

Eberhard Karls Universität Tübingen
Fakultät für Informations- und Kognitionswissenschaften
Wilhelm-Schickard-Institut für Informatik

Diplomarbeit Bioinformatik

Der Einfluss von Sprache auf den Aufbau kognitiver Karten

Reinhard Scholz

14.04.2010

Betreuer: Dr. Gregor Hardiess

1. Gutachter: Prof. Dr. Wolfgang Rosenstiel
2. Gutachter: Prof. Dr. Hanspeter A. Mallot

Scholz, Reinhard:

Der Einfluss von Sprache auf den Aufbau kognitiver Karten

Diplomarbeit

Eberhard Karls Universität Tübingen

Abgabetermin: 14.04.2010

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei all denen bedanken, die mich bei der Bearbeitung dieser Aufgabe unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Dr. Gregor Hardiess, der mir durch seine Anregungen und Kritik stets ein guter Ratgeber war, sowie Dr. Heinz Bendele, der mir zur Durchführung dieser Aufgabe sehr gute Hardware zur Verfügung stellte und die Anregung zur Dezentralisierung der Verwaltung des Belegungsplans des VR-Labors mit seinem konsequentem Einsatz in Form einer praxistauglichen Lösung in die Tat umsetzte.

Ich möchte außerdem allen Mitarbeitern am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft danken, die durch ihren aufgeschlossenen und freundlichen Umgang für eine sehr angenehme Arbeitsatmosphäre sorgten.

Den zahlreichen Probanden, die sich für die Versuche zur Verfügung stellten, sei auch an dieser Stelle ganz herzlich gedankt.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir durch ihre dauerhafte moralische und finanzielle Unterstützung dieses Studium überhaupt ermöglicht haben.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit soll die Beteiligung von sprachlichen Repräsentationen an der Generierung von räumlichem Verhalten, denen die Theorien der „Grounded Cognition“ zu Grunde liegen, untersucht werden. Mit Hilfe von Navigationsexperimenten soll herausgefunden werden, welchen Einfluss die sprachliche Repräsentation räumlichen Wissens (in monologischen Situationen) auf die Raumkognition, insbesondere auf Navigationsleistungen hat. Dabei sollen verschiedene Verhaltenssituationen wie das einfache Verfolgen einer Route, insbesondere aber das Inferieren neuer Wege aus unvollständigem Wissen, untersucht werden. Als linguistische Strukturen sprachlicher Repräsentationen des Raums werden Nominalphrasen zum Einsatz kommen. Diese sprachlichen Mittel sollen dann darauf hin analysiert werden, ob sie dem Probanden bei der Navigation behilflich sein können. In den folgenden speziellen Kontexten soll die Rolle sprachlicher Repräsentationen vergleichend untersucht werden:

1. räumliche Aufgaben unterschiedlicher Komplexität (Wiedererkennung von Orten, Reproduktion von Orten und Inferenz auf neue Wege)
2. räumliche Arbeits- und Langzeitgedächtnisaufgaben
3. monologische Wegfindeaufgaben aber auch dialogische Aufgaben, die eine Kommunikation über den Raum erfordern

Die Kombination von Verhaltensexperimenten und semantischer Theoriebildung soll am Beispiel der Raumkognition einen Beitrag zum Verständnis der Konstitution von Bedeutung im Wechselspiel von sprachlichen und nichtsprachlichen kognitiven Prozessen mit dem Verhalten leisten.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xiii
1 Einleitung	1
1.1 Grundlagen	1
1.1.1 „Verkörperte“ Raumkognition	1
1.1.2 Aufgaben in der Raumkognition: Repertoire und Ontologie	2
1.2 Voraufgegangene Versuche	6
2 Material und Methoden	11
2.1 Die Arbeitsumgebungen	11
2.1.1 Entwicklungsumgebung	11
2.1.2 Versuchsumgebung	17
2.2 Das Programm	20
2.3 Die Szene	21
2.3.1 Darstellung	21
2.3.2 Perspektive	24
2.4 Der Versuchsablauf	26
2.4.1 Einstellungsphase	26
2.4.2 Sicherheitsbelehrung	26
2.4.3 Trainingsphase	26
2.4.4 Versuchsanleitung	27
2.4.5 Versuchsphase	27
2.4.6 Fragebogen	29
3 Ergebnisse	31
3.1 Allgemeines	31
3.2 Auswertung der Computerdaten	32

3.3	Berechnungen	33
3.3.1	Weglänge	33
3.3.2	Anzahl der Versuche	34
3.3.3	Falsche Abbiegungen	34
3.3.4	Besuchte Plätze	34
3.3.5	Verweildauer	35
3.3.6	Zeit	35
3.3.7	Effektiv benötigte Zeit	36
3.3.8	Gesamte benötigte Zeit	36
3.4	Trajektorien	45
3.5	Skizzen von Probanden	48
3.5.1	Baseline- Bedingung	49
3.5.2	Icons- Bedingung	52
3.5.3	Words- Bedingung	55
3.6	Auswertung der Kartenskizzen	58
4	Diskussion	59
4.1	Versuchsgestaltung	59
4.1.1	Modellierung der Szenerie	59
4.2	Probanden	59
4.3	Ausblick	60
4.3.1	Erweiterungen	60
4.3.2	Simulationsmöglichkeiten	60
5	Anhang	61
5.1	Texturen der Tetraeder	61
5.2	Probandeninformation	67
5.3	Versuchsanleitungen	68
5.3.1	Baseline- Bedingung	68
5.3.2	Icons- Bedingung	69
5.3.3	Words- Bedingung	70
5.4	Fragebögen	71
5.4.1	Baseline- Bedingung	71
5.4.2	Baseline- Bedingung	72
5.4.3	Icons- Bedingung	73
5.4.4	Icons- Bedingung	74

5.4.5	Words- Bedingung	75
5.4.6	Words- Bedingung	76
Verzeichnis der Abkürzungen		77
Literaturverzeichnis		79

Abbildungsverzeichnis

1.1	Räumliches Verhalten eines kognitiven Agenten. Der innere Bereich mit der dicken Außenlinie stellt die Ein- und Ausgabe des Agenten dar. Der Bereich zeigt das Pfadfinderverhalten, wie es bei Menschen und Tieren beobachtet werden kann. Der äußere Bereich zeigt die Interaktionen von sozialem und räumlichem Verhalten, das größten Teils auf Menschen (und seit geraumer Zeit auch auf Roboter) beschränkt ist.	4
1.2	Zusammenfassung einer Raum-Graphen-Darstellung des räumlichen Langzeitgedächtnisses. Die Knoten verkörpern zwar Plätze, aber das Modell kann für Sichtgraphen generalisiert werden. Die Verbindungen sind mit Aktionsanweisungen versehen, die lokale (implizite) metrische Informationen beinhalten. Bei Graphenknoten werden drei Typen von Markierungen angezeigt, lokale Positionsinformationen, globale metrische Informationen und die Funktionalität von Plätzen. Regionen werden durch Hexagons symbolisiert, die gleichzeitig Knoten eines hierarchischen Graphen auf einer höheren Ebene sein können.	6
2.1	Struktur des für den Versuch verwendeten Szenengraphen. Die Wurzel wird durch das rote Element „Szene“ repräsentiert. Blau gefärbte Elemente symbolisieren Gruppenknoten (es wird nur einer von zehn Plätzen dargestellt). Grün gefärbte Elemente stellen Blätter dar, die ggf. auch aktiviert oder deaktiviert werden können.	16
2.2	zur flexibleren Datenauswertung in Matlab programmiertes GUI	17
2.3	Arbeitsplatz der Probanden	18
2.4	Strukturbild des Mazes. Die rote Markierung zeigt eine Ausschnittsvergrößerung eines Platzes	22
2.5	Gabelung einer Sackgasse	23
2.6	Terminierung einer Sackgasse	23
2.7	Strukturbild der Szene mit den vier zurückzulegenden Routen der Wahrnehmungs-/Assoziations- und Lernphase. Die Startpunkte der Strecken sind jeweils rot, die der Zielplätze jeweils grün markiert	24

2.8	Strukturbild der Szene mit den vier durch einen Pseudo- Zufallsgenerator ausgewählten zurückzulegenden Routen der Testphase. Die Startpunkte der Strecken sind jeweils rot, die der Zielplätze jeweils grün markiert	25
2.9	Startpunkt	26
2.10	Zielplatz	26
2.11	Eine Wegegabelung aus Sicht eines Probanden, wenn er sich einem Platz nähert . .	27
2.12	Baseline- Bedingung mit der Aufforderung, die Leertaste zur „Bestätigung der Wahrnehmung“ zu drücken	28
2.13	Icons- Bedingung mit der Auflistung von Symoblen, die dem jeweiligen Platz zugeordnet werden sollen	28
2.14	Words- Bedingung mit der Auflistung von Wörtern, die dem jeweiligen Platz zugeordnet werden sollen	28
2.15	Baseline- Bedingung mit dem Ziel „Restaurantplatz“	30
2.16	Icons- Bedingung mit dem Ziel „Schiffplatz“	30
2.17	Words- Bedingung mit dem Ziel „Strandplatz“	30
3.1	durchschnittliches Vielfaches der zurückgelegten Weglänge (im Verhältnis zur Standardlänge der Strecken) (1): die von allen Probanden (2): die von den 10 besten Probanden (der jeweiligen Phase) (3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung (a): in der Lernphase (b): in der Testphase zurückgelegt wurde	37
3.2	durchschnittliches Vielfaches der Anzahl an Versuchen (im Verhältnis zur Mindestanzahl an Versuchen) (1): die von allen Probanden (2): die von den 10 besten Probanden (der Lernphase) (3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung in der Lernphase benötigt wurden	38
3.3	durchschnittliche Anzahl an falschen Abbiegungen (im Verhältnis zur Anzahl der Streckensegmente) (1): von allen Probanden (2): von den 10 besten Probanden (der Testphase) (3): von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung in der Testphase	39

3.4	durchschnittliches Vielfaches der passierten Plätze (im Verhältnis zur Standardanzahl an zu passierenden Plätzen)	
	(1): die von allen Probanden	
	(2): die von den 10 besten Probanden (der jeweiligen Phase)	
	(3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung	
	(a): in der Lernphase	
	(b): in der Testphase	
	passiert wurden	40
3.5	durchschnittliche Verweildauer pro Platz,	
	(1): die von allen Probanden	
	(2): die von den 10 besten Probanden (der jeweiligen Phase)	
	(3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung	
	(a): in der Lernphase	
	(b): in der Testphase	
	benötigt wurde	41
3.6	durchschnittliches Vielfaches der Zeit (im Verhältnis zur Standardanzahl an Segmenten pro Strecke)	
	(1): die von allen Probanden	
	(2): die von den 10 besten Probanden (der jeweiligen Phase)	
	(3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung	
	(a): in der Lernphase	
	(b): in der Testphase	
	benötigt wurde	42
3.7	durchschnittliche effektiv benötigte Zeit (im Verhältnis zur Standardstreckenlänge),	
	(1): die von allen Probanden	
	(2): die von den 10 besten Probanden (der jeweiligen Phase)	
	(3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung	
	(a): in der Lernphase	
	(b): in der Testphase	
	benötigt wurde	43

3.8	durchschnittliche Gesamtzeit (im Verhältnis zur gesamten Streckenlänge), (1): die von allen Probanden (2): die von den 10 besten Probanden (der jeweiligen Phase) (3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung (a): in der Lernphase (b): in der Testphase benötigt wurde	44
3.9	Beispiel einer Trajektorie (1. Strecke der 1. Route der Wahrnehmungsphase) eines Probanden, dem die Baseline- Bedingung zugeordnet worden war. Platz Nr.1, 2 und 5 zeigen, dass der Proband in die falsche Richtung abgebogen war. An Platz Nr.2 hatte er sich auch mehrfach in die Richtung bewegt, aus der er gekommen war. . .	45
3.10	Beispiel einer Trajektorie (2. Strecke der 3. Route der Lernphase) eines Probanden, dem die Icons- Bedingung zugeordnet worden war. Die Trajektorie zeigt einen fehlerfreien Verlauf vom Start bis zum Ziel	46
3.11	Beispiel einer Trajektorie (3. Strecke der Testphase) eines Probanden, dem die Words- Bedingung zugeordnet worden war. Die Trajektorie zeigt neben der fast vollständigen Struktur des Mazes Falschabiegungen in drei Sackgassen	47
3.12	Kartenskizze eines Probanden unter der Baseline- Bedingung in der Kategorie 2 .	49
3.13	Kartenskizze eines Probanden unter der Baseline- Bedingung in der Kategorie 4 .	50
3.14	Kartenskizze eines Probanden unter der Baseline- Bedingung in der Kategorie 10	51
3.15	Kartenskizze eines Probanden unter der Icons- Bedingung in der Kategorie 2 . . .	52
3.16	Kartenskizze eines Probanden unter der Icons- Bedingung in der Kategorie 6 . . .	53
3.17	Kartenskizze eines Probanden unter der Icons- Bedingung in der Kategorie 10 . .	54
3.18	Kartenskizze eines Probanden unter der Words- Bedingung in der Kategorie 0 . .	55
3.19	Kartenskizze eines Probanden unter der Words- Bedingung in der Kategorie 5 . .	56
3.20	Kartenskizze eines Probanden unter der Words- Bedingung in der Kategorie 10 . .	57
3.21	Klassifizierung aller Karten nach der Klassifikationstabelle	58
3.22	Klassifizierung der 10 besten Karten nach der Klassifikationstabelle	58
5.1	Afara-Brunnen	61
5.2	Springbrunnen	61
5.3	Gartenbrunnen	61
5.4	Gruppenzelt	62
5.5	Wohnwagen	62
5.6	Igluzelt	62
5.7	Burger	62

5.8	Schnitzel	62
5.9	Suppe	62
5.10	Freibad	63
5.11	Badeinsel	63
5.12	Wasserrutsche	63
5.13	Einarmiger Bandit	63
5.14	Jetons	63
5.15	Roulette	63
5.16	Fischerboot	64
5.17	Segelschiff	64
5.18	Motoryacht	64
5.19	Federwippe	64
5.20	Rutsche	64
5.21	Schaukel	64
5.22	Basketball	65
5.23	Fussball	65
5.24	Volleyball	65
5.25	Strand mit Menschen	65
5.26	Hängematte	65
5.27	Strand mit Sonnenschirmen	65
5.28	Chips	66
5.29	Getränkemarkt	66
5.30	Shampooregal	66
5.31	Probandeninformation	67
5.32	Versuchsanleitung: Baseline- Bedingung	68
5.33	Versuchsanleitung: Icons- Bedingung	69
5.34	Versuchsanleitung: Words- Bedingung	70
5.35	Fragebogen: Baseline- Bedingung	71
5.36	Fragebogen: Baseline- Bedingung	72
5.37	Fragebogen: Icons- Bedingung	73
5.38	Fragebogen: Icons- Bedingung	74
5.39	Fragebogen: Words- Bedingung	75
5.40	Fragebogen: Words- Bedingung	76

Tabellenverzeichnis

- 3.1 Klassifikation von Signifikanzen 32
- 3.2 Klassifikation der Messwerte 32
- 3.3 Klassifikation der Kartenskizzen 48

Kapitel 1

Einleitung

Die Orientierung und die Navigation im Raum, die als „räumliches Verhalten“ bezeichnet werden, gehören zu den wichtigsten Fähigkeiten von sich fortbewegenden Lebewesen. Diese Fähigkeiten werden nicht nur durch eine große Anzahl sensorischer Reize und deren Wahrnehmung unterstützt, sondern setzen auch eine systematische und leistungsfähige Verarbeitung von bereits bekanntem Wissen voraus. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 550 Teilprojekt A12: Positionen, Distanzen, Winkel: Ortserkennung und Metrik in kognitiven Karten (SFB 550 A12) der Deutschen Forschungsgemeinschaft soll untersucht werden, wie stark und auf welche Weise symbolische Abbildungen und insbesondere sprachliche Mittel sowohl bei monologischem als auch bei dialogischem Einsatz die Navigationsleistungen von Menschen beeinflussen, insbesondere bei der Auswahl von Wegen, dem Finden von Abkürzungen und dem Suchen von Zielen sowie bei Abschätzung von Entfernungen verschiedener Orte zueinander. Diese Arbeit wird Hinweise auf die Bedeutung von sprachlichen Mitteln und deren Einfluss auf die Navigationsleistung geben und Möglichkeiten aufzeigen, wie der Einfluss von Sprache auf die Wahrnehmung, Orientierung und Navigation im Raum untersucht werden kann.

Nach Gentner / Christie (2003) [GC08] hat der Mensch fraglos eine den anderen Spezies überlegene kognitive Fähigkeit, aber um sie wirksam einsetzen zu können, bedarf es ausgeklügelter Hilfsmittel wie zum Beispiel der Sprache.

1.1 Grundlagen

1.1.1 „Verkörperte“ Raumkognition

Das Verhalten von Mensch und Tier kann als Wahrnehmungs-Aktions-Zyklus bezeichnet werden. Dieser Zyklus stellt eine Verbindung von sensorischen und motorischen Komponenten in einem Agenten und eine Feedbackschleife dar, die durch die Umgebung beeinflusst ist. Die kognitive Verarbeitungsleistung, die benötigt wird, um Handlungen höherer Ordnung auszuführen oder zu steuern, hängt zusätzlich von den verfügbaren Sensoren, Effektoren, der Umwelt und den verfolgten Absichten des Agenten ab. Ein großer Unterschied zwischen Robotern und biologischen Systemen besteht in ihren spezifischen Sensoren und der Art von Informationen, die diese Sensoren benötigen. In biologischen Systemen wird die Assoziierung von einer bekannten Ansicht mit bestimmten Motoraktivitäten als eine „durch Erkennung ausgelöste Antwort“ aufgefaßt. Diese „durch Erkennung ausgelöste Antwort“ stellt ein stereotypisches „Wahrnehmungs-Aktions-Paar“ dar. Es handelt sich dabei um ein dafür vorgesehenes grundlegendes Element von räumlichem Gedächtnis, das es gleichzeitig ermöglicht, einfaches Routenfolgeverhalten auszulösen. Abstraktere Formen des räumlichen Gedächtnisses werden benötigt, um neue Routen (kognitive Karten) zu entwerfen, die darauf

schließen lassen, dass das Abstraktionsvermögen mit der Komplexität der Aufgaben wächst. Nach der derzeitigen Theorie kann die Raumkognition in dem Sinne als „verkörpert“ bezeichnet werden, dass die kognitive Verarbeitung von einem Sensorium umgeben ist, das die Effektoren und die verhaltensbedingten Aufgaben durch den Agenten nach außen trägt.

1.1.2 Aufgaben in der Raumkognition: Repertoire und Ontologie

Als Onthologie werden die folgenden erforderlichen Repräsentationen und informationsverarbeitenden Fähigkeiten zusammengefasst:

- Erkennung von Plätzen: Gedächtnis der lokalen Informationscharakteristik von Plätzen
- nach Hause finden nach einer Exkursion: 2 Mechanismen: 1. Führung durch Landmarken, und/oder 2. Pfadintegration
- Routenfinden: Assoziation von Plätzen in Verbindung mit Aktionen (Handlungen) S-R oder S-R-S
- Rekombination von Routensegmenten: Graphen (Netzwerke) von S-R-S Assoziationen
- Routenauswahl und Planung: Arbeitsgedächtnis
- Querfeldein-Abkürzungen: metrische Einbindung von Plätzen
- Kommunikation über den Raum: Benennung von Plätzen und Aktionen

Die anspruchsloseste Anforderung an ein räumliches Gedächtnis stellt das „nach-Hause-finden“ dar. Es ist bei vielen Insekten feststellbar, die eine Behausung besitzen, zu der sie nach Exkursionen zurückkehren. Ein Erkennungsmechanismus im Hinblick auf die immer vorhandene nachbarschaftliche Umgebung des Platzes („catchment area“) ermöglicht das „nach-Hause-finden“. Aus einer zu engen Umgebung ist eine Annäherung mit Hilfe dieses Erkennungsmechanismus nicht möglich („confusion area“). Bei der Pfadintegration stellt ein Heim-Vektor, der ständig aktualisiert wird, eine metrische Repräsentation von dem Zielplatz des Agenten zu seinem derzeitigen Aufenthaltsplatz dar. Die Aktualisierung geschieht durch das Arbeitsgedächtnis, bis der Heim-Vektor von der Selbststeuerung abgelöst wird. Dabei wird vektoriell Wissen vermutlich in der Form im Langzeitgedächtnis gespeichert, dass bekannte Plätze „markiert“ und mit Entfernungen und Richtungen zu einem zentralen Platz kombiniert werden.

Einzelne Wegmarken, sogenannte Meilensteine, müssen vom Langzeitgedächtnis als Entscheidungspunkte für die Routenfolgen erkannt werden; außerdem sind noch unbekannte Routensegmente zurückzulegen. Die Entscheidungen an den Entscheidungspunkten basieren auf dem Stimulus-Antwort-Verhalten, das durch Konditionierung oder verstärkendes Lernen („reinforcement learning“) erreicht wird.

Wie Tom und Denis [TD04] herausfanden, war es für einen Fußgänger weniger hilfreich, von Straßennamen geleitet zu werden als von Landmarken.

Sind Navigatoren in der Lage, Teile bekannter Routen in neuen Routen zu rekombinieren, ist das Kartenniveau des räumlichen Wissens erreicht. Die Ausdehnung des Routenkonzepts auf Karten erweitert sich auf das Ersetzen von Entscheidungsketten an Entscheidungspunkten und Aktionen von Netzwerken oder Graphen, die Gabelungen oder Zyklen enthalten. In diesem Fall können Aktionen nicht einfach als Entscheidungspunkte angesehen werden, da ein Entscheidungspunkt mehrere Aktionen zur Auswahl stellt. Das Planungsstadium ist eine Art von räumlichem Arbeitsgedächtnis,

das geeignete Wege von einem kartenartigen Langzeitgedächtnis erzeugt. Es kann sowohl alternative Routen zulassen als auch „high-level Entscheidungen“ treffen. Der Unterschied zwischen Routen und Karten kann inzwischen durch neurophysiologische Grundlagen bewiesen werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Basalganglien bei stereotypischem Routenverfolgen involviert sind, während Kartennavigation durch cortikale Areale aktiviert wird. Der Prozess der Generierung von navigierbaren Routen aus kognitiven Karten erfordert ein Arbeitsgedächtnis, um die Schritte während der Navigation zu speichern.

Metrische Information kann für eine Vielzahl von Aufgaben in der Raumkognition eingesetzt werden. Zum Beispiel erfordern motorische Aktivitäten immer auch metrisches Wissen. Zusammen mit der Eigenbewegung, die von den visuellen und vestibulären Sinnen berechnet wird, dienen diese Informationen auch der Pfadintegration. Für das Langzeitgedächtnis sind metrische Informationen wichtig, wenn es darum geht, Abkürzungen in unbekanntem Gebiet zu finden, besonders dann, wenn diese Abkürzungen nicht nur aus Kombinationen bekannter Routensegmente bestehen. Theoretisch sind drei verschiedene Typen von metrischem Langzeitgedächtnis vorstellbar:

1. vollständig metrische Karten
2. metrische Einschlüsse
3. lokale metrische Informationen

Unter einer „vollständig metrischen“ Karte versteht man eine Karte aus einem fortlaufenden Plan, in den bekannte Plätze eingetragen sind. Jeder Platz ist mit der entsprechenden Auflösung dargestellt, und eine Markierung zeigt an, ob der Platz bereits passiert wurde oder nicht. Alternativ wird auch über einen Graphen aus Plätzen und Aktionen nachgedacht, dem nur lokale metrische Informationen zu Grunde liegen, wobei Entfernungen mit Verbindungen assoziiert werden oder Winkel mit paarweisen Adiazenzverbindungen. Lokale metrische Information ist relational und erfordert keine Spezifikation durch ein Koordinatensystem. Ein Zwischenstadium stellt die metrische Einbettung dar, in der Koordinatenwerte nur mit Knoten assoziiert werden. Wie vollständige metrische Karten erfordern auch eingebettete metrische Karten Koordinatensysteme, zeigen aber nicht, ob die Plätze des Graphen bereits besucht wurden.

Bei der Raumkognition von Menschen spielen Hilfsmittel zur Beschreibung des Raumes, wie z.B. gezeichnete oder gedruckte Karten, verbale Beschreibungen oder Straßenschilder eine wichtige Rolle. Diese Navigationshilfsmittel hängen von der sozialen Interaktion und der Sprache ab. Im Rahmen der Kommunikation werden nicht ausschließlich räumliche Informationen weitergegeben, sondern die Information über den Raum wird in die Kommunikation integriert. Ein Ergebnis solcher navigatorischen Hilfsmittel in der Raumkognition bei Menschen scheint zu sein, dass räumliches Verhalten allgemein auf sprachlich basierte Mechanismen zurückzuführen ist, auch wenn Ratliff / Newcombe [KRR08] aufgrund eines entsprechenden Versuches zu der Ansicht gelangten, dass die Verbindung von Sprache mit geometrischen und non-geometrischen Quellen zur Rückorientierung nicht gerade „crucial“ ist, (manchmal kann sie sogar hilfreich sein). Seitdem aber die Fähigkeiten des Pfadfindens im Tierreich untersucht wurden, müssen sie der Vorläufer der sprachlich basierten Kognition gewesen sein, nicht die Folge dieser. Das schließt aber nicht die Möglichkeit genauerer Interaktionen zwischen Sprache und Raum bei Menschen ein. In Folge dieser Sichtweise sind Navigationsverhalten und soziale Kommunikation bei Tieren eher von einander unabhängig. Solange die navigatorischen Fähigkeiten so vielfältig sind, werden die kommunikativen Fähigkeiten wohl seltener eingesetzt und beschränken sich auf Paarung und Warnung. Das meisterwähnte Beispiel für

Kommunikation in der Tierwelt ist sicherlich der Tanz der Honigbiene. Nach ihrer Rückkehr kommuniziert sie mit ihren Mitbewohnern die Richtung und die Entfernung zu der von ihr erkundeten Nahrungsquelle. Sie tut dies, um andere Bienen für die Beschaffung von Nahrung zu rekrutieren.

Das Verhalten von Tieren ist bezüglich des Wahrnehmungs-Aktionszyklus im Allgemeinen verstanden. Dabei sorgt eine Art Controller dafür, dass sich der jeweilige Organismus in einem möglichst angenehmen Zustand befindet. Bei dem Controller ist es in der Raumkognition wichtig, zwischen den verschiedenen Arten von Gedächtnis zu differenzieren; das schließt die Komponenten des Arbeits- und Langzeitgedächtnisses ein. Die Abbildung stellt in Wirklichkeit nur die logische Funktion und keine 1 zu 1 Abbildung des Gehirns dar (siehe Abb.1.1). Unter dem Aspekt, verschiedene Bereiche von räumlichem Verhalten bei Robotern, Tieren und Menschen zu adressieren, wurde die Umgebung in zwei Bereiche aufgeteilt. Der innere Bereich umfasst die natürliche Umgebung, die nicht bewußt durch Aktivitäten des Agenten oder andere Einflüsse verändert werden kann. Hierauf basiert das Verhalten, das dem Pfadfinden zu Grunde liegt. Menschen und manche Tiere ändern ihre Umgebung, indem sie Strukturen ändern oder Artgenossen mit Informationen unterstützen. Die Verhaltensweisen der Agenten sind auf fünf Komponenten zurückzuführen: den sensorischen Reiz, das Referenzgedächtnis, das Arbeitsgedächtnis, das Verhalten und die Reaktion der Umgebung.

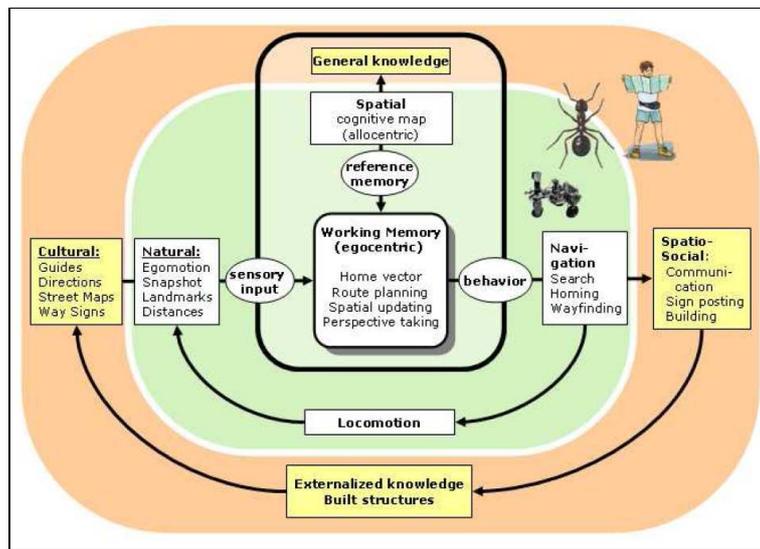


Abbildung 1.1: Räumliches Verhalten eines kognitiven Agenten. Der innere Bereich mit der dicken Außenlinie stellt die Ein- und Ausgabe des Agenten dar. Der Bereich zeigt das Pfadfinderverhalten, wie es bei Menschen und Tieren beobachtet werden kann. Der äußere Bereich zeigt die Interaktionen von sozialem und räumlichem Verhalten, das größten Teils auf Menschen (und seit geraumer Zeit auch auf Roboter) beschränkt ist.

