distanzen variiert wurden, die Versuchspersonen einschätzen sollten. Die Ergebnisse zeigten, dass längere Distanzen zu einer stärker werdenden Unterschätzung führen. Um eine grundsätzliche Unterschätzung der Distanzen zu untersuchen, wurden die Entscheidungspunkte aus jeder Startrichtung ermittelt. Die Versuchspersonen mit HMD zeigen auch hier eine bessere Abschätzung, für die Kontrollgruppe zeigt sich, dass die Versuchspersonen zu kurz laufen, unterschätzen also hier die Distanz zum Ziel, so dass sich ein Unterschied für die Entscheidungspunkte zwischen den gegenüberliegenden Startrichtungen Nord und Süd und Ost und West ergibt. Dies lässt keine Rückschlüsse auf die Unterschätzung der Distanzen zu den Landmarken zu, dafür müsste man die letzte Blickrichtung der Versuchsperson mit der Distanz zu einer sichtbaren Landmarke pro Durchgang vergleichen.

Wie in Abbildung 3.1 zu sehen ist, ist die Fehlerellipse der Experimentalgruppe im Vergleich zur Fehlerellipse der Kontrollgruppe gedreht. Um die Ursache für diese Drehung herauszufinden, wurde die Ausrichtung der Hauptachse jeder Versuchsperson berechnet und in Abbildung 3.5 dargestellt. Für die Experimentalgruppe lässt sich deutlich erkennen, dass es keine einheitliche Ausrichtung gibt. Auch für die Kontrollgruppe konnte keine Ausrichtung in die Richtung zweier gegenüberliegender Landmarken festgestellt werden. Das zeigt, dass die Streuung der Entscheidungspunkte der Versuchspersonen nicht in Richtung zweier gegenüberliegender Landmarken verteilt war. Abbildung 3.1 lässt vermuten, dass die zehn besten Versuchspersonen der beiden Versuchsgruppen, durch die leicht gestreckten Fehlerellipsen, eine Ausrichtung der Fehlerellipsen in Richtung zweier gegenüberliegender Landmarken zeigen. Doch auch die in Abbildung 3.6 abgetragenen Hauptachsen der zehn besten Versuchspersonen, konnte kein Unterschied zwischen den Ausrichtungen rot/magenta und blau/gelb festgestellt werden. Die leicht irreführende Fehlerellipse, vor allem bei den zehn besten der Kontrollgruppe könnte durch die kleine Stichprobe erklärt werden. Dies könnte bedeuten, dass die Kovarianzen der Versuchspersonen nicht von den Distanzen vom Ziel zu den Landmarken abhängen.

Die Ergebnisse des ungepaarten T-Tests der Achsenlängen der Fehlerellipse deuten auch nochmal auf die bessere Performance der Versuchspersonen mit HMD hin. So ergibt

sich für die Kontrollgruppe ein signifikanter Unterschied zwischen allen Versuchspersonen und den zehn besten Versuchspersonen, jedoch kein signifikanter Unterschied für die Experimentalgruppe.

Die Ergebnisse lassen sich schwer für das Schnappschuss-Modell interpretieren. Die Informationen von Winkelunterschieden und Größen- bzw. Distanzunterschieden waren unterschiedlich gut verfügbar. Dadurch, dass vom Kreuzungspunkt der Brücke nicht mehr als eine Landmarke im Sichtfeld zu sehen war und somit die Winkelinformation nur über die Rotation des Kopfes und Körpers bzw. das Schwenken per Maus verfügbar war, jedoch nicht als visuelle Information. Nach Cartwright und Collet (1982) hat die räumliche Beziehung der Landmarken zueinander einen größeren Einfluss auf die Ortserkennung als die Größe der Landmarken. In ihrem Experiment mit Honigbienen wurden drei Landmarken verwendet - da sie über ein Sichtfeld von 280° verfügen (Stürzl, Boeddeker, Dittmar & Egelhaaf, 2010), befanden sich alle Landmarken stets im Sichtfeld. Die Honigbienen wurden stärker durch Änderungen der Relationen der Landmarken zueinander beeinflusst, als durch Änderungen der Größe der Landmarken. Die Annahme eines panoramischen Schnappschusses beim Menschen würde eine visuelle Repräsentation aus Gedächtnisinhalten voraussetzen, was in dieser Studie dazu geführt hätte, dass die Winkel zwischen den Landmarken, vom Betrachter aus gesehen, einen größeren Einfluss auf die Zielfindung gehabt hätten. Dadurch, dass sich stets nur eine Landmarke im Sichtfeld befand, ist ein Schnappschuss basierend auf dem Sichtfeld des Menschen weiterhin vorstellbar, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Winkelinformation einen größeren Einfluss hat, wenn diese Information zwischen Landmarken visuell sichtbar ist, wie von Cartwright und Collet beschrieben.

