

Die Auswirkungen des Kontrastes auf das visuelle Ortsgedächtnis des Menschen

Anja Maria Weiß

8. Juni 2005

Zulassungsarbeit für das Lehramt Gymnasium

Lehrstuhl Kognitive Neurowissenschaft

Fakultät für Biologie

Eberhard Karls Universität Tübingen

Erklärung:

„Ich erkläre hiermit, dass ich die Arbeit selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe und dass alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinne nach anderen Werken entnommen sind, durch Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht worden sind.“

Tübingen, den 8. Juni 2005

Danksagung:

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. Hanspeter A. Mallot für die Bereitstellung meines Themas, die Nutzung des Labors und die nette Betreuung bei komplexen Fragen zum Bildvergleich. Ich bedanke mich recht herzlich bei Frau Dr. Sabine Gillner für die freundliche Betreuung und Offenheit für alle Fragen.

Ich danke meinen Eltern Renate Maria und Christian Manfred Weiß, die mir das Studium ermöglicht haben.

Zusammenfassung

Für die Orientierung im Raum stehen dem Menschen eine Reihe von Informationsquellen zur Verfügung, Landmarken spielen dabei eine zentrale Rolle. Der Begriff der Landmarke wird in der Literatur kontrovers diskutiert, oft werden Landmarken mit identifizierbaren Objekten gleichgesetzt. Es gibt aber kaum Studien darüber, welche Merkmale in der Welt als Landmarken tatsächlich genutzt werden. Für Bienen konnte gezeigt werden (Cartwright & Collett [4]), dass sie eher Bilder (sog. Schnappschüsse) nutzen, um eine Futterquelle wiederzufinden. Burk [3] konnte zeigen, dass auch Menschen in der Lage sind, sich auf der Basis von Schnappschüssen zu orientieren. In dieser Zulassungsarbeit sollte die Schnappschussbasierte Navigation beim Menschen genauer charakterisiert werden. Ein theoretisches Modell von Stürzl [22] sagt voraus, dass diese Form der Navigation von dem jeweiligen Umgebungskontrast abhängig ist. Zwei weitere, von mir entwickelte Modelle, die unter anderem den Abstand zur Wand als zusätzliche Informationsquelle berücksichtigen, sagen eine solche Kontrastabhängigkeit nicht voraus.

Für die Experimente wurde die Methode der interaktiven Computergraphik¹ genutzt, da damit Reizparameter besonders genau kontrolliert werden können. Versuchspersonen hatten die Aufgabe, eine bestimmte Position in einem zylinderförmigen Raum wiederzufinden. Für Ziele in der Peripherie des Raumes konnte ich die von Stürzl vorhergesagte Kontrastabhängigkeit finden, nicht jedoch für zentrumsnahe Ziele. Dies lässt darauf schließen, dass Menschen in der Lage sind, auf der Basis von Schnappschüssen zu navigieren, ihre Strategie aber wechseln, wenn es möglich ist, auch weitere Informationsquellen wie den Abstand zur Wand zu nutzen.

¹Interaktive Computergraphik oder *engl.* Virtual reality (VR)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Navigation	1
1.2	Landmarken	2
1.3	Lokale Positionsinformation	4
1.3.1	Das Geometrische Modul	5
1.3.2	Das Schnappschuss-Modell	6
1.3.3	Wegintegration	7
1.4	Interaktive Computergraphik	8
1.4.1	Definitionen	9
1.4.2	Der Wahrnehmungs-Handlungs-Kreislauf	9
2	Fragestellung	11
3	Material und Methoden	12
3.1	Umgebung	12
3.2	Versuchspersonen	13
3.3	Paradigma	15
3.4	Technik	18
3.4.1	Software	18
3.4.2	Material	18
4	Modelle	21
4.1	Abstandsabschätzungen	21
4.1.1	Random Walk	21
4.1.2	Random Walk bei Berücksichtigung des Abstandes zur Wand	21
4.2	Bildvergleich	25

5	Ergebnisse	31
5.1	Kontrastabhängigkeit	31
5.2	Kontrastabhängigkeit einzelner Ziele	32
5.3	Fehlerellipsen	32
5.4	Geschlechter - Effekt	35
5.5	Lerneffekt	36
5.6	Protokollbogen	37
5.7	Fragebogen	40
6	Diskussion	42
6.1	Vergleich der empirischen Ergebnissen mit den theoretischen Ergebnissen der Modelle	42
6.2	Kontrastabhängigkeit	46
6.3	Fehlerellipsen	47
6.4	Geschlechter - Effekt	48
6.5	Lerneffekt	48
7	Anhang	I
7.1	Wandtexturen der verwendeten Kontraste mit zugehöriger si- noidalen Funktion	I
7.2	Berechnung der Fehlerellipsen	III
7.3	Abstandstabelle	V
7.4	Tübinger Wahrnehmungskonferenz	VI
7.4.1	Abstract der Wahrnehmungskonferenz [25]	VI
7.4.2	Poster der Tübinger Wahrnehmungskonferenz	VII
7.5	Leeres Formular des Protokollbogens	IX
7.6	Leeres Formular des Fragebogens	X

1 Einleitung

1.1 Navigation

Die Navigation ist eine der wichtigsten Verhaltensweisen in der Tierwelt. So ist es beispielsweise essentiell notwendig nach erfolgreicher Nahrungssuche zum Nest zurückzufinden oder auch am nächsten Tag eine gute Futterquelle wiederzufinden. Ein navigierender Organismus hat folgende Probleme zu lösen [23]:

1. Wo bin ich?
2. Wo befinden sich andere Orte in Bezug zu mir?
3. Wie gelange ich am besten von meinem derzeitigem Standpunkt zu anderen Orten?

Eine weitere Definition liefert Gallistel [10]: "Navigation ist der Prozess, bei dem man einen Kurs oder einer Kurve (Flugbahn) von einem Ort zu einem anderen bestimmt und beibehält. Prozesse, bei denen man seine eigene Position hinsichtlich der bekannten Umgebung einschätzt, sind dafür grundlegend. Die bekannte Umgebung besteht aus Flächen, deren Lage relativ zu einander auf einer Karte dargestellt sind."

Trullier et al. [23] unterscheiden verschiedene Navigationsleistungen entsprechend ihrer Komplexität und schlagen verschiedene Repräsentationen vor. Sie definieren eine Hierarchie der Navigation, die aus vier Stufen besteht:

1. Zielführung: Ein Organismus navigiert zwischen Objekten, die er in diesem Moment sieht. Zum Beispiel läuft eine Maus in einem Labyrinth 5cm entfernt von der linken Wand des Gangs, da sich dort eine Futterquelle befindet. Die Maus nützt den Abstand zur Wand zur

Zielfindung. Für diese Art der Navigation werden Sensorinformationen abgespeichert, die nützlich sind, um diesen Ort wiederzuerkennen ("Sensor-Related-Criterion").

2. Wegweisung bezeichnet die Kopplung einer gespeicherten Landmarke mit ihrer nachfolgenden Entscheidung, z. B. am Rathaus rechts vorbei ("Stimulus-Related-Stimulus-Response-Connection").
3. Topologische Navigation ist die Navigation auf der Basis bekannter Wege ("Stimulus-Related-Stimulus-Connection"): Es können somit Vorhersagen über den zu erreichenden Ort gemacht werden. Mit Hilfe vieler Sensor-Related-Stimuli können Routen errechnet werden. Werden mehrere Routen in einen Zusammenhang gebracht, entwickelt sich eine räumliche Vorstellung der Umgebung (Topologische Karte).
4. Metrische Navigation: Bei der metrischen Navigation werden durch Rekombination von Routen und metrischer Information der Umgebungen neue Wege möglich, zum Beispiel das Finden von Abkürzungen.

1.2 Landmarken

In der Literatur finden sich eine Reihe von Definitionen zum Begriff der Landmarke. Häufig werden markante Punkte in der Umgebung - zum Beispiel ein Kirchturm - als Landmarke definiert. Außerstädtische Landmarken sind Straßenschilder, alte Bäume, Brücken, etc. Landmarken sind also sich stark von der Umgebung abgrenzende, ortstreue Objekte, an welchen sich Organismen orientieren. Appleyard [1] definiert Landmarken über ihren Kontrast in gleicher Dimension (zum Beispiel Farbe oder Größe von Objekten) zur Umgebung.

Die richtige Wahl von Landmarken muss im Kindesalter erlernt werden. Bei jüngeren Kindern kann es zu Verwirrungen kommen, indem sie bewegliche Ziele als Landmarke wählen. So ist eine Katze von links keine Landmarke, an welcher man sich orientieren kann, da sie beim erneuten Aufsuchen derselben Stelle nicht mehr anzutreffen ist. Cornell et al. [6] untersuchten die Wahl der Landmarken bei sechsjährigen und zwölfjährigen Kindern bei ihrem ersten Weg durch einen Uni-Campus. Die Kindern wählten zu weit entfernte Gebäude oder zu kleine Objekte wie etwa ein Fensterbild, die ihnen beim Zurückfinden zum Startpunkt nicht weiterhelfen konnten.

Waller et al. [24] betonen, dass Landmarken für eine Positionsbestimmung nur im räumlichen Bezug zu anderen Objekten Informationswert besitzen (Landmarken-basierte Navigation).

Steck & Mallot [20] teilen Landmarken nach ihren Funktionen in zwei Gruppen ein, in die lokalen und globalen Landmarken. Lokale Landmarken sind Knotenpunkte an Weggabelungen, die für die Routen-Navigation benötigt werden. Globale Landmarken sind weit sichtbare Landmarken wie zum Beispiel die Skyline einer Stadt oder ein Berg. Bei ihren Versuchen mittels interaktiver Computergraphik (siehe Abschnitt 1.4) in einer simulierten Ortschaft stellten sie fest, dass sich die Versuchspersonen entweder mittels lokalen oder globalen Landmarken orientierten. Wurde dann eine Nachtumgebung (nur lokale Landmarken sichtbar) bzw. eine Dämmerung (nur globale Landmarken sichtbar) simuliert, so konnten die Versuchspersonen, die bevorzugt lokale Landmarken verwendeten, bei Dämmerung mittels globaler Landmarken navigieren. Ebenso konnten die Versuchspersonen, die bevorzugt globale Landmarken verwendeten, bei Nacht mittels lokaler Landmarken navigieren. Dieses Experiment zeigt, dass unterschiedliche Information nicht unbedingt in eine Karte konsistent integriert werden muss.

Das klassische Experiment für die Untersuchung von Landmarken-Konfigurationen ist das Wasserlabyrinth nach Morris [15]. Hierzu verwendet man einen zylindrischen Behälter (siehe Abbildung 1), welcher mit milchig-trübem,

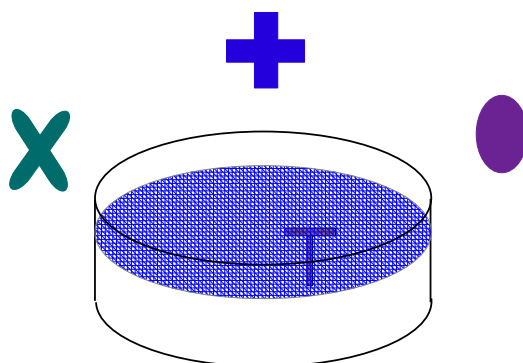


Abbildung 1: Modell des Wasserlabyrinths nach Morris

undurchsichtigem Wasser gefüllt ist. An einer Stelle ist eine Plattform knapp unter der Wasseroberfläche befestigt, welche wegen der Flüssigkeit nicht erkennbar ist. Um den Behälter befinden sich Gegenstände anhand derer die Plattform lokalisiert werden kann. Setzt man nun eine Ratte in den Behälter, so schwimmt sie umher und versucht sich zu retten. Irgendwann entdeckt sie die Plattform. Anhand der Landmarken schwimmt sie nach abgeschlossener Trainingsphase direkt zur Plattform.

1.3 Lokale Positionsinformation

Bis hierhin wurde implizit davon ausgegangen, dass Landmarken als identifizierbare Objekte anzusehen sind. Es gibt jedoch eine Reihe von Experimenten, die zeigen, dass das nicht zwangsläufig sein muss:

1.3.1 Das Geometrische Modul

Für Ratten wurde gezeigt, dass sie sich an der Geometrie des Raumes orientieren ohne auf zusätzliche Informationen wie Objekte und olfaktorische Reize angewiesen zu sein. Cheng [5] trainierte Ratten auf eine Futterstelle in einer Ecke einer rechteckigen Box (60cm x 120cm). Wurden die Ratten desorientiert und anschließend wieder in die Box gesetzt, so suchten sie in 47% der Fälle in der richtigen Ecke, in 31% der Fälle in der gegenüberliegenden Ecke und in 22% der Fälle in den beiden anderen Ecken. Addiert man nun die Prozentzahlen der richtigen Ecke mit der gegenüberliegenden Ecke, so erhält man 74%. Da gegenüberliegende Ecken anhand geometrischer Information nicht unterscheidbar sind, trafen die Ratten also mit 74%-tiger Wahrscheinlichkeit die richtige Entscheidung im geometrischen Sinne. Daraus schloss Cheng, dass die Ratten geometrische Informationen nutzten. In weiteren Versuchen wurde die richtige Ecke markiert - olfaktorisch oder visuell (zum Beispiel wurde eine Wand komplett eingefärbt), was aber von den Ratten nicht als Informationsquelle verwendet wurde. Derselbe Effekt zeigt sich bei kleinen Kindern (18 bis 24 Monate) [11], [12], hingegen können Erwachsene mit Hilfe eindeutiger Objekte die richtige Ecke lokalisieren. Werden sie während der Navigation aber abgelenkt, so nutzen sie - wie Ratten und kleine Kinder - ausschließlich geometrische Information [13].

Eine weitere Möglichkeit zum Wiedererkennen von Orten stellt das Schnappschuss-Modell dar, bei dem die Umgebung als ein Panoramabild² abgespeichert wird und das retinale Bild mit dem gespeicherten Schnappschuss verglichen wird.

²Panoramabild ist ein 360 Grad Bild

1.3.2 Das Schnappschuss-Modell

Das Schnappschuss-Modell von Cartwright & Collett [4] beschreibt eine Navigationstrategie. In Experimenten untersuchten sie das Futtersuchverhalten von Honigbienen, *Apis mellifera*. Während einer Trainingsphase wurde eine Futterquelle von drei schwarzen Zylindern umgeben, der restliche Versuchsraum war weiß gestrichen und er enthielt keine weiteren Gegenstände. Nach der Entfernung der Futterquelle flogen die Bienen genau zu der Stelle, an welcher sich die Futterstelle befand und begannen erst dann mit einem Suchflug. In weiteren Tests wurde die Konfiguration der Landmarken verändert, sodass die Bienen entweder in der richtigen Entfernung zu einer Landmarke suchen konnten oder aber an der Position, die das Schnappschuss-Modell vorhersagte (siehe Abbildung 2). Nach diesem Modell prägen sich die Bienen ein Panoramabild (Schnappschuss) der Umgebung ein und vergleichen dieses mit ihrem aktuellen, retinalen Bild. Um die Futterquelle wiederzufinden bewegen sie sich so, dass die Differenz dieser beiden Bilder minimiert wird. Verändert man die Landmarken-Konfiguration, dann suchen die Bienen an der Stelle, die das Schnappschuss-Modell vorhersagt.

Ob und mit welcher Genauigkeit Menschen sich auf der Basis von Schnappschüssen orientieren ist bislang wenig untersucht. Burk [3] konnte zeigen, dass es Menschen möglich ist, sich in einem virtuellen Raum ohne Kanten zu orientieren. Die Zielfindung war dabei abhängig vom Kontrast, in der Art, dass ein niedriger Umgebungskontrast zu einer ungenaueren Heimfindung führte. Eine solche Abhängigkeit wurde ebenfalls in einem theoretischen Modell von Stürzl [22] vorhergesagt. Empirisch wurde von Burk aber gezeigt, dass eine Verschlechterung der Navigationsleistung erst bei einer Reduktion auf 40% Kontrast auftrat, insbesondere waren seine Versuchspersonen bei den Experimenten mit 40% Kontrast besser als bei 100% Kontrast.

