

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

Diplomarbeit Bioinformatik

**Untersuchung des visuellen und räumlichen
Arbeitsgedächtnisses für dynamische Objekte unter
Verwendung des Phänomens der Veränderungsblindheit**

Thomas Müller

20.07.2009

Betreuer: Dr. Gregor Hardieß

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

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Tübingen, den 20. Juli 2009

Thomas Müller

Danksagung

Ich möchte mich besonders bei Gregor Hardieß für die gute Betreuung und die vielen hilfreichen Ratschläge bedanken.

Großer Dank auch Isabel Focke und Ann-Christin Focke für das Korrekturlesen der Arbeit, meinen Eltern für ihre Unterstützung während meines Studiums, allen Mitarbeitern des Lehrstuhls für die angenehme Arbeitsatmosphäre während der letzten Monate und allen Versuchspersonen, die an den Versuchen teilnahmen.

Zusammenfassung

Das Arbeitsgedächtnis des Menschen ist für die temporäre Speicherung und Veränderung von Informationen zuständig. Es besteht aus unterschiedlichen Teilen, wobei einer, der visuell-räumliche Notizblock, für die Verarbeitung visueller und räumlicher Informationen wichtig ist. Eine Möglichkeit, die Inhalte des visuellen Arbeitsgedächtnisses abzufragen, besteht darin, zu untersuchen, welche visuellen Veränderungen in einer Szene von Probanden bemerkt werden.

In dieser Arbeit wird das visuelle und räumliche Arbeitsgedächtnis des Menschen unter Verwendung des Effektes der Veränderungsblindheit untersucht. Die Versuche, die in einer virtuellen Umgebung stattfanden, bestanden aus einer simulierten Kreuzungsanfahrt. Die Aufgabe der Probanden war es, Kollisionen mit den Autos des Querverkehrs zu vermeiden und zu entscheiden, ob nach einer Überblendung des Querverkehrs ein Auto auf der Querstraße fehlte oder nicht (*change detection*). Die Augen- und Kopfbewegungen der Probanden wurden während der Versuche aufgezeichnet, um daraus die Blickbewegungen zu rekonstruieren.

Es wird gezeigt, dass mit Hilfe des Phänomens der Veränderungsblindheit im Kreuzungsparadigma der Inhalt des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses adäquat abgefragt werden kann. Ein Fehlen von Autos der Querstraße, mit denen es eine Kollision geben würde, wird zwar häufiger detektiert, jedoch kommt dem entsprechenden Querstraßenbereich nicht mehr Aufmerksamkeit zu, gemessen durch Blickbewegungen der Probanden, als anderen Bereichen. Dies führt zu dem Schluss, dass die Verarbeitung der Information im visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis der Aufmerksamkeitssteuerung nachgeschaltet ist.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	vii
1 Einleitung	5
1.1 Das Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley	5
1.1.1 Die phonologische Schleife	6
1.1.2 Der visuell-räumliche Notizblock	6
1.1.3 Der episodische Puffer	7
1.1.4 Die zentrale Exekutive	7
1.2 Das VSTM	7
1.3 Veränderungsblindheit und Veränderungsdetektion	8
1.4 Motivation und Fragestellung	10
2 Material und Methoden	13
2.1 Erzeugung und Darstellung der experimentellen Umgebung	13
2.1.1 Erzeugung / OpenSceneGraph	13
2.1.2 Darstellung	15
2.2 Messen der Kopf- und Augenbewegungen	16
2.2.1 Messen der Kopfbewegungen	17
2.2.2 Messen der Augenbewegungen	17
2.3 Das Versuchsparadigma	18
2.3.1 Aufbau der virtuellen Umgebung und Überblick über die Aufgabenstellung	18
2.3.2 Aufbau des 1. Versuchs	20
2.3.3 Aufbau des 2. Versuchs	23
2.4 Die Experimentdurchführung	24
2.4.1 Probanden	24
2.4.2 Instruktion	25
2.4.3 Kalibrierung	25

2.4.4	Training	26
2.5	Auswertung der Daten	26
2.5.1	Konventionen	26
2.5.2	Auswertung und Statistik	27
2.5.3	Kriterien an die Daten der Probanden	27
3	Ergebnisse	29
3.1	Auswertung der Ergebnisse des 1. Versuchsaufbaus	29
3.1.1	Einteilung der Probanden in Gruppen	29
3.1.2	Reaktionszeiten	29
3.1.3	Abhängigkeit der Antwort von den Autopositionen	30
3.1.4	Blickbewegungen	33
3.2	Auswertung der Ergebnisse des 2. Versuchsaufbaus	39
3.2.1	Einteilung der Probanden in Gruppen	39
3.2.2	Reaktionszeiten	39
3.2.3	Abhängigkeit der Antwort von den Autopositionen	41
3.2.4	Blickbewegungen	42
4	Diskussion	49
4.1	Über den Versuchsaufbau	49
4.2	Probanden	50
4.3	Reaktionszeiten	51
4.4	Abhängigkeit der Antwort von den Autopositionen	52
4.5	Blickbewegungen	52
4.5.1	Gemeinsame Strategie	52
4.5.2	Blickpunkte und Fixationen	53
4.6	Ausblick	55
5	Zusammenfassung	57
	Anhang	59
	Literaturverzeichnis	63

Abbildungsverzeichnis

1.1	Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley	6
1.2	Zwei Experimente zur Untersuchung des VSTM	8
1.3	Experiment zur Untersuchung des VSTM mit dynamischen Objekten	8
1.4	One-Shot- und Flicker-Paradigma	9
2.1	Schematische Darstellung des Szenengraphen	14
2.2	Schematische Übersicht über das Leinwand-Setup	15
2.3	Versuchsperson vor der Leinwand	16
2.4	Headtarget des Headtracking-Systems	17
2.5	Eyetracker 'Model 501', ASL	18
2.6	Übersicht über den Aufbau der virtuellen Umgebung	19
2.7	Automodelle	19
2.8	Bilder der Anfahrt	21
2.9	Bilder der <i>change detection</i> -Aufgabe	22
2.10	Bild des Unfallschildes	23
2.11	Azimuth- und Elevationswinkel	27
3.1	<i>False alarm</i> - gegen <i>hit</i> -Raten und Unfallraten der Versuchspersonen (1. Versuchsaufbau)	30
3.2	Reaktionszeiten der Versuchspersonen der Gruppe VP_1 (1. Versuchsaufbau)	31
3.3	Reaktionszeiten bei <i>hit</i> - und <i>false alarm</i> -Antworten der Probanden der Gruppe VP_1 (1. Versuchsaufbau)	31
3.4	Anzahl der Versuchspersonen, die eine bestimmte Antwort gaben, in Abhängigkeit von den Positionen der Autos und deren Fahrtrichtungen (1. Versuchsaufbau)	32
3.5	Rohdatenplot	34
3.6	Blickspuren der Probanden der Gruppe VP_2 (1. Versuchsaufbau)	35
3.7	Auswertung der Blickpunkte der Probanden aus Gruppe VP_2 (1. Versuchsaufbau)	36

3.8	Auswertung der letzten Fixationen auf das verschwindende Auto (1. Versuchsaufbau)	38
3.9	<i>False alarm</i> - gegen <i>hit</i> -Raten und Unfallraten der Versuchspersonen (2. Versuchsaufbau)	40
3.10	Reaktionszeiten der Versuchspersonen der Gruppe VP_1 (2. Versuchsaufbau)	40
3.11	Reaktionszeiten bei <i>hit</i> - und <i>false alarm</i> -Antworten der Probanden der Gruppe VP_1 (2. Versuchsaufbau)	41
3.12	Reaktionszeiten bei <i>hit</i> -Antworten im zentralen und peripheren Querstraßenbereich der Probanden der Gruppe VP_1 (2. Versuchsaufbau)	41
3.13	Anzahl der Versuchspersonen, die eine bestimmte Antwort gaben, in Abhängigkeit von den Positionen der Autos und deren Fahrrichtungen (2. Versuchsaufbau)	43
3.14	Blickspuren der Probanden der Gruppe VP_2 (2. Versuchsaufbau)	44
3.15	Auswertung der Blickpunkte der Probanden aus Gruppe VP_2 (2. Versuchsaufbau)	45
3.16	Auswertung der letzten Fixationen auf das verschwindende Auto (2. Versuchsaufbau)	47

Tabellenverzeichnis

2.1	Definition der Antwortarten	26
3.1	Einteilung der Gruppen	29
3.2	Einteilung der Probanden des 2. Versuchsaufbaus in Gruppen	39

Kapitel 1

Einleitung

Im täglichen Leben nehmen wir ständig eine Fülle an Reizen aus der Umgebung auf. Die entsprechenden Informationen müssen verarbeitet und dabei miteinander und mit schon länger bekannten Informationen verglichen werden. Das Ergebnis der Verarbeitung bestimmt, ob auf einen Reiz eine Handlung erfolgt. Auf bestimmte Reize muss unter Umständen eine schnelle Handlung erfolgen, andere können hingegen unbeachtet bleiben. Die bewusste und unbewusste Verarbeitung von Informationen über die verschiedenen Sinne (Sehen, Hören, etc.), also die Aufnahme physikalischer Reize aus der Außenwelt und deren Kombination und Interpretation, wird als Wahrnehmung bezeichnet [She98]. Sie stellt den Übergang vom physikalisch messbaren zum subjektiven Erleben dar.

Beim Vergleich von Informationen muss auf das Gedächtnis zurückgegriffen werden. Unter Gedächtnis versteht man die Fähigkeit, Informationen aufzunehmen, zu speichern und wieder abzurufen. Das Gedächtnis kann hinsichtlich der Dauer der Informationsspeicherung unterteilt werden in das sensorische Gedächtnis, das Arbeitsgedächtnis sowie das Langzeitgedächtnis.

Das sensorische Gedächtnis behält Informationen für Millisekunden und macht diese für die weitere Verarbeitung zugänglich. Da davon ausgegangen wird, dass man für jede Sinneseinheit ein sensorisches Gedächtnis besitzt, kann es weiter in das ikonografische Gedächtnis für visuelle Informationen und das echoische Gedächtnis für auditive Informationen unterteilt werden. Es besitzt zwar eine größere Kapazität als das Arbeitsgedächtnis, jedoch verblassen die ersten Gedächtnisspuren bereits nach wenigen hundert Millisekunden.

Im Langzeitgedächtnis (*long term memory*, LTM) werden Informationen über Jahre gespeichert. Es kann unterteilt werden in das deklarative (explizite) Gedächtnis, in dem Fakten, wie mathematische Formeln, oder persönliche Erlebnisse abgespeichert werden und das nicht-deklarative (implizite) Gedächtnis, in dem u. a. automatisierte Verhaltensroutinen gespeichert werden (z. B. Bedienen der Gangschaltung beim Autofahren).

Das Kurzzeitgedächtnis (*short term memory*) oder Arbeitsgedächtnis des Menschen ist für die Speicherung von Informationen im Minutenbereich sowie deren Veränderung wichtig, besitzt jedoch nur eine geringe Kapazität (für 7 ± 2 Elemente, Millersche Zahl [Mil56]). Es stellt eine Schnittstelle zwischen Wahrnehmung, LTM und Handlung dar [Bad03].

1.1 Das Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley

Beim Arbeitsgedächtnismodell nach Alan D. Baddeley und Graham J. Hitch handelt es sich um ein Modell des Kurzzeitgedächtnisses, das ursprünglich ein Dreikomponentenmodell war, im Jahre 2000 allerdings durch Baddeley um eine vierte Komponente erweitert wurde [Bad00]. Im Zentrum der Verarbeitung steht die zentrale Exekutive, die für die Steuerung

und Koordination der Untereinheiten (*phonologische Schleife*, *visuell-räumlicher Notizblock* und *episodischer Puffer*) verantwortlich ist. Die Untereinheiten können wiederum mit dem LTM kommunizieren. Das Modell gilt heutzutage als anerkannt.

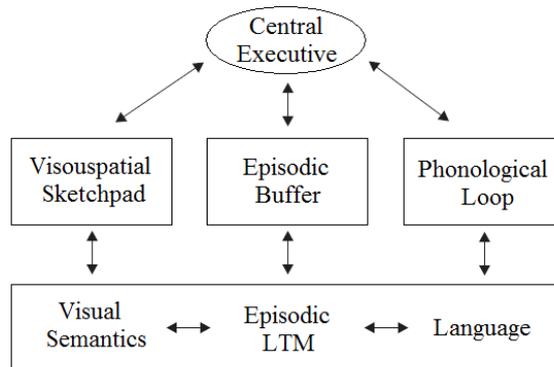


Abbildung 1.1: Arbeitsgedächtnissmodell nach Baddeley (angelehnt an [Bad01]).

1.1.1 Die phonologische Schleife

Die phonologische Schleife (*phonological loop*) ist der am Besten verstandene Teil des Arbeitsgedächtnisses und kann unterteilt werden in einen passiven phonologischen Speicher sowie einen artikulatorischen Auffrischungsprozess (*articulatory rehearsal system*). Wie der Name schon andeutet, ist er zuständig für die Verarbeitung akustischer und verbaler Informationen und kann diese für ca. zwei Sekunden speichern, sofern der gespeicherte Inhalt nicht ständig durch den Auffrischungsprozess erneuert wird [Bad01]. Der Auffrischungsprozess ist vergleichbar mit aktivem innerem Sprechen. Da er sich in Echtzeit vollzieht, besitzt der Speicher eine Obergrenze an Elementen, die darin abgelegt werden können. Bei steigender Anzahl an Elementen, die aufgefrischt werden müssen, ist irgendwann der Zeitpunkt erreicht, an dem das erste Element im Speicher verblasst, ohne wieder aufgefrischt worden zu sein [Bad03]. Die Kapazität der phonologischen Schleife kann auch durch Eigenschaften der zu merkenden Objekte beeinflusst werden. So wurde z. B. gezeigt, dass eine ähnlich klingende Folge von Buchstaben (V, B, G, T, P, C) schlechter erneuert werden kann als eine unähnliche Folge (W, X, K, R, Y)¹ [CH64, Bad66] und dass kurze Wörter besser gemerkt werden können als lange [Bad66]. Die Kapazität der phonologischen Schleife wird auch als Prädiktor für die Fähigkeit gesehen, eine Fremdsprache zu erlernen [Ser92, AB98].

1.1.2 Der visuell-räumliche Notizblock

Der visuell-räumliche Notizblock (*visuospatial sketchpad*) ist die Untereinheit, die für die temporäre Speicherung visueller Objekte und deren räumliche Anordnung zuständig ist (visuelles Arbeitsgedächtnis). In der Literatur und im Folgenden wird der Begriff *visual short-term memory* (VSTM) synonym zu *visuelles Arbeitsgedächtnis* verwendet. Dieser Teil des Arbeitsgedächtnisses steht im Mittelpunkt dieser Arbeit und wird deswegen in Kapitel 1.2 ausführlicher beschrieben.

¹Die Studie wurde auf Englisch durchgeführt.

1.1.3 Der episodische Puffer

Der episodische Puffer (*episodic buffer*) wurde von Baddeley nachträglich eingeführt [Bad00]. Es handelt sich hierbei um einen kapazitätsbeschränkten Zwischenspeicher, in dem Informationen in Episoden abgelegt sind. Die Informationen können dabei sowohl visuelle als auch phonologische Form haben (multimodaler Code). Der Puffer stellt eine Schnittstelle zwischen dem Arbeitsgedächtnis und dem LTM dar [Bad03] und wird von der zentralen Exekutive durch bewusste Kontrolle gesteuert.

1.1.4 Die zentrale Exekutive

Die zentrale Exekutive (*central executive*) ist der wichtigste, aber am wenigsten verstandene Teil des Arbeitsgedächtnisses. Ursprünglich wurde sie als eine Art Sammelstelle aller Prozesse angesehen, die keinem Subsystem eindeutig zugeordnet werden konnten, sowie als eine Schnittstelle zum LTM (vgl. Kapitel 1.1.3). Eine wesentliche Funktion besteht in der Aufmerksamkeitssteuerung. Diese wird in zwei Prozesse aufgeteilt. Der erste beruht auf Mustern und Gewohnheiten, die implizit äußere Signale verwenden, um Routineaufgaben zu erledigen (z. B. mit dem Auto häufig dieselbe Strecke fahren). Der zweite Prozess, das Überwachungs-Aktivierungs-System (*supervisory activating system*, SAS), wird benötigt, wenn ein neues Problem auftritt (z. B. platter Reifen). Etliche Studien liefern Belege für die Existenz des SAS (u. a. [SPWB14]). Die Unterscheidung zwischen automatisierter und überwachender Kontrolle kann auch in der Sozialpsychologie gefunden werden [BF00].

1.2 Das VSTM

Wie auch die phonologische Schleife ist der visuelle Teil des Arbeitsgedächtnisses auf einige wenige Objekte beschränkt, normalerweise auf ungefähr drei bis vier. Das VSTM kann in zwei Teile getrennt werden: einer ist für visuelle Informationen (z. B. Form, Farbe), der andere für räumliche Informationen (z. B. Objektposition, -bewegung) zuständig.

Eine Möglichkeit, das VSTM hinsichtlich der Anzahl der räumlichen Informationen, die in ihm gehalten werden können, zu untersuchen, stellt das *Corsi-Block-Tapping-Experiment* dar (Abbildung 1.2). Bei diesem Versuch sind zwischen dem Versuchsleiter und dem Probanden Holzblöcke positioniert. Der Versuchsleiter gibt durch Antippen der Blöcke verschiedene Sequenzen vor, die der Proband wiederholen muss. Es gibt drei Durchgänge pro Sequenzlänge, die allmählich erhöht wird. Die Sequenzlänge, die ein Proband in mindestens zwei Fällen korrekt wiedergeben kann, wird als Kapazität des räumlichen Teils des VSTM betrachtet. Die Kapazität des visuellen Teils kann mit einem Matrix-Experiment überprüft werden. Dem Probanden werden dabei im Laufe des Versuchs größer werdende Matrizen präsentiert, beginnend mit einer 2×2 -Matrix, in denen die Hälfte der Felder schwarz sind. Die Matrix wird anschließend entfernt und eine größere Matrix wird gezeigt. Die Versuchsperson muss entscheiden, ob die erste Matrix in der zweiten enthalten ist [Bad03] (Abbildung 1.2). Es konnte gezeigt werden, dass das Corsi-Experiment durch eine räumliche Interferenzaufgabe stärker beeinflusst wird als durch eine visuelle und dass das Gegenteil für das Matrix-Experiment gilt [SGB⁺99].

Viele Versuche untersuchen das VSTM in statischen Versuchsumgebungen. Es gibt jedoch auch Experimente, die die Kapazität des VSTM in einem dynamischen Zusammenhang erforschen. Bei einem solchen Experiment von Allen et al. ([AMPM06]) sollten die Probanden

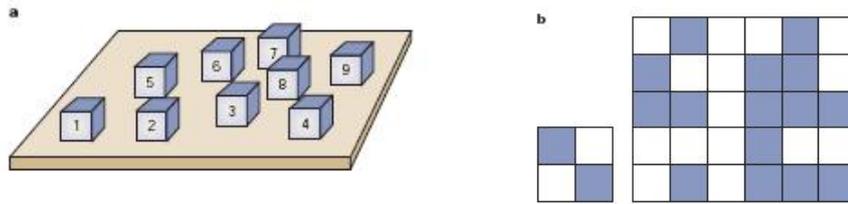


Abbildung 1.2: Zwei Experimente zur Untersuchung der Kapazität des VSTM (aus [Bad03]). (a) Die Versuchsanordnung des Corsi-Experiments. Der Experimentator gibt durch Tippen auf die Blöcke Sequenzen vor, die die Probanden wiederholen sollen. (b) Matrizen aus dem Matrix-Experiment. Die Versuchsperson sieht zunächst die kleine Matrix und soll nach deren Verschwinden entscheiden, ob sie in der danach präsentierten, größeren Matrix enthalten ist.

sich in einer ersten Phase eine Menge von einem bis fünf Objekten merken. In der zweiten Phase bewegten sich die Objekte durch den Raum und in der dritten Phase sollten die Probanden entscheiden, ob ein bestimmtes Objekt zu der anfänglich memorierten Menge von Objekten gehörte. In 90.9% der Fälle war die Antwort der Probanden korrekt, wenn nur ein Objekt verfolgt werden sollte. Dieser Wert nahm mit zunehmender Anzahl zu verfolgender Objekte ab (bis auf 64.5% bei 5 Objekten). Abbildung 1.3 verdeutlicht dieses Experiment.

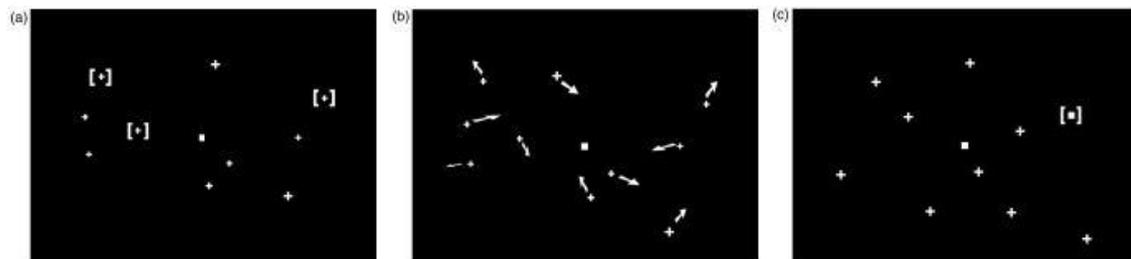


Abbildung 1.3: Experiment zur Untersuchung des VSTM mit dynamischen Objekten (aus [AMPM06]). (a) Die Objekte sind in Ruhe, durch Blinken wird dem Probanden angezeigt, welche Objekte er memorieren soll (hier durch Klammern angedeutet). (b) Die Objekte bewegen sich in unterschiedliche Richtungen. (c) Die Objekte stehen wieder still und der Proband soll entscheiden, ob das markierte Objekt eines der in der ersten Phase markierten Objekte ist.

Mit einem ähnlichen Experiment konnte gezeigt werden, dass die Kapazität des VSTM, beim Verfolgen dynamischer Objekte, auch stark von der Geschwindigkeit der Objekte abhängt. Bei langsamer Geschwindigkeit konnten die Probanden bis zu acht Objekte verfolgen. Diese Anzahl nahm mit zunehmender Geschwindigkeit ab, bis nur noch ein Objekt verfolgt werden konnte [AF07].

1.3 Veränderungsblindheit und Veränderungsdetektion

Die Begriffe Veränderungsblindheit (*change blindness*) und Veränderungsdetektion (*change detection*) beziehen sich auf den überraschenden Effekt, dass man Schwierigkeiten hat, sogar große Veränderungen, wie z. B. Objekte die ihre Farbe ändern, sich bewegen oder ganz verschwinden, in Bildern oder Szenen zu bemerken, wenn man diese Objekte nicht zufällig kurz vor Auftreten der Veränderung fixierte [ROC97, SL97]. Der Grund für dieses Phänomen liegt vermutlich in der begrenzten Kapazität des VSTM.

Zum Erforschen der *change blindness* werden häufig *change detection*-Versuche eingesetzt. Der Aufbau der Versuche folgt immer dem gleichen Muster: dem Beobachter wird zunächst ein Stimulus präsentiert (z. B. ein Bild), irgendeine Art von Änderung wird durchgeführt und die Antwort des Beobachters wird erfasst. Es muss sichergestellt sein, dass die Veränderung während der Versuche nicht als Bewegung registriert wird. Dies kann mit unterschiedlichen Methoden realisiert werden, wie z. B. Durchführung der Änderung während der Proband blinzelt oder während das komplette Bild verschoben wird (eine Übersicht ist in [Ren02] zu finden). Eine häufig angewandte Methode ist die Änderung des Bildes während einer kurzen Unterbrechung der Präsentation, z. B. durch einen schwarzen Bildschirm. Man spricht von einem One-Shot-Paradigma, wenn nach der Unterbrechung gewartet wird, bis der Proband die Veränderung detektiert, und von einem Flicker-Paradigma, wenn die Abfolge wiederholt präsentiert wird, entweder über eine gewisse Zeitspanne oder bis der Proband antwortet (siehe Abbildung 1.4) [Ren02]. In der vorliegenden Diplomarbeit wurde eine Variante des One-Shot-Paradigmas verwendet, bei der nur ein Teil des Bildes überdeckt wird.