Vergleicht man die Raumkognitionssysteme von biologischen Systemen und Robotern, stellen sich einige Fragen bezüglich der Gestaltung, die getrennt voneinander untersucht werden müssen:

1. Repräsentation von Landmarken
2. metrische Information
3. Hierarchie
4. Funktionalität

5. Gebrauch der kognitiven Karte

Karten des räumlichen Gedächtnisses lassen sich auf verschiedene Weise darstellen:

- als Platzgraphen mit Knoten
- als Sichtgraphen mit Knoten
- als hierarchischen Graphen mit p-Platzknoten und zusätzlichen regionalen Knoten
- als bipariten Graphen mit p-Plätzen und w-Verbindungen zueinander

Markante Objekte, die zwar weithin sichtbar, aber dennoch unerreichbar sind, können ebenfalls als Landmarken dienen. Wenn bekannt ist, wie man von einer zu einer anderen Landmarke gelangt, können auch diese Landmarken als Knoten in einem Graphen verbunden und mit gekennzeichnet werden. Mit Kommentaren versehene Verbindungen können sogar als motorische Steuerprogramme dienen und stellen eine Form der Repräsentation von Aktionen dar.

Die Erkennung eines einzelnen Platzes setzt charakteristische Landmarken voraus, die bestimmte sensorische Informationen präsentieren, die im Gedächtnis behalten und zur Wiedererkennung des Platzes genutzt werden können.

In Experimenten, die in virtuellen Umgebungen durchgeführt wurden, konnte gezeigt werden, dass Menschen, die sich in kreisrunden Räumen befanden, schnappschussbasiert, farbige Texturen zur Orientierung nutzten. Auch geometrische Informationen können genutzt werden, um versteckte Objekte in einem Raum zu finden [SGMss] Chritou und Bühlhoff (1999) konnten zeigen, dass Landmarkenobjekte schneller und genauer wiedererkannt werden, wenn sie in der gewohnten Orientierung und nicht in einer ungewöhnlichen Ansicht präsentiert werden; das spricht wiederum dafür, dass eher Ansichten als 3-dimensionale Objekte in Erinnerung behalten werden. Die Erkennung von bewußt wahrgenommenen Objekten ist mit dem rechten Bereich des Cortex assoziiert, während Objekte an Entscheidungspunkten hauptsächlich in der parahypokampischen Region verarbeitet werden. Dies zeigt, dass im Hinblick auf die neuronale Verarbeitung ein Unterschied zwischen der Erkennung von Landmarken und der Erkennung von Objekten besteht. Die Benennung von Landmarken ist in der räumlichen Sprache und der Richtungsbestimmung von größerer Wichtigkeit als bei der aktiven Navigation. Zur Begrenzung der Informationsvielfalt müssen Landmarken zwei Eigenschaften erfüllen. Zum Einen dürfen nur Teile von ihnen im Gedächtnis bleiben, zum Anderen dürfen sie nur von einem vom Betrachter gewählten Ort aus erfaßt werden. Als weitere Eigenschaften sollten sie gut erkennbar, für eine Richtungsentscheidung relevant und dauerhaft sein. Für die metrische Repräsentation von Karten sind verschiedene Repräsentationen, wie die vollständig metrische Karte, die lokale metrische Karte sowie die metrisch eingebundene Karte von Bedeutung. Kognitiven Karten, wie sie bei Menschen untersucht werden, repräsentieren hauptsächlich lokale metrische Informationen mit ggf. wenigen metrischen Einbettungen.

Das Langzeitgedächtnis wird sowohl für die Erkennung von Plätzen benötigt als auch für das Routenfolgen und die Routenplanung. Zusätzlich wird auch ein Interface zwischen Wahrnehmung, Referenzgedächtnis und Verhalten benötigt. Das Arbeitsgedächtnis kann bzgl. des räumlichen Verhaltens sowohl ausschließlich, als auch in Kombination mit dem Langzeitgedächtnis involviert sein (siehe Abb. 1.2). Es ist wichtig, zwischen allozentrischen und egozentrischen Gedächtnisbereichen zu unterscheiden.

Man spricht von einer egozentrischen Repräsentation des Raumes, wenn sich die Perspektive für einen Beobachter in vorhersehbarer Weise verändert, sobald sich dieser bewegt. Naheliegenderwei-

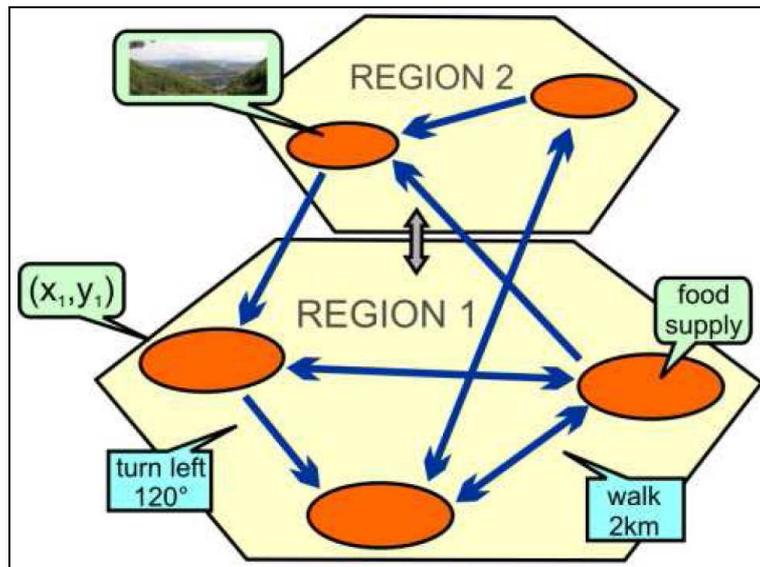


Abbildung 1.2: Zusammenfassung einer Raum-Graphen-Darstellung des räumlichen Langzeitgedächtnisses. Die Knoten verkörpern zwar Plätze, aber das Modell kann für Sichtgraphen generalisiert werden. Die Verbindungen sind mit Aktionsanweisungen versehen, die lokale (implizite) metrische Informationen beinhalten. Bei Graphenknoten werden drei Typen von Markierungen angezeigt, lokale Positionsinformationen, globale metrische Informationen und die Funktionalität von Plätzen. Regionen werden durch Hexagons symbolisiert, die gleichzeitig Knoten eines hierarchischen Graphen auf einer höheren Ebene sein können.

se ist das Langzeitgedächtnis für solche schnellen Veränderungen ungeeignet. Im Gegensatz dazu steht die allozentrische Repräsentation, bei der sich die beobachteten Objekte nicht verändern, wenn sich der Beobachter bewegt. Der Unterschied zwischen beiden Begriffen ist dennoch fließend. Im Bereich des Arbeitsgedächtnisses ist die Pfadintegration am Besten untersucht. Anders als bei dem Langzeitgedächtnis erfordert Pfadintegration kein permanentes Wissen über den Pfad. Beim Langzeitgedächtnis kann zwischen dem deklarativen und dem nicht-deklarativen Gedächtnis unterschieden werden.

In der Graphenuntersuchung fällt die Unterscheidung sehr leicht, da aufgrund der Topologie unterschieden werden kann, um welche der beiden Formen es sich handelt. Besteht der Graph aus einer Kette, entspricht das Gedächtnis dem Routen-Typ, sind nicht-triviale Strukturen mit Weggabelungen und Knoten sichtbar, handelt es sich um den Karten-Typ.

1.2 Voraufgegangene Versuche

In der Arbeit „Navigation and Acquisition of Spatial Knowledge in a Virtual Maze“ [uHM98] wurden interaktive Computergrafiken und virtuelle Realität zur experimentellen Untersuchung eingesetzt. Tong, Marlin und Frost (1995) hatten bereits gezeigt, dass die aktive Erkundung von Umgebungen zu einem besseren räumlichen Verständnis führt als passive Stimuli. Die Vorteile der virtuellen Realität liegen darin, dass verschiedene Reize isoliert werden können, die benötigt werden, um räumliches Wissen aufzubauen und ihm zu Grunde liegende Mechanismen zu untersuchen. Vorteilhaft sind auch die einfache Kontrollierbarkeit mit Computergrafiken erzeugter Stimuli und

der einfache Zugriff auf Verhaltensdaten wie z. B. die Bewegungsentscheidungen von Probanden. Interaktive Computergrafiken bieten den großen Vorteil, Trajektorien von Probanden exakt aufzeichnen zu können, da der Pfad des Renderns der Computergrafik derselbe ist wie die Trajektorie, die aufgezeichnet werden soll. Die Navigationsleistung kann am genauesten erfasst werden, wenn die Trajektorien während ihrer Erkundung durch den Probanden produziert werden. Die aufgezeichneten Daten können außerdem in verschiedene sensorische Bereiche aufgeteilt werden. Schnelle Wechsel von Ansichten können im Gegensatz zu realen Umgebungen in Simulationen ohne größere Schwierigkeiten präsentiert werden. Verschiedene Parameter können zusätzlich, nachdem eine Umgebung erlernt wurde, verändert werden. Ein auf diese Weise ermöglichter Austausch von Landmarken im Rahmen der Navigation wurde von Mallot und Gillner (1996) untersucht und zwar ausschließlich im Hinblick auf die Wirkung der visuellen Reize. Dabei zeigte sich, dass sich die Fehlerraten der Suchaufgaben mit fortschreitender Anzahl der Versuche tendenziell reduzierten. Dem Anschein nach fand ein Wissenstransfer zwischen dem früher gewonnenen Wissen und den aktuellen Suchaufgaben statt. Die Reduzierung der Fehler verlief trotzdem nicht monoton. Bei manchen Probanden konnten keine Verbesserungen festgestellt werden. Nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte, dass eingeschränkte Sichtverhältnisse oder ein Mehr an Informationen das Erlernen räumlicher Beziehungen in einer virtuellen Umgebung oder die Fehlerrate beeinflussten. Außerdem konnten Unterschiede zwischen Landmarkennavigation und Pfadintegration nachgewiesen werden. Weder Zoomen aus einer bestimmten Perspektive, noch die Veränderung der Versuchsbedingungen durch eine Tag- oder Nachtrepräsentation führten zu qualifizierteren Ergebnissen. Dass keine besseren Ergebnisse bei Tagbedingungen gegenüber den Nachtbedingungen erzielt werden konnten, wurde darauf zurückgeführt, dass bei verbesserter Sicht vermutlich gleichzeitig die Komplexität der Umgebung zunahm.

Es wurde als erwiesen angesehen, dass weniger Informationen in einer offenen Umgebung gespeichert werden, in der die Navigationsleistung nicht so stark auf das Gedächtnis angewiesen ist wie in anderen Umgebungen, und dass die Menge an erlerntem Wissen nicht durch die Verfügbarkeit sondern durch den unterschiedlichen Bedarf gesteuert wird. Analysen unterschiedlicher Umgebungsbedingungen zeigten, dass die im Maze gelaufene Distanz als theoretische Entfernungsmessung der Schätzung des Probanden am nächsten kam.

Es wurde festgestellt, dass das Wissen, das von einer Route auf die nächste transferiert wird, sich nicht nur auf das Routenwissen beschränkt, sondern auch die Rekombination der Routensegmente verstärkt. Diese Form des latenten Lernens konnte in späteren unabhängigen Aufgaben angewendet werden. Der Vorgang von Wissenstransfer von einer Route zu einer anderen ist ein Beweis dafür, dass zielunabhängige Karten vom Raum existieren - die sogenannten „kognitiven Karten“.

Bezüglich der Beständigkeit wurden Beweise für einfachere Arten des kognitiven Lernens gefunden. Die Wiederholungsraten zeigten, dass zumindest einige der Probanden einen Teil ihrer Bewegungsentscheidungen auf einfache Assoziationen von Ansichten mit Bewegungen gründeten. Die Gesamtfehlerzahl war bei späteren Suchaufgaben geringer. Im Vergleich entsprachen die geschätzten Entfernungen am ehesten den Abmessungen der Segmente im Maze, eher als den metrischen oder den durch Mouseclicks definierten graphischen Entfernungen. Distanzmessungen führten zu der Annahme, dass Entfernungsabschätzungen von unterschiedlichen Bereichen des Maze miteinander verglichen werden könnten. Dies bewahrheitete sich aber nicht, denn die wahrgenommenen Entfernungen von bekannten Orten waren größer. Trotz der großen Unterschiede in der Anzahl der Fehler, die bei der Abschätzung von Entfernungen bei den Probanden zu verzeichnen waren, war eine Clusterung nicht möglich. Es konnten auch keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, die geschlechtsspezifisch gewesen wären.

In der sichtbasierten Navigation wurden nur lokale Ansichten als Positionsinformation im Maze dargestellt. Die Ergebnisse schließen nicht aus, dass komplexere Repräsentationen aus den Informationen über den Raum aufgebaut werden können. Es zeigte sich, dass Rückwege genau so schwer zu finden sind wie Hinwege. Dies wird auf einen sichtbasierten Mechanismus zurückgeführt, da keine signifikanten Unterschiede zwischen Hin- und Rückwegen festgestellt werden konnten.

Die Ursache für dieses Ergebnis könnte darauf zurückzuführen sein, dass sich die Ansichten der Rückwege für den Probanden genau so von den ursprünglichen Ansichten unterscheiden wie die ganze übrige Umgebung. Wie gezeigt wurde, kann erlernt werden, durch Assoziationen direkte Bewegungsfolgen hervorzurufen. Dieses Verhalten basiert auf dem Wahrnehmungs-Aktionszyklus.

Ein unabhängiger Beweis für eine graphenartige Repräsentation durch Kartenskizzen konnte zeigen, dass gezeichnete Karten oft lokal korrekt, global aber inkonsistent sind. Dabei wurden Plätze, die zusammengehörten, an falsche Positionen verschoben. Trotzdem waren die Verbindungen aber korrekt, obwohl die metrischen Proportionen, sowie Winkel und Längen, absolut falsch eingezeichnet waren.

Distanzabschätzungen gaben nicht die zu beurteilende Distanz wieder, die die graphische Distanz des Sichtgraphen war, sondern korrelierten besser mit den Segmentabmessungen (d.h. mit der Graphendistanz des Platzgraphen). Dies führte zu der Annahme, dass zwischen Sicht- und Platzgraph- Repräsentationen zu diesem Zeitpunkt nicht unterschieden werden konnte.

Als Schlussfolgerung kann festgehalten werden, dass Umgebungs-Konfigurationswissen durch virtuelle Umgebungen gewonnen werden kann, obwohl sich die Probanden nicht selbst bewegen und nur eine Computersimulation steuern. Damit ist bewiesen, dass Computersimulationen eine gute Alternative zu Feldstudien darstellen.

Es wurde gezeigt, dass Ansichten einer Umgebung zur Navigation ausreichen, denn Kartenlernen ist möglich, auch wenn nur lokale Informationen angeboten werden. Beim Vergleich eines Graphen mit einer Darstellung aus der Vogelperspektive zeigte sich, dass Repräsentationen lokale Elemente beinhalten, d.h. eine Platzansicht in Verbindung mit ein paar Bewegungsentscheidungen und das mit ihnen erwartete Ergebnis genügen. Diese lokalen Elemente müssen nicht global konsistent sein und sich nicht in eine metrische Abbildung einfügen, eine graphenartige Repräsentation genügt.

Es konnte kein Beweis dafür gefunden werden, dass die lokalen Ansichten mit einer Raumrepräsentation verbunden werden, unabhängig von der Orientierung des Betrachters. Die für den Versuch eingesetzten Untersuchungsmethoden setzten sich aus folgenden Komponenten zusammen:

Virtuelles Maze (Hexatown)

- konstruiert mit Medit Software mit 36 Hz, animiert auf einer SGI Onyx Reality Engine mit Irix Performer Software
- hexagonales Raster
- 100m Distanzen zwischen den Plätzen
- an jeder Verbindung ein Gebäude
- 120° Winkel zwischen den Straßen
- jeder Platz bestand aus drei Gebäuden
- Sackgassen endeten mit einer Barriere nach 50m
- monotone Struktur, um alle Verbindungen gleich aussehen zu lassen
- Szene umgeben von Bergszenerie, die sich alle 20° wiederholte

- Steuerung durch die Szene durch Computermaus
- Fortbewegung mit fest definierter Geschwindigkeit 17 m/s
- Richtungsbestimmung durch Druck auf die jeweilige Taste der Maus (links, geradeaus, rechts)
- Streckenstop an dem nächsten Platz
- balistische 60°-Drehungen mit 70 °/s
- verschiedene Grade der Sichtbarkeit der Umgebung
- alle Knoten sahen gleich aus
- es bestand keine Möglichkeit, weiter entfernte Objekte zu erkennen
- unter den meisten Bedingungen war die Umgebung durch einen hellen Himmel beleuchtet

Versuchsanordnung

- 19“- Monitor
- Probanden saßen 40cm - 60cm ohne Kinnstütze vor dem Display mit einem Blickwinkel von 35° - 50°

Versuchsdurchführung

1. Phase (Erkundungsphase)

Probanden verschafften sich einen Eindruck von der Umgebung, indem sie sich frei durch die Umgebung navigierten. Probanden mußten nacheinander 12 ausgedruckte Zielbilder suchen:

- bei Verlassen des kürzesten Weges musste der Proband (...zur Aufrechterhaltung seiner Motivation) das nächste Ziel suchen,
- wenn ein Proband das Ziel nicht gefunden hatte, wurde er auf den Ausgangspunkt zurückgesetzt und musste die Aufgabe wiederholen.
- das Ziel war erreicht, wenn der kürzeste Weg gefunden war.

2. Phase (Distanzabschätzungsphase)

Paarweise Darstellung zweier Ansichten: 1. Bild mit Zeitlimit, 2. Bild ohne Zeitlimit Proband soll Entfernung in 4 Stufen abschätzen Proband muss eine von 2 Fragen beantworten:

- a) Abstand
- b) Luftlinie (metrisch) danach nächstes Bildpaar

3. Phase (Skizzenphase)

Im Anschluß an die Navigationsaufgabe sollten Kartendarstellungen von der zuvor explorierten Umgebung angefertigt werden, die als Repräsentation einer kognitiven Karte dienen sollte

Kapitel 2

Material und Methoden

2.1 Die Arbeitsumgebungen

Die Beschreibung der Arbeitsumgebungen, in denen die Aufgabenstellung umgesetzt wurde, gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil beschreibt die Entwicklungsumgebung, unter der die für den Versuch benötigten Softwareprogramme entwickelt wurden, der zweite Teil die Versuchsumgebung, unter der die Versuche durchgeführt wurden.

2.1.1 Entwicklungsumgebung

Hardware

Die Erzeugung und Gestaltung der Szene wurde auf einem System realisiert, dessen Leistungsschwerpunkt in der graphischen Datenverarbeitung lag.¹ Die für den Versuchsablauf eingesetzte Hardware bestand aus den Komponenten Display, PC, Tastatur und Pointing Device in Form eines Joysticks. Für die Entwicklung und den Ablauf der Versuchsprogramme wurde ein PC eingesetzt, der mit einer *Athlon*TM 64-3500+ CPU (getaktet mit 2.20015 GHz) der Firma AMD bestückt und mit 2.0 GB RAM ausgestattet war. Zusätzlich war der Computer mit einer Grafikkarte des Typs GTS 250 mit 3D-Unterstützung der Firma nvidia ausgestattet. Ein 19“-Display des Typs L1950 der Firma HP diente als Monitor. Die zur Auswahl benötigten Ziffern konnten über die kabellose Tastatur S 510 der Firma Logitech angewählt werden, bei der die Tastenwiederholfunktion zur Vermeidung unerwünschter Seiteneffekte durch eine entsprechende Desktopkonfiguration deaktiviert worden war. Zur Eingabe der Steuerungsbefehle wurde der Joystick EXTREME 3D der Firma Logitech eingesetzt, bei dem aber nur die X- und Y-Achse durch das Programm abgefragt wurden.

Software

Sowohl für die Entwicklung der für die Versuche benötigten Software als auch für die Durchführung der Versuche selbst wurde bis auf die Erzeugung des Szenengraphen dieselbe Software-Umgebung verwendet.

Die unter dem Betriebssystem *openSUSE*TM Linux der Version 11.0 (i586) mit einem Kernel der Version 2.6.25.20-0.5-pae i686 und einem KDE der Version 3.5.9 „release 49.2“ erstellte Software wurde unter dem IDE Eclipse in der Version (Galileo) mit einem GNU C++ Compiler der Version

¹Prozessor: *Intel*[®] *Pentium*[®] D *Core*TM2 Takt: 2.80 GHz, Speicher: 2 GB RAM, Grafikkarte: *nvidia*[®] *Geforce*[®] 7300 LE, Display: Samsung Sync-Master 2493 HM, Betriebssystem: –*Microsoft*[®] *Windows*[®] XP (Professional) Service Pack 3 (Version 2002)

4.4.1 -branch revision 150839 entwickelt.

Für die Entwicklung und Gestaltung des Szenengraphen kam die proprietäre Software MultiGen-Creator in der Version 2.5.1 der Firma Paradigm mit der Open Flight Version 15.70 unter dem Betriebssystem Windows XP der Firma Microsoft zum Einsatz.

Die Szenen wurden mit Hilfe des OSG und seiner Bibliotheken in der Version 2.8.1 der Firma Skew-Matrix Software gerendert.

Calc Für die Auswertung der Daten wurde das Programm Calc der Office-Suite OpenOffice.org 3 in der Version 3.1.1 OOO310m21 (Build:9319) von Sun Microsystems, Inc. - erstellt von Novell, Inc. Build 3.1.1.1 - sowie Matlab der Firma Mathworks in der Version 2009b (jeweils unter dem Betriebssystem Linux) verwendet.

GCC Dynamische und realitätsnahe Simulationen, die am Computer entwickelt werden sollen, setzen neben leistungsfähiger Hardware auch effizient arbeitende Software in Form von Programmen voraus. Die schnellstmögliche Verarbeitung von einem für einen bestimmten Computertyp entwickelten Programm findet auf seiner Maschinensprachebene statt. Compilierbare Programmiersprachen, insbesondere Hochsprachen, bieten neben der durch sie einfacheren Bewältigung der Komplexität einer Aufgabenstellung eine effiziente und für den jeweiligen verwendeten Prozessortyp optimierte „Übersetzung“ in die Maschinensprache. Die Programmiersprache C++, die für das Rahmenprogramm des Versuchs eingesetzt wurde, bot als compilierbare Hochsprache nicht nur hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit optimale Voraussetzungen, sondern stellte auch Schnittstellen für die Erzeugung des Szenengraphen und die benötigten Hardwarekomponenten bereit.

MultiGen Creator Beim MultiGen Creator handelt es sich um eine plattformübergreifende Low-Level Graphik-API, die unter der LGPL speziell für die Erzeugung von Echtzeit-3D-Modellen und zur Visualisierung von Simulationen entwickelt wurde. Aufgrund der in ANSI C++ entwickelten OS-Komponenten stellt die Software eine plattformübergreifende, unter vielen Betriebssystemen wie z.B. Windows, Mac OS X, UNIX und Linux lauffähige Entwicklungsumgebung dar. OSG kann für die meisten verfügbaren CPUs compiliert werden, ist sicher bei der Programmierung von Threads und nutzt die Vorteile, die Multi- und Mehrkern, sowohl von 32 als auch von 64 Bit CPUs, zur Verfügung stellen.

Die OpenGL unterstützende AGP- oder PCI-Express-Graphikkarte eines Systems sollte über mindestens 256MB Graphikspeicher verfügen. OSG ist auf einer Vielzahl von Systemen lauffähig und unterstützt sowohl Multi-Pipeline-Systeme als auch den gleichzeitigen Einsatz mehrerer Graphikkarten im selben System, um die Geschwindigkeit des Renderns zu steigern.

Der minimal benötigte Hauptspeicher des Systems sollte dem Umfang der Anforderungen angepasst werden, die Kapazität von 1GB nicht unterschreiten. Die Speicherkapazität kann an die Menge der zu erzeugenden Daten angepaßt werden; auch hier reduzieren schnelle Speicher, große Speicherkapazitäten und kurze Zugriffszeiten die Systemlast.

Die Software ermöglicht auf einfache Art und Weise, Daten zu importieren, zu strukturieren, Modelle zu entwickeln und Modelldatenbanken zu optimieren, um sie in großen Simulationen oder für die Entwicklung von Computerspielen einzusetzen.

Das Hauptpotential der Software liegt in der schnellen Interaktivität zwischen der Aktion des Anwenders und der Umsetzung in die Simulation.

Die Software berücksichtigt nicht nur die Größenverhältnisse zwischen der realen Welt und der

zu simulierenden Szene, sondern stellt auch Hilfsmittel in Form von Simulationsdatenbanken zur Verfügung, mit denen Modelle schnell visualisiert werden können. Die Erzeugung realistischer Simulationen und Animationen erfordert Bildwiederholfräquenzen zwischen 30 und 60 fps. Dies setzt voraus, dass jedes einzelne Bild vollständig berechnet und dargestellt wird. Mit Hilfe effizienter Polygonmodelle werden von der Software nur die für den Betrachter sichtbaren Polygone berechnet. Zusätzlich werden die zu erzeugenden Daten in einer hierarchischen Datenstruktur so abgelegt, dass auf sie bei der Traversierung der Baumstruktur schnell zugegriffen werden kann.

Die Entwicklungsumgebung des MultiGen Creators setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, die die folgenden Funktionen aufweisen:

- „The Realtime Application Program“ Mit diesem Echtzeit-Anwendungsprogramm werden sowohl die Bewegung, mit der sich der Anwender durch die Szene bewegt, als auch alle anderen dynamischen Vorgänge, die sich unabhängig von der Steuerung des Anwenders in der Szene verändern, kontrolliert.
- „The Image Generator (IG)“ Der Bildgenerator ist die graphische Hardware, die die Szene zeichnet. Die Simulationsgeschwindigkeiten hängen stark von der verwendeten Hardware ab, die sowohl professionelle Simulatoren als auch PCs oder Spielekonsolen sein können.
- „The Visual Database“ In der visuellen Datenbank werden die Daten gespeichert, die die Informationen repräsentieren, insbesondere was wann wo in einer Szene gezeichnet werden muss. Die vom MultiGen Creator erzeugten Daten werden in dem PD-Format „OpenFlight“ abgelegt. Sowohl der OpenGen Creator als auch das „OpenFlight“ Format generieren ihre Daten mit der Genauigkeit von „Dubble Precision“ und ermöglichen damit eine ausreichende Leistung bei der Verwaltung grosser Datenmengen oder umfangreichen und detaillierten Objektbeschreibungen.
- „The Modelling Package“ Das Modellierungspaket kombiniert die Komponente einer CAD-ähnlichen Zeichenumgebung mit den Eigenschaften einer Echtzeitanwendung.

Die Verwendung von CAD-Daten ist grundsätzlich zwar möglich, aber nur sehr eingeschränkt sinnvoll, da die Datensätze der Objekte, die mit dieser Art von Daten erzeugt werden, viel umfangreicher und mit zusätzlichen Informationen überladen sind. Ein großer Anteil dieser für CAD-Graphiken notwendigen Informationen wird für die Erzeugung der Simulationen nicht benötigt. Die für CAD-Zeichnungen erforderliche Menge an Daten wirkt sich unter Umständen nachteilig auf die Geschwindigkeit des Renderns aus. Eine ähnliche Problematik weisen die COOL Cinematic Darstellungen auf, die zwar ebenfalls in eingeschränkter Form vom MultiGen Creator unterstützt werden, aber durch ihre große für ihre Darstellung benötigte Datenmenge auch die Gesamtleistung des Systems stark beeinträchtigen [MC].