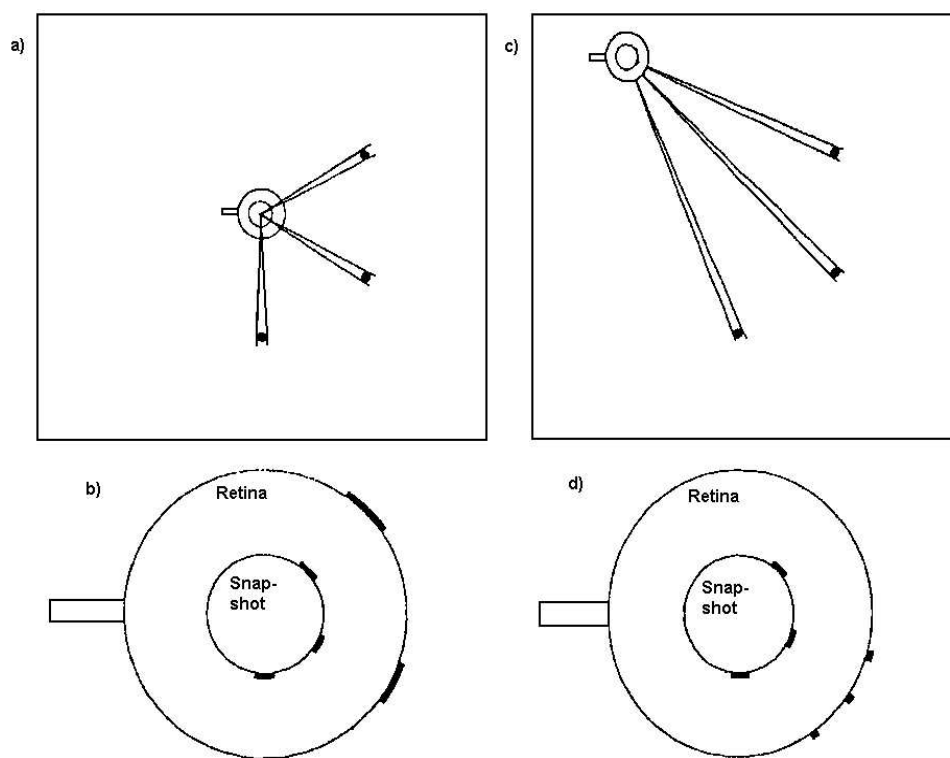


Abbildung 2: Schnappschuss und Bild der Retina: a) und b) zeigen den Schnappschuss an der Stelle der Futterquelle / c) und d) Bildvergleich des aktuellen Bildes der Retina mit dem Schnappschuss an einer Stelle im Anflug auf die Futterquelle

1.3.3 Wegintegration

Bei der Wegintegration speichert ein Organismus die Rotationen und Translationen seiner Bewegung zum Beispiel vom Nest zu einer Futterquelle und errechnet den kürzesten Weg zurück. Dieses Verfahren wird zum Beispiel in der Schifffahrt verwendet und nennt sich Koppelnavigation. Bei jeder Rotation und Translation treten in der Berechnung Fehler auf, die sich mit steigender Schrittzahl erhöhen. Die Genauigkeit liegt - bei bekannten Koordinaten

des Startpunktes - bei 2 bis 5 Prozent, bei starken Winden oder Strömungen bei 5 bis 10 Prozent. Um also sicher zur Ausgangsposition zurückzukehren, ist es sinnvoll noch weitere Informationen - zum Beispiel Landmarken - zur Verfügung zu haben.

In der Tierwelt verwenden zum Beispiel die Wüstenameisen, *Cataglyphis fortis*, die Wegintegration um den kürzesten Weg zum Nest zu finden. Dabei zeigen sie erstaunliche Leistungen: So sind sie zum Beispiel in der Lage nach Exkursionen von über 800m auf dem kürzesten Weg zurück zum Nest zu finden. Allerdings steigt auch hier der Fehler bei größeren Strecken. Die Wegstrecke wird unterschätzt je weiter die Ameisen vom Nest entfernt sind [19]. Säuger verwenden ebenfalls die Wegintegration zum Heimfinden [9].

1.4 Interaktive Computergraphik

Für die Versuche wurde interaktive Computergraphik³ genutzt, da sie für die Durchführung von Experimenten Vorteile gegenüber Experimenten in realen Umgebungen hat. Die Umgebung ist reproduzierbar, ein Experiment kann also jederzeit unter komplett gleichen Bedingungen wiederholt werden. Desweiteren ist man unabhängig von äußeren Faktoren wie Lichtverhältnissen oder Wetter. Mit Hilfe der interaktiven Computergraphik kann man für Experimente visuelle, olfaktorische und auditorische Reize simulieren. Allerdings bestehen auch Nachteile gegenüber Experimenten in realen Umgebungen. Als "Nebenwirkung" von Experimenten in virtuellen Umgebungen kann es zur sogenannten Simulationskrankheit kommen, dabei treten Übelkeit und Kopfschmerzen auf. Eine genauere Auflistung über das Arbeiten mit virtuellen Umgebungen sowie ihrer Vor- und Nachteile ist bei Péruch & Gaunet [16] zu finden.

³Interaktive Computergraphik oder *engl.* Virtual reality (VR)

1.4.1 Definitionen

Oft wird die interaktive Computergraphik mit Hilfe der technischen Komponenten definiert [21], wie zum Beispiel nach Coates: Die interaktive Computergraphik ist eine elektronische Simulation von Umgebungen, welche über eine Videobrille und verkabelter Kleidung wahrgenommen werden und es dem Benutzer ermöglicht in realistischen dreidimensionalen Situationen zu handeln.

Nach Steuer [21] ist es deutlicher. Er definiert die interaktive Computergraphik nicht über die technische Seite, sondern beschreibt als Präsenz die Wahrnehmung in einer Umgebung zu sein. Als Telepräsenz definiert er das Erleben von Präsenz in einer Umgebung durch ein Kommunikationsmedium und somit die interaktive Computergraphik als eine reale oder simulierte Umgebung in welcher man die Telepräsenz erlebt.

Ein weiterer Ansatz ist die Definition nach Riecke [17]. Die interaktive Computergraphik ist eine Schnittstelle zwischen dem Menschen und einer virtuellen Umgebung, welche es den Menschen erlauben in Echtzeit mit einer egozentrisch definierten Simulation einer 3D Umgebung zu interagieren.

Um die Interaktion zwischen den Versuchspersonen und der simulierten Umgebung sowie deren Handlung besser zu verstehen und mit der Handlung in realen Umgebungen zu vergleichen, erläutere ich den Wahrnehmungs-Handlung-Kreislauf.

1.4.2 Der Wahrnehmungs-Handlungs-Kreislauf

Der Wahrnehmungs-Handlungs-Kreislauf beschreibt die Interaktion zwischen der Wahrnehmung und Handlung [2], [17]. In einer natürlichen (realen) Umgebung (Abbildung 3a) kann ein Organismus mit seinen Handlungen direkt

die Umgebung manipulieren. Dies nennt man einen geschlossenen Informationskreislauf. Im Gegensatz zu einem offenen Informationskreislauf (Abbildung 3b), bei welchem man die wahrgenommene Umwelt nicht manipulieren kann. Ein Beispiel ist ein Film im Fernsehen, dessen Handlung auch nicht manipulierbar ist.

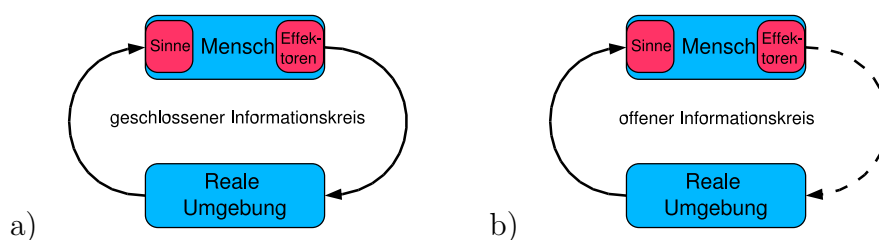


Abbildung 3: Wahrnehmungs-Handlungs-Kreislauf: a) geschlossener Informationskreislauf bei allen natürlichen (realen) Umgebungen b) offener Informationskreislauf ohne Rückkopplung zu Umgebungen, z. B. Fernseher

Um nun aber die Vorteile eines geschlossenen Informationskreislaufs auch in einer künstlichen Umgebung nutzen zu können, verwendet man die interaktive Computergraphik. Sie schließt den offenen Informationskreislauf mit Hilfe der virtuellen Umgebung (Abbildung 4). Es ist nun möglich in der rea-

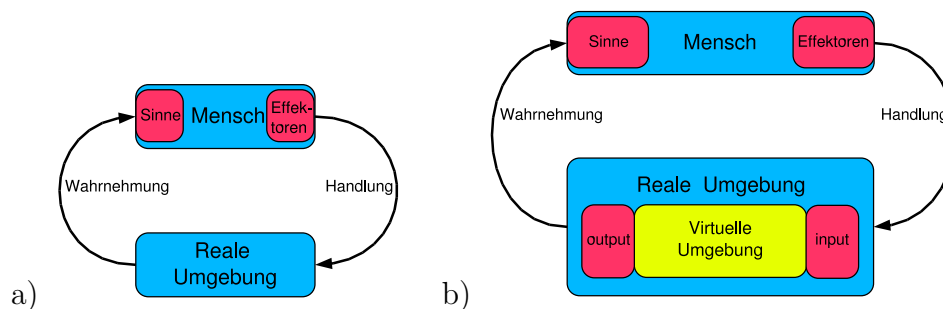


Abbildung 4: Handlungs-Wahrnehmungs-Kreislauf einer a) realen und b) virtuellen Umgebung.

len Welt Handlungen auszuführen, welchen dann eins zu eins in die virtuelle Umgebung übertragen werden (input). Nimmt man also nun die virtuelle Umgebung wahr, zum Beispiel über eine Videobrille, so kann die Versuchsperson in das Geschehen eingreifen (output).

2 Fragestellung

Können sich Menschen mit Hilfe von Schnappschüssen orientieren? Stürzl [22] sagt für die Schnappschussbasierte Navigation eine Abhängigkeit vom Umgebungskontrast voraus: die Orientierungsgenauigkeit nimmt streng monoton mit niedriger werdendem Kontrast ab. Eine rein landmarkenbasierte Navigation sollte nicht vom Umgebungskontrast abhängig sein, solange die Landmarken detektierbar sind. Empirisch wurde von Burk [3] eine Kontrastabhängigkeit gefunden, allerdings nur bei niedrigen Kontrasten, das heißt anders als von Stürzl vorhergesagt.

Aufbauend auf den Ergebnissen dieser Diplomarbeit wurde in meiner Zulassungsarbeit die Auswirkung des Kontrastes auf die Navigationsleistung von Menschen genauer untersucht. Der Kontrast eines regenbogenfarbenähnlichen Farbgradienten wurde reduziert. Nimmt nun die Orientierungsleistung streng monoton ab, je niedriger der Kontrast wird?

Für dieses Experiment ist die Nutzung der interaktiven Computergraphik (siehe Abschnitt 1.4) besonders sinnvoll, da es von besonderer Bedeutung ist den Parameter "Kontrast" exakt zu kontrollieren, was in realer Umgebung äußerst kompliziert wäre.

3 Material und Methoden

Es wurden Navigationsexperimente mit Versuchspersonen durchgeführt, hierzu wurde die Methode der interaktiven Computergraphik verwendet.

3.1 Umgebung

Als Versuchsumgebung wurde ein zylindrischer Raum genutzt, welcher keine Objekte enthielt. Die Grundfläche besaß einen Radius von 2,25 Metern. Die Raumhöhe betrug 2,5 Meter. Der Boden und die Decke waren weiß bzw. schwarz. Als Wandtextur wurde ein regenbogenähnlicher Farbgradient verwendet. Nachdem die Wandtextur erzeugt wurde, konnte sie auf die Innenwand des Zylinders projiziert werden.

Die Textur wurde folgendermaßen berechnet: Für jeden Farbkanal (r – rot, g – grün, b – blau) wurde mittels einer Sinusfunktion ein Farbgradient berechnet. Die Sinuskurven konnten in der maximalen Amplitude verändert werden, auf diesem Weg wurde der Kontrast der Textur variiert:

$$\begin{aligned}r(\varphi) &= 0.5 + \frac{c}{2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot \varphi) \\g(\varphi) &= 0.5 + \frac{c}{2} \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \varphi + \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \\b(\varphi) &= 0.5 + \frac{c}{2} \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \varphi + \frac{4 \cdot \pi}{3}\right)\end{aligned}$$

φ ist die Laufvariable der Pixel auf dem Radius des Zylinders in horizontaler Richtung.

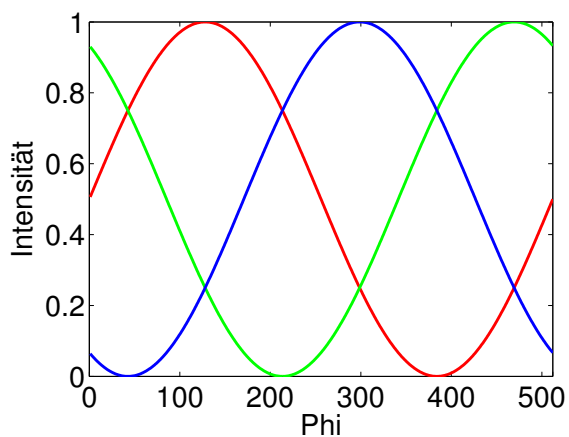


Abbildung 5: Intensität der drei Farbkanäle bei 100% Kontrast

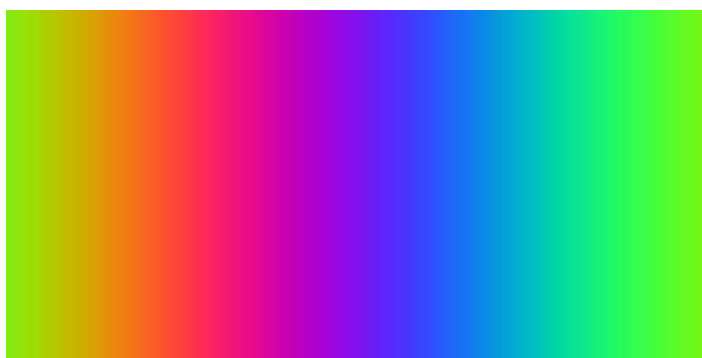


Abbildung 6: Wandtextur bei 100% Kontrast

3.2 Versuchspersonen

An den Experimenten nahmen sechs Versuchspersonen teil, jeweils 3 Frauen und 3 Männer. Jede Versuchsperson führte eine Versuchsreihe mit 6 Versuchen durch, je einen bei 100%, 70%, 40%, 30%, 20% und 10% Kontrast. Pro Versuch wurden 21 Durchgänge durchgeführt, der erste Durchgang diente dem Training. Die Versuchspersonen waren Studenten oder Angestellte der



Abbildung 7: Versuchsumgebung: Dieses Bild sahen die Versuchspersonen durch die Videobrille bei 100% Kontrast, das heißt es stellt einen Ausschnitt von 45 Grad horizontal dar.

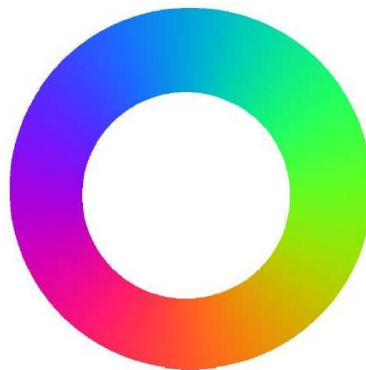


Abbildung 8: Vogelperspektive des virtuellen Zylinders bei 100% Kontrast

Universität Tübingen im Alter von 23 bis 34 Jahren. Das Durchschnittsalter betrug 26 Jahre. Alle Versuchspersonen erhielten zu Beginn (siehe Anhang 7.5) und zum Ende (siehe Anhang 7.6) des Experiments einen Protokollbogen mit Fragen zu ihrer Person.

3.3 Paradigma

Die Aufgabe der Versuchsperson war es, exakt zu einer zuvor erlernten Position in dem Zylinder zurückzufinden. Dieses Paradigma ähnelt der Suche nach einer verborgenen Plattform im Wasserlabyrinth von Morris [15].

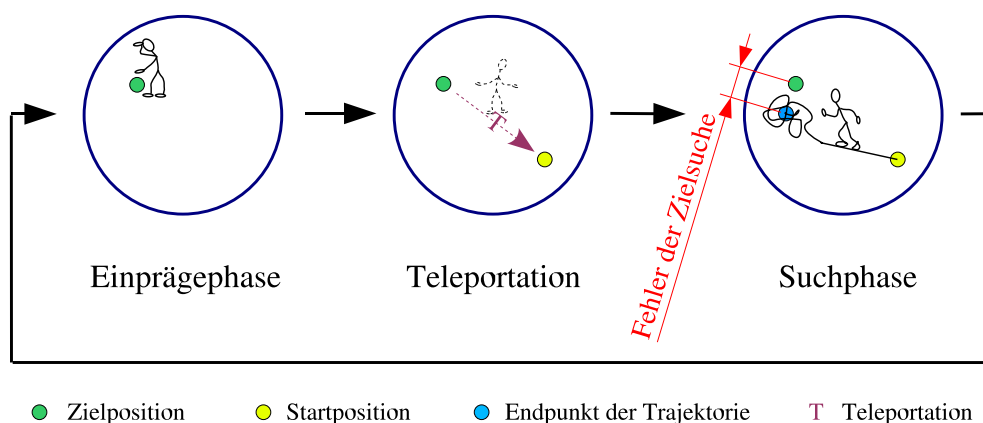


Abbildung 9: Versuchsdurchgang

Ein Durchgang gestaltete sich wie folgt (vgl. Abbildung 9):

- **Einprägephase:** Hier galt es sich die momentane Raumposition (= Zielposition) einzuprägen, um sie nacher wiederzufinden. Während dieser Phase war es den Versuchspersonen nur möglich Rotationen durchzuführen, damit sich die Position nicht ändern konnte.
- **Teleportation:** Per Mausklick wurden die Versuchspersonen zu einer Startposition teleportiert, das heißt, sie wurden an eine andere Zielposition teleportiert.
- **Suchphase:** Nun sollten die Versuchspersonen aktiv zur Zielposition gehen. Das Ende ihrer Suche markierten sie durch einen Mausklick. Die

Distanz zwischen dem Endpunkt ihrer Trajektorie und der Zielposition wird im Folgenden als Fehler der Zielsuche bezeichnet.