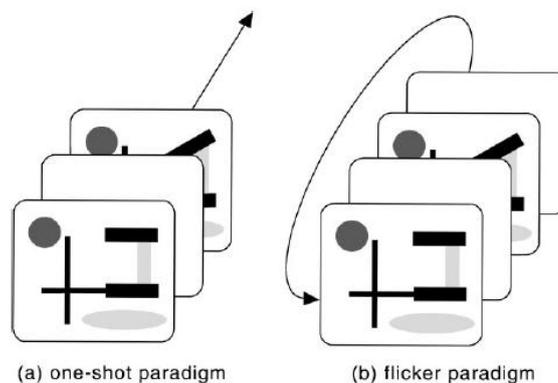


Abbildung 1.4: Schematische Darstellung zweier *change detection*-Paradigmen aus [Ren02]. (a) One-Shot-Paradigma. Es wird ein verändertes Bild nach einer Unterbrechung in der Bildpräsentation gezeigt, solange bis die Versuchsperson die Änderung detektiert. (b) Flicker-Paradigma. Wiederholte Abfolge des One-Shot-Paradigmas über einen bestimmten Zeitraum oder bis der Proband antwortet.

Bei unerwarteten Veränderungen kann der Effekt der *change blindness* sogar noch stärker ausfallen. So bemerkten viele Probanden in einem Versuch in der Realität den Austausch ihres Kommunikationspartners nicht, wenn der Sichtkontakt kurzzeitig unterbrochen wurde [SL98]. Im Allgemeinen wird ein hoher Grad an Veränderungsblindheit gefunden [Ren02] und es wurde gezeigt, dass es extrem schwer ist, das Fehlen einer Veränderung zu detektieren [Ren99, Ren00].

Nach Ballard et al. speichert der Mensch nur Informationen, die für die Bewältigung einer Aufgabe nötig sind [BHPR97]. Ein Großteil der Umgebung bleibt über einen gewissen Zeitraum typischerweise unverändert, so dass es nicht nötig ist jede Information abzuspeichern, die man sieht. Die Umgebung liefert somit redundante Informationen, auf die wie auf einen externen Speicher zugegriffen werden kann [O'R92]. Benötigt man eine visuelle Information, die nicht intern abgespeichert ist, so kann man diese durch Blicksprünge und Fixieren der entsprechenden Stelle der Umgebung erlangen. Dadurch kann der interne Speicher entlastet und Ressourcen können eingespart werden.

1.4 Motivation und Fragestellung

In den meisten Experimenten zur Untersuchung des VSTM sind die verwendeten Objekte eher abstrakter Art (z. B. Striche, Kreuze, Blöcke) und statisch. Um grundlegende Kenntnisse über das Arbeitsgedächtnis, z. B. über seine Kapazitätsgrenze, zu erlangen, sind diese Versuche gut geeignet. Sie sind jedoch nicht realitätsnah und geben keinen Aufschluss darüber, wie das visuelle Arbeitsgedächtnis im täglichen Leben eingesetzt wird. Am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft wurde im Laufe einer Patientenstudie [PHV⁺] ein sogenanntes „Kreuzungsparadigma“ entwickelt. Hierbei fahren die Probanden in einer virtuellen Umgebung auf eine Kreuzung zu, auf deren Querstraße sich Autos bewegen. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, Unfälle mit den Autos des Querverkehrs zu vermeiden.

Da die Ergebnisse dieses Paradigmas den Schluss zuließen oder zumindest nahe legten, dass die Probanden tatsächlich das VSTM zur Bewältigung der Unfallvermeidungsaufgabe verwendeten, wurde im Rahmen einer Diplomarbeit ein Folgeexperiment durchgeführt [Sto08]. Bei diesem Versuch sollten die Probanden wieder eine Unfallvermeidungsaufgabe in einer virtuellen Umgebung absolvieren. Die Probanden konnten nach einer passiven Anfahrtsphase, in der sie sich auf den Querverkehr konzentrieren sollten, mittels eines Joysticks ihr Auto beschleunigen oder abbremsen. Neben den Anfahrten, denen eine Unfallvermeidungsaufgabe folgte, gab es auch Anfahrten, bei denen der Zustand des VSTM der Probanden ermittelt werden sollte, indem sie eine kurz zuvor aufgetretene Verkehrssituation rekonstruieren sollten. Die Probanden sollten dafür nach der passiven Anfahrtsphase mittels eines Joysticks die Autos des Querverkehrs, an die sie sich noch erinnern konnten, möglichst genau auf der Straße positionieren.

Es wurde gezeigt, dass die Probanden ungefähr vier Autos pro Verkehrssituation positionierten. Deshalb wurde angenommen, dass die Probanden auch im Mittel vier Elemente in ihrem VSTM memorierten, was mit den in statischen Experimenten erzielten Ergebnissen übereinstimmt. Hauptsächlich wurden Autos im Bereich von 50m bis 0m vor der Kreuzung in Fahrtrichtung der Autos memoriert. Dies sind neben den Autos, mit denen es eine Kollision gegeben hätte, auch solche im zentralen Bereich, die nicht mehr relevant für die Unfallvermeidung sind, da sie schon über die Kreuzung gefahren sind, bis der Proband die Querstraße erreicht.

Allerdings hatte der Versuchsaufbau mit der Rekonstruktion der Verkehrssituation Nachteile. Da die Probanden Autos positionieren sollten, konnte es u. a. zu Fällen kommen, in denen ein Auto zwischen zwei in der eigentlichen Verkehrssituation vorhandenen Autos positioniert wurde. In solchen Fällen war es schwer bzw. unmöglich, mit Sicherheit zu entscheiden, welches Auto die Versuchsperson eigentlich positionieren wollte und somit im Arbeitsgedächtnis gespeichert hatte.

Um eindeutige Daten hinsichtlich der Position der Objekte, die im VSTM repräsentiert sind, zu erlangen, wurde in dieser Arbeit die Positionierungsaufgabe durch eine *change detection*-Aufgabe ersetzt. Diese stellt eine sehr direkte Methode dar, den Inhalt des VSTM einer Versuchsperson zu testen [DH07]. Die Aufgabe bestand darin, dass die Probanden nach einer passiven Anfahrtsphase, in der sie sich auf eine Unfallvermeidung vorbereiten sollten, und nach einer kurzen Überblendung der Querstraße entscheiden mussten, ob ein Auto auf der Querstraße fehlte oder nicht (siehe Kapitel 2.3). Es sollte untersucht werden, ob sich der Effekt der Veränderungsblindheit in diesem Paradigma anwenden lässt, um den Inhalt des VSTM abzufragen.

Sollte dies der Fall sein, so ließe sich des Weiteren untersuchen, ob es Bereiche auf der Querstraße gibt, in denen das Fehlen des Autos häufiger bemerkt wurde als in anderen Bereichen. Die genaue Position der Autos und somit auch die des verschwindenden Autos war zu jedem Zeitpunkt bekannt. Da nur genau ein Auto verschwinden konnte, konnte man davon ausgehen, dass die Probanden, wenn sie das Fehlen bemerkten, dieses Auto auch in ihrem VSTM repräsentiert hatten. Es war anzunehmen, dass Autos, mit denen es eine Kollision geben könnte, häufiger im VSTM repräsentiert waren als z. B. Autos, die die Kreuzung bereits passiert hatten. Die Reaktionszeiten der Versuchspersonen wurden ebenfalls betrachtet. Es sollte ermittelt werden, ob sie in der *change detection*-Aufgabe in Fällen, in denen sie antworteten es fehle ein Auto, schneller reagierten und somit sicherer in ihrer Antwort waren, wenn tatsächlich ein Auto fehlte, als wenn kein Auto fehlte.

Während der Versuche wurden die Kopf- und Augenbewegungen der Probanden aufgezeichnet. Mit Hilfe dieser Blickbewegungsdaten sollte untersucht werden, ob bei den Probanden eine gemeinsame Strategie zur Befüllung des VSTM gefunden werden kann. Es sollte außerdem untersucht werden, ob das VSTM Einfluss auf die Blickbewegungen hatte oder ob die Verarbeitung der Information im VSTM den Blickbewegungen nachgeschaltet war. Im ersten Fall müssten Bereiche der Querstraße, in denen für eine Kollision relevante Autos fahren, besonders häufig fixiert werden, im zweiten Fall müssten sich die Blickbewegungen auf der Querstraße verteilen. Schließlich sollte noch die Kapazitätsgrenze des VSTM untersucht werden. Je mehr andere Autos seit der letzten Fixation auf das in der *change detection*-Aufgabe verschwindende Auto fixiert wurden, umso schlechter sollte das Auto noch im VSTM repräsentiert sein. Die Kapazitätsgrenze wäre dann die maximale Anzahl anderer Autos, die fixiert werden können, ohne dass die Repräsentation des verschwindenden Autos im VSTM verblasst.

Kapitel 2

Material und Methoden

2.1 Erzeugung und Darstellung der experimentellen Umgebung

Um eine möglichst realitätsnahe Umgebung zu schaffen, wurden die Experimente auf einer Leinwand durchgeführt, die nahezu das komplette Sichtfeld der Probanden ausfüllte. Die Vorteile der virtuellen Umgebung liegen u. a. darin, dass die Versuche leichter zu realisieren sind als in der Realität und alle Parameter genau einstellbar sind. Äußere Einflüsse auf die Probanden werden minimiert und es bestehen für alle Probanden die gleichen Bedingungen. In diesem Abschnitt soll beschrieben werden, mit welchen Hilfsmitteln die virtuelle Umgebung aufgebaut und dargestellt wurde. Des Weiteren wird genauer auf den Aufbau der Leinwand eingegangen.

2.1.1 Erzeugung / OpenSceneGraph

Für die Erzeugung der virtuellen Umgebung wurden eine C++ Bibliothek (OpenSceneGraph, OSG) sowie ein 3D-Modellierungsprogramm verwendet. Die bisher am Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft vorhandenen Programme zur Visualisierung der Versuchsumgebung beruhten auf OpenGL *Performer*TM. OSG bietet im Vergleich zu OpenGL *Performer*TM den Vorteil, dass man an jeder Stelle im Program die Eigenschaften einer Grafik ändern kann. Bei OpenGL *Performer*TM war dies nur an den Blättern des Szenengraphen (siehe unten) möglich gewesen. Somit war zunächst eine Neu- bzw. Reimplementierung der vorhandenen Programme mit OSG nötig.

OSG ist ein plattformunabhängiges und komplett in Standard C++ geschriebenes 3D-Graphik-Toolkit [OSG09]. Es basiert auf OpenGL[®] und ist frei erhältlich. Da OSG ein objektorientiertes Framework bereit stellt, entbindet dies den Entwickler von der Implementierung und Optimierung von systemnahen graphischen Aufrufen und bietet zahlreiche zusätzliche Hilfsmittel für eine rasche Entwicklung graphischer Anwendungen. Damit eignet sich OSG gut für wissenschaftliche Arbeiten sowie für Anwendungen wie Flugsimulatoren oder Spiele und ist daher weit verbreitet. Für die Verwendung von OSG sprechen außerdem folgende Gründe:

- OSG erreicht eine hohe Leistung unter anderem durch Verwendung von *culling* und *Level Of Detail*. *Culling* bedeutet hierbei, dass nicht sichtbare Bereiche einer Szene auch nicht gezeichnet werden. So werden beim *view frustum culling* Objekte außerhalb des Sichtbereiches der Kamera (*frustum view*) und beim *occlusion culling* Objekte, die von anderen Objekten verdeckt sind, entfernt. Dadurch kann viel Rechenzeit eingespart werden, da nur ein Teil der Daten verarbeitet werden muss. Eine hohe Effizienz des *culling* wird außerdem durch die hierarchische Struktur des Szenengraphen erreicht (siehe unten). Das Konzept des *Level Of Detail* besteht in der Verwendung

unterschiedlicher Detailstufen, so dass entfernte Objekte nicht so detailliert dargestellt werden müssen wie Objekte in der Nähe des Betrachters. Auch dies steigert die Effizienz.

- Durch den Einsatz von *OpenGL state sorting* (ähnliche Objekte werden zusammen gruppiert) und *lazy state update* (nur Veränderungen in Zuständen werden gemeldet) wird die Anzahl der Befehle und Veränderungen, die aus- und durchgeführt werden müssen, minimiert. Dadurch wird die Graphik-Pipeline besser ausgenutzt und die graphische Durchsatzleistung erhöht.
- OSG basiert auf dem Konzept eines Szenengraphen. Ein Szenengraph ist ein Baum, dessen Wurzel die Gesamtszene enthält. Die Kindknoten enthalten Objekte der Szene oder Eigenschaften dieser Objekte. Ein Knoten kann wiederum ein Wurzelknoten für einen weiteren Szenengraph sein. Die Blätter stellen die jeweiligen physikalischen Objekte selbst dar. Updates des Szenengraphen verlaufen immer von oben nach unten. Der Vorteil eines Szenengraphen besteht darin, dass bei einer Veränderung eines Knotens (z. B. der Position eines Auto im Raum) die Unterknoten (z. B. die Reifen) automatisch mit verändert werden und nicht mehr manuell versetzt werden müssen. Der für diese experimentelle Umgebung erstellte Szenengraph ist in Abbildung 2.1 skizziert.

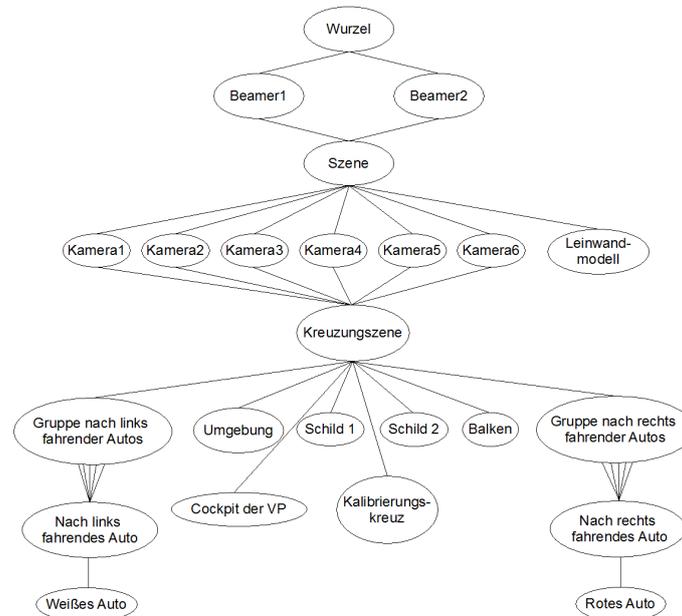


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung des Szenengraphen. Einem weißen Auto werden die Eigenschaften der nach links fahrenden Autos zugewiesen (Fahrtrichtung, Startpositionen, etc.). Aus diesem Knoten wird eine Gruppe nach links fahrender Autos erstellt. Analoges gilt für die roten Autos. *Umgebung* ist das Modell der 3D-Welt, in der die Kreuzung liegt. *Schild 1* ist das Schild, das erscheint, wenn der Proband keine Reaktion zeigt, *Schild 2* ist jenes, das bei einem Unfall eingeblendet wird. Diese Knoten bzw. Blätter sowie die Blätter *Cockpit der VP*, *Balken* und *Kalibrierungskreuz* sind Kinder der *Kreuzungsszene*. Die *Kreuzungsszene* ist wiederum der Kindknoten von sechs Kameraknoten, die das Bild der Kreuzung aus der Sicht des Probanden filmen und schließlich auf ein generiertes Modell der realen Leinwand werfen. Dies wird im Knoten *Szene* realisiert. Die beiden Beamer erhalten ihre Daten von diesem Knoten und werfen letztlich das Bild auf die reale Leinwand.

- OSG bietet eine gute Skalierbarkeit, da der Szenengraph so aufgebaut ist, dass er auch auf Mehrkern- und Multi-GPU-Systemen und Clustern funktioniert.
- Die OSG Bibliothek enthält eine Vielzahl von Node Kits. Node Kits sind separate Bibliotheken, die in Anwendungen eingebunden oder zur Laufzeit geladen werden können. Beispiele sind *osgFX* für Spezialeffekte oder *osgShadow* für Schattierungen.
- Zum Arbeiten mit Datenbanken stellt OSG in einer Datenbankbibliothek (*osgDB*) inzwischen 55 Plug-Ins zum Laden und Schreiben unterschiedlicher 3D-Datenbanken und Bildformate zur Verfügung.
- Da OSG vollständig in Standard C++ und OpenGL[®] implementiert ist, ist es auf allen gängigen Betriebssystemen lauffähig.

Zur Generierung und Bearbeitung der Modelle (z. B. der Bäume oder der Autos), aus denen mit OSG die Versuchsumgebung aufgebaut wurde, wurde das 3D-Modellierungs-Programm *MultiGenCreator* von MultiGen Paradigm, Inc. verwendet.

Die Einzelbilder wurden mit einer Frequenz von 60 Hz generiert und an den Ausgängen der Grafikkarte des Grafikkreiners¹ ausgegeben.

2.1.2 Darstellung

Die generierten Bilder wurden mit Hilfe eines Grafikkreiners und zweier Beamer auf eine Leinwand projiziert. Der Aufbau dieses Systems soll nun genauer beschrieben werden.

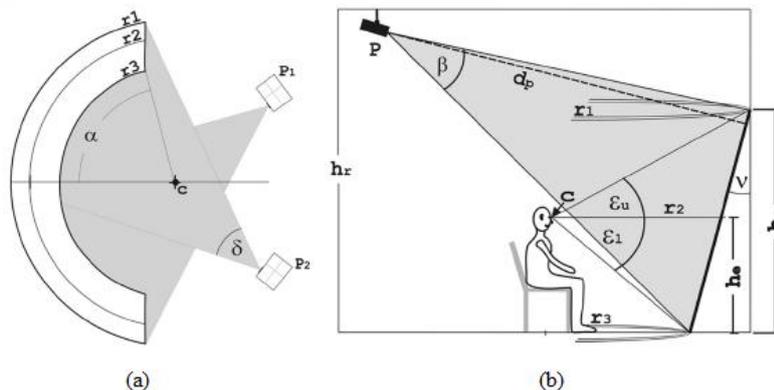


Abbildung 2.2: Schematische Übersicht über das Leinwand-Setup. (a) Ansicht von oben. (b) Ansicht von der Seite. α = Winkel des Kegelsegmentes / 2 = 75° , c = Zentrum des Kegelsegmentes, r_1 = oberer Radius des Kegelsegmentes = 1.83m, r_2 = Radius auf Augenhöhe = 1.62m, r_3 = unterer Radius des Kegelsegmentes = 1.29m, ϵ_u = oberes, vertikales Gesichtsfeld = 24° , ϵ_l = unteres, vertikales Gesichtsfeld = 43° , η = Neigung der Leinwand = 15° , β = vertikaler Ausfallwinkel des Projektors = 35° , δ = horizontaler Ausfallwinkel des Projektors = 47° , h_e = Augenhöhe der Versuchsperson = 1.2m, h_s = Höhe der Leinwand = 2.0m, h_r = Höhe des Raumes = 2.9m, P_1 , P_2 , P : Projektoren

Bei der Leinwand handelte es sich um ein nach hinten geneigtes Modell (siehe Abbildung 2.2). Die geometrische Form entsprach einem Kegeltumpfsegment von 150° mit einem oberen Radius von 1.83m und einem unteren Radius von 1.29m. Die Höhe der Leinwand betrug 2.0m, die Neigung 15° . Damit ergab sich ein horizontales Gesichtsfeld von 150° und

¹Prozessor: Intel[®] Core[™]2 CPU 6600, 2.40GHz, Geschwindigkeit: 2394.00 MHz, System: openSUSE[™]11.0, Grafikkarte: nVidia[®] GeForce[®] 9800 GTX

ein vertikales von 67° . Die Augenhöhe der Probanden während der Versuche maß 1.2m bei einer Entfernung von 1.62m zur Leinwand.

Der Grafikrechner (siehe Kapitel 2.1.1) war mit zwei Beamern vom Typ Sanyo PLC-XU46 verbunden, die die Bilder mit einer Auflösung von jeweils 1024×768 Pixeln und einer Frequenz von 60Hz auf die Leinwand projizierten. Die endgültige Projektion hatte somit eine Auflösung von 2048×768 Pixel. Damit die generierten Einzelbilder korrekt auf der gekrümmten Leinwand dargestellt werden konnten, mussten sie zunächst eine eigens für die Leinwand entwickelte Verzerrungsroutine durchlaufen (angelehnt an [RCWS98]), welche sich aus mehreren Schritten zusammensetzt. Zunächst wird ein virtuelles 3D-Modell der Leinwand generiert, auf das die in eine Textur umgewandelten Einzelbilder gelegt werden. Zwei virtuelle Kameras, deren Position in der virtuellen Welt der Position der beiden Beamer zur Leinwand entsprechen, filmen die Szene ab. Dieses abgefilmte Bild wird schließlich von den beiden Beamern auf die reale Leinwand projiziert. Wie in [HGM08] beschrieben, sind an den Linsen der Beamer seitlich Blenden angebracht, um einen Teil des Überlappungsbereiches der beiden Beamer auszublenden.

Abbildung 2.3 zeigt die Leinwand mit einer Versuchsperson.



Abbildung 2.3: Vor der Leinwand sitzende Versuchsperson mit Eyetracking-System und Headtracking-Target (siehe Kapitel 2.2).

2.2 Messen der Kopf- und Augenbewegungen

In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass ein Element bzw. eine bestimmte Region um ein Element fixiert werden muss, um im visuellen Arbeitsgedächtniss (VSTM) repräsentiert zu sein. Diese Annahme beruht u. a. auf Studien, die zeigten, dass zum Bemerkens einer Veränderung eines Objektes eine kurz zuvor erfolgte Fixation auf das Objekt nötig war [ROC97, SL97]. Zur Analyse der Fixationen, die wichtig für die Befüllung und das Überschreiben des Inhaltes des VSTM sind, wurden deshalb bei jedem Probanden die Kopf- und Augenbewegungen aufgezeichnet. Aus den so erhaltenen Daten wurden die Blickbewegungen und daraus schließlich die Fixationen berechnet. Die Aufzeichnung wurde mit Hilfe eines Head- und eines Eyetracking-Systems durchgeführt, die im Folgenden näher beschrieben werden sollen.

2.2.1 Messen der Kopfbewegungen

Die Probanden sollten während der Versuche ihren Kopf frei bewegen können. Die Blickbewegungen wurden jedoch relativ zum Kopf gemessen (siehe Kapitel 2.2.2). Deshalb war es notwendig, zu jedem Zeitpunkt die Lage des Kopfes im Raum zu kennen, um so die korrekten Blickpunkte berechnen zu können. Zur Messung der Kopfbewegungen kam das auf Infrarotlicht basierende Trackingsystem ARTtrack/DTrack der A. R. T. GmbH, Weilheim, Deutschland, zum Einsatz. Das System bestand aus sechs Infrarotkameras und einem sogenannten Headtarget (siehe Abbildung 2.4). Dieses wiederum setzte sich aus vier fest miteinander verbundenen Kugeln zusammen, die mit einem Infrarotlicht-reflektierenden Material überzogen waren. Es wurde über einen Magneten fix mit dem Eyetracker verbunden. Die Messung erfolgte mit einer Genauigkeit von 0.1° und einer Frequenz von 60Hz, bei einer maximalen zeitlichen Verzögerung von 40ms.

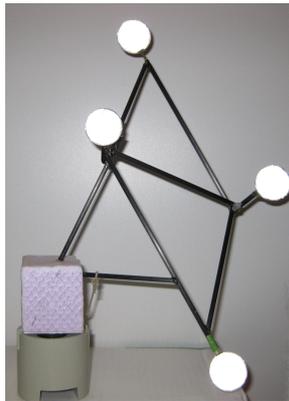


Abbildung 2.4: Headtarget des Headtracking-Systems.

