

Mathematisch-Naturwissenschaftliche

Fakultät

DER EBERHARD-KARLS-UNIVERSITÄT TÜBINGEN



Bachelorarbeit Kognitionswissenschaften

**Einfluss der geometrischen
Anordnung von Landmarken auf
die Ortserkennung in virtueller
Realität**

Niklas Schulze

Betreuer: Prof. Dr. Hanspeter A. Mallot

Stephan Lancier

Abgabetermin: 14. September 2012

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Tübingen, den 14. September 2012

.....

(Unterschrift des Kandidaten)

Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Ortserkennung anhand von Landmarken. Insbesondere wurde hierbei auf den Einfluss der geometrischen Anordnungen dieser Landmarken eingegangen. Nach den Ergebnissen von Lancier, Halfmann und Mallot [5] stellt sich die Frage, inwiefern nicht sichtbare Hinweise der geometrischen Anordnung der Landmarken zur Ortserkennung beitragen und eventuell zu unterschiedlichen Suchstrategien führen.

Um diese Frage zu beantworten wurde ein Experiment zur Ortserkennung in virtueller Realität durchgeführt. Die Probanden mussten anhand von drei geometrisch unterschiedlichen Landmarkenanordnungen einen gelernten Zielpunkt wiederfinden. Die Zielpunkte wurden dabei auf geometrisch relevante Orte gesetzt, wie den Schwerpunkt oder den Diagonalschnittpunkt einer Anordnung.

Zur Auswertung wurden neben Fehler, und benötigter Zeiten auch die Entscheidungspunkte der Probanden verwendet. Es hat sich gezeigt, dass Zielpunkte in der Nähe von Verbindungslinien zwischen den Landmarken besser wiedergefunden werden, als weiter entfernte Zielpunkte. Außerdem konnte festgestellt werden, dass unterschiedliche Suchstrategien zur Lösung der Aufgabe verwendet wurden. Anhand der Ergebnisse wird deutlich, dass nicht sichtbare, geometrische Hinweise Einfluss auf die Ortserkennung nehmen. Diese Hinweise sind jedoch nicht, wie erwartet, Schwerpunkt oder Diagonalschnittpunkt, sondern imaginäre Verbindungslinien zwischen den Landmarken. Bei einem Vergleich der zwei erkannten Strategien stellte sich heraus, dass das Verwenden von Verbindungslinien, zwischen Landmarken, als Straßen zu besserer Performanz führte, als ein bloßes Vorstellen dieser.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Methoden	6
2.1. Versuchspersonen	6
2.2. Versuchsaufbau	6
2.3. Versuchsablauf	8
3. Ergebnisse	13
3.1. Allgemein	13
3.2. Vergleich: indirekte und direkte Suchstrategie	19
4. Diskussion	26
A. Probandeninformationen	29
Abbildungsverzeichnis	31
Literaturverzeichnis	32

1. Einleitung

In unserem alltäglichen Leben spielt die Navigation eine große Rolle. Wir verwenden sie, um von einem Ort zum anderen zu kommen, zum Beispiel auf dem Weg in die Arbeit. Nach O’Keefe und Nadel [7] baut der Mensch eine mentale, räumliche Repräsentation seiner Umwelt auf. Diese Repräsentation wird kognitive Karte genannt. Ein wichtiger Bestandteil dieser Karte sind Landmarken. Sie werden benutzt um die aktuelle Lokation zu ermitteln und stellen somit einen Referenzpunkt in unserer Umgebung dar, an dem man sich orientieren kann. Als Landmarken können die unterschiedlichsten Dinge dienen, sei es ein Kirchturm, ein Wohnhaus, ein Berg oder sonst ein Objekt oder Merkmal, welches eine gewisse Markanz für den Betrachter ausstrahlt.

Cartwright und Collett [1] untersuchten den Einfluss der Landmarkenordnung auf die Ortserkennung von Honigbienen. In einem quasi merkmallosem Raum befand sich eine Futterquelle und Landmarken. Die Bienen wurden darauf trainiert, die Futterquelle mit einer oder mehreren dieser Landmarken zu assoziieren. Um zu testen, wo die Bienen die Futterquelle erwarten, wurde diese entfernt. Nach einigen Versuchsbedingungen, auf die hier nicht näher eingegangen wird, fand man heraus, dass der Flugpfad der Bienen durch ein simples Abbild der Landmarken auf Wahrnehmungsebene gesteuert wird. Dieses Verhalten wurde auch bei anderen Insektenarten wie beispielsweise Grabwespen (Tinbergen und Kruyt [9]) gefunden. Um herauszufinden, inwiefern das gespeicherte Abbild zur Navigation verwendet wird, entwickelten Cartwright und Collett ein Computermodell.

Das Modell vergleicht das momentane retinale Abbild und einen am Zielpunkt erstellten Schnappschuss miteinander. Daraus lässt sich dann ein Richtungsvektor ableiten, der die Differenz der beiden Bilder minimiert. Unterschreitet die Differenz einen bestimmten Schwellenwert, so wird die aktuelle Position als die Zielposition erkannt. Aus diesem Schwellenwert lässt sich das Konzept der „Confusion Area“ (Franz et al. [3]) ableiten. Wird dieser

1. Einleitung

Bereich betreten, so unterschreitet die Differenz den Schwellenwert und die aktuelle Position wird als der gesuchte Zielpunkt erkannt. Trotz der Schlichtheit dieses Verfahren wurde die Effektivität bereits bewiesen (Franz et al. [3]).

Morris [6] hat gezeigt, dass Ratten nur durch distale Hinweise einen Zielpunkt wieder-

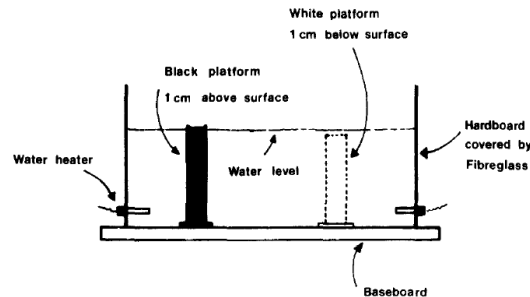


Abbildung 1.1.: Versuchsaufbau des Morris Water Maze (Morris [6]). In einem Wasserbecken befinden sich entweder eine schwarze, sichtbare oder eine weiße, nicht sichtbare Plattform. Beide Plattformen dienen der Ratte zur Flucht aus dem Wasser. Mit einer Kamera über dem Wasserbecken wird das Verhalten der Ratte aufgenommen.

finden können, den sie weder sehen, noch riechen, oder hören können. Hierzu entwickelte Morris einen neuartigen Versuchsaufbau, das sogenannte *Morris Water Maze*. In Abbildung 1.1 ist eine Querschnittsansicht des Versuchsaufbaues zu sehen. Dieser bestand aus einem runden Wasserbecken, welches in einem Raum mit vier leicht zu unterscheidenden Wänden stand. Um das Wasser trüb zu machen, wurde Milch beigemischt. Über dem Wasserbecken war eine Videokamera montiert, mit der das Verhalten der Ratten aufgezeichnet wurde. In dem Becken befand sich entweder eine schwarze Plattform, die 1cm über den Wasserstand hinausragte, oder eine weiße Plattform, die 1cm unter dem Wasserstand endete und somit nicht sichtbar war. Die Plattformen waren groß genug, um der Ratte Schutz vor dem Ertrinken zu bieten. Wurde eine Ratte in das Becken gesetzt, so begann diese zu schwimmen. War die schwarze Plattform im Becken, so schwamm die Ratte zielstrebig darauf zu. Wurde die Position der weißen Plattform nicht geändert, so lernten die Ratten, auch diese relativ schnell aufzufinden. In einem zweiten Experiment zeigte Morris, dass die Ratten auch von ungelerten Startpositionen die weiße Plattform zielstrebig auffanden. Er hat aus seinen Ergebnissen geschlossen, dass Ratten in der Lage sind, einen Zielpunkt ohne proximale

1. Einleitung

Hinweise wiederzufinden.

Morris hat mit diesem Versuch eine neue Methode zur Untersuchung von räumlichen Gedächtnis entwickelt. Im Gegensatz zu den damals gängigen Methoden gibt es im *Morris Water Maze* keine Möglichkeit, die Ortsfindung in eine Serie von „choice-point“ Entscheidung zu konvertieren. Daraus ergibt sich die Möglichkeit das Ortsfindungssystem von Ratten explizit zu untersuchen.