Insgesamt wurden 20 Durchgänge pro Versuch durchgeführt. Ein Versuch wurde von jeder Person sechs mal durchgeführt, jeweils bei einem anderen Kontrast (siehe Versuchsplan: Tabelle 1). Folglich führten 6 Versuchspersonen je 6 Messungen (je Kontrastwert) mit jeweils 20 Durchgängen aus, was einer Gesamtsumme von 720 Durchgängen entspricht.

VP Nr	Geschlecht	Messung (<i>Kontrast:Sequenz</i>)					
		1	2	3	4	5	6
01	w	100:2	70:1	40:2	30:1	20:2	10:1
02	m	70:2	40:1	30:2	20:1	10:2	100:1
03	w	40:1	30:2	20:1	10:2	100:1	70:2
04	m	30:1	20:2	10:1	100:2	70:1	40:2
05	w	20:2	10:1	100:2	70:1	40:2	30:1
06	m	10:1	100:2	70:1	40:2	30:1	20:2

Tabelle 1: Versuchsplan

Der Fehler der Zielsuche (siehe Abbildung 9) beschreibt den Abstand zwischen der Zielposition und dem Endpunkt der Trajektorie. Dabei wird nur der Abstand berücksichtigt; Informationen über die Richtung werden vernachlässigt.

Es wurden 5 verschiedene Zielpositionen verwendet, welche in zwei ver-

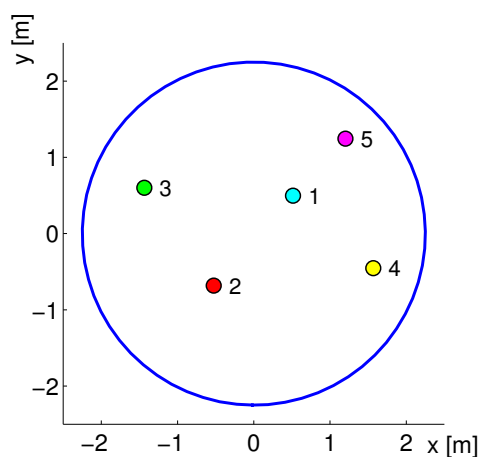


Abbildung 10: Zielpositionen im Zylinder

schiedenen Sequenzen nacheinander getestet wurden. Innerhalb einer Sequenz wurde jede Zielposition vier mal angelaufen und zwar von jeder anderen Zielposition aus (Siehe Tabelle 2). Es wurden zwei verschiedene Sequenzen verwendet, um auszuschließen, dass die Richtung aus der ein Ziel angelaufen wird, einen Einfluss auf den Fehler der Zielsuche hat.

Zwei der Zielpositionen wurden zentral angeordnet, die restlichen drei peripher. Die Nummerierung erfolgt aufsteigend nach Entfernung zum Mittelpunkt (vgl. Tabelle 6 im Anhang auf Seite V).

Sequenz	Reihenfolge der Zielpositionen
1	2 - 4 - 1 - 5 - 3 - 1 - 2 - 5 - 4 - 3 - 2 - 3 - 4 - 5 - 2 - 1 - 3 - 5 - 1 - 4 - 2
2	1 - 2 - 5 - 4 - 3 - 2 - 3 - 4 - 5 - 2 - 1 - 3 - 5 - 1 - 4 - 2 - 4 - 1 - 5 - 3 - 1

Tabelle 2: Sequenzen

3.4 Technik

3.4.1 Software

Die Experimente wurden mit einem Laptop durchgeführt, dessen Betriebssystem SUSE Linux 7.1 war. Als Grafikkarte wurde die Geforce2Go der Marke nVIDIATM verwendet, mit deren Hilfe das Bild an die Videobrille vom Laptop aus übertragen wurde. Die Versuchsumgebung wurde in C⁺⁺ und OpenGL⁴ PerformerTM programmiert.

Das Betriebssystem des Tracking Computers war Windows 2000 Professional mit der Trackingsoftware DTrack 1.18.2 von der Firma A.R.T GmbH, Hersching.

Alle Auswertungen, die Modelle und die Anova wurden in Matlab[®] der Firma Mathworks.Inc programmiert. Die Abbildungen wurden entweder mit Matlab[®] oder mit OpenOffice.org 1.1 Draw angefertigt.

3.4.2 Material

Die Versuche wurden im VR⁵-Labor des Lehrstuhls Kognitive Neurowissenschaften der Universität Tübingen durchgeführt. Der Raum war 6 Meter breit und 8 Meter lang. An den 4 Ecken der Decke war jeweils eine Trackingkamera ARTtrack1 der Firma A.R.T GmbH angebracht (siehe Abbildung 11a). Mit Hilfe dieser 4 Kameras konnte eine Fläche von 25 Quadratmetern (5 Meter x 5 Meter) getrackt⁶ werden.

Die Versuchspersonen mussten den in Abbildung 11b) dargestellten Helm tragen. An diesem sind fünf Kugeln befestigt, welche mit einer speziellen

⁴www.sgi.com

⁵VR - *englisch* Virtual Reality oder interaktive Computergraphik

⁶*engl.* to track - verfolgen / tracking system - Überwachungssystem. Jdm. / etw. tracken ist ein Fachbegriff aus dem Englischen, der im dt. Sprachgebrauch verwendet wird.

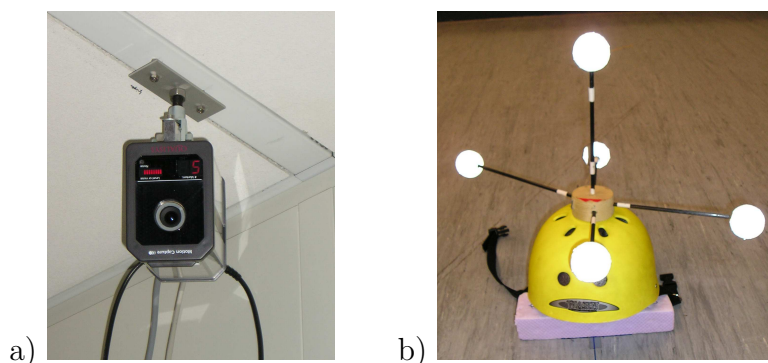


Abbildung 11: a) Trackingkamera und b) Trackinghelm

Reflexionsfolie beschichtet waren. Jede Kamera sendet Infrarotstrahlen aus, die an den Kugeln reflektiert werden. Trifft dieser reflektierte Strahl auf die CCD Bildsensoren der Kamera, so kann sie die genaue Position des Targets⁷ errechnen. Zum Tracken ist es nötig, dass mindestens 2 Kameras mindestens 3 Kugeln in ihrem Sichtfeld haben.

Diese Positionskoordinaten wurden via WLAN⁸ an ein Laptop der Marke Toshiba übertragen. Die Übertragungsrate betrug 30 fps⁹. Auf dem Laptop lief das Versuchsprogramm "Snapshot", welches den virtuellen Zylinder erzeugt. An die Graphik wurde über das WLAN die vom Tracking System ermittelte Bewegung gekoppelt, das heißt, dass die realen Bewegungen sich direkt als Bewegung in der virtuellen Welt übertragen (input - output: Abbildung 4b), [2], [17].

An das Laptop wurde die Videobrille Sony® Personal LCD Display Model No. LDI - D100BE angeschlossen. Die Brille wurde so präpariert, dass das reale Umfeld nicht gesehen werden konnte. Die Brille selbst hatte einen Blickwinkel von 30 Grad in horizontaler Richtung und 22.7 Grad in verti-

⁷ engl. target - Ziel; bezeichnet das "Ziel" für ein Tracking System.

⁸ wireless local area network

⁹ engl. frames per second - Datenübertragungsblock je Sekunde

kaler Richtung. Allerdings stellt das Programm das Blickfeld mit 45 Grad dar, was eine geometrische Verzerrung des Bildes zur Folge hat. Eine USB-Maus wurde an das Laptop angeschlossen über die die Versuchspersonen im Versuch Eingaben machen konnten. Da das Laptop von der Versuchsperson in einem Rucksack (siehe Abbildung 12) getragen wurde, konnte sich die Versuchsperson frei im Labor bewegen.



Abbildung 12: Versuchsperson während eines Versuchs

4 Modelle

Um Voraussagen für die Ergebnisse zu treffen, wurden drei Modelle aufgestellt, berechnet und dem Modell zur Schnappschussbasierten Navigation von Stürzl [22] gegenübergestellt.

4.1 Abstandsabschätzungen

4.1.1 Random Walk

Bei diesem Modell wird eine Versuchsperson simuliert, die auf der Grundfläche des Zylinders einen "Random Walk" durchführt, das heißt überhaupt keine visuellen Information berücksichtigt, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Dazu wurden fünf Millionen Zufallspositionen generiert, zu welchen der Abstand zu jeder der fünf Zielpositionen berechnet und gemittelt wurde. Somit kann man Voraussagen treffen für eine Versuchsperson, die sich rein zufällig im zylindrischen Raum positioniert.

In Abbildung 13 erkennt man, dass der Fehler der Zielsuche größer ist je weiter das Ziel vom Mittelpunkt¹⁰ entfernt ist.

Dieses Modell sagt voraus, dass der Kontrast keinerlei Auswirkungen auf das Ergebnis haben sollte und der Fehler für die zentralen Ziele kleiner sein sollte als für periphere Ziele.

4.1.2 Random Walk bei Berücksichtigung des Abstandes zur Wand

In einem weiteren Modell wurde eine Versuchsperson simuliert, die als einzige Information den Abstand des Zieles zur Wand nutzt. Dieses Modell sagt

¹⁰Die Zielpositionen 1 bis 5 werden anhand ihres Abstandes zum Mittelpunkt numeriert. Punkt 1 und 2 sind in Mittelpunktsnähe, hingegen sich die Punkte 3 bis 5 nahe der Wand befinden

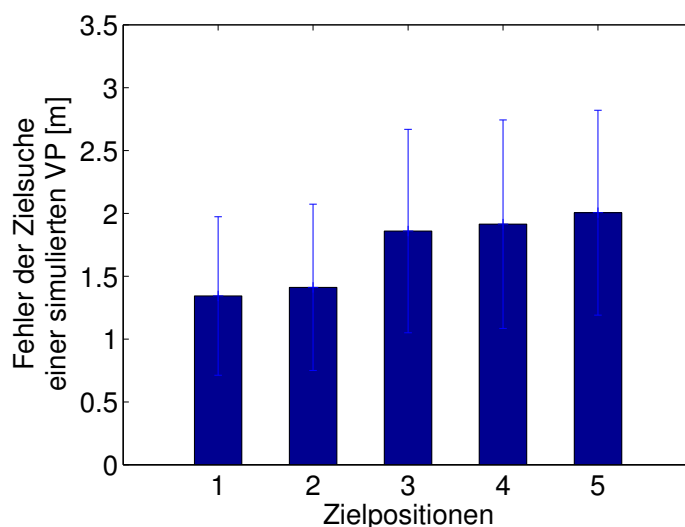


Abbildung 13: Fehler der Zielsuche einer simulierten Versuchsperson, die einen Random Walk auf der Grundfläche des Zylinders durchführt

ebenfalls voraus, dass der Kontrast keinerlei Auswirkungen auf die Orientierung hat. Die simulierten Endpunkte der Trajektorien liegen gleichmäßig verteilt auf einem Kreis um den Mittelpunkt mit dem Abstand der jeweiligen Zielposition zum Mittelpunkt als Radius (siehe Abbildung 14).

Der Abstandsvektor zwischen der Wand und einem mittelpunktsnahen Punkt (siehe Abbildung 15a) ändert sich bei einer Drehung um 360 Grad kaum. Bei einem peripheren Punkt hingegen verlängert beziehungsweise verkürzt sich der Abstandsvektor deutlich bei einer Drehung um 360 Grad (siehe Abbildung 15b). Siehe auch Tabelle 6 minimaler und maximaler Abstand der einzelnen Zielpositionen zur Wand im Anhang auf Seite V.

Vergleicht man nun die beiden Modelle (Abbildung 16), so erkennt man, dass bei beiden der Fehler zunimmt je weiter man sich vom Mittelpunkt entfernt. Wenn man den Abstand zur Wand als Information nutzt, ist der Unterschied an mittleren Zielen kleiner und an peripheren Zielen größer als

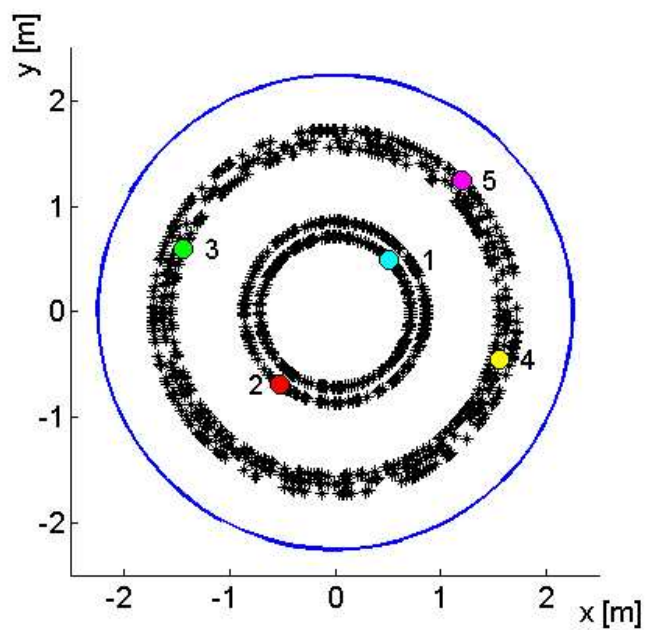


Abbildung 14: Simulierte Endpunkte der Trajektorien auf Kreisen mit gleichem Abstand zur Wand wie die jeweilige Zielposition

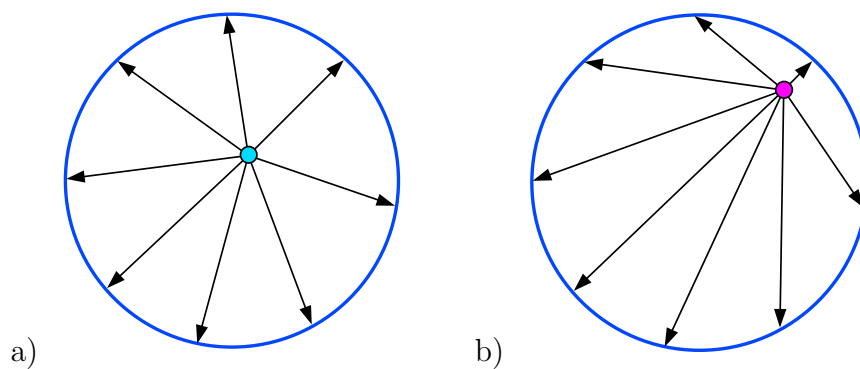


Abbildung 15: Abstandsvektoren von der Wand zu einer a) mittelpunktsnahen und einer b) peripheren Zielposition

beim reinen Random Walk.