OSG Der frei verfügbare Szenengraph ermöglicht mit seinen Bibliotheken komplexe Szenen als zwei oder dreidimensionale Visualisierungen und Simulationen auf Computern zu rendern. Zur Erzeugung dieser Szenen werden die zu rendernden Daten als hierarchischer Baum, einer Datenstruktur, die schnelle Berechnungen ermöglicht, verwaltet.

Der Szenengraphbaum (siehe Abb. 2.1) wird durch einen obersten Wurzelknoten angeführt. Neben dem Wurzelknoten kontrollieren Gruppenknoten die Geometrie und das Renderingstadium, durch die die Positionen und die Zugehörigkeiten verwaltet werden. Wurzelknoten oder Gruppenknoten

können Kinder besitzen oder auch nicht. Am unteren Ende des Graphen beinhalten sogenannte Blätter die aktuelle Geometrie; sie stellen die Objekte in einer Szene dar. Anwendungen benötigen die Gruppenknoten, um ihre Geometrie in einer Szene zu bestimmen. Szenengraphen bieten gewöhnlich eine Vielzahl von Knotentypen an, die einen großen Funktionsumfang besitzen wie z.B. das Schalten von Knoten und die Aktivierung ihrer Kinder, die Steuerung der Menge an darzustellenden Details (LOD) und Knoten, die kindbasiert Entfernungen vom Betrachter ermöglichen, dazu Transformationsknoten, die den Transformationszustand der Kindgeometrie verändern.

Objektorientierte Szenengraphen unterstützen diese Vielfalt an unterschiedlichen Informationen durch den Einsatz von Vererbung, bei der alle Knoten dieselbe Basisklasse mit einer speziellen Funktionalität besitzen; diese Funktionalität wird in ihren abgeleiteten Klassen definiert.

Die große Anzahl von Knoten und ihre implizit räumlich angeordnete Struktur unterstützen Datenspeicherungseigenschaften, wie sie mit traditionellen Low-Level-Rendering-APIs nicht erreicht werden können [Mar07].

Open GL und Direct 3D konzentrieren sich vorrangig auf die Möglichkeiten, die die grafische Hardware zur Verfügung stellt. Szenengraphen sind sogenannte „middleware“, die auf Low-Level API's aufgesetzt wird, um die Möglichkeiten der räumlichen Organisation und ihrer Eigenschaften zu unterstützen, wie sie von leistungsstarken 3D-Applikationen benötigt werden.

Szenengraphen bieten eine Geometrie- und Statusorganisation, deren Funktionalität in Low-Level-Rendering-APIs zu finden ist, und unterstützen zusätzlich Funktionen und Eigenschaften wie die folgenden:

- räumliche Organisation
Der Szenengraph paßt sich selbst in natürlicher Weise an die intuitive räumliche Struktur an.
- „culling“ Ausblenden
Durch Kegelstumpfauslese und die Nichtberechnung verdeckter Ansichten, die in dem letztlich zu rendernden Bild erscheinen, wird die Gesamtlast der CPU reduziert.
- Menge der Details (LOD)
Das LOD zwischen Betrachter und umgebender Geometrie ermöglicht, Objekte mit unterschiedlicher Detailtreue zu rendern und nötigenfalls auf einen Datenträger auszulagern oder von ihm zu importieren.
- Transparenz Der OSG unterstützt korrektes und effizientes Rendern von transparenten Geometrien, indem die transparenten Objekte nach den opaquen gerendert werden und zusätzlich die Reihenfolge der Berechnung von Hinter- nach Vorderansicht eingehalten wird.
- Minimierung der Statusveränderungen Zu Gunsten der Rechengeschwindigkeit werden mehrfache und überflüssige Statusänderungen vermieden.
- Hilfsmittel für den Datenaustausch von 3D-Daten Mit Hilfe der Ein- und Ausgabefunktion können die Daten des Szenengraphen leicht modifiziert oder in andere Formate von 3D-Anwendungen konvertiert werden.
- High-Level Szenengraph-Bibliotheken Der mit zusätzlichen High-Level Bibliotheken ausgestattete Szenengraph OSG unterstützt umfangreiche Textfunktionen (wie z.B. die Erstellung von Teilcheneffekten und Schatten), Render-Optimierungen, die Ein- und Ausgabe von 3D-Modellen von Dateien und den plattformunabhängigen Zugriff von Eingabegeräten und Render-Oberflächen.

- Plugins Die Kernbibliotheken unterstützen bei Bedarf die Ein- und Ausgabe einer Vielzahl von gesuchten oder aufgerufenen 2D-Bild und 3D-Modell-Formaten, sofern das entsprechende Plugin installiert ist. Während die OSG-Bibliotheken es ermöglichen, eine Knoten für Knoten erzeugte Szene zu entwickeln, ermöglichen Plugins auf einfache Weise, ganze Szenengraphen mit nur wenigen Befehlen zu importieren.

Neben den von OSG in der Version 2.0 unterstützten Bildformaten .bmp, .dds, .gif, .jpeg, .pic, .png, .rgb, .tga, und .tiff unterstützt auch ein Plugin das Laden von movie- Dateien und Schriftdateien der FreeType- Bibliothek. Des Weiteren werden neben dem eigenen .osg und .ive Format 3D-Modell-Dateien der folgenden Formate unterstützt und integriert: 3D Studio Max (.3ds), Alias Wavefront (.obj), Carbon Graphics' Geo (.geo), COLLADA (.dae), ESRI Shapefile (.shp), NewTek LightWave (.lwo und .lws), OpenFlight (.flt), Quake (.md2), und Terrex TerraPage (.txp).

Plugins, die die Formate .tgz und .zip sowie .osga unterstützen, ermöglichen den Zugriff auf komprimierte Dateien. Mit Hilfe eines Plugins können auch Internet-basiert Dateien geladen oder durch Pseudo-Loader variiert oder positioniert werden.

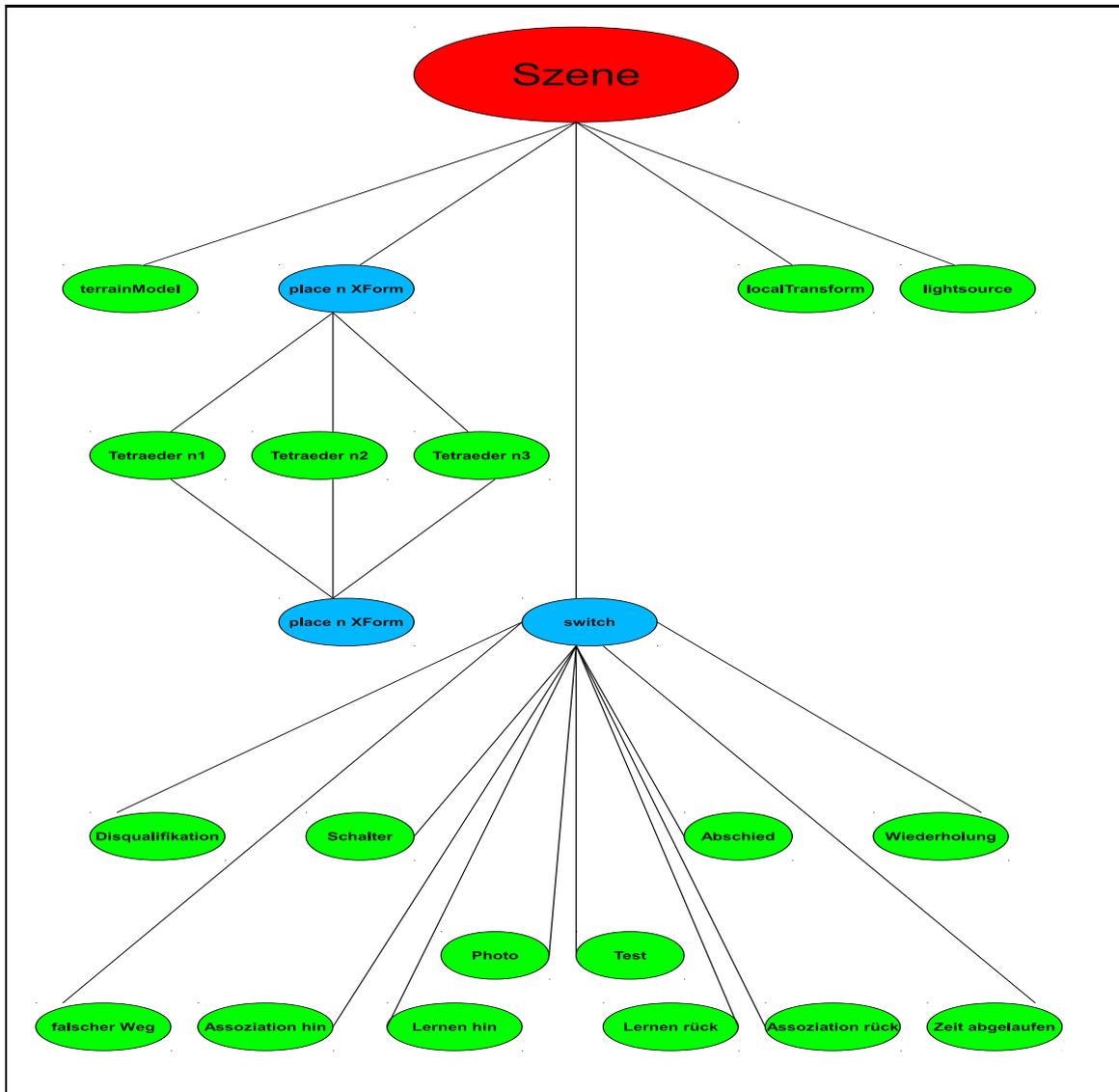


Abbildung 2.1: Struktur des für den Versuch verwendeten Szenengraphen. Die Wurzel wird durch das rote Element „Szene“ repräsentiert. Blau gefärbte Elemente symbolisieren Gruppenknoten (es wird nur einer von zehn Plätzen dargestellt). Grün gefärbte Elemente stellen Blätter dar, die ggf. auch aktiviert oder deaktiviert werden können.

Calc Das zur Auswertung der Probandenfragebögen herangezogene Programm Calc ermöglichte flexible Visualisierungen manuell zusammengestellter Datengruppen unter bestimmten Kriterien. Mit Hilfe der Sortierfunktionen wurden Probandendaten nach Primär- und Sekundärschlüsseln sortiert und ausgewertet.

Matlab Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte sowohl unter Calc als auch unter Matlab. Mit Hilfe von Matlab konnten die während der Probandendurchgänge vom Computer aufgezeichneten Daten im Anschluss an die Versuche systematisch ausgewertet werden. Zur flexibleren Vorgehensweise wurde ein GUI unter Matlab entwickelt, das neben der Möglichkeit, eine einzelne Versuchsperson oder Gruppen von Versuchspersonen einer oder mehrerer Versuchsbedingungen auszuwählen, auch ermöglicht, jede einzelne Versuchsphase auszuwählen und über dieser Auswahl Summen, Mittelwerte und Mediane zu bilden und in Form von Diagrammen anschließend auf dem Display anzeigen und/oder auf Datenträgern speichern oder auf einem Drucker direkt ausgeben zu lassen (siehe Abb. 2.2).

Zusätzlich wurden zu jedem Balken- und Boxdiagramm die den Verteilungen der Baseline-, Icons- und Words-Bedingung entsprechenden Histogramme erzeugt.

Bei der Berechnung des Median wurde anschließend eine One-Way Anova in Form eines T-Tests in Verbindung mit einem Multcompare-Diagramm zur Bestimmung von Signifikanzen ausgegeben.

Die Auswertung der durch die Fragebögen erfassten Informationen wurde mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Calc durchgeführt.

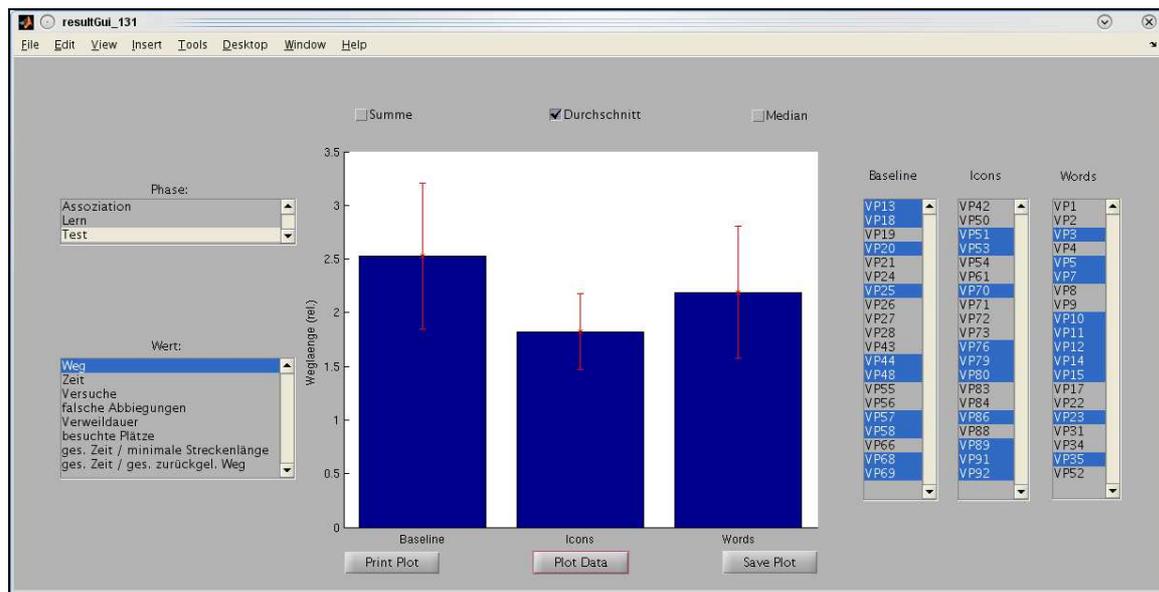


Abbildung 2.2: zur flexibleren Datenauswertung in Matlab programmiertes GUI

2.1.2 Versuchsumgebung

Das „Virtual Reality Labor“ des Lehrstuhls für Kognitive Neurowissenschaft der biologischen Fakultät an der Universität Tübingen ist ein separater, für wissenschaftliche Experimente eingerichteter Versuchsraum. Weitestgehend gegen Störungen durch akustische, optische oder andere Reize

von außen abgeschirmt, gewährleistet er einen von Unterbrechungen freien Versuchsablauf unter für jeden Probanden nahezu identischen Versuchsbedingungen. Die Versuche wurden jeweils mit einem Versuchsleiter und einem Probanden durchgeführt.

Die von Computern in virtuellen Szenen simulierten dreidimensionalen Umgebungen stellten für die hier vorgestellte Versuchsanordnung eine gut parameterisierbare Ausgangsbasis dar. Ein Computer mit einer Grafikkarte, die eine Bildwiederholrate von mindestens 60fps gewährleisten musste, ein TFT-Bildschirm mit einer Diagonale von 19 Zoll sowie ein Joystick als Steuergerät und eine kabellose Tastatur stellten die technischen Voraussetzungen für den Versuch dar.

Die Arbeitsumgebung konnte an die Bedürfnisse jedes einzelnen Probanden so angepasst werden, dass eine ergonomische Positionierung des Probanden am Arbeitsplatz erzielt wurde (siehe Abb. 2.3).



Abbildung 2.3: Arbeitsplatz der Probanden

Der Proband saß auf einem höhenverstellbaren Drehschemel an einem Computertisch, der eine ausziehbare Ablage für die Tastatur und den Joystick aufwies. Ein Drehschemel ohne Armlehnen gewährte dem Probanden ausreichende Bewegungsfreiheit. Das ebenfalls höhenverstellbare Display konnte zusätzlich, dank seines verstellbaren Neigungswinkels, so eingestellt werden, dass der Proband in aufrechter Haltung zentral auf das Display blicken konnte. Die durch Leuchtstoffröhren erzeugte Raumbelichtung wurde für jeden Versuch auf die maximale Helligkeit eingestellt.

Probanden

Bei den Versuchspersonen handelte es sich ausschließlich um Studenten verschiedener Fakultäten der Universität Tübingen. Die Versuchszeiten lagen im Zeitraum zwischen 9.30Uhr und 20.00Uhr. Die Dauer für einen Versuch betrug zwischen 45 und 90 Minuten.

Auswahl der Versuchsbedingung

Die Zuordnung einer der drei Versuchsbedingungen (Basis, Icons, Words) für den jeweils anstehenden Probanden erfolgte primär nach seinem Geschlecht und sekundär nach der für die jeweilige Bedingung erreichten Anzahl an Probanden. Ein Versuch wurde als gültig gewertet, wenn ein Proband die vier Testläufe entweder durch Ablaufen der Route oder durch Zeitüberschreitung beendet hatte.

Datenaufzeichnungen

Jedem Probanden wurde zu Beginn des Versuchs eine Bezeichnung in anonymisierter Form zugeordnet. Nachdem das Versuchsprogramm gestartet worden war, wurde die Bezeichnung des Probanden in den Computer eingegeben. Folgende von diesem Zeitpunkt an durch den Probanden erzeugte Daten wurden während des Versuchablaufs zeitnah auf demselben System, das auch zur Durchführung des Versuchs diente, in Dateien mit den die vergebene Bezeichnung enthaltenden Dateinamen abgelegt:

1. Bezeichnungen aller Plätze
 - Auflistung aller durch den Probanden benannten Plätze (ggf. auch Mehrfachbenennung)
2. Anzahl der dargestellten Bilder pro Sekunde
 - Bildwiederholfrequenz über die gesamte Laufzeit des Probanden durch die Szene
3. Trajektorien der Wahrnehmungs-/ Assoziations- und Lernrouten
 - die Trajektorien jeder einzelnen Strecke
4. Trajektorien der Teststrecken
 - Reihenfolge der vom Pseudo-Zufallsgenerator ausgewählten Teststrecken
5. Ergebnisdateien der einzelnen Strecken
 - Namen der besuchten Plätze
 - Verweildauer auf den besuchten Plätzen
 - Zurückgelegte Weglänge
 - benötigte Zeit
 - Anzahl der falschen Abbiegungen
 - Anzahl der besuchten Plätze
6. Anordnung der Tetraeder (für weiterführende Untersuchungen)
7. Ausgewählte Platzbezeichnungen

2.2 Das Programm

Zu jeder der drei Versuchsbedingungen (Baseline, Icons und Words) wurde zu Gunsten der höheren Arbeitsgeschwindigkeit des Computers ein separat lauffähiges Programm entwickelt. Alle Programme wiesen dabei die folgende Struktur auf:

1. Präprozessordirektive:
 - OSG-Bibliotheken
 - Standard-Bibliotheken
 - erweiterte Hardware-Bibliotheken
2. Initialisierung der Variablen
3. Erzeugung des Szenengraphen
4. Eingabe der anonymisierten Bezeichnung des Probanden
5. pseudo-randomisierte Zusammenstellung der Testrouten
6. Aufruf des Szenengraphen
7. zyklisches Aufzeichnen der vom Probanden erzeugten Daten und Abfrage folgender Informationen:
 - hat der Proband einen Platz erreicht
 - hat der Proband einen Platz verlassen
 - wurde der Platz in der richtigen Richtung verlassen
 - hat der Proband den Zielplatz erreicht

Terminierung des Programms, falls eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

Assoziationsphase:

- Inkonsistenz bei der Vergabe der Platzbezeichnungen

Testphase:

- Überschreitung der vorgegebenen Gesamtlaufzeit
- Erreichen aller vier Ziele

Das für den Versuch entwickelte C++ Programm wurde bezüglich seiner Erweiterbarkeit für spätere Untersuchungen variabel programmiert. Die dynamische Positionierung der Startpunkt- und Zielplatzmarkierungen bietet die Möglichkeit, Routen abzuwandeln, hinzuzufügen oder zu entfernen. Zusätzlich wurde das Programm so konzipiert, dass die Anordnung der Tetraeder durch Rotationen variierbar bleibt oder die Tetraeder durch andere Objekte ersetzt werden können. Diese Veränderungen können jeweils ohne Veränderung der Szene auf einfache Weise durchgeführt werden. Die Anzahl der falschen Abbiegungen wurde mit Hilfe der euklidischen Distanz berechnet, bei der jede Distanzvergrößerung auf dem Weg vom Startpunkt zum Zielplatz direkt auf einen falschen Abbiegevorgang zurückzuführen ist.

2.3 Die Szene

Sowohl die Topologie des Graphen als auch die Struktur des Routenplans und seiner graphischen Gestaltung wurden für alle Versuchsbedingungen beibehalten, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen. Die Versuchsanordnungen unterschieden sich für die Probanden ausschließlich in den Interaktionen zwischen ihnen und der ihnen zugewiesenen jeweiligen Szene, in der die Kommunikation entweder in monologischer oder dialogischer Form stattfand, und in der Art der Fragen, die in dem an den Versuch anschließend vorgelegten Fragebogen an sie gestellt wurden. Vorrangiges Ziel war, den Versuch so zu gestalten, dass die Versuchsdauer für jeden einzelnen Probanden eine Stunde nicht überstieg. Diese zeitliche Begrenzung führte zu Einschränkungen bei der Gestaltung der Struktur der Szene und der Verfahrensweise mit den Probanden. Einerseits musste die Topologie der Szene so gestaltet sein, dass ein Proband in dem vorgegebenen Zeitraum den vorgesehenen Teil des Parcours durchlaufen könnte; andererseits sollte durch Inferenz des hinzugewonnenen Wissens über die Topologie der Szene ermöglicht werden, Eigenschaften des Parcours, wie z.B. Zyklizität und Achsen- oder Punktsymmetrie, zu erkennen. Außerdem wurde bei der grafischen Gestaltung der Szene besonders viel Wert darauf gelegt, dass die landschaftlichen Objekte zur Vermeidung von Ermüdungserscheinungen zwar abwechslungsreich, aber, um die Aufmerksamkeit des Probanden während der Navigation nicht abzulenken, doch gleichmäßig über die gesamte Szene verteilt waren. Durch die Art der Verteilung sollte ausgeschlossen werden, dass die Objekte dem Probanden bei der Wahl der Abzweigungen als Orientierungshilfe dienten. Das hätte bedeutet: Die Eigenschaften der Topologie hätten für jeden Probanden unter je drei Versuchsbedingungen (Baseline, Icons, Words) in drei verschiedenen, aber miteinander vergleichbaren Strukturen erlernbar sein müssen, um auszuschließen, dass bereits unter der ersten Versuchsbedingung erworbenes Wissen bei den beiden weiteren Versuchsbedingungen genutzt werden könnte. Dafür standen nicht genügend Varianten an Strukturen zur Verfügung. Deshalb führte jeder Proband den Versuch unter nur einer Versuchsbedingung durch.

2.3.1 Darstellung

Der Gestaltung der Szene wurde eine als „Hexatown“ benannte punktsymmetrische Struktur zu Grunde gelegt (vgl. [uHM98]), die in diesem Falle aus zwei mit einander verbundenen Hexagonen bestand, die mit sich gabelnden Abzweigungen umgeben waren (siehe Abb. 2.4).

Die topologischen Eigenschaften dieses ungerichteten planaren Graphen bestanden im Wesentlichen darin, dass von jedem Knoten (in diesem Kontext in Zukunft als „Platz“ bezeichnet) drei Kanten (in Zukunft in diesem Kontext als „Weg“ bezeichnet) abgingen.

Ein Platz zeichnete sich zusätzlich dadurch aus, dass dessen Weggabelungen Winkel von 120° bildeten, in denen je ein Tetraeder stand. Diese Tetraeder zeigten auf allen zur Hauptebene senkrechten Flächen dasselbe Foto. Zur Verdeutlichung ihrer räumlichen Eigenschaft wurden die zur Hauptebene waagerechten Flächen weiß gehalten.

Jeder von einem Platz ausgehende Weg wies eine Länge von 100m auf und führte zu einem anderen Platz oder in eine sich gabelnde Sackgasse (siehe Abb. 2.5). Beide Enden der Gabelungen waren jeweils mit einer Schanke nach 50m terminiert (siehe Abb. 2.6).

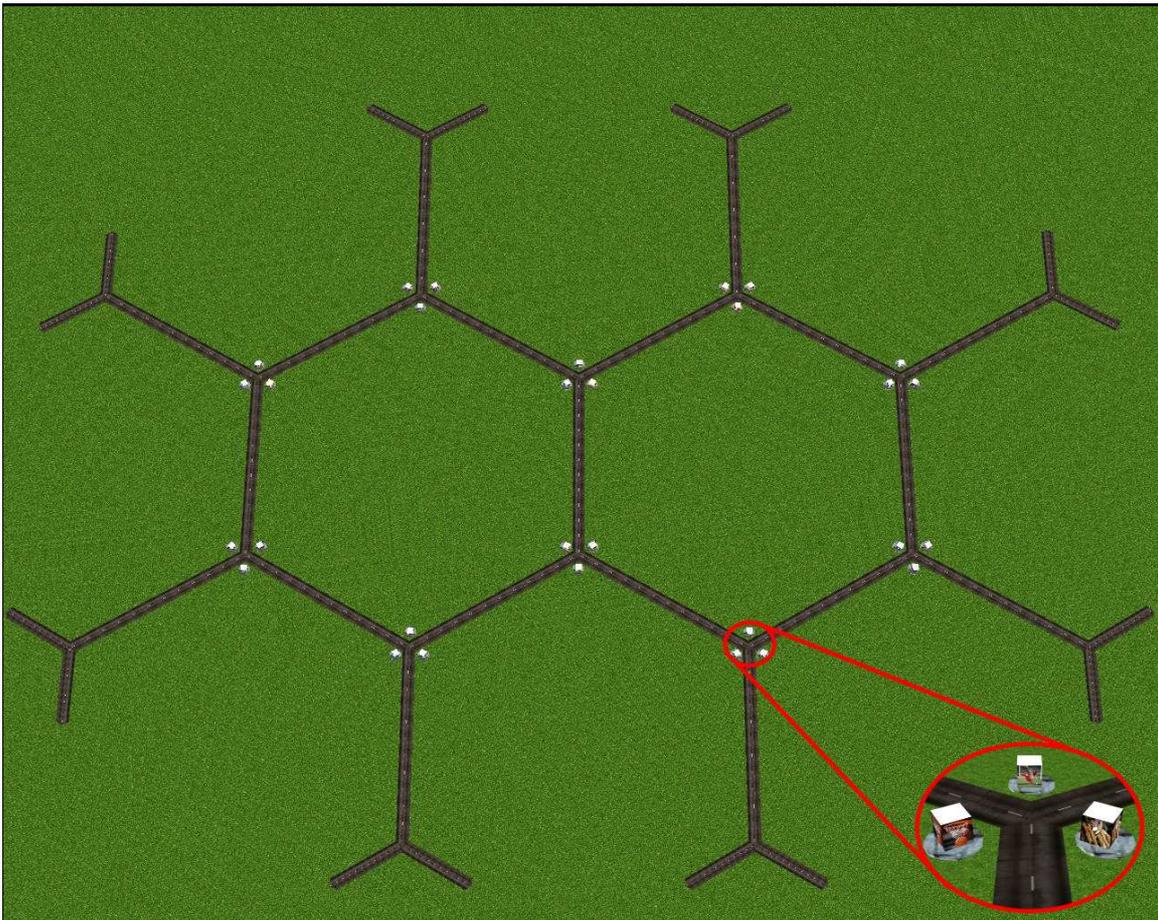


Abbildung 2.4: Strukturbild des Mazes. Die rote Markierung zeigt eine Ausschnittsvergrößerung eines Platzes

Zur Verdeutlichung des sprachlichen Einflusses auf die Navigationsleistung der Probanden wurden jeweils zwei der Plätze mit ähnlichem Überbegriff in nächstmöglicher Nachbarschaft zueinander angelegt. Die auf den Tetraedern abgebildeten Fotografien von Objekten oder Umgebungen standen bezüglich ihrer Darstellung mit einem anderen Platz paarweise in einem engeren Kontext. Mit dieser fast gleichmäßigen aber nicht absolut punktsymmetrischen Verteilung der Platzpaare sollte verhindert werden, dass sich Probanden anhand der Verteilung begrifflich sich ähnelnder Plätze leichter hätten orientieren können. Zu den für die Gestaltung der Szene maßgeblichen Themen wurden folgende Fotografien mit ihren Symbolen und Bezeichnungen ausgewählt (siehe Kap. 5):

- Brunnen
- Camping
- Essen
- Freibäder
- Glücksspiele



Abbildung 2.5: Gabelung einer Sackgasse



Abbildung 2.6: Terminierung einer Sackgasse

- Schiffe
- Spielplätze
- Sport
- Strände
- Supermärkte

Zur stärkeren Beachtung der sprachlichen Differenzierung oder Verwandheit von Überbegriffen wurden folgende Platzpaare bzw. Wort- und Symbolpaare ausgesucht:

- Camping - Brunnen
- Freibad - Strand
- Spiel - Glücksspiel
- Essen - Supermarkt
- Schiffe - Sport

Jede Route der Wahrnehmungs-/ Assoziations- und Lernphase bestand aus zwei Strecken: einem Hinweg und einem Rückweg. Sie unterschieden sich von den Routen der Testphase in ihrer Länge, ihrer Gestaltung und der festgelegten Reihenfolge, in der sie zurückzulegen waren, da sie dazu dienten, dem Probanden die Struktur des Maze in sich überdeckenden Abschnitten sukzessive zu präsentieren und ihm zu ermöglichen, eine kognitive Karte aufzubauen (siehe Abb. 2.7).