Um mit diesem Versuchsaufbau die Ortsfindung beim Menschen zu untersuchen haben Jacobs et al. [4] diesen in eine virtuelle Umgebung übertragen. Ziel ihres Versuches war es eine bedeutende Prognose, die man aus der „cognitive mapping theory of place learning“ ableiten kann, zu untersuchen. Es wäre zu erwarten, dass, in Abwesenheit von proximalen Hinweisen, die Ortserkennung von der Beziehung der distalen Hinweise zueinander abhängt. Hierzu mussten Versuchspersonen in einer virtuellen Umgebung einen unsichtbaren Zielpunkt finden. Wie im *Morris Water Maze* bestand die virtuelle Umgebung aus einem Raum mit vier voneinander unterscheidbaren Wänden. In diesem Raum befand sich nun eine runde Arena anstatt eines Wasserbeckens. Ein ebenerdiges Quadrat diente als Zielpunkt. Jacobs et al. [4] untersuchten, wie die Leistung der Versuchspersonen ausfiel, wenn die distalen Hinweise von einer, zwei, drei oder allen vier Wänden entfernt wurden. Wie es anhand der „cognitive mapping theory of place learning“ prognostiziert wurde, spielte kein einzelner distaler Hinweis eine übergeordnete Rolle, sondern ausschließlich die Beziehung zwischen den Hinweisen. So nahm die Performanz der Versuchspersonen erst mit Entfernen aller distaler Hinweise erheblich ab. Tauschte man die Positionen der distalen Hinweise untereinander aus, so sank die Performanz, obwohl alle Hinweise noch vorhanden waren. Dieses Experiment hat zwei Erkenntnisse geliefert. Zum einen, dass Menschen zur Ortserkennung die Beziehung distaler Hinweise zueinander verwenden und zum anderen, dass Ortserkennung in virtueller Realität vergleichbar mit Ortserkennung in der realen Welt ist. Da in Jacobs et al. [4] ausschließlich die benötigte Zeit gemessen wurde, um einen Zielpunkt zu finden, geben die Daten keinen Hinweis darauf, wie genau die distalen Hinweise die Ortserkennung beeinflussen. Es wäre möglich, dass auch Menschen eine Art Schnappschuss-Verfahren verwenden, wie es von Cartwright und Collett [1] für Honigbienen vorgestellt wurde.

Lancier, Halfmann und Mallot [5] stellten zur Schnappschuss-basierten Ortserkennung zwei

1. Einleitung

Hypothesen auf. Nach der „fixed goal snapshot“-Hypothese würde man ein systematisches Unterschätzen des Zielpunktes erwarten, da bei Betreten der Confusion Area eine Ortserkennung stattfindet, obwohl der Zielpunkt noch nicht vollständig erreicht worden ist. Da der Schnappschuss nicht aktualisiert wird, sollte die Unterschätzung einigermaßen konstant sein. Im Gegensatz dazu prognostiziert die „updated goal snapshot“-Hypothese eine ansteigende systematische Unterschätzung bei wiederholtem Betreten der „confusion area“ aus gleicher Richtung, da hier von einer Aktualisierung des Schnappschusses ausgegangen wird. Diese Hypothesen wurden mit einem Experiment untersucht.

Der Versuch wurde in einer virtuellen Realität durchgeführt. Ein Überblick über die virtu-

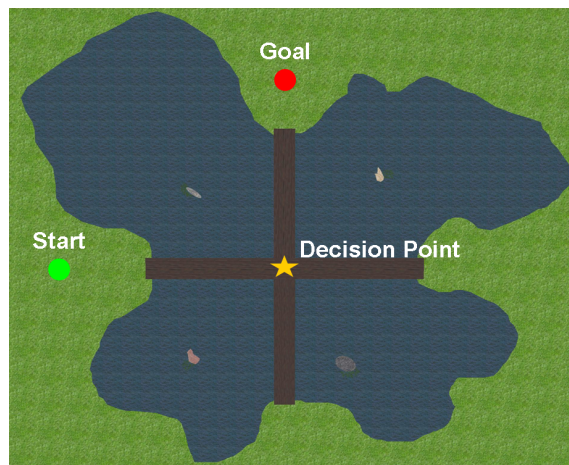


Abbildung 1.2.: Virtuelle Realität aus der Vogelperspektive. In der Mitte befindet sich ein See, der zweifach überbrückt ist. Innerhalb des Sees liegen vier unterscheidbare Landmarken. Der Proband soll anhand der Landmarken entscheiden, wann er sich auf der Kreuzung der Brücken befindet und dann eine Rechts- oder Linksdrehung, abhängig von der Position des Zielpunktes, vornehmen

elle Realität aus der Vogelperspektive ist in Abbildung 1.2 dargestellt. In der Mitte befand sich ein See. Dieser war mit zwei Brücken überbrückt, die sich in der Mitte kreuzten. Außerdem befanden sich vier verschiedene Landmarken in dem See. Aufgabe eines Probanden war es, auf die vor ihm liegende Brücke zu navigieren und sich an dem Kreuzungspunkt entweder nach links oder nach rechts in Richtung des Zielpunktes zu drehen. In der Testbedingung wurde Bodennebel simuliert, so dass nur noch die vier Landmarken zu sehen waren. Untersucht wurden zwei verschiedene Landmarkenanordnungen.

1. Einleitung

In den Ergebnissen lässt sich erkennen, dass es eine systematische Verschiebung des Entscheidungspunktes in Richtung des Startpunktes gibt. Dies deutet auf das Verwenden eines „fixed goal snapshot“-Verfahren hin. Außerdem wurde festgestellt, dass für eine der Landmarkenanordnungen der durchschnittliche Entscheidungspunkt aus allen Annäherungsrichtungen vom Nullpunkt versetzt ist. Dies spricht dafür, dass neben den Bildinformationen auch geometrische Informationen zur Ortserkennung beitragen. Cheng [2] hat bestätigt, dass Ratten solche Informationen verwenden.

Aus diesen Ergebnissen entstand folgende Hypothese. Zur Ortserkennung könnten nicht sichtbare geometrische Hinweise, die sich aus der Landmarkenkonfiguration ergeben, herangezogen werden. Diese geometrischen Hinweise könnten zur Entwicklung von Suchstrategien führen, die die Ortserkennung vereinfachen. Ziel dieser Bachelorarbeit war es, diese Hypothese zu untersuchen.

Hierzu wurde ein Experiment entwickelt, das auf den Versuchen von Jacobs et al. und Lancier, Halfmann und Mallot [5] aufbaut. Zur Datenauswertung wurden die von Lancier, Halfmann und Mallot [5] verwendeten Fehlerellipsen aufgegriffen. Diese bieten eine Möglichkeit, die zu Grunde liegende Verteilung der Entscheidungspunkte im zweidimensionalen Raum zu visualisieren [8].

2. Methoden

2.1. Versuchspersonen

Als Probanden dienten sechs Studenten der Universität Tübingen, wovon vier weiblich und zwei männlich waren. Die Studenten waren 22 bis 37 Jahre alt ($\bar{x} = 27.67$).

2.2. Versuchsaufbau

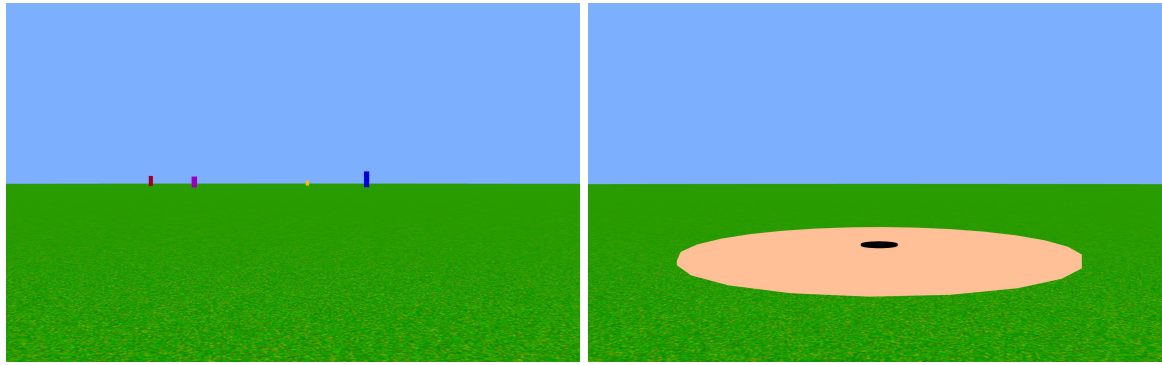
Material

Die virtuelle Umgebung wurde mit Hilfe eines handelsüblichen Computers, der mit einem Intel[®] Core[™] i3-2120 CPU @ 3.3Ghz Prozessor, 3.49 GB RAM und einer Nvidia GeForce GTX 560 Grafikkarte ausgestattet ist, generiert. Diese wurde auf einem Dell[™] UltraSharp[™] U3011 30" Monitor, mit einer Auflösung von 2560×1600 Pixel, 60Hz Bildwiederholungsrate und einem Seitenverhältnis von 16:10, dargestellt. Die Software wurde mit Microsoft[®] Visual Studio[®] 2008 Version 9.0.21022.8 RTM und OpenSceneGraph programmiert. Die Versuchsperson befand sich während des Experiments in 56cm Entfernung zum Monitor.