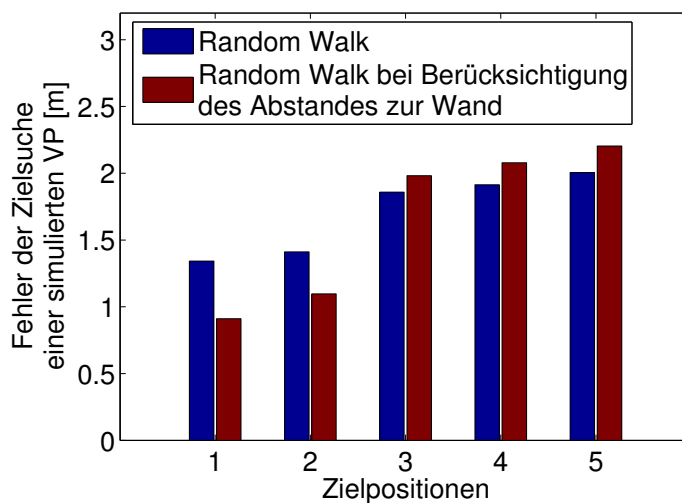


Abbildung 16: Vergleich der Fehler der Zielsuche von Modell 4.1.1 und Modell 4.1.2

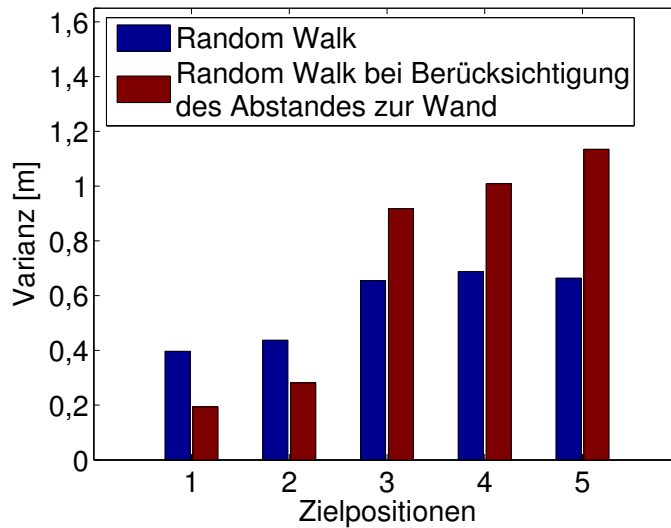


Abbildung 17: Varianz des Fehlers der Zielsuche von Modell 4.1.1 und Modell 4.1.2

4.2 Bildvergleich

Würden Versuchspersonen ein Ziel durch einen einfachen Bildvergleich wiederfinden, dann sollte die Genauigkeit ihrer Suche kontrastabhängig sein [22]. Um ein Maß zu erhalten, welcher Fehler bei einer rein bildbasierten Suche auftreten würde, wurde folgendes Verfahren verwendet.

Es wurden die Bilder I der zu betrachteten Zielposition \hat{y}_1 bis \hat{y}_5 mit Raumpositionsbildern verglichen.

Der Bildvergleich wurde in 4 Schritten programmiert:

1. Bild an einer Stelle \tilde{x} :

Zuerst betrachtet man das Bild I_M des zylindrischen Raumes, welches als Panoramabild am Mittelpunkt zu sehen ist.

$$I_M(\varphi) = \begin{cases} r(\varphi) &= 0.5 + \frac{c}{2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot \varphi) \\ g(\varphi) &= 0.5 + \frac{c}{2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot \varphi + \frac{2\pi}{3}) \\ b(\varphi) &= 0.5 + \frac{c}{2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot \varphi + \frac{4\pi}{3}) \end{cases} \quad (1)$$

mit $c = \text{Kontrast}$, $\varphi = \text{Winkel}$

Sei nun $\tilde{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$ ein beliebiger Punkt im Raum. Durch die Verzerrung $v(\varphi)$ erhalten wir das Bild zu der Form, welches eine Versuchsperson sieht, wenn sie auf dieser Position steht.

$$v(\varphi) = \arctan \frac{\sin \varphi - x_2}{\cos \varphi - x_1} = \Psi \quad (2)$$

Somit erhält man das Bild $I(v^{-1}(\Psi))$ an der Stelle \tilde{x} .

2. Bilddifferenz zweier Bilder \tilde{x}, \tilde{y} :

$$d_{\tilde{x}\tilde{y}} = \int \|I_{\tilde{y}}(\Psi) - I_{\tilde{x}}(\Psi)\|^2 d\Psi \quad (3)$$

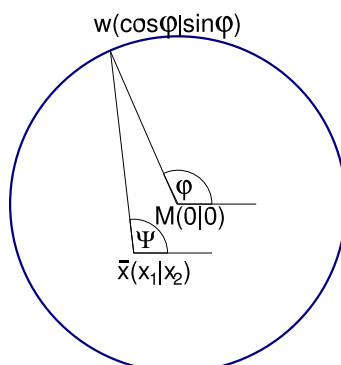


Abbildung 18: Skizze zur Berechnung der Verzerrung der Wandtextur

3. JND¹¹ - Distanz, bei der die Bilddifferenz einen Schwellenwert erreicht:

Der Bildvergleich wurde getestet für jede Zielposition

$$\hat{y}_i = \begin{pmatrix} y_{i_1} \\ y_{i_2} \end{pmatrix}, i = \{1 \dots 5\}$$

im Vergleich zu nahe gelegenen Punkten \tilde{x} , welche auf 6 Strahlen ausgehend von einer Zielposition liegen.

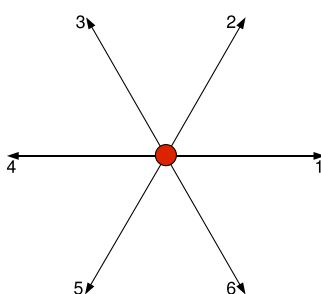


Abbildung 19: Zielposition mit zugehörigen 6 Strahlen

¹¹Just noticeable distance

$$\tilde{x}_{i_s j} = \begin{pmatrix} x_{i_s j_1} \\ x_{i_s j_2} \end{pmatrix}, \text{ Strahlen } s = \{1 \dots 6\},$$

Schritte $j = \{1 \dots n\}$, n beliebig.

Man führt nun jeweils nach einer Schrittweite von 2 mm einen Bildvergleich durch.

Der am weitesten entfernte Punkt, welcher die Bedingung

$$d_{\hat{y}_i \tilde{x}_{i_s j}} \leq 0.45 \quad (4)$$

erfüllt, ist der Schwellenpunkt \hat{x}_{i_s} . Dieser Wert wurde gewählt, weil so die Fehlerellipsen resultierten, die denen der empirischen Daten der Größe nach ähnelten.

4. Berechnung des Fehlers der Zielsuche:

$$h = \sqrt{(\hat{y}_{i_1} - \hat{x}_{i_{s_1}})^2 + (\hat{y}_{i_2} - \hat{x}_{i_{s_2}})^2} \quad (5)$$

Berechnet man nun den Bildunterschied (Abbildung 20), so erkennt man deutlich eine Kontrastabhängigkeit in allen Punkten. Von 10% Kontrast auf 20% Kontrast halbiert sich ungefähr der Fehler der Zielsuche. Bei weiterer Kontrasterhöhung fällt der Fehler weiter, allerdings nicht mehr in dem Ausmaß. Deweiteren haben die zentralen Zielpositionen (1 und 2) durchschnittlich einen größeren Fehler der Zielsuche als die peripheren Punkte.

Durch die Schwellenpunkte wurden Ellipsen gelegt. Betrachtet man nun die Zielpositionen zu ihren jeweiligen Kontrastwerten als Fehlerellipsen¹² (Tabelle 3), so erkennt man auch hier bei allen Kontrastwerten, dass die Fehler der simulierten Versuchspersonen in allen peripheren Zielpositionen kleinere

¹²Berechnung der Fehlerellipsen siehe Anhang 7.2

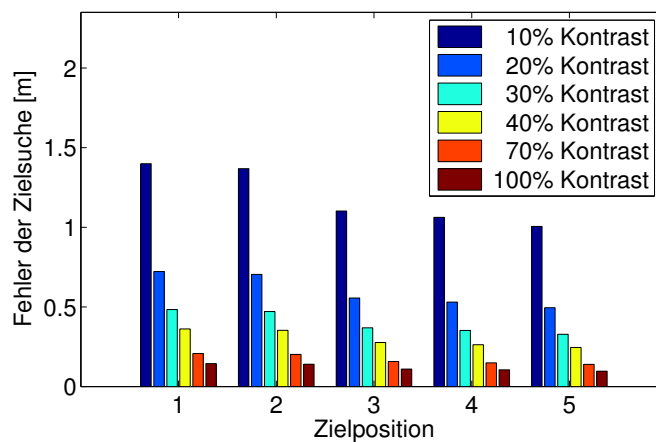


Abbildung 20: Fehler der Zielsuche des eindimensionalen Bildvergleichs in Abhängigkeit vom Kontrast und von den Zielposition

Fehlerellipsen besitzen als die Zielpositionen in Mittelpunktsnähe. Außerdem verringert sich deutlich die Größe der Fehlerellipsen bei zunehmendem Kontrast. Desweiteren erkennt man - bei 10% und 20% Kontrast - dass die Fehlerellipsen in Richtung des Raummittelpunkts verschoben sind. Dieses Phänomen bezeichne ich als systematischen Fehler [3].

Betrachtet man nun die Varianz der Bildunterschiede, so stellt man fest, dass sie niedrig ist und nur bei den niedrigen Kontrastwerten (siehe Abbildung 21) stark zunimmt.

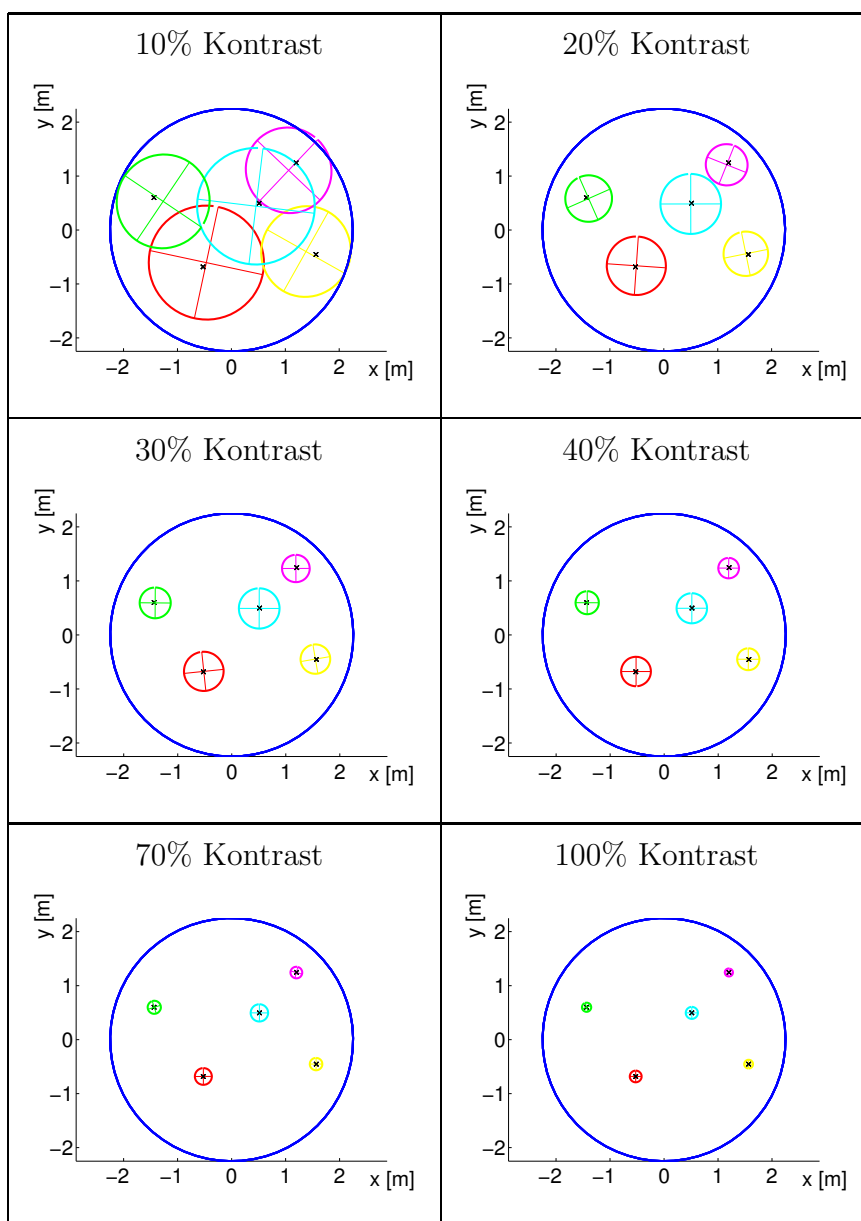


Tabelle 3: Fehlerellipsen des eindimensionalen Bildvergleichs der verschiedenen Kontrastwerte. Schwarz dargestellt sind die tatsächlichen Zielpunkte.

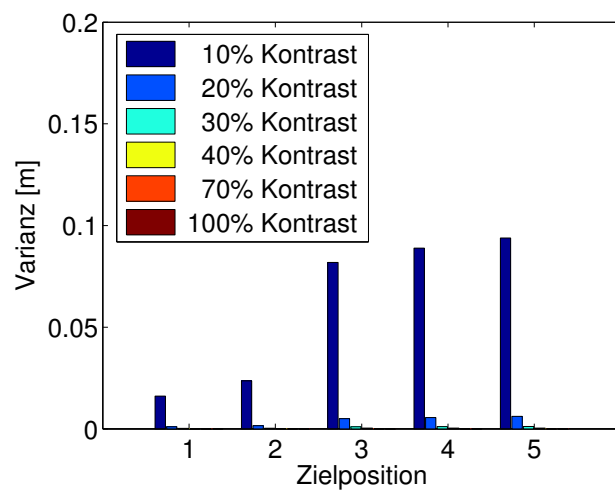


Abbildung 21: Varianz des Fehlers der Zielsuche des eindimensionalen Bildvergleichs in Abhängigkeit vom Kontrast und von den Zielpositionen

5 Ergebnisse

Es wurden Navigationsexperimente an Menschen durchgeführt. Untersucht wurde die Kontrastabhängigkeit der Navigationsleistung von Menschen, indem die Intensitätsänderung eines regenbogenfarbenähnlichen Farbgradienten variiert wurde.

5.1 Kontrastabhängigkeit

Das Balkendiagramm (Abbildung 22) zeigt den Fehler der Zielsuche bei den verschiedenen Kontrasten. Der Fehler ist bei 10% Kontrast am größten, hingegen bei 100% Kontrast am niedrigsten. Der Fehler fällt von 10% Kontrast über 20%, 30% bis auf 40% Kontrast, während er sich bei 40%, 70% und 100% Kontrast kaum ändert (ANOVA $f = 2,94$, $p = 0,0124$).

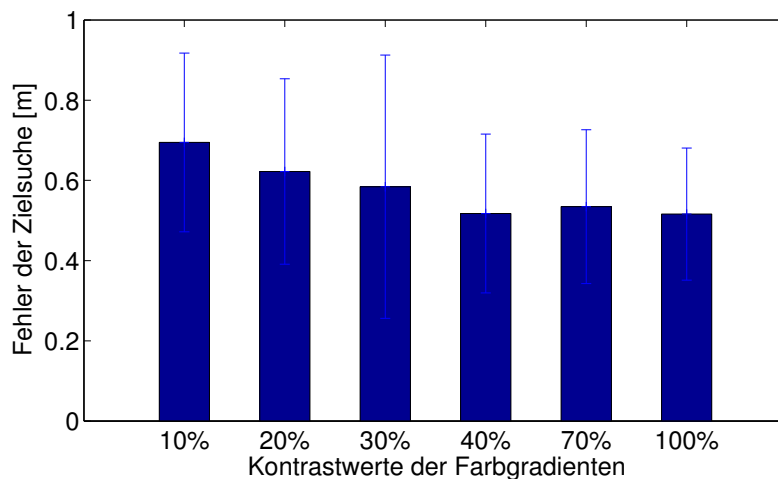


Abbildung 22: Fehler der Zielsuche der verschiedenen Kontrastwerten mit zugehöriger Standardabweichung

5.2 Kontrastabhängigkeit einzelner Ziele

In Abbildung 23 sind die Fehler der Zielsuche nach Zielpositionen und Kontrast aufgetragen. Die Heimfindegenauigkeit an den zentral gelegenen Zielpositionen 1 und 2 zeigen kaum eine Kontrastabhängigkeit, hingegen ist die Kontrastabhängigkeit deutlich bei den peripheren Zielpositionen 3, 4 und 5 zu erkennen (ANOVA: Zielpositionen $f = 5,95$, $p = 0,0003$, Kontrast*Zielpositionen $f = 0,88$, $p = 0,6075$).

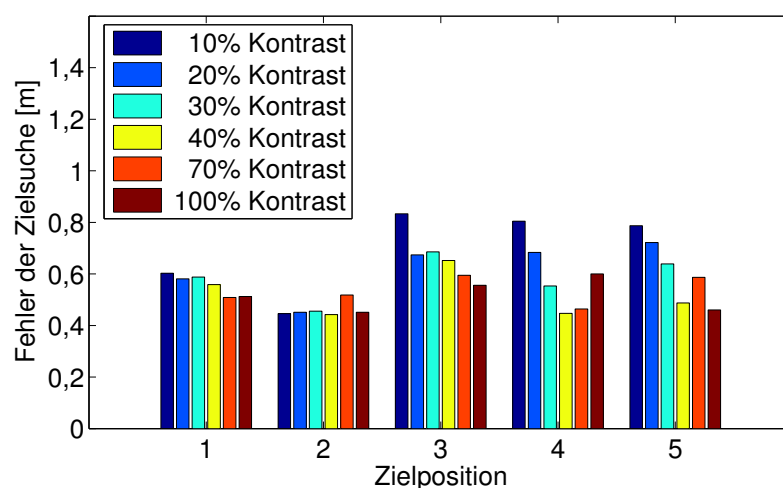


Abbildung 23: Vergleich des Fehlers der Zielsuche von den Zielpositionen mit den verschiedenen Kontrastwerten

Die Punktwolken aller Endpunkte der Trajektorien zeigen eine weite Streuung über den Zylinder.