2.2.2 Messen der Augenbewegungen

Zur Messung der Augenbewegungen kam das Eyetracking-System 'Model 501' der Applied Science Laboratories (ASL), Bedford, USA zum Einsatz. Dieses arbeitete ebenfalls mit Infrarotlicht. Das System bestand aus einer Art Helm, an dem eine Infrarotlichtquelle und eine Infrarotlichtkamera angebracht waren (siehe Abbildung 2.5). Infrarotlicht liegt nicht im sichtbaren Bereich, dadurch wird der Proband davon nicht geblendet. Die Lichtquelle und die Kamera wurden über dem linken Auge der Probanden platziert und so eingestellt, dass das Infrarotlicht über einen verstellbaren, semipermeablen Spiegel (Visor²) auf die Pupille des Probanden geworfen wurde. Dort wurde das Licht reflektiert und über den Visor wiederum zur Infrarotlichtkamera geleitet, die somit die Position des Auges aufzeichnen konnte. Der Fokus und die Ausrichtung der Kamera und der Lichtquelle konnten individuell an das Auge der Versuchsperson angepasst werden.

Am Helm befand sich des Weiteren eine normale Kamera, die für die Kalibrierung des Eyetrackers wichtig war, und eine Vorrichtung zum Anbringen des Headtargets.

Ein mitgeliefertes Hard- und Softwarepaket berechnete mit einer Frequenz von 60Hz aus der Position der Pupille und einer Cornea-Reflexion die Blickrichtung der Versuchsperson

²Der Visor reflektiert Infrarotlicht, ist aber durchlässig für normales Licht. Somit wurden die Probanden durch den sich im Sichtfeld befindlichen Visor kaum bis gar nicht eingeschränkt.

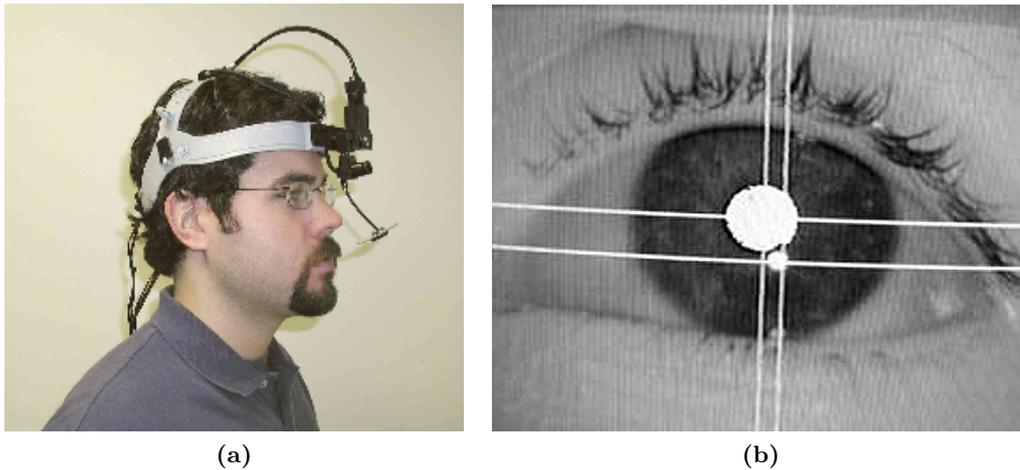


Abbildung 2.5: Abbildung aus [Sto08]. a) Seitenansicht des Eyetrackers. b) Bild des linken Auges, aufgenommen durch die Augenkamera des Eyetrackers. Cornea-Reflexion (kleiner Kreis) und Pupille (großer Kreis) werden vom Trackingsystem automatisch erkannt und markiert.

(siehe Abbildung 2.5). Dabei zeigte sich jedoch auch ein Nachteil des Systems. Wenn ein Proband seine Pupille zu weit nach links oder rechts bewegte, hatte der Eyetracker Probleme, die Pupille und/oder die Cornea-Reflexion korrekt zu erfassen³. Da dies zu Messfehlern führte, wurden die Probanden gebeten, wenn möglich den Kopf zu drehen, um solche Pupillenpositionen zu vermeiden.

Da die Blickrichtung der Versuchsperson relativ zu einer vor Messbeginn vorgenommenen Kalibration des Eyetrackers berechnet wurde, war es notwendig, den Eyetracker über eine Stellschraube möglichst fest an den Kopf des Probanden zu fixieren, um ein Verrutschen des Helms zu verhindern. Die Messung erfolgte mit einer hohen Genauigkeit (maximale Abweichung von $\pm 2^\circ$ in der Peripherie) und einer maximalen zeitlichen Verzögerung von 50ms.

2.3 Das Versuchsparadigma

In diesem Abschnitt werden der Aufbau der virtuellen Umgebung sowie der Ablauf der beiden im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche beschrieben.

2.3.1 Aufbau der virtuellen Umgebung und Überblick über die Aufgabenstellung

Die virtuelle Umgebung, in der die Versuche stattfanden, bestand im Wesentlichen aus zwei Straßen, die sich senkrecht kreuzten (siehe Abbildung 2.6) und an ihren Enden durch Tunnel begrenzt wurden.

Bei beiden Versuchsvarianten (siehe Kapitel 2.3.2 und 2.3.3) führen die Probanden vom 66.25m von der Kreuzung entferntem Startpunkt aus in Ego-Perspektive auf die Kreuzung zu. Auf der Querstraße führen mehrere Autos (siehe Abbildung 2.7) mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50km/h. Die einzelnen Anfahrten eines Probanden unterschieden sich

³Die Cornea-Reflexion ist über einen horizontalen Bereich von 40° - 50° des Sehfeldes detektierbar.

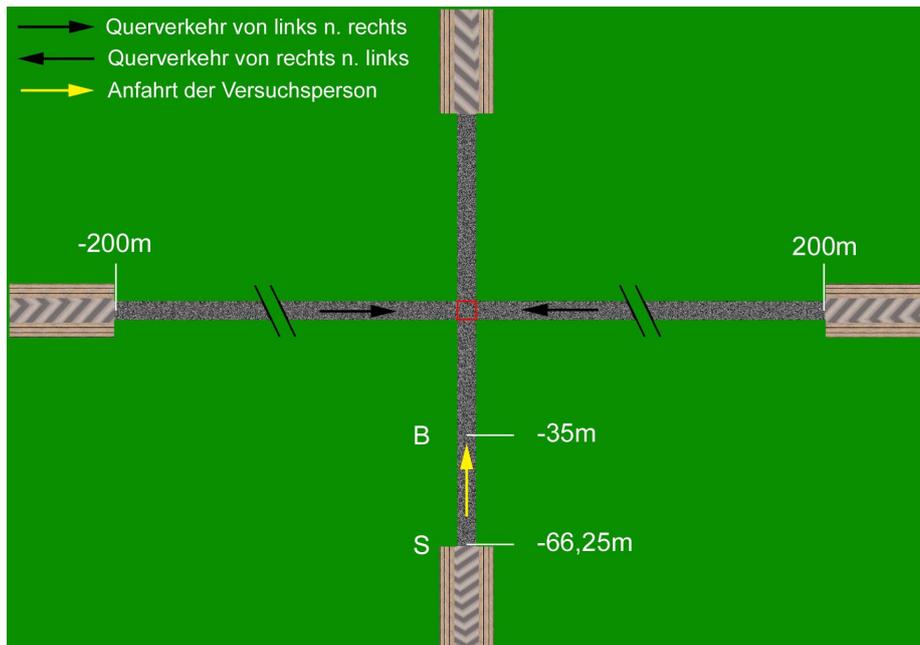


Abbildung 2.6: Übersicht über den Aufbau der virtuellen Umgebung. Die Pfeile geben die Fahrrichtungen der Versuchsperson (gelb) und des Querverkehrs (schwarz) an. Das rote Quadrat in der Mitte der Kreuzung stellt den Bereich dar, den ein Proband im Unfallvermeidungsteil überqueren musste, ohne mit einem Auto des Querverkehrs zu kollidieren. An jedem Straßenende begrenzte ein Tunnel den sichtbaren Bereich. S: Startpunkt, 66,25m vor der Kreuzung, B: Position, an der der Balken eingeblendet wurde (siehe Kapitel 2.3.2 und 2.3.3), 35m vor der Kreuzung.

in der Anzahl der Autos auf der Querstraße und in den Abständen der Autos untereinander. Zu Beginn jeder Anfahrt waren zwischen 10 und 21, zum Ende noch zwischen 8 und 14 Autos auf der Querstraße sichtbar. Die in eine Richtung fahrenden Autos besaßen jeweils dieselbe Farbe (weiß oder rot) und hatten eine Länge von 5m.



Abbildung 2.7: Die beiden in den Versuchen vorkommenden Automodelle.

Es gab zwei Arten von Aufgaben: Unfallvermeidung und *change detection* (siehe Kapitel 2.3.2 und 2.3.3). Bei der Unfallvermeidungsaufgabe sollte der Proband einen Unfall mit den Autos der Querstraße vermeiden. Alle Anfahrten waren so konstruiert, dass es auf jeden Fall zu einem Unfall kam, wenn die Versuchsperson nicht reagierte (also weder beschleunigte noch abbremste). Bei der *change detection*-Aufgabe sollte die Versuchsperson, nachdem die Querstraße kurzzeitig von einem schwarzen Balken bedeckt war, entscheiden, ob im Vergleich zur Querstraße vor der Verdeckung ein Auto fehlte oder nicht. Die Querstraße wurde dazu in 20 Messpunkte im Abstand von 10m, von -95m bis 95m , aufgeteilt. Der Wert 0 entsprach dabei dem Schnittpunkt der Quer- mit der Längsstraße.

2.3.2 Aufbau des 1. Versuchs

Die einzelnen Versuche der ersten Versuchsreihe bestanden aus drei Teilen: Anfahrt, *change detection* und Unfallvermeidung. Allen Versuchen war gemein, dass die nach links fahrenden Autos rot und die nach rechts fahrenden weiß waren.

Die Anfahrt

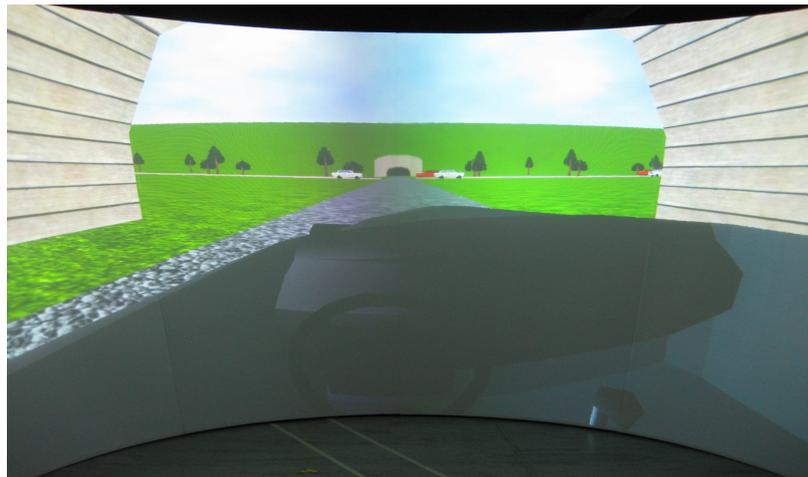
Jeder Versuch begann mit dem Anfahrtsteil. Dabei befand sich die Versuchsperson zunächst in einem Tunnel (Punkt S in Abbildung 2.6), aus dem sie nur einen Teil der Querstraße überblicken konnte. Die Versuchsperson konnte durch Knopfdruck selbst bestimmen, wann die Anfahrt beginnen sollte. Nach Drücken des Knopfes näherte sie sich mit einer konstanten Geschwindigkeit von 30km/h der Kreuzung. Die Autos auf der Querstraße starteten zeitgleich mit der Versuchsperson und fuhren mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50km/h. In dieser Phase konnte die Versuchsperson nicht aktiv in das Geschehen eingreifen, sie sollte sich vielmehr auf den Verkehr der Querstraße konzentrieren, um später einen Unfall zu vermeiden. Das Ende dieses Teils wurde bei Punkt B aus Abbildung 2.6 erreicht und der Versuchsperson durch Präsentation eines schwarzen Balkens über der Querstraße für 333ms angezeigt. Abbildung 2.8 zeigt eine Reihe von Bildern aus der Sicht des Probanden.

Die change detection-Aufgabe

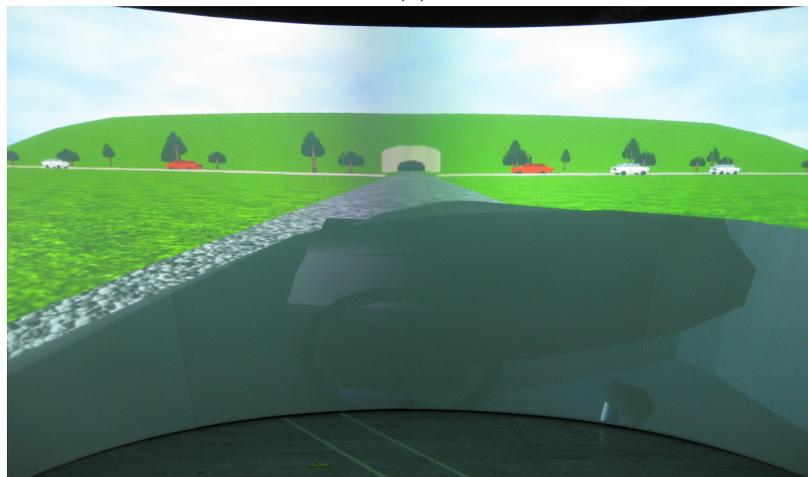
Der *change detection*-Teil begann mit dem Verschwinden des Balkens. In diesem Teil sollte die Versuchsperson entscheiden, ob im Vergleich zu dem Bild, das sie direkt vor Erscheinen des Balkens gesehen hatte und dem aktuellen Bild der Querstraße ein Auto fehlte oder nicht. Die Antwort konnte der Proband mit Hilfe eines Joysticks geben, wobei Drücken des Joysticks nach links hieß, dass kein Auto fehlte und es somit keine Veränderung gab, und Drücken des Joysticks nach rechts hieß, dass ein Auto verschwunden war. Die Probanden wurden angehalten, die Antwort schnellstmöglich zu geben. Vergingen 5s ohne Reaktion, wurde ein Schild mit der Aufschrift „*Bitte sofort entscheiden !!!*“ präsentiert. Sobald die Versuchsperson ihre Antwort gegeben hatte, erschien erneut für 333ms ein schwarzer Balken. Sollte ein Auto gefehlt haben, so war es nach der Balkenphase wieder sichtbar. Mit Verschwinden des Balkens, begann der dritte Teil. Abbildung 2.9 zeigt die Phasen des zweiten Teils mit einer Veränderung.

Die Unfallvermeidungsaufgabe

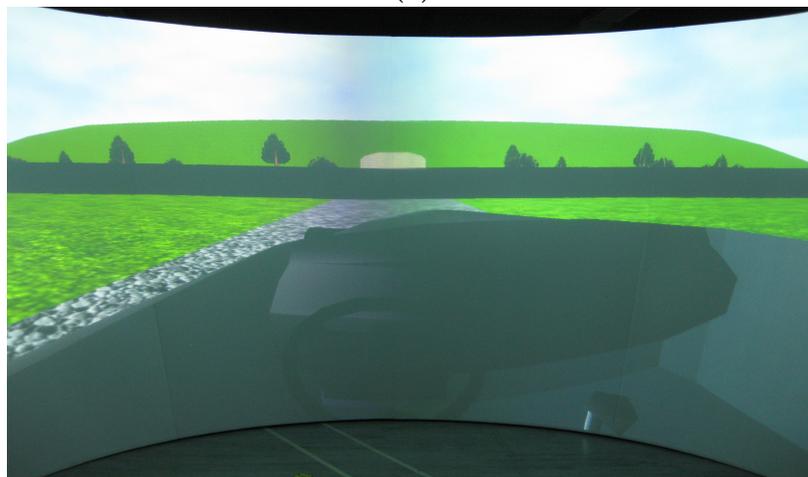
War der zweite Balken verschwunden, so musste die Versuchsperson einen Unfall mit den Autos des Querverkehrs vermeiden. Sie konnte dazu ihr Auto bis auf maximal 50km/h beschleunigen oder bis auf minimal 15km/h abbremsen. Dies wurde durch Drücken des Joysticks nach vorne (beschleunigen) oder Ziehen des Joysticks nach hinten (abbremsen) ermöglicht. Befand sich der Joystick in der Mittelstellung, fuhr das Auto der Versuchsperson wie zuvor mit 30km/h. Erfolgte keine Reaktion, kam es auf jeden Fall zu einem Unfall. Alle Anfahrten waren so konstruiert, dass die Überquerung der Kreuzung ohne Unfall möglich war. Kam es dennoch zu einem Unfall, wurde dies dem Probanden mittels eines Schildes mitgeteilt (siehe Abbildung 2.10). Die Aufgabe diente als Kontrolle, ob die Probanden mit



(a)

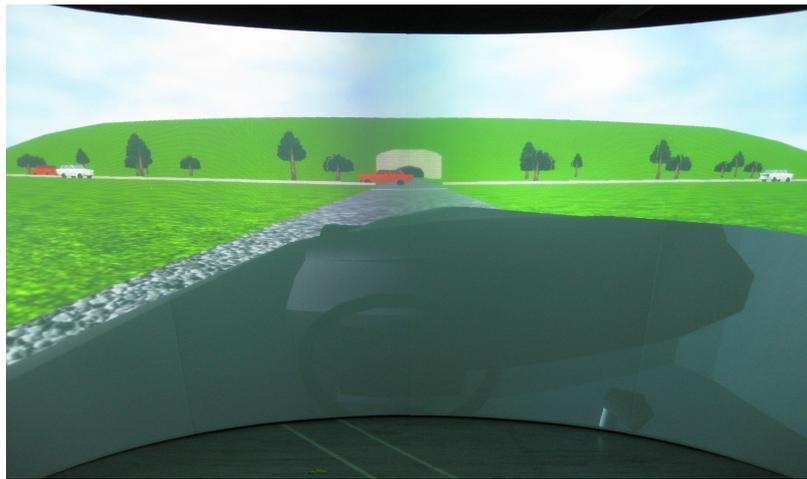


(b)

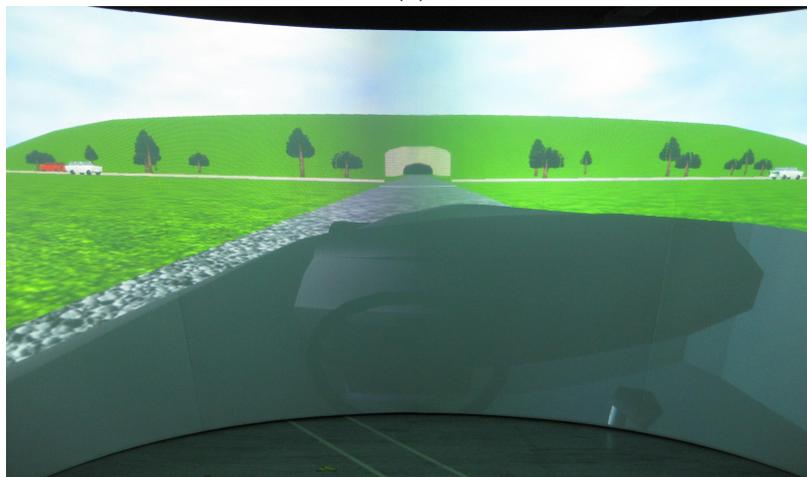


(c)

Abbildung 2.8: Bilder der Leinwand während der Anfahrt. (a) Zu Beginn der Anfahrt befand sich das Auto der Versuchsperson in einem Tunnel, der die Sicht nach links und rechts beschränkte. (b) Während der Anfahrt konnte die Versuchsperson die Querstraße mit den darauf befindlichen Autos sehen. (c) Der Anfahrtsteil wurde mit dem Verdecken der Querstraße mittels eines Balkens beendet.



(a)



(b)



(c)

Abbildung 2.9: Bilder der Leinwand während der *change detection*-Aufgabe. (a) Straße kurz vor Ende des Anfahrteils. (b) Bild nach Präsentation des Balkens. Dies ist ein Beispiel für einen Fall, bei dem ein Auto (das rote Auto in der Mitte) fehlt. (c) Sollte sich die Versuchsperson nach 5s noch nicht entschieden haben, wurde ein Schild mit der Aufforderung zur Entscheidung gezeigt.

dem Versuchsaufbau zurechtkamen, und zur Steigerung ihrer Motivation⁴.



Abbildung 2.10: Bild der Leinwand, auf der das Schild, das auf den Unfall hinweist, zu sehen ist.

Da jeder Messpunkt in beide Fahrtrichtungen der Autos untersucht wurde, ergaben sich 40 Anfahrten, bei denen ein Auto fehlte. Dazu benötigte man noch einmal genauso viele Kontrollanfahrten, so dass jeder Proband insgesamt 80 Anfahrten zu absolvieren hatte.

2.3.3 Aufbau des 2. Versuchs

Bei der Durchführung des 1. Versuchs zeigte sich, dass nur wenige Probanden in der *change detection*-Aufgabe Ergebnisse produzierten, die gewissen Anforderungen entsprachen (siehe Kapitel 2.5.3), aber alle Probanden die Kollisionsvermeidung meisterten. Als Gründe wurden vermutet, dass die Bewältigung der Unfallvermeidung bei den Probanden durch aktives Eingreifen und Rückmeldung, ob es einen Unfall gab, mehr Interesse weckte als der *change detection*-Teil, und dass durch die *change detection*-Aufgabe die Pause zwischen dem Anfahrts- und dem Unfallvermeidungsteil so lang wurde, dass die Memorierungen, die während der Anfahrtsphase gemacht wurden, wieder verblassten. Da die Probanden dadurch wahrscheinlich zu Beginn der, für sie interessanteren, Unfallvermeidungsphase die Autos des Querverkehrs neu memorieren mussten, wurde der Anfahrtssteil für sie unwichtiger. Durch die gesunkene Aufmerksamkeit während der Anfahrtsphase und das fehlende Interesse die Aufgabe zu bewältigen, wurde es schwerer den Inhalt des VSTM der Probanden mittels der *change detection*-Aufgabe abzufragen.

Deshalb wurden im 2. Versuchsaufbau die Aufgaben des 1. Versuchsaufbau aufgeteilt, so dass nach der Anfahrtsphase entweder eine *change detection*- oder eine Unfallvermeidungsaufgabe zu bewältigen war. Darüber hinaus wurden bei der *change detection*-Aufgabe bei jeder Versuchsperson jeweils nur Autos aus einer der beiden Fahrtrichtungen entfernt. Des Weiteren waren bei diesem Versuch diejenigen Autos, die in die bei der *change detection*-Aufgabe relevanten Richtung fuhren rot und die in die entgegengesetzte Richtung fahrenden weiß. Dadurch sollte ein Einfluss der Autofarbe, bzw. des Kontrastunterschieds zwischen Autos und Hintergrund ausgeschlossen werden. Die Probanden wussten nicht,

⁴Erhöhung der Motivation durch Mitteilung, ob der Unfall vermieden wurde.

dass nur Autos einer Farbe bzw. Richtung fehlten⁵. Sie mussten bei diesem Versuchsaufbau ebenfalls 80 Anfahrten absolvieren. Bei 40 mussten sie eine *change detection*-Aufgabe, bei den anderen 40 eine Unfallvermeidungsaufgabe bewältigen. 20 der Anfahrten mit einer *change detection*-Aufgabe waren solche, bei denen ein Auto fehlte, bei den restlichen 20 fehlte dementsprechend kein Auto. Da in diesem Versuchsablauf nur eine Richtung untersucht wurde, wurden im Vergleich zum ersten Versuchsablauf pro Proband auch nur halb so viele Messpunkte betrachtet⁶. Die beiden unterschiedlichen Aufgabentypen wurden den Probanden in pseudo-randomisierter Reihenfolge präsentiert.

Anfahrt - change detection-Aufgabe

Die Anfahrtsphase und die *change detection*-Aufgabe entsprachen denen des ersten Versuchs (Kapitel 2.3.2). Nach erfolgter Antwort startete jedoch die nächste Anfahrt ohne Unfallvermeidungsaufgabe.

Anfahrt - Unfallvermeidungsaufgabe

Die Anfahrtsphase und die Unfallvermeidungsaufgabe entsprachen denen des ersten Versuchs (Kapitel 2.3.2). Auf den schwarzen Balken nach der Anfahrt folgte jedoch keine *change detection*-Aufgabe. Die Anfahrt ging sofort weiter und die Versuchsperson musste reagieren, um einen Unfall zu verhindern.