Virtuelle Umgebung

In diesem Experiment ging es darum in drei verschiedenen Landmarkenkonfigurationen einen vorher gelernten Zielpunkt wieder zu finden. Die virtuelle Umgebung ist ähnlich einem *Morris Water Maze*[6] aufgebaut. Es existieren jedoch keine äußeren Wände, so dass die Probanden die Landmarken aus allen Richtungen betrachten kann. Der Boden besteht aus einer grünen Textur. An der Decke befindet sich eine blaue Textur, welche einen freien Himmel simuliert.

2. Methoden



(a) Landmarkenkonfiguration von einem Startpunkt aus betrachtet

(b) Zielpunkt

Abbildung 2.1.: Screenshots der virtuellen Umgebung. Kein Repräsentation der Versuchsperson wird auf dem Bildschirm dargestellt. (a) Sowohl der grüne Boden, die blaue Decke, als auch die in Farbe und Größe unterschiedlichen Landmarken sind zu erkennen. (b) Screenshot eines Zielpunktes aus kurzer Entfernung

Wie in Abbildung 2.1a zu sehen ist, besteht eine Landmarkenkonfiguration aus vier Zylindern. Diese haben einen Radius von 1 Unit und die Höhen 3, 4, 5 und 6 Units. Zusätzlich sind sie in orange, rot, blau und magenta gefärbt. So wurde sichergestellt, dass die Landmarken klar voneinander zu unterscheiden sind. Innerhalb der Zylinder befindet sich ein farblich hervorgehobener Zielpunkt mit einem Radius von 5 Units. Ein kleinerer, schwarzer Kreis mit dem Radius 0.5 Units befindet sich in der Mitte des Zielpunktes und markiert die genaue Position des Zielpunktes..

In dieser Umgebung konnten sich die Probanden aus einer Ego-Perspektive frei bewegen. Die Kamera hat eine Höhe von 1.8 Units und deckt ein Sichtfeld von 43.8 Grad ab. Wie in 2.1 zu sehen ist, wird keine Repräsentation der Versuchsperson auf dem Bildschirm dargestellt. Die Blickrichtung wurde mit der Maus und die Fortbewegung mit der Tastatur gesteuert. Um die Steuerung zu erleichtern wurde eine vertikale Veränderung der Blickrichtung nicht zugelassen. Für jedes Pixel, das sich der Mauszeiger bewegt, rotierte die Kamera um 1/10 Grad. Zur Translation dienten die *W/A/S/D*-Tasten der Tastatur (*W*: vorwärts, *A*: seitwärts-links, *S*: rückwärts, *D*: seitwärts-rechts). Die Bewegungsgeschwindigkeit war auf

0.3 Units pro Tastendruck festgelegt¹.

In jedem Frame wurden aktuelle Position, Blickrichtung und die vergangene Zeit seit Start des Programmes aufgezeichnet und nach Beenden des Programmes in eine *.txt Datei geschrieben.

Versuchsdesign

Es wurden sechs verschiedene Zielpunkte und drei unterschiedliche geometrische Landmarkenanordnungen untersucht, woraus sich insgesamt 18 Bedingungen ergaben. Die Reihenfolge der Bedingungen wurden pseudorandomisiert, so dass eventuelle Lerneffekte die Ergebnisse nicht verzerren. Jede Versuchsperson musste alle Bedingungen durchlaufen.

Die Landmarkenanordnungen bestanden aus einem Parallelogram, einem verschobenen, konvexen Deltoid (ein Punkt ist leicht verschoben, so dass die Diagonalen nicht orthogonal aufeinander liegen) und einem unregelmäßigen Viereck. Die Zielpunkte wurden so gewählt, dass einer der Zielpunkte auf dem Diagonalenschnittpunkt und einer auf dem Schwerpunkt der aktuellen Landmarkenanordnung lag. Außerdem lag jeweils ein Zielpunkt nahe und einer weiter entfernt vom Diagonalenschnittpunkt. Gleiches gilt für den Schwerpunkt 2.2. Die Versuchspersonen lernten die Position des Zielpunktes in jeder Bedingung in jeweils zwei Probephasen- und sechs Lernphasen-Trials. Daraufhin wurden in zwölf Testphasen-Trials die Entscheidungspunkte (der Ort, an dem die Versuchsperson entschied, sie sei auf dem Zielpunkt) der Versuchspersonen erhoben. So ergeben sich insgesamt 216 Entscheidungspunkte pro Versuchsperson.

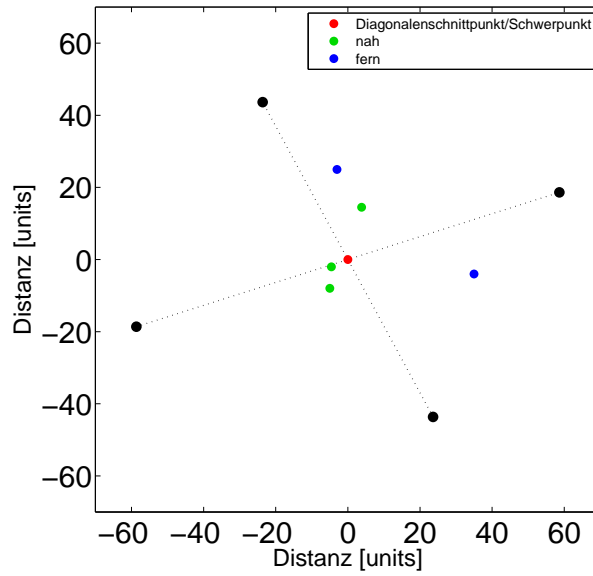
2.3. Versuchsablauf

Der Ablauf des Experimentes wurde von Jacobs et al. [4] und Lancier, Halfmann und Mallot [5] grob übernommen und angepasst. Zuerst wurde der Versuchsperson eine Einverständniserklärung A.1 gegeben, welche sie durchlesen und unterzeichnen musste. Danach wurde der Aufbau und Ablauf des Experimentes erläutert. Das Experiment wurde anschließend vom Versuchsleiter gestartet.

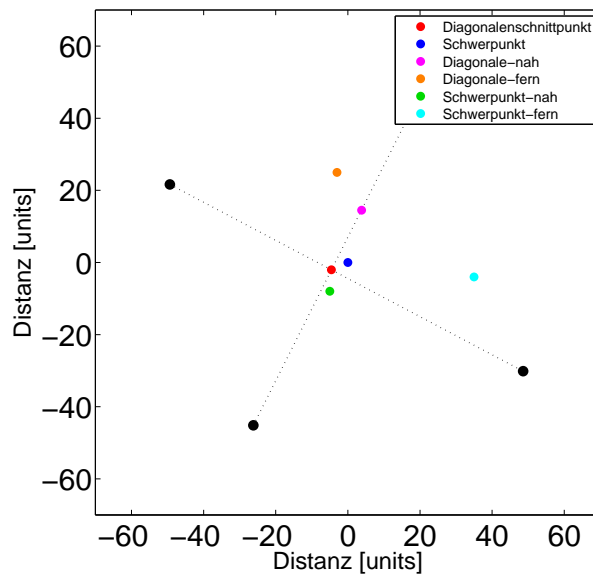
Zu Beginn erschien ein Informationsfenster auf dem Bildschirm, der die jeweilige Phase und

¹Vom Startpunkt lässt sich der Zielpunkt in 10-15s erreichen

2. Methoden



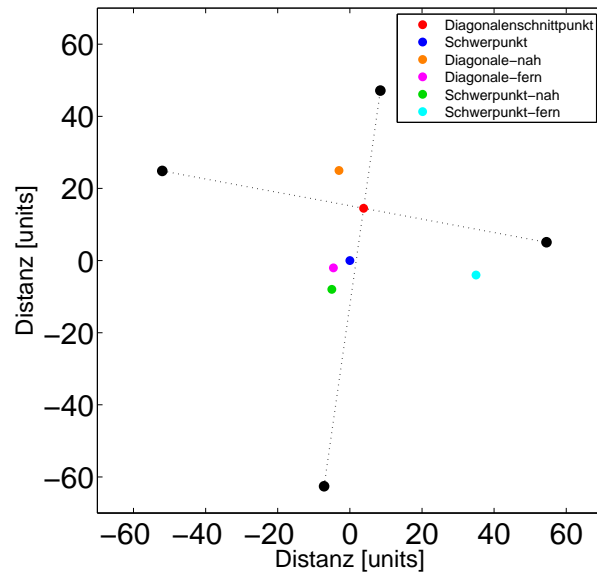
(a) Parallelogramm



(b) Unregelmäßiges Viereck

Abbildung 2.2.