5.3 Fehlerellipsen

Abbildung 25 zeigt die Fehlerellipsen der Heimfindegenauigkeit für die fünf Zielpositionen. Hierzu wurde zunächst über die Daten einer einzelnen Versuchsperson gemittelt, dann der Durchschnitt über alle Versuchspersonen

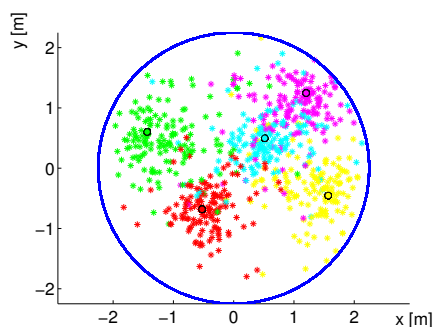


Abbildung 24: Punktwolke aller Endpunkte der Trajektorien

errechnet und anschließend über die verschiedenen Kontrastwerte gemittelt (Berechnung der Fehlerellipsen siehe Anhang 7.2). Die Mittelpunkte der Feh-

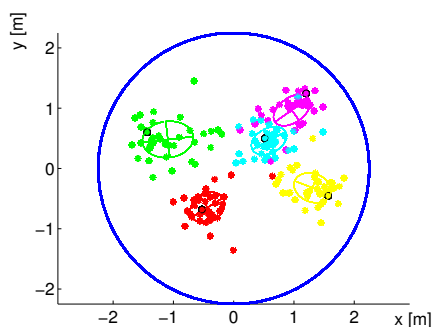


Abbildung 25: Fehlerellipsen der Zielpositionen gemittelt über alle Kontrastwerte

lerellipsen der Trajektorienendpunkte sind bis auf die Fehlerellipse von Zielposition 1 (blau) zum Mittelpunkt des Zylinders verschoben. Dieser Effekt bezeichne ich als systematischen Fehler [3].

Die Fehlerellipsen der Endpunkte der Trajektorien der einzelnen Kontrastwerte (siehe Tabelle 4) zeigen überwiegend ebenfalls einen systematischen Fehler. Vergleicht man die Fehlerellipsen bei unterschiedlichen Kon-

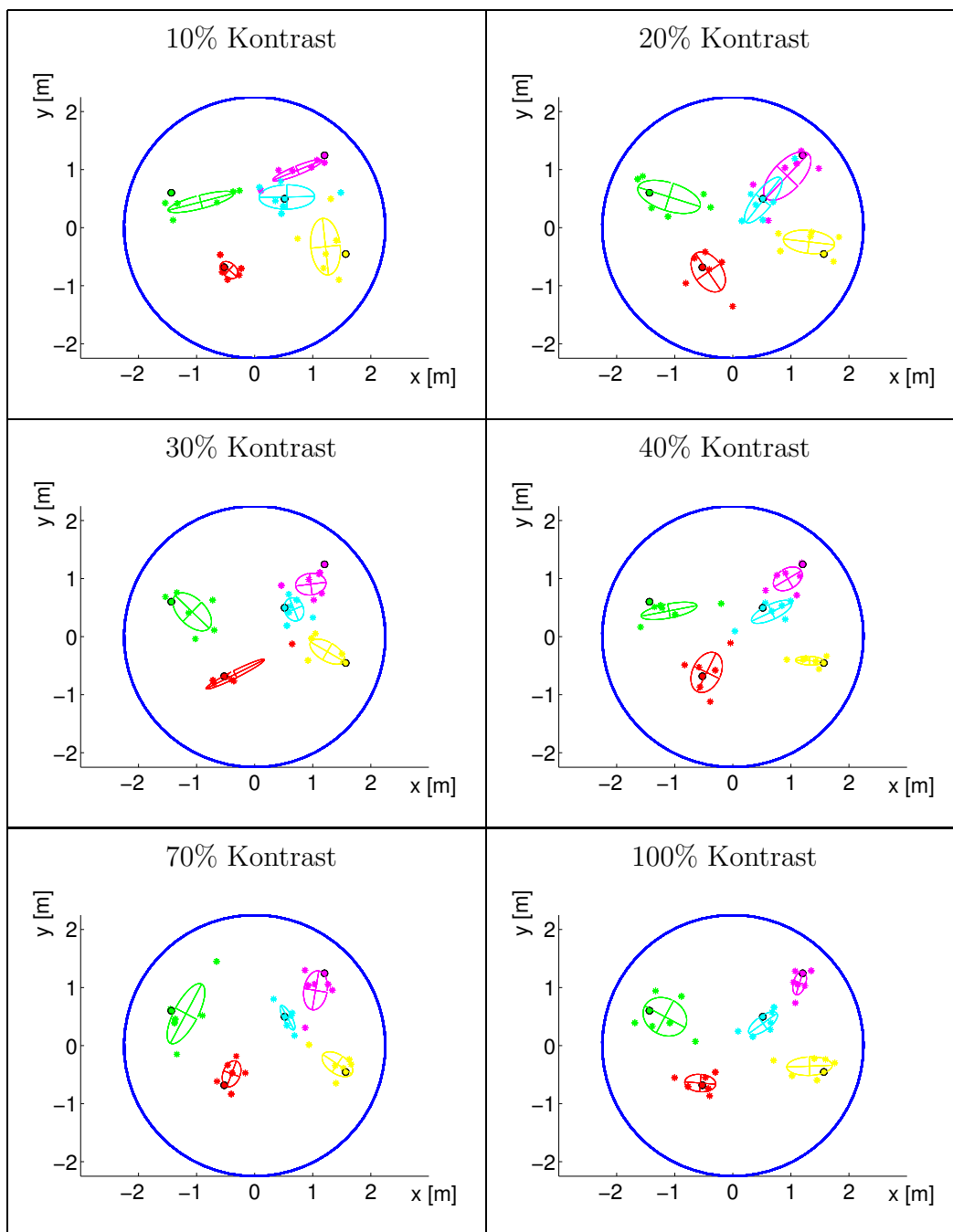


Tabelle 4: Fehlerellipsen der Zielpositionen der verschiedenen Kontrastwerte

trasten, so ändern sich die Größen ihrer Flächen, aber nicht in der Weise, dass sie bei 10% Kontrast die größte Fläche besitzen und bei 100% Kontrast die kleinste.

5.4 Geschlechter - Effekt

Die Navigationsexperimente wurde mit drei weiblichen und drei männlichen Versuchspersonen durchgeführt. Im Vergleich der Fehler der Zielsuche bei Frauen und Männern konnten sich die Männer besser orientieren als die Frauen. Nach Burk [3] orientierten sich die Frauen nicht-signifikant besser als die

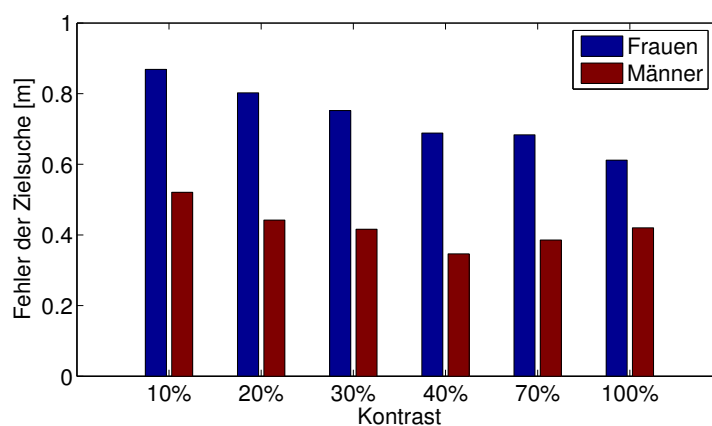


Abbildung 26: Vergleich des Fehlers der Zielsuche bei Frauen und Männer

Männer, in meiner Arbeit hingegen trat ein umgekehrter Effekt auf, welcher hoch signifikant war (ANOVA $f = 114,09$, $p = 0$).

In Abbildung 27 werden die Endpunkte der Trajektorien der Frauen und Männer gezeigt. Die Endpunkte der Trajektorien der Frauen streuen über weite Bereiche des Zylinders, hingegen ballen sie sich bei den Männern um die Zielpositionen, daher sind die Fehlerellipsen bei den Frauen größer als bei den Männern. Dies spricht wiederum dafür, dass sich Männer besser in virtuellen

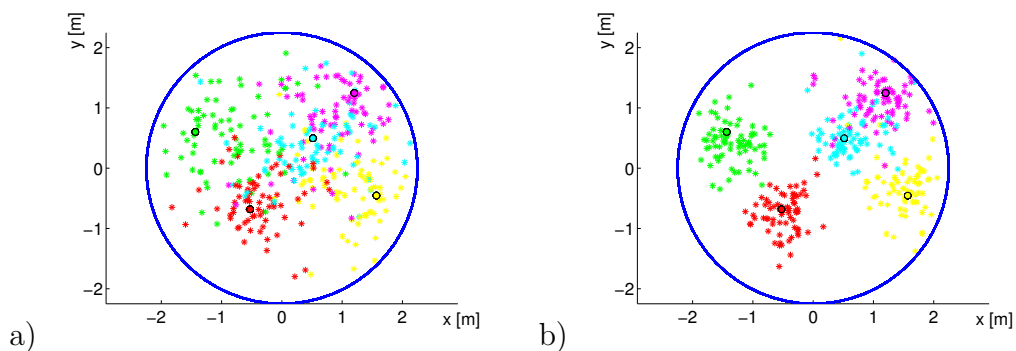


Abbildung 27: Vergleich der Endpunkte der Trajektorien a) der Frauen und b) der Männer

Räumen mit kleinem Blickfeld orientieren [7]. In Abbildung 28 zeigen die

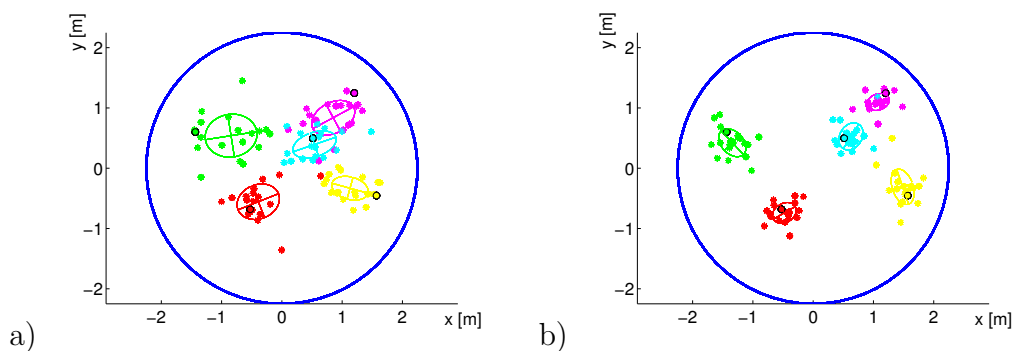


Abbildung 28: Vergleich der Fehlerellipsen a) der Frauen und b) der Männer

Fehlerellipsen der Versuchspersonen in beiden Fällen einen systematischen Fehler.

5.5 Lerneffekt

Jede Versuchsperson führte sechs Versuche durch bei jedem Kontrast jeweils einen Versuch. Um einen Lerneffekt auszugleichen, starteten die Versuchspersonen bei unterschiedlichen Kontrasten (vgl. Versuchsplan: Tabelle 1).

Abbildung 29 zeigt den Fehler der Zielsuche gemittelt über die Reihenfolge, in der die Versuchspersonen das Experiment durchführten. Da jede Versuchsperson bei einem anderen Kontrast startete, sind in jedem Balken je eine Messung pro Kontrast vorhanden. Der Fehler der Zielsuche fällt leicht

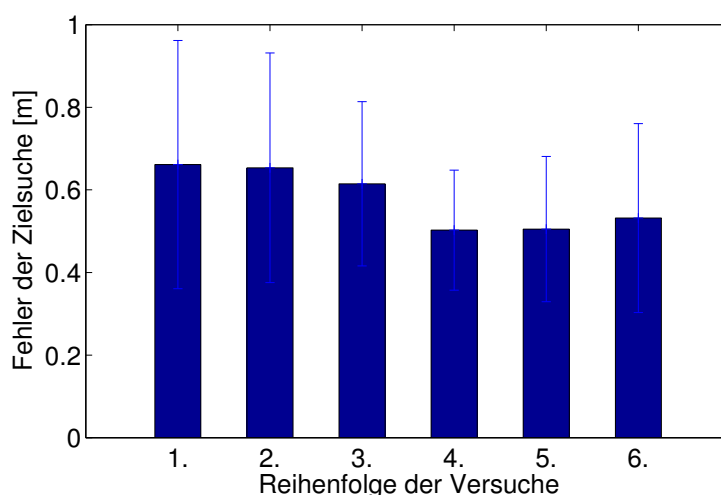


Abbildung 29: Lerneffekt der Versuchspersonen

von der ersten zum dritten Messung. Von der dritten zur vierten Messung fällt der Fehler, wohingegen er sich von der vierten zur sechsten Messung leicht wieder verschlechtert (ANOVA $f = 3.27$ $p = 0,0064$).

5.6 Protokollbogen

Die Versuchspersonen füllten nach der Einführung zu den Versuchen einen Protokollbogen (Formular siehe Anhang 7.5) aus, um festzustellen, ob sie die Versuche auch durchführen können. Im Umgang mit der interaktiven Computergraphik - in diesem Fall mit der Videobrille - kann es leicht zu Übelkeit kommen. Eine ausreichende Erfahrung mit Fahrgeschäften oder mit Computern kann dies vorbeugen.

Auswertung

Das Durchschnittsalter der Versuchspersonen betrug 26 Jahre. Alle 6 waren Rechtshänder. 4 von ihnen sind Brillenträger, wobei davon 3 kurzsichtig und nur einer weitsichtig ist.

Zu den Fähigkeiten: 4 der Versuchspersonen waren Kirmes erprobt und fähig im Auto zu lesen, ohne dass es ihnen übel wurde. Es war nur eine Versuchsperson fähig im Auto zu lesen, aber nicht Kirmes erprobt. Eine Versuchsperson verfügte über keine der beiden Eigenschaften. Während den Versuchen wurde es nur 2 Versuchspersonen manchmal etwas übel aufgrund der virtuellen Umgebung.

Statistische Auswertung:

Durchschnitt der / des	Wert
Orientierungsfähigkeit	5.3333
Erfahrung im Umgang mit Computern	6.5
Grads an Computerspielepraxis	7.8333

Tabelle 5: Auswertung der Protokollbögen: Bei den Werten bedeutet 1 - sehr gut bis hin zu 10 - schlecht

Vergleicht man die Korrelation der Orientierungsfähigkeit, der Erfahrung im Umgang mit dem Computer bzw. den Grad an Computerspielepraxis mit dem Fehler der Zielsuche gemittelt über alle Kontrastwerte und Zielpositionen (siehe Abbildung 30), so findet man einen Bezug zwischen der Selbsteinschätzung und den empirischen Daten. Hierbei spielt die Selbst-

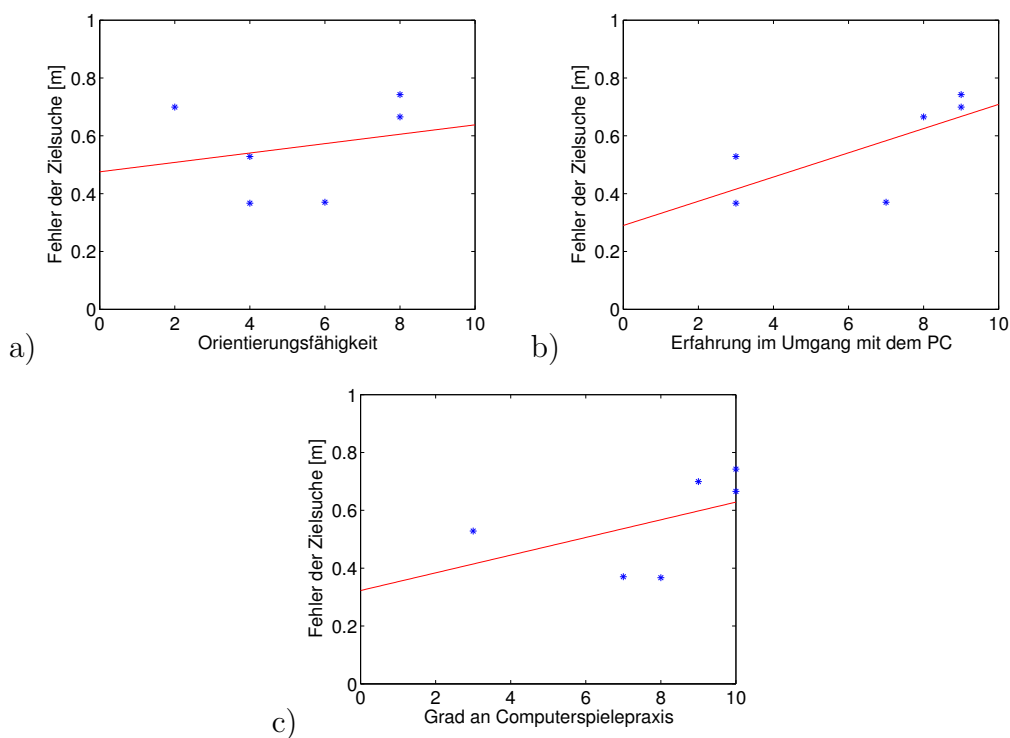


Abbildung 30: Korrelation a) der Orientierungsfähigkeit ($r = 0,2367$), b) der Erfahrung im Umgang mit dem Computer ($r = 0,7082$) und c) dem Grad an Computerspielepraxis ($r = 0,4856$) mit dem Fehler der Zielsuche gemittelt über alle Kontrastwerte und Zielpositionen

einschätzung der Erfahrung im Umgang mit Computer den besten Richtwert.

