

**Einfluss der Informationen von Winkelunterschieden  
zwischen Landmarken und Bildgrößen der Landmarken  
auf die Ortserkennung des Menschen**

**Bachelorarbeit  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität Tübingen**

**vorgelegt von**

**Marcel Dorer**

**Tübingen, Juli 2013**

# Erklärung

Hiermit erkläre ich,

- dass ich diese Arbeit selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.
- dass die eingereichte Arbeit weder vollständig noch in wesentlichen Teilen Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens gewesen ist.

Tübingen, den

.....

*(Unterschrift des Kandidaten)*

# **Inhaltsverzeichnis**

<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2. Methoden</b>	<b>8</b>
2.1. Versuchspersonen .....	8
2.2. Versuchsaufbau .....	8
2.3. Versuchsablauf .....	11
2.4. Auswertung .....	13
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>15</b>
<b>4. Diskussion</b>	<b>25</b>
<b>Probandeninformationen</b>	<b>29</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>30</b>
<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>31</b>

# Zusammenfassung

Die folgende Arbeit befasst sich mit der Ortserkennung des Menschen in einer virtuellen Umgebung. Cartwright und Collet (1983) haben hierfür das Schnappschuss Modell aufgestellt, bei dem ein Ziel anhand eines zweidimensionalen Panoramabildes der Umgebung des Zielortes wiedergefunden werden kann. Dieser Schnappschuss wird hierzu kontinuierlich mit dem aktuellen Panoramabild abgeglichen bis die sogenannte "confusion area" erreicht ist (Franz et al., 1998). An deren Grenze unterschreiten die Unterschiede des aktuellen Bildes mit dem Schnappschuss einen bestimmten Schwellenwert und somit wird der aktuelle Standort als Zielort erkannt. An Hand eines Versuchsaufbaus von Lancier, Halfmann und Mallot (2012) sollte diese Studie untersuchen, ob bei einer Manipulation der Landmarkengrößen bei konstanter Landmarkenkonfiguration eine Integration der Information der Bildgröße und Winkelunterschiede zwischen den Landmarken stattfindet. Hierzu lernten Probanden inzidentell die Position eines Brückenmittelpunkts, welcher später nur an Hand von Landmarken bestimmt werden konnte. Zusätzlich wurden die zwei nördlichen Landmarken jeweils um 15% vergrößert, während die beiden Südlichen um 15% verkleinert wurden.

Eine Orientierung über die Bildgröße der Landmarken sollte zu einer Verschiebung zum theoretischen Verschiebungspunkt der Bildgrößenänderung führen, der sich durch die Veränderung der Landmarkengrößen ergibt. Im Gegensatz dazu sollten sich die Entscheidungspunkte bei einer Integration von der Information der Landmarkengrößen und der Winkelunterschiede zwischen den Landmarken, wie es bei einem Panoramasnappschuss-Verfahren der Fall ist, zwischen dem theoretischen Verschiebungspunkt der Bildgrößen und dem eigentlichen Zielpunkt einpendeln.

Sieben der zehn Probanden der Versuchsgruppe zeigten die Verschiebung zum theoretischen Punkt der Bildgrößenänderung, was darauf hindeutet, dass diese nur die Bildgröße zur Ortserkennung nutzten. Eine Integration der Informationen der Bildgröße und Winkelunterschiede war somit nicht zu beobachten.

# 1. Einleitung

Bei der Ortserkennung handelt es sich um die Fähigkeit einen zuvor besuchten Zielort zu erkennen, beziehungsweise wiederzufinden. Durch diese Fähigkeit können Menschen und Tiere Orte, wie beispielsweise den Arbeitsplatz oder eine Nahrungsquelle, wiederfinden. Säugetiere könnten für die Ortserkennung eine mentale Karte aufbauen, in der ihre Umwelt räumlich repräsentiert wird, diese wird kognitive Karte genannt (O'Keefe und Nadel, 1979). Kognitive Karten verfügen über Orientierungspunkte, sogenannte Landmarken, die benutzt werden um den aktuellen Standort zu ermitteln. Hierbei handelt es sich um Objekte, die im Vergleich zu anderen Objekten in der Umgebung salienter sind. Zum Beispiel kann ein Berg oder ein Kirchturm als Landmarke dienen.

Um die Fähigkeit der räumlichen Orientierung zu erklären wurden bereits viele Modelle aufgestellt, im Folgenden wird das Schnappschuss-Modell eine bedeutende Rolle spielen. Hierbei handelt es sich um ein Modell bei dem ein Ziel nur anhand eines zwei-dimensionalen Panoramabildes des Zielortes, dem Schnappschuss, wiedergefunden werden kann. Dafür wird der Schnappschuss kontinuierlich mit dem aktuellen Panoramabild abgeglichen. In einem Modell, das mit Kontrastkanten rechnet, werden die Vektoren, die die Flächenunterschiede der Kontrastbereiche zwischen retinalem Bild und Zielbild verringern, und die Vektoren, die Positionen der Kontrastbereiche dieser Bilder in Übereinstimmung bringen, zu einem Bewegungsvektor, der die nächste Bewegungsrichtung festlegt, aufaddiert. (Cartwright und Collet, 1983). Unterschreiten die Unterschiede des aktuellen Bildes mit dem Schnappschuss einen bestimmten Schwellenwert, so wird die aktuelle Position als Zielort erkannt. Der Bereich in dem dies zutrifft wird "confusion area" (Franz et al., 1998) genannt.

Das Schnappschuss-Modell wurde von Cartwright und Collet als Teil eines Experiments mit Bienen aufgestellt, bei dem diese in einem Raum mit minimalen visuellen Hinweisen eine Zuckerlösung sammeln sollten. Zunächst befand diese sich immer an derselben Stelle, die von den Bienen gelernt wurde. Dieser Lerneffekt wurde dadurch deutlich, dass die Bienen selbst bei fehlender Zuckerlösung an derselben Stelle nach dieser suchten. Derselbe Effekt zeigte sich auch, wenn den Bienen eine einzelne Landmarke zur

## 1. Einleitung

Orientierung im Raum zur Verfügung gestellt wurde. Allerdings führte eine Größenveränderung dieser Landmarke zu einer Verschiebung des Suchbereichs der Bienen zu der Position, an der die Landmarke dieselbe Größe zu haben schien. Dies deutete darauf hin, dass die Bienen, vom Zielort aus gesehen, die Bildgröße der Landmarke zur Ortserkennung verwendeten, also einen Schnappschuss vom Zielort gespeichert haben. Vergleichbare Experimente wurden später auch mit anderen Tieren, beispielsweise an Vögeln wie dem Kiefernhäher (Kamil und Jones, 1997), Grabwespen (Tinbergen und Kruyt, 1938) und auch menschlichen Versuchspersonen durchgeführt.

Die Ortserkennung per Schnappschuss beim Menschen wurde unter anderem von Lancier, Halfmann und Mallot (2012) untersucht, was zur Aufstellung zweier Hypothesen führte. Die "fixed goal snapshot"-Hypothese erwartete ein Unterschätzen des Zielpunktes, da schon bei dem Betreten der "confusion area" der Zielort erkannt werden sollte. Hierbei wurde davon ausgegangen, dass der Schnappschuss nicht aktualisiert wird und damit die Unterschätzung relativ konstant bleiben sollte. Die "updated goal snapshot"-Hypothese geht hingegen davon aus, dass der Schnappschuss aktualisiert wird. Dies würde, bei wiederholtem Betreten der "confusion area" aus derselben Himmelsrichtung, zu einer steigenden Unterschätzung des Zielpunktes führen.

Im Gegensatz zu den Versuchen an Tieren fanden Versuche am Menschen meist in einer computergenerierten, virtuellen Umgebung statt, so auch der Versuch mit dem Lancier, Halfmann und Mallot (2012) diese beiden Hypothesen untersuchten. Die hierbei verwendete virtuelle Umgebung ist in Abbildung 1.1 aus der Vogelperspektive zu sehen.

Diese virtuelle Umgebung bestand aus einem See, der über eine plusförmige Brücke begehbar war. Weiterhin befanden sich vier unterschiedliche Gesteinsformationen im See, die den Probanden als Landmarken dienten. Die Teilnehmer der Studie sollten sich bei der Durchführung des Versuchs zum Kreuzungspunkt der Brücke begeben und sich von dort nach links oder rechts in Richtung des Zielpunktes bewegen. Der Versuch bestand aus einer Lern- und anschließenden Versuchsphase. In der Versuchsphase wurde zusätzlich Bodennebel simuliert, sodass der See und die Brücke nicht mehr sichtbar waren und die Orientierung nur an Hand der vier Landmarken erfolgen konnte. Zudem sollten die Probanden in der Versuchsphase die Brückenmitte per Mausclick bestimmen.