2. Methoden



(c) verschobener Deltoid

Abbildung 2.2.: Die drei unterschiedlichen Landmarkenkonfigurationen. (a) Parallelogramm, Diagonalschnittpunkt und Schwerpunkt der Anordnung haben identische Koordinaten, (b) unregelmäßiges Viereck, Diagonalschnittpunkt und Schwerpunkt liegen nah beieinander, (c) verschobener Deltoid, Diagonalschnittpunkt und Schwerpunkt liegen entfernt voneinander

2. Methoden

die Nummer des aktuellen Zielpunktes enthielt. Außerdem enthielt das Fenster die Aufforderung den Trial mit der Space-Taste zu beginnen. Die Versuchsperson befand sich dann auf einem der zwölf Startpunkte mit Blickrichtung entgegen der Landmarkenkonfiguration. Ihre Aufgabe bestand nun darin, selbständig zum Zielpunkt zu finden. Mit der linken Maustaste ließ sich die aktuelle Position als vermuteter Zielpunkt bestätigen und somit ein Trial auch beenden. Der Versuchsleiter blieb bis zur ersten Testphase im Versuchsraum, um eventuelle Fragen der Versuchsperson zu beantworten oder Hilfestellung beim Finden des Zielpunktes zu geben.

Probephase

In der ersten Phase sollte sich die Versuchsperson den Ort des aktuellen Zielpunktes einprägen. Dieser war während des gesamten Trials sichtbar. Sobald sich die Versuchsperson auf dem Zielpunkt befand, konnte sie den Trial selbständig beenden.

Lernphase

Die Aufgabe in der zweiten Phase war es, den in der Probephase eingepprägten Zielpunkt wieder zu finden. Hierzu wurde der Zielpunkt ausgeblendet. Dieser wurde wieder sichtbar, sobald er betreten wurde. Die Versuchsperson wurde dann auf die Mitte des Zielpunktes teleportiert und die Fortbewegung deaktiviert. So hatte die Versuchsperson noch die Möglichkeit sich umzusehen und den Trial dann selbständig zu beenden.

Ziel dieser Phase war es, den Ort des Zielpunktes gut zu erlernen.

Testphase

In der Testphase war die Aufgabe gleich der der Lernphase. Allerdings wurde in dieser Phase weder der Zielpunkt bei Betreten eingeblendet, noch die Fortbewegung deaktiviert. So musste sich die Versuchsperson nur anhand der Landmarken für einen Punkt entscheiden, den sie für den gesuchten Zielpunkt hielt.

Insgesamt dauerte der Versuch im Durchschnitt knapp sechs Stunden, weshalb er in mehreren Sitzungen gemacht wurde. Eine Sitzung dauerte in der Regel etwa eineinhalb Stunden

2. Methoden

und beinhaltete das Messen der sechs Zielpunkte einer Landmarkenanordnung. Das Programm wurde in jeweils zwei Teile für jede Landmarkenanordnung, mit jeweils drei Zielpunkten aufgeteilt. Nach Beenden der ersten drei Zielpunkte konnte die Versuchsperson eine Pause machen und den zweiten Teil mit den restlichen drei Zielpunkten selbständig starten.

Da es zwischen den Versuchspersonen hohe Abweichungen in der Geschwindigkeit, mit der sie das Experiment absolvierten, gab, wurde davon abhängig entschieden, ob alle sechs oder nur drei Zielpunkte einer Landmarkenanordnung in einer Sitzung gemessen wurden.

Nachdem alle Bedingungen durchlaufen wurden, war das Experiment beendet und die Versuchsperson wurde mit acht Euro für jede Stunde entlohnt.

3. Ergebnisse

Die Rohdaten wurden mit Hilfe von Matlab[®] R2012a (7.14.0.739) ausgewertet und graphisch aufbereitet. Die Grafiken wurden visuell ausgewertet. Als Maß der Qualität eines Entscheidungspunktes lässt sich die Distanz zwischen dem vom Probanden gewählten Zielpunkt und dem tatsächlichen Zielpunkt nehmen. Diese Distanz wird im Folgenden als Fehler bezeichnet. Die Einheit ist in Units angegeben. Es wurden 11 Entscheidungspunkte aus der Auswertung ausgeschlossen, da sie mehr als 60 Units vom tatsächlichen Zielpunkt entfernt waren. Diese sind wahrscheinlich durch eine fehlerhafte Bedienung der Versuchssoftware entstanden. Beim Finden des Zielpunktes hat keine Versuchsperson eine Hilfestellung vom Versuchsleiter benötigt.

3.1. Allgemein

Als Maß der Performanz wurde der durchschnittliche Fehler gewählt. Bei einem Vergleich der Trials des ersten und des letzten Zielpunktes aller Versuchspersonen konnte ein Lerneffekt festgestellt werden. Ein T-Test zeigte sowohl für die benötigte Zeit zur Entscheidung als auch für die Performanz signifikante Verbesserungen zum Ende des Versuchs ($p_{\text{Performanz}} = 1.6222 \times 10^{-5}$, $p_{\text{Zeit}} = 1.0477 \times 10^{-7}$).

Abbildung 3.1 illustriert die durchschnittlichen Fehler in Abhängigkeit von der Distanz zum a) Diagonalschnittpunkt und b) Schwerpunkt, gemittelt über alle drei Landmarkenanordnungen. Da die Distanzen der Zielpunkte zum Diagonalschnittpunkt und Schwerpunkt abhängig von der Landmarkenanordnung variieren, wurden die Zielpunkte sechs Distanzkategorien zugeordnet. Wie deutlich zu erkennen ist, lässt sich weder in Abhängigkeit von der Distanz zum Schwerpunkt noch zum Schnittpunkt der Diagonalen eine Regelmäßigkeit in der Performanz erkennen.

3. Ergebnisse

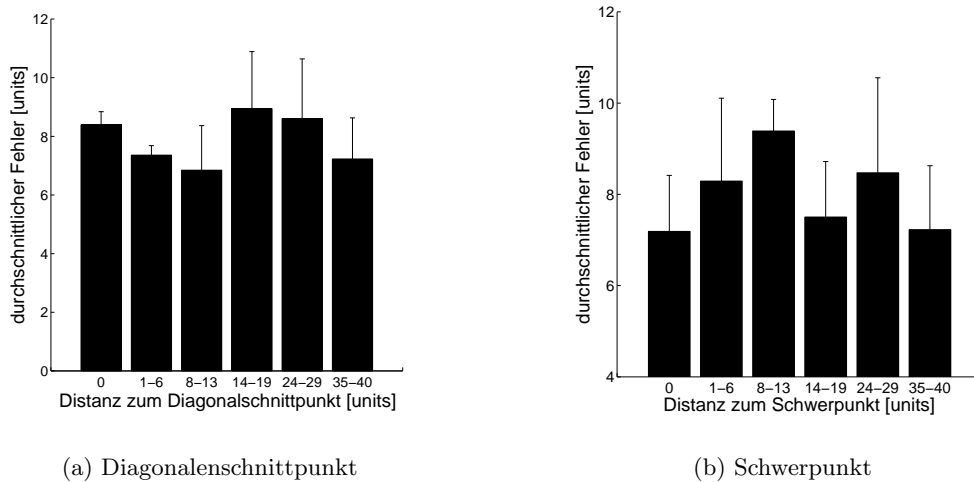


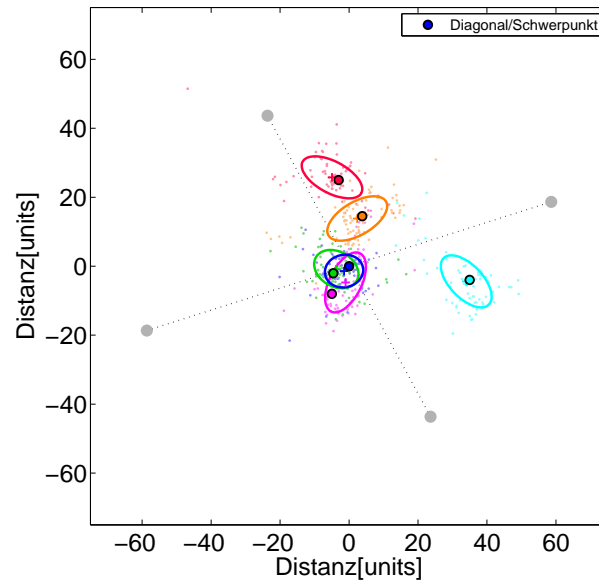
Abbildung 3.1.: Durchschnittlicher Fehler in Abhängigkeit von der Distanz zum (a) Diagonalschnittpunkt, (b) Schwerpunkt. Da die Distanz der Zielpunkte zum Diagonalschnittpunkt abhängig von der Landmarkenanordnung variiert, wurden diese in Kategorien eingeteilt. Neben dem durchschnittlichen Fehler ist auch die Standardabweichung der durchschnittlichen Fehler, aller Zielpunkte einer Kategorie, angegeben

Auf Abbildung 3.2 sind die Entscheidungspunkte und deren Fehlerellipsen von allen Versuchspersonen zu sehen. Es wird deutlich, dass die Fehlerellipsen von Zielpunkten in der Nähe der Diagonalen runder sind, als die Fehlerellipsen weiter entfernter Zielpunkte. Bei keiner der Landmarkenanordnungen lässt sich eine systematische Verschiebung der Entscheidungspunkte in Richtung Schwerpunkt oder Schnittpunkt der Diagonalen nachweisen