Um weiter die Wichtigkeit der Distanzinformation zu untersuchen, könnte der Versuchsaufbau so verändert werden, dass die Information über die Winkel zwischen den Landmarken leichter verfügbar ist. Für die Untersuchung der Navigation via nicht-panoramischem Schnappschuss könnte durch eine Landmarkenkonfiguration gewählt werden, bei der vom Kreuzungspunkt der Brücke aus zwei Landmarken im Sichtfeld zu sehen sind.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass für die Ortserkennung beim Menschen die retinale Größe bzw. die Distanzinformation einen größeren Einfluss hat, als die räumliche Beziehung der Landmarken zueinander. Aber wir vermuten, dass

beim HMD-Experiment durch *spatial updating* die Lage der Objekte genauer repräsentiert ist und deswegen der Einfluss der Zielfindung durch die Distanzbestimmung mittels der retinalen Größe der Landmarken geringer wird.

Literaturverzeichnis

- Biegler R., & Morris R. G. M. (1993). Landmark stability is a prerequisite for spatial but not discrimination learning. *Nature*, *632*, 631-633.
- Cartwright B. A., & Collet T. S. (1982). How honey bees use landmarks to guide their return to a food source. *Nature*, *295*, 560 - 564.
- Cartwright B. A., & Collet T. S. (1983). Landmark learning in bees. *Journal of Comparative Physiology*, *151*, 521-543.
- Cheng K. (1986). A purely geometric module in the rat's spatial representation. *Cognition*, *23*, 149-178.
- Dorer M. (2013). Einfluss der Information von Winkelunterschieden und relative Distanzen zu Landmarken auf die Ortserkennung in einer virtuellen Realität. *Bachelorarbeit, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Tübingen*.
- Farrel M. J., & Robertson I. H. (1998). Mental rotation and the automatic updating of body-centered spatial relationships. *Learning, Memory and Cognition*, *24(1)*, 227-233.
- Franz M., Schölkopf B., Mallot H. A., & Bühlhoff H.H. (1998). Where did I take that snapshot? Scene-based homing by image matching. *Biological Cybernetics*, *79*, 191–202.
- Gilinsky A. S. (1951). Perceived size and distance in visual space. *Psychological Review*, *58*, 460-482.
- Gillner S., Weiß A. M., & Mallot H. A. (2008). Visual homing in the absence of feature-based landmark information. *Cognition*, *109*, 105-122.
- Gross I. (2013). Unterschiedliche Ortserkennungsleistungen durch inzidentelles und explizites Lernen beim Menschen. *Bachelorarbeit, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Tübingen*.
- Jacobs W. J., Thomas K. G. F., Laurance H. E., & Nadel L. (1998). Place Learning in Virtual Space II: Topographical Relations as One Dimension of Stimulus Control. *Learning and Motivation*, *29*, 288-308.
- Kamil A. C., & Jones J. E. (1997). The seed-storing corvid Clark's nutcracker learns geometric relationships among landmarks. *Nature*, *390*, 276-279.
- Loomis J. M., Klatzky R. L., & Giudice N. A. (2013). Representing 3D space in working memory: Spatial images from vision, hearing, touch, and language. *Multisensory Imagery*, 131-157.
- Morris R. G. M. (1981). Spatial localization does not require the presence of local cues. *Learning and motivation*. *12(2)*, 239-260.