## 1. Einleitung

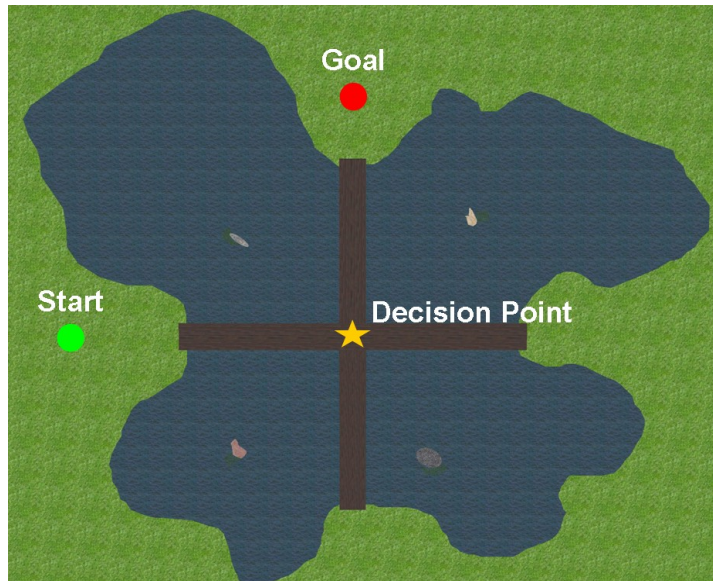


Abbildung 1.1.: Virtuelle Umgebung des Experimentes von Lancier, Halfmann und Mallot. Die Probanden sollten in der Trainingsphase zunächst vom Startpunkt aus über die Brücke zum Zielpunkt gelangen. Später, in der Versuchsphase, war das Gebiet mit Bodennebel überzogen und es sollte an Hand der vier noch sichtbaren Steininformationen der Brückenmittelpunkt ("Decision Point" = Entscheidungspunkt) bestimmt werden.

Die Ergebnisse zeigten eine systematische Verschiebung der erwarteten Ortserkennung der Brückenmitte (Entscheidungspunkt) in Richtung des Startpunktes, jedoch keine steigende Verschiebung der Ortserkennung bei wiederholten Anfahrten aus der gleichen Himmelsrichtung. Diese Ergebnisse unterstützten damit die "fixed goal snapshot"-Hypothese. Zusätzlich zeigte das Experiment, dass der durchschnittliche Entscheidungspunkt für die verwendete Landmarkenanordnung vom Nullpunkt (Brückenmitte) versetzt war. Die Startrichtung, die ebenfalls beim Experiment variiert wurde, spielte hierbei keine Rolle. Dies deutete darauf hin, dass nicht nur Bildinformationen, sondern auch geometrische Informationen eine Rolle bei der Ortserkennung des Menschen spielen könnten. Zuvor zeigte schon Cheng (1986), dass geometrische Informationen bei der Orientierung von Ratten verwendet werden könnten. Waller et al. (2000) befassten sich

## 1. Einleitung

mit der Bedeutung von Bildinformationen und geometrischen Informationen für die Orientierung per Schnappschuss. Die Probanden der Studie lernten zunächst eine bestimmte Position im Verhältniss zu drei unterschiedlichen Landmarken und mussten später, während der Versuchsphase, zu dieser zurückkehren. Auch dieser Versuch fand in einer computergenerierten, virtuellen Umgebung statt. Diese erlaubte es zwischen Lern- und Versuchsphase die Anordnung der Landmarken zu verändern, während den Teilnehmern nur gesagt wurde sie kämen aus einer anderen Richtung. So wurden die Landmarken entweder für die Kontrollgruppe rotiert oder für die Versuchsgruppe ver-

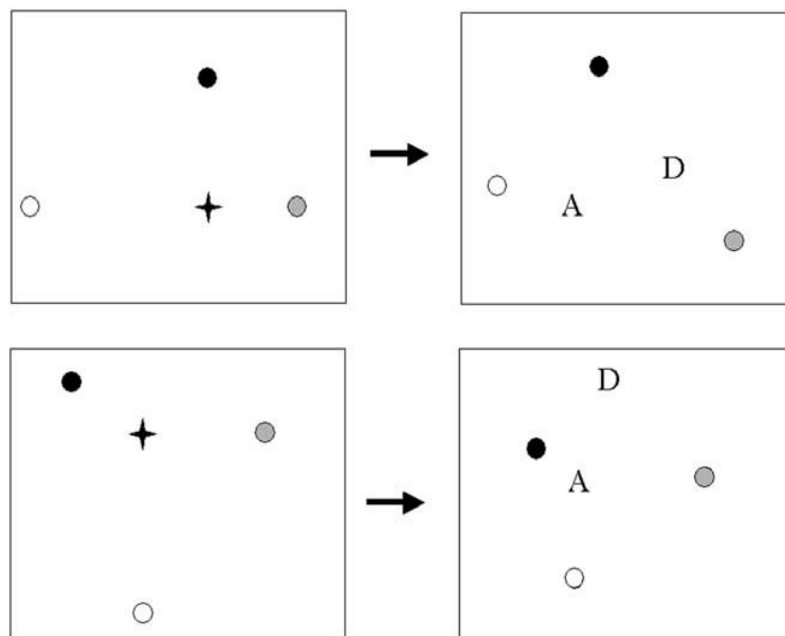


Abbildung 1.2.: Beispiele der Veränderungen der Landmarkenpositionen in der Studie von Waller et al. Links sind zwei verschiedene Lernumgebungen zu sehen, rechts daneben die dazugehörigen Versuchsumgebungen. Die Teilnehmer sollten zunächst die Position des Sternes in Abhängigkeit der drei Landmarken lernen und diese Position dann in der rechten Versuchsumgebung wiedergeben. Hier wurde die Umgebung so verändert, dass ein Punkt D mit den gleichen Landmarken-Ziel-Entfernungen und ein Punkt A mit den gleichen Landmarken-Ziel-Winkelunterschieden wie in der Lernumgebung existierte.



## 1. Einleitung

schoben und anschließend rotiert, siehe Abbildung 1.2. Dies erlaubte das systematische Variieren von Orthogonalität, im Sinne der Anzahl an  $90^\circ$  Winkeln, hier null, eins oder drei, und von der Umgebung des Punktes D. Bei dem Punkt D handelte es sich um einen Punkt, der seinen Abstand zu den Landmarken zwischen Lern- und Versuchsphase nicht veränderte. Er befand sich allerdings entweder außerhalb oder innerhalb der Landmarkenkonfiguration. Weiterhin wurde ein Punkt A definiert, bei dem sich die Winkel zu den Landmarken nach der Lernphase nicht änderten. Bei einigen dieser Anordnungen, bei denen beispielsweise D in der Mitte der Konfiguration lag und es keine rechten Winkel gab, zeigten die Probanden eine Anziehung zum Punkt D. Andere Anordnungen, wie etwa drei rechte Winkel während D außerhalb der Konfiguration lag, zeigten hingegen eine starke Anziehung zum Punkt A. Insgesamt wurden von den Probanden tendenziell häufiger Orte nahe D gewählt, allerdings ist die Anziehung von D größer, wenn sich der Punkt innerhalb der Landmarkenanordnung befand. Lag D außerhalb, so gab es eine sehr geringe Anziehung zum Punkt A. Weiterhin beeinflusste die Orthogonalität der Lernumgebung die Zielwahl. So wurden bei höherer Orthogonalität wahrscheinlicher Punkte nahe A gewählt. Insgesamt deuteten die Daten darauf hin, dass die relativen Distanzen der Landmarken einen größeren Einfluss auf die Wahl des Zielorts hatten als die Informationen über Winkelunterschiede.

Beim Schnappschuss-Modell entsprechen die relative Distanz der Bildgröße eines Objektes und die Landmarken-Ziel-Winkelunterschiede der Panorama-Bildposition der Objekte. Aus diesem Grund wurde im folgenden Experiment die Distanzinformation überwiegend auf die Bildgröße reduziert, indem der Horizont ausgeschaltet wurde. Somit konnten keine Distanzinformationen aus der Lage von dem Objekt zur Horizontkante gezogen werden. Zusätzlich wurde das Objekt schwebend auf Augenhöhe plziert, damit keine Distanzinformation aus dem sich verändernden Winkel zwischen Objekt und virtuellem Auge gezogen werden konnte. Es sollte überprüft werden, ob bei einer Manipulation der Landmarkengrößen bei konstanter Landmarkenkonfiguration eine Integration der Information der Bildgröße und Winkelunterschiede zwischen den Landmarken stattfindet. Ein Schnappschuss, der ein Panoramabild verwendet basiert auf der Annahme einer Integration dieser beiden Informationen. Wenn der Mensch den Schnapp-

## 1. Einleitung

schuss zur Ortserkennung verwendet, sollte sich ein mittlerer Entscheidungspunkt zwischen dem theoretischen Ort der ausschließlichen Verwendung der Bildgrößen und dem Ort der ausschließlichen Verwendung der Winkelunterschiede der Landmarken, also dem Zielort, einstellen.

## 2. Methoden

### 2.1 Versuchspersonen

Bei den Probanden dieser Studie handelte es sich um 20 Studenten der Universität Tübingen, von denen 8 weiblich und 12 männlich waren. Von diesen gaben 12 an über überdurchschnittliche Kenntnisse mit der Bewegung in virtuellen Umgebungen aus der Egoperspektive, wie man sie beispielsweise durch das Spielen von „first-person“ Computerspielen erhält, zu verfügen. Das Alter der Teilnehmer lag zwischen 19 und 33 Jahren. Für den Versuch wurden die Probanden zufällig in zwei gleichgroße Gruppen, eine Versuchs- und eine Kontrollgruppe, aufgeteilt. Die Versuchsdauer betrug je nachdem wie viel Zeit sich die Versuchspersonen ließen zwischen 30 Minuten und einer Stunde. Deshalb konnten die Lern- und Versuchsphase direkt am Stück absolviert werden. Am Ende des Versuches wurden die Probanden abschließen mit acht Euro pro Stunde für ihre Zeit entlohnt und vom Versuchsleiter gebeten einen kurzen Fragebogen auszufüllen, siehe Abbildung A.1.