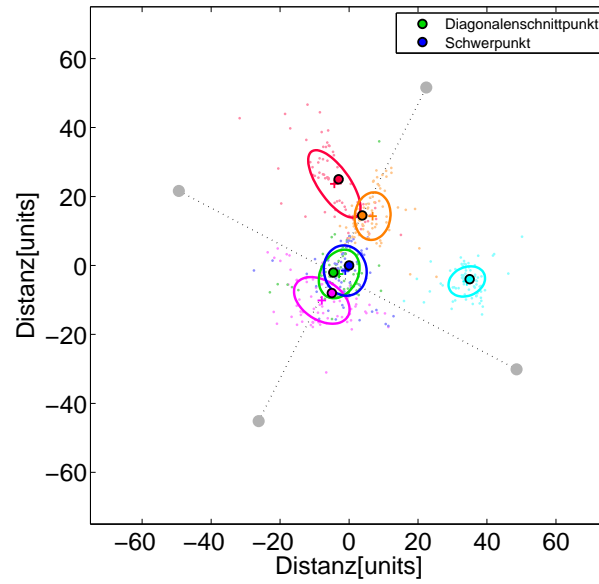
3.3. Um die Entscheidungspunkte in Abhängigkeit von der Startposition auszuwerten, wurden die Startpunkte wie in Abbildung 3.4 zu sehen ist, in Nord, Süd, Ost und West eingeteilt. Des Weiteren wurden alle Entscheidungspunkte auf einen Punkt korrigiert. In Abbildung 3.5 ist zu erkennen, dass es auch hier keine systematische Verschiebung gibt.

Bei Betrachtung der Trajektorien wird ersichtlich, dass unterschiedliche Suchstrategien angewendet wurden. In Abbildung 3.7 sind repräsentative Trajektorien aller Versuchspersonen dargestellt.

3. Ergebnisse



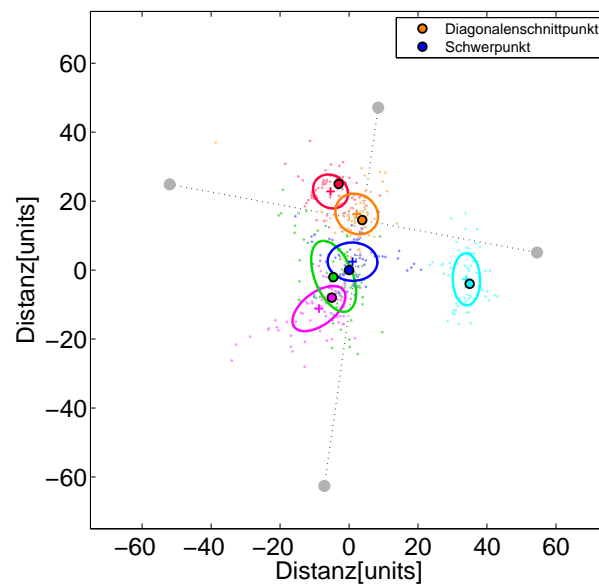
(a) Parallelogramm



(b) Unregelmäßiges Viereck

Abbildung 3.2.

3. Ergebnisse



(c) Vershobener Deltoid

Abbildung 3.2.: Entscheidungspunkte aller Versuchspersonen für die drei Landmarkenkonfigurationen. Es ist deutlich zu sehen, dass die Fehlerellipsen für Zielpunkte in der Nähe von Verbindungslinien kleiner und runder sind.

3. Ergebnisse

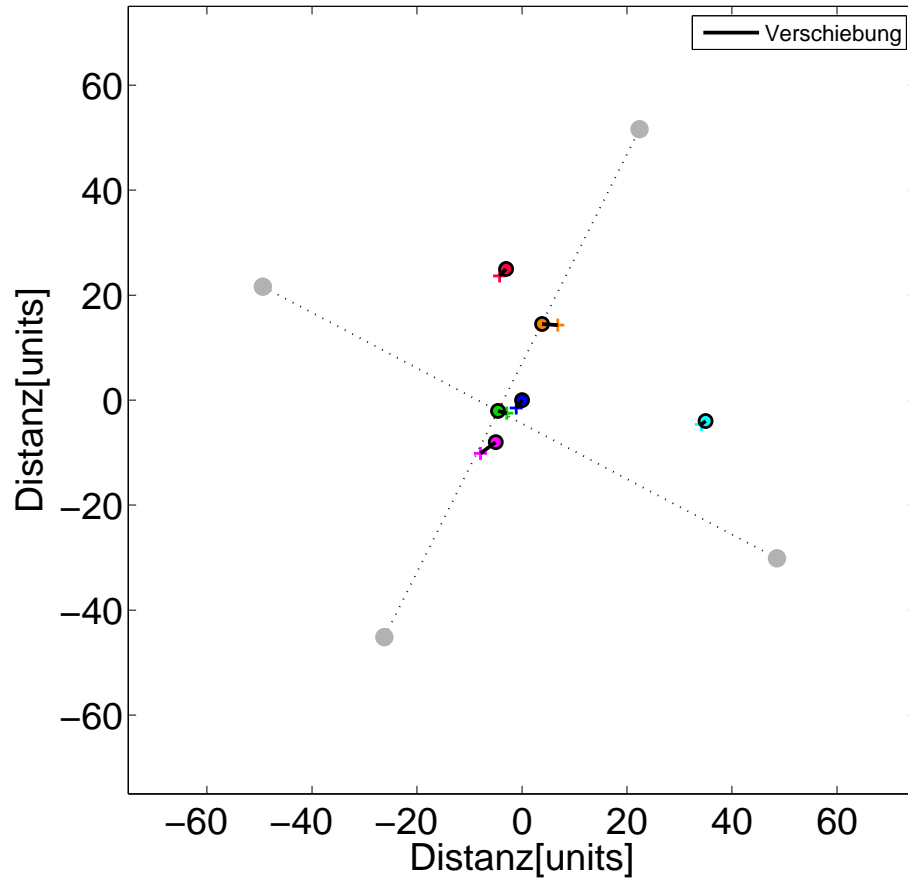


Abbildung 3.3.: Die Verschiebung der Fehlerellipsen relativ zum tatsächlichen Zielpunkt für die Konfiguration unregelmäßiges Viereck. Die schwarze Linie verbindet den Mittelpunkt der Fehlerellipse mit dem Zielpunkt. Es wird keine systematische Verschiebung aller Fehlerellipsen in eine bestimmte Richtung, oder zu einem bestimmten Punkt ersichtlich. Die Abbildung ist repräsentativ für alle Landmarkenkonfigurationen

3. Ergebnisse

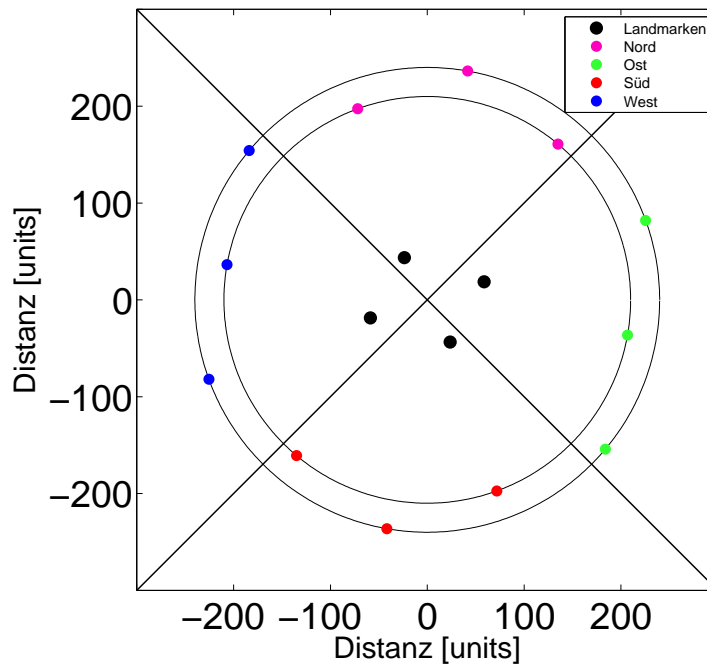


Abbildung 3.4.: Die zwölf Startpunkte liegen auf zwei Kreisen mit den Radien $r=210$ beziehungsweise $r=240$. Die Einteilung in Quadranten zeigt an, wie die Startpunkte nach Himmelsrichtungen kategorisiert wurden. Dabei wurden die Startpunkte im nördlichen Abschnitt mit einer Annäherungsrichtung „Nord“ eingestuft. Mit den restlichen Abschnitten wurde gleich verfahren.

Anhand der Trajektorien lassen sich zwei Suchstrategien klassifizieren. Zum einen der direkte Weg (3.6a und 3.6b), bei dem sich die Versuchsperson ohne größere Umwege in Richtung der von ihr vermuteten Position des Zielpunktes bewegt. Sobald sie sich dann in der Nähe des Zielpunktes befindet, beginnt eine Art Suchverhalten, welches sich in vielen Richtungsänderungen widerspiegelt. Die andere Suchstrategie ist eine indirekte Annäherung an den Zielpunkt (3.6c und 3.6d). Es wird ein Umweg über eine der Landmarken genommen und auf oder parallel zu einer imaginären Straße zwischen zwei Landmarken weitergegangen. In der Nähe des Zielpunktes zeigt sich kein ausgiebiges Suchverhalten.