- Münzer S., & Hölscher C. (2011). Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zu räumlichen Strategien. *Diagnostica*, 54(3), 111-125.
- O'Keefe J., & Nadel L. (1978). The hippocampus as a cognitive map. *Oxford University Press*.
- O'Keefe J., & Nadel L. (1979). Précis of O'Keefe & Nadel's the hippocampus as a cognitive map. *Behavioral and Brain Sciences*, 2, 487-494.
- Ooi T. L., & He Z. J. (2007). A Distance Judgement Function Based on Space Perception Mechanisms: Revisiting Gilinsky's (1951) Equation. *Psychological Review*, 114(2), 441-454.
- Stürzl W., Boeddeker N., Dittmar L., & Egelhaaf M. (2010). Mimicking honeybee eyes with a 280° field of view catadioptric imaging system. *Bioinspiration & Biomimetics*, 5.
- Tinbergen N., & Kruyt W. (1938). Über die Orientierung des Bienenwolfes (*Philanthus triangulum* Fabr.). *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 25, 292-334.
- Tolman E. C. & Honzik C. H. (1930). "Insight" in rats. *University of California Publications in Psychology*, 4, 215-232.
- Waller D., Loomis J. M., Golledge R. G., & Beall A. C. (2002). Place learning in humans: The role of distance and direction information. *Spatial Cognition and Computation*, 2, 333-354.

Anhang

1. Fragebogen

Dieser Fragebogen enthält Aussagen zu Verhaltensweisen beim Zurechtfinden in räumlichen Umgebungen. Wir bitten Sie, für jede Aussage anzudeuten, inwieweit Sie der Aussage zustimmen. Die Möglichkeit zur Ablehnung bzw. Zustimmung hat die folgende Form:

lehne stark ab 1 2 3 4 5 6 7 stimme stark zu

Bitte markieren Sie für jede Aussage diejenige Position durch Einkreisen, die dem Grad ihrer Zustimmung am besten entspricht. Markieren Sie bitte die Mittelposition (4), wenn Sie weder zustimmen noch ablehnen.

1 Während des Experiments war ich motiviert.	1	2	3	4	5	6	7
2 Das Experiment hat mir Spaß gemacht.	1	2	3	4	5	6	7
3 Ich würde wieder an einem psychophysikalischen Experiment teilnehmen.	1	2	3	4	5	6	7
4a In meiner Freizeit spiele ich häufig Computerspiele, die Orientierung und Bewegung im dreidimensionalen Raum erfordern.	1	2	3	4	5	6	7
4b Bei diesen Spielen schätze ich meine Orientierungsfähigkeit sehr gut ein.	1	2	3	4	5	6	7
5 Mein Orientierungssinn ist sehr gut.	1	2	3	4	5	6	7
6 Im Experiment habe ich versucht mir die räumlichen Gegebenheiten aus der Vogelperspektive vorzustellen.	1	2	3	4	5	6	7
7 Ich habe das Gefühl im Experiment gut abgeschnitten zu haben.	1	2	3	4	5	6	7
8 Während des Versuches war mir klar, welches Ziel ich verfolgen sollte.	1	2	3	4	5	6	7
9a Im Experiment hatte ich das Gefühl eine Veränderung bemerkt zu haben.	Nein						Ja
9b Wenn ja, welche Veränderung?							

10 Während des Versuches habe ich mich orientiert an...

Name:

Alter:

Geschlecht: männlich weiblich

Studienfach:

Versuchsperson:

2. Probandeninformation und Einverständniserklärung

Probandeninformation zum Experiment

Name des Versuchsleiters: Marie Admard

Sie werden an einem psychophysikalischen Experiment teilnehmen. Sie werden während des Experimentes mittels eines HMD (head-mounted display) und eines Targets um den Bauch in einer virtuellen Umgebung navigieren und Ihre Navigationsleistung wird dabei gemessen.

Ihre persönlichen, im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten werden für wissenschaftliche Publikationen - in anonymisierter Form - verwendet und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft gespeichert.

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

Tübingen, den _____

Unterschrift

Einverständniserklärung zur Teilnahme

Name der Versuchsperson (in Druckbuchstaben): _____

Ich erkläre mich bereit, an dem Experiment teilzunehmen.

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

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

Tübingen, den _____

Unterschrift