Somit wusste die Versuchsperson erst nach Verschwinden des Balkens, um welche Art von Aufgabe es sich handelte. Wurde ein statisches Bild der Kreuzung präsentiert, musste sie entscheiden, ob ein Auto fehlte. Ging die Anfahrt nach dem Balken weiter, musste sie die Unfallvermeidungsaufgabe bewältigen.

2.4 Die Experimentdurchführung

Die Experimentdurchführung dauerte bei beiden Versuchsanordnungen pro Versuchsperson ca. 40-60 min. Nachdem die Probanden die schriftliche Versuchserklärung gelesen und eine Einverständniserklärung unterschrieben hatten, wurden die Messgeräte angebracht und kalibriert. Nach einer Eingewöhnungsphase startete der eigentliche Versuch.

2.4.1 Probanden

Der 1. Versuchsaufbau (Kapitel 2.3.2) wurde mit 24 Versuchspersonen, der 2. Versuchsaufbau (Kapitel 2.3.3) mit insgesamt 26 Versuchspersonen (13 pro Richtung) durchgeführt. Dabei handelte es sich hauptsächlich um Studenten⁷. Sowohl beim ersten als auch beim zweiten Experiment waren neun der Probanden männlich.

⁵Auf Nachfrage konnte auch kein Proband sagen, dass nur rote Autos fehlten.

⁶1. Versuchsaufbau: 40 Messpunkte, 2. Versuchsaufbau: 20 Messpunkte pro Versuchsperson.

⁷Außerdem: eine Schülerin und zwei berufstätige Personen.

2.4.2 Instruktion

Zu Beginn wurde jede Versuchsperson gebeten, eine Versuchsbeschreibung zu lesen (siehe Anhang A.1 und Anhang A.2). Die schriftliche Form wurde gewählt, damit alle Probanden die gleichen Grundvoraussetzungen hatten und die Aufgabenstellung in ihrem eigenen Tempo durchgehen und eventuell Passagen mehrfach lesen konnten. Die Versuchspersonen wurden angehalten, bei auftretenden Fragen oder Unklarheiten beim Versuchsleiter nachzufragen. Des Weiteren wurden die Probanden darauf hingewiesen, dass bei Experimenten vor der Leinwand Schwindelgefühle auftreten können, ein Abbruch des Versuchs aber jederzeit möglich sei (auch unabhängig von Schwindelgefühlen⁸).

2.4.3 Kalibrierung

Da die Werte, die das Head- und das Eyetracking-System liefern, relativ zu einem durch die Kalibrierung festgelegten Nullpunkt sind, mussten vor jedem Versuchsbeginn die beiden Systeme kalibriert werden.

Für die Kalibrierung musste die Versuchsperson zunächst in die korrekte Position zur Leinwand gebracht werden. Dazu wurde die Versuchsperson aufgefordert, sich aufrecht und bequem in den dafür vorgesehenen Autositz zu setzen. Anschließend wurde der Sitz so eingestellt, dass die Augenhöhe des Probanden 1.2m betrug und der Kopf sich im Zentrum des von der Leinwand angedeuteten Kegelstumpfsegmentes befand. Befanden sich Sitz und Proband in der korrekten Position, so wurde der Eyetracking-Helm aufgesetzt und das Headtarget über einen Magneten damit fix verbunden. Da während der Kalibration der Kopf ruhig gehalten werden musste, wurde eine gepolsterte Kinnstütze verwendet, auf die die Versuchsperson den Kopf legen konnte. Nach der Kalibration wurde diese Stütze entfernt, so dass die Versuchsperson den Kopf bei den Versuchen frei bewegen konnte. Die Kalibrierung des Headtargets erfolgte durch Messung der Position des Targets im Raum und dauerte ca. 30s.

Anschließend wurde der Versatz des Headtargets zum Augenmittelpunkt gemessen, da bei der Messung der Blickbewegungen nicht die Kopfposition, bzw. die Position des Headtargets, sondern die Position der Augen im Raum zugrunde liegen sollten. Die Versuchsperson wurde gebeten, eine Infrarotlicht-reflektierende Kugel, die an einem Stab befestigt war, an die Nasenwurzel⁹ zu halten, so dass in einer einmaligen Messung der Vektor zwischen Mittelpunkt des Headtargets und der Nasenwurzel bestimmt werden konnte. Der erhaltene Vektor wurde bei der Berechnung der Augenposition berücksichtigt.

Bei der Kalibrierung des Eyetracking-Systems musste der Kopf ebenfalls still gehalten werden, weshalb auch hierbei die Kinnstütze zum Einsatz kam. Für die Kalibrierung wurde ein Quadrat aus 3×3 Punkten auf die Leinwand geworfen, deren Positionen bekannt waren. Die normale Kamera am Eyetracker-Helm musste dann so eingestellt werden, dass die vier Eckpunkte in den Ecken des zur Kamera gehörenden Monitors lagen. Die Probanden wurden gebeten, die neun Punkte der Reihe nach zu fixieren, wobei für jeden der Punkte eine Messung durchgeführt wurde. Dadurch wurde jedem der Punkte eine (x,y) -Koordinate auf der virtuellen Karte des Eyetrackers, die aus 241×261 Punkten bestand, zugeordnet. Der Eyetracker lieferte im Folgenden bei jeder Messung eine, in Bezug auf die neun Kalibrationspunkte interpolierte, (x,y) -Koordinate der Blickrichtung.

⁸Keinem Probanden wurde schwindelig, ebenso wollte kein Proband vorzeitig abbrechen.

⁹Dies ist zwar nicht der exakte Augenmittelpunkt, jedoch für die Berechnung deutlich präziser, als die Verwendung der Position des Headtargets.

2.4.4 Training

Jede Versuchsperson machte in einer Art Aufwärmphase einige Probeanfahrten. Dies sollte dem Probanden die Möglichkeit geben, sich an die Leinwand, die Geräte sowie den Ablauf zu gewöhnen. Bei den ersten Probeanfahrten wurde der Versuch nochmals während der einzelnen Phasen bzw. Aufgaben erklärt, so dass eventuell noch vorhandene Missverständnisse ausgeräumt werden konnten. Bei der ersten Versuchsanordnung wurden 5 Probeanfahrten, bei der zweiten Versuchsanordnung 10 Probeanfahrten vollführt. Die Probanden hatten die Möglichkeit, die Probeanfahrten zu wiederholen, wenn nach den Anfahrten noch Unsicherheiten bestanden¹⁰.

2.5 Auswertung der Daten

2.5.1 Konventionen

Der Begriff *hit* bezeichnet im Folgenden die Fälle, bei denen in einer *change detection*-Aufgabe ein Auto fehlte und der Proband dies korrekt wiedergab. Wenn kein Auto fehlte, die Versuchsperson dies aber fälschlicherweise als fehlend angab, so gilt dies als ein *false alarm*. Ein *miss* trat auf, wenn ein Auto fehlte und die Versuchsperson dies nicht bemerkte. Fehlte kein Auto und der Proband antwortete korrekt, so ist von einer *correct rejection* die Rede (siehe Tabelle 2.1).

		Auto auf Querstraße	
		fehlt	fehlt nicht
Antwort	Auto fehlt	<i>hit</i>	<i>false alarm</i>
	Auto fehlt nicht	<i>miss</i>	<i>correct rejection</i>

Tabelle 2.1: Definition der Antwortarten

Es konnten zwei Arten unfallrelevanter Autos unterschieden werden: Autos, die sich in einem Bereich von ca. -45m bis ca. -71m links der Kreuzung befanden und nach rechts fahren sowie Autos rechts der Kreuzung in einem Bereich von ca. 45m bis ca. 71m , die nach links fahren. Um z. B. die Anzahl der *hit*-Antworten bei unfallrelevante Autos betrachten zu können, war es nötig, die Ergebnisse der beiden Fahrrichtungen am Nullpunkt gespiegelt zu addieren. Dabei wurde die Anzahl der *hit*-Antworten bei Autos, die auf die Kreuzung zu bzw. von der Kreuzung weg fahren, an äquivalenten Stellen summiert. Sei Punkt $p_1 = 15\text{m}$ und Punkt $p_2 = -15\text{m}$. Der Datenpunkt p_2 entspricht einem Punkt vor der Kreuzung für Autos, die nach rechts fahren, aber einem Punkt hinter der Kreuzung, für Autos, die nach links fahren. Somit entspricht, wenn man die Fahrtrichtung der Autos einbezieht, der Punkt p_1 eines nach links fahrenden Autos Punkt p_2 eines nach rechts fahrenden Autos (jeweils 15m vor der Kreuzung).

¹⁰Davon machte jedoch kein Proband Gebrauch.

2.5.2 Auswertung und Statistik

MATLAB®

Die Auswertung der während dieser Arbeit aufgezeichneten Daten und der erzielten Ergebnisse erfolgte mit dem Softwarepaket MATLAB® von The MathWorks Company, Natick, USA. Es handelt sich dabei um ein kommerzielles, plattformunabhängiges Paket, das besonders zur Lösung mathematischer Probleme und zur grafischen Darstellung geeignet ist. Der Name leitet sich von *MATrix LABORatory* ab.

Auswertung der Blickbewegungen

Basierend auf den Daten der Head- und Eyetracking-Systeme wurden die Blickpunkte in Azimuth- und Elevationswinkeln (α und β) relativ zum Ursprung berechnet (Abbildung 2.11) (vgl. [HGM08]).

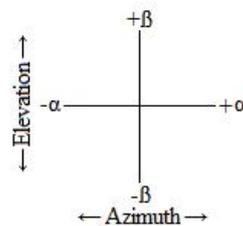


Abbildung 2.11: Azimuth- und Elevationswinkel.

Die Blickpunkte beinhalteten sowohl die Position des Kopfes im Raum als auch die Position der Augen im Kopf. Fixationen wurden folgendermaßen bestimmt: Um jeden Zeitpunkt t wurde ein Fenster w der Länge 100ms gelegt, in dessen Zentrum t lag. v_{\min} und v_{\max} seien die minimale bzw. maximale Blickgeschwindigkeit in $^{\circ}/s$, die innerhalb des Fenster w erreicht wurde. t wurde als Fixationspunkt betrachtet, wenn $v_{\max} - v_{\min} < 100^{\circ}/s$ galt. Diese Berechnung wurde für alle Zeitpunkte durchgeführt. Aufeinanderfolgende Fixationspunkte wurden schließlich zu einer Fixation zusammengefasst.

Wilcoxon-Rangsummentest

Wilcoxon-Rangsummentest ist ein zweiseitiger, nichtparametrischer Rangsummentest zum Vergleich zweier unterschiedlich großer Verteilungen. Die Nullhypothese sagt hierbei aus, dass die Daten zweier Verteilungen unabhängige Proben einer stetigen Gleichverteilung sind, die Alternativhypothese, dass die Lage der beiden Verteilungen verschieden ist. Der Test ist ein Äquivalent zum Mann-Whitney U-Test.

2.5.3 Kriterien an die Daten der Probanden

Ausschluss von Messfehlern

Bei der Aufzeichnung der Daten konnte es zu zwei Arten von Problemen kommen, die beide beachtet werden mussten. Bei der ersten handelte es sich um seltene, kurzfristige Ausfälle bei der Datenübertragung zwischen dem Head- oder Eyetracker-System und dem

Grafikrechner. In solchen Fällen wurde der ungültige durch den letzten gültigen Wert des jeweiligen Systems ersetzt und aufgezeichnet.

Das zweite Problem waren Messfehler des Eyetrackers (siehe Kapitel 2.2.2). Da diese während der Aufzeichnung nicht herausgefiltert wurden, mussten die Daten vor der Auswertung auf Blickpunkte außerhalb der Leinwand untersucht werden. Probanden, bei denen mehr als 5% der Blickpunkte während der Anfahrten außerhalb lagen, wurden bei Auswertungen, in die die Blicke der Probanden einfließen, nicht berücksichtigt, da man davon ausgehen kann, dass der Eyetracker Probleme bei der Aufzeichnung der Augenbewegungen hatte.

Bestimmung des Erfolgskriteriums

Die Ergebnisse und damit die Leistungen der verschiedenen Versuchspersonen variierten stark. Ein Grund hierfür war, dass die meisten Versuchspersonen bei der *change detection*-Aufgabe die Tendenz hatten, eine der beiden möglichen Antworten zu präferieren. Sie hatten also entweder hohe *hit*- und *false alarm*-Raten¹¹ oder beide Raten waren niedrig (siehe Abbildung 3.1 (a)). Eine hohe *hit*-Rate hieß hierbei nicht automatisch, dass ein Proband eine optimale Performanz bei der Aufgabe zeigte. Es musste vielmehr auch die *false alarm*-Rate beachtet werden. Die Leistung eines Probanden wurde darüber hinaus von weiteren Faktoren wie Motivation oder Müdigkeit beeinflusst. Um auszuschließen, dass solche Faktoren die Auswertung zu stark beeinflussten, wurden in der Auswertung nur Daten der Versuchspersonen verwendet, für die galt:

$$\begin{aligned}hit - rate &> 0.5 \\false - hit - rate &< 0.5\end{aligned}$$

Des Weiteren wurden die Daten von Probanden, die bei einem Großteil der Anfahrten stur geradeaus blickten, nicht in die Auswertung einbezogen (siehe Kapitel 3.1.4). Probanden, die diese Strategie verfolgten, konnten die Aufgabe vermutlich nicht mit Hilfe des VSTM gelöst haben, sondern verwendeten vermutlich eher eine *covert attention*-Strategie [Pos80] (siehe 4.5.1). Dabei wird die mentale Aufmerksamkeit auf Bereiche fokussiert, die nicht dem fixierten Bereich entsprechen.

¹¹Rate bezeichnet hierbei den prozentualen Anteil einer Antwortart von allen Antworten

Kapitel 3

Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die gewonnenen Ergebnisse präsentiert und ausgewertet. Sterne in Abbildungen bedeuten hierbei einen signifikanten Unterschied zweier Verteilungen auf dem 5% Niveau ($p < 0.05$) nach einem Wilcoxon-Rangsummentest. Als Fehlerbalken ist die einfache Standardabweichung angegeben.

3.1 Auswertung der Ergebnisse des 1. Versuchsaufbaus

3.1.1 Einteilung der Probanden in Gruppen

Anhand der Kriterien aus Kapitel 2.5.3 lassen sich die Probanden in drei Gruppen unterteilen (Tabelle 3.1). In Gruppe VP_1 werden jene Probanden zusammengefasst, die das Erfolgskriterium erfüllten und nicht nur geradeaus blickten. Dies waren die Probanden 3, 6, 9, 10, 13 und 21. Gruppe VP_2 fasst wiederum jene Probanden aus Gruppe VP_1 zusammen, deren Blickbewegungsdaten zusätzlich die Anzahl der zulässigen Messfehler nicht überschritten (Probanden 9, 10 und 13). Eine solche Unterscheidung ist sinnvoll, da für Auswertungen, die nur auf der Antwort und nicht auf den Blickbewegungen basieren, Fehler bei den Messungen der letzteren irrelevant sind. Als Gruppe VP_3 werden schließlich jene Probanden definiert, für die das Erfolgskriterium nicht zutraf. Die Messfehler in den Aufzeichnungen dieser Gruppe wurden deshalb nicht genauer betrachtet.

Gruppe	Erfolgskriterium ¹	weniger als 5% Messfehler
VP_1	✓	✓ / X
VP_2	✓	✓
VP_3	X	irrelevant

Tabelle 3.1: Einteilung der Gruppen. ✓ = Kriterium erfüllt, X = nicht erfüllt.

Abbildung 3.1 a zeigt die *false alarm*- gegen die *hit*-Raten der Versuchspersonen, Abbildung 3.1 b die Unfall-Raten prozentual für alle Anfahrten. Die Unfall-Raten lagen alle zwischen 16% und 36%.

3.1.2 Reaktionszeiten

Unter Reaktionszeit wird im Folgenden die Zeit verstanden, die im Abfrageteil ab dem Verschwinden des schwarzen Balkens bis zur Antwort des Probanden verging. Die Mittelwerte der Reaktionszeiten aller Versuchspersonen über alle Anfahrten lagen zwischen 1.26s und 3.23s, die Medianwerte zwischen 1.06s und 3.18s.

¹ $hit - rate > 0.5$, $false - hit - rate < 0.5$, ausreichende Streuung in den Blicken.

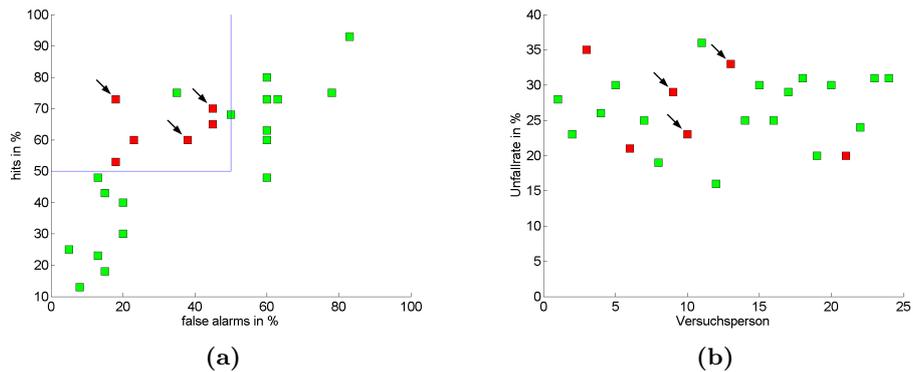


Abbildung 3.1: Die blauen Linien kennzeichnen das *hit*- bzw. *false alarm*-Kriterium. Rot dargestellt sind die Probanden der Gruppe VP_1 , die Pfeile kennzeichnen zusätzlich die der Gruppe VP_2 . Grüne Quadrate stehen für Probanden der Gruppe VP_3 . (a) *false alarm*- gegen *hit*-Raten der Versuchspersonen bei der *change detection*-Aufgabe. (b) Unfall-Raten der Versuchspersonen.

Abbildung 3.2 zeigt die Reaktionszeiten der Versuchspersonen der Gruppe VP_1 , aufgeteilt nach Art der Antwort (*hit*, *false alarm*, *miss* oder *correct rejection*). Die Zeiten der *hit*- und *false alarm*-Antworten werden in Abbildung 3.3 genauer betrachtet. Bei *hit*-Antworten müsste eine Reaktion im Mittel schneller erfolgen als bei *false alarm*-Antworten, da sich die Versuchsperson hier sicher sein sollte, dass ein Auto fehlte, da dies tatsächlich auch der Fall war. In Abbildung 3.3 a zeigt sich ein Trend, dass die Antwortzeiten bei *false alarm*-Antworten tatsächlich etwas länger sind als bei *hit*-Antworten. Nach dem Wilcoxon-Rangsummentest ($p < 0.05$) ist der Unterschied bei vier der sechs Probanden signifikant. Bei allen sechs Probanden ist der Mittelwert der Reaktionszeit bei *hit*-Antworten geringer als bei *false alarm*-Antworten. Nimmt man die Zeiten bei *hit*- und *false alarm*-Antworten aller Probanden aus Gruppe VP_1 zusammen und vergleicht diese, so zeigt sich ein signifikanter Unterschied. Der Mittelwert dieser Reaktionszeiten betrug bei *hit*-Antworten 1.88s und bei *false alarm*-Antworten 2.38s. Nur bei zwei Probanden der Gruppe VP_3 ist der Unterschied ebenfalls signifikant, so dass die Annahme, dass die meisten dieser Probanden nicht zwischen und *hit*- und *false alarm*-Antworten diskriminieren, tendenziell bestätigt wird.

Um zu überprüfen, ob die Versuchspersonen schneller reagierten, wenn das Auto in der Nähe der Kreuzung fehlte, wird die Querstraße in einen zentralen (-50m bis 50m) und einen peripheren Bereich ($< -50\text{m}$ und $> 50\text{m}$) eingeteilt. In Abbildung 3.3 b sind die Mittelwerte der Reaktionszeiten der Probanden der Gruppe VP_1 bei *hit*-Antworten in den beiden Bereichen dargestellt. Bei den Versuchspersonen 3 und 13 zeigt sich ein signifikanter Unterschied (Wilcoxon-Rangsummentest, $p < 0.05$). Bis auf Versuchsperson 9 reagierten die Probanden im zentralen Bereich etwas schneller als im peripheren Bereich. Vergleicht man alle Antwortzeiten des zentralen Bereichs mit denen des peripheren Bereichs, wird dieser Trend bestätigt, der Unterschied ist auf dem 5% Niveau signifikant.

3.1.3 Abhängigkeit der Antwort von den Autopositionen

Abbildung 3.4 beruht auf den Daten der sechs Probanden aus Gruppe VP_1 . Für jede Fahrtrichtung ist jeweils dargestellt, wie viele Versuchspersonen, in Abhängigkeit der möglichen Autopositionen, welche Antwort gaben. Für jeden Messpunkt gab es pro Versuchsperson eine Anfahrt, bei der ein Auto fehlte, und eine, bei der kein Auto fehlte. Somit ist die

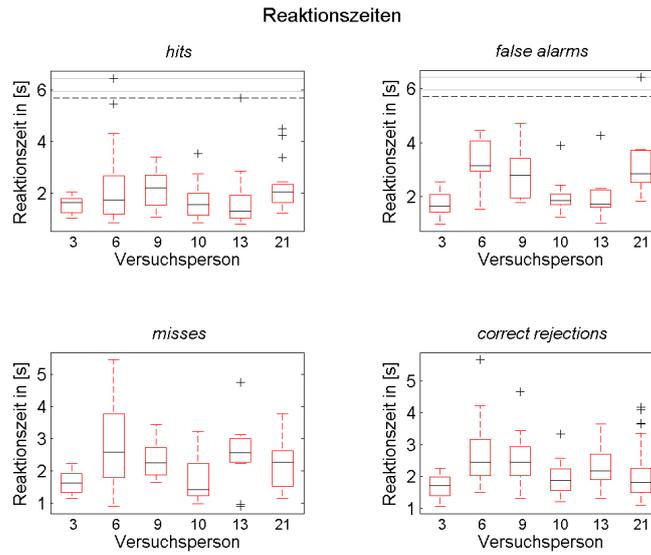


Abbildung 3.2: Reaktionszeiten der Versuchspersonen der Gruppe VP_1 , aufgeteilt nach Art der Antwort.

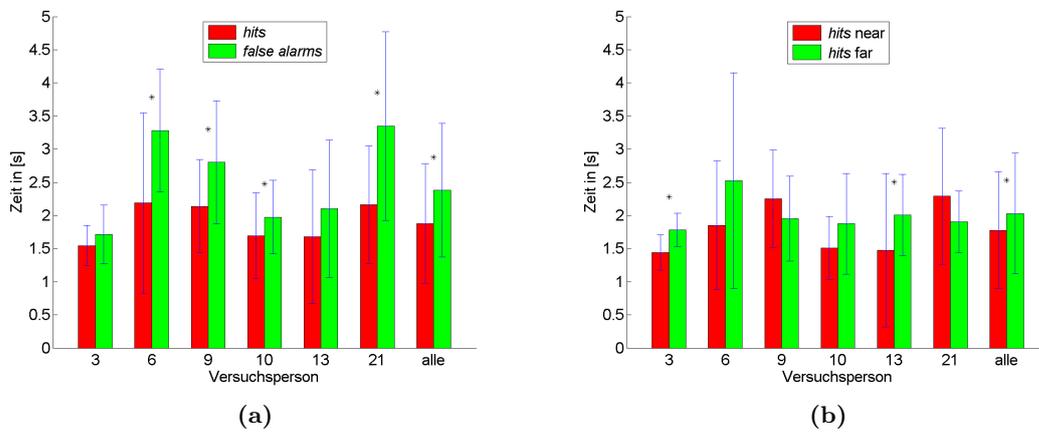


Abbildung 3.3: (a) Mittelwerte der Reaktionszeiten bei *hit*- und *false alarm*-Antworten der Probanden der Gruppe VP_1 im Vergleich. Unter 'alle' sind alle *hit*- und *false alarm*-Reaktionszeiten der Gruppe VP_1 zusammengefasst. (b) Mittelwerte der Reaktionszeiten im zentralen (*hits near*) und peripheren (*hits far*) Querstraßenbereich der Probanden der Gruppe VP_1 im Vergleich. Unter 'alle' sind alle Reaktionszeiten aus dem zentralen und peripheren Bereich der Gruppe VP_1 zusammengefasst.