### 2.2 Versuchsaufbau

#### 2.2.1 Material

Die virtuelle Umgebung von Lancier, Halfmann und Mallot (2012) wurde als Grundlage verwendet und mit einem standardmäßigen Computer modifiziert. Als Software wurde hierfür Microsoft® Visual Studio® 2008 Version 9.0.21022.8, sowie OpenSceneGraph Version 2.8.2 verwendet. Die virtuelle Umgebung wurde den Probanden über einen Dell U3011 Monitor, mit einer Größe von 30" und einer Auflösung von 2560x1600 Pixel präsentiert. Die Versuchspersonen befanden sich hierbei in einem Abstand von circa 58 cm zum Monitor.

#### 2.2.2 Virtuelle Umgebung

Bei der virtuellen Umgebung handelt es sich um eine modifizierte Form der Umgebung des Experiments von Lancier, Halfmann und Mallot (2012). Die Probanden konnten sich

## 2. Methoden

hier frei in einem offenen Gebiet bewegen, dessen Boden als grüne und Himmel als graue Textur dargestellt wurde. Im Zentrum der virtuellen Umgebung befindet sich ein See, der durch eine Wassertextur dargestellt wurde und von einer braunen, plusförmigen Brücke (30 \* 30 Einheiten) überbrückt wurde. Wie in Abbildung 2.1 zu sehen ist befinden sich im See vier Landmarken in Form von schwebenden Kugeln mit einem Radius von einer Einheit, was in der Realität etwa einem Meter entspricht. Damit diese leicht voneinander zu unterscheiden sind wurden sie in verschiedenen Farben, rot, blau, gelb und magenta, gefärbt.

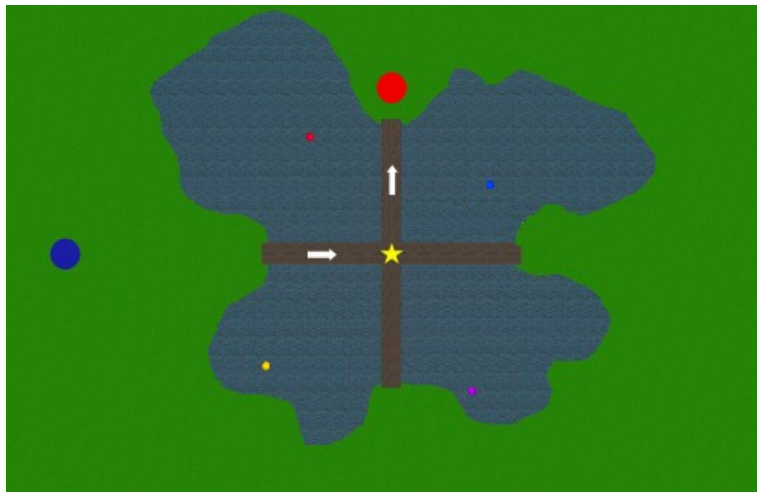


Abbildung 2.1.: Die verwendete virtuelle Umgebung aus der Vogelperspektive. Hierbei handelt es sich um eine Modifikation der virtuellen Umgebung von Lancier, Halfmann und Mallot (2012). Der zugrunde liegende Aufbau wurde, bis auf ein Ersetzen der Steininformationen durch verschiedenfarbige, schwebende Kugeln, nicht verändert.

Zu Beginn jedes Durchgangs erscheint ein Pop-up Fenster, in dem die Aufgabe beschrieben wurde. Anschließend konnten sich die Probanden in dieser Umgebung frei, mit Sicht aus der Ego-Perspektive, bewegen. Das vom Bildschirm gezeigte Sichtfeld hat eine Höhe von 1,8 Einheiten und deckt einen Winkel von 43,8 Grad (fovy 43,8, zNear 0,8) ab. Dies wurde so gewählt, dass sich vom Zentrum der Brücke aus maximal eine der

## 2. Methoden

Landmarken im Sichtfeld befinden konnte (Abbildung 2.2).

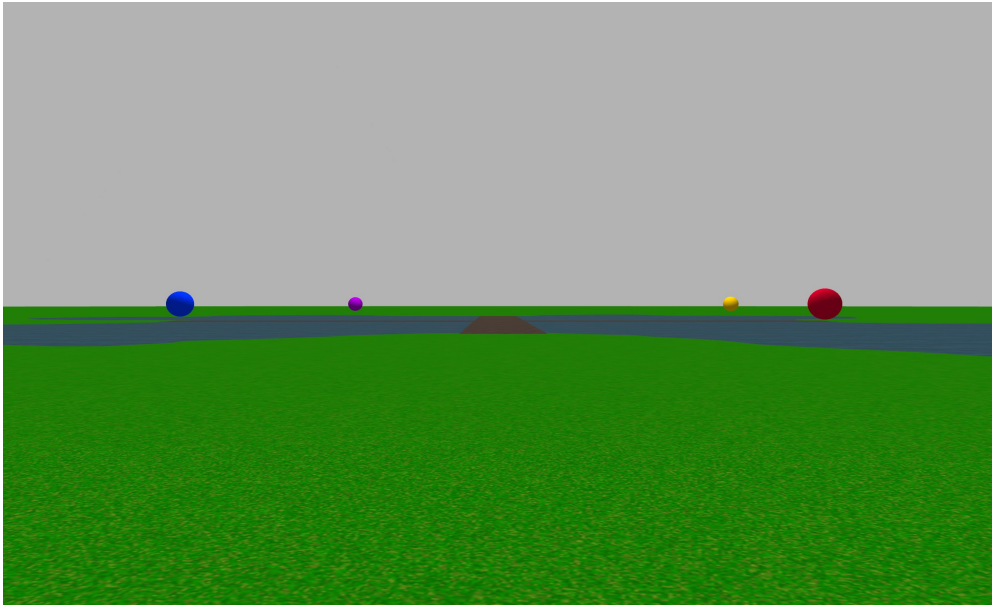


Abbildung 2.2.: Screenshot der virtuellen Realität aus der Ego-Perspektive. Neben dem See und der darüberführenden Brücke sind auch die vier verschiedenfarbigen Kugeln, die während des Experimentes als Landmarken dienten, zu sehen.

Die Bewegung in der virtuellen Umgebung erfolgte über die Tastatur mit den Tasten W/A/S/D (W: vorwärts, A: seitwärts nach links, S: rückwärts, D: seitwärts nach rechts), hierbei beträgt die Bewegungsgeschwindigkeit 15 Einheiten/s. Zusätzlich konnte die Blickrichtung mit der Maus verändert werden, um die Steuerung zu erleichtern war allerdings nur eine Veränderung in horizontaler Richtung möglich. Die Bewegung des Mauszeigers um 1 Pixel entsprach hierbei einer Rotation der Kamera um 0,1 Grad.

Die Landmarkenanordnung bestand aus einem ungleichmäßigen Viereck, dessen Schwerpunkt nicht dem der Brücke entsprach, siehe Abbildung 2.1. Die Positionen der vier Landmarken blieben über den Versuch hinweg bei allen Versuchspersonen gleich, bei der Versuchsgruppe veränderte sich allerdings nach der Trainingsphase die Größe der Landmarken. So waren hier die zwei nördlichen Landmarken, mit den Farben grün und

## 2. Methoden

blau, jeweils um 15% größer, während die anderen beiden um 15% kleiner waren. Weiterhin veränderten sich die Startpositionen der Versuchsteilnehmer zwischen den einzelnen Durchgängen, so dass diese gleich oft aus allen vier Himmelsrichtungen starten konnten und nicht immer die identischen Blickwinkel zu der Landmarkenanordnung hatten. Zusätzlich wurden pro Durchgang zufällige Positionsänderungen der Startpositionen aus den jeweiligen Himmelsrichtungen in der x- und y-Achse (zwischen 5 und 25 Einheiten) vorgenommen.

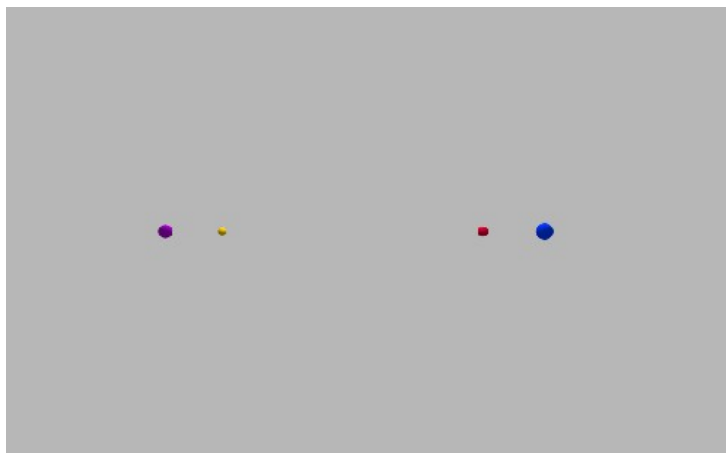


Abbildung 2.3.: Screenshot der virtuellen Umgebung während der Versuchsphase. Boden, See, Brücke und Horizont sind auf Grund des grauen Nebels nicht zu sehen. Nur die Landmarken, in Form von vier verschiedenfarbigen, schwebenden Kugeln, konnten gesehen und zur Orientierung benutzt werden. Der hier aus Osten kommende Proband sollte die Position des Kreuzungspunktes der zuvor begangenen Brücke bestimmen.