Durch Betrachten der Trajektorien 3.7 erscheint es plausibel Versuchsperson 2 3.7b und 3 3.7c die Suchstrategie mit einer indirekten Annäherung, und Versuchsperson 1 3.7a, 4 3.7d, 5 3.7e und 6 3.7f die Suchstrategie mit einer direkten Annäherung an den Zielpunkt

3. Ergebnisse

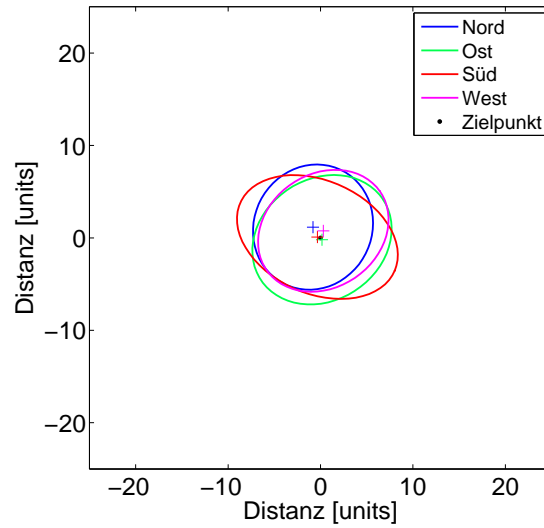


Abbildung 3.5.: Einteilung aller Entscheidungspunkte in Abhängigkeit von der Startposition für die Konfiguration Parallelogramm. Zur Visualisierung wurden alle Entscheidungspunkte auf den Zielpunkt $x=0, y=0$ verschoben. Mit (+) sind die jeweiligen Mittelpunkte der Fehlerellipsen gekennzeichnet. Abbildung ist repräsentativ für alle Landmarkenkonfigurationen

zuzuordnen. In Abbildung 3.8 ist ein Wechsel der Strategie bei Versuchsperson 2 und 3 zu sehen. Anfangs benutzten diese Versuchspersonen eine direkte Suchstrategie. Nach spätestens drei Bedingungen wechselten sie ihre Strategie zu einer indirekten Suchstrategie und behielten diese für den Rest des Experimentes bei.

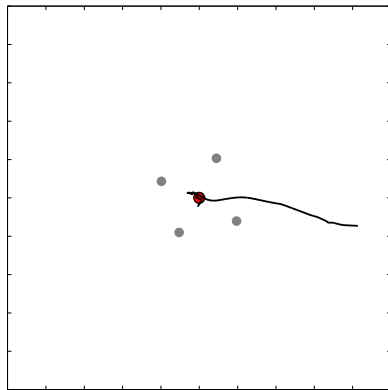
3.2. Vergleich: indirekte und direkte Suchstrategie

Vergleicht man die Fehler der beiden Suchstrategien mit Hilfe eines T-Tests, so ergibt dies ein signifikant besseres Abschneiden der Suchstrategie mit einer indirekten Annäherung ($p < 3 \times 10^{-21}$).

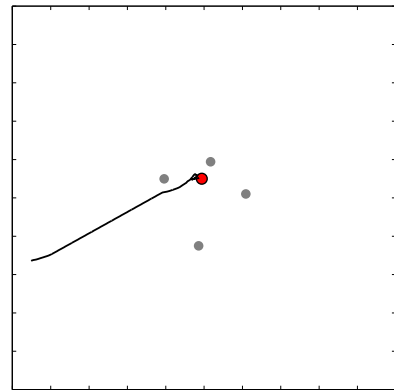
3. Ergebnisse

Dies lässt sich außerdem bei Betrachten der Fehlerellipsen bestätigen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Fehlerellipsen der indirekten Suchstrategie erheblich kleiner sind, als die der direkten Suchstrategie 3.10. Dies deutet einerseits auf einen durchschnittlich kleineren Fehler und andererseits auf eine kleinere Streuung der Entscheidungspunkte hin. Eine systematische Verschiebung abhängig von der Startposition ist bei keiner der Strategien zu erkennen 3.11.

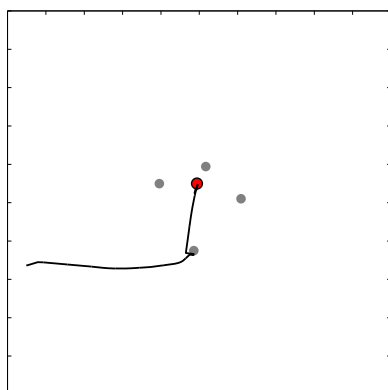
3. Ergebnisse



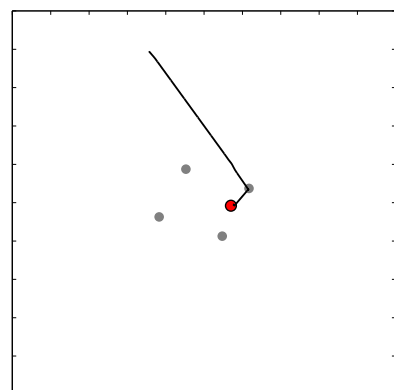
(a) VP1



(b) VP5



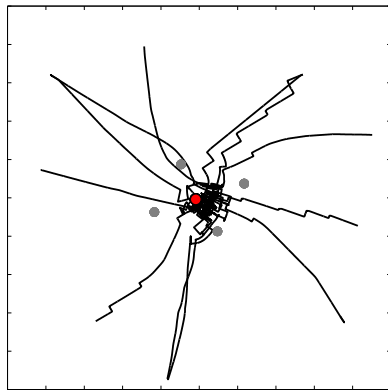
(c) VP2



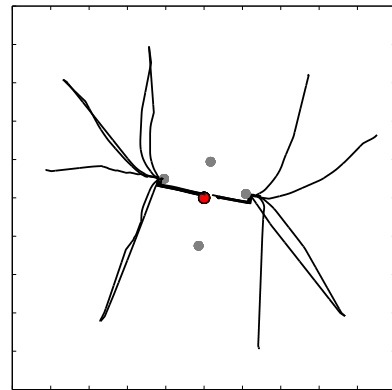
(d) VP3

Abbildung 3.6.: Beispielhafte Trajektorien. Es ist zu erkennen, dass in (a) und (b) eine direkte Annäherung auf den Zielpunkt stattfindet, während in (c) und (d) ein Umweg über eine der Landmarken genommen wird.