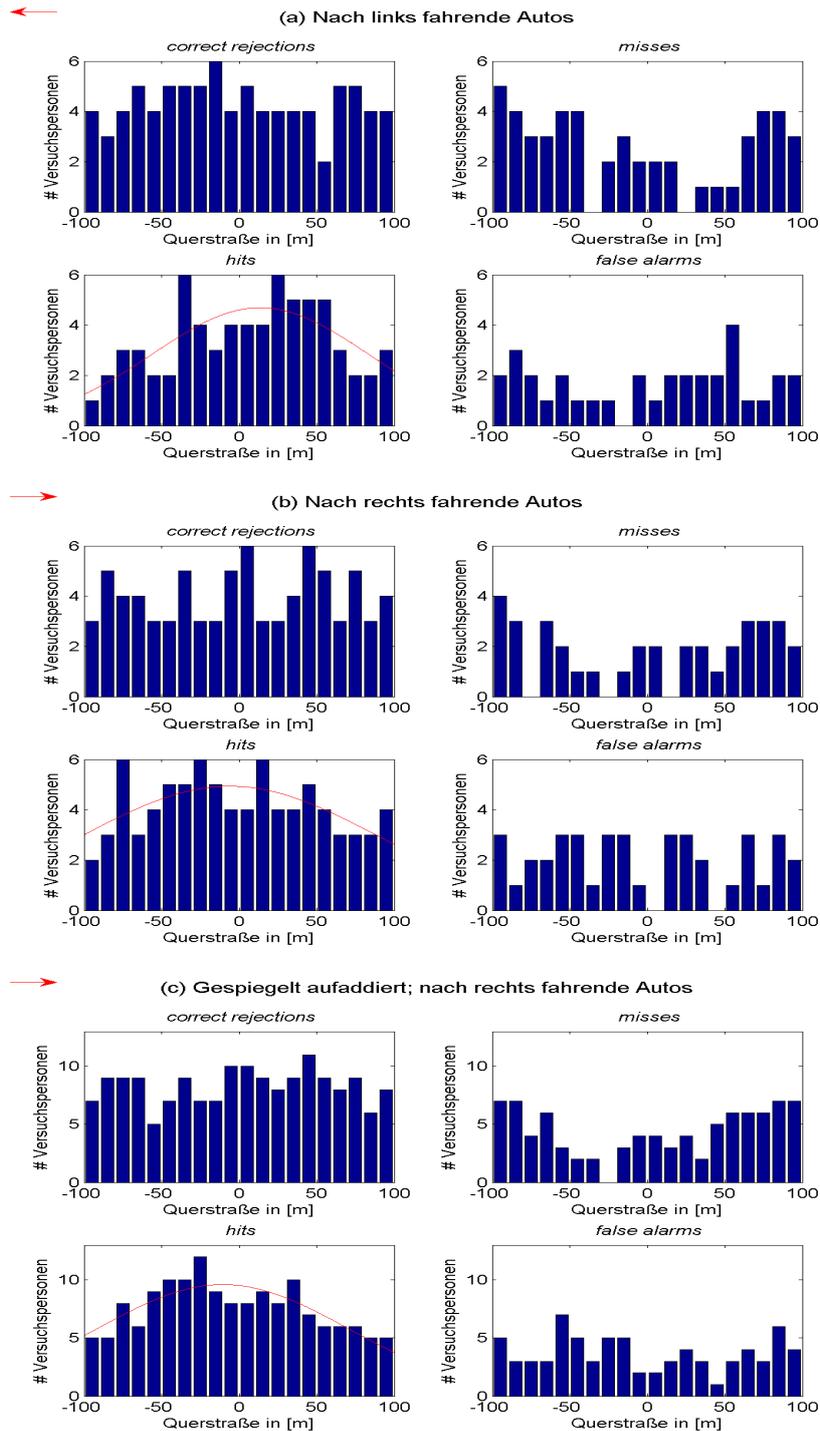


Abbildung 3.4: Anzahl der Versuchspersonen, die eine bestimmte Antwort gaben, in Abhängigkeit von den Positionen der Autos auf der Querstraße und deren Fahrtrichtungen. Der rote Pfeil gibt jeweils die Fahrtrichtung der Autos an. Die Daten der *hit*-Antworten wurden mit der Gauß-Verteilung gefittet. Es wurden die Daten der Probanden aus Gruppe VP_1 verwendet. (a) Autos an den Messpunkten fahren nach links. (b) Autos an den Messpunkten fahren nach rechts. (c) Ergebnisse von (a) und (b) gespiegelt aufaddiert, als ob alle Autos nach rechts fahren.

Summe der Versuchspersonen pro Messpunkt bei Anfahrten, bei denen ein Auto fehlte (*hits* und *misses*), gleich der Anzahl der Versuchspersonen in der Gruppe VP_1 . Die Anzahl der *miss*-Antworten ist deshalb an jeder Stelle komplementär zur Anzahl der *hit*-Antworten. Selbiges gilt für Anfahrten, bei denen kein Auto fehlte (*correct rejections* und *false alarms*). Die Ergebnisse der *hit*-Antworten wurden zur besseren Darstellung und Interpretation mit der Gauß-Verteilung gefittet. Abbildung 3.4 a zeigt die jeweilige Anzahl der Versuchspersonen, die pro Messpunkt eine bestimmte Antwort gaben und zwar für Anfahrten, in denen das jeweils betrachtete Auto nach links fuhr. Abbildung 3.4 b bezieht sich auf Anfahrten, in denen das Auto nach rechts fuhr. In Abbildung 3.4 c sind die Ergebnisse der Abbildungen 3.4 a und 3.4 b am Nullpunkt gespiegelt addiert dargestellt (siehe Kapitel 2.5.1). Dabei wird also z. B. der Wert des Messpunktes $p_1 = 95\text{m}$ nach links fahrender Autos auf den Wert $p_2 = -95\text{m}$ nach rechts fahrender Autos addiert. Somit fallen die Ergebnisse in Abbildung 3.4 c so aus, als würden die Autos alle nach rechts fahren. Dadurch kann besser ermittelt werden, ob das Fehlen unfallrelevanter Autos (in Richtung der Kreuzung fahrende Autos in einer Entfernung von ca. 45m - ca. 71m) öfter detektiert wurde und diese Autos somit auch besser im visuellen Arbeitsgedächtnis (VSTM) repräsentiert waren.

In Abbildung 3.4 a, also bei den nach links fahrenden Autos, erkennt man bei den *hit*-Antworten eine Häufung im Bereich von 25m bis 55m. Das Maximum der Gaußkurve ist im Vergleich zur Normalverteilung nach rechts verschoben und liegt bei 13.76m ($r^2 = 0.52$). Bei nach rechts fahrenden Autos ist das Maximum der Gaußkurve nach links verschoben (-5.89m, $r^2 = 0.35$, Abbildung 3.4 b). Eine Häufung korrekter Antworten ist im Bereich von -15m bis -45m zu erkennen. In Abbildung 3.4 c sieht man bei den *hit*-Antworten eine Häufung im Bereich -45m bis -25m. Die Gaußkurve ist nach links verschoben, mit einem Maximum bei -10.42m ($r^2 = 0.68$).

Allen drei Abbildungen ist gemein, dass die jeweilige Anzahl der *correct rejection*- und *false alarm*-Antworten relativ gleichmäßig über die einzelnen Messpunkte der Querstraße verteilt ist.

3.1.4 Blickbewegungen

Rohdatenplots

Mit Hilfe der von Head- und Eyetracker aufgezeichneten Daten kann nachträglich für jeden Zeitpunkt des Versuchs der aktuelle Blickpunkt der Versuchsperson auf der Leinwand berechnet werden. Erfüllen die Blickpunkte gewisse Kriterien (siehe Kapitel 2.5.2), so kann man davon ausgehen, dass es sich um eine Fixation handelt. Die Blickpunkte und Fixationen können dann z. B. mit den Positionen der Autos auf der Querstraße verglichen werden. Eine Fixation oder ein Blickpunkt wird einem Auto zugerechnet, wenn der Blickpunkt in einem Bereich von $\pm 5^\circ$ um die aktuelle Position des Auto liegt. Abbildung 3.5 zeigt zwei Rohdatenplots, aus denen sich gut zweierlei Strategien ablesen lassen:

- In Abbildung 3.5 a ist zu erkennen, dass der Proband mehrere Autos fixierte und seinen Blick über die Querstraße schweifen ließ. Das im Abfrageteil verschwundene Auto wurde kurz vor der Einblendung des ersten Balkens fixiert und das Fehlen in diesem Fall später auch richtig detektiert.
- Der in Abbildung 3.5 b dargestellte Plot zeigt einen Probanden, der bei den Anfahrten und im Abfrageteil meist nur geradeaus blickte und die Aufgabe wohl mit *covert attention* oder über Kontrastunterschiede zwischen den Autos der Querstraße und

dem Hintergrund löste (siehe 2.5.3).

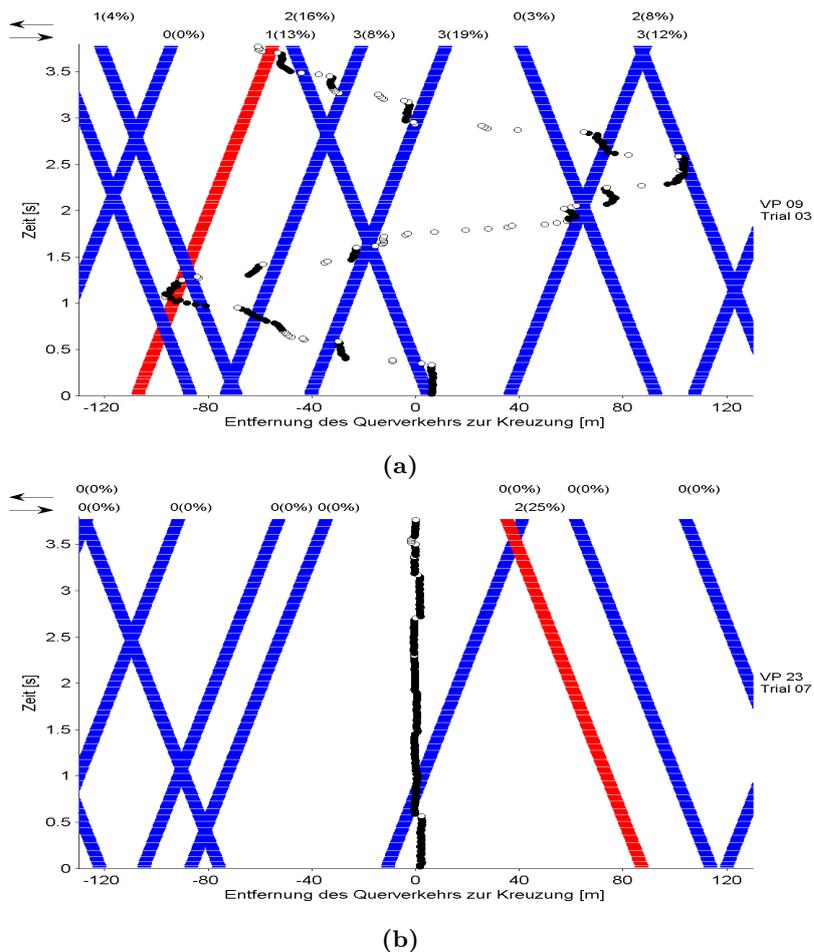


Abbildung 3.5: Rohdatenplot. Ausgefüllte Kreise stehen für Fixationen, leere Kreise für Blickpunkte, die keiner Fixation zugeordnet werden können. Die farbigen Linien stehen für Autos des Querverkehrs (das im Abfrageteil betrachtete Auto ist rot markiert). Sobald der Startknopf gedrückt wurde, veränderten die Autos ihre Position auf der Querstraße. Die Pfeile oben links kennzeichnen die Fahrrichtung der Autos. Die Zahlen stehen für die Anzahl der Fixationen pro Auto bzw. den Prozentsatz an Blickpunkten pro Auto. (a) Die Blickpunkte verteilen sich über die Querstraße. Es wurden mehrere Autos fixiert. (b) Starrer Blick in die Mitte.

Wie bereits in Kapitel 2.5.3 erläutert, werden aufgrund von Messfehlern und der Forderung nach einer ausreichenden Streuung in den Blickpunkten im Folgenden nur die Blickbewegungen der Versuchspersonen der Gruppe VP_2 näher betrachtet.

Blickpunkte und Fixationen aller Anfahrten

Um zu untersuchen, ob es bei denjenigen Probanden, die für die Bewältigung der Aufgabe vermutlich das VSTM befüllten, eine gemeinsame Lösungsstrategie gab, werden die Blickspuren aller Anfahrten der Versuchspersonen aus Gruppe VP_2 übereinander gelegt (Abbildung 3.6). Die Probanden blickten zunächst für ca. 0.25s noch geradeaus, da sie sich zu Beginn der Anfahrt noch im Tunnel befanden und nur ein kleiner Teil der Querstraße sichtbar war. Die Mehrzahl der Blickpunkte ging danach zunächst nach links, dann

nach rechts. Im weiteren Verlauf der Anfahrt verteilten sich die Blickpunkte stärker auf der Querstraße. Bei Blickpunkten außerhalb des für den Probanden sichtbaren Bereichs der Leinwand handelt es sich um Messfehler des Eyetrackers.

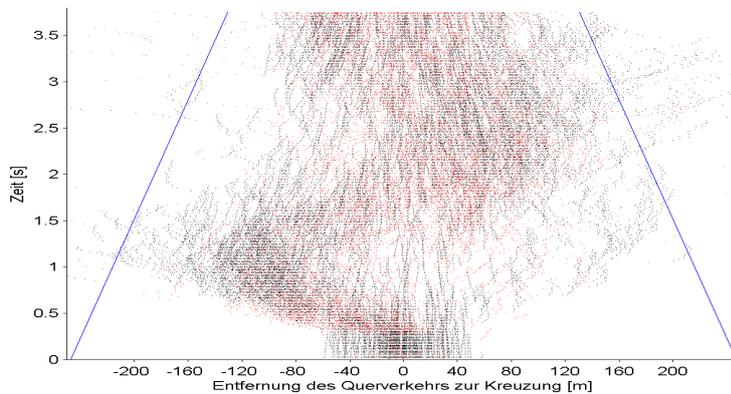


Abbildung 3.6: Blickspuren der Probanden der Gruppe VP_2 , ab Beginn der Anfahrt. Schwarze Punkte stehen für Fixationen, rote für Blickpunkte, die keiner Fixation zugeordnet werden können. Die blauen Linien an den Seiten kennzeichnen den jeweils sichtbaren Bereich auf der Leinwand.

Auswertung der Blickpunkte und Fixationen

Abbildung 3.7 zeigt die Auswertung der Blickpunkte und Fixationen der Probanden aus Gruppe VP_2 auf die Querstraße. In den Abbildungen 3.7 a-c werden dabei die Blickpunkte bzw. Fixationen aller Anfahrten betrachtet, in den Abbildungen 3.7 d und 3.7 e nur die Endpunkte der vorletzten und letzten Fixation. Die Häufungen an den äußeren Bereichen der Querstraße in den Abbildungen 3.7 a-d sind auf Messfehler des Eyetrackers zurückzuführen (siehe Kapitel 2.2.2).

Die Blickpunkte und Fixationen aller Anfahrten werden untersucht um zu ermitteln, welchem Bereich der Querstraße wie viel Aufmerksamkeit zukommt. Die prozentual meisten Blickpunkte gingen auf den zentralen Bereich der Querstraße. Im Bereich von -50m bis 60m lässt sich eine Art Plateau erkennen, innerhalb dessen die Blickpunkte links und rechts des Zentrums in etwa gleichmäßig verteilt sind (Abbildung 3.7 a). Bei den Fixationen ist ein vergleichbarer Plateaubereich zu sehen (Abbildung 3.7 b). Dieser ist jedoch breiter (von -120m bis 100m) und es gibt zudem im zentralen Bereich der Querstraße prozentual nicht so viele Fixationen wie Blickvektoren. Dafür ist im Bereich von -100m bis -70m eine minimale Häufung zu beobachten. Bei den Fixationsdauern lässt sich wiederum ein Plateau erkennen, innerhalb dessen die Zeiten ungefähr gleich sind (von -110m bis 90m , Abbildung 3.7 c). Auch dieses weist allerdings im zentralen Bereich ein Maximum auf (vgl. Abbildung 3.7 a).

Es ist zu beachten, dass sich der sichtbare Querstraßenbereich während der Anfahrten verringerte, so dass am Ende nur noch ca. 130m auf jeder Seite der Straße sichtbar waren. Deshalb fallen die Werte in den drei Abbildungen 3.7 a, b und c nach außen hin ab.

Die Endpunkte der vorletzten Fixationen werden mit denen der letzten verglichen, um zu ermitteln, ob die letzten Fixationen häufiger im unfallrelevanten Bereich lagen als die vorletzten. Die Endpunkte der vorletzten Fixationen pro Anfahrt sind stärker auf der Querstraße verteilt, mit einer deutlichen Häufung im Bereich -10m bis 60m , sowie einer weniger

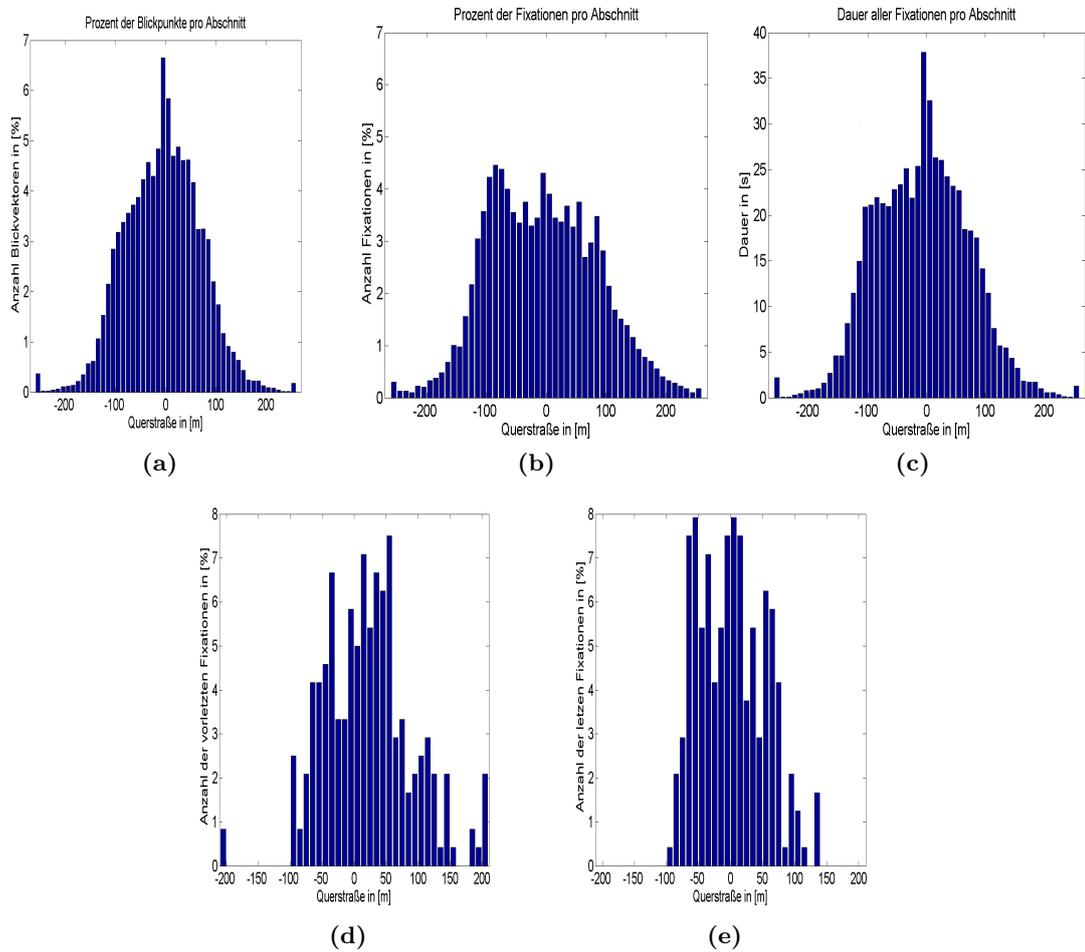


Abbildung 3.7: Auswertung der Blickpunkte der Probanden aus Gruppe VP_2 . (a) Anteil der Blickpunkte pro Abschnitt der Querstraße. (b) Anteil der Fixationen pro Abschnitt der Querstraße. (c) Summe der Fixationszeiten pro Abschnitt der Querstraße. (d) Häufigkeit, mit der ein Endpunkt einer vorletzten Fixationen in einem Abschnitt der Querstraße liegt. (e) Häufigkeit, mit der ein Endpunkt einer letzten Fixationen in einem Abschnitt der Querstraße liegt.

deutlichen im Bereich von -70m bis -30m . Die Endpunkte der letzten Fixationen befinden sich dagegen häufiger in den unfallrelevanten Bereichen (Abstand ca. 45m bis ca. 71m zur Kreuzung) sowie im Zentrum (Abbildung 3.7 d und e).

Letzte Fixation auf das verschwindende Auto

Um zu überprüfen, ob die Probanden zur Bewältigung der *change detection*-Aufgabe das VSTM benutzten, werden für jeden Probanden der Gruppe VP_2 alle Anfahrten ausgewertet, bei denen ein Auto fehlte (Antwortmöglichkeiten: *hit* und *miss*). Es soll untersucht werden, wie viele andere Autos seit der letzten Fixation auf das in der *change detection*-Aufgabe verschwindende Auto A fixiert wurden. Wurde das Auto A erst kurz vor Anfahrtsende fixiert, so müsste es noch im VSTM repräsentiert sein. Mit zunehmender Anzahl an Autos, die nach dem Auto A fixiert wurden, müsste die Repräsentationsgüte des Autos A im VSTM abnehmen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.8 dargestellt. Für die Abbildungen 3.8 a und 3.8 c werden die Ergebnisse der Probanden zusammengefasst. Sowohl bei *hit*- als auch bei *miss*-Antworten kam es am Häufigsten vor, dass das Auto A nicht fixiert wurde. Es lässt sich ein Trend erkennen, dass die Anzahl der *hit*-Antworten mit zunehmender Anzahl zwischenzeitlich fixierter Autos fällt (Abbildung 3.8 a). Bei *miss*-Antworten ist dies nicht zu beobachten (Abbildung 3.8 c). Um die Ergebnisse hinsichtlich der Kapazität des VSTM besser interpretieren zu können, werden die Anzahlen der fixierten Autos seit der letzten Fixation auf das Auto A in drei Teilmengen aufgeteilt:

- 'nicht fixiert' - Das Auto A wurde während der Anfahrt nie fixiert.
- '0-3' - Das Auto A war eines der letzten vier fixierten Autos.
- '>3' - Seit der letzten Fixation auf das Auto A wurden mehr als drei andere Autos fixiert.

Die Grenze von vier Autos wurde gewählt, da in vorherigen Versuchen gezeigt wurde, dass die Kapazitätsgrenze des VSTM bei ungefähr 4 Objekten liegt (siehe Kapitel 1.2 und Kapitel 1.4). Für jeden Probanden wird innerhalb jeder Teilmenge der prozentuale Anteil der Anfahrten, denen eine *hit*- oder *miss*-Antwort folgte, berechnet. Die so erhaltenen Ergebnisse sind in Abbildung 3.8 b und d in einem Boxplot dargestellt. Der Median des prozentualen Anteils der Anfahrten aller Probanden der Gruppe VP_2 , bei denen das Auto A nicht fixiert wurde und dennoch eine *hit*-Antwort folgte, liegt bei 31.03% . In den Fällen, in denen das fehlende Auto A eines der letzten vier fixierten Autos war, liegt der Median bei 44.83% , in Fällen, bei denen bis zur korrekten Antwort mehr als drei andere Autos fixiert wurden, bei 29.17% (Abbildung 3.8 b). Bei Anfahrten, bei denen das Auto A nicht fixiert wurde und denen eine *miss*-Antwort folgte, liegt der Median des prozentualen Anteils der Anfahrten aller Probanden bei 37.5% . Der Median liegt bei 27.27% in Fällen, bei denen das fehlende Auto A , das nicht detektiert wurde, eines der letzten vier fixierten Autos war. Liegt die letzte Fixation auf das Auto A länger zurück, beträgt der Median 33.33% (Abbildung 3.8 d).