Die vier Routen der Testphase bestanden jeweils aus nur einer Strecke. Diese waren so gestaltet, dass explizit ein kürzester Weg je Route von einem Startpunkt zu einem Zielplatz führte. Die Auswahl dieser Routen war mit Hilfe eines Pseudo-Zufallsgenerators des für den Versuch entwickelten Programms zu Beginn des Versuches beim Start des Programms festgelegt worden (siehe Abb. 2.8). Der Startpunkt jeder Strecke einer Route war mit einem flachen, transparenten roten Zylinder markiert (siehe Abb. 2.9), der Zielplatz dieser Strecke entsprechend mit einem transparenten grünen Zylinder (siehe Abb. 2.10). Der Proband konnte sich jederzeit für eine 180°-Wende und zusätzlich

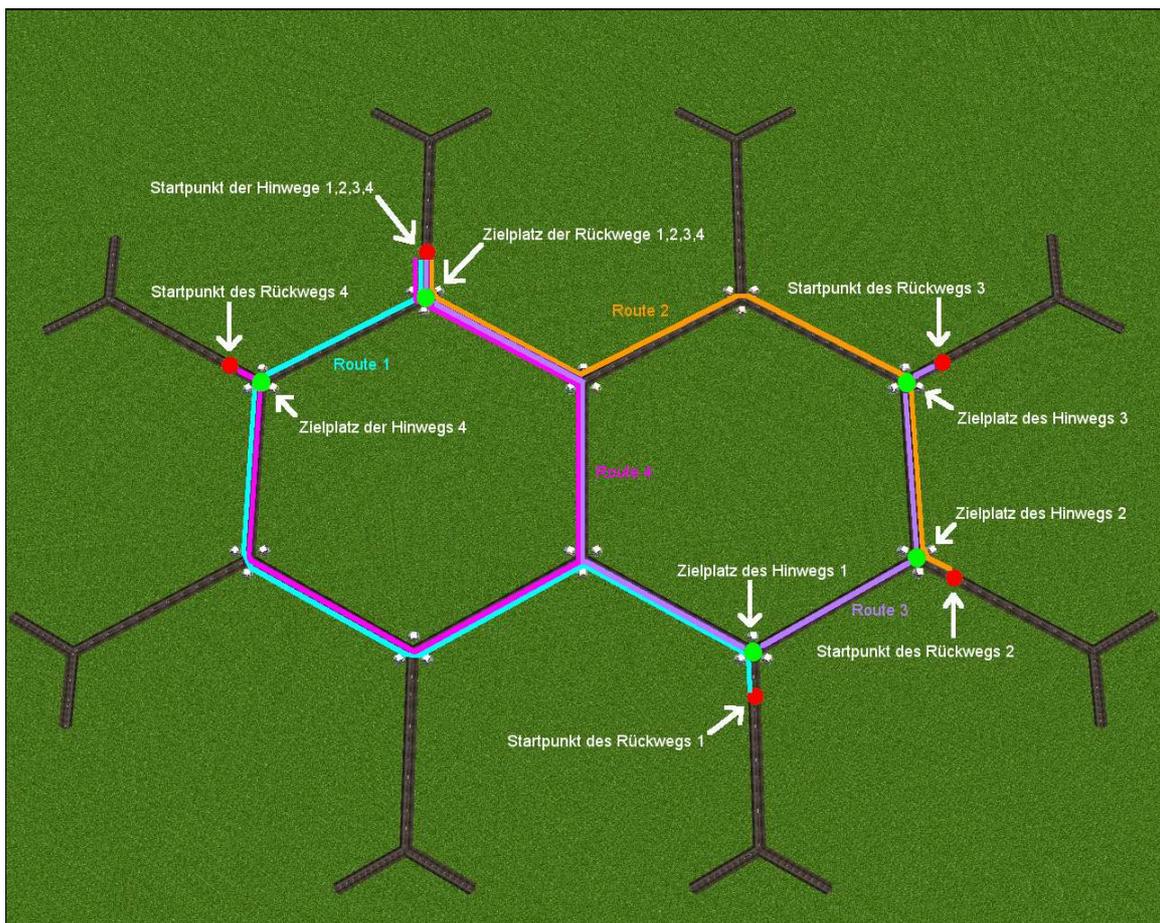


Abbildung 2.7: Strukturbild der Szene mit den vier zurückzulegenden Routen der Wahrnehmungs-/Assoziations- und Lernphase. Die Startpunkte der Strecken sind jeweils rot, die der Zielplätze jeweils grün markiert

an jedem Platz entweder für die Abzweigung nach rechts oder nach links entscheiden. Die Gestaltung der Szene sollte verhindern, dass die Probanden sich an topologischen oder texturbedingten Merkmalen orientieren könnten. Ihre Entscheidungen sollten nur durch die angebotenen symbolischen oder sprachlichen Informationen beeinflusst werden.

2.3.2 Perspektive

Bewegen sich Menschen zu Fuß oder mit einem Fahrzeug, das sie selbst steuern, betrachten sie ihre Umgebung aus einer bestimmten Perspektive. Diesem subjektiven Blickwinkel sollte auch der Betrachtungswinkel entsprechen, der dem Probanden die Sicht in die Szene ermöglichte. Besonders wichtig war dabei der Aspekt, die räumliche Wirkung der Szene auf den Probanden hervorzuheben. Die Perspektive der Szene sollte außerdem frei von Verzerrungen sein, die besonders bei virtuellen Rotationen das Wohlbefinden der Probanden zusätzlich hätten gefährden können (siehe Abb. 2.11). Im Rahmen der Aufgabenstellung sollte es den Probanden nicht möglich sein, von einem Platz aus einen anderen Platz oder dessen Bezeichnung zu erkennen. Die Sichtweite wurde auf ca. 20m durch

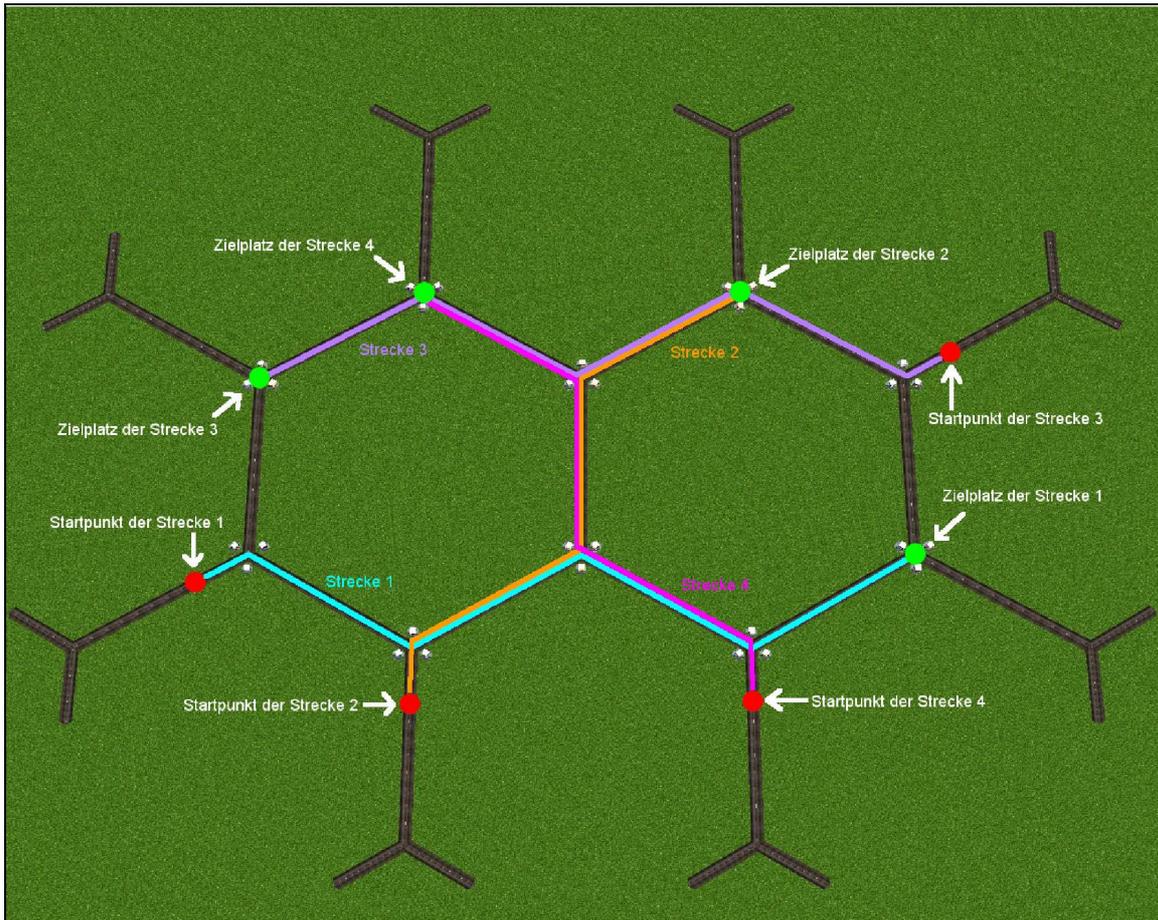


Abbildung 2.8: Strukturbild der Szene mit den vier durch einen Pseudo- Zufallsgenerator ausgewählten zurückzulegenden Routen der Testphase. Die Startpunkte der Strecken sind jeweils rot, die der Zielplätze jeweils grün markiert

eine Abdunkelung reduziert (Effekt einer Abenddämmerung).



Abbildung 2.9: Startpunkt



Abbildung 2.10: Zielplatz

2.4 Der Versuchsablauf

Der Versuch fand für jeden einzelnen Probanden nach einem festen Ablauf in sechs Schritten statt:

1. Einstellungsphase
2. Ausgabe der Sicherheitsbelehrung
3. Trainingsphase
4. Ausgabe der Versuchsanleitung
5. Versuchsphase
6. Ausgabe des Befragungsbogens

2.4.1 Einstellungsphase

Nachdem der Proband begrüßt worden war und auf dem Drehschemel Platz genommen hatte, wurden die gegebenenfalls erforderlichen Positionsänderungen der Apparatur durchgeführt und die Einstellungen an die Bedürfnisse des jeweiligen Probanden angepaßt.

2.4.2 Sicherheitsbelehrung

Danach wurde der Proband aufgefordert, das Formular „Probandeninformation“ (siehe S. 67) durchzulesen und anschließend die darauf erforderlichen Unterschriften zu leisten.

2.4.3 Trainingsphase

Nach einer kurzen Einweisung in die Funktionsweise des Joysticks und der zu betätigenden Tasten der Tastatur wurde die Simulation einer von Marc Halfmann im Rahmen seiner Diplomarbeit erstellten Trainingsumgebung gestartet, mit deren Hilfe sichergestellt werden sollte, dass der jeweilige Proband mit der Benutzung des Joysticks und der Tastatur vertraut war. Der Proband sollte unterdessen eine Drehung um die eigene Achse durchführen sowie ggf. der Aufforderung, die Leertaste



Abbildung 2.11: Eine Wegegabelung aus Sicht eines Probanden, wenn er sich einem Platz nähert

zu drücken, nachkommen. Nach spätestens fünf Minuten wurde die Trainingsphase abgebrochen. Dabei war es unerheblich, an welcher Position der Trainingsumgebung der Proband sich zu dieser Zeit befand.

2.4.4 Versuchsanleitung

Bei der im Anschluß an die Trainingsphase ausgegebenen Versuchsanweisung wurde der Proband gebeten, die Anleitung zu der für ihn bestimmten Versuchsbedingung - der Baseline- Bedingung (siehe S. 72), der Icons- Bedingung (siehe S. 74) oder Words- Bedingung (siehe S. 76) - aufmerksam durchzulesen und gegebenenfalls auftretende Fragen unmittelbar im Anschluss daran mit dem Versuchsleiter zu klären.

2.4.5 Versuchsphase

Nach dem Start des Programms und der Eingabe der Kennung des Probanden wurde der Proband aufgefordert, der Aufgabenstellung folgend, sich durch die Szenerie zu navigieren. Der Ablauf der Navigationsaufgabe gliederte sich dabei in zwei Phasen:

1. (Wahrnehmungs-/Assoziationsphase) und Lernphase
2. Testphase

Jede der in der Wahrnehmungs- bzw. Assoziationsphase zurückzulegenden Routen bestand aus zwei Strecken: einem Hinweg und dem dazugehörigen Rückweg. Jeder Start einer Strecke erfolgte aus einer Sackgasse, etwa 10m vom nächstgelegenen Platz entfernt, mit direkter Sicht auf diesen. Dabei war es unerheblich, ob es sich um einen Hin- oder Rückweg in der Wahrnehmungs-/Assoziations-, Lern- oder Testphase handelte.

Wahrnehmungs-/Assoziationsphase

Nur beim Verlassen des jeweiligen Platzes in die richtige Richtung konnten die Probanden in der Assoziationsphase sowohl bei der Icons- als auch bei der Words-Bedingung den Platz bezeichnen (siehe Abb. 2.13 und Abb. 2.14). Dazu wurde ein HUD eingeblendet, dessen Symbole und Wörter in einer für jeden Probanden einmalig bei Programmstart pseudo-randmisierten Liste zusammengestellt wurden. Der jeweilige Platz wurde bezeichnet, indem die korrespondierende Ziffer zu dem Symbol oder Wort über die Tastatur des Computers betätigt wurde.

In der Baseline-Bedingung, in der die Assoziationsrouten als Wahrnehmungsrouten bezeichnet wurden, sollten die Probanden zur Vergewisserung, den Platz in der richtigen Richtung verlassen zu haben, durch die Betätigung der Eingabetaste diese Wahrnehmung bestätigen (siehe Abb. 2.12).

Für alle drei Bedingungen galt: Wurde ein Platz in der falschen Richtung verlassen, erschien ein



Abbildung 2.12: Baseline- Bedingung mit der Aufforderung, die Leertaste zur „Bestätigung der Wahrnehmung“ zu drücken



Abbildung 2.13: Icons- Bedingung mit der Auflistung von Symbolen, die dem jeweiligen Platz zugeordnet werden sollen



Abbildung 2.14: Words- Bedingung mit der Auflistung von Wörtern, die dem jeweiligen Platz zugeordnet werden sollen

HUD mit der Aufforderung, die Eingabetaste zu betätigen und zu wenden.

Bei Erreichen eines Zielplatzes informierte ein erscheinendes HUD die Probanden darüber und

forderte sie gleichzeitig dazu auf, nun dieselbe Strecke als „Lernstrecke“ zurückzulegen. War ein Versuch unter der Icon- oder der Words-Bedingung gestartet und ein Zielplatz erreicht worden, verglich das Programm, ob die von dem jeweiligen Probanden vergebenen Bezeichnungen mit den bei der Versuchsgestaltung vorgegebenen identisch waren. Bei fehlender Übereinstimmung wies ein HUD auf die Inkonsistenz der Platzbezeichnungen hin. In diesem Falle terminierte das Programm, und der gesamte Versuch wurde für beendet erklärt.

Lernphase

Sobald der Proband einen Zielplatz erreicht und die Leertaste betätigt hatte, wurde er wieder auf den Startpunkt der soeben durchlaufenen Strecke zurückgesetzt. In der Lernphase wurden die Symbole bzw. Namen aller zuvor bezeichneten Plätze über den jeweiligen Plätzen angezeigt. Entschied er sich in der Lernphase für die falsche Abzweigung, wurde er über ein erscheinendes HUD darauf hingewiesen, dass er die zu erlernende Strecke verlassen habe. Auch in diesem Falle wurde er wieder auf den Startpunkt zurückgesetzt. Dieser Vorgang wurde so lange wiederholt, bis der Proband die jeweilige Strecke zweimal in Folge fehlerfrei zurückgelegt hatte. Hatte ein Proband alle vier Routen erfolgreich „gelernt“, erschien über dem letzten Zielplatz die Aufforderung, als nächstes eine der vier Teststrecken zurückzulegen.

Testphase

Zu Beginn jeder Teststrecke wurde ein Screenshot mit dem auf dem kürzesten Weg zu erreichenden Ziel für fünf Sekunden eingeblendet. Dieses Zielfoto, das sich dem Probanden aus der Perspektive bot, wie sie auf dem kürzesten Weg zu sehen sein würde, konnte jederzeit durch eine erneute Betätigung der Eingabetaste für weitere fünf Sekunden eingeblendet werden (siehe Abb. 2.15, 2.16, 2.17). War der Zielplatz nach einem Zeitfenster von 10 Minuten nicht erreicht, wurde der Proband an dem nächsten vom Computer ausgewählten Platz mit einem initialisierten Zeitfenster von 10 Minuten und mit einem neuen Zielplatz, der wiederum für fünf Sekunden eingeblendet wurde, positioniert.

Hatte der Proband alle vier Strecken zurückgelegt, erschien ein HUD, das das Ende der Navigationsaufgabe bekanntgab.

2.4.6 Fragebogen

Nur nach erfolgreicher Absolvierung der Navigationsaufgabe wurde dem jeweiligen Probanden ein für seine Versuchsanordnung spezifischer Fragebogen vorgelegt, der möglichst vollständig ausgefüllt werden sollte. Dieser Fragebogen wurde im Durchschnitt in einem Zeitraum von 15 bis 30 Minuten ausgefüllt.



Abbildung 2.15: Baseline- Bedingung mit dem Ziel „Restaurantplatz“



Abbildung 2.16: Icons- Bedingung mit dem Ziel „Schiffplatz“



Abbildung 2.17: Words- Bedingung mit dem Ziel „Strandplatz“

Kapitel 3

Ergebnisse

3.1 Allgemeines

Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse der Lern- und der Testphase sollen zeigen, wie gut Probanden unter den jeweiligen Bedingungen Baseline, Icons und Words eine kognitive Karte aufbauen konnten.

Von den insgesamt 82 Versuchspersonen konnten die Ergebnisse von 60 Versuchspersonen ausgewertet werden. Bei der Zusammenstellung der für die jeweiligen Versuchsbedingungen ausgewählten Probanden wurde darauf geachtet, dass jeweils zehn männliche und zehn weibliche Versuchspersonen für je eine Versuchsbedingung zur Verfügung standen. Zusätzlich wurde eine Auswertung der Versuchsergebnisse der zehn besten Probanden jeder Bedingung der Lern- und Testphase durchgeführt, um zu verhindern, dass Probanden das Ergebnis beeinflussten, die weniger stark motiviert waren oder Schwierigkeiten hatten, sich zu konzentrieren.

Derzeit ermöglichen keine Meßverfahren, die Existenz von kognitiven Karten und den Einfluss sprachlicher Mittel auf diese direkt nachzuweisen. Wie unter dem Absatz „Szene“ im Kapitel „Material und Methoden“ beschrieben, führte jeder Proband nur jeweils eine der drei Versuchsbedingungen durch. Aus diesem Grund können keine vergleichenden Aussagen zur etwaigen Bildung kognitiver Karten desselben Probanden unter den beiden anderen Bedingungen gemacht werden.

Durch Distanz- und Zeitmessungen sowie skizzenhafte Darstellungen der Szenenstruktur seitens der Probanden soll aufgezeigt werden, wie die Vergabe von Symbolen oder Wörtern die Navigationsleistungen der Probanden beeinflussen konnte.

Wie die ausgegebenen Histogramme der gezeigten Graphen belegen, konnten den Ergebnissen Normalverteilungen zu Grunde gelegt werden. Die aus diesem Grund im Rahmen der Auswertung erzeugten Graphen zeigen Mittelwerte der Messungen in der Darstellung von Balkendiagrammen. Die in die Balken rot eingezeichneten Fehlerbalken geben die Standardabweichungen der jeweiligen Durchschnittswerte an.

Die gegebenenfalls über den Balken in den Graphen abgebildeten Klammern mit den darüber eingezeichneten Sternen geben Auskunft über die Signifikanz zweier Verteilungen nach dem Wilcoxon-Rangsummentest. Die Signifikanzklassen werden dabei in die folgenden Kategorien eingeteilt (siehe Tab. 3.1).

Entsprechend der Bedeutung der Messwerte wurde die Reihenfolge bei der Präsentation der Ergebnisse gewählt. Dabei werden zuerst die direkten Messwerte und im Anschluss daran die abgeleiteten Größen aufgeführt.

1. relative Weglänge
2. relative Anzahl der benötigten Versuche

Tabelle 3.1: Klassifikation von Signifikanzen

Bezeichnung	Fehler-Niveau
***	$p < 0,001$
**	$p < 0,01$
*	$p < 0,05$

3. relative Anzahl der falschen Abbiegungen
4. relative Anzahl der besuchten Plätze
5. relative Zeit, die pro Streckensegment benötigt wurde
6. relative Verweildauer pro Platz
7. effektive Zeit, die pro Streckensegment benötigt wurde
8. gesamte Zeit, die für die Summe aller Streckensegmente benötigt wurde

3.2 Auswertung der Computerdaten

Um den Vergleich der Messwerte zu vereinfachen, wurden diese normiert. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick darüber, wie die in den Diagrammen dargestellten Achsenbezeichnungen zu interpretieren sind. In der Tabelle wird unterschieden zwischen normierten Werten und abgeleiteten (normierten) Werten. Die normierten Werte beziehen sich dabei auf nicht miteinander korrelierende Größen, um die Aussagen der Messwerte relativieren zu können. Abgeleitete Parameter normierter Werte errechnen sich aus zuvor gemessenen Größen (siehe Tab. 3.2).

Tabelle 3.2: Klassifikation der Messwerte

Eigenschaft der Messwerte	Lernphase	Testphase
normierte Messwerte	Weglänge (rel.)	Weglänge (rel.)
	# Versuche (rel.)	—————
	—————	# Falschabbiegungen (rel.)
	# Plätze (rel.)	# Plätze (rel.)
	Verweildauer (rel.)	Verweildauer (rel.)
abgeleitete Parameter	Zeit (rel.)	Zeit (rel.)
	effektive Streckenzeit (rel.)	effektive Streckenzeit (rel.)
	gesamte Streckenzeit (rel.)	gesamte Streckenzeit (rel.)

3.3 Berechnungen

Die in den folgenden Diagrammen dargestellten Mittelwerte setzen sich aus vier Probandengruppen zusammen:

1. allen Probanden
2. den zehn besten der Lernphase
3. den zehn besten der Testphase
4. den zehn Probanden mit der besten Darstellug einer Kartenskizze

Zur besseren Übersicht und Vereinfachung bei Vergleichen wurden alle Ergebnisse in einer $m \times n$ -Matrix angeordnet. Diese Matrix besteht aus $m =$ drei Zeilen und -je nach Auswertungskriterium- aus entweder $n =$ einer oder $n =$ zwei Spalten.

Die Zeilen stellen die Auswahl der zu betrachtenden Gruppe, die Spalten die Versuchsphase des zu betrachtenden Diagramms dar.

3.3.1 Weglänge

Eines der aussagekräftigsten Kriterien, das Auskunft darüber geben kann, ob sich bei Probanden eine kognitive Karte ausgeprägt hatte, ist die Länge der Wege, die sie zurücklegten, wenn sie ein Ziel auf dem kürzesten Weg hatten erreichen sollen.

Die Graphen der Abbildungen 3.1 ((1a) - (3b)) stellen das durchschnittliche Vielfache der zurückgelegten Weglänge (im Verhältnis zur Standardlänge der Strecken) dar. Die etwas längere Strecke in der Lernphase (siehe Abb. (1a)) und die höhere Standardabweichung der Mittelwerte könnte darauf zurückzuführen sein, dass auch der Anteil von Probanden in den Mittelwert eingeht, der zum Erlernen der Routen höhere Wiederholungsraten benötigte. Diese Aussage wird durch das Ergebnis des Graphen (2a) unterstützt, der zeigt, dass die bessere Hälfte der Probanden mit beinahe der Mindestlänge der Strecken, die als Nachweis dafür erforderlich waren, dass die Routen als „gelernt“ angesehen werden können, auskamen.

Probanden, die später in der Lage waren, gute Karten anzufertigen, weisen auch in der Lernphase (siehe Abb. (3a)) besonders in der Icon-Bedingung, kürzere Wege auf. Die Ergebnisse der Testphase (siehe Abb. (1b) - (3b)) weisen deutlich darauf hin, dass sich der Einfluss von symbolischen und sprachlichen Bezeichnungen von Plätzen auf die Länge der zurückgelegten Zielstecken positiv auswirkt. Die zurückgelegte Weglänge der zehn besten Probanden in der Icon-Bedingung (siehe Abb. (2b)) zeigte gegenüber den zehn besten Probanden in der Baseline-Bedingung einen signifikanten Unterschied von $p = 0.0110$.

Vor der Berechnung des Durchschnitts der Daten dieser Probandengruppen wurden die Mittelwerte für jeden einzelnen Probanden wie folgt berechnet:

Sowohl die vier Routen der Wahrnehmungs-/Assoziations und Lernphase als auch die vier Routen der Testphase wiesen jeweils unterschiedliche Streckenlängen auf. Die acht Strecken der Lernphasen mussten außerdem jeweils zweimal in Folge fehlerfrei zurückgelegt werden, um sicherzustellen, dass sie von dem jeweiligen Probanden als „gelernt“ gewertet werden konnten. Die unterschiedlichen Längen der Strecken wurden dadurch berücksichtigt, dass sie normiert wurden.

Dazu wurde die Summe von den Längen einer zurückgelegten Strecke gebildet und durch die minimale Länge der jeweiligen Strecke dividiert. Diese Berechnung wurde für alle zurückgelegten Strecken durchgeführt. Im Anschluss daran wurde der Mittelwert der zurückgelegten Strecken pro Streckenlänge berechnet, indem die Summe dieser Mittelwerte durch die Anzahl der zurückgelegten Strecken dividiert wurde.

3.3.2 Anzahl der Versuche

Die Graphen der Abbildung 3.2 ((1) - (3)) stellen das durchschnittliche Vielfache der Anzahl an Versuchen (im Verhältnis zur Mindestanzahl an Versuchen) dar, die benötigt wurde, damit eine Strecke als „gelernt“ gewertet werden konnte. Um den Lernerfolg für diese Strecke sicherzustellen, musste in der Lernphase jede Strecke jeweils mindestens zweimal in Folge fehlerfrei zurückgelegt werden. Alle drei Graphen zeigen, dass die Probanden der Baseline- und der Words-Bedingung jeweils die gleiche Anzahl an Versuchen benötigten. Eine Clusterung der Probanden führt dabei zu keinen nennenswerten Unterschieden.

Lediglich in der Icons-Bedingung können sich die besseren zehn Probanden dieser Bedingung und die zehn Probanden, die eine bessere Kartendarstellung präsentierten, etwas abheben. Vor der Berechnung des Durchschnitts der Daten dieser Probandengruppen wurden die Mittelwerte für jeden einzelnen Probanden wie folgt berechnet:

Die relative Anzahl der benötigten Versuche eines Probanden berechnete sich aus der Summe der Anzahl der von ihm benötigten Versuche dividiert durch die minimale Anzahl (16) der Versuche, die zur Erfüllung dieser Konvention erforderlich waren. Der Mittelwert für diesen Probanden wurde anschließend berechnet, indem die Summe dieser Mittelwerte durch ihre Anzahl dividiert wurde.