### 2.3 Versuchsablauf

#### 2.3.1 Allgemein

Der Versuchsablauf wurde, wie auch die zu Grunde liegende virtuelle Umgebung von Lancier, Halfmann und Mallot (2012) übernommen und modifiziert. Zu Beginn wurden den Probanden das PoP-up Fenster gezeigt, welches am Start jedes einzelnen Durchgangs

## 2. Methoden

erschien. Dieses diente dazu den Probanden während der Trainingsphase anzugeben, ob sie sich von der Brückenmitte aus nach links oder rechts bewegen mussten, um das Ziel zu erreichen. Der daraufhin folgende erste Durchgang der Trainingsphase wurde dazu genutzt den Probanden die virtuelle Umgebung und die Steuerung in dieser zu erklären. Weiterhin wurde den Teilnehmern während diesem ersten Durchgang erklärt, dass in einigen Durchgängen der Trainingsphase und später in der gesamten Versuchsphase ein Nebel über dem Gebiet liegen wird, der alles bis auf die Landmarken verdecken wird. Des Weiteren sollten sie sich während der Trainingsphase in Ruhe die Umgebung einprägen mit dem Hintergrundwissen, dass in der Versuchsphase nur noch die schwebenden Landmarken zu erkennen sein werden. Vor dem Start des zweiten Durchgangs der Trainingsphase wurden die Versuchspersonen gefragt, ob noch weitere Fragen vorliegen, wenn nicht konnten sie mit dem Training beginnen. Bis zum Ende der Trainingsphase blieb der Versuchsleiter still im Raum, um noch eventuell aufkommende Fragen zu beantworten und am Schluss der Trainingsphase eine Erklärung der Versuchsphase zu geben. Hier wurde den Probanden das erste Mal gesagt, dass sie nun den Mittelpunkt der Brücke bestimmen sollen, anstatt diese wie bisher zu überschreiten. Mit dem Beginn der Versuchsphase verließ der Versuchsleiter den Raum, damit der Versuch in Ruhe vom Probanden durchgeführt werden konnte.

### 2.3.2 Trainingsphase

Die Aufgabe der Trainingsphase bestand darin sich vom Startpunkt aus auf den Kreuzungspunkt der Brücke zu begeben und diese dann in pseudorandomisierter Reihenfolge entweder nach links oder rechts zu verlassen. Begab sich der Versuchsteilnehmer vom Brückenmittelpunkt aus in die richtige Richtung erschien am Ende des Sees ein blauer Kreis, der als Zielpunkt diente. Wurde dieser betreten, so startete der Nächste der 12 Durchgänge. Dies sollte die Teilnehmer mit der virtuellen Umgebung und der Steuerung in dieser vertraut machen. Zusätzlich konnten sie so inzidentell den Brückenmittelpunkt lernen, da dieser in jedem Durchgang überquert werden musste, allerdings nicht der Zielpunkt war.

In vier der 12 Durchgänge lag ein Bodennebel über dem Gebiet, in dem nur die Land-

## 2. Methoden

marken sichtbar waren. Diese Durchgänge sollten die Probanden mit der Orientierung anhand der Landmarken und dem manövrieren in der Versuchsphase, in der der Nebel in jedem Durchgang vorhanden war, vertraut machen. Die Probanden konnten sich in der Trainingsphase so lange umsehen wie sie wollten und den aktuellen Durchgang selbstständig per Betreten des Zielpunktes beenden.

### 2.3.3 Versuchsphase

Zu Beginn der Versuchsphase erfuhren die Versuchsteilnehmer, dass sich die Aufgabe nun ändert und der Brückenmittelpunkt bestimmt werden soll. Da aufgrund des eingeblendeten Bodennebels weder der See noch die Brücke zu sehen waren (Abbildung 2.3) standen hier zur Orientierung nur die Landmarken zur Verfügung. Auch Boden und Himmel waren im Bodennebel wegen dem fehlenden Horizont nicht festzumachen. Wenn der Proband entschied, dass er sich auf dem Kreuzungspunkt der Brücken befindet, konnte er dies mit einem Linksklick der Maus bestätigen und den nächsten Durchgang starten. Diese Entscheidungspunkte wurden aufgezeichnet, womit sich insgesamt 48 Entscheidungspunkte pro Versuchsteilnehmer ergaben, was insgesamt zu je 480 Entscheidungspunkten in der Kontrollgruppe sowie in der Versuchsgruppe führte.

## 2.4. Auswertung

Die Auswertung der Daten und deren graphische Darstellung erfolgte mit Hilfe von Matlab® R2012 Version 7.14.0.739. Bei dieser Auswertung mussten 20 Entscheidungspunkte ausgeschlossen werden, da sie sich außerhalb der Landmarkenanordnung befanden. Diese sind durch Fehler bei der Bedienung entstanden, wie beispielsweise durch einen ungewollten Mausklick.

Um einen besseren Einblick in die Bedeutung der Daten zu haben wurde für die Teilnehmer der Versuchsgruppe aufgrund der Landmarkengrößen-Veränderung eine theoretische Abweichung vom Zielpunkt berechnet. Dabei handelt es sich um den Punkt bei dem die Differenz zwischen der gesehenen Bildgröße der Landmarken mit Größenänderung und der gesehenen Bildgrößen am Zielpunkt ohne Größenänderung minimal ist.



## 2. Methoden

Die Koordinaten dieses Punktes betragen  $P(-1,0652/-7,1813)$ . Wird die, im Experiment ermittelte, mittlere Abweichung der Teilnehmer der Kontrollgruppe berücksichtigt, so liegt der theoretische Zielpunkt der Versuchsgruppe bei  $P(-2,1059/-10,2123)$ .

### 3. Ergebnisse

Ein Vergleich der Daten von Versuchs- und Kontrollgruppe zeigte, dass es bei der Versuchsgruppe zu einer Verschiebung der mittleren Entscheidungspunkte in Richtung Süden kam. Dieser Verschiebung, deren Signifikanz durch einen Hotelling-Test bestätigt wurde ( $T^2(9) = 239,17$ ,  $p < 0,001$ ), ist in Abbildung 3.1 zu sehen. Da die beiden südlich liegenden Landmarken bei der Versuchsgruppe um jeweils 15% verkleinert wurden, während die im Norden des Brückenmittelpunktes um 15% vergrößert wurden, deutete dieser signifikante Unterschied auf eine Orientierung an Hand von Bildgrößenunterschieden hin. Da die Position der Landmarken nicht verändert wurden scheinen Winkelunterschiede in diesem Fall zumindest eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Fasst man die Entscheidungspunkte der einzelnen Probanden zu Mittelwerten zusammen, so wird der Unterschied zwischen den beiden Gruppen, wie in Abbildung 3.2 zu sehen ist, noch deutlicher. Hier ist ein systematischer Unterschied zwischen dem realen Mittelpunkt, also dem Mittelpunkt der Brücke, und den Mittelwerten der von der Kontrollgruppe bestimmten Punkten zu erkennen, dieser wurde per Hotelling-Test als signifikant bestätigt ( $T^2(10) = 61,14$ ,  $p < 0,001$ ). Diese Verschiebung der Entscheidungspunkte nach Süden beziehungsweise Südwesten wird im Weiteren systematischer Fehler genannt. Auch bei der Versuchsgruppe kam es zu einer stärkeren Verschiebung der Mittelwerte der Entscheidungspunkte in südwestliche Richtung, was letztendlich zu einem signifikanten Unterschied zum realen Zielpunkt sowie zu den Mittelwerten der Kontrollgruppe führte ( $T^2(10) = 28,70$ ,  $p < 0,001$ ). Sieben Probanden zeigten eine Verschiebung, die sogar über die theoretische Abweichung hinaus ging. Unter der Annahme, dass der systematische Fehler der Versuchsgruppe dem der Kontrollgruppe entspricht, wurde ein Hotelling-Test zwischen der theoretischen Abweichung mit aufaddiertem systematischem Fehler der Kontrollgruppe und der Probandengruppe, die eine größere Verschiebung als die theoretische Abweichung ohne systematischem Fehler voraussagte, durchgeführt. Diese Probandengruppe war nicht signifikant verschieden von der theoretischen Abweichung plus systematischem Fehler ( $T^2(6) = 56,46$ ,  $p < 0,01$ ). Des Weiteren war zu erkennen, dass drei der Probanden der Versuchsgruppe den Brückenmittelpunkt als näher zum

### 3. Ergebnisse

Mittelpunkt der Kontrollgruppe und somit auch als näher zum realen Zielpunkt bestimmten.