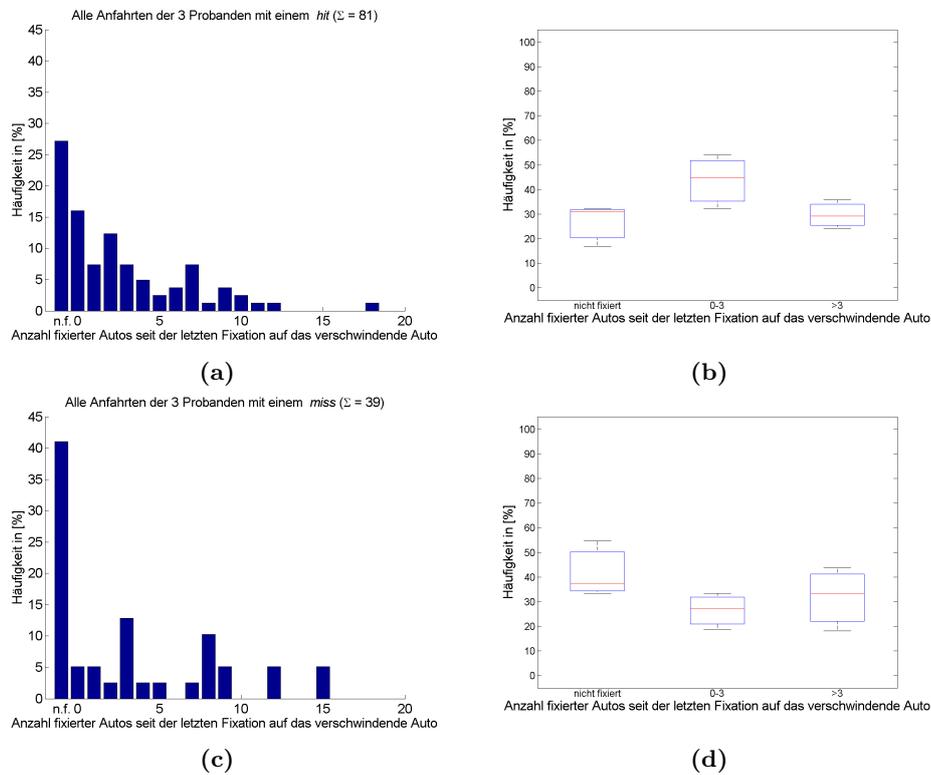


Abbildung 3.8: (a) Prozentualer Anteil der Anfahrten, bei denen, am Ende der Anfahrtsphase, seit der letzten Fixation auf das in der *change detection*-Aufgabe verschwindende Auto *A* eine bestimmte Anzahl Autos fixiert wurde (0 = *A* wurde als letztes Auto fixiert, n.f. = *A* wurde während der Anfahrt nicht fixiert). Nur Anfahrten, denen eine *hit*-Antwort folgte; Daten der Probanden der Gruppe VP_2 . (b) Die Anzahlen der fixierten Autos werden in drei Teilmengen aufgeteilt ('nicht fixiert', 'verschwindenes Auto *A* war eines der letzten vier fixierten Autos' (0-3) und 'seit der letzten Fixation wurden mehr als drei andere Autos fixiert' (> 3)). Für jeden Probanden der Gruppe VP_2 werden die prozentualen Anteile der jeweiligen Anfahrten innerhalb jeder Teilmenge summiert und in einem Boxplot dargestellt. Nur Anfahrten, denen eine *hit*-Antwort folgte. (c) und (d) analog zu (a) und (b), aber mit Anfahrten, denen eine *miss*-Antwort folgte.

3.2 Auswertung der Ergebnisse des 2. Versuchsaufbaus

3.2.1 Einteilung der Probanden in Gruppen

Am 2. Versuchsaufbau, der eingeführt wurde, da nur wenige Probanden des 1. Versuchsaufbaus das Erfolgskriterium erfüllten (siehe Kapitel 2.3.3), nahmen insgesamt 26 Probanden teil. Bei den Versuchspersonen 25 bis 37 fehlten im Abfrageteil nur Autos, die nach links fuhren, bei den Versuchspersonen 38 bis 50 Autos, die nach rechts fuhren (siehe Kapitel 2.3.3). Die Probanden werden nach denselben Kriterien in Gruppen eingeteilt, wie die Probanden des 1. Versuchsaufbaus (siehe Kapitel 2.5.3). Als zusätzliche Unterscheidung werden die Gruppen VP_1 und VP_2 auch nach der Fahrtrichtung des jeweils im *change detection*-Teil fehlenden Autos getrennt. Es erfüllten insgesamt 14 Probanden das Erfolgskriterium (Gruppe VP_1), bei fünf überstieg die Anzahl der Messfehler die 5%-Grenze nicht (Gruppe VP_2). Die Einteilung ist in Tabelle 3.2 dargestellt. Nicht in der Tabelle auftauchende Versuchspersonen werden in der Gruppe VP_3 zusammengefasst.

VP_1		VP_2	
VP_{1left}	VP_{1right}	VP_{2left}	VP_{2right}
26, 29, 32, 34, 35	38, 40, 41, 42, 44, 46, 47, 48, 49	29, 35	41, 42, 48

Tabelle 3.2: Einteilung der Probanden des 2. Versuchsaufbaus in Gruppen

Da bei diesem Versuchsaufbau nur bei der Hälfte der Anfahrten eine *change detection*-Aufgabe zu bewältigen war, können im Folgenden bei der Auswertung der Antwortarten und Reaktionszeiten - im Gegensatz zum 1. Versuchsaufbau - nur die Hälfte aller Anfahrten pro Versuchsperson verwendet werden. Bei der Auswertung der Blickbewegungen werden hingegen die Daten aller Anfahrten einbezogen, da die Versuchsperson während der Anfahrt nicht wusste, ob sie eine Unfallvermeidungsaufgabe oder eine *change detection*-Aufgabe würde bewältigen müssen. Somit konnte sie ihre Blickbewegungen nicht an eine der beiden Aufgaben anpassen.

In Abbildung 3.9 sind die *false alarm*- gegen die *hit*-Raten der Versuchspersonen sowie die Unfallraten dargestellt. Die Unfallraten lagen zwischen 10% und 52.5%.

3.2.2 Reaktionszeiten

Die Mittelwerte der Reaktionszeiten aller Probanden über alle Anfahrten lagen zwischen 1.16s und 3.76s, die Mediane zwischen 0.58s und 3.59s. Betrachtet man nur die Probanden der Gruppe VP_1 , so betragen die Mittelwerte 2.17s bis 3.55s, die Mediane 2.09s bis 3.57s.

Abbildung 3.10 zeigt die Reaktionszeiten der Gruppe VP_1 aufgeteilt nach Art der Antwort, wobei in Abbildung 3.11 die Reaktionszeiten bei *hit*- und *false alarm*-Antworten genauer betrachtet werden. Hier gilt wie in Kapitel 3.1.2, dass die Reaktion bei *hit*-Antworten im Mittel schneller erfolgen müsste, als bei *false alarm*-Antworten, da sich die Versuchsperson sicher sein sollte. Tatsächlich ist bei elf Probanden der Mittelwert der Antwortzeit bei *hit*-Antworten kleiner als bei *false alarm*-Antworten (bei drei Probanden signifikant), so dass sich wieder ein Trend hin zu schnelleren Reaktionen bei *hit*-Antworten erkennen lässt. Dieser Trend wird außerdem durch den Vergleich aller *hit*- und *false alarm*-Antwortzeiten der Gruppe VP_1 bestätigt, der Unterschied ist signifikant (Wilcoxon-Rangsummentest,

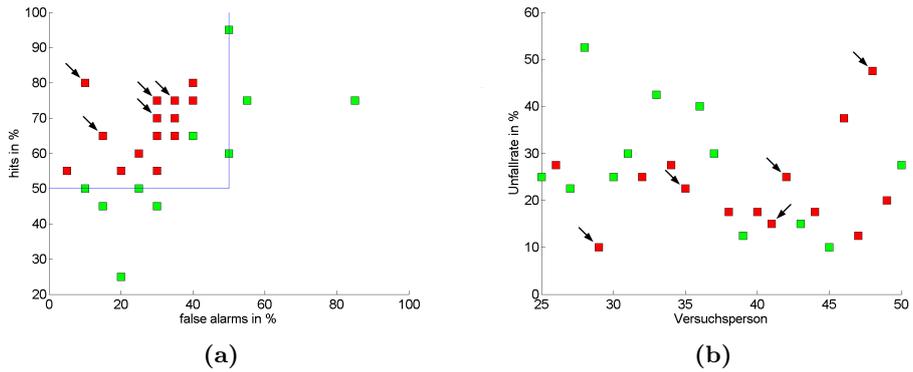


Abbildung 3.9: Die blauen Linien kennzeichnen das *hit*- bzw. *false alarm*-Kriterium. Rot dargestellt sind die Probanden der Gruppe VP_1 , die Pfeile kennzeichnen zusätzlich die der Gruppe VP_2 . Grüne Quadrate stehen für Probanden der Gruppe VP_3 . (a) *false alarm*- gegen *hit*-Raten der Versuchspersonen bei der *change detection*-Aufgabe (Datenpunkte können sich überlagern). (b) Unfall-Raten der Versuchspersonen.

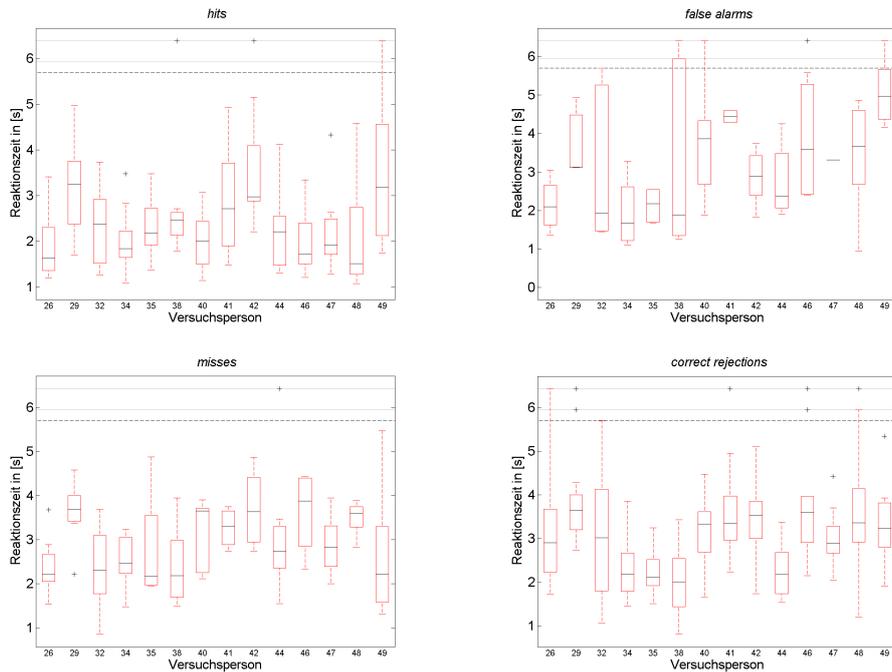


Abbildung 3.10: Reaktionszeiten der Versuchspersonen der Gruppe VP_1 , aufgeteilt nach Art der Antwort.

$p < 0.05$). Der Mittelwert dieser Reaktionszeiten betrug bei *hit*-Antworten 2.48s und 3.33s bei *false alarm*-Antworten. In der Gruppe VP_3 sind die *hit*- und *false alarm*-Antwortzeiten bei zwei Probanden signifikant unterschiedlich.

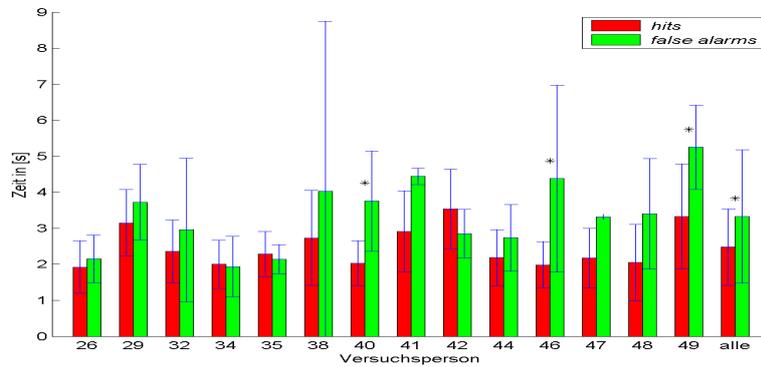


Abbildung 3.11: Mittelwerte der Reaktionszeiten bei *hit*- und *false alarm*-Antworten der Probanden der Gruppe VP_1 im Vergleich. Unter 'alle' sind alle *hit*- und *false alarm*-Reaktionszeiten der Gruppe VP_1 zusammengefasst.

In Abbildung 3.12 sind die Mittelwerte der Reaktionszeiten der Probanden aus Gruppe VP_1 bei *hit*-Antworten im zentralen und peripheren Bereichen der Querstraße dargestellt. Bei neun Probanden ist der Mittelwert im zentralen Bereich geringer als im peripheren. Vergleicht man alle Antwortzeiten der Gruppe VP_1 im zentralen Bereich mit denjenigen im peripheren Bereich, wird der Trend hin zu schnelleren Reaktionen im zentralen Bereich bestätigt. Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant (Wilcoxon-Rangsummentest, $p < 0.05$).

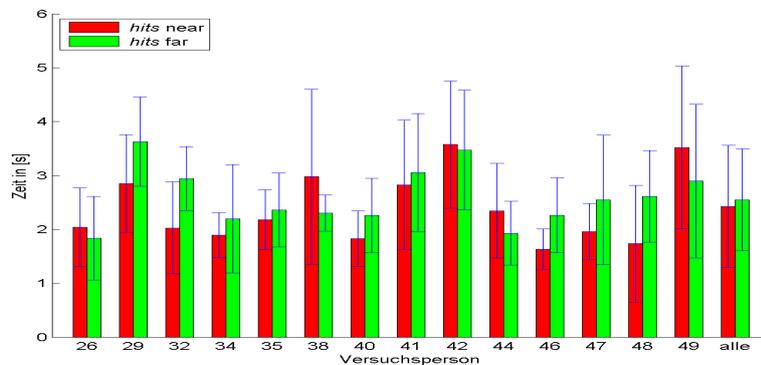


Abbildung 3.12: Mittelwerte der Reaktionszeiten im zentralen (*hits near*) und peripheren (*hits far*) Querstraßenbereich der Probanden der Gruppe VP_1 im Vergleich. Unter 'alle' sind alle Reaktionszeiten aus dem zentralen und peripheren Bereich der Gruppe VP_1 zusammengefasst.

3.2.3 Abhängigkeit der Antwort von den Autopositionen

In Abbildung 3.13 ist für jede Fahrtrichtung jeweils die Anzahl der Versuchspersonen dargestellt, die in Abhängigkeit von den Positionen der betrachteten Autos auf der Querstraße

eine bestimmte Antwort gaben. Abbildung 3.13 a beruht auf den Daten der Gruppe VP_{1left} (fünf Versuchspersonen), Abbildung 3.13 b auf denjenigen der Gruppe VP_{1right} (neun Versuchspersonen). Für Abbildung 3.13 c werden die Ergebnisse der Abbildungen 3.13 a und 3.13 b am Nullpunkt gespiegelt addiert (siehe Kapitel 2.5.1 und Kapitel 3.1.3). Wie bereits erwähnt, lässt sich auf diese Weise leichter ermitteln, ob ein Fehlen unfallrelevanter Autos (in Richtung der Kreuzung fahrende Autos in einer Entfernung von ca. 45m bis ca. 71m) öfter detektiert wurde und diese Autos somit stärker im VSTM repräsentiert waren. Die Ergebnisse der *hit*-Antworten wurden zur besseren Interpretation und Darstellung erneut mit der Gauß-Verteilung gefittet.

In Abbildung 3.13 a, also bei den nach links fahrenden Autos, ist bei den *hit*-Antworten das Maximum der Gaußkurve deutlich nach rechts verschoben und liegt bei 40.51m ($r^2 = 0.02$). Allenfalls ist jedoch nur ein leichter Trend auszumachen, dass das Fehlen von Autos im unfallrelevanten Bereich besser detektiert wurde als in anderen Bereichen der Querstraße. In Abbildung 3.13 b, bei den nach rechts fahrenden Autos, sieht man hingegen eine deutliche Häufung korrekter Antworten in einem Bereich von -55m bis -15m der Querstraße. Die Gaußkurve ist nach links verschoben, mit einem Maximum bei -30.74m ($r^2 = 0.59$). Da die *miss*-Antworten jeweils das komplementäre Ergebnis der *hit*-Antworten sind, sieht man hier dementsprechend einen Bereich, in dem überhaupt keine *miss*-Antworten gegeben wurden. In Abbildung 3.13 c, die mit den Daten der Gruppen VP_{1left} und VP_{1right} erstellt wurde, ist erneut eine Häufung korrekter Antworten links der Kreuzung zu erkennen, besonders in einem Bereich von -55m bis -35m. Dementsprechend ist auch das Maximum der Gaußkurve nach links verschoben und liegt bei -30.95m ($r^2 = 0.53$). Die Anzahlen der *correct rejection*- und *false alarm*-Antworten sind, wie auch im ersten Versuchsaufbau, in allen Abbildungen relativ gleichmäßig über die einzelnen Messpunkte der Querstraße verteilt.

3.2.4 Blickbewegungen

Blickpunkte und Fixationen aller Anfahrten

In diesem Abschnitt werden die Blickbewegungen der Probanden aus Gruppe VP_2 näher betrachtet. Es soll zunächst untersucht werden, ob es eine gemeinsame Strategie der Aufmerksamkeitssteuerung gibt. Hierzu werden wie in Kapitel 3.1.4 die Blickpunkte aller Anfahrten der Probanden übereinander gelegt. Das Ergebnis ist in Abbildung 3.14 a dargestellt. Nach der kurzen Phase (ca. 0.25s), in der sich die Probanden noch im Tunnel befanden und nur ein kleiner Teil der Querstraße für sie einsehbar war, gingen die Blickbewegungen der meisten Probanden zunächst nach links, dann nach rechts. Gegen Ende der Anfahrt verteilten sich die Blickpunkte der meisten Versuchspersonen stärker auf der Querstraße. Einzig Proband 42 weist ein alternatives Blickbewegungsmuster auf. Er blickte zunächst nach rechts, dann nach links und zum Ende der Anfahrt hauptsächlich auf den mittleren Bereich der Querstraße. In Abbildung 3.14 b und Abbildung 3.14 c sind die Blickpunkte von Proband 42 und der restlichen Probanden der Gruppe VP_2 getrennt voneinander dargestellt.

Auswertung der Blickpunkte und Fixationen

Die Auswertung der Blickpunkte und Fixationen pro Querstraßenbereich ist in Abbildung 3.15 dargestellt (vgl. Abbildung 3.7). Wie in Kapitel 3.1.4 werden alle Blickpunkte und Fixationen der Anfahrten betrachtet, um die Aufmerksamkeit pro Querstraßenbereich zu ermitteln. Des Weiteren werden die Endpunkte der vorletzten Fixationen mit denen der

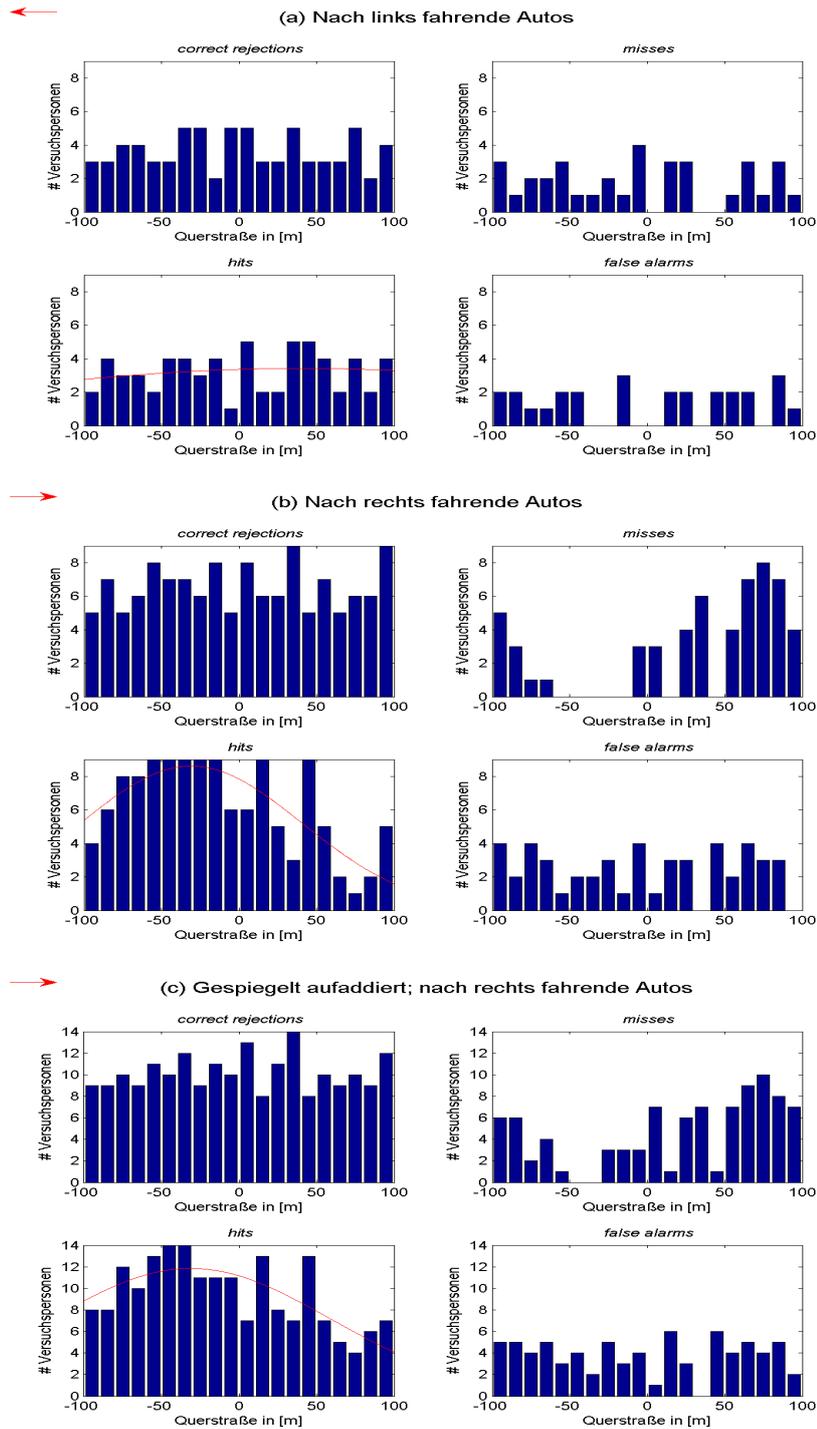


Abbildung 3.13: Anzahl der Versuchspersonen, die eine bestimmte Antwort gaben, in Abhängigkeit von den Positionen der Autos auf der Querstraße und deren Fahrtrichtungen. Der rote Pfeil gibt jeweils die Fahrtrichtung der Autos an. Die Daten der *hit*-Antworten wurden mit der Gauß-Verteilung gefittet. Es wurden die Daten der Probanden aus Gruppe VP_1 verwendet. (a) Autos an den Messpunkten fahren nach links, Gruppe VP_{1left} . (b) Autos an den Messpunkten fahren nach rechts, Gruppe VP_{1right} . (c) Ergebnisse von (a) und (b) gespiegelt aufaddiert, als ob alle Autos nach rechts fahren.