3.3.3 Falsche Abbiegungen

Die Graphen der Abbildung 3.3 ((1) - (3)) stellen die durchschnittliche Anzahl an falschen Abbiegungen (im Verhältnis zur Anzahl der Streckensegmente) dar. Aufgrund der Gestaltung des Versuchs wurde nur in der Testphase, wie bereits in Tabelle 3.2 gezeigt, die Anzahl der falschen Abbiegungen ausgewertet. Bei allen drei Graphen fällt auf, dass eine deutliche Verbesserung bei den Bedingungen, die Bezeichnungen von Plätzen ermöglichten, zu verzeichnen ist. Vor der Berechnung des Durchschnitts der Daten dieser Probandengruppen wurden die Mittelwerte für jeden einzelnen Probanden aus der Summe der falschen Abbiegungen pro Anzahl der Streckensegmente je Teststrecke errechnet. Die durch diese Normierung vergleichbaren Werte wurden daraufhin wieder für jeden Probanden gemittelt, indem die Summe dieser Mittelwerte durch die Anzahl der Teststrecken dividiert wurde.

3.3.4 Besuchte Plätze

Die Graphen der Abbildung 3.4 ((1a) - (3b)) stellen das durchschnittliche Vielfache der passierten Plätze (im Verhältnis zur Standardanzahl an zu passierenden Plätzen) dar. Die etwas höhere Anzahl der passierten Plätze in der Lernphase (siehe Abb. (1a)) und die höhere Standardabweichung der Mittelwerte könnte, da diese Graphen mit der Länge der zurückgelegten Wege korrelieren, ebenfalls darauf zurückzuführen sein, dass auch hier der Anteil von Probanden in den Mittelwert eingeht, der zum Erlernen der Routen höhere Wiederholungsraten zum Erlernen der Routen benötigte. Diese Aussage wird durch das Ergebnis des Graphen (siehe Abb. (2a)) unterstützt, der zeigt, dass die

bessere Hälfte der Probanden mit beinahe der Mindestanzahl an zu passierenden Plätzen, die als Nachweis dafür erforderlich waren, dass die Routen als „gelernt“ angesehen werden können, auskamen.

Probanden, die später in der Lage waren, gute Karten anzufertigen, weisen auch in der Lernphase (siehe Abb. (3a)) besonders in der Icon-Bedingung gegenüber der gesamten Anzahl an Probanden (siehe Abb. (1a)), geringere Anzahlen an passierten Plätzen auf. Die Ergebnisse der Testphase (siehe Abb. (1b) - (3b)) weisen deutlich darauf hin, dass sich der Einfluss von symbolischen und sprachlichen Bezeichnungen von Plätzen auch auf die Anzahl der passierten Plätze auf den Zielstrecken positiv auswirkt. Die Anzahl der passierten Plätze der zehn besten Probanden der Icon-Bedingung (siehe Abb. (2b)) zeigt gegenüber den zehn besten Probanden der Baseline-Bedingung in der Testphase einen signifikanten Unterschied von $p = 0.0176$.

Vor der Berechnung des Durchschnitts der Daten dieser Probandengruppen wurden die Mittelwerte für jeden einzelnen Probanden wie folgt berechnet:

Entsprechend der unterschiedlichen Länge der Routen und der unterschiedlichen Anzahl an Streckensegmenten unterschied sich auch die Anzahl der zu passierenden Plätze je Strecke. Zur Berechnung des Mittelwerts der relativen Anzahl der passierten Plätze wurde die Anzahl der vom jeweiligen Probanden passierten Plätze durch die Anzahl der zu passierenden Plätze je Strecke dividiert. Der Mittelwert für diesen Probanden wurde anschließend berechnet, indem die Summe dieser Mittelwerte durch ihre Anzahl dividiert wurde.

3.3.5 Verweildauer

Die Graphen der Abbildung 3.5 stellen die durchschnittliche Verweildauer der Probanden pro Platz dar. Wie Abbildung (1a) - (3a) und (1b) - (3b) zeigen, hielten sich alle Probanden und Gruppierungen von Probanden der Baseline-Bedingung sowohl in der Lern- als auch in der Testphase die geringste Zeit auf den Plätzen auf. Dieser Effekt könnte darauf zurückzuführen sein, dass die anderen Probanden eine zusätzliche Verarbeitungszeit für die Erfassung der Bezeichnungen der Plätze beanspruchten.

Es zeigt sich, dass alle Probanden und ihre Gruppierungen in der Words-Bedingung am meisten Zeit von allen Probanden beanspruchten. In der Lernphase hielten sich alle Probanden der Words-Bedingung gegenüber allen Probanden der Baseline-Bedingung mit einer Signifikanz von $p = 0.0477$ deutlich länger auf den Plätzen auf. Vor der Berechnung des Durchschnitts der Daten dieser Probandengruppen wurden die Mittelwerte für jeden einzelnen Probanden wie folgt berechnet:

An jedem Platz einer Strecke, den ein Proband passierte, hielt sich dieser eine bestimmte Zeit lang auf. Zur Berechnung der relativen Verweildauer pro Platz wurde der Mittelwert aus der Summe aller Aufenthaltsdauern auf den Plätzen einer Strecke durch die Anzahl der passierten Plätze dividiert. Anschließend wurde zur Berechnung des Mittelwerts der Verweildauer pro Platz der Durchschnitt berechnet, indem die Summe aller Mittelwerte durch die Anzahl der Strecken (Anzahl der Plätze - 1, da die Verweildauer auf dem letzten Platz = 0 ist) dividiert wurde.

3.3.6 Zeit

Die Graphen der Abbildung 3.6 stellen das durchschnittliche Vielfache der Zeit (im Verhältnis zur Standardanzahl an Segmenten pro Strecke) der Probanden dar.

Wie die Abbildungen (1a) - (3a) und (1b) - (3b) zeigen, wird für die Baseline-Bedingung die geringste Zeit benötigt. In der Testphase (siehe Abb. (1b) - (3b)) entspricht die benötigte Zeit der

Baseline-Bedingung fast genau der der Icons-Bedingung. Vor der Berechnung des Durchschnitts der Daten dieser Probandengruppen wurden die Mittelwerte für jeden einzelnen Probanden wie folgt berechnet:

Die gemessene Zeit, die für die Zurücklegung einer Strecke benötigt wurde, wurde je nach Anzahl der Segmente, aus denen sich diese Strecke zusammensetzte, dividiert. Aus den errechneten Werten wurde im Anschluss daran der Mittelwert gebildet.

3.3.7 Effektiv benötigte Zeit

Die Graphen der Abbildung 3.7 stellen die durchschnittliche effektiv benötigte Zeit (im Verhältnis zur Standardstreckenlänge) der Probanden dar. Die Probanden und die Probandengruppierungen der Icons- bzw. Word-Bedingung benötigten in der Lernphase effektiv mehr Zeit, als die Probanden und ihre Gruppierungen der Baseline-Bedingung (siehe Abb. (1a) - (3a)).

In der Testphase benötigten die Probanden und die Probandengruppierungen der Icons- bzw. Word-Bedingung aber effektiv weniger Zeit als die Probanden und ihre Gruppierungen der Baseline-Bedingung (siehe Abb. (1b) - (3b)).

Dies deutet massiv darauf hin, dass sich die zusätzliche Bezeichnung der Plätze unter der Icons- und unter der Words-Bedingung bei der Rekombination neuer Wege auf die Navigationsleistung der Probanden positiv auswirkt. Einen noch deutlicheren Effekt als die Probanden der Words-Bedingung weisen die Probanden der Icons-Bedingung in diesem Fall auf.

Vor der Berechnung des Durchschnitts der Daten dieser Probandengruppen wurden die Mittelwerte für jeden einzelnen Probanden wie folgt berechnet:

Als eine parameterisierte Größe wurde die von einem Probanden effektiv benötigte Zeit für die Länge der jeweiligen Strecken berechnet. Die gesamte für eine Strecke benötigte Zeit wurde hierfür durch die minimale Länge der jeweiligen Strecke dividiert. Der Mittelwert für die effektiv benötigte Zeit für eine Strecke wurde anschließend berechnet, indem die Summe dieser Mittelwerte durch die Anzahl der Strecken dividiert wurde.

3.3.8 Gesamte benötigte Zeit

Die Graphen der Abbildung 3.8 stellen die durchschnittliche Gesamtzeit (im Verhältnis zur gesamten Streckenlänge) der Probanden dar. Die Probanden und die Probandengruppierungen der Icons- bzw. Words-Bedingung benötigten in der Lernphase insgesamt mehr Zeit, als die Probanden und ihre Gruppierungen der Baseline-Bedingung (siehe Abb. (1a) - (3a)).

Auch in der Testphase benötigten die Probanden und die Probandengruppierungen der Icons- bzw. Words-Bedingung insgesamt mehr Zeit für die gesamte Streckenlänge als die Probanden und ihre Gruppierungen der Baseline-Bedingung (siehe Abb. (1b) - (3b)). Einen noch größeren Bedarf an Zeit als die Probanden der Icons-Bedingung weisen hier aber die Probanden der Words-Bedingung in diesem Fall auf.

Vor der Berechnung des Durchschnitts der Daten dieser Probandengruppen wurden die Mittelwerte für jeden einzelnen Probanden wie folgt berechnet:

Als ebenfalls parameterisierte Größe wurde die von einem Probanden benötigte Gesamtzeit für die gesamte Länge der jeweiligen zurückgelegten Strecke berechnet. Die gesamte für eine Strecke benötigte Zeit wurde durch die gesamte zurückgelegte Länge der jeweiligen Strecke dividiert. Der Mittelwert für die gesamte benötigte Zeit für eine Strecke wurde anschließend berechnet, indem die Summe dieser Mittelwerte durch die Anzahl der Strecken dividiert wurde.

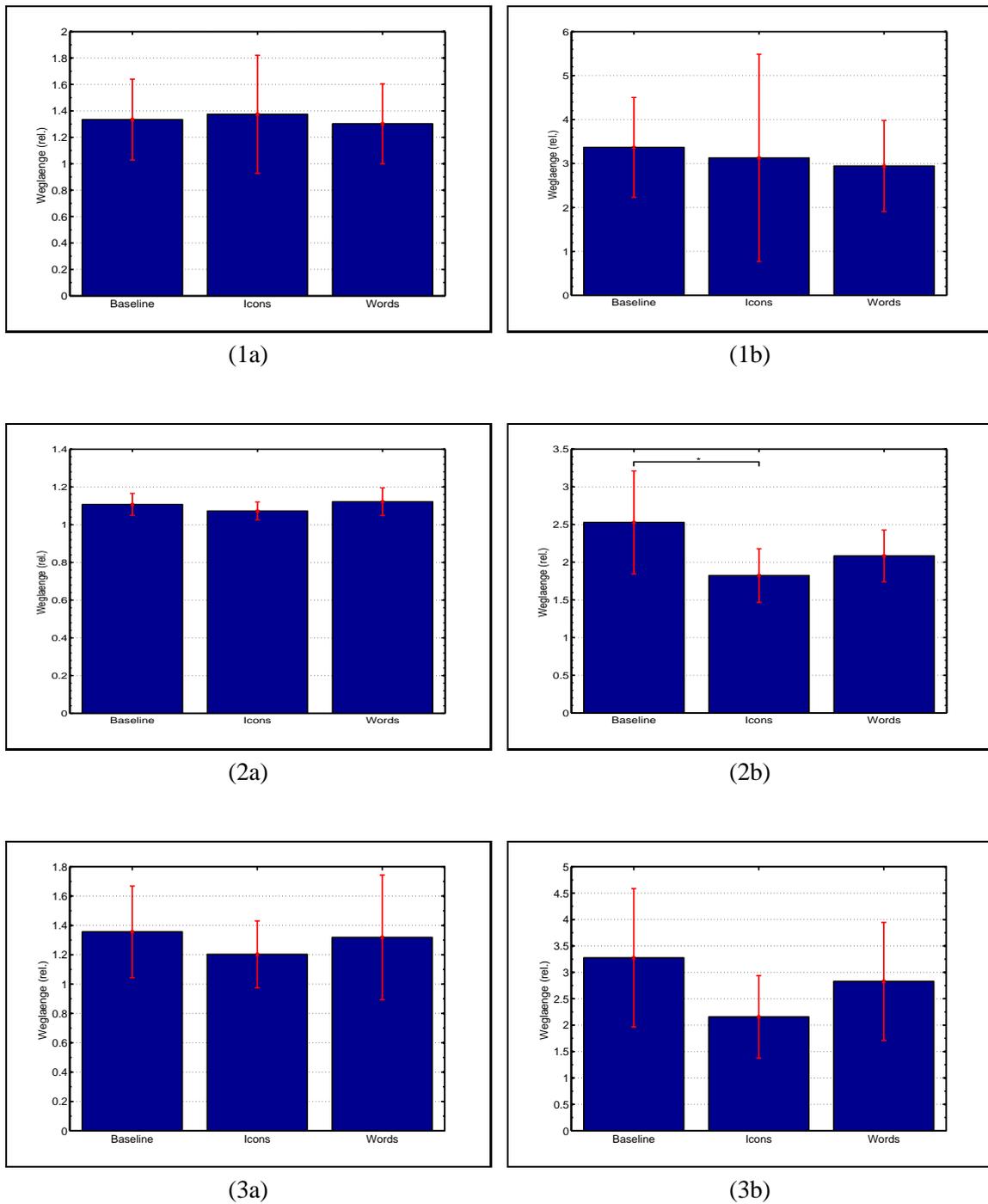


Abbildung 3.1: durchschnittliches Vielfaches der zurückgelegten Weglänge (im Verhältnis zur Standardlänge der Strecken)

(1): die von allen Probanden

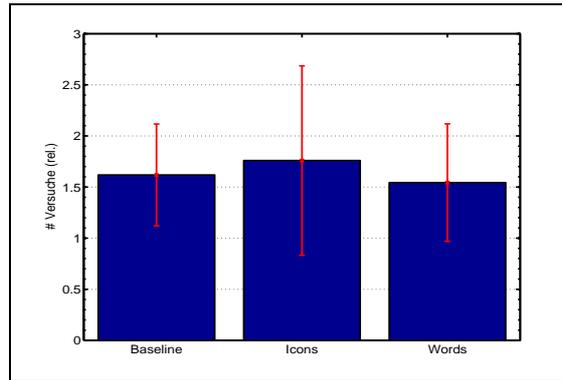
(2): die von den 10 besten Probanden (der jeweiligen Phase)

(3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung

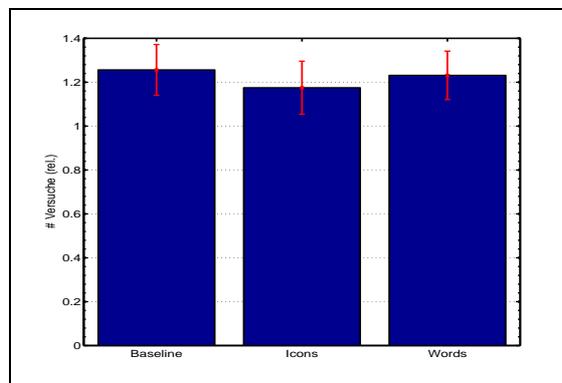
(a): in der Lernphase

(b): in der Testphase

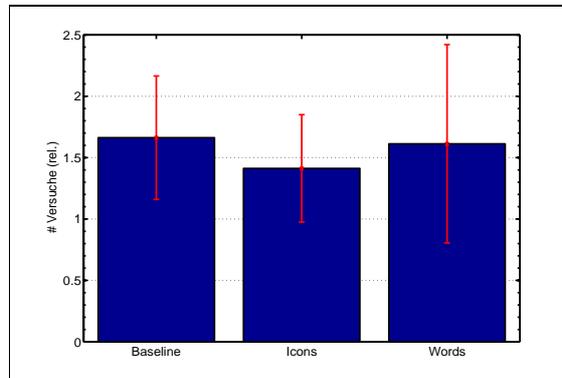
zurückgelegt wurde



(1)



(2)



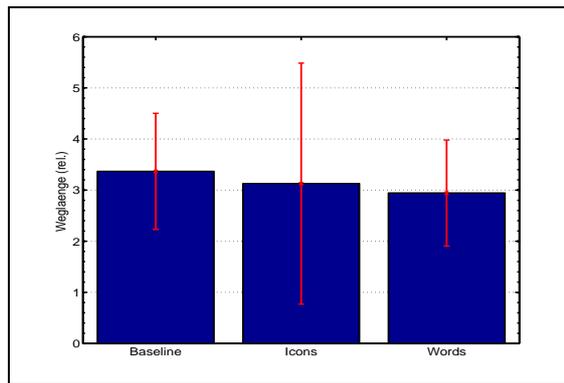
(3)

Abbildung 3.2: durchschnittliches Vielfaches der Anzahl an Versuchen (im Verhältnis zur Mindestanzahl an Versuchen)

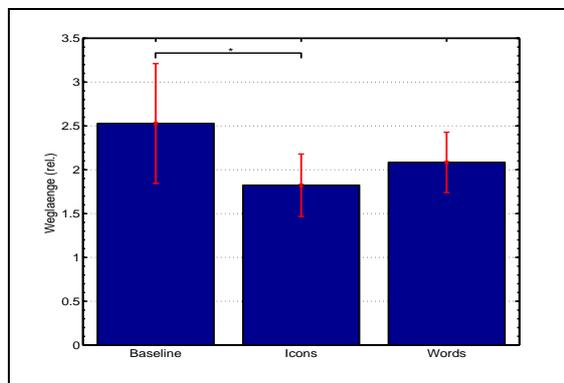
(1): die von allen Probanden

(2): die von den 10 besten Probanden (der Lernphase)

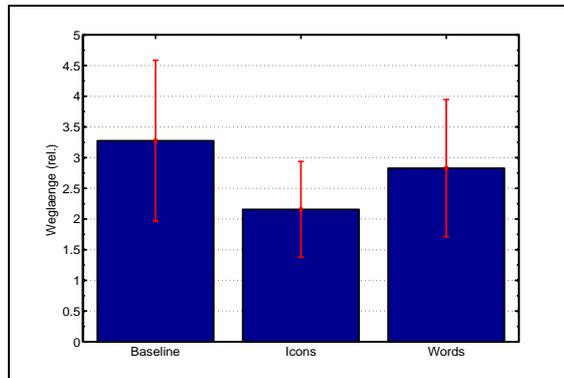
(3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung in der Lernphase benötigt wurden



(1)



(2)



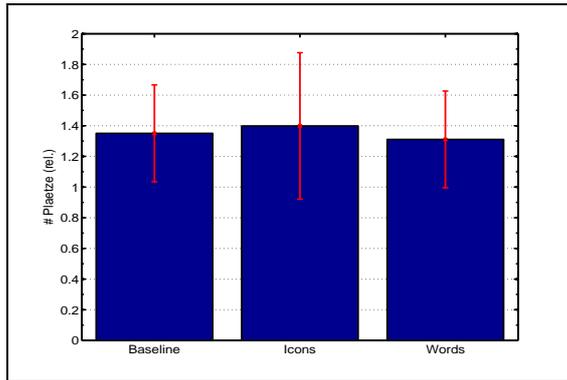
(3)

Abbildung 3.3: durchschnittliche Anzahl an falschen Abbiegungen (im Verhältnis zur Anzahl der Streckensegmente)

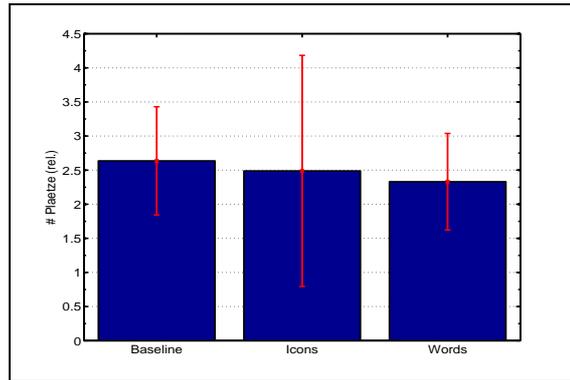
(1): von allen Probanden

(2): von den 10 besten Probanden (der Testphase)

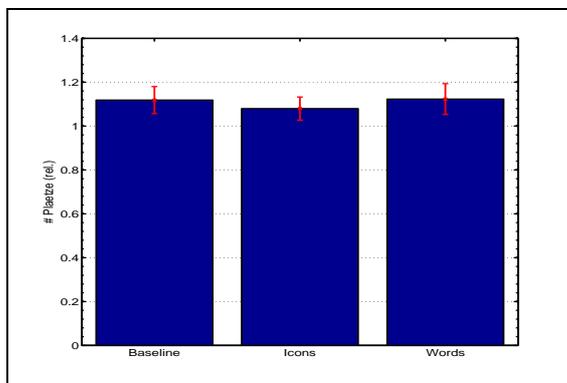
(3): von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung in der Testphase



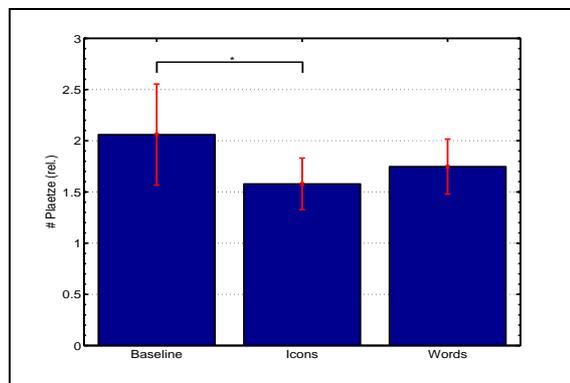
(1a)



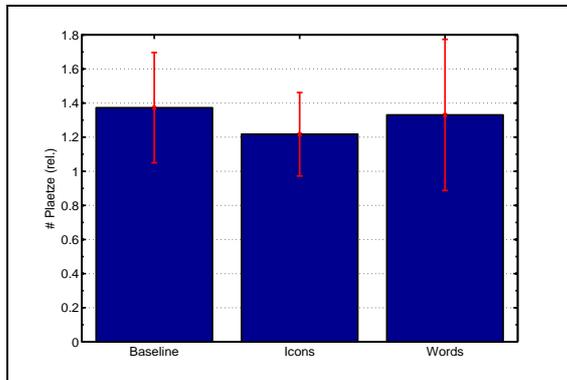
(1b)



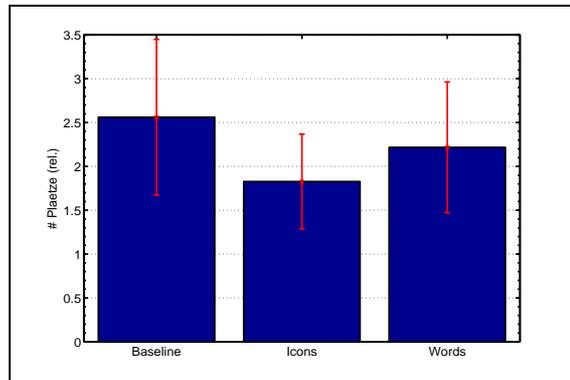
(2a)



(2b)



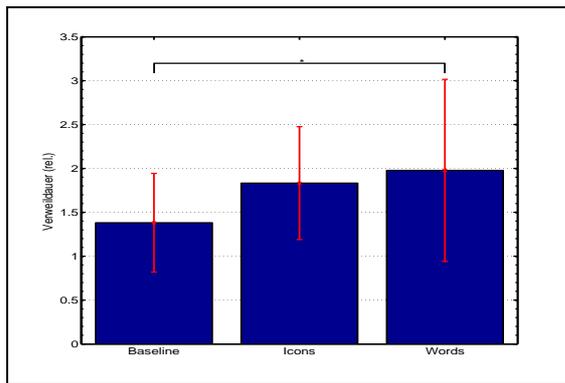
(3a)



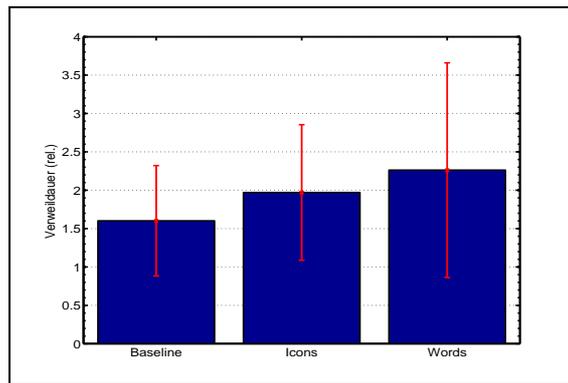
(3b)

Abbildung 3.4: durchschnittliches Vielfaches der passiertern Plätze (im Verhältnis zur Standardanzahl an zu passierenden Plätzen)

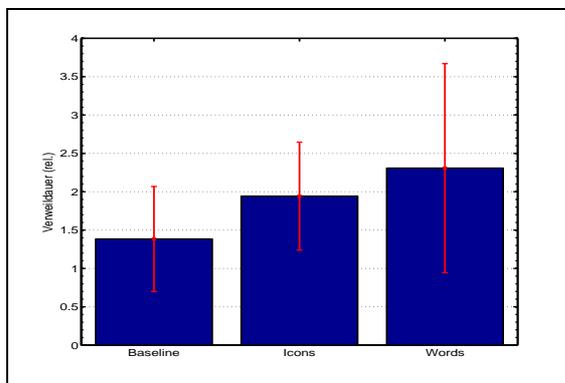
- (1): die von allen Probanden
 - (2): die von den 10 besten Probanden (der jeweiligen Phase)
 - (3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung
 - (a): in der Lernphase
 - (b): in der Testphase
- passiert wurden



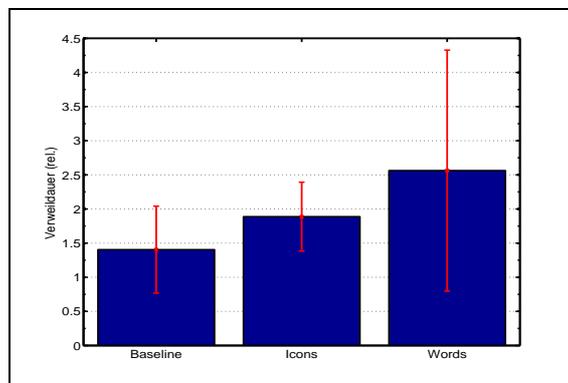
(1a)



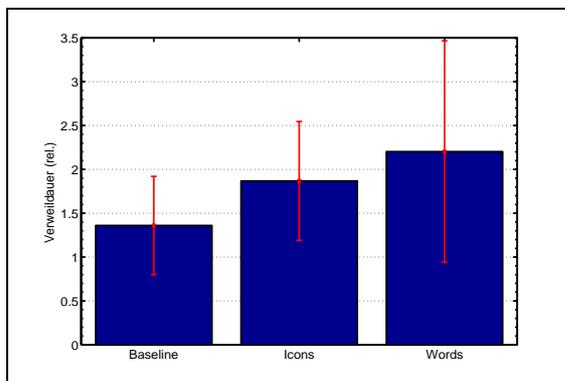
(1b)



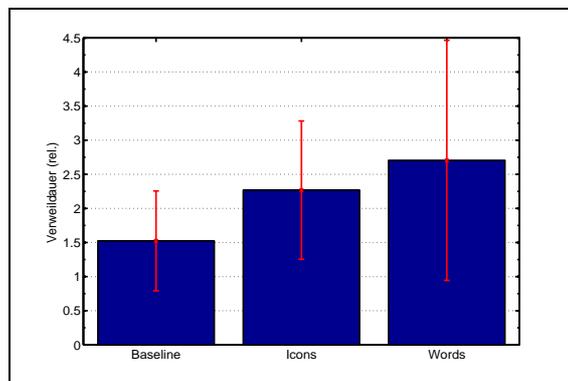
(2a)



(2b)

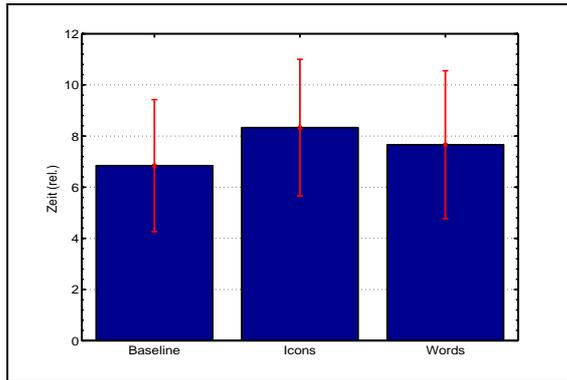


(3a)

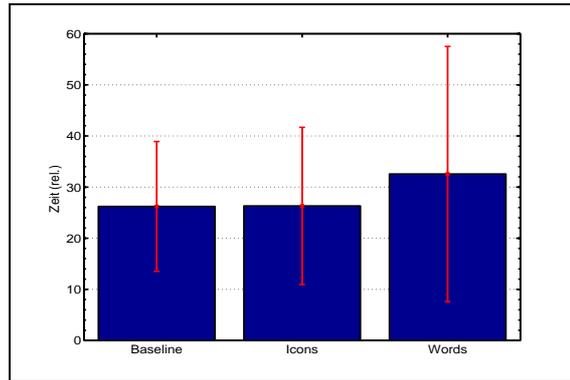


(3b)