5.7 Fragebogen

Nach Abschluss der Versuche wurde ein Fragebogen (Formular siehe Anhang 7.6) ausgefüllt. Insbesondere haben mich die Lösungsstrategien der Versuchspersonen interessiert.

Auswertung

Bei 4 von den 6 Versuchspersonen trat keine Übelkeit auf. Einer Versuchsperson wurde es selten übel und einer manchmal.

Mit dem Programm kamen 5 Versuchspersonen sehr gut zurecht, eine Versuchsperson hingegen kam mit dem Programm nur befriedigend zurecht.

Lösungsstrategien der Versuchspersonen:

1. Strategie: Man dreht sich so lange um die eigene Achse bis der Abstand zur Wand minimal wird. Nun prägt man sich die dortige Wandtextur ein. Diese Strategie wandten zwei Versuchspersonen an.
2. Strategie: Man sucht sich eine persönlich geeignete Stelle, welche nicht zu nah und nicht zu weit von der Wand entfernt ist und prägt sich nun die im Blickfeld dargebotene Farbfolge ein. Wie die 1. Strategie wurde auch die 2. Strategie von 2 Versuchspersonen verwendet.
3. Strategie: Man sucht die Stelle, welche den maximalsten Abstand zur Wand hat. Anschließend fixiert man die Achse Fußboden-Wand und dreht sich solange bis diese Achse zur Spiegelachse des Raumes wird (ohne Beachtung des Farbgradienten). Nun prägt man sich die Farbe rechts und links des Bildrandes sowie die Entfernung zur Wand (Länge der Achse) ein. Diese Strategie wählte nur eine Versuchsperson.

4. Strategie: Zuerst sucht man die Strecke, welche zur Wand den geringsten Abstand hat. Dann dreht man sich um 180 Grad und erhält den maximalen Abstand zur Wand, dieser besitzt den Vorteil, dass man den größten Farbausschnitt findet, also den Bereich, welcher die meiste Information hat. Zum Schluss prägt man sich die Farbreihenfolge ein. Auch diese Strategie wurde nur von einer Versuchsperson genutzt.

Verbesserungsvorschläge:

- Die Videobrille dunkelte nicht vollständig ab, was zur Folge hatte, dass der Boden des Labors manchmal erkennbar wurde.
- Von Versuch zu Versuch nahm der Kontrast kontinuierlich ab. Es wäre besser gewesen, wenn sich der Kontrast zufällig verändert hätte.

6 Diskussion

Wie von dem Modell von Stürzl [22] zur Schnappschussbasierten Navigation vorhergesagt, finde ich eine kontrastabhängige Heimfindegenauigkeit in meinen Experimenten. Diese Kontrastabhängigkeit zeigt sich erstaunlicherweise nur bei peripheren Zielen. Hingegen sagen die von mir programmierten Modelle zur Abstandsabschätzung keine Kontrastabhängigkeit voraus. Vergleicht man nun den empirischen Fehler der Zielsuche (siehe Abbildung 32e) mit den theoretischen Ergebnissen (siehe Abbildung 32a), so stellt man fest, dass sich die Versuchspersonen eindeutig besser orientieren als die simulierte Versuchsperson. Die Ergebnisse von Burk [3] konnten bestätigt werden. Erst ab 40% Kontrast vergrößert sich der Fehler der Zielsuche deutlich. Allerdings ist bei Burk der Fehler bei 40% Kontrast kleiner als der Fehler bei 100% Kontrast. Dieses Phänomen tritt auf, da das Programm bei der Kontrastreduzierung ab 40% Kontrast eine Linie bei jedem RGB-Peak generierte. Mittels dieser Linie konnte man sich deutlich besser orientieren als bei 100% Kontrast. Dieser Fehler im Programm konnte durch das Verwenden einer anderen Videobrille bei meinen Versuchen behoben werden.

6.1 Vergleich der empirischen Ergebnissen mit den theoretischen Ergebnissen der Modelle

Vergleicht man theoretische und empirische Daten, so lassen sich drei Ergebnisse feststellen:

- Die theoretischen Ergebnisse sagen voraus, dass beim Random Walk und beim Random Walk bei Berücksichtigung des Abstandes zur Wand (siehe Abbildung 32a) der Fehler der Zielsuche abnimmt je kleiner der Abstand der Zielpositionen zum Mittelpunkt wird.

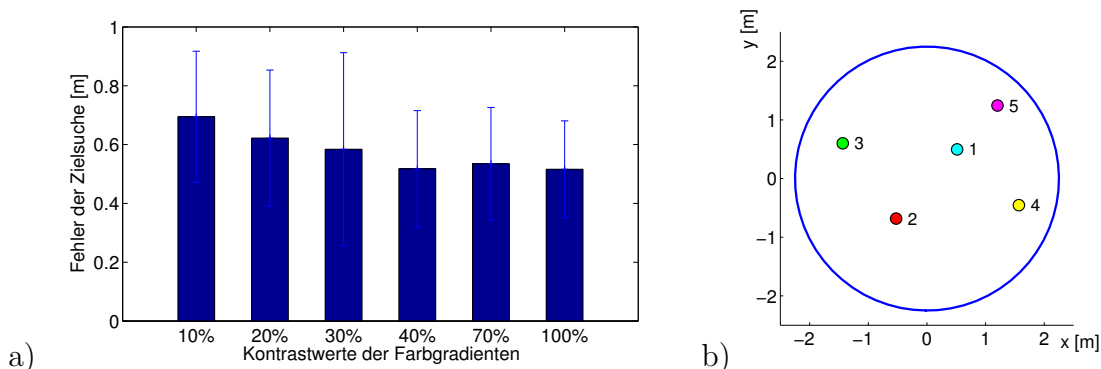


Abbildung 31: a) Vergleich des Fehlers der Zielsuche bei verschiedenen Kontrastwerten b) Zielpositionen im Zylinder

- Weiterhin ist der Fehler der Zielsuche im Modell mehr als doppelt so hoch wie bei den empirischen Daten (siehe Abbildung 32e). Dies zeigt, dass Menschen in der Lage sind, sich in runden Räumen deutlich besser als zufällig zu orientieren. Die theoretischen Ergebnisse des ein-dimensionalen Bildvergleichs (siehe Abbildung 32e) zeigen, dass der Fehler der Zielsuche für periphere Ziele kleiner sein sollte (siehe Abbildung 32a). Die beiden anderen Modelle sagen das Gegenteil voraus: der Fehler sollte demnach für zentrale Positionen kleiner sein.
- Eine Kontrastabhängigkeit finde ich nur an peripheren Zielen, was durch kein theoretisches Modell vorhergesagt wird. Die theoretischen Ergebnisse der Random Walk Modelle erklären nicht, dass bei den empirischen Daten die peripheren Punkte eine Kontrastabhängigkeit zeigen. Beim Modell mit Berücksichtigung des Abstandes zur Wand ist der Fehler der Zielsuche bei den mittelpunktsnahen Zielpositionen ungefähr doppelt so hoch wie bei den empirischen Daten. Bei den peripheren Zielpositionen ist er aber viermal so groß wie bei den empirischen Da-

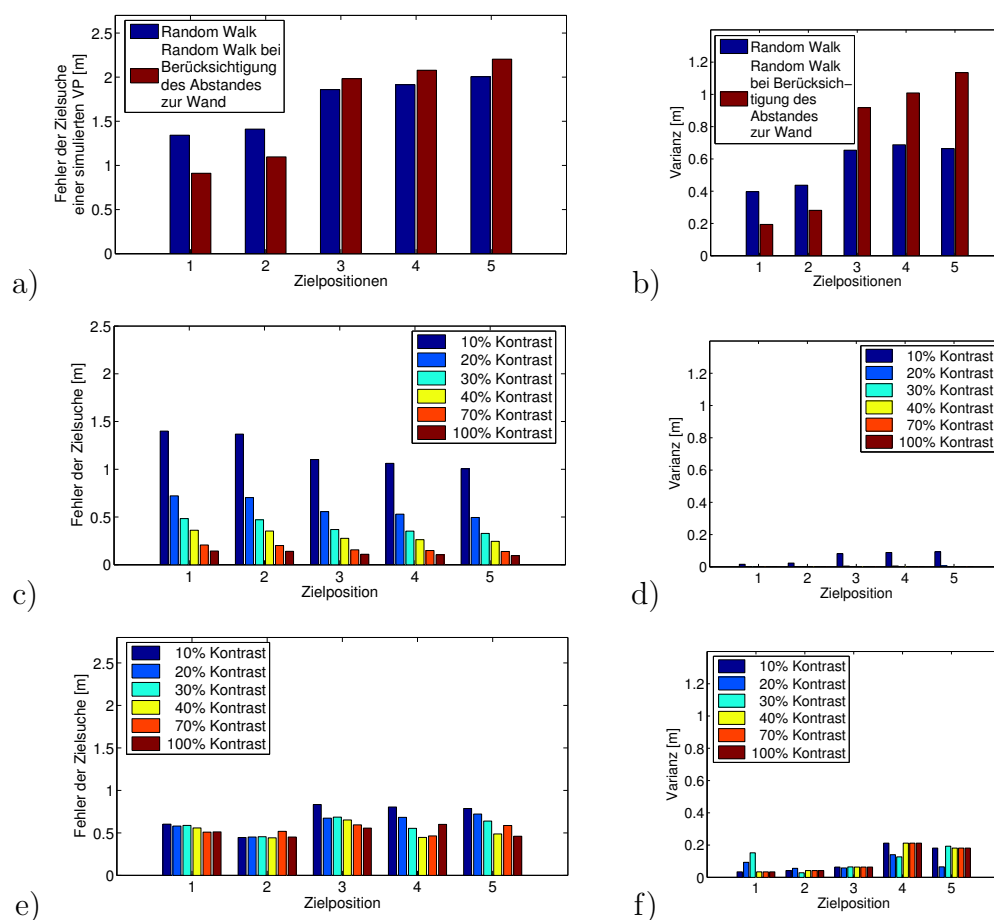


Abbildung 32: a) Vergleich von Random Walk und Random Walk bei Berücksichtigung des Abstandes zur Wand mit zugehöriger b) Varianz. c) Fehler der Zielsuche des eindimensionalen Bildvergleichs in Abhängigkeit vom Kontrast und von den Zielpositionen und d) Varianz. e) Vergleich des Fehlers der Zielsuche von den Zielpositionen mit den verschiedenen Kontrastwerten und f) Varianz.

ten. Dies ist ein Hinweis, dass der Abstand zur Wand bei den mittleren Zielen einen größeren Einfluss hat und hier zur Positionseinschätzung verwendet wird.

Folglich trifft keine der Vorhersagen zu, aber es sind Effekte aus den theoretischen Modellen ersichtlich. Zum einen zeigen periphere Zielpositionen eine Kontrastabhängigkeit und zum anderen liegt der Fehler der Zielsuche deutlich unter der zufälligen Abstandsmessung einer simulierten Versuchsperson. Dies deutet darauf hin, dass die Versuchspersonen einen Strategiewechsel durchführen zwischen den mittleren und peripheren Zielpositionen.

Vergleicht man nun die Varianzen (Abbildung 32b, d und f), so zeigen die Ergebnisse des Random Walk die höchsten Varianzen, insbesondere die peripheren Zielpositionen. Da die Positionen der simulierten Versuchspersonen zufällig gewählt wurden, ist die hohe Varianz ersichtlich (vgl. Abschnitt 4.1.2). Vergleicht man nun die Varianzen der theoretischen und der empirischen Daten, so erkennt man, dass sich bei allen die Varianzen vergrößern je weiter die Zielposition vom Mittelpunkt entfernt ist. Das weist darauf hin, dass das Heimfinden für die mittleren Ziele einfacher ist als für die peripheren Ziele.

Um noch zurück zur Fragestellung (Abschnitt 2) zu kommen: Menschen orientieren sich in kleinen zylindrischen Räumen mit Hilfe des Abstandes zur Wand, den die Versuchspersonen über den unterscheidbaren weißen Boden abschätzen konnten sowie über die regenbogenfarbenähnliche Wandtextur. Die Orientierungsleistung nimmt nicht linear ab, je niedriger der Kontrast wird. Die Orientierungsleistung hängt zum einen vom Kontrast ab und zum anderen von der Zielposition. Um ein Modell zur Orientierung anhand eines Farbgradienten zu entwickeln, muss der Abstand zur Wand wie der Kontrast berücksichtigt und unterschiedlich gewichtet werden.

Ein anderer Ansatz besteht darin, dass man einen zweidimensionalen Bildvergleich untersucht, bei dem die eine Dimension wie in meiner Arbeit

die regenbogenfarbenähnliche Wandtextur¹³ ist und die zweite Dimension der Abstand zur Wand, der über den weißen Boden ins Bild miteingezogen werden sollte.

6.2 Kontrastabhängigkeit

Vergleicht man den Fehler der Zielsuche der empirischen Daten (siehe Abbildung 31a), so kann man wie vorhergesagt eine Kontrastabhängigkeit finden. Im Besonderen steigt der Fehler der Zielsuche von 100% auf 40% kaum an, hingegen aber von 40% auf 10% Kontrast. Allerdings findet man, wenn man je Kontrastwert die einzelnen Zielpositionen betrachtet (siehe Abbildung 32e), nur in der Peripherie eine Kontrastabhängigkeit, während in Mittelpunktsnähe keine Kontrastabhängigkeit gefunden wird. Dieser Effekt konnte von keinem theoretischen Modell vorhergesagt werden und ist sehr erstaunlich. Das könnte durch einen Strategiewechsel erklärt werden. Dass die Varianz bei den mittelpunktsnahen Zielpositionen in allen theoretischen Modellen und in den empirischen Daten am niedrigsten ist (vgl. Abbildungen 32b, d und f), ist ein Hinweis darauf, dass Menschen Abstandsmessungen durchführen können, so wie es zum Beispiel mit dem "Geometrischen Modul" (siehe Abschnitt 1.3.1) gemacht wird. In Studien zur Sensorfusion wurde darüber hinaus gezeigt, dass Informationsquellen mit kleinen Varianzen stärker gewichtet werden. Beispielhaft hierfür zeigten dies Ernst & Banks [8] für visuelle und haptische Information.

Die theoretischen Daten des Bildvergleichs sagen eine starke Kontrastabhängigkeit für alle Ziele voraus. In den empirischen Daten findet man diese Kontrastabhängigkeit nur an den peripheren Punkten, in den mittel-

¹³Nur eine Dimension, da sich der Farbverlauf nur in horizontaler Richtung ändert (vgl. Abschnitt 4.2)

punktsnahen Zielpositionen findet man keine Kontrastabhängigkeit. Es ist also möglich mehrere Strategien zu verwenden und instinktiv die beste Abschätzung auszuwählen. Keine der Versuchspersonen wendete innerhalb einer Messung bewußt eine andere Strategie an.