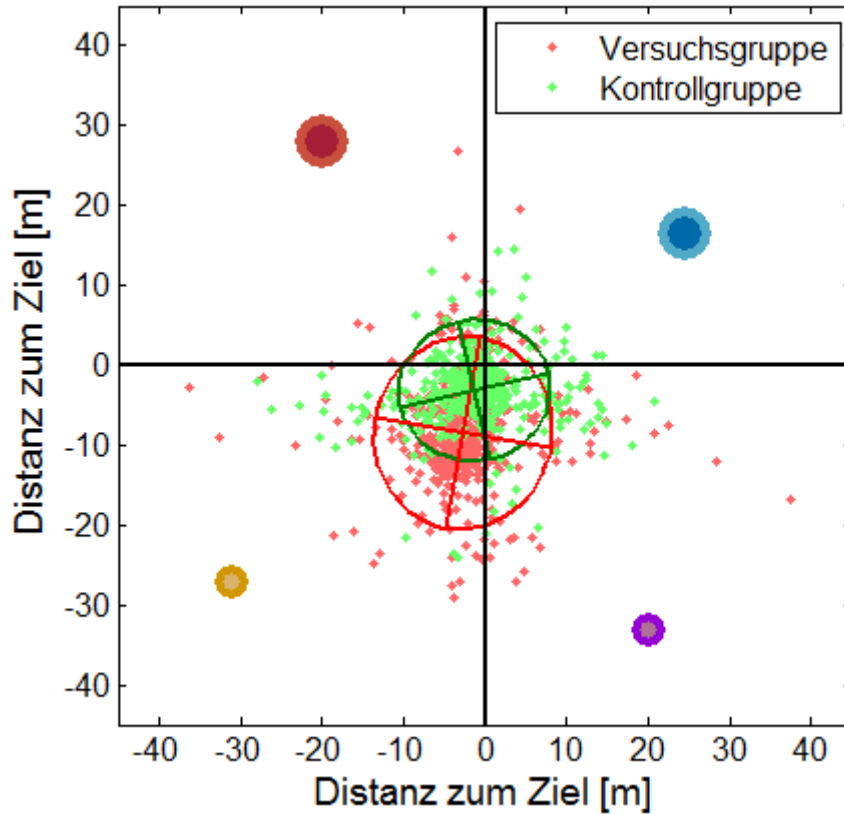


Abbildung 3.1: Entscheidungspunkte aller Probanden der Kontrollgruppe (grün) und Versuchsgruppe (rot). Die vier verschiedenfarbigen Kreise symbolisieren die Landmarken, diese hatten bei der Kontrollgruppe dieselbe Größe (dunkler Kreis), während der Versuchsphase wurde die Größe geändert (heller Kreis). Es ist zu erkennen, dass die Entscheidungspunkte der Versuchsgruppe im Durchschnitt weiter südlich liegen als die der Kontrollgruppe.

### 3. Ergebnisse

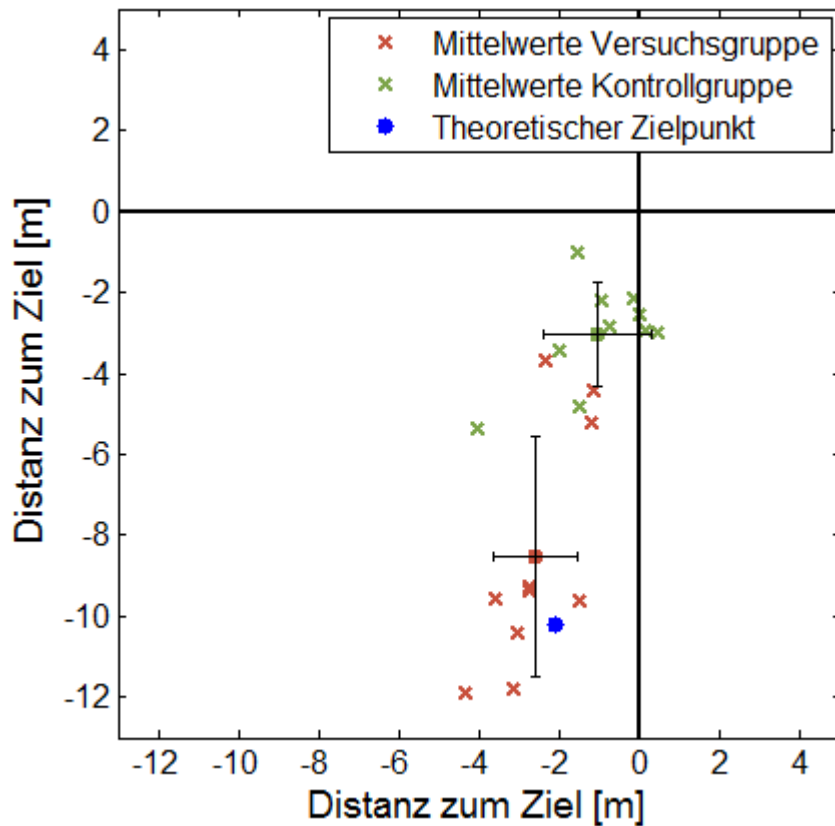


Abbildung 3.2.: Die Mittelwerte der Entscheidungspunkte der einzelnen Probanden. Die Werte der Versuchsgruppe (rot) liegen größtenteils weiter im Südwesten als die der Kontrollgruppe (grün). Nur die Mittelwerte der Entscheidungspunkte dreier Probanden der Versuchsgruppe liegen weiter nordwestlich, bei den Werten der Kontrollgruppe.

Außerdem konnte die Verschiebung der Entscheidungspunkte in Richtung der Startpunkte bestätigt werden (Lancier, Halfmann und Mallot, 2012). Die hierbei für die einzelnen Startrichtungen entstandenen Fehlerelipsen sind in den Abbildungen 3.3 und 3.4 zu sehen. Beide Abbildungen zeigen Verschiebung der Fehlerelipsen in Richtung der Startpunkte. Durch einen T-Test konnte gezeigt werden, dass es sowohl bei den Entscheidungspunkten der Versuchsgruppe (Nord-Süd und Ost-West:  $p < 0,001$ ), als auch bei denen der Kontrollgruppe (Nord-Süd und Ost-West:  $p < 0,001$ ) zu signifikanten Unterschieden der jeweils gegenüberliegenden Startrichtungen kommt. Dies deutet

### 3. Ergebnisse

darauf hin, dass die Distanz zum Brückenmittelpunkt in der Regel unterschätzt wurde. Zusätzlich ist in Abbildung 3.4 erneut die deutliche Verschiebung der Fehlerelipsen der Versuchsgruppe nach Süden, also in Richtung der kleineren Landmarken, zu erkennen.

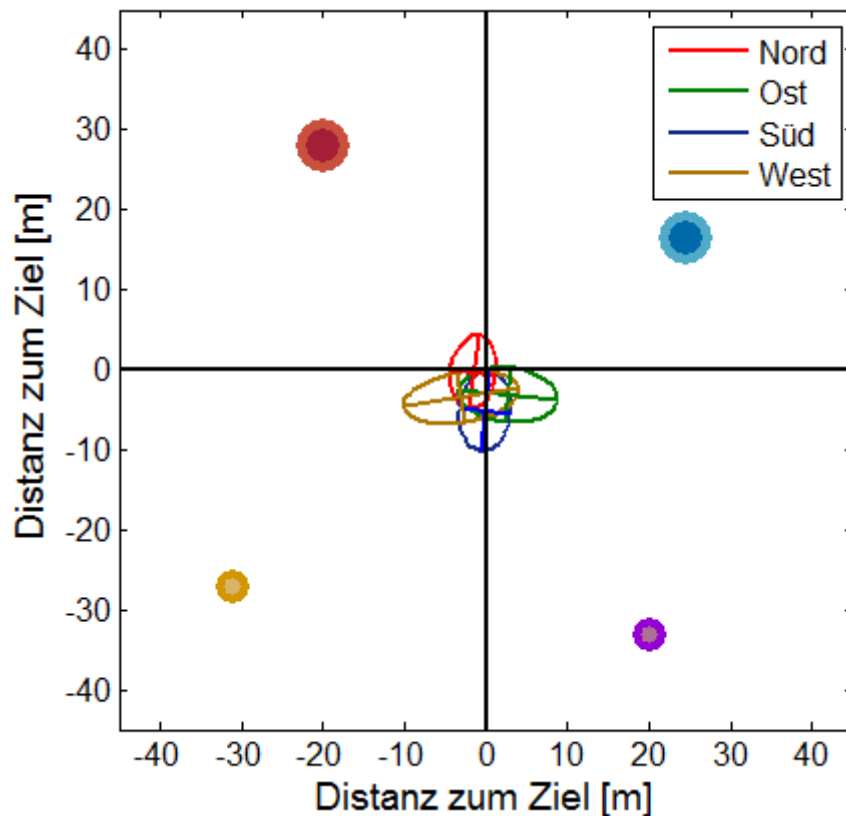


Abbildung 3.3: Fehlerelipsen der Kontrollgruppe sortiert nach Startrichtungen. Die einzelnen Entscheidungspunkte wurden hier ausgeblendet. Es ist zu erkennen, dass es zu einer Verschiebung der Fehlerellipse in Richtung der jeweiligen Startrichtung kommt.