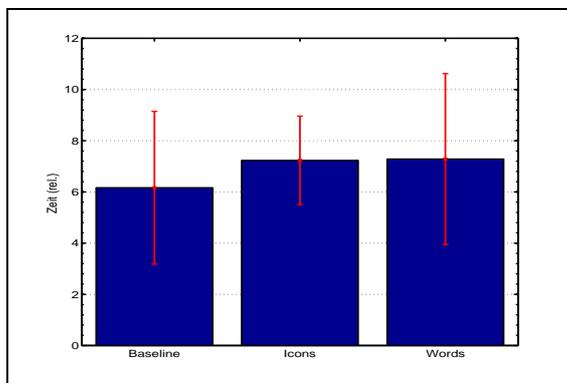
Abbildung 3.5: durchschnittliche Verweildauer pro Platz,
 (1): die von allen Probanden
 (2): die von den 10 besten Probanden (der jeweiligen Phase)
 (3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung
 (a): in der Lernphase
 (b): in der Testphase
 benötigt wurde



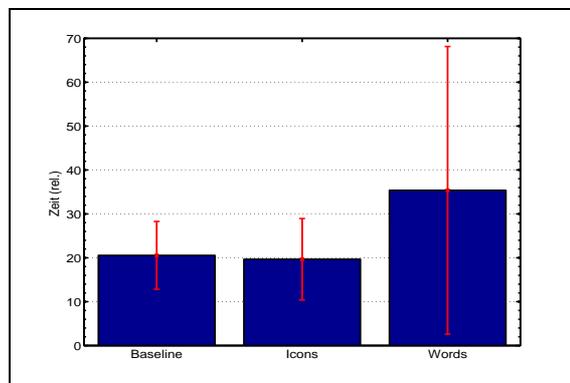
(1a)



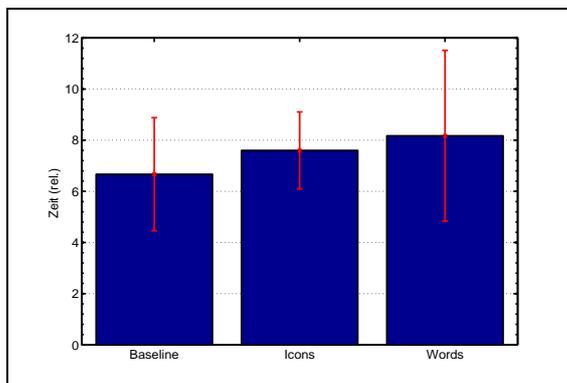
(1b)



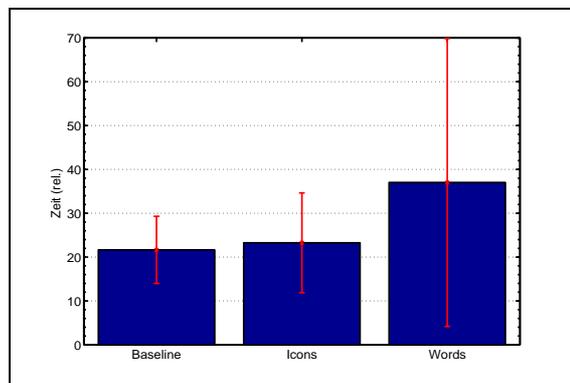
(2a)



(2b)



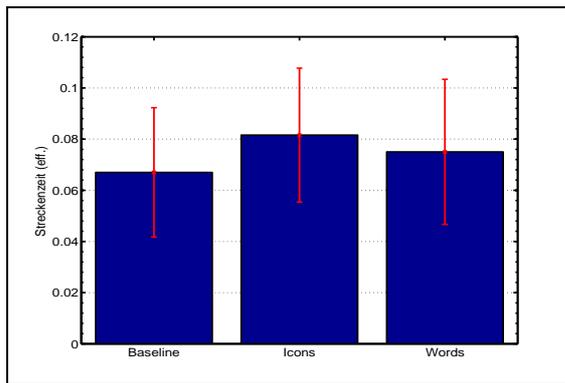
(3a)



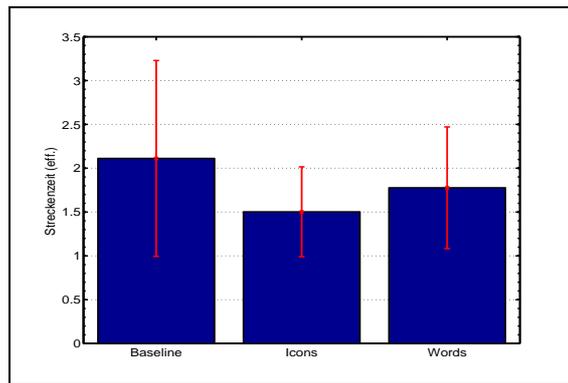
(3b)

Abbildung 3.6: durchschnittliches Vielfaches der Zeit (im Verhältnis zur Standardanzahl an Segmenten pro Strecke)

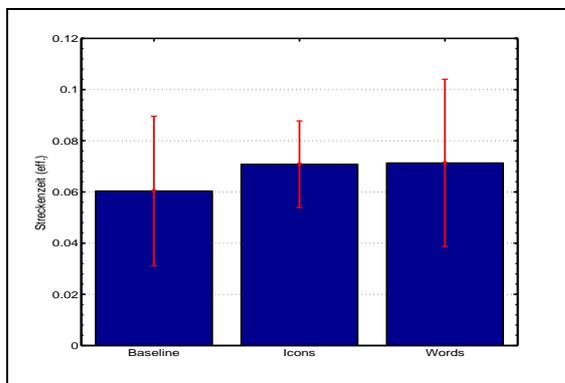
- (1): die von allen Probanden
- (2): die von den 10 besten Probanden (der jeweiligen Phase)
- (3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung
- (a): in der Lernphase
- (b): in der Testphase benötigt wurde



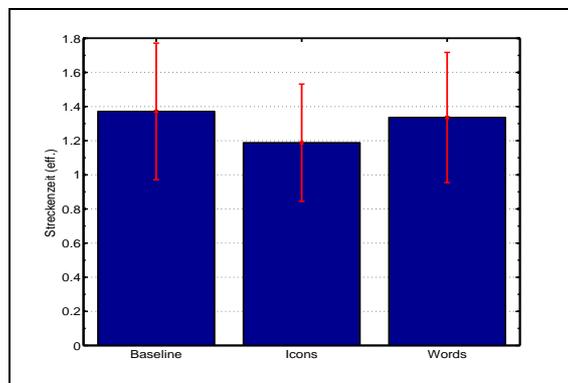
(1a)



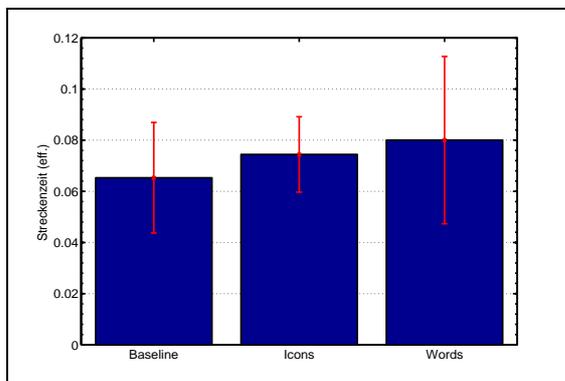
(1b)



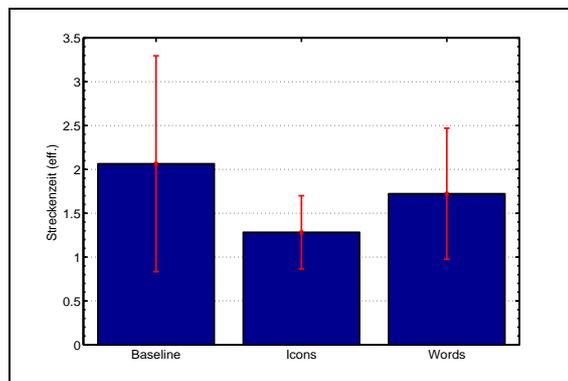
(2a)



(2b)

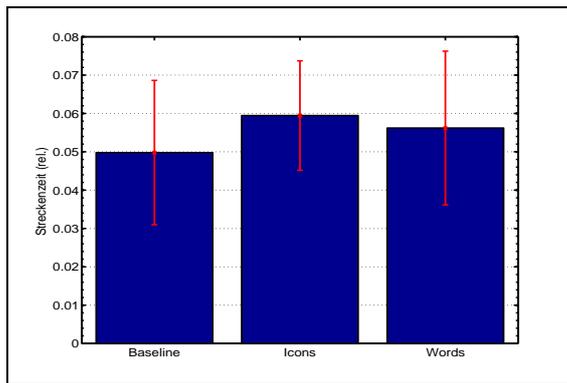


(3a)

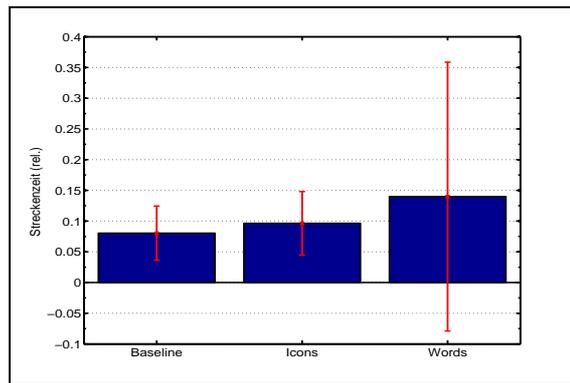


(3b)

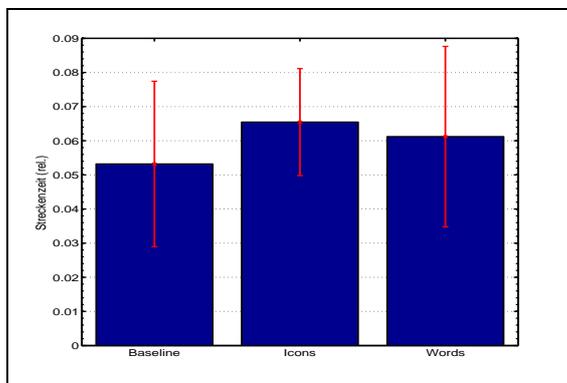
Abbildung 3.7: durchschnittliche effektiv benötigte Zeit (im Verhältnis zur Standardstreckenlänge),
 (1): die von allen Probanden
 (2): die von den 10 besten Probanden (der jeweiligen Phase)
 (3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung
 (a): in der Lernphase
 (b): in der Testphase
 benötigt wurde



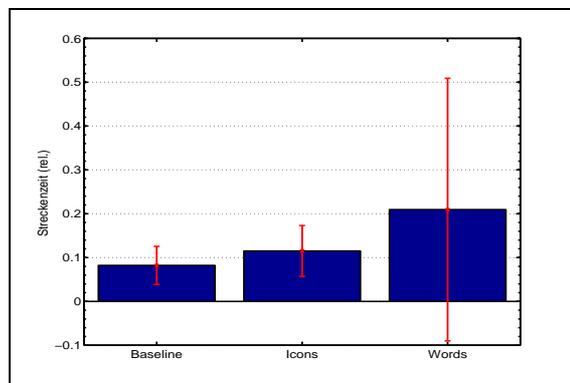
(1a)



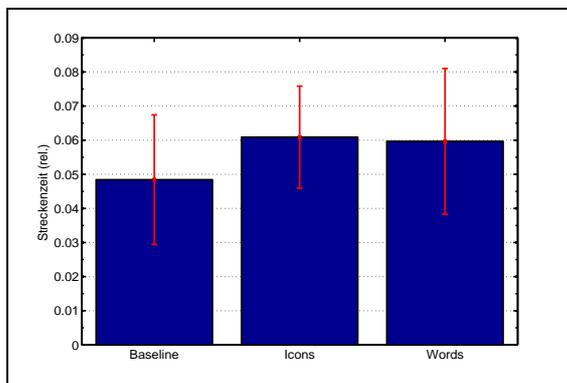
(1b)



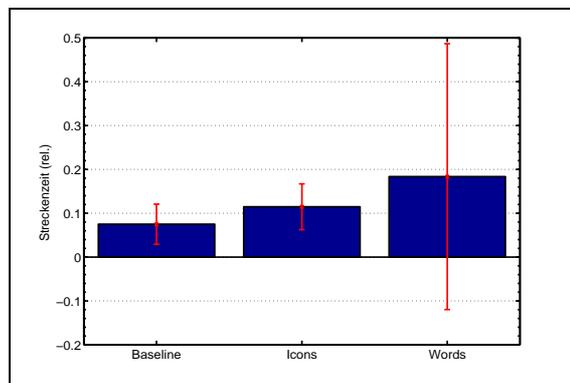
(2a)



(2b)



(3a)



(3b)

Abbildung 3.8: durchschnittliche Gesamtzeit (im Verhältnis zur gesamten Streckenlänge),
 (1): die von allen Probanden
 (2): die von den 10 besten Probanden (der jeweiligen Phase)
 (3): die von den 10 Probanden mit der besten Kartendarstellung
 (a): in der Lernphase
 (b): in der Testphase
 benötigt wurde

3.4 Trajektorien

(siehe Abb. 3.9, Abb. 3.10, Abb. 3.11)

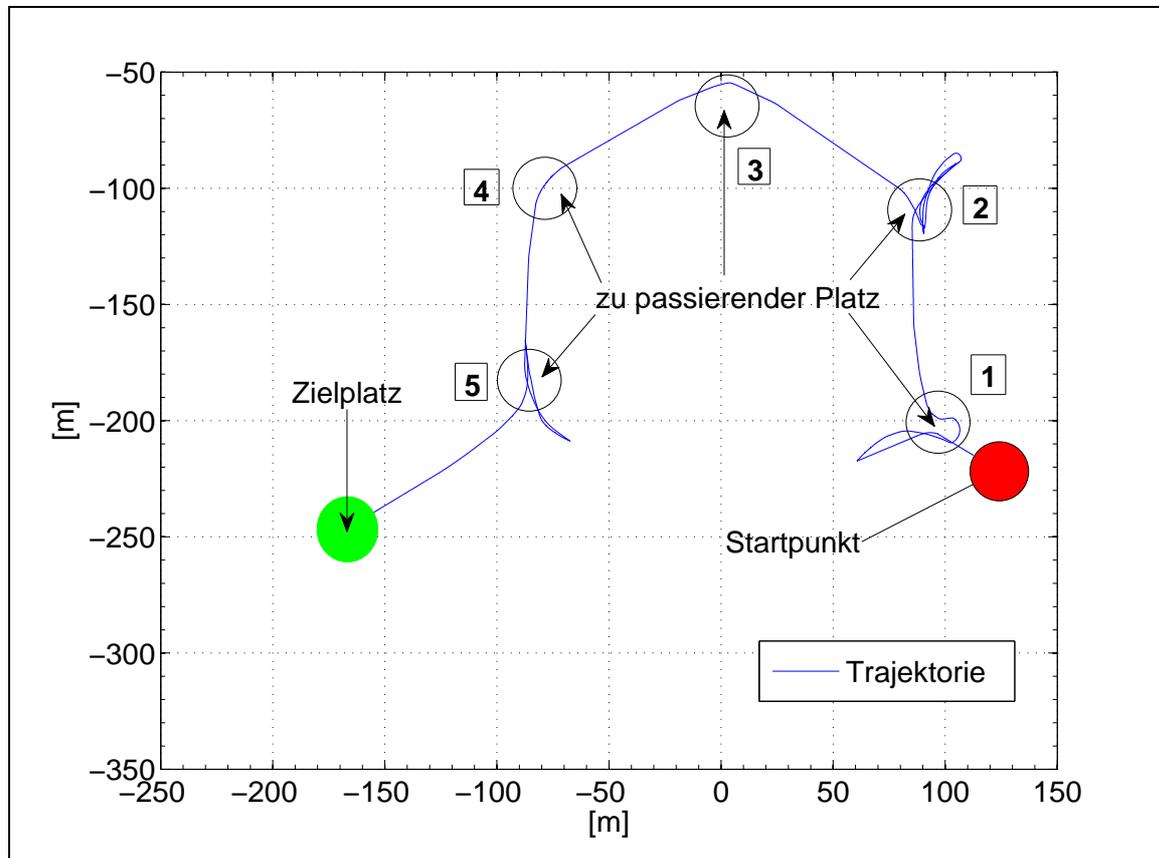


Abbildung 3.9: Beispiel einer Trajektorie (1. Strecke der 1. Route der Wahrnehmungsphase) eines Probanden, dem die Baseline-Bedingung zugeordnet worden war. Platz Nr.1, 2 und 5 zeigen, dass der Proband in die falsche Richtung abgelenkt war. An Platz Nr.2 hatte er sich auch mehrfach in die Richtung bewegt, aus der er gekommen war.

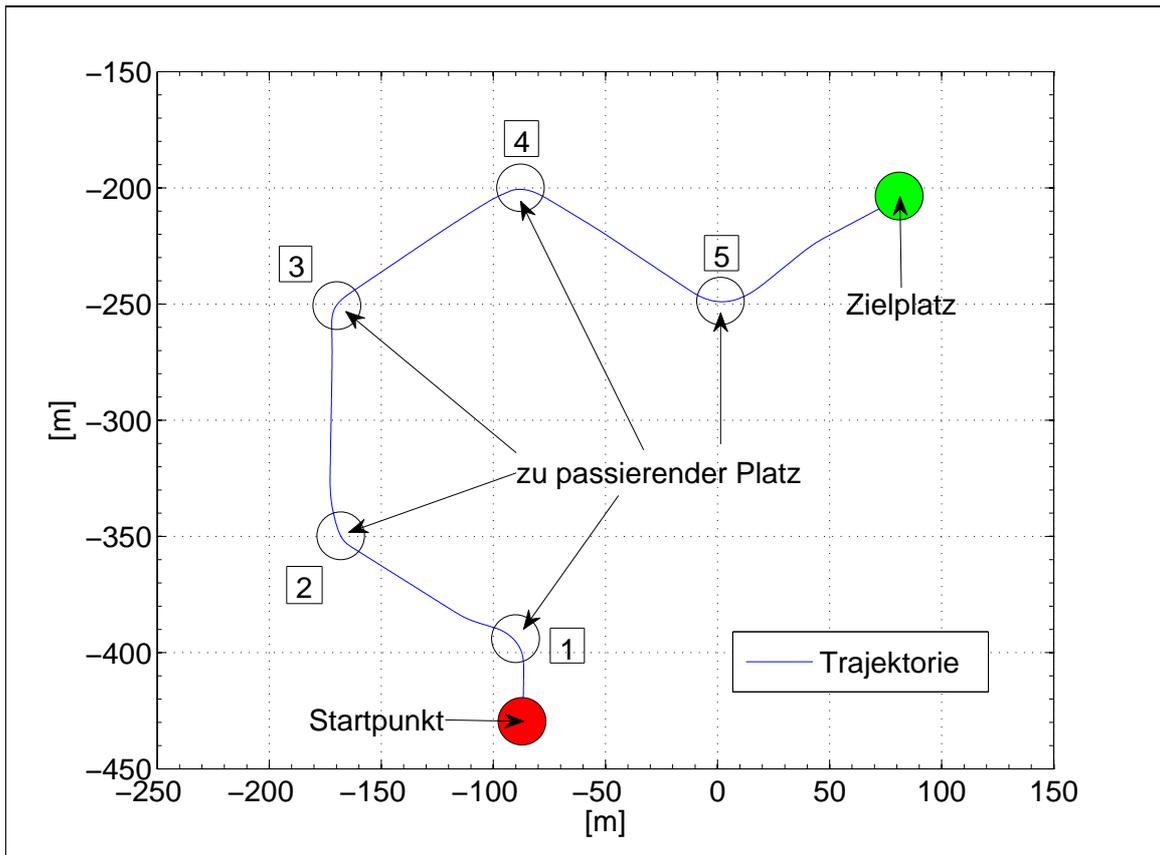


Abbildung 3.10: Beispiel einer Trajektorie (2. Strecke der 3. Route der Lernphase) eines Probanden, dem die Icons-Bedingung zugeordnet worden war. Die Trajektorie zeigt einen fehlerfreien Verlauf vom Start bis zum Ziel

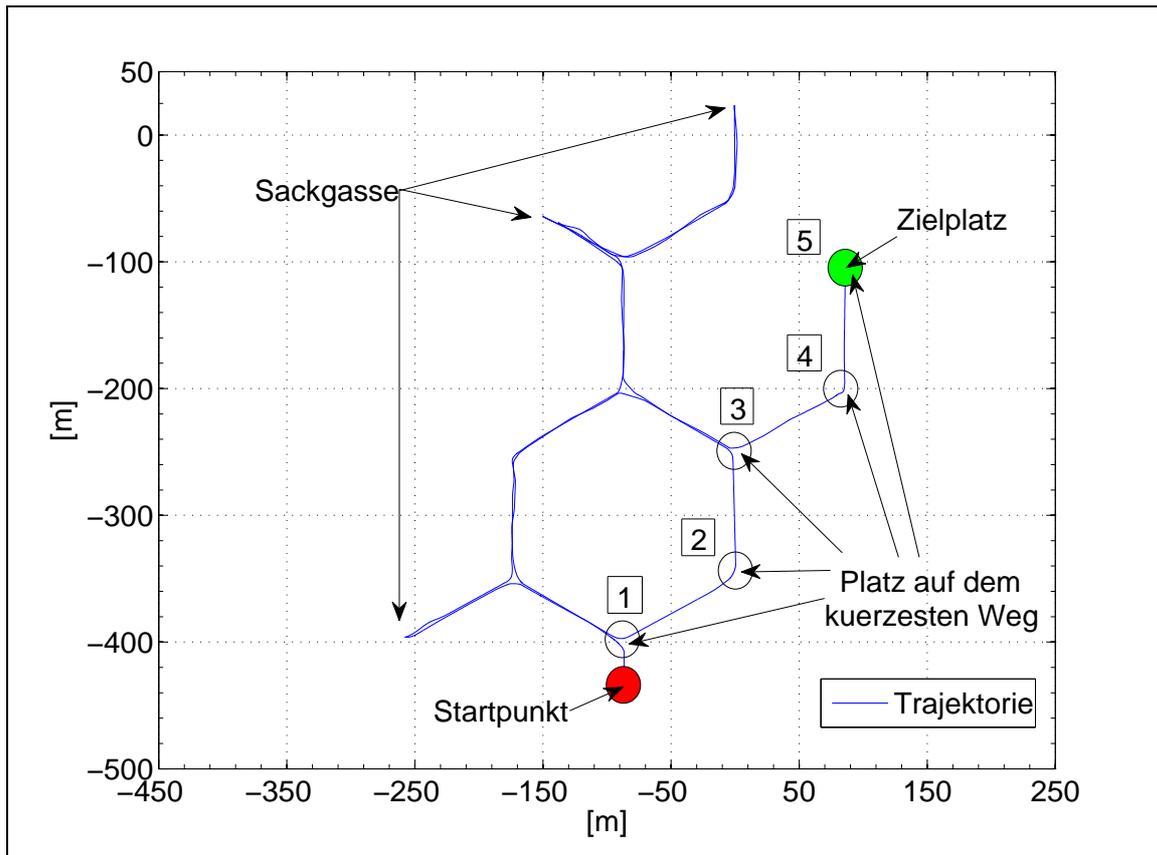


Abbildung 3.11: Beispiel einer Trajektorie (3. Strecke der Testphase) eines Probanden, dem die Words-Bedingung zugeordnet worden war. Die Trajektorie zeigt neben der fast vollständigen Struktur des Mazes Falschabbiegungen in drei Sackgassen

3.5 Skizzen von Probanden

Eine sehr aussagekräftige Form, die Aufschluss darüber geben kann, ob und wie gut sich eine kognitive Karte bei einem einzelnen Probanden ausgeprägt hat, sind die Repräsentation und Memorierung einer von Hand gezeichneten Karte. Aufgrund der sehr individuellen Ausfertigungen, kann die Klassifizierung der Karten nur subjektiv erfolgen.

Die Kriterien, nach denen versucht wurde, die Qualität der Karten einzustufen, wird in Form der folgenden Tabelle dargestellt (siehe Tab. 3.3):

Tabelle 3.3: Klassifikation der Kartenskizzen

Kategorie	erkannte Eigenschaften
0	keine
1	3 Abzweigungen pro Platz
2	120° Winkel
3	ein Zyklus
4	ein Zyklus und Sackgassen
5	zwei Zyklen
6	zwei Zyklen und Sackgassen
7	ein Polygon
8	ein Polygon und Sackgassen
9	zwei Polygone
10	zwei Polygone und Sackgassen

Als Beispiele werden im folgenden Karten aufgeführt, wie sie von Probanden nach erfolgreicher Bewältigung der Navigationsaufgabe auf den Fragebogen aufgezeichnet worden waren.

In der Reihenfolge Baseline-, Icons- und Wordsbedingung werden jeweils drei qualitativ unterschiedliche Skizzen aufgeführt (siehe Abb. 3.12 - 3.20).