6.3 Fehlerellipsen

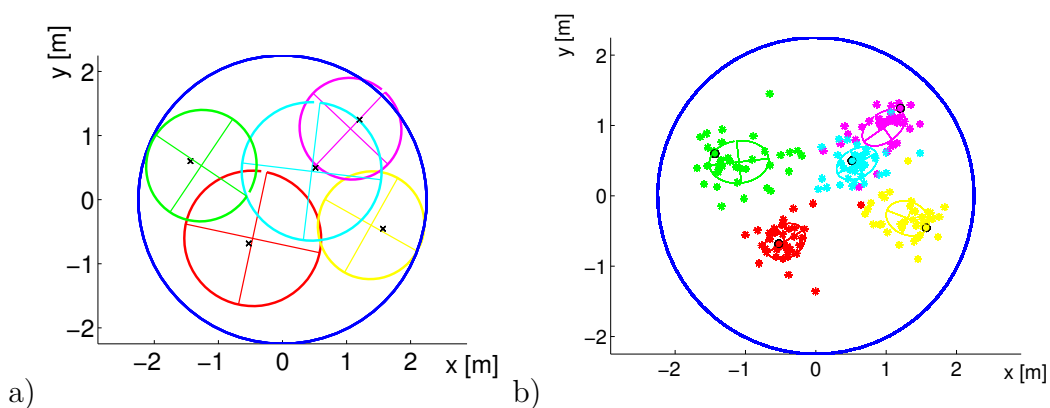


Abbildung 33: Fehlerellipsen a) einer simulierten Versuchsperson des Bildvergleichs bei 10% Kontrast und b) der empirischen Daten

Die Fehlerellipsen einer simulierten Versuchsperson des Bildvergleichs (vgl. z. B. bei 10% Kontrast Abbildung 33) und der empirischen Daten zeigen, dass die Mittelpunkte der Ellipsen zum Mittelpunkt des Raumes hin verschoben sind. Dies nennt man systematischen Fehler [3]. Die Wahrscheinlichkeit, dass man sich zur Mitte verschätzt, ist größer als dass man sich zur Wand hin verschätzt (vgl. Abschnitt 4.1.1 und Abbildung 15).

6.4 Geschlechter - Effekt

Bei meinen Navigationsexperimenten konnten sich die Männer besser orientieren als die Frauen. Es konnte gezeigt werden, dass Frauen in kleinen, virtuellen Räumen einen geschlechtsspezifischen Nachteil haben, den man über eine Blickfeldvergrößerung verkleinern kann [7]. Nach Sandstorm et al. [18] können Männer geometrische Informationen besser nutzen als Frauen. Dies verdeutlichen auch die Angaben der Strategie im Fragebogen (siehe Abschnitt 5.7), nachdem Männer bessere Strategien zur Abstandsmessung entwickelten. Nach Wiener et al. [26] verlassen sich Männer auf globale Merkmale - wie zum Beispiel die Raumkonfiguration, hingegen Frauen auf lokale Informationen. Die Männer kamen auch besser mit der Versuchshardware zurecht - möglicherweise bedingt durch ihre höhere Erfahrung mit Computern (siehe Protokollbogen 5.6).

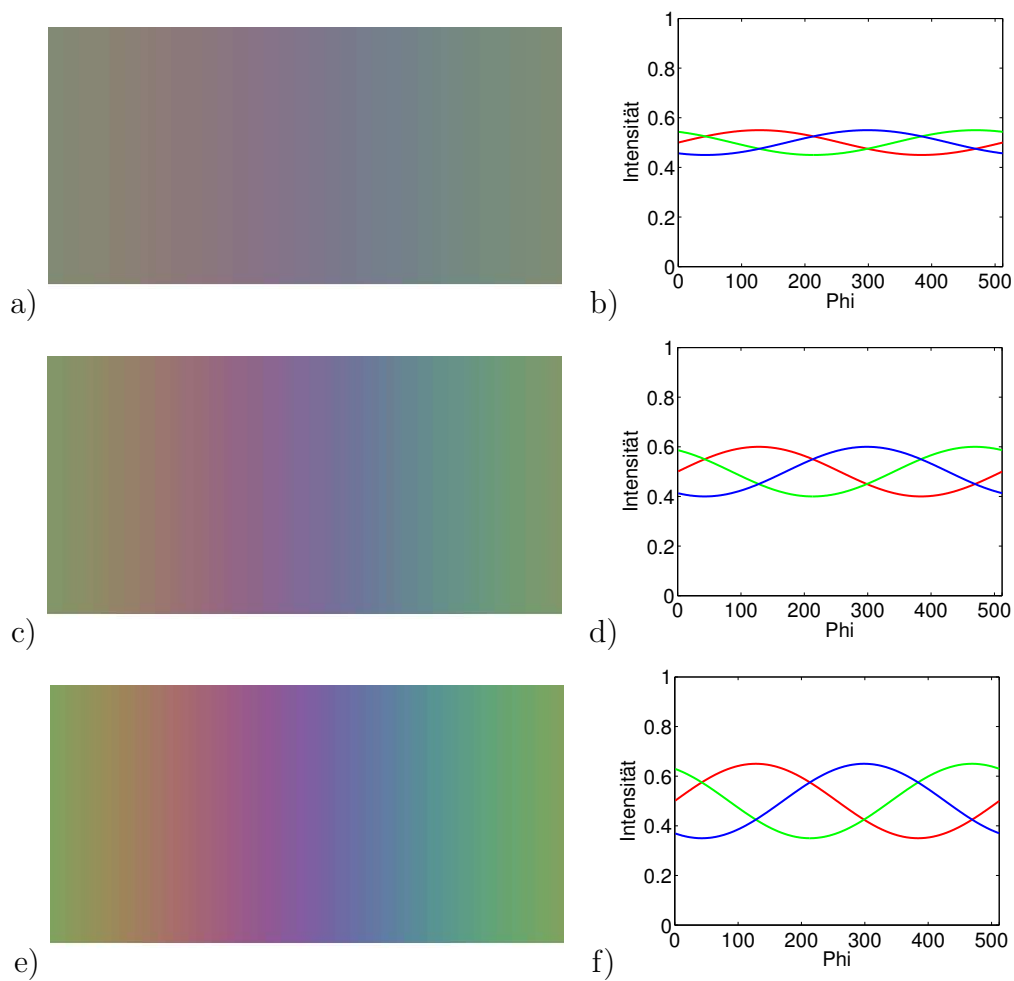
6.5 Lerneffekt

Jede Versuchsperson absolvierte sechs Messungen. Um durch das Versuchsdesign keine Beeinflussung der Daten durch einen Lerneffekt zu erhalten, starteten die Versuchspersonen bei unterschiedlichen Kontrastwerten (vgl. Versuchsplan: Tabelle 1 auf Seite 16). Der gemittelte Fehler des Lerneffekts blieb bei den ersten drei und zweiten drei Messungen ungefähr gleich, nur zwischen der dritten und vierten Messung verbesserte sich der Fehler. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass mir zwei Versuchspersonen mitteilten, dass sie ihre Strategie zur Lösung der Aufgabe änderten.

7 Anhang

7.1 Wandtexturen der verwendeten Kontraste mit zugehöriger sinoidalen Funktion

Nachfolgende Abbildung zeigt die verwendeten Wandtexturen, welche durch drei Sinusfunktionen erzeugt und im Kontrast verändert wurden.



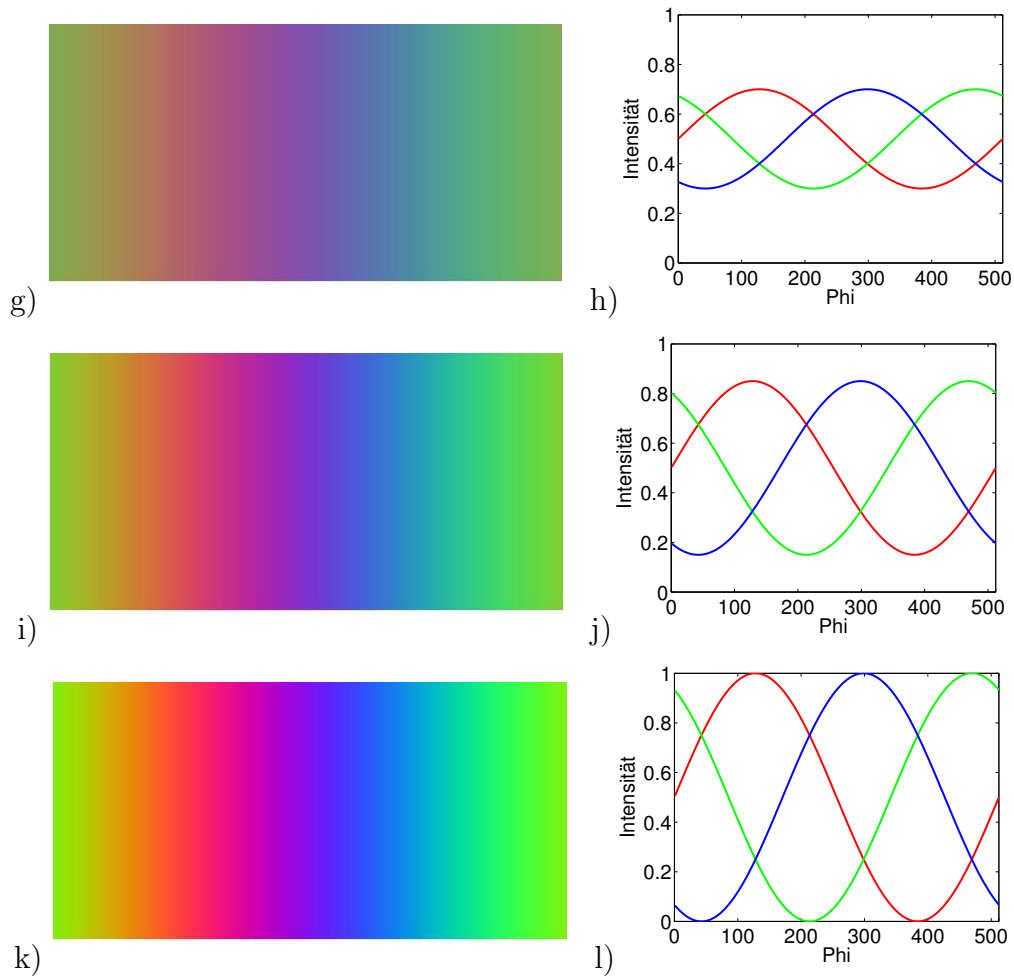


Abbildung 34: Wandtextur mit zugehörigen Graphen der Farbkanäle bei aufsteigendem Kontrast: a-b) 10% Kontrast, c-d) 20% Kontrast, e-f) 30% Kontrast, g-h) 40% Kontrast, i-j) 70% Kontrast und k-l) 100% Kontrast.

7.2 Berechnung der Fehlerellipsen

Für die Berechnung der Fehlerellipse wurde die Theorie der zweidimensionalen Normalverteilung (Gauß¹⁴-Verteilung) angewandt [3], [14].

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sqrt{\det C}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \bar{x} \quad y - \bar{y}) C^{-1} \begin{pmatrix} x - \bar{x} \\ y - \bar{y} \end{pmatrix} \right\} \quad (6)$$

C ist die Kovarianzmatrix, welche später genauer beschrieben wird.

Mittelwert über die x bzw. y -Koordinaten der Datenpunkte:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \quad (7)$$

$M(\bar{x}|\bar{y})$ ist der Mittelpunkt der Ellipse.

Varianz:

$$var_x = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad var_y = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (8)$$

Die Varianz beschreibt zwei Intervalle, je eines in x bzw. y Richtung, in welchen alle Punkte liegen.

Kovarianz:

$$cov_{xy} = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (9)$$

Ist die Kovarianz gleich 0, so liegen die Achsen der Fehlerellipse parallel zu den Koordinatenachsen.

¹⁴Johann Carl Friedrich Gauß (* 30. April 1777 in Braunschweig, † 23. Februar 1855 in Göttingen) deutscher Mathematiker, Astronom und Physiker.

Kovarianzmatrix:

$$C = \begin{pmatrix} var_x & cov_{xy} \\ cov_{xy} & var_y \end{pmatrix} \quad (10)$$

Berechnung der Eigenwerte der Kovarianzmatrix:

$$\lambda_{1,2} = \det(C - \lambda I), \quad I - \text{Einheitsmatrix} \quad (11)$$

Eigenwerte:

$$\lambda_1 = \frac{var_x + var_y}{2} + \sqrt{cov^2 + \frac{1}{4} \cdot (var_x - var_y)^2} \quad (12)$$

$$\lambda_2 = \frac{var_x + var_y}{2} - \sqrt{cov^2 + \frac{1}{4} \cdot (var_x - var_y)^2} \quad (13)$$

$\sqrt{\lambda}$ beschreibt die Länge der Halbachsen

Zugehörige Eigenvektoren:

$$C\vec{e} = \lambda\vec{e} \quad (14)$$

Die Eigenvektoren beschreiben die Richtung der großen und kleinen Halbachse der Fehlerellipsen.

Gleichung der Fehlerellipse:

$$f(\alpha) = \sqrt{\lambda_1} \vec{e}_1 \cos \alpha + \sqrt{\lambda_2} \vec{e}_2 \sin \alpha, \quad \alpha = -\pi \dots \pi. \quad (15)$$

α ist der Winkel zu jedem zugehörigem Strahl, welcher die Ellipse erzeugt.

Innerhalb einer Fehlerellipse liegen 39,35 % aller Datenpunkte.

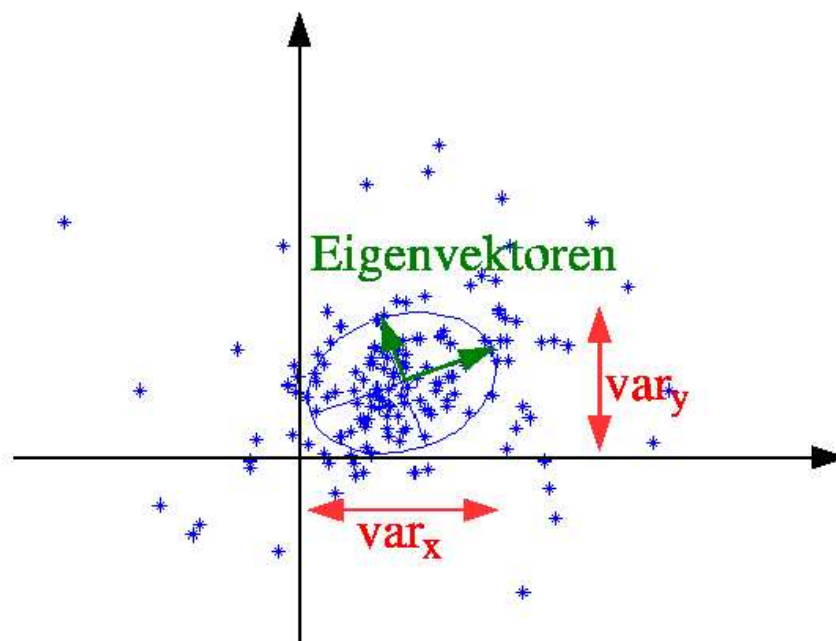


Abbildung 35: Skizze zur Berechnung der Eigenwerte

7.3 Abstandstabelle

Zielposition	1	2	3	4	5
Abstand z. Mittelpunkt	0.72	0.86	1.56	1.63	1.73
Min. Abstand z. Wand	1.53	1.37	0.69	0.62	0.51
Max. Abstand z. Wand	2.97	3.13	3.81	3.88	3.99

Tabelle 6: Abstand der einzelnen Zielpositionen zum Mittelpunkt sowie minimaler beziehungsweise maximaler Abstand der einzelnen Zielpositionen zur Wand in Meter

7.4 Tübinger Wahrnehmungskonferenz

7.4.1 Abstract der Wahrnehmungskonferenz [25]

We investigated the accuracy of humans to find back to a certain location in a small scale environment, comparable to the task rats had to solve in the Morris water maze [15]. For bees it was proposed, that they locate certain points in space with a snapshot memory [4], that is they remember images of the surrounding rather than objects. In our experiment the task of human subjects was to return to a previous visited point in a cylindrical room ($r = 2.25\text{m}$) where no objects were placed in. The walls of the room were covered with a rainbow-like colour gradient in horizontal direction. In vertical direction the colour did not change. For this experiment we used the method of virtual reality. Subjects could walk freely, wearing video goggles where the simulated room was shown. The movement of the subject was tracked and combined with the simulation in that way that a movement was simulated according to the behaviour of the subject. The dependant variable was the contrast of the colour gradient. A reduction in contrast should disturb the performance based on a snapshot memory, but not of an object memory. 6 subjects participated in the experiment (within subject design), each were tested in 6 different contrast conditions (10% - 100%). We found a contrast dependant homing accuracy for points in the periphery of the room. For points in the centre of the room there was no such contrast dependence, indicating that for points in the periphery and in the middle of the room different homing strategies have been used by the subjects. Theoretical considerations predict [22] that the homing accuracy should drop with the distance to objects in space. An additional source of information might be the depth information served by the edge between the ground plane and the wall of the cylinder,

which should not be influenced by a variation in contrast. In summary we could show that humans are able to use a snapshot memory to find a certain place in space and that they combine image information with geometrical cues of the environment.

7.4.2 Poster der Tübinger Wahrnehmungskonferenz

Im Rahmen der 8. Tübinger Wahrnehmungskonferenz vom 25. Februar bis 27. Februar 2005 präsentierte ich das Poster *Contrast Dependence of Human Place Memory* [25].