### 3. Ergebnisse

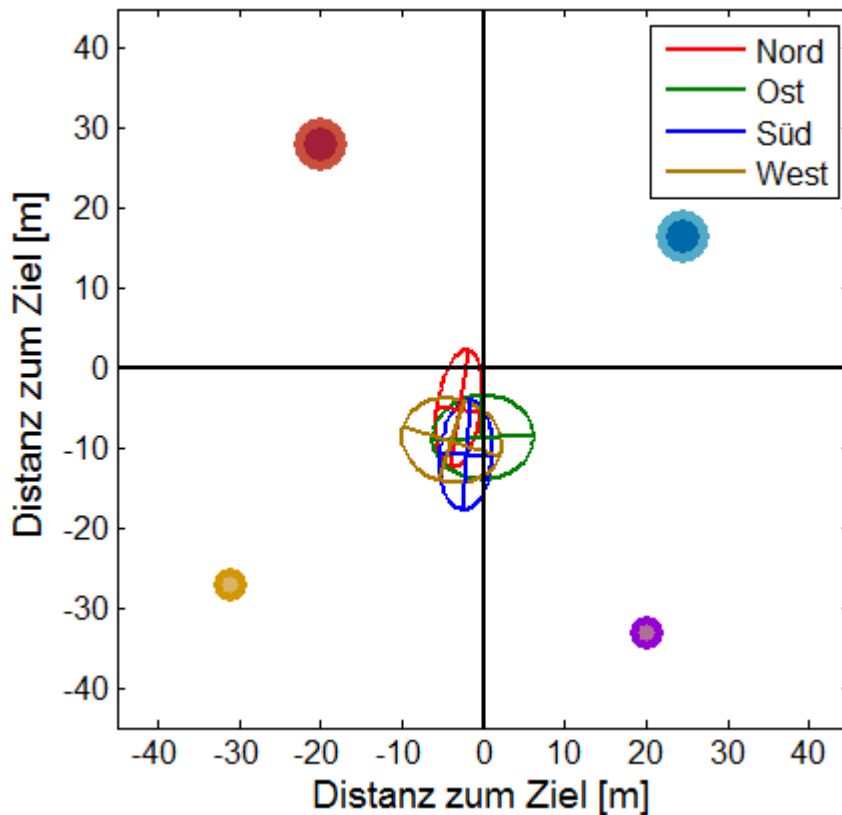


Abbildung 3.4: Fehlerelipsen der Versuchsgruppe sortiert nach Startrichtungen. Auch hier wurden die Entscheidungspunkte ausgeblendet und einer Verschiebung der Ellipsen in Richtung der jeweiligen Startrichtung ist zu sehen. Zusätzlich sind die Fehlerelipsen der Versuchsgruppe, im Vergleich zur Kontrollgruppe, nach Südwesten verschoben.

Betrachtet man die Entscheidungspunkte der Probanden einzeln, so lagen die Meisten relativ gebündelt in der Nähe des echten Zielpunktes. Dies ist beispielsweise in Abbildung 3.5 bei den Probanden vier und acht aus der Kontrollgruppe, sowie bei Proband acht aus der Versuchsgruppe zu sehen. Eine weitläufigere Verteilung der Entscheidungspunkte ist bei Proband vier der Versuchsgruppe zu sehen, wo sich die Entscheidungspunkte weiter verteilen und in größerem Abstand zum echten Zielpunkt befanden. Weiterhin ist erneut zu sehen, dass der von den Probanden der Versuchsgruppe angenommene Zielpunkt in der Regel südlicher liegt als der von den Teilnehmern der Kontrollgruppe angenommene

### 3. Ergebnisse

Punkt.

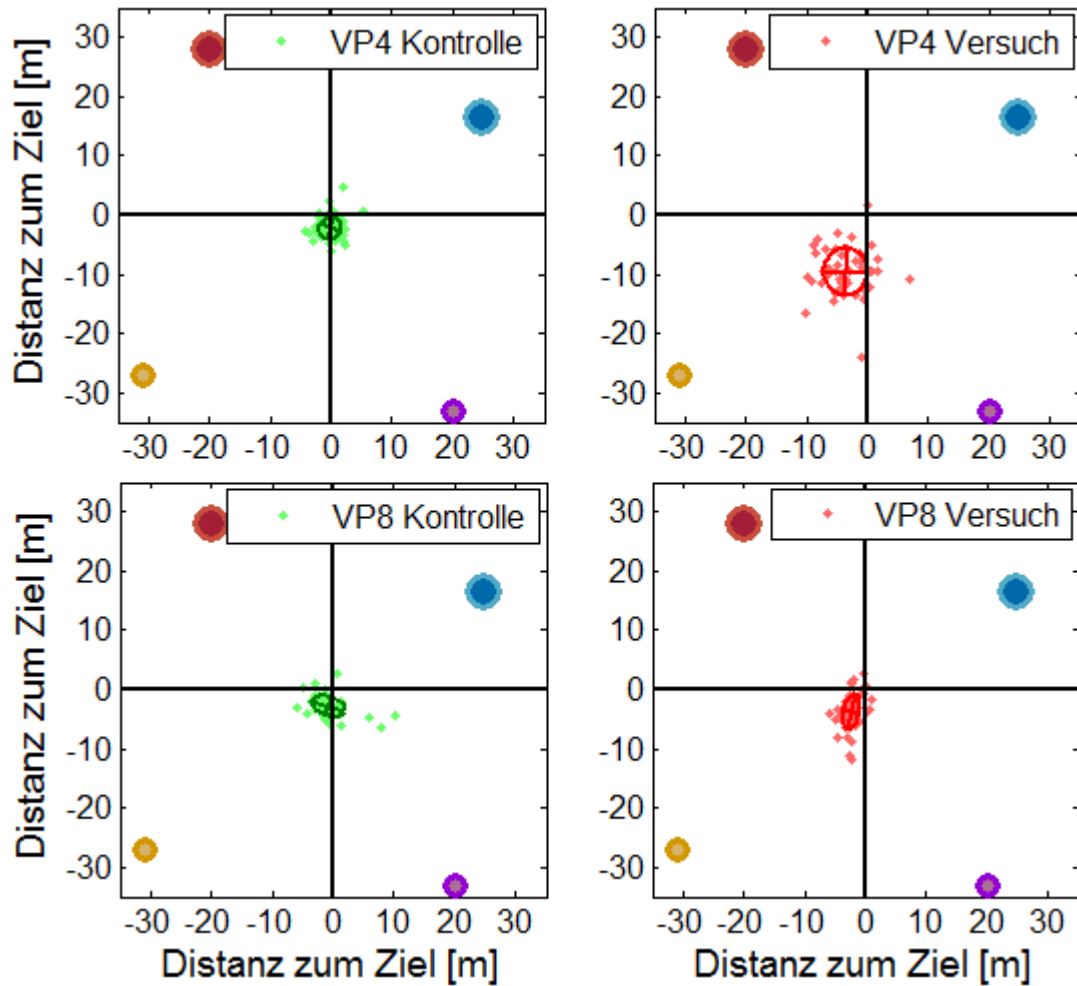


Abbildung 3.5: Entscheidungspunkte der jeweils vierten und achten Probanden aus Versuchs- und Kontrollgruppe. Die meisten Entscheidungspunkte, wie die beiden Beispiele aus der Kontrollgruppe, lagen relativ gebündelt, während andere, wie etwa beim vierten Probanden der Versuchsgruppe, weiter verteilt lagen.

### 3. Ergebnisse

Was die Laufwege der Probanden zum Zielpunkt anbelangt, so wurden keine bedeutenden Unterschiede festgestellt. So zeigt Abbildung 3.6 die Laufwege eines Probanden als Trajektorien, welche relativ direkt zum Entscheidungspunkt des Probanden führen. Viele Probanden justierten ihre Position aus der Mitte der Landmarkenanordnung nach, während sich andere direkt entschieden. Andere Strategien um zum Entscheidungspunkt zu gelangen, wie beispielsweise ein Umlaufen des Sees, um immer aus derselben Richtung zu kommen, wurden nicht benutzt.

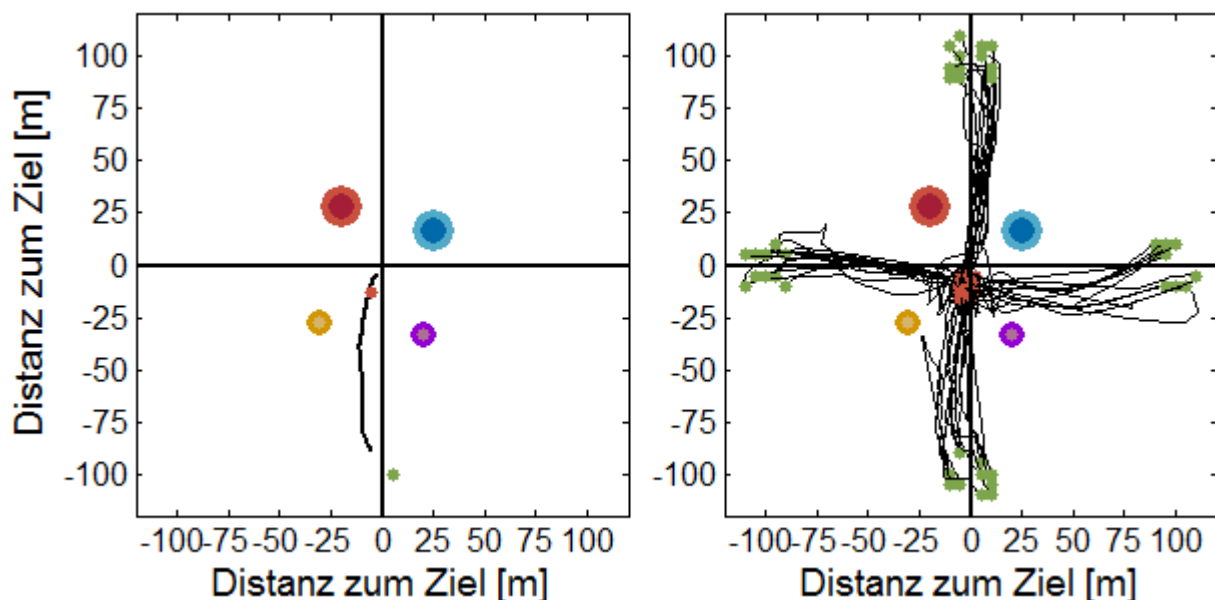


Abbildung 3.6: Hier sind die Trajektorien, also Laufwege, des Probanden 5 aus der Versuchsgruppe zu sehen. Auf der linken Seite ist lediglich Eine zu sehen, während die rechte Abbildung alle Trajektorien der Versuchsperson anzeigt. Es ist zu erkennen, dass sich der Proband vom Startpunkt aus relativ gerade in Richtung des angenommenen Brückenmittelpunkts bewegt. Andere Strategien wurden nicht beobachtet.