3.5.1 Baseline- Bedingung

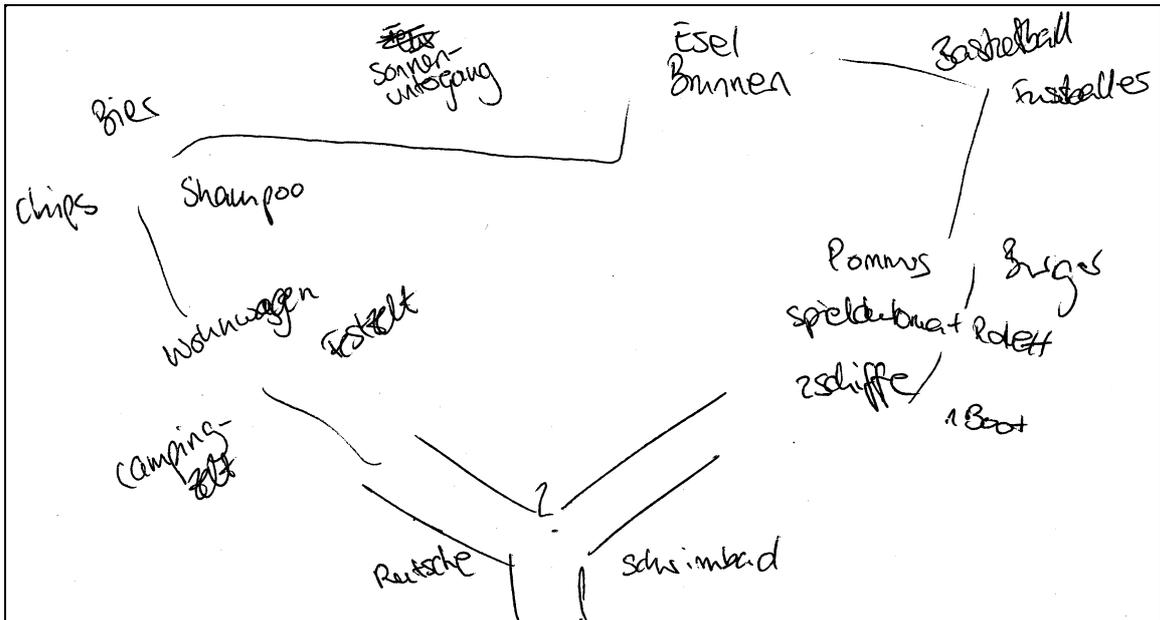


Abbildung 3.12: Kartenskizze eines Probanden unter der Baseline- Bedingung in der Kategorie 2

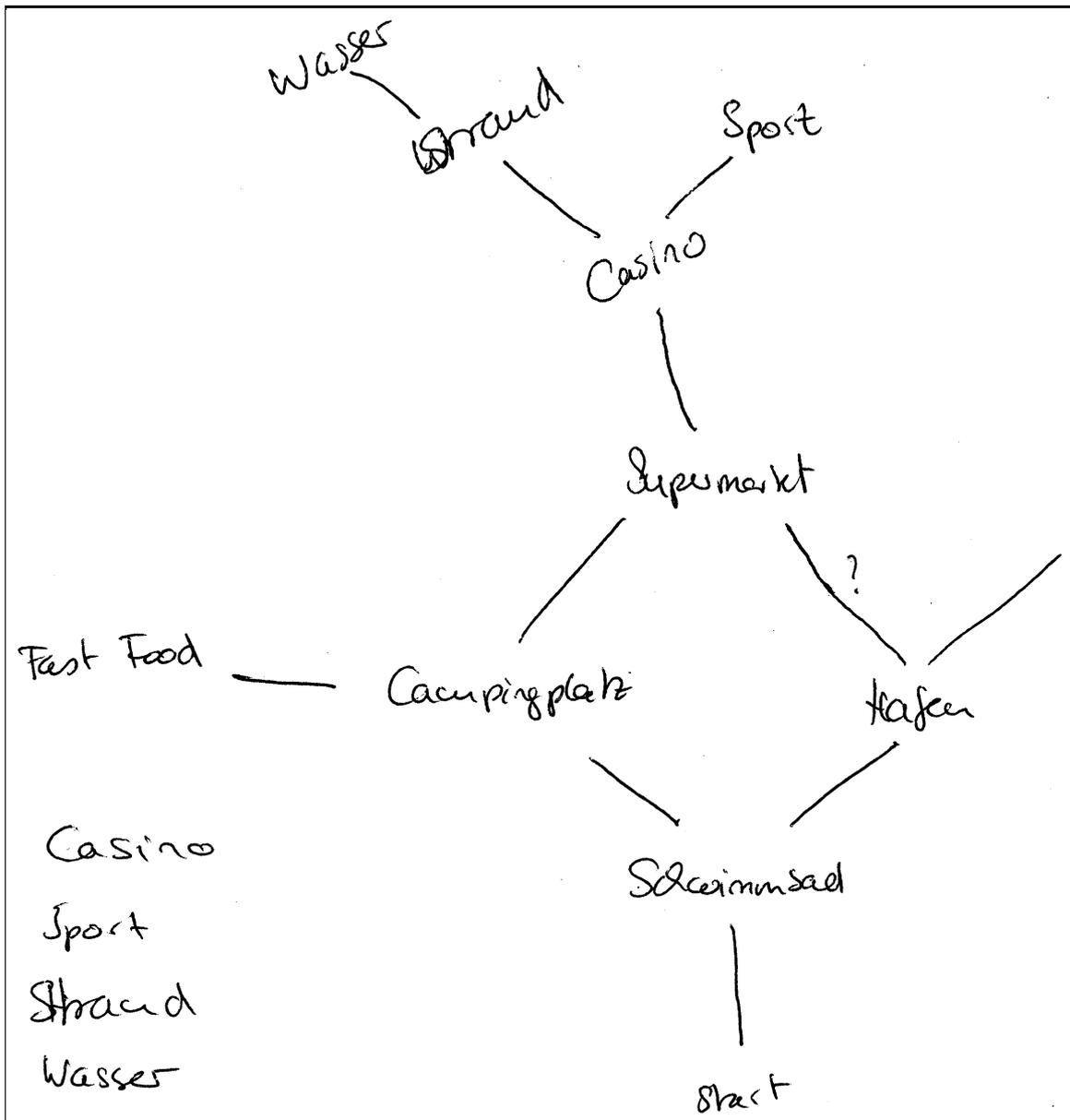


Abbildung 3.13: Kartenskizze eines Probanden unter der Baseline-Bedingung in der Kategorie 4

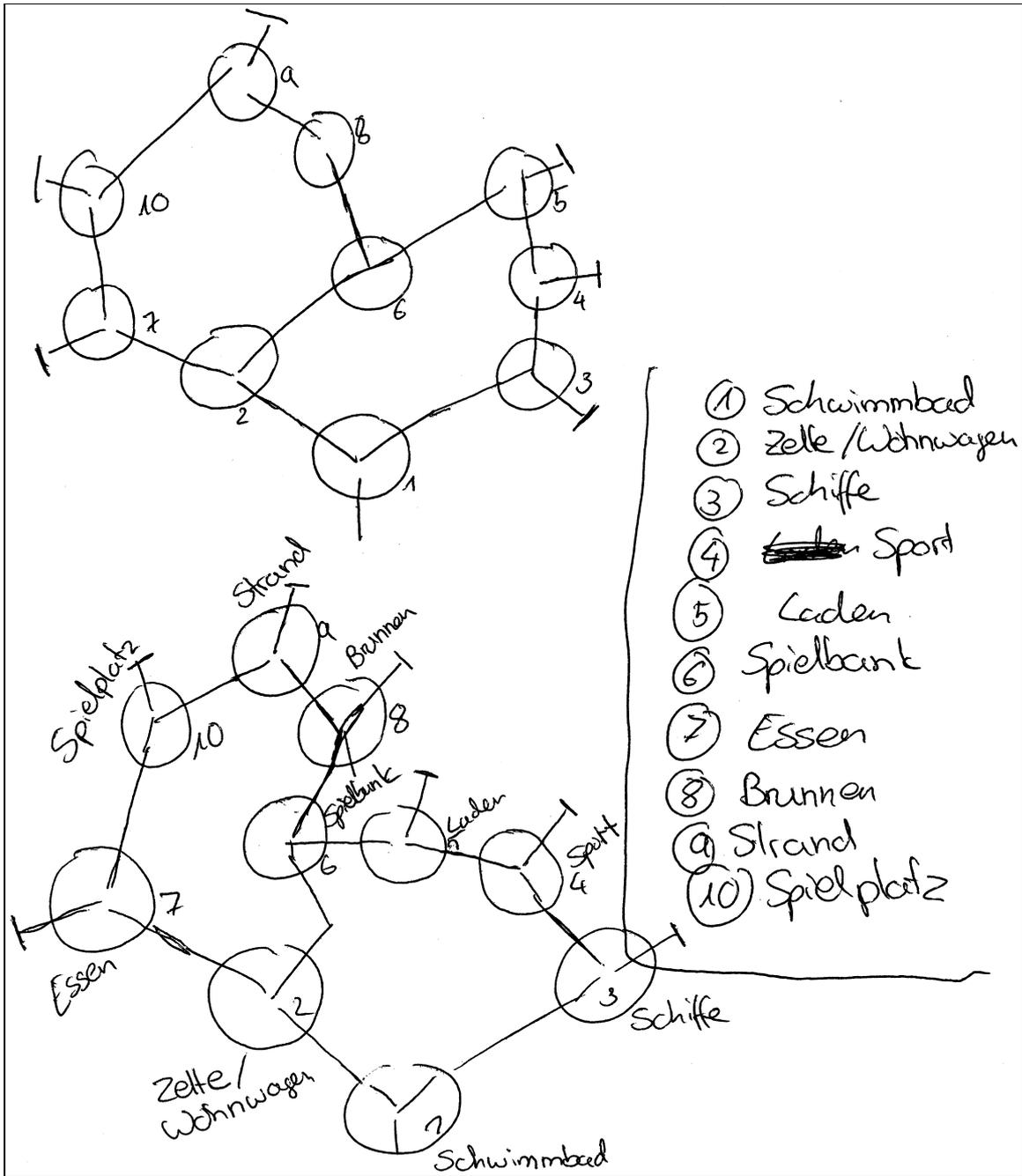


Abbildung 3.14: Kartenskizze eines Probanden unter der Baseline-Bedingung in der Kategorie 10

3.5.2 Icons- Bedingung

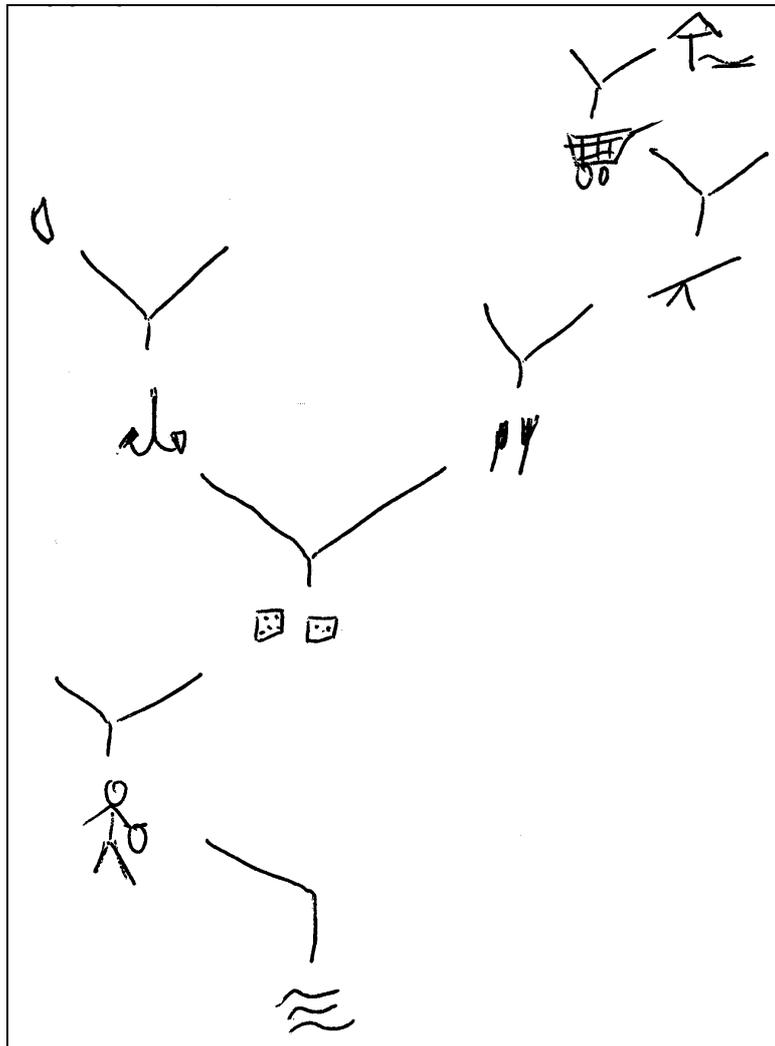


Abbildung 3.15: Kartenskizze eines Probanden unter der Icons- Bedingung in der Kategorie 2

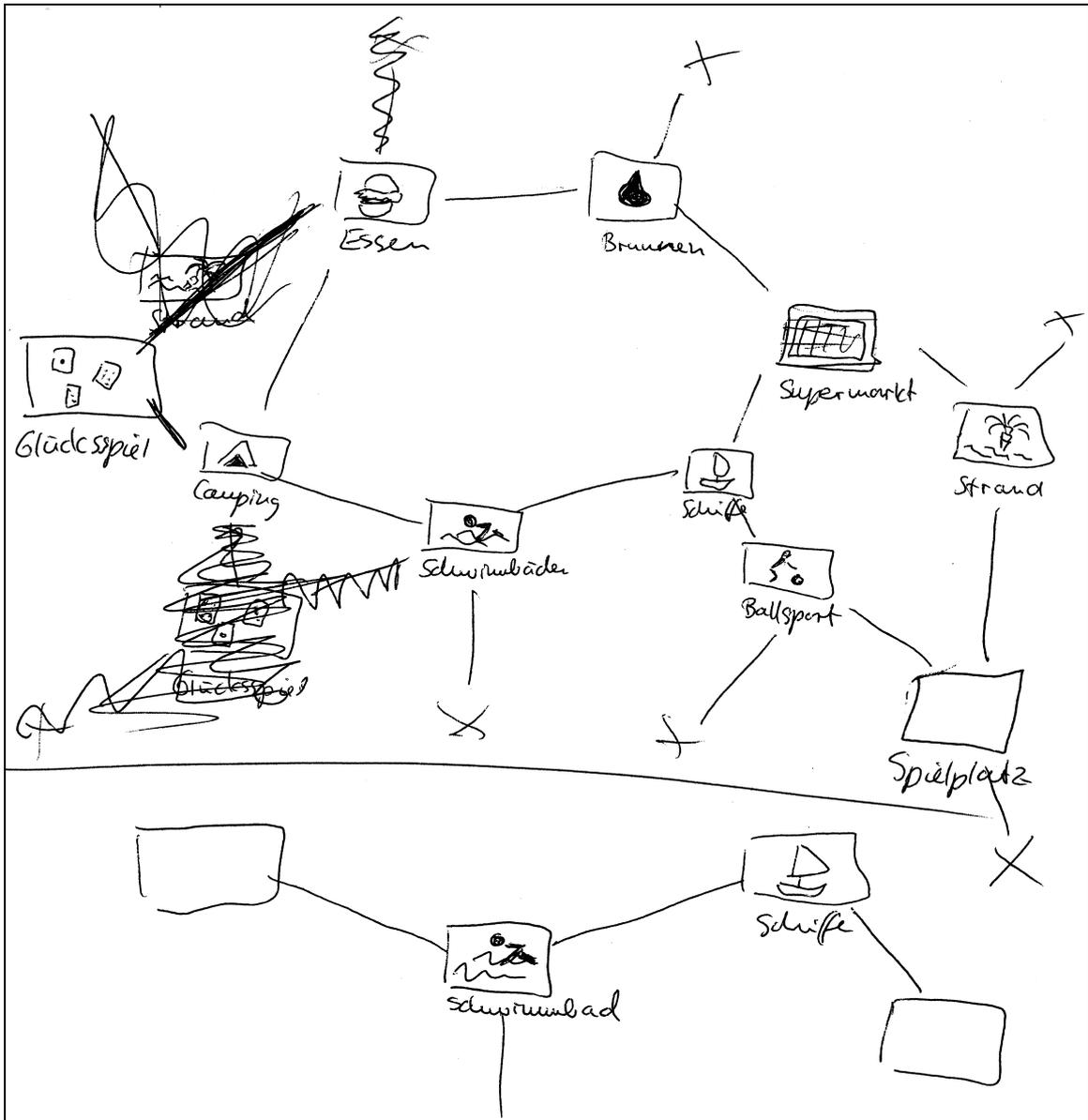


Abbildung 3.16: Kartenskizze eines Probanden unter der Icons- Bedingung in der Kategorie 6

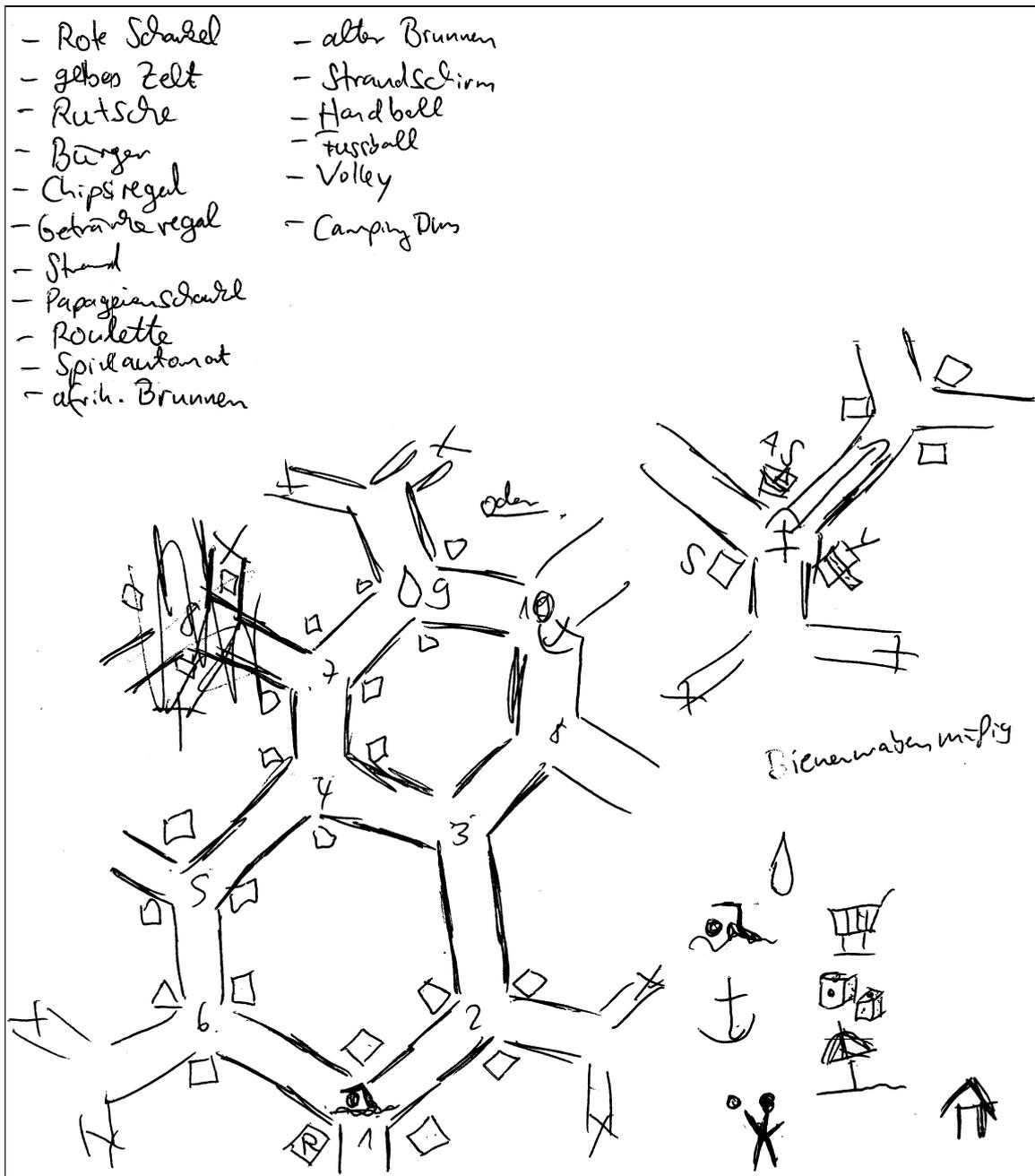


Abbildung 3.17: Kartenskizze eines Probanden unter der Icons- Bedingung in der Kategorie 10

3.5.3 Words- Bedingung

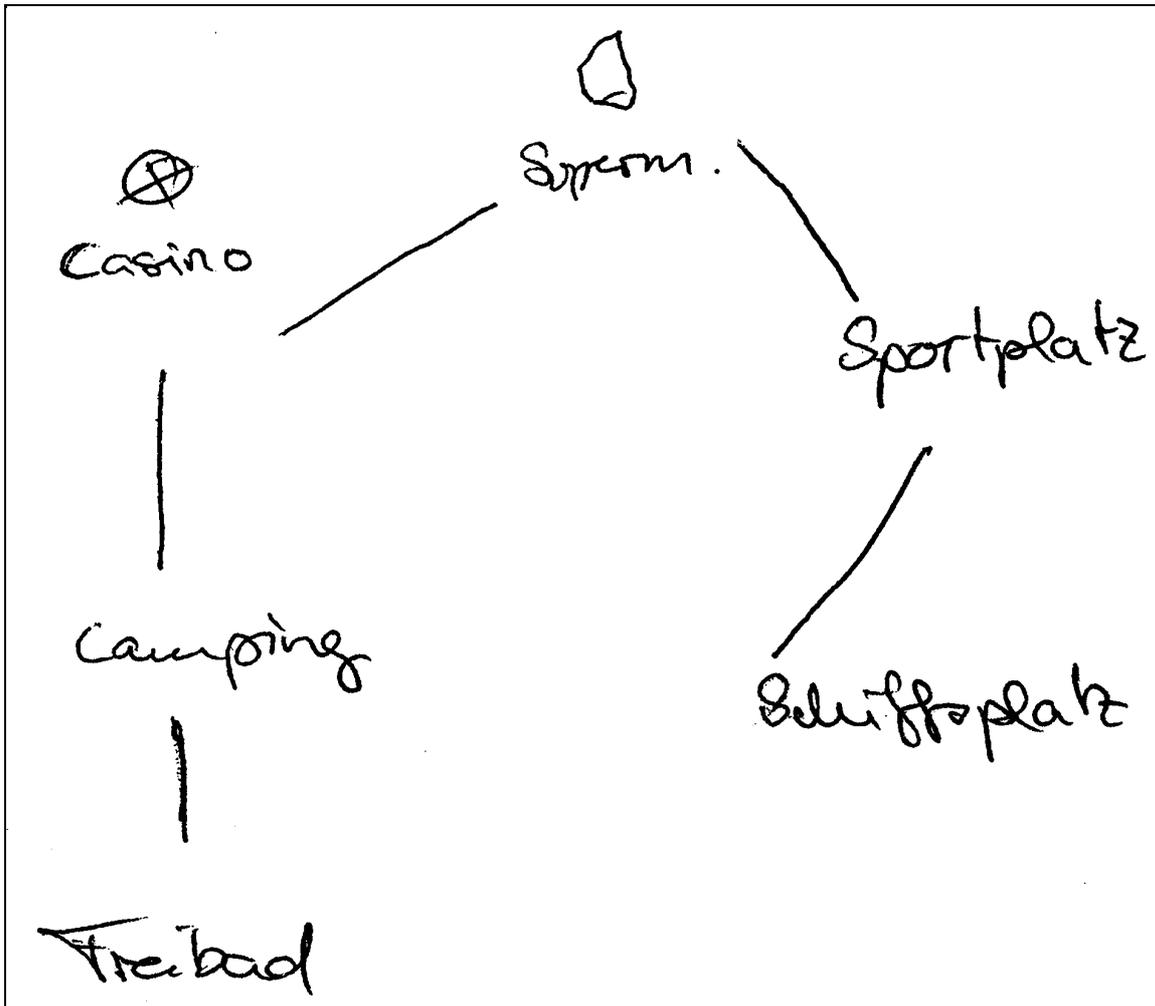


Abbildung 3.18: Kartenskizze eines Probanden unter der Words- Bedingung in der Kategorie 0

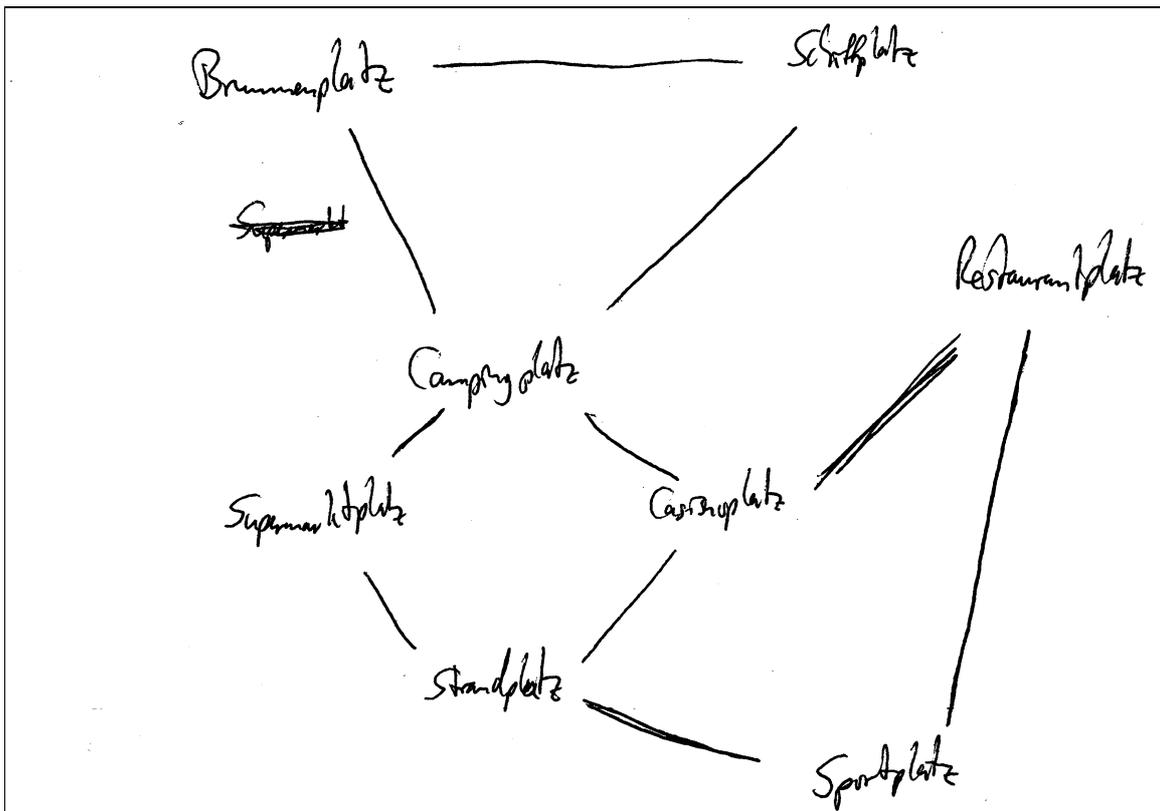


Abbildung 3.19: Kartenskizze eines Probanden unter der Words- Bedingung in der Kategorie 5

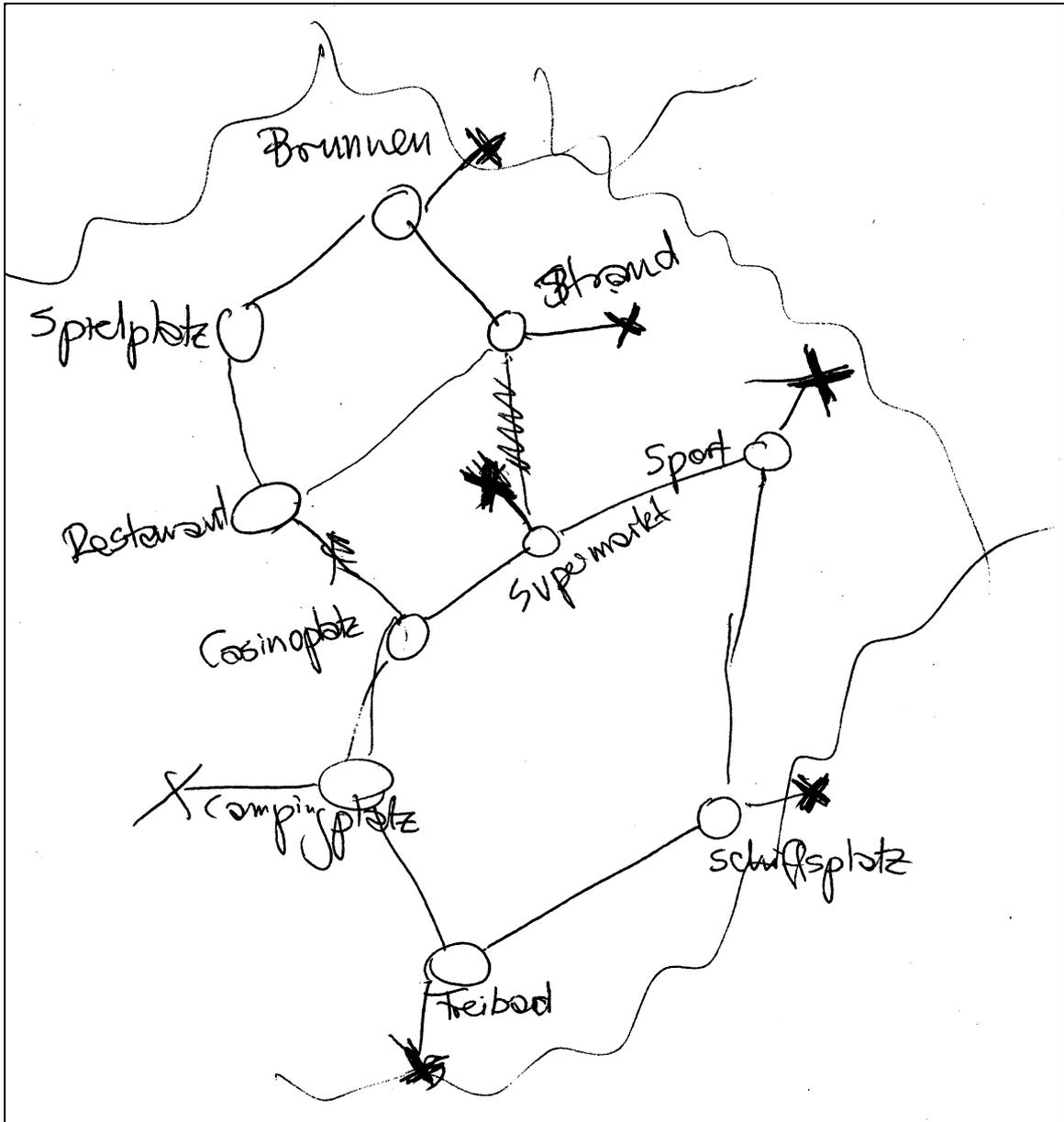


Abbildung 3.20: Kartenskizze eines Probanden unter der Words- Bedingung in der Kategorie 10

3.6 Auswertung der Kartenskizzen

Die numerische Auswertung der Kartenskizzen der Probanden der Icons- und Words-Bedingung zeigt, dass die Qualität der Kartenskizzen sowohl aller Probanden, als auch die der besseren Hälfte, wie Abbildung 3.21 und Abbildung 3.22 zeigen, im Durchschnitt deutlich hochwertiger ist, als die Qualität der Karten der Probanden der Baseline-Bedingung.