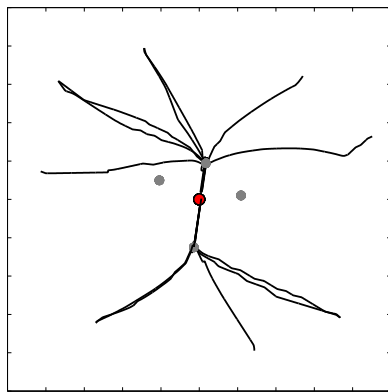
3. Ergebnisse



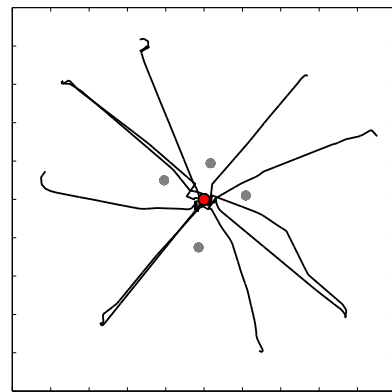
(a) Versuchsperson 1



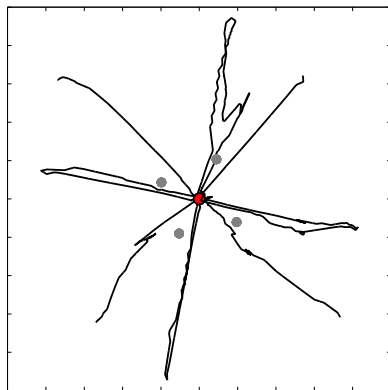
(b) Versuchsperson 2



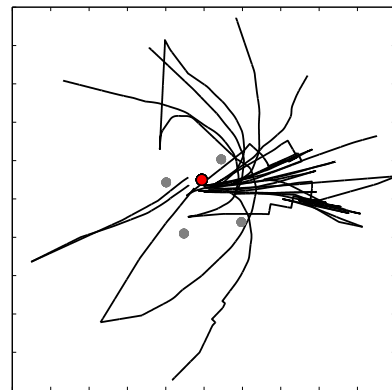
(c) Versuchsperson 3



(d) Versuchsperson 4



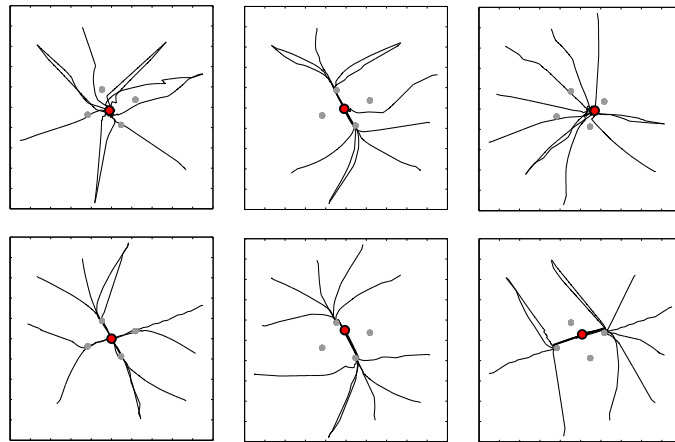
(e) Versuchsperson 5



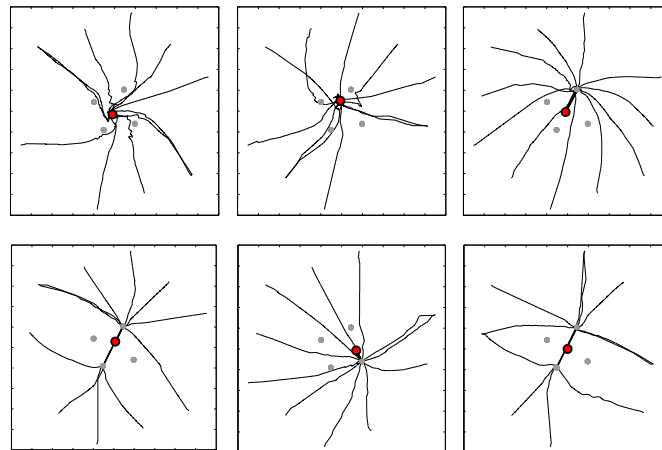
(f) Versuchsperson 6

Abbildung 3.7.: Alle 12 Trajektorien einer Bedingung für alle 6 Versuchspersonen. Es ist deutlich zu erkennen, dass 3.7b und 3.7c die indirekte, während 3.7a, 3.7d, 3.7e und 3.7f die direkte Suchstrategie verwendet haben.

3. Ergebnisse



(a) Versuchsperson 2



(b) Versuchsperson 3

Abbildung 3.8.: Abbildung aller Trajektorien der sechs ersten Bedingungen für (a) Versuchsperson 2 und (b) Versuchsperson 3. Die Reihenfolge der Bedingungen geht von links oben nach rechts unten. In (a) werden für die erste und dritte, in (b) für die erste und zweite Bedingung die direkte Suchstrategie verwendet.

3. Ergebnisse

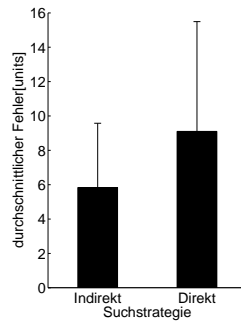
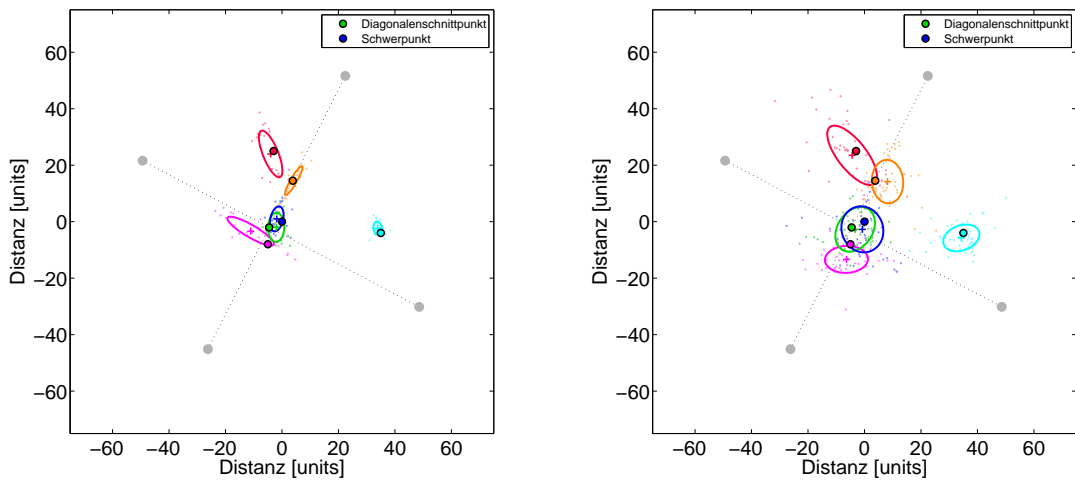


Abbildung 3.9.: Durchschnittlicher Fehler abhängig von der Suchstrategie gemittelt über alle Versuchsbedingungen. Es ist eine bessere Performanz für Versuchspersonen mit der indirekten Suchstrategie zu erkennen ($p < 0.001$).

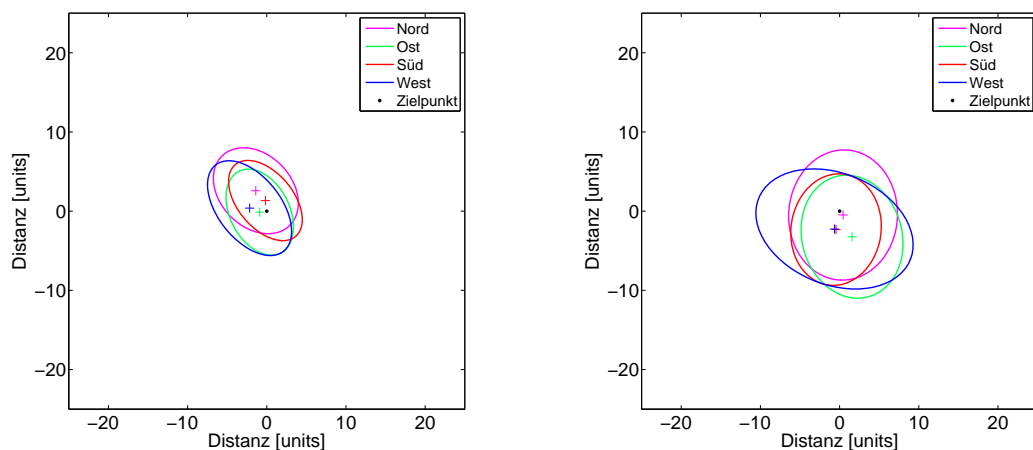


(a) Indirekte Suchstrategie

(b) Direkte Suchstrategie

Abbildung 3.10.: Visualisierung der Entscheidungspunkte für (a) die indirekte und (b) die direkte Suchstrategie für die Landmarkenkonfiguration unregelmäßiges Viereck. Diese Abbildung ist repräsentativ für alle Landmarkenkonfigurationen.

3. Ergebnisse



(a) Indirekte Suchstrategie

(b) Direkte Suchstrategie

Abbildung 3.11.: Fehlerellipsen abhängig von der Startposition für (a) die indirekte und (b) die direkte Suchstrategie für die Landmarkenkonfiguration unregelmäßiges Viereck. Mit (+) sind die jeweiligen Mittelpunkte der Fehlerellipsen gekennzeichnet. Es sind für keine der Strategien systematische Verschiebungen in Richtung der Startposition zu erkennen. Diese Abbildung ist repräsentativ für alle Landmarkenkonfigurationen

4. Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss nicht sichtbarer, geometrischer Hinweisreize verschiedener Landmarkenanordnungen auf die Ortserkennung beim Menschen zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde ein Suchexperiment in virtueller Realität durchgeführt. Hierbei sollten die Probanden unsichtbare Zielpunkte anhand von Landmarken wiederfinden.

Geht man davon aus, dass Schwerpunkt oder Diagonalenschnittpunkt relevante zusätzliche Hinweise zur Lokalisierung des Zielpunktes liefern, so würde man eine bessere Performanz in der Nähe dieser Punkte erwarten. Angesichts der Ergebnisse lässt sich allerdings kein Einfluss des Diagonalenschnittpunktes oder des Schwerpunktes auf die Performanz feststellen. Wie in Abbildung 3.1 zu erkennen ist sind die Unterschiede in den durchschnittlichen Fehlern im Vergleich zu den Standardabweichungen zu gering um eine klare Aussage über den Einfluss von Diagonalenschnittpunkt oder Schwerpunkt zu machen

Anhand der Fehlerellipsen 3.2 wird jedoch ersichtlich, dass durchaus zusätzliche Hinweisreize, außer den sichtbaren Landmarken, verwendet werden. Es ist zu erkennen, dass die Zielpunkte, welche sich in der Nähe einer Verbindungslinie zwischen zwei Landmarken befinden, mit einer geringeren Abweichung gefunden werden. Diese Tatsache lässt sich dadurch erklären, dass sich alle Versuchspersonen imaginäre Verbindungslinien zwischen den Landmarken vorstellten. Mit diesen zusätzlichen Hinweisen wurde das Finden der Zielpunkte erleichtert. Würden sich die Versuchspersonen keine Verbindungslinien vorstellen, so würde man erwarten, dass die Fehlerellipsen für alle Zielpunkte in etwa gleich aussehen.