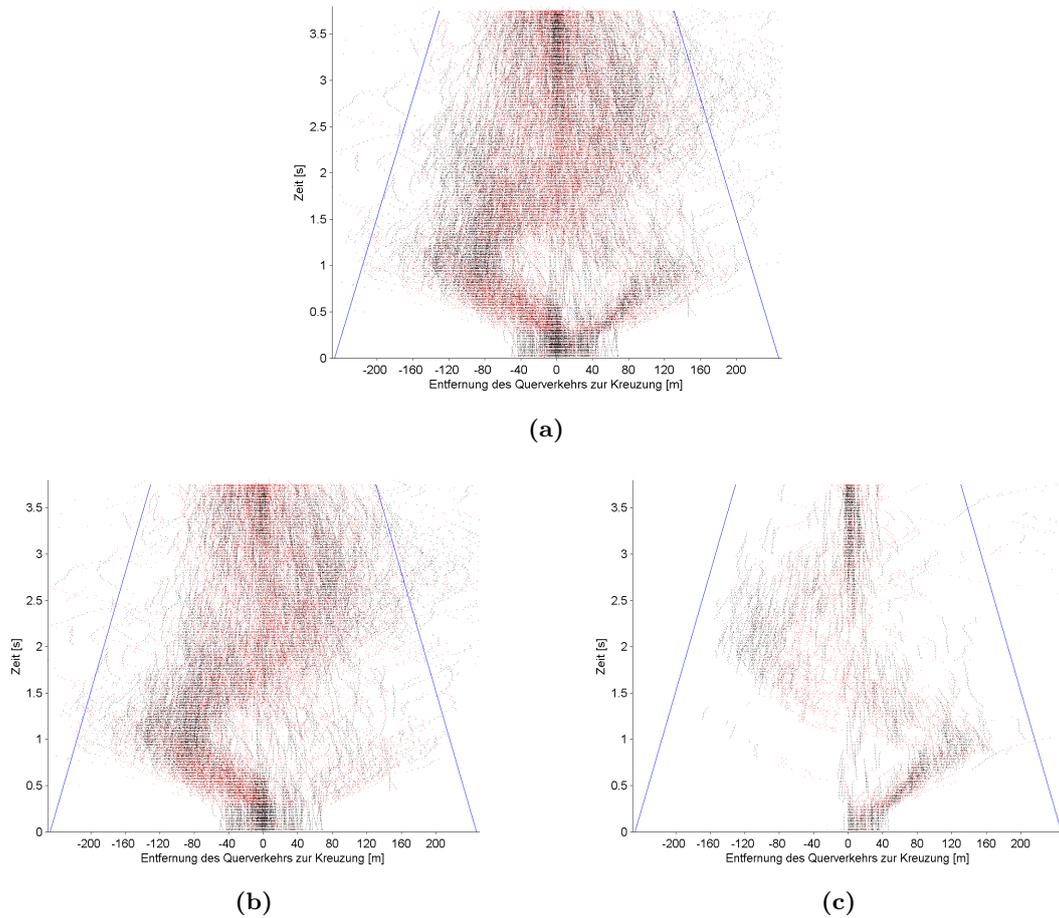


Abbildung 3.14: Blickspuren ab Beginn der Anfahrt. Schwarze Punkte stehen für Fixationen, rote für Blickpunkte, die keiner Fixation zugeordnet werden können. Die blauen Linien an den Seiten kennzeichnen den jeweils sichtbaren Bereich auf der Leinwand. (a) Blickpunkte der Probanden der Gruppe VP_2 . (b) Blickpunkte der Probanden mit gemeinsamer Strategie (Probanden der Gruppe VP_2 , ohne Proband 42). (c) Alternative Strategie einer Versuchsperson (Proband 42).

letzten verglichen. Die Häufungen an den äußeren Bereichen der Abbildungen sind auch hier auf Messfehler des Eyetrackers zurückzuführen.

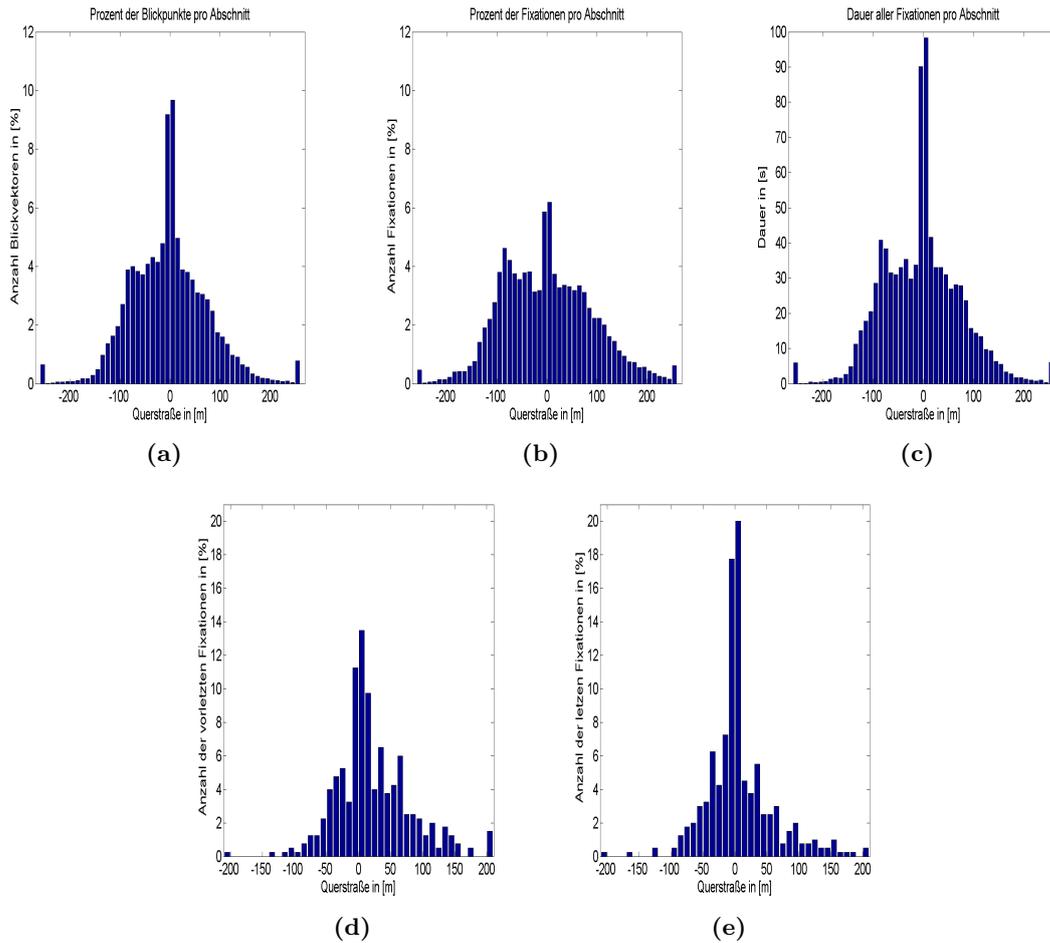


Abbildung 3.15: Auswertung der Blickpunkte der Probanden aus Gruppe VP_2 . (a) Anteil der Blickpunkte pro Abschnitt der Querstraße. (b) Anteil der Fixationen pro Abschnitt der Querstraße. (c) Summe der Fixationszeiten pro Abschnitt der Querstraße. (d) Häufigkeit, mit der ein Endpunkt einer vorletzten Fixationen in einem Abschnitt der Querstraße liegt. (e) Häufigkeit, mit der ein Endpunkt einer letzten Fixationen in einem Abschnitt der Querstraße liegt.

Die prozentual meisten Blickpunkte liegen im Zentrum der Querstraße (Abbildung 3.15 a). Man erkennt des Weiteren ein Plateau von -90m bis 60m , in dem in jedem Bereich jeweils ungefähr gleich viele Blickpunkte liegen. Für die Anzahlen und Dauern der Fixationen ergeben sich ähnliche Ergebnisse (Abbildung 3.15 b und Abbildung 3.15 c). Neben einem Maximum um das Zentrum herum gibt es ein Plateau im Bereich von ca. -100m bis ca. 80m der Querstraße, in dem die Anzahl der Fixationen bzw. die Fixationsdauern in jedem Bereich ungefähr gleich sind. In den drei Abbildungen fallen die Werte nach außen hin ab, da der sichtbare Querstraßenbereich im Laufe jeder Anfahrt abnahm.

Beim Vergleich der Endpunkte der vorletzten und der letzten Fixation jeder Anfahrt (Abbildung 3.15 d und Abbildung 3.15 e) sieht man, dass in beiden Abbildungen die meisten Endpunkte im Zentrum der Querstraße liegen. Die Anzahl der letzten Fixationen ist in diesem Bereich deutlich höher als die Anzahl der vorletzten. In beiden Fällen nehmen die Anzahlen nach außen hin ab.

Letzte Fixation auf das verschwindende Auto

Um zu untersuchen, ob die Probanden zur Bewältigung der Aufgabe das VSTM nutzten, wird wie im ersten Versuchsaufbau vorgegangen. Es werden bei jedem Probanden der Gruppe VP_2 all jene Anfahrten ausgewählt, auf die eine *hit*- oder *miss*-Antwort folgte, also solche, bei denen tatsächlich ein Auto fehlte. Bei diesen Anfahrten wird jeweils ermittelt, wie viele andere Autos seit der letzten Fixation auf das in der *change detection*-Aufgabe fehlende Auto A fixiert wurden (Abbildung 3.16). Je länger die letzte Fixation auf das Auto A her ist, desto schlechter sollte es noch im VSTM repräsentiert sein. In den Abbildungen 3.16 a und 3.16 c sind die Ergebnisse der Probanden zusammengefasst dargestellt. Bei beiden erkennt man, dass das Auto A in den meisten Fällen nicht fixiert wurde. Es lässt sich wie in Kapitel 3.1.4 ein Trend beobachten, dass mit zunehmender Anzahl zwischenzeitlich fixierter Autos, die Anzahl der *hit*-Antworten abnimmt (Abbildung 3.16 a). Dies trifft auf *miss*-Antworten nicht zu (Abbildung 3.16 c). Zur besseren Interpretation der Daten werden die Anzahlen fixierter Autos seit der letzten Fixation auf das Auto A in drei Teilmengen zusammengefasst (siehe Kapitel 3.1.4). Für jeden Probanden wird anschließend der prozentuale Anteil der Anfahrten, denen eine *hit*- bzw. *miss*-Antwort folgte, innerhalb jeder Teilmenge berechnet. Die so erhaltenen Ergebnisse sind in den Abbildungen 3.16 b und d in einem Boxplot dargestellt.

Man kann der Abbildung entnehmen, dass der Median der prozentualen Anteile der Anfahrten in den Fällen, in denen das Auto A nicht fixiert wurde, es aber dennoch zu einer *hit*-Antworten kam, bei 33.33% liegt. Der Median beträgt 40%, wenn das Auto A eines der letzten vier fixierten Autos war und 26.67%, wenn die letzte Fixation länger zurückliegt. Bei Anfahrten, denen eine *miss*-Antwort folgte und das verschwindende Auto A nicht fixiert wurde, liegt der Median bei 42.86%. Er beträgt 14.29% für die Fälle, in denen das Auto A als eines der letzten vier fixiert wurde, und 42.86%, wenn die letzte Fixation auf das Auto A länger zurück liegt.

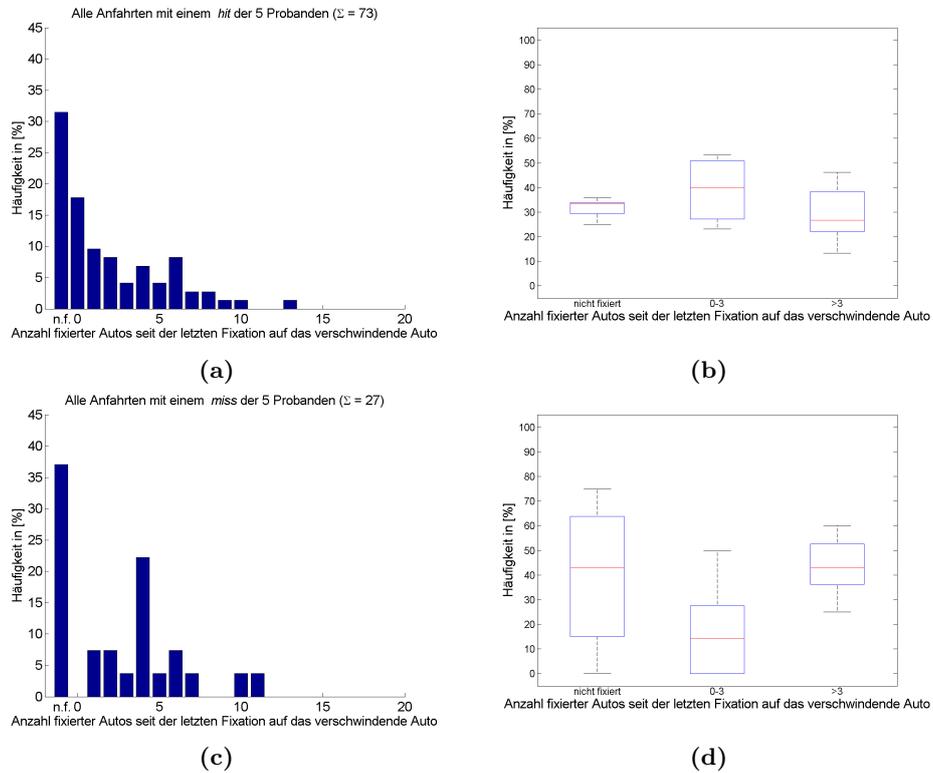


Abbildung 3.16: (a)Prozentualer Anteil der Anfahrten, bei denen, am Ende der Anfahrtsphase, seit der letzten Fixation auf das in der *change detection*-Aufgabe verschwindende Auto *A* eine bestimmte Anzahl Autos fixiert wurde (0 = *A* wurde als letztes Auto fixiert, n.f. = *A* wurde während der Anfahrt nicht fixiert). Nur Anfahrten, denen eine *hit*-Antwort folgte; Daten der Probanden der Gruppe VP_2 . (b) Die Anzahlen der fixierten Autos werden in drei Teilmengen aufgeteilt ('nicht fixiert', 'verschwindenes Auto *A* war eines der letzten vier fixierten Autos' (0-3) und 'seit der letzten Fixation wurden mehr als drei andere Autos fixiert' (> 3)). Für jeden Probanden der Gruppe VP_2 werden die prozentualen Anteile der jeweiligen Anfahrten innerhalb jeder Teilmenge summiert und in einem Boxplot dargestellt. Nur Anfahrten, denen eine *hit*-Antwort folgte. (c) und (d) analog zu (a) und (b), aber mit Anfahrten, denen eine *miss*-Antwort folgte.

Kapitel 4

Diskussion

In dieser Arbeit wurde das visuelle und räumliche Arbeitsgedächtnis des Menschen anhand des Phänomens der Veränderungsblindheit untersucht. Die Versuche fanden in einer virtuellen Umgebung statt und bestanden aus einer simulierten Kreuzungsanfahrt. Die Aufgabe der Probanden war es, Kollisionen mit den Autos des Querverkehrs zu vermeiden, und zu entscheiden, ob nach einer Überblendung des Querverkehrs ein Auto auf der Querstraße fehlte oder nicht.

Da einige Probanden die in Kapitel 2.5.3 erläuterten Kriterien¹ nicht erfüllten, wurden die Ergebnisse nur mit den Daten eines Teils der Probanden generiert. Neben den Reaktionszeiten bei der *change detection*-Aufgabe wurde untersucht, ob diese eine Möglichkeit darstellt, den Inhalt des VSTM im Kreuzungsparadigma abzufragen. Mit Hilfe der Blickbewegungen und der Fixationen der Probanden sollte darüber hinaus untersucht werden, ob das VSTM beim Bewältigen der Aufgaben eingesetzt wurde und ob es Bereiche der Querstraße gab, denen mehr Aufmerksamkeit zukam als anderen Bereichen. Des Weiteren wurde die Aufmerksamkeitssteuerung der Probanden durch ihre Blickbewegungen näher betrachtet.

Im folgenden Teil werden die Ergebnisse hinsichtlich dieser Fragestellungen diskutiert.

4.1 Über den Versuchsaufbau

Während der Versuche mussten die Probanden bewegte Objekte auf einer großen Leinwand verfolgen. Dass es überhaupt möglich ist, bewegte Objekte bewusst zu verfolgen, zeigten u. a. Alvarez und Franconeri [AF07]. Wie in der Einleitung erwähnt, konnten sie nachweisen, dass es möglich ist, bis zu acht Objekte gleichzeitig zu verfolgen, wenn diese sich langsam bewegen. Mit zunehmender Geschwindigkeit nimmt diese Zahl ab, bis man schließlich nur noch ein Objekt verfolgen kann. Der Versuchsaufbau ihrer Studie unterschied sich jedoch in einigen Punkten von den Versuchen der vorliegenden Arbeit. So fanden ihre Experimente vor einem Monitor mit schwarzem Hintergrund (Abmessung: $30^\circ \times 24^\circ$) und nicht vor einer Leinwand (Abmessung: $150^\circ \times 67^\circ$) statt. Die Probanden benötigten deshalb vermutlich keine Kopfbewegungen, um die Szene zu erfassen. Sie sollten Kreise verfolgen, die eine feste Begrenzung nicht verlassen konnten. Die Objekte waren somit abstrakter Art und innerhalb der Szenerie gebunden. In anderen Arbeiten konnte gezeigt werden, dass das Verfolgen von Objekten auch auf der großen Leinwand im Kreuzungsparadigma möglich ist [PHV⁺, Sto08]. Des Weiteren geht aus diesen Arbeiten hervor, dass die Anfahrtsdauer von ca. 3.75s und die Geschwindigkeit des Querverkehrs mit 50km/h ausreichend gewählt sind, so dass Autos, die auf der Querstraße fahren, memoriert werden können.

¹*hit - rate* > 0.5, *false - hit - rate* < 0.5, ausreichende Streuung in den Blicken.

In der vorliegenden Arbeit wurde deshalb erneut das Kreuzungsparadigma verwendet, wobei als Aufgaben hier eine Unfallvermeidung und eine *change detection* zu bewältigen waren.

4.2 Probanden

Von insgesamt 50 Probanden, die an beiden Experimenten teilnahmen, wurden letztlich nur die Ergebnisse von 20 Probanden bei der Auswertung berücksichtigt, da die restlichen Probanden das Erfolgskriterium (siehe Kapitel 2.5.3) nicht erfüllten. Bei 17 der 50 Probanden war der Messfehler bei den Blickbewegungen zu groß. Ausgerechnet zwölf dieser Probanden, die zu viele Messfehler aufwiesen, waren solche, die das Erfolgskriterium erfüllten. Somit konnten nur die Blickbewegungen von acht Versuchspersonen ausgewertet werden. Über die Gründe, warum nur so wenige Versuchspersonen das Erfolgskriterium erfüllten, kann nur spekuliert werden.

Es ist möglich, dass die Probanden mit dem Versuchsaufbau (große Leinwand, Head- und Eyetracker) Probleme hatten. Dies lässt sich im Einzelfall nicht ausschließen, dagegen spricht allerdings, dass trotz alledem eine Reihe von Probanden die *change detection*-Aufgabe lösen konnte, sowie dass die Probanden im Unfallvermeidungsteil nicht in mehr Unfälle verwickelt waren.

Eine andere Möglichkeit wäre, dass es aufgrund der Größe der Leinwand und der Anzahl der Autos schwer war, alle Autos zu fixieren. Dies könnte durch eine längere Anfahrtszeit umgangen werden. Aus zwei Gründen wurde dies jedoch nicht realisiert. Einerseits hätte sich bei längerer Anfahrtszeit die Versuchsdauer pro Proband erhöht. Diese sollte aber aufgrund der großen Anzahl an Anfahrten möglichst gering gehalten werden. Des Weiteren hätten die Probanden eventuell neben der Befüllung des VSTM andere Strategien zur Aufgabenbewältigung entwickeln können, wenn die Zeit zum Betrachten der Querstraße zu lang geworden wäre (z. B. Abzählen der Autos auf der Querstraße).

Ein weiterer Punkt wäre, dass davon ausgegangen wird, dass zur Wahrnehmung einer Veränderung in einem Bild eine Fixation auf das sich ändernde Objekt, kurz vor der Änderung nötig ist [ROC97, SL97]. Das heißt, dass ein Proband das verschwindende Auto kurz vor der *change detection*-Aufgabe fixieren müsste, um ein Fehlen zu bemerken. Aufgrund der Größe der Leinwand und der Anzahl der Autos kann es aber sein, dass die Probanden vor der *change detection*-Aufgabe häufig andere Autos fixierten und deshalb das Fehlen eines Autos nicht bemerkten. Mit diesem Argument kann man jedoch nur eine geringe *hit*-Rate, nicht jedoch eine hohe *false alarm*-Rate erklären.

Eine plausible Erklärung, warum so wenige Probanden das Erfolgskriterium erfüllten, ist diejenige, dass bei den Probanden des ersten Versuchsablaufs die Bewältigung der Unfallvermeidung mit der aktiven Eingriffsmöglichkeit und der Rückmeldung, ob es einen Unfall gab oder nicht, mehr Interesse weckte als der *change detection*-Teil und dass durch die *change detection*-Aufgabe die Pause zwischen dem Anfahrts- und dem Unfallvermeidungsteil so lang wurde, dass die Memorierungen, die während der Anfahrtsphase gemacht wurden, wieder verblassten. Dadurch mussten die Probanden vermutlich zu Beginn der Unfallvermeidungsphase die Autos des Querverkehrs neu memorieren, wodurch der Anfahrtsphase für sie unwichtiger wurde. Es ist somit möglich, dass während der Anfahrten die Aufmerksamkeit der Probanden gering war. Aufmerksamkeit ist jedoch nötig, um Veränderungen wahrzunehmen [ROC97]. Das fehlende Interesse an der Bewältigung der Aufgabe erschwerte es somit, den

Inhalt des VSTM der Probanden mit Hilfe der *change detection*-Aufgabe abzufragen. Aus diesem Grund wurde der zweite Versuchsablauf eingeführt, bei dem die beiden Aufgaben getrennt und unabhängig voneinander auftraten. Beim ersten Versuchsaufbau erfüllten nur sechs von 24 Probanden das Erfolgskriterium, beim zweiten Versuchsaufbau 14 von 25 Probanden. Aufgrund des Anstiegs der Probanden, die das Erfolgskriterium erfüllten, ist davon auszugehen, dass die Umstellung den gewünschten Effekt hatte.

4.3 Reaktionszeiten

Wenn ein Proband bei der *change detection*-Aufgabe die Antwort gab, dass ein Auto fehle, so konnte diese Antwort entweder korrekt sein (*hit*), d. h. es fehlte tatsächlich ein Auto, oder falsch (*false alarm*), d. h. es fehlte kein Auto. Die Reaktionszeiten der *hit*- und *false alarm*-Antworten wurden miteinander verglichen. Bei *hit*-Antworten wurde erwartet, dass sich die Versuchspersonen in ihrer Antwort sicherer seien, da tatsächlich ein Auto fehlte und sie dies vermutlich bemerkten und dass sie deshalb schneller reagieren würden. Dementsprechend müsste bei *false alarm*-Antworten, die Reaktionszeit etwas länger sein, da die Probanden das Fehlen eines Autos nicht sicher bemerkt haben können, da ja keines fehlte. Ein solcher Unterschied der Reaktionszeiten lässt sich tatsächlich sowohl bei den Probanden des ersten als auch bei denen des zweiten Versuchsablaufes erkennen. Der Unterschied ist bei vier Probanden des ersten Versuchsablaufes und bei drei des zweiten, also insgesamt bei sieben von 20 Probanden, signifikant. Einen Trend zu schnelleren Reaktionen bei *hit*-Antworten zeigten 17 der 20 Probanden. Nimmt man jeweils alle *hit*- und *false alarm*-Antwortzeiten eines Versuchsaufbaus zusammen, so unterscheiden sich die entsprechenden Verteilungen signifikant. Im zweiten Versuchsablauf waren die Reaktionszeiten im Mittel sowohl bei *hit*- als auch bei *false alarm*-Antworten etwas länger als im ersten Aufbau. Dies lässt sich damit erklären, dass die Probanden nach jeder Anfahrt erst realisieren mussten, ob es sich um eine *change detection*- oder eine Unfallvermeidungsaufgabe handelte. Zusammengefasst lassen diese Ergebnisse den Schluss zu, dass die Probanden bei *hit*-Antworten tatsächlich schneller reagierten als bei *false alarm*-Antworten.