Die mit Abstand besten Kartenskizzen wurden von den Probanden der Words-Bedingung generiert. Dieser Effekt wird darauf zurückgeführt, das die sprachliche Form der Assoziation einer Bezeichnung mit einem Platz noch näher liegt, als die symbolische.

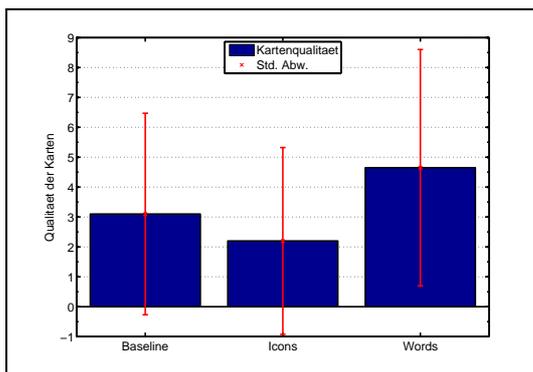


Abbildung 3.21: Klassifizierung aller Karten nach der Klassifikationstabelle

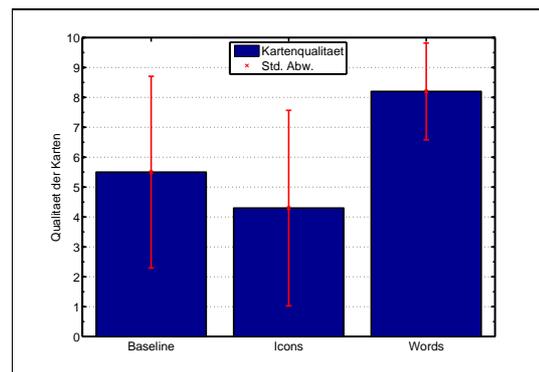


Abbildung 3.22: Klassifizierung der 10 besten Karten nach der Klassifikationstabelle

Kapitel 4

Diskussion

4.1 Versuchsgestaltung

Die an den Plätzen zu vergebenden Piktogramme beziehungsweise Namen standen in keinem direkten Zusammenhang mit der Topologie oder der Struktur der Szene. Zusätzlich könnte der geringe assoziative Zusammenhang zwischen zu vergebendem Piktogramm oder Namen und der zur Auswahl stehenden Abzweigungen eine Ursache für die weniger deutliche Ausprägung der unterschiedlichen von den Probanden erzielten Navigationsleistungen in der jeweiligen Versuchsbedingung sein.

4.1.1 Modellierung der Szenerie

Die meisten Probanden empfanden die landschaftliche Gestaltung als sehr ansprechend. Von einzelnen Probanden wurde allerdings bemängelt, dass der Rückweg nicht durch eine Drehung um 180° auf dem Zielplatz angetreten wurde, sondern dadurch, dass der Proband in einer Sackgasse vor dem Zielplatz abgesetzt wurde und den Rückweg abseits des Platzes antreten mußte. Damit sei die Empfindung, die im Folgenden zurückzulegende Strecke als Rückweg wahrzunehmen, nicht deutlich genug spürbar gewesen. Die Ursachen für die sehr hohen Ausfallraten an Probanden, die hauptsächlich bei der Icon-Bedingung auftraten, könnten darin liegen, dass die Aufmerksamkeit der jeweiligen Probanden so stark auf die Entscheidungsfindung für die nächste Abzweigung eines Weges gerichtet war, dass die Auswahl des richtigen Piktogramms nur noch beiläufig getroffen wurde.

4.2 Probanden

Im Anschluss an den Versuch wurden die Probanden entsprechend der für den Versuch benötigten Zeit durch Bezahlung entschädigt. Vereinzelt wurde von Probanden geäußert, dass ihre Motivation hätte gesteigert werden können, wenn für das Herausfinden kürzerer Strecken in der Testphase Prämien in Aussicht gestellt worden wären.

4.3 Ausblick

4.3.1 Erweiterungen

Datenaufnahme

Zusätzlich zu den durch den Joystick und die Tastatur geloggten Daten könnte noch ein Eyetracker eingesetzt werden, der die Bewegung der von den Pupillen anvisierten Regionen auf dem Display aufzeichnet. Mit Hilfe dieser Erweiterung könnten Rückschlüsse darauf gezogen werden, welche Art von Informationen in bestimmten Situationen für den Probanden von größter Bedeutung sind.

Einfluss von Sprache

Zur Vertiefung des sprachlichen Aspekts bezüglich der Navigationsleistung könnte der Einfluss weiterer verschiedener sprachlicher Elemente auf die Navigationsleistung untersucht werden:

1. Deskriptive Ortsnamen
Nomen und Nominalphrasen, die Landmarken am Entscheidungsort beschreiben
2. Arbiträre Ortsnamen
nominale Bezeichnungen ohne Bezug zu den Landmarken an einem Ort
3. Präpositionen und Präpositionalphrasen
lokale Beschreibung von Richtungsentscheidungen oder Wegsegmenten

Einfluss von Landmarken

1. Ortszeichen
Piktogramme oder Strichzeichnungen der Landmarken am Ort
2. Ortsansichten
Schnappschüsse der Landmarken am Ort
3. Bewegungszeichen
Skizzen, die die Richtungsentscheidung erleichtern

4.3.2 Simulationsmöglichkeiten

Treadmill

Der Versuch könnte um den Aspekt der individuellen Energiebilanz eines Probanden erweitert werden, indem der Versuch auf einem als „Treadmill“ bezeichneten Laufband durchgeführt würde. Zu erwarten wäre, dass der jeweilige Proband unter Berücksichtigung der Gesamtlänge des Weges und der dem zurückgelegten Streckenabschnitt entsprechenden verspürten Ermüdung seine Richtungswahl treffen könnte.

Kapitel 5

Anhang

5.1 Texturen der Tetraeder

- Brunnen



Abbildung 5.1: Afara-Brunnen



Abbildung 5.2: Springbrunnen



Abbildung 5.3: Gartenbrunnen



Platzsymbol:

Platzbezeichnung: Brunnenplatz

- **Camping**



Abbildung 5.4: Gruppenzelt



Abbildung 5.5: Wohnwagen



Abbildung 5.6: Igluzelt



Platzsymbol:

Platzbezeichnung: Campingplatz

- **Essen**



Abbildung 5.7: Burger



Abbildung 5.8: Schnitzel

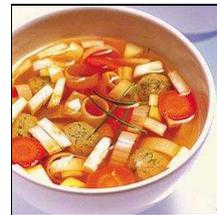


Abbildung 5.9: Suppe



Platzsymbol:

Platzbezeichnung: Restaurantplatz

• **Freibad**



Abbildung 5.10: Freibad



Abbildung 5.11: Badeinsel



Abbildung 5.12: Wasserrutsche



Platzsymbol:

Platzbezeichnung: Freibadplatz

• **Glücksspiel**



Abbildung 5.13: Einarmiger Bandit



Abbildung 5.14: Jetons



Abbildung 5.15: Roulette



Platzsymbol:

Platzbezeichnung: Casinoplatz

• **Schiffe**



Abbildung 5.16: Fischerboot



Abbildung 5.17: Segelschiff



Abbildung 5.18: Motoryacht



Platzsymbol:

Platzbezeichnung: Schiffsplatz

• **Spiel**



Abbildung 5.19: Federwippe



Abbildung 5.20: Rutsche



Abbildung 5.21: Schaukel



Platzsymbol:

Platzbezeichnung: Spielplatz

• Sport



Abbildung 5.22: Basketball

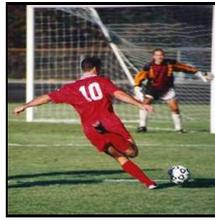


Abbildung 5.23: Fussball



Abbildung 5.24: Volleyball



Platzsymbol:

Platzbezeichnung: Sportplatz

• Strand



Abbildung 5.25: Strand mit Menschen



Abbildung 5.26: Hängematte



Abbildung 5.27: Strand mit Sonnenschirmen



Platzsymbol:

Platzbezeichnung: Strandplatz

- **Supermarkt**



Abbildung 5.28: Chips



Abbildung 5.29: Getränkemarkt



Abbildung 5.30: Shampooregal



Platzsymbol:

Platzbezeichnung: Supermarktplatz

5.2 Probandeninformation

Probandeninformation zum Experiment

Experiment: Navigation und Routenfinden
Name der Versuchsleiter: Dr. Gregor Hardiess, Reinhard Scholz

Sie werden an einem Experiment bezüglich einer Navigationsaufgabe teilnehmen, bei dem der Einsatz des Arbeitsgedächtnisses untersucht wird. Während des Experimentes werden ihre Bewegungen innerhalb der virtuellen Umgebung mit Hilfe des Experimentierrechners registriert.

Ihre persönlichen, während dieser Studie erhobenen Daten werden im Rahmen von wissenschaftlichen Publikationen - in anonymisierter Form - veröffentlicht und am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft gespeichert.

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

Tübingen, den _____
Unterschrift

Einverständniserklärung zur Teilnahme

Name der Versuchsperson (in Druckbuchstaben): _____

Ich erkläre mich bereit, an dem o.g. 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 5.31: Probandeninformation

5.3 Versuchsanleitungen

5.3.1 Baseline- Bedingung

Versuchsanleitung

Vielen Dank für Ihre Entscheidung, bei unserem Versuch mitzuwirken.

Die Anforderung des Experimentes besteht darin, die Positionen von verschiedenen Plätzen und deren Verbindungen untereinander in **ein und derselben** virtuellen **Umgebung** zu erlernen. Dabei ist es sehr wichtig, dass Sie sich während des gesamten Experimentes gut konzentrieren!

Der eigentliche Versuch besteht aus

- a) einer **Wahrnehmungs- und Lernphase**
- b) einer **anschließenden Testphase**.

Wahrnehmungsphase

In dieser Phase müssen **4 verschiedene Routen** innerhalb ein und derselben Umgebung, die aus jeweils einem Hin- und einem Rückweg bestehen, (insgesamt also **8 Strecken**) erkundet und anschließend gelemt werden.

Der Startpunkt (rot) jeder **der Hinwege** der 4 Routen ist **immer derselbe**. Wie beim Training bereits gesehen, haben Sie an jedem erreichten Platz **2 Möglichkeiten** weiter zu gehen. Die eine Abzweigung führt Sie hin zum nächsten Platz auf der Route, die andere weg von der Route. Sollten Sie die Route verlassen, werden Sie darauf hingewiesen und zum Betätigen der „Return“ = „Enter“ = „Eingabe“-Taste, sowie zum Umdrehen aufgefordert.

Sobald Sie richtig abbiegen und einen Platz in Richtung des nächsten (auf der jeweiligen Route befindlichen) Platzes verlassen, werden Sie dazu aufgefordert, die **bewußte Wahrnehmung der Abzweigung** des soeben verlassenen Platzes **mit der „Leertaste“ zu bestätigen**. Haben Sie den Zielplatz (grün) einer Route erreicht, beginnt die Lernphase dieser Route.

Lernphase

In der Lernphase haben Sie die Aufgabe, die soeben begangene Route so gut zu lernen, dass Sie diese 2-mal fehlerfrei in Folge (also ohne falsches Abbiegen) durchlaufen.

Sollten Sie während der Lernphase an einem Platz falsch abgebogen sein, werden Sie auf das Verlassen der Route hingewiesen und wieder auf den jeweiligen Routenstartpunkt zurückversetzt.

Nachdem Sie alle 4 Routen (also 8 Strecken, da jede Route aus einem Hin- und einem Rückweg besteht) gelemt haben, beginnt die Testphase.

Testphase

In der Testphase werden Sie mit **4 neuen Routen** innerhalb der soeben gelemten Umgebung konfrontiert. Jede dieser Routen müssen Sie je **einmal** vom Start bis zum Ziel **auf dem kürzesten Weg** ablaufen.

Dazu werden Sie jeweils an den entsprechenden Startpunkten abgesetzt. Gleichzeitig wird Ihnen ein Bild mit der Ansicht des Zielplatzes gezeigt, wie Sie diesen nach richtigem Ablauf der Route am Ende sehen werden. Diese Ansicht des Zielplatzes kann auch später, zu jedem Zeitpunkt, durch **kurzes Drücken** der „Return“ = „Enter“ = „Eingabe“-Taste, **für jeweils 5 Sekunden** eingeblendet werden.

Sollten Sie einen Zielplatz **innerhalb von 10 min nicht erreicht** haben, wird die aktuelle Zielplatzsuche abgebrochen und Sie werden auf den Startplatz der nächsten Route abgesetzt.

Nachdem Sie die vier Testrouten abgelaufen haben, ist der Versuch beendet.

Bitte konzentrieren Sie sich! Sie können nach jeder absolvierten Route eine kleine Pause machen.

Viel Spaß!

Abbildung 5.32: Versuchsanleitung: Baseline- Bedingung

5.3.2 Icons- Bedingung

Versuchsanleitung

Vielen Dank für Ihre Entscheidung, bei unserem Versuch mitzuwirken.

Die Anforderung des Experimentes besteht darin, die Positionen von verschiedenen Plätzen und deren Verbindungen untereinander in **ein und derselben** virtuellen **Umgebung** zu erlernen. Dabei ist es sehr wichtig, dass Sie sich während des gesamten Experimentes gut konzentrieren!

Der eigentliche Versuch besteht aus

- a) einer **Assoziations- und Lernphase**
- b) einer **anschließenden Testphase**.

Assoziationsphase

In dieser Phase müssen **4 verschiedene Routen** innerhalb ein und derselben Umgebung, die aus jeweils einem Hin- und einem Rückweg bestehen, (insgesamt also **8 Strecken**) assoziiert und anschließend gelernt werden.

Der Startpunkt (rot) jeder der **Hinwege** der 4 Routen ist **immer derselbe**. Wie beim Training bereits gesehen, haben Sie an jedem erreichten Platz **2 Möglichkeiten** weiter zu gehen. Die eine Abzweigung führt Sie hin zum nächsten Platz auf der Route, die andere weg von der Route. Sollten Sie die Route verlassen, werden Sie darauf hingewiesen und zum Betätigen der „Return“ = „Enter“ = „Eingabe“-Taste, sowie zum Umdrehen aufgefordert.

Sobald Sie richtig abbiegen und einen Platz in Richtung des nächsten (auf der jeweiligen Route befindlichen) Platzes verlassen, werden Sie dazu aufgefordert, dem soeben verlassenen Platz mit einem passenden Symbol aus einer eingeblendeten Liste zu assoziieren. Bei dieser Assoziation ist es wichtig, ein den Platz zutreffend beschreibendes Symbol zu wählen. Für jeden Platz gibt es nur **ein einziges korrektes** Symbol!

Bevor Sie ein Symbol auswählen, können Sie sich an Ort und Stelle auch noch umdrehen, um den Platz noch einmal anzuschauen. Außerdem ist es wichtig, dass Sie einen bestimmten Platz im Verlauf des Experimentes jeweils **mit demselben Symbol** belegen. Nachdem ein Platz mit einem Symbol assoziiert wurde, wird dieses über dem Platz eingeblendet.

Haben Sie den Zielplatz (grün) einer Route erreicht, beginnt die Lernphase dieser Route.

Lernphase

In der Lernphase haben Sie die Aufgabe, die Route deren Plätze soeben mit Symbolen assoziiert wurden, so gut zu lernen, dass Sie diese 2-mal fehlerfrei in Folge (also ohne falsches Abbiegen) durchlaufen.

Sollten Sie während der Lernphase an einem Platz falsch abgelenkt sein, werden Sie auf das Verlassen der Route hingewiesen und wieder auf den jeweiligen Routenstartpunkt zurückversetzt.

Nachdem Sie alle 4 Routen (also 8 Strecken, da jede Route aus einem Hin- und einem Rückweg besteht) gelernt haben, beginnt die Testphase.

Testphase

In der Testphase werden Sie mit **4 neuen Routen** innerhalb der eben gelernten Umgebung konfrontiert. Jede dieser Routen müssen Sie je **einmal** vom Start bis zum Ziel **auf dem kürzesten Weg** ablaufen.

Dazu werden Sie jeweils an den entsprechenden Startpunkten abgesetzt. Gleichzeitig wird Ihnen ein Bild mit der Ansicht des Zielplatzes gezeigt, wie Sie diesen nach richtigem Ablaufen der Route am Ende sehen werden. Diese Ansicht des Zielplatzes kann auch später, zu jedem Zeitpunkt, durch **kurzes Drücken** der „Return“ = „Enter“ = „Eingabe“-Taste, **für jeweils 5 Sekunden** eingeblendet werden.

Sollten Sie einen Zielplatz **innerhalb von 10 min nicht erreicht** haben, wird die aktuelle Zielplatzsuche abgebrochen und Sie werden auf den Startplatz der nächsten Route abgesetzt.

Nachdem Sie die vier Testrouten abgelaufen haben, ist der Versuch beendet.

Bitte konzentrieren Sie sich! Sie können nach jeder absolvierten Route eine kleine Pause machen.

Viel Spaß!

Abbildung 5.33: Versuchsanleitung: Icons- Bedingung

5.3.3 Words- Bedingung

Versuchsanleitung

Vielen Dank für Ihre Entscheidung, bei unserem Versuch mitzuwirken.

Die Anforderung des Experimentes besteht darin, die Positionen von verschiedenen Plätzen und deren Verbindungen untereinander in **ein und derselben** virtuellen **Umgebung** zu erlernen. Dabei ist es sehr wichtig, dass Sie sich während des gesamten Experimentes gut konzentrieren!

Der eigentliche Versuch besteht aus

- a) einer **Assoziations- und Lernphase**
- b) einer anschließenden Testphase.

Assoziationsphase

In dieser Phase müssen **4 verschiedene Routen** innerhalb ein und derselben Umgebung, die aus jeweils einem Hin- und einem Rückweg bestehen, (insgesamt also **8 Strecken**) assoziiert und anschließend gelernt werden.

Der Startpunkt (rot) jeder der Hinwege der 4 Routen ist **immer derselbe**. Wie beim Training bereits gesehen, haben Sie an jedem erreichten Platz **2 Möglichkeiten** weiter zu gehen. Die eine Abzweigung führt Sie hin zum nächsten Platz auf der Route, die andere weg von der Route. Sollten Sie die Route verlassen, werden Sie darauf hingewiesen und zum Betätigen der „Return“ = „Enter“ = „Eingabe“-Taste, sowie zum Umdrehen aufgefordert.

Sobald Sie richtig abbiegen und einen Platz in Richtung des nächsten (auf der jeweiligen Route befindlichen) Platzes verlassen, werden Sie dazu aufgefordert, den soeben verlassenen Platz mit einem passenden Begriff aus einer eingeblendeten Liste zu assoziieren. Bei dieser Assoziation ist es wichtig, einen den Platz zutreffend beschreibenden Begriff zu wählen. Für jeden Platz gibt es nur **eine einzige korrekte** Bezeichnung!

Bevor Sie einen Begriff auswählen, können Sie sich an Ort und Stelle auch noch umdrehen, um den Platz noch einmal anzuschauen. Außerdem ist es wichtig, dass Sie einem bestimmten Platz im Verlauf des Experimentes immer mit demselben Begriff belegen. Nachdem ein Platz mit einem Begriff assoziiert wurde, wird dieser über dem Platz eingeblendet.

Haben Sie den Zielplatz (grün) einer Route erreicht, beginnt die Lernphase dieser Route.

Lernphase

In der Lernphase haben Sie die Aufgabe, die Route deren Plätze soeben mit Begriffen assoziiert wurden, so gut zu lernen, dass Sie diese 2-mal fehlerfrei in Folge (also ohne falsches Abbiegen) durchlaufen.

Sollten Sie während der Lernphase an einem Platz falsch abgebogen sein, werden Sie auf das Verlassen der Route hingewiesen und wieder auf den jeweiligen Routenstartpunkt zurückversetzt.

Nachdem Sie alle 4 Routen (also 8 Strecken, da jede Route aus einem Hin- und einem Rückweg besteht) gelernt haben, beginnt die Testphase.

Testphase

In der Testphase werden Sie mit **4 neuen Routen** innerhalb der eben gelernten Umgebung konfrontiert. Jede dieser Routen müssen Sie je **einmal** vom Start bis zum Ziel **auf dem kürzesten Weg** ablaufen.

Dazu werden Sie jeweils an den entsprechenden Startpunkten abgesetzt. Gleichzeitig wird Ihnen ein Bild mit der Ansicht des Zielplatzes gezeigt, wie Sie diesen nach richtigem Ablaufen der Route am Ende sehen werden. Diese Ansicht des Zielplatzes kann auch später, zu jedem Zeitpunkt, durch **kurzes Drücken** der „Return“ = „Enter“ = „Eingabe“-Taste, **für jeweils 5 Sekunden** eingeblendet werden.

Sollten Sie einen Zielplatz **innerhalb von 10 min nicht erreicht** haben, wird die aktuelle Zielplatzsuche abgebrochen und Sie werden auf den Startplatz der nächsten Route abgesetzt.

Nachdem Sie die vier Testrouten abgelaufen haben, ist der Versuch beendet.

Bitte konzentrieren Sie sich! Sie können nach jeder absolvierten Route eine kleine Pause machen.

Viel Spaß!

Abbildung 5.34: Versuchsanleitung: Words- Bedingung

5.4 Fragebögen

5.4.1 Baseline- Bedingung

Fragebogen

Name: _____ Datum: _____ Geb.Datum: _____
Geschlecht: m w

Bitte kreisen Sie die Zahl ein, die am ehesten Ihrer Empfindung entspricht:

- Hat Ihnen das Experiment Spaß gemacht?
sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel
- Waren Sie motiviert?
sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel
- Wie schwer empfanden Sie das Experiment?
sehr schwer 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr leicht
- Wie gut schätzen Sie Ihre eigene Leistung beim Finden der Ziele ein?
sehr schlecht 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr gut
- Hatten Sie eine Strategie beim Erreichen der Ziele der einzelnen Routen?
Wenn ja, welche? Waren diese Strategien verschieden zwischen den ersten 8
Lern- und den letzten 4 Testrouten?

- Haben Sie Anregungen, Anmerkungen oder Kritik?

bitte wenden!

Abbildung 5.35: Fragebogen: Baseline- Bedingung

5.4.2 Baseline- Bedingung

- Bitte fertigen Sie eine Skizze der Umgebung an (Anordnung der Plätze und der Strecken zwischen den Plätzen) innerhalb der Sie gerade die Routen abgelaufen sind!

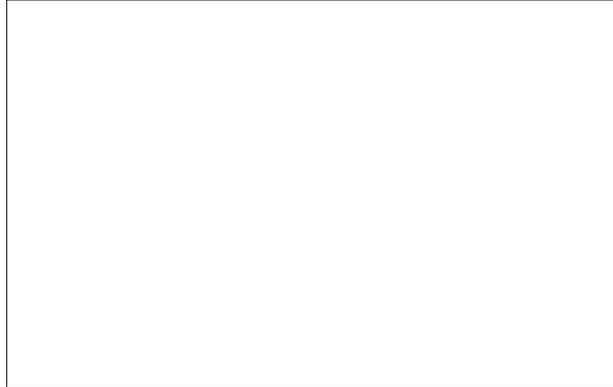


Abbildung 5.36: Fragebogen: Baseline- Bedingung

5.4.3 Icons- Bedingung

Fragebogen

Name: _____ Datum: _____ Geb.Datum: _____
Geschlecht: m w

Bitte kreisen Sie die Zahl ein, die am ehesten Ihrer Empfindung entspricht:

- Hat Ihnen das Experiment Spaß gemacht?
sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel
- Waren Sie motiviert?
sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel
- Wie schwer empfanden Sie das Experiment?
sehr schwer 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr leicht
- Wie gut schätzen Sie Ihre eigene Leistung beim Finden der Ziele ein?
sehr schlecht 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr gut
- Empfanden Sie die Zuweisung von Symbolen zu den Plätzen als hilfreich?
sehr wenig 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 sehr viel
- Hatten Sie eine Strategie beim Erreichen der Ziele der einzelnen Routen?
Wenn ja, welche? Waren diese Strategien verschieden zwischen den ersten 8 Lern- und den letzten 4 Testrouten?

- Haben Sie Anregungen, Anmerkungen oder Kritik?

bitte wenden!

Abbildung 5.37: Fragebogen: Icons- Bedingung

5.4.4 Icons- Bedingung

- Bitte fertigen Sie eine Skizze der Umgebung an (Anordnung der Plätze und der Strecken zwischen den Plätzen) innerhalb der Sie gerade die Routen abgelaufen sind!

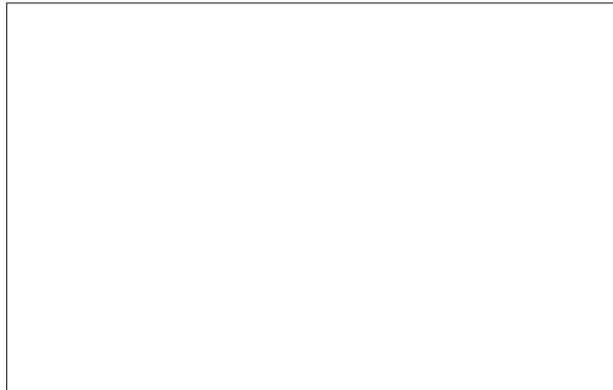


Abbildung 5.38: Fragebogen: Icons- Bedingung

5.4.6 Words- Bedingung

- Bitte fertigen Sie eine Skizze der Umgebung an (Anordnung der Plätze und der Strecken zwischen den Plätzen) innerhalb der Sie gerade die Routen abgelaufen sind!

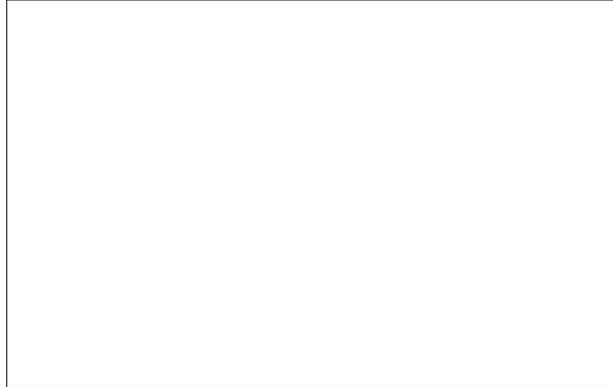


Abbildung 5.40: Fragebogen: Words- Bedingung

Verzeichnis der Abkürzungen

PC	Personal Computer
CPU	Central Processing Unit
MPU	Microprocessor Unit
RAM	Random Access Memory
IDE	Integrated Development Environment
HUD	Head Up Display
GUI	Graphical User Interface
OSG	Open Scene Graph
API	Application Programming Interface
LOD	Level Of Details
KDE	K-Desktop Environment
CAD	Computer Aided Design
PD	Public Domain
IGPL	lesser General Public Licence
OS	Open Source
OpenGL	Open Graphics Library
AGP	Accelerated Grapics Port
PCIe	Peripheral Component Interconnect Express

Literaturverzeichnis

- [GC08] Dedre Genter and Stella Christie. Darwins's mistake: Explaining the discontinuity between human and nonhuman minds. *BEHAVIOUR AND BRAIN SCIENCES*, doi:10.1017/S0140525X08003622:136–137, 2008.
- [KRR08] Nora S. Newcombe Kristin R. Ratliff. Is language necessary for human spatial reorientation? reconsidering evidence from dual task paradigms. *ScienceDirect*, Cognitive Psychology 56:159–160, 2008.
- [Mar07] Paul Martz. 1.5 introduction to scene graphs. *OpenSceneGraph Quick Start Guide*, 13:15:13–15, 14 June 2007.
- [MC] *The MultiGen Creator*.
- [SGMss] A.M. Weiß S. Gillner and H.A. Mallot. Visual place recognition and homing in the absence of feature-based landmark information. *Cognition*, in press.
- [TD04] ARIANE TOM and MICHEL DENIS. Language and spacial cognition: Comparing the roles of landmarks and street names in route instructions. *APPLIED COGNITIVE PSYCHOLOGY*, DOI: 10.1002/acp.1045:1227, 2004.
- [uHM98] Sabine Gillner und Hanspeter Mallot. Navigation and aquisition of spatial knowlegde in a virtual maze. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10:4:445–463, 1998.

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Tübingen, den 14. April 2010

Reinhard Scholz