Das von Cartwright und Collett [1] entwickelte Snapshot-Modell zur Navigation anhand von Landmarken vergleicht kontinuierlich das aktuelle retinale Abbild mit einem vom Zielpunkt erstellten Schnappschuss. Die Differenz der beiden Bilder wird verwendet, um zum Zielpunkt zu navigieren. Sinkt die Differenz unter einen bestimmten Schwellenwert, so befindet man sich in der Confusion Area. Nach diesem Modell würde man bei dem hier

4. Diskussion

durchgeführten Experiment eine systematische Verschiebung der Entscheidungspunkte in Richtung der Startposition erwarten, da die Versuchsperson den Trial beenden sollte, nachdem sie die Confusion Area betritt. Somit würde sie immer vor dem gesuchten Zielpunkt halten. Entgegen Lancier, Halfmann und Mallot (2011) [5] konnte dieses Verhalten nicht festgestellt werden. Ein Grund hierfür könnte der sehr offene Versuchsaufbau sein. Da man sich in dieser Studie nicht auf einem schmalen Pfad dem Zielpunkt annähern soll, sondern nach Belieben, ist es nicht zwangsweise gegeben, dass die Richtung, in der die Confusion Area betreten wird, gleich der Richtung, in der der Startpunkt liegt, ist. Für Versuchspersonen der indirekten Strategiegruppe sind die Annäherungsrichtungen sogar festgelegt durch die Position der Landmarke, welche als Anker benutzt wird. Zur weiteren Untersuchung wäre es notwendig, die Daten anhand der tatsächlichen Annäherungsrichtung und nicht in Abhängigkeit von der Startposition auszuwerten. Dafür wäre eine Methode zur sicheren Bestimmung der Annäherungsrichtung notwendig.

Die Einteilung der Versuchspersonen in verschiedene Suchstrategien geschah visuell anhand der Trajektorien aus den Testphasen. Auf Grund der Tatsache, dass die Mehrheit der Zielpunkte in der Nähe einer Verbindungslinie zwischen den Landmarken liegt, ist es nicht überraschend, dass die Versuchspersonen der indirekten Suchstrategie eine bessere Performanz aufweisen. Durch das Benutzen imaginärer Straßen wird der Suchraum um eine Dimension verringert, so dass nur noch die Länge der auf der Straße zurückgelegten Strecke von Bedeutung ist. Die Steuerung macht es möglich auf geradem Weg und ohne Abweichung den Straßen zu folgen. So ist zu erwarten, dass die Abweichungen von Entscheidungspunkt und Zielpunkt entlang der Verbindungslinien sehr viel höher sind, als orthogonal dazu. Diese Erwartung bestätigt sich beim Betrachten der Fehlerellipsen der Versuchspersonen mit der indirekten Suchstrategie 3.10a. Ob nun hier weiterhin ein Snapshot-Verfahren verwendet wird ist fraglich, da es durchaus möglich ist die Distanz von Landmarke zu Zielpunkt durch Mitzählen relativ genau abzuschätzen. Merkt man sich die Zeit die man während der Probephasen benötigt, so hat man eine Strategie, die vollkommen ohne das Snapshot-Verfahren auskommt. Man erwartet jedoch trotzdem relativ geringe Fehler bei der Entscheidung. Um diese Strategie zu erschweren könnte man einerseits die Translations-Geschwindigkeit ver-rauschen. Eine andere Möglichkeit wäre es, die Distanzen zwischen den Landmarken zu

4. Diskussion

erhöhen, so dass ein Mitzählen unplausibler wird. Eine Erhöhung der Distanzen führt allerdings auch zu einer Erhöhung des Schwierigkeitsgrades, da der Suchraum vergrößert wird. Zur weiteren Untersuchung der Suchstrategien ist es notwendig, ein Verfahren zur Klassifizierung der Strategie zu entwickeln. Ein Vorschlag hierfür wäre es die Trajektorie in zwei Teile einzuteilen. Man legt einen Kreis über den gesuchten Zielpunkt und der Abschnitt der Trajektorie, welcher in diesem Kreis liegt, bildet den ersten Teil. Alles was außerhalb dieses Kreises liegt, bildet den zweiten Teil. Wird die indirekte Suchstrategie verwendet, so ist auf Grund des weniger intensiven Suchverhaltens in der Nähe des Zielpunktes ein kurzer Teil der Trajektorie innerhalb des Kreises zu erwarten. Im Vergleich dazu zeigt sich bei der direkten Suchstrategie ein ausgiebigeres Suchverhalten in der Nähe des Zielpunktes, und somit sollte ein längerer Abschnitt der Trajektorie innerhalb des Kreises liegen. Für den Abschnitt der Trajektorie, welcher außerhalb des Kreises liegt, gilt genau gegensätzliches. Da bei der indirekten Suchstrategie ein Umweg über eine der Landmarken gegangen wird, ist zu erwarten, dass der Abschnitt außerhalb länger ist als die direkte Annäherung an den Zielpunkt, welche bei der direkten Suchstrategie verwendet wird. Anstatt die Länge der Trajektorie, könnte man auch die verbrachte Zeit verwenden.

Dieses Experiment lässt sich verbessern, indem man einen natürlicheren Versuchsaufbau wählt. Dies könnte man mit einer Erhöhung des Gesichtsfeldes erreichen. Eine weitere Möglichkeit wäre es, den Versuch über ein Head-Mounted Display zu präsentieren. Damit würde das Orientieren in der virtuellen Realität eher einem Orientieren in der realen Welt entsprechen.

A. Probandeninformationen

Probandeninformation zum Experiment

Name des Versuchsleiters: Stephan Lancier, Niklas Schulze

Sie werden an einem psychophysikalischen Experiment teilnehmen. Während des Experimentes werden Sie 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. Das Experiment wird insgesamt ca. 6 Stunden dauern und in mehrere Sitzungen aufgeteilt werden. Für Ihre Teilnahme erhalten Sie eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 8€ pro Stunde. Der vollständige Betrag wird am Ende der letzten Sitzung ausbezahlt.

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

Abbildung A.1.: Formular: Probandeninformationen

Abbildungsverzeichnis

1.1. Versuchsaufbau des Morris Water Maze	2
1.2. Lancier, Halfmann und Mallot [5] virtuelle Realität aus der Vogelperspektive	4
2.1. Screenshots der virtuellen Umgebung	7
2.2. Landmarkenkonfigurationen	9
2.2. Landmarkenkonfigurationen	10
3.1. Durchschnittlicher Fehler in Abhängigkeit von der Distanz zu Diagonalschnittpunkt und Schwerpunkt	14
3.2.	15
3.2. Entscheidungspunkte aller Versuchspersonen	16
3.3. Verschiebung der Fehlerellipsen	17
3.4. Startpunkte	18
3.5. Entscheidungspunkte abhängig von der Startposition	19
3.6. Beispielhafte Trajektorien	21
3.7. Trajektorien einer Bedingung von allen Versuchspersonen	22
3.8. Strategiewechsel von VP2 und VP3	23
3.9. Durchschnittlicher Fehler abhängig von der Suchstrategie	24
3.10. Vergleich der Fehlerellipsen abhängig von der Suchstrategie	24
3.11. Fehlerellipsen abhängig von der Startposition, getrennt nach Suchstrategie .	25
A.1. Formular: Probandeninformationen	30

Literaturverzeichnis

- [1] BA Cartwright and T.S. Collett. Landmark learning in bees. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 151(4):521–543, 1983.
- [2] K. Cheng. A purely geometric module in the rat’s spatial representation. *Cognition*, 23(2):149–178, 1986.
- [3] M.O. Franz, B. Schölkopf, H.A. Mallot, and H.H. Bülthoff. Learning view graphs for robot navigation. *Autonomous robots*, 5(1):111–125, 1998.
- [4] W.J. Jacobs, K.G.F. Thomas, H.E. Laurance, and L. Nadel. Place learning in virtual space* 1,* 2:: Ii. topographical relations as one dimension of stimulus control. *Learning and Motivation*, 29(3):288–308, 1998.
- [5] S. Lancier, M. Halfmann, and H.A. Mallot. Formation of place codes in dynamic environments (unpublished). 2011.
- [6] R.G.M. Morris. Spatial localization does not require the presence of local cues. *Learning and motivation*, 12(2):239–260, 1981.
- [7] J. O’keefe and L. Nadel. Précis of o’keefe & nadel’s the hippocampus as a cognitive map. *Behavioral and Brain Sciences*, 2(04):487–494, 1979.
- [8] A.C. Rencher. *Methods of multivariate analysis*. 2002.
- [9] N. Tinbergen and W. Kruyt. Über die orientierung des bienenwolfes (*philanthus triangulum* fabr.). *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 25(3):292–334, 1938.