Abschließend wurden die Probanden nach Geschlecht und Vorkenntnissen am PC in Form von Erfahrungen in virtuellen Umgebungen, wie sie etwa durch das Spielen von Computerspielen aus der Egoperspektive gesammelt werden, geordnet. Abbildung 3.7



### 3. Ergebnisse

zeigt die Entscheidungspunkte der weiblichen und männlichen Teilnehmer aus Versuchs- sowie Kontrollgruppe. Hier ist zu sehen, dass die Verteilung der Entscheidungspunkte bei den weiblichen Probanden der Versuchsgruppe weitläufiger war als bei denen der Kontrollgruppe. Bei den männlichen Probanden hingegen ist dies genau umgekehrt. Insgesamt betrachtet ist allerdings nur eine geringfügig weitläufigere Verteilung der Entscheidungspunkte auf Seiten der männlichen Probanden zu sehen. Die mittleren Entscheidungspunkte lagen allerdings bei beiden Geschlechtern an etwa derselben Position. Der Unterschied zwischen Probanden mit beziehungsweise ohne Vorkenntnissen mit der Bewegung in einer virtuellen Umgebung ist in Abbildung 3.8 zu erkennen. Hier ist die Verteilung der Entscheidungspunkte auf Seiten der Teilnehmer ohne Vorkenntnisse deutlich größer, während die der Teilnehmer mit Kenntnissen über die Bewegung in virtuellen Umgebungen gebündelter liegen. Besonders groß ist die Verteilung der Punkte bei den vorkenntnisslosen Probanden der Versuchsgruppe. Zusätzlich ist hier, im Vergleich zu den Teilnehmern der Versuchsgruppe, welche Erfahrungen mit virtuellen Umgebungen haben, eine Verschiebung des mittleren Entscheidungspunktes nach Süden zu sehen. Bei der Kontrollgruppe hingegen lagen die mittleren Entscheidungspunkte, trotz der höheren Verteilung auf Seiten der vorkenntnisslosen Teilnehmer, an nahezu derselben Position.

### 3. Ergebnisse

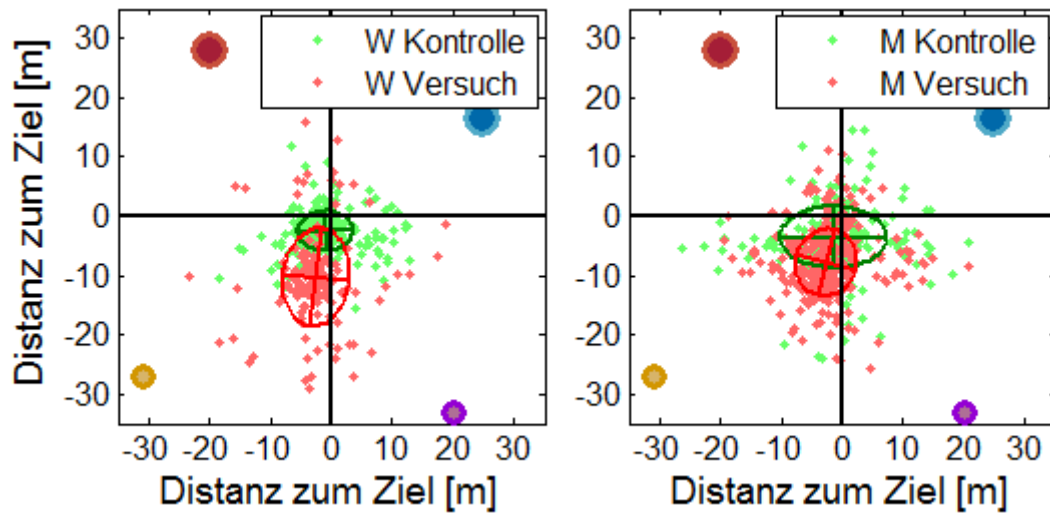


Abbildung 3.7: Vergleich der Positionen der Entscheidungspunkte der weiblichen (links) und männlichen (rechts) Probanden ("W" = weiblich, "M" = männlich). Es ist zu erkennen, dass bei den weiblichen Versuchsteilnehmern die Verteilung der Entscheidungspunkte der Versuchsgruppe (rot) deutlich weitläufiger ist als bei der Kontrollgruppe (grün). Bei den männlichen Probanden ist dies genau umgekehrt.

### 3. Ergebnisse

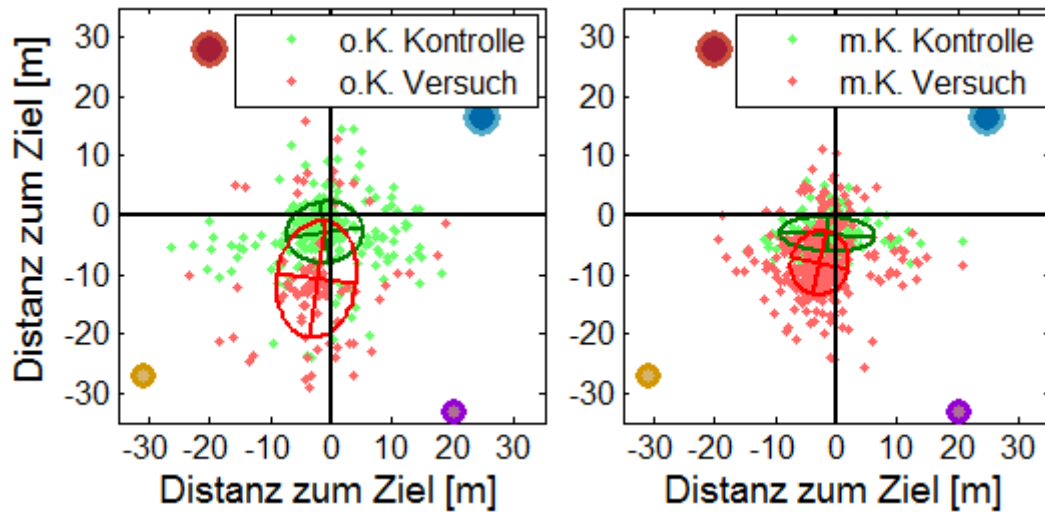


Abbildung 3.8: Vergleich der Probanden mit (rechts) bzw. Ohne (links) Vorkenntnissen über die Bewegung in virtuellen Umgebungen ("m.K." = mit Kenntnissen, "o.K." = ohne Kenntnisse), welche etwa durch das Spielen von Videospiele aus der Egoperspektive erworben wurden. Es ist eine deutlich weitreichendere Verteilung der Entscheidungspunkte von Teilnehmern ohne solche Vorkenntnisse erkennbar.

## 4. Diskussion

Diese Arbeit sollte den Einfluss von Informationen über die Bildgröße der Landmarken sowie über die Winkelunterschiede zwischen den Landmarken auf die Ortserkennung untersuchen. Dazu sollte überprüft werden, ob bei einer Manipulation der Landmarkengrößen bei konstanter Landmarkenkonfiguration eine Integration der Information der Bildgröße der Landmarken und den Winkelunterschieden zwischen den Landmarken stattfindet. Es wurde hierbei angenommen, dass sich zwischen dem theoretischen Ort, an dem nur die Winkelunterschiede zwischen den Landmarken verwendet werden, also dem Zielort, und dem theoretischen Ort der ausschließlichen Verwendung der Bildgrößen ein mittlerer Entscheidungspunkt einstellt. Diese Annahme basierte auf dem Panorama-Schnappschuss Modell, welches voraussagt, dass es eine Integration der Informationen über Winkelunterschiede zwischen den Landmarken und der Information über die Bildgrößen gibt. Dies konnte allerdings durch diese Studie nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse deuten eher darauf hin, dass ein Großteil der Probanden nur die Bildgröße als Informationsquelle nutzte, ein deutlich kleinerer Teil schien hauptsächlich die Informationen über Winkelunterschiede zu nutzen.

Wie in Abbildung 3.1 zu sehen ist, zeigen die Ergebnisse einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe, bei denen alle Landmarken dieselbe Größe hatten, und der Versuchsgruppe, bei der die zwei südlichen Landmarken verkleinert und die beiden nördlichen vergrößert wurden. Bei diesem signifikanten Unterschied handelte es sich um eine Verschiebung in Richtung Südsüdwest, also weiter weg von den vergrößerten und näher zu den verkleinerten Landmarken hin. Diese Verschiebung zeigte, dass beim Menschen die Informationen über die Distanzen zu den Landmarken eine größere Rolle zu spielen scheinen, als die Informationen über Winkelunterschiede und bestätigte damit Waller et al.'s These. Abbildung 3.2 zeigt allerdings, dass sich die mittleren Entscheidungspunkte von drei Probanden der Versuchsgruppe näher am Mittelwert der Kontrollgruppe befinden. Dies deutet darauf hin, dass sie sich eher mit Hilfe von Winkelinformationen orientiert haben. Diese scheinen keinesfalls bedeutungslos zu sein, wurden aber nur von einem kleinen Teil der Versuchsteilnehmer als ausschlaggebendes

## 4. Diskussion

Kriterium verwendet.