Abbildung 36: *Contrast Dependence of Human Place Memory*: Poster der Tübinger Wahrnehmungskonferenz: siehe Seite VIII



Contrast Dependence of Human Place Memory



Anja M. Weiß, Sabine Gillner & Hanspeter A. Mallot
 Department Cognitive Neuroscience, University of Tübingen
 Auf der Morgenstelle 28, 72076 Tübingen
<http://www.uni-tuebingen.de/cog/>
 anja-maria.weiss@student.uni-tuebingen.de

INTRODUCTION

We analysed the accuracy of humans to find back to a certain location in a small scale environment, comparable to the task rats had to solve in the Morris water maze [1]. For bees it was proposed, that they locate certain points in space with a snapshot memory [2], which means that they remember images of the surroundings rather than objects. In this project we investigated the contrast dependence of human snapshot memory.

MATERIAL & METHODS

In our experiments human subjects had to return to a previous visited point in a cylindrical room ($r = 2.25$ m) where no objects were placed in. The walls of the room were covered with a rainbow-like colour gradient in horizontal direction while the colour did not change in vertical direction. The wall's texture was designed by a sinusoidal function.



Fig. 1: Wall's texture (100% contrast)



Fig. 2: Corresponding sinusoidal function

We made use of the method of virtual reality. Subjects could walk freely, wearing video goggles (Sony® Personal LCD Display) in which the simulated room was shown. The movement of the subject was tracked and combined with the simulation by a movement that was simulated according to the behaviour of the subject.



Fig. 3: Subject during an experiment



Fig. 4: Tracking-helmet



Fig. 5: Tracking camera

The independent variable was the contrast of the colour gradient. A reduction in contrast should disturb the performance based on a snapshot memory, but not of an object memory. 6 subjects participated in the experiment (within subject design), each were tested in 6 different contrast conditions (10% - 100%).



Fig. 6: Wall's texture - increase in contrast from 10% to 100%

REFERENCES

- [1] Morris R (1984) Developments of a water-maze procedure for studying spatial learning in the rat, *Journal of Neuroscience Methods* 11(1): 47-60
- [2] Cartwright BA & Collett T (1983) Landmark learning in bees, *Journal of Comparative Physiology A*, 151: 521-543
- [3] Stürzl W (2004) Sensorik und Bildverarbeitung für Landmarken-basierte Navigation, PhD thesis, University of Tübingen

TASK

Subjects were tested in 5 different goal positions. 2 of them were placed in the centre, the other 3 in the periphery. Subjects had to perform 21 trials.

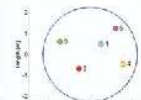


Fig. 7: Goal positions

Experimental trial:

- 1.) Memorising: Subjects memorised a certain goal location.
- 2.) Teleporting: They were teleported to a start point.
- 3.) Searching: Subjects walked to the position they considered to be the goal position.



Fig. 8: One trial of the experiment

RESULTS

Theory:

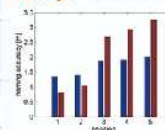


Fig. 9: Homing error for a hypothetical subject performing a random walk (blue) or only considering the distance to the wall (red).

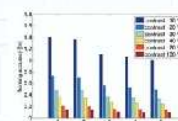


Fig. 10: One-dimensional image comparison

Empirical Results:

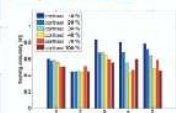


Fig. 11: Homing accuracy in dependence of goal position and contrast

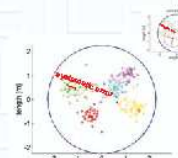


Fig. 12: Error ellipses of goal positions with systematic error. Inlay: theory.

We found a contrast dependent homing accuracy for points in the periphery of the room. For points in the centre of the room there was no such contrast dependence.

DISCUSSION

Theoretical considerations [3] were based on a one-dimensional image comparison. It was predicted that the homing accuracy should drop with distance and by reducing the contrast! (Fig. 10). Furthermore there was a systematic error predicted, which could be confirmed by our empirical data (Fig. 12). But our data were only partly explained by the theory. We suggest that a two-dimensional image analysis could improve the theory by considering also the distance information of the wall.

7.5 Leeres Formular des Protokollbogens

Bitte Unzutreffendes streichen!

Tübingen, den _____ 2004.

Protokollbogen

Name: _____

Alter: _____

email-Adresse: _____

Geschlecht: weiblich / männlich Rechtshänder(in) / Linkshänder(in)

Brillenträger(in): ja / nein kurzsichtig / weitsichtig

Farbenblindheit: nein / ja → welcher Art: _____

Wie gut ist Ihre / Ihr ... (1 - sehr gut ↔ 10 - miserabel)

Orientierungsfähigkeit?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Erfahrung im Umgang von Computern?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Grad an Computerspiele-Praxis?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

In welchen Spielearten?

Action Jump'N'Run Strategie Adventure 3D-Welten

Sind Sie erfahrener Rummelbesucher (Achterbahn & co.)? ja / nein

Sind Sie fähig im Auto zu lesen? ja / nein

7.6 Leeres Formular des Fragebogens

Fragebogen

1. Ist es Ihnen bei den Versuchen schlecht geworden?

immer manchmal selten gar nicht

2. Kamen Sie gut mit dem Programm zurecht?

(1 - sehr gut \longleftrightarrow 10 - miserabel)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

3. Welche Strategie benutzten Sie, um die Aufgabe zu lösen?

4. Verbesserungsvorschläge / Kommentare:

Literatur

- [1] Donald Appleyard, WHY BUILDINGS ARE KNOWN, *Environment & Behaviour 1: 131-156*, 1969
- [2] Heinrich H. Bülthoff, B. M. Foese-Mallot & Hanspeter A. Mallot, VIRTUELLE REALITÄT ALS METHODE DER MODERNEN HIRNFORSCHUNG, H. Krapp & T. Wägenbaur (Eds): *Künstliche Paradiese, Virtuelle Realitäten. Künstliche Räume in Literatur-, Sozial- und Naturwissenschaften (Seite 241-260)* München: Wilhelm Fink Verlag, 1997
- [3] Jan Burk, THE VISUAL PLACE-MEMORY OF HUMANS, *Diploma thesis, University of Tübingen*, 2004
- [4] B. A. Cartwright & Thomas S. Collett, LANDMARK LEARNING IN BEES, *Journal of Comparative Physiology A*, 151:521-543, 1983
- [5] Ken Cheng, A PURELY GEOMETRIC MODULE IN THE RAT'S SPATIAL REPRESENTATION, *Cognition 23: 149-178*, 1986
- [6] Edward H. Cornell, C. Donald Heth & Lorri S. Broda, CHILDREN'S WAYFINDING: RESPONSE TO INSTRUCTIONS TO USE ENVIRONMENTAL LANDMARKS, *Developmental Psychology 25(5): 755-764*, 1989
- [7] Mary Czerwinski, Desney S. Tan & George G. Robertson, WOMEN TAKE A WIDER VIEW, *In proceedings of CHI 2002, Human Factors in Computing Systems, ACM press: 195-202*, 2002
- [8] Marc O. Ernst & Martin S. Banks, HUMANS INTEGRATE VISUAL AND HAPTIC INFORMATION IN A STATISTICALLY OPTIMAL FASHION, *Nature 415: 429-433*, 2002

- [9] Ariane S. Etienne & Kathryn J. Jeffery, PATH INTEGRATION IN MAMMALS, *Hippocampus* 14: 180-192, 2004
- [10] Charles R. Gallistel, THE ORGANIZATION OF LEARNING, *MIT Press, Bradford Books: p. 35*, 1990
- [11] Linda Hermer & Elizabeth S. Spelke, A GEOMETRIC PROCESS FOR SPATIAL REORIENTATION IN YOUNG CHILDREN, *Nature* 370: 57-59, 1994
- [12] Linda Hermer & Elizabeth S. Spelke, MODULARITY AND DEVELOPMENT: THE CASE OF SPATIAL REORIENTATION, *Cognition* 61: 195-232, 1996
- [13] Linda Hermer-Vazquez & Elizabeth S. Spelke, SOURCES OF FLEXIBILITY IN HUMAN COGNITION: DUAL-TASK STUDIES OF SPACE AND LANGUAGE, *Cognitive Psychology* 39: 3-36, 1999
- [14] Hanspeter A. Mallot, MESS- UND AUSWERTEVERFAHREN IN DER BIOLOGIE, *Skript zur gleichnamigen Vorlesung*, 2004
- [15] Richard Morris, DEVELOPMENTS OF A WATER-MAZE PROCEDURE FOR STUDYING SPATIAL LEARNING IN THE RAT, *Journal of Neuroscience Methods* 11(1): 47-60, 1984
- [16] Patrick Péruch & Florence Gaunet, VIRTUAL ENVIRONMENTS AS A PROMISING TOOL FOR INVESTIGATING HUMAN SPATIAL COGNITION, *Cahier de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition* 17(4-5): 881-899, 1998
- [17] Bernhard Riecke, UNTERSUCHUNGEN DES MENSCHLICHEN NAVIGATIONSV ERHALTENS ANHAND VON HEIMFINDEEXPERIMENTEN IN

- VIRTUELLEN UMGEBUNGEN, *Diplomarbeit, Universität Tübingen*, 1998
- [18] N. J. Sandstorm, S. A. Kaufman & S. A. Huettel, MALES AND FEMALES USE DIFFERENT DISTAL CUES IN VIRTUAL ENVIRONMENT NAVIGATION TASK, *Cognitive Brain Research 6*: 351-360, 1998
- [19] S. Sommer & Rüdiger Wehner, THE ANT'S ESTIMATION OF DISTANCE TRAVELLED: EXPERIMENTS WITH DESERT ANTS, *Cataglyphis fortis*, *Journal of Comparative Physiology A*, 190: 1-6, 2004
- [20] Sibylle D. Steck & Hanspeter A. Mallot, THE ROLE OF GLOBAL AND LOCAL LANDMARKS IN VIRTUAL ENVIRONMENT NAVIGATION, *Presence 9(1)*: 69-83, 2000
- [21] Jonathan Steuer, DEFINING VIRTUAL REALITY: DIMENSIONS DETERMINING TELEPRESENCE, *Frank Biocca (ed.) and Mark R. Levy (ed.): Communication in the age of virtual reality (Seite 33-56): Lawrence Erlbaum Association(LEA)(Publisher)*, 1995
- [22] Wolfgang Stürzl, SENSORIK UND BILDVERARBEITUNG FÜR LANDMARKEN-BASIERTE NAVIGATION, *Dissertation, Universität Tübingen*, 2004
- [23] Olivier Trullier, Sidney I. Wiener, Alain Berthoz & Jean-Arcady Meyer, BIOLOGICALLY BASED ARTIFICIAL NAVIGATION SYSTEMS: REVIEW AND PROSPECTS, *Progress in Neurobiology 51*: 483-544, 1997
- [24] David Waller, Jack M. Loomis, Reginald G. Golledge & Andrew C. Beall, PLACE LEARNING IN HUMANS: THE ROLE OF DISTANCE AND DIRECTION INFORMATION, *Spatial Cognition and Computation 2*: 333-354, 2000

- [25] Anja M. Weiß, Sabine Gillner & Hanspeter A. Mallot, CONTRAST DEPENDENCE OF HUMAN PLACE MEMORY, *Heinrich H. Bülhoff, Hanspeter A. Mallot, Rolf Ulrich & Felix A. Wichmann: Proceedings of the 8th Tübinger Perception Conference, Knirsch Verlag: 144, 2005*
- [26] Jan M. Wiener, Alexander Schnee & Hanspeter A. Mallot, USE AND INTERACTION OF NAVIGATION STRATEGIES IN REGIONALIZED ENVIRONMENTS, *Journal of Environmental Psychology 24: 475-493, 2004*

Abbildungsverzeichnis

1	Modell des Wasserlabyrinths nach Morris	4
2	Schnappschuss und Bild der Retina: a) und b) zeigen den Schnappschuss an der Stelle der Futterquelle / c) und d) Bildvergleich des aktuellen Bildes der Retina mit dem Schnappschuss an einer Stelle im Anflug auf die Futterquelle	7
3	Wahrnehmungs-Handlungs-Kreislauf: a) geschlossener Informationskreislauf bei allen natürlichen (realen) Umgebungen b) offener Informationskreislauf ohne Rückkopplung zu Umgebungen, z. B. Fernseher	10
4	Handlungs-Wahrnehmungs-Kreislauf einer a) realen und b) virtuellen Umgebung.	10
5	Intensität der drei Farbkanäle bei 100% Kontrast	13
6	Wandtextur bei 100% Kontrast	13
7	Versuchsumgebung: Dieses Bild sahen die Versuchspersonen durch die Videobrille bei 100% Kontrast, das heißt es stellt einen Ausschnitt von 45 Grad horizontal dar.	14
8	Vogelperspektive des virtuellen Zylinders bei 100% Kontrast . .	14

9	Versuchsdurchgang	15
10	Zielpositionen im Zylinder	17
11	a) Trackingkamera und b) Trackinghelm	19
12	Versuchsperson während eines Versuchs	20
13	Fehler der Zielsuche einer simulierten Versuchsperson, die einen Random Walk auf der Grundfläche des Zylinders durchführt	22
14	Simulierte Endpunkte der Trajektorien auf Kreisen mit gleichem Abstand zur Wand wie die jeweilige Zielposition	23
15	Abstandsvektoren von der Wand zu einer a) mittelpunktsna- hen und einer b) peripheren Zielposition	23
16	Vergleich der Fehler der Zielsuche von Modell 4.1.1 und Mo- dell 4.1.2	24
17	Varianz des Fehlers der Zielsuche von Modell 4.1.1 und Mo- dell 4.1.2	24
18	Skizze zur Berechnung der Verzerrung der Wandtextur	26
19	Zielposition mit zugehörigen 6 Strahlen	26
20	Fehler der Zielsuche des eindimensionalen Bildvergleichs in Abhängigkeit vom Kontrast und von den Zielposition	28
21	Varianz des Fehlers der Zielsuche des eindimensionalen Bild- vergleichs in Abhängigkeit vom Kontrast und von den Zielpo- sitionen	30
22	Fehler der Zielsuche der verschiedenen Kontrastwerten mit zu- gehöriger Standardabweichung	31
23	Vergleich des Fehlers der Zielsuche von den Zielpositionen mit den verschiedenen Kontrastwerten	32
24	Punktwolke aller Endpunkte der Trajektorien	33

25 Fehlerellipsen der Zielpositionen gemittelt über alle Kontrastwerte 33

26 Vergleich des Fehlers der Zielsuche bei Frauen und Männer . . . 35

27 Vergleich der Endpunkte der Trajektorien a) der Frauen und b) der Männer 36

28 Vergleich der Fehlerellipsen a) der Frauen und b) der Männer . 36

29 Lerneffekt der Versuchspersonen 37

30 Korrelation a) der Orientierungsfähigkeit ($r = 0,2367$), b) der Erfahrung im Umgang mit dem Computer ($r = 0,7082$) und c) dem Grad an Computerspielepraxis ($r = 0,4856$) mit dem Fehler der Zielsuche gemittelt über alle Kontrastwerte und Zielpositionen 39

31 a) Vergleich des Fehlers der Zielsuche bei verschiedenen Kontrastwerten b) Zielpositionen im Zylinder 43

32 a) Vergleich von Random Walk und Random Walk bei Berücksichtigung des Abstandes zur Wand mit zugehöriger b) Varianz. c) Fehler der Zielsuche des eindimensionalen Bildvergleichs in Abhängigkeit vom Kontrast und von den Zielposition und d) Varianz. e) Vergleich des Fehlers der Zielsuche von den Zielpositionen mit den verschiedenen Kontrastwerten und f) Varianz. 44

33 Fehlerellipsen a) einer simulierten Versuchsperson des Bildvergleichs bei 10% Kontrast und b) der empirischen Daten 47

34 Wandtextur mit zugehörigen Graphen der Farbkanäle bei aufsteigendem Kontrast: a-b) 10% Kontrast, c-d) 20% Kontrast, e-f) 30% Kontrast, g-h) 40% Kontrast, i-j) 70% Kontrast und k-l) 100% Kontrast. II

35	Skizze zur Berechnung der Eigenwerte	V
36	<i>Contrast Dependence of Human Place Memory</i> : Poster der Tübinger Wahrnehmungskonferenz: siehe Seite VIII	VII

Tabellenverzeichnis

1	Versuchsplan	16
2	Sequenzen	17
3	Fehlerellipsen des eindimensionalen Bildvergleichs der verschie- denen Kontrastwerte. Schwarz dargestellt sind die tatsächli- chen Zielpunkte.	29
4	Fehlerellipsen der Zielpositionen der verschiedenen Kontrast- werte	34
5	Auswertung der Protokollbögen: Bei den Werten bedeutet 1 - sehr gut bis hin zu 10 - schlecht	38
6	Abstand der einzelnen Zielpositionen zum Mittelpunkt sowie minimaler beziehungsweise maximaler Abstand der einzelnen Zielpositionen zur Wand in Meter	V