Die Kontrollgruppe wies, im Vergleich zum realen Brückenmittelpunkt, eine Verschiebung in Richtung Südwesten auf. Für diesen systematischen Fehler kann es eine Vielzahl von Erklärungen geben, der wahrscheinlichste Grund hierfür wäre allerdings die Landmarkenkonfiguration. So könnte eine der Landmarken über eine erhöhte Salienz verfügen oder es könnte hauptsächlich die dem Zielpunkt nächste Landmarke zur Orientierung verwendet werden. Auffällig ist hierbei, dass es bei der Versuchsgruppe zu einem ähnlichen systematischen Fehler kommt, siehe Abbildung 3.2. Die Landmarkengröße scheint also keinen erkennbaren Einfluss auf diesen Fehler zu haben, was weitere Untersuchungen in diesem Bereich notwendig macht.

Abbildung 3.3 und 3.4 veranschaulichen, dass es in fast allen Fällen zu einer Verschiebung in Richtung der Startposition des Probanden kommt. Vergleicht man die Entscheidungspunkte der gegenüberliegenden Startrichtungen, so liegt unabhängig von Versuchs- und Kontrollgruppe ein signifikanter Unterschied vor. Da die vorliegenden Daten darauf hindeuten, dass hier kein Schnappschuss verwendet wurde kann die von Lancier, Halfmann und Mallot (2012) aufgestellte "fixed goal snapshot"-Hypothese nicht dafür verantwortlich gemacht werden. Eine mögliche Erklärung wäre, dass, abhängig von der Startrichtung, hauptsächlich hinter dem Ziel liegende Landmarken verwendet werden und die Bildgrößen dieser Landmarken unterschätzt werden.

Abschließend wurden die Daten der Probanden nach Geschlecht, sowie nach Vorkenntnissen mit der Bewegung in virtuellen Umgebungen aufgeteilt. Ein Vergleich der Geschlechter zeigte keinen eindeutigen Unterschied, was darauf hindeutet, dass das Geschlecht für die Ortserkennung keine Rolle spielt. Für die unterschiedlich weitläufige Verteilung der Entscheidungspunkte zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe der weiblichen und männlichen Teilnehmer scheint ebenfalls nicht das Geschlecht, sondern andere Faktoren verantwortlich zu sein. Einer dieser Faktoren könnte beispielsweise das Vorhandensein von Vorkenntnissen über die Bewegung innerhalb von virtuellen Realitäten sein. Wie Abbildung 3.8 zeigt, gibt es hier deutliche Unterschiede was das Ausmaß der Verteilung der Entscheidungspunkte betrifft. Dieser Faktor könnte also durchaus Bedeutung für die Ergebnisse dieses Experimentes haben. Um den potentiellen

#### 4. Diskussion

Einfluss dieses Unterschiedes zu untersuchen sind weitere Experimente, wie etwa eine erneute Durchführung bei der alle Probanden Kenntnisse über die Bewegung in virtuellen Umgebungen besitzen, von Nöten.

Die Ergebnisse könnten, da dieses Experiment in einer virtuellen Realität stattfand und die Bewegung vom Computer aus bedient wurde, Unterschiede zur Realität aufweisen. Um dieses Experiment zu verbessern könnte also ein natürlicher Versuchsaufbau, bei dem sich die Versuchsteilnehmer selbst umsehen und bewegen müssen, gewählt werden. Eine andere Option wäre den Versuchsaufbau mit Hilfe eines Head-Mounted Display darzustellen. Hierbei findet die Orientierung zwar weiterhin in einer virtuellen Umgebung statt, sie kommt aber der in einer realen Umgebung näher, da die Versuchspersonen zusätzlich die Information über die Körperlage erhalten. Dies könnte die Ortserkennung via Winkelunterschieden zwischen den Landmarken vereinfachen beziehungsweise verbessern. Weiterhin kann der Einfluss von Winkelunterschieden genauer untersucht werden, indem man bei der Versuchsgruppe, an Stelle einer Größenänderung, eine Verschiebung von zwei Landmarken einer Seite vornimmt. Dies sollte nach den Erkenntnissen dieser Studie zeigen, dass der Großteil der Probanden der Versuchsgruppe weiterhin Entscheidungspunkte nahe des tatsächlichen Zielpunktes bestimmt.

Diese Studie zeigte also, dass es hier zu keiner Orientierung nach dem Schnappschuss-Modell kam, da keine Integration der Information der Bildgröße und Winkelunterschiede der Landmarken stattfand. Die Probanden orientierten sich größtenteils an der Größe der Landmarken, einige aber auch an den Informationen über Winkelunterschiede. Dennoch war ein übergreifender systematischer Fehler zu erkennen, für den keine eindeutigen Gründe gefunden werden konnten. Weiterhin wurde gezeigt, dass andere Faktoren, wie beispielsweise Vorkenntnisse über die Bewegung in virtuellen Umgebungen, einen Einfluss auf Experimente in solchen Umgebungen haben können.



# Probandeninformationen

**Fragebogen Experiment**

Dieser Fragebogen enthält Aussagen zu Verhaltensweisen beim Zurechtfinden in räumlichen Umgebungen. Wir bitten Sie, für jede Aussage anzuzeigen, 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.

	lehne stark ab							stimme stark zu
Während der Experimente war ich motiviert.	1	2	3	4	5	6	7	
Das Experiment hat mir Spass gemacht.	1	2	3	4	5	6	7	
Ich würde wieder an einem psychophysikalischen Experiment teilnehmen.	1	2	3	4	5	6	7	
Ich spiele sehr häufig Computer- und/oder Konsolenspiele, die das Bewegen und Orientieren in virtuellen 3D Umgebungen behinhalten.	1	2	3	4	5	6	7	

---

Ist Ihnen während des Experiments etwas an den Landmarken aufgefallen? Wenn "Ja", was genau?

**Alter:**

**Geschlecht:**  männlich  weiblich

**Studienfach/Beruf:**

Abbildung A.1: Fragebogen für Probandeninformationen



# Abbildungsverzeichnis

1.1	Virtuelle Umgebung von Lancier, Halfmann und Mallot (2012) aus der Vogelperspektive . . . . .	4
1.2	Beispielhafte Veränderungen der Landmarkenpositionen bei Waller's (2000) Studie . . . . .	5
2.1	Virtuelle Umgebung aus der Vogelperspektive . . . . .	9
2.2	Screenshot aus der virtuellen Umgebung während der Trainingsphase . .	10
2.3	Screenshot aus der virtuellen Umgebung während der Versuchsphase . .	11
3.1	Entscheidungspunkte aller Versuchspersonen . . . . .	16
3.2	Mittlere Entscheidungspunkte aller Versuchspersonen . . . . .	17
3.3	Fehlerelypsen der Entscheidungspunkte der Kontrollgruppe, aufgeteilt nach Startrichtung . . . . .	18
3.4	Fehlerelypsen der Entscheidungspunkte der Versuchsgruppe, aufgeteilt nach Startrichtung . . . . .	19
3.5	Entscheidungspunkte der jeweils vierten und achten Probanden aus Versuchs- und Kontrollgruppe . . . . .	20
3.6	Einzelne Trajektorie, sowie alle Trajektorien des fünften Probanden aus der Versuchsgruppe . . . . .	21
3.7	Entscheidungspunkte der männlichen beziehungsweise weiblichen Probanden . . . . .	23
3.8	Entscheidungspunkte der Probanden mit beziehungsweise ohne Vorkenntnisse über die Bewegung in einer virtuellen Umgebung . . . . .	24
A.1	Fragebogen für Probandeninformationen . . . . .	29

## Quellenverzeichnis

- Cartwright B.A. und Collet T.S. Landmark Learning in Bees. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 151, 521-543, 1983.
- Cheng K. A purely geometric modul in the rat's spatial representation. *Cognition*, 23, 149-178, 1986.
- Franz M., Schölkopf B., Mallot H.A. und Bühlhoff H.H. Where did I take that snapshot? Scene-based homing by image matching. *Biological Cybernetics*, 79, 191–202, 1998.
- Kamil A.C. und Jones J.E. The seed-storing corvid Clark's nutcracker learns geometric relationships among landmarks. *Nature*, 390, 276-279, 1997.
- Lancier S., Halfmann M. und Mallot H.A. Mechanisms of human place recognition. *Conference Abstract F79: Bernstein Conference*, 2012.
- O'Keefe J. und Nadel L. Précis of O'Keefe & Nadel's the hippocampus as a cognitive map. *Behavioral and Brain Sciences*, 2, 487-494, 1979.
- Tinbergen N. und Kruyt W. Über die Orientierung des Bienenwolfes (*Philanthus triangulum* Fabr.). *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 25, 292-334, 1938.
- Waller D., Loomis D., Golledge R.G. und Beall A.C. Place learning in humans: The role of distance and direction information. *Spatial Cognition and Computation*, 2, 333-354, 2000.