Einige Ergebnisse der Arbeit von Storch [Sto08] wiesen darauf hin, dass die Probanden die Autos im kreuzungsnahen Bereich genauer in ihrem VSTM repräsentierten als die Autos im peripheren Bereich. Dadurch war anzunehmen, dass die Probanden im zentralen Bereich der Querstraße bei *hit*-Antworten etwas schneller reagieren würden als im peripheren Bereich, da sie sich durch die bessere Repräsentation der Autos in ihrem VSTM in ihrer Antwort nochmals sicherer sein könnten. Bei 13 der 20 Probanden war die Reaktion im zentralen Bereich tatsächlich etwas schneller. Bei zwei Probanden, sowie bei der Auswertung aller *hit*-Antworten des zentralen und peripheren Bereiches des ersten Versuchsaufbaus war der Unterschied der Reaktionszeiten signifikant. Dies trifft jedoch auf keinen Probanden des zweiten Versuchsaufbaus zu. Betrachtet man alle *hit*-Antworten des zweiten Versuchs, so zeigt sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied. Allenfalls ist ein leichter Trend zu erkennen, dass im zentralen Bereich die Reaktion bei *hit*-Antworten etwas schneller erfolgten als im peripheren Bereich.

4.4 Abhängigkeit der Antwort von den Autopositionen

Da die Versuchspersonen angewiesen wurden, Unfälle zu vermeiden, war eine Hypothese, dass die unfallrelevanten Autos besser in ihrem VSTM repräsentiert sein würden, als andere Autos. Um dies zu untersuchen, wurde für jede Versuchspersonen der beiden VP_1 -Gruppen gezählt, wie oft die verschiedenen Antworten (*hit*, *false alarm*, *correct rejection*, *miss*) jeweils gegeben wurden (Kapitel 3.1.3 und Kapitel 3.2.3), und zwar in Abhängigkeit von der Position des bei der jeweiligen Anfahrt betrachteten Autos auf der Querstraße und dessen Fahrtrichtung. Wenn die Hypothese stimmt, dann müsste es eine Häufung von *hit*-Antworten und wenige *miss*-Antworten in den unfallrelevanten Bereichen der Querstraße (Entfernung jeweils ca. 45m bis 71m zur Kreuzung) geben. Des Weiteren müssten die *correct rejection*-Antworten über die gesamte Querstraße hinweg zahlreich und die *false alarm*-Antworten selten sein.

Die Ergebnisse beim ersten Versuchsaufbau zeigen sowohl getrennt nach Anfahrtrichtung als auch zusammengefasst für alle Antwortarten einen entsprechenden Effekt. Bei den Ergebnissen der gespiegelt aufaddierten Daten wird dies besonders deutlich. Eine Häufung von *hit*-Antworten ist jedoch in Bereichen zu finden, die etwas näher bei der Kreuzung liegen als der unfallrelevante Bereich tatsächlich ist. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass die Probanden die Entfernung des unfallrelevanten Bereichs zur Kreuzung geringer einschätzten als diese tatsächlich war und deshalb Autos in diesem etwas näher zur Kreuzung liegenden Bereich besser memorierten. Ein Effekt, das Entfernen in virtuellen Umgebungen geringer eingeschätzt werden als sie tatsächlich sind, wurde ebenfalls in anderen Studien beschrieben [WG02, WS98].

Auch im zweiten Versuchsablauf treten *hit*-Antworten gehäuft in Bereichen auf, die im Vergleich zum unfallrelevanten Bereich, etwas zur Kreuzung hin verschoben sind. Die Häufung ist insbesondere bei nach rechts fahrenden Autos und entsprechend auch bei den aufaddierten Ergebnissen zu erkennen. Bei nach links fahrenden Autos ist sie jedoch nicht so deutlich, da auch in anderen Bereichen der Querstraße das Fehlen eines Autos von fast allen Probanden erkannt wurde. Dies liegt vermutlich an der geringen Anzahl von fünf Probanden, mit deren Daten diese Ergebnisse generiert wurden, da zufällig oder durch versehentliches Drücken des Joysticks in die falsche Richtung erzielte *hit*-Antworten stärker ins Gewicht fallen. Solche Antworten können das Ergebnis verfälschen.

Insgesamt lassen diese Ergebnisse den Schluss zu, dass die *change detection*-Aufgabe eine adäquate Methode darstellt, den Inhalt des VSTM abzufragen. Das Fehlen von Autos mit höherer Unfallrelevanz wurde in der *change detection*-Aufgabe mit einer höheren Wahrscheinlichkeit bemerkt.

4.5 Blickbewegungen

4.5.1 Gemeinsame Strategie

Von insgesamt acht Probanden wurden die Blickbewegungen ausgewertet. Hierbei zeigte sich, dass sieben Probanden ein ähnliches Blickbewegungsmuster aufwiesen. Ein Proband verwendete eine alternative Blickbewegungsstrategie (Proband 42). Allen Probanden war jedoch gemein, dass sie, bei fast allen Anfahrten die gleiche Strategie verwendeten und diese während der Anfahrten nicht änderten oder häufiger wechselten. Die Strategie der meisten Probanden war es, sobald die Sicht frei wurde, zuerst nach links, dann nach rechts

zu blicken. Gegen Ende der Anfahrt verteilten sich die Blicke auf der Querstraße. Dass die Blicke zuerst nach links gingen, kann daran liegen, dass man es gewohnt ist, zuerst nach links zu blicken. Dieses Verhalten tritt auf, wenn man auf eine Kreuzung zu fährt oder eine Straße zu Fuß überqueren möchte. Genauso sind wir es gewohnt, von links nach rechts zu lesen. Ob dies tatsächlich die Ursache dafür ist, dass die Blickbewegungen zuerst nach links gingen, könnte mit Probanden überprüft werden, die mit Linksverkehr aufgewachsen bzw. diesen gewohnt sind². Des Weiteren könnte man den Versuch mit Probanden durchführen, deren gewohnte Leserichtung von rechts nach links geht.

Da zwar viele, aber eben nicht alle Probanden diese Strategie wählten, ist es auch möglich, dass die gefundene gemeinsame Blickbewegungsstrategie nur durch Zufall zustande kam und bei einer größeren Anzahl von Probanden häufiger alternative Bewegungsmuster auftreten würden.

Der Proband, der das alternative Blickbewegungsmuster aufwies, blickte zunächst nach rechts, dann nach links und gegen Ende der Anfahrten in die Mitte der Querstraße. Es ist möglich, dass er sich zunächst ein Gesamtbild von der Querstraße machen wollte und schließlich die Aufgabe über Kontrastunterschiede oder *covert attention* löste [Pos80]. Bei Nutzung der *covert attention* hätte der Proband geradeaus geblickt und seine mentale Aufmerksamkeit aber auf Veränderungen in der Umgebung gelenkt. Bei der *change detection*-Aufgabe hätte er bei einer solchen Strategie weiterhin geradeaus geblickt. Da die Blicke des Probanden im *change detection*-Teil aber wieder stärker auf der Querstraße verstreut waren (Daten nicht gezeigt), kann angenommen werden, dass er in dieser Phase Unterschiede suchte und das präsentierte Bild mit dem Inhalt seines VSTM abglich.

Drei Probanden erfüllten zwar die Anforderungen an die *hit*- und die *false alarm*-Rate (Kapitel 2.5.3), blickten jedoch hauptsächlich geradeaus. Da angenommen wird, dass ein Auto, bzw. die Region um ein Auto fixiert werden muss, damit das Auto im VSTM repräsentiert ist, ist davon auszugehen, dass diese Probanden zur Bewältigung der Aufgabe nicht ihr VSTM nutzten. Eine mögliche Erklärung, wie sie die *change detection*-Aufgabe gelöst haben könnten, ist die *covert attention*, bei der die mentale Aufmerksamkeit auf Bereiche fokussiert wird, die nicht dem fixierten Bereich entsprechen [Pos80]. Weitere Möglichkeiten sind, dass die Probanden darauf warteten etwas „aus dem Augenwinkel heraus“ zu bemerken oder/und Kontrastunterschiede zwischen dem verschwindendem Auto und dem Hintergrund wahrnahmen³. Mit welcher Strategie sie die *change detection*-Aufgabe so oft erfolgreich lösten, kann letztlich nicht sicher gesagt werden.

4.5.2 Blickpunkte und Fixationen

Blickpunkte, Fixationen und Fixationsdauer

Aufgrund der Anweisung, Unfälle zu vermeiden, ist anzunehmen, dass die Probanden ihre Aufmerksamkeit während der Anfahrt hauptsächlich auf die unfallrelevanten Bereiche lenkten. Wenn dem so wäre, müssten in diesen Bereichen auch die meisten Blickpunkte und Fixationen liegen. Deshalb wurde betrachtet, wie viel Prozent der Blickpunkte und Fixationen auf welchen Bereich der Querstraße gingen und wie groß die Summe der Fixationszeiten pro Bereich war. Während der Anfahrten müssten, wenn diese Hypothese zutrifft, die meisten Blickpunkte und Fixationen in einer Entfernung von 123m bis 45m zur Kreuzung liegen,

²Es stellt kein Problem dar, den Querverkehr als Linksverkehr zu simulieren.

³Aussage eines Probanden.

da sich in diesem die unfallrelevanten Autos⁴ befanden. Auch die Fixationszeiten sollten in diesen Bereichen erhöht sein. Dies war jedoch in keinem der beiden Versuchsabläufe der Fall. Bis auf die Häufung im Bereich um 0m sind die Blickpunkte relativ gleichmäßig über die ganze Querstraße verteilt und fallen nach außen hin ab. Die Häufung an Blickpunkten und die längeren Fixationszeiten im Bereich um 0m kommen durch die kurze Phase zu Beginn jeder Anfahrt zustande, in der die Probanden noch geradeaus blickten. Die hohen Werte im Bereich um 0m im zweiten Versuchsablauf sind auf die Blickbewegungen von Proband 42 zurückzuführen, der am Ende jeder Anfahrt nochmals in den zentralen Bereich der Querstraße blickte. Die Werte fallen nach außen hin ab, da sich im Laufe der Anfahrt der sichtbare Bereich der Querstraße verringerte.

Vorletzte und letzte Fixationen

Während der kompletten Anfahrt konnten demnach keine Bereiche festgestellt werden, denen eine erhöhte Aufmerksamkeit zukam. Deshalb wurde untersucht, ob sich dies zumindest gegen Ende der Anfahrt änderte. Dafür wurden die Endpunkte der vorletzten Fixationen mit denen der letzten verglichen. Die Annahme war, dass die Endpunkte der letzten Fixationen im Vergleich zu denjenigen der vorletzten häufiger in den unfallrelevanten Bereichen lagen. Diesen Bereichen müsste, je näher das Ende der Anfahrtsphase kam, mehr Aufmerksamkeit zugekommen sein, da die Möglichkeit, auf die unfallrelevanten Autos zu reagieren, um den Unfall zu vermeiden, kurz bevor stand. Bei den Ergebnissen des ersten Versuchsaufbaus trifft dies tatsächlich zu. Diese Ergebnisse wurden jedoch nur mit den Daten von drei Probanden gewonnen. Bei den Ergebnissen des zweiten Versuchsaufbaus gibt es keine erkennbaren Unterschiede zwischen den vorletzten und letzten Fixationen, insbesondere keine erhöhte Anzahl von Fixationsendpunkten in den unfallrelevanten Bereichen. Auch hier ist zu beachten, dass nur die Daten von fünf Probanden zugrunde liegen. Die große Anzahl an Fixationen im zentralen Bereich lässt sich wieder durch Proband 42 erklären.

Bei dieser Auswertung wurden nur die Endpunkte der Fixationen einbezogen, die Fixationsdauer blieb unbeachtet. Deshalb ist es möglich, dass gerade eine lange Fixation mehrere Bereiche abdeckt und der Endpunkt damit nur bedingte Aussagekraft über die Aufmerksamkeitsverteilung bietet. Des Weiteren ist zu beachten, dass die letzte und vorletzte Fixation bei jeder Anfahrt zu einem anderen Zeitpunkt beendet sein konnte.

Mit Ausnahme von Proband 42 haben die Probanden somit insgesamt während der Anfahrten keinem Bereich erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Bei den Ergebnissen zur Abhängigkeit der Antwort von der Autoposition hat sich jedoch gezeigt, dass das Fehlen von Autos mit höherer Unfallrelevanz mit einer höheren Wahrscheinlichkeit in der *change detection*-Aufgabe bemerkt wurde. Dies legt den Schluss nahe, dass die Verarbeitung der Information im VSTM der Aufmerksamkeitssteuerung, hier durch die Blickbewegungen repräsentiert, nachgeschaltet ist. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Ergebnisse nur mit den Daten sehr weniger Probanden erzielt wurden und dieser Schluss eher als Trend angesehen werden sollte, den es mit einer größeren Zahl an Probanden zu überprüfen gilt.

⁴In Richtung der Kreuzung fahrende Autos in einer Entfernung von ca. 123m bis ca. 97m (Beginn der Anfahrt) bzw. von ca. 71m bis ca. 45m (Ende der Anfahrt) zum Kreuzungsmittelpunkt.

Letzte Fixation auf das verschwindende Auto

Um zu überprüfen, ob die Probanden zur Bewältigung der Aufgabe das VSTM einsetzen, wurde für beide Versuchsabläufe die Anzahl fixierter Autos seit der letzten Fixation auf das in der *change detection*-Aufgabe verschwindende Auto *A* betrachtet. Wie bereits erwähnt, wird angenommen, dass ein Auto fixiert werden muss, um im VSTM repräsentiert zu sein. Des Weiteren wird angenommen, dass die Reihenfolge der Fixierungen der Autos der Repräsentationsreihenfolge der Autos im VSTM entspricht. Angesichts der begrenzten Kapazität des VSTM lässt sich daraus die Hypothese ableiten, dass es zu einem Abfall an *hit*-Antworten und zu einem Anstieg an *miss*-Antworten kommen sollte, wenn seit der letzten Fixation auf das Auto *A* eine gewisse Anzahl anderer Autos fixiert wurden. Je länger die letzte Fixation her ist, desto schlechter sollte das Auto *A* im VSTM repräsentiert sein.

Dieser Effekt ist in den Ergebnissen der beiden Versuchsabläufe erkennbar. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Probanden tatsächlich ihr VSTM nutzten, da die *hit*-Antworten mit zunehmender Anzahl zwischenzeitlich fixierter Autos abnahmen. Da zu wenige Daten vorhanden sind, um eine eindeutige Aussage hinsichtlich der Kapazitätsgrenze des VSTM der Versuchspersonen zu treffen, wurde zur besseren Interpretation und Darstellung der Daten eine Grenze von vier Elementen angenommen. Dies entspricht der in verschiedenen Arbeiten angegebenen Limitierung des VSTM ([Sto08, Bad03]). Wenn vier Elemente im VSTM gehalten werden können, sollte die Anzahl der *hit*-Antworten abfallen, wenn nach der Fixation auf das verschwindende Auto *A* mehr als drei andere Autos fixiert wurden, die *miss*-Antworten sollten entsprechend in ihrer Anzahl steigen. Dies ist tatsächlich auch in beiden Versuchsabläufen erkennbar. Die meisten *hit*-Antworten folgten in beiden Versuchen auf Anfahrten, bei denen das verschwindende Auto *A* eines der letzten vier fixierten war. Bei *miss*-Antworten war es häufiger der Fall, dass die letzte Fixation auf das Auto *A* länger zurück lag. Die Ergebnisse der beiden Versuchsabläufe sind sehr ähnlich. Es scheint, dass die allgemein angenommene Kapazitätsgrenze des VSTM von ungefähr vier Elementen auch mit diesem Experiment bestätigt werden kann. Mit einer größeren Anzahl von Probanden könnte dies noch erhärtet werden.

Bei knapp einem Drittel aller Anfahrten, sowohl im ersten als auch im zweiten Versuchsaufbau, kam es zu einer korrekten *hit*-Antwort, obwohl das Auto nie fixiert wurde. Dies kann unterschiedliche Gründe haben. Es kann beispielsweise sein, dass die Probanden geraten haben. Aufgrund der Unterschiede in den Reaktionszeiten bei den *hit*- und *false alarm*-Antworten und angesichts der Erfüllung des Erfolgskriteriums ist dies eher unwahrscheinlich, aber bei einzelnen Anfahrten durchaus möglich. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass die Probanden in einigen Fällen das Verschwinden zufällig „aus dem Augenwinkel heraus“, z. B. über Kontrastunterschiede, bemerkt haben könnten. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass die Probanden mehrere Autos zu einer Gruppe zusammenfassten und das Fehlen eines Autos der Gruppe bemerkten, obwohl das Auto selbst nie fixiert wurde. In anderen Arbeiten wurde ein ähnlicher Effekt (mehrere Objekte werden als ein Element abgespeichert) bereits beschrieben [XC07, AF07, Sto08].

4.6 Ausblick

Für eventuell folgende Experimente sollte der Versuchsaufbau etwas überarbeitet werden. In diesem Kapitel wurde bereits ein Nachteil des angewandten Versuchsablaufes angesprochen: Es wurden viele Probanden benötigt, da nur wenige das Erfolgskriterium erfüllten (siehe

Kapitel 2.5.3). Mit dem zweiten Versuchsaufbau wurde hier bereits eine Verbesserung erzielt.

Mit der gleichen Anzahl Probanden ließe sich eine größere Menge an Daten erhalten, wenn man jede Versuchsperson mehr Anfahrten bewältigen ließe. In diesem Fall könnte man außerdem die Abstände der Messpunkte verringern und pro Messpunkt mehr als eine *change detection*-Aufgabe durchführen. Dies würde allerdings im selben Maße die Anzahl der Kontrollanfahrten, in denen kein Auto fehlt, und die Anzahl der Anfahrten mit Unfallvermeidung erhöhen. Die lange Versuchsdauer wäre jedoch angesichts des Head- und Eyetracking-Systems für die Versuchspersonen unangenehm, so dass pro Versuchsperson vermutlich zwei Sitzungen nötig wären.

Ein anderer Ansatz, um aus der gleichen Menge an Probanden eine größere Menge an Daten zu erhalten, wäre, dafür zu sorgen, dass eine größere Zahl an Probanden das Erfolgskriterium erfüllt. Dazu könnte man den Bereich, in dem Veränderungen auftreten können verkleinern und den Versuchspersonen mitteilen, in welchem Bereich der Querstraße Autos fehlen können. Somit müssten sie den äußeren Bereichen der Querstraße am Rand der Leinwand nicht mehr so viel Aufmerksamkeit zukommen lassen. Dies hätte vermutlich den Effekt, dass die Probanden das verschwindende Auto mit höherer Wahrscheinlichkeit während der Anfahrt zumindest einmal fixieren. Wenn es seltener eintritt, dass das verschwindende Auto nicht fixiert wird, so könnte man hinsichtlich des Einsatzes des VSTM und dessen Kapazität (siehe Kapitel 4.5.2) vermutlich deutlichere Ergebnisse erzielen.

Des Weiteren ließen sich noch eine Reihe von Kontrollexperimenten durchführen. So könnte man einen eventuell vorhandenen Effekt der Leinwand oder der Trackingsysteme ermitteln, indem der Versuch auf einem normalen Bildschirm durchgeführt wird. Außerdem könnte man die Probanden nach jeder Entscheidung im *change detection*-Teil angeben lassen, wie sicher sie sich in ihrer Antwort sind. Auf diese Weise ließen sich zufällig getätigte Antworten oder solche, bei denen die Versuchspersonen den Joystick versehentlich nicht in die eigentlich intendierte Richtung drückten, erkennen. So könnte ausgeschlossen werden, dass derartige Antworten das Ergebnis der Probanden in irgendeine Richtung verfälschen. Durch ein weiteres Kontrollexperiment ließe sich der Einfluss der Autofarben auf die Ergebnisse feststellen. Dazu müsste man die Anfahrten des 2. Versuchsaufbaus nochmals durchführen und dabei in der *change detection*-Aufgabe nur weiße Autos verschwinden lassen. Wenn sich die Antworten in Abhängigkeit von den Autopositionen nicht unterscheiden, so dürfte die Autofarbe keinen Einfluss haben.

Kapitel 5

Zusammenfassung

In der hier vorgelegten Diplomarbeit mit dem Titel *Untersuchung des visuellen und räumlichen Arbeitsgedächtnisses unter Verwendung des Phänomens der Veränderungsblindheit* sollte die Frage geklärt werden, ob, und wenn ja, in welchem Umfang, der Inhalt des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses (VSTM) in einer virtueller Umgebung mit Hilfe einer Veränderungsdetektionsaufgabe abgefragt werden kann. Die Aufgabe der Probanden bestand in der Vermeidung eines Unfalls in einem virtuellen Kreuzungsszenario. Diese Aufgabe wurde mit einer weiteren kombiniert, bei der den Probanden am Ende der passiven Anfahrtsphase ein statisches Bild der Kreuzung präsentiert wurde. Sie mussten anschließend entscheiden, ob im Vergleich zur Anfahrt ein Auto auf der Querstraße fehlte oder nicht (*change detection*).

Es konnte gezeigt werden, dass die *change detection*-Aufgabe eine adäquate Methode darstellt, den Inhalt des VSTM in einem dynamischen Paradigma abzufragen. Mit höherer Wahrscheinlichkeit wurde das Fehlen von Autos detektiert, die unfallrelevant waren, d. h. mit denen es ohne Eingreifen des Probanden bei weiterer Anfahrt eine Kollision gegeben hätte. Es wurde gezeigt, dass in Fällen, in denen die Probanden antworteten, dass ein Auto fehle, die Reaktionszeiten geringer waren, wenn tatsächlich ein Auto fehlte (*hit*), als wenn kein Auto fehlte (*false alarm*). Die schnellere Reaktion resultiert vermutlich daraus, dass sich die Probanden sicherer in ihrer Antwort waren, wenn in der Tat ein Auto fehlte.

Während der Versuche wurden außerdem die Blickbewegungen der Probanden aufgezeichnet und anschließend ausgewertet. Auf diese Weise sollte die Aufmerksamkeitssteuerung untersucht werden. Leider standen hierfür, u. a. aufgrund von Messfehlern, nur die Daten einiger Versuchspersonen zur Verfügung. Es konnte dennoch gezeigt werden, dass die meisten Probanden ein ähnliches Blickbewegungsmuster aufwiesen. Es gab allerdings auch Probanden, die die Aufgaben mit alternativen Blickbewegungsmustern bewältigten.

Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass ein Auto *A* umso schlechter im VSTM der Probanden repräsentiert war, je mehr Fixationen auf andere Autos seit der letzten Fixation auf das Auto *A* stattfanden. Es konnte nicht gezeigt werden, dass die Probanden während der gesamten Anfahrtsphase oder kurz vor deren Ende einem Bereich oder mehreren Bereichen der Querstraße besondere Aufmerksamkeit zukommen ließen, deshalb kann der Schluss gezogen werden, dass die Verarbeitung der Information im VSTM der Aufmerksamkeitssteuerung bzw. den Blickbewegungen nachgeschaltet ist. Aufgrund der geringen Anzahl an Daten konnte keine eindeutige Aussage über die Kapazität des VSTM getroffen werden, jedoch scheint die vielfach postulierte Grenze von vier Elementen auch durch diesen Versuchsaufbau bestätigt zu werden.

Aufgrund der geringen Datenmenge, die in die Auswertung der Blickbewegungen einfloß, sollten die Ergebnisse mit einer größeren Anzahl von Probanden überprüft werden. Des Weiteren wäre die Durchführung einiger Kontrollexperimente sicher aufschlussreich (vgl.

Kapitel 4.6).

Anhang A

A.1 Instruktion - 1. Versuchsaufbau

Liebe(r) Proband(in),

das heutige Experiment besteht aus einem graphischen Programm (ähnlich einem Computerspiel), welches auf die große gekrümmte Leinwand vor Ihnen projiziert wird. Zur Aufzeichnung Ihrer Kopf- und Augenbewegungen wird Ihnen der Versuchsleiter einen Helm mit einer entsprechenden Messapparatur aufsetzen und diese kalibrieren.

Zur eigentlichen Aufgabe:

Sie werden sich am Steuer eines Autos wieder finden, das auf eine Kreuzung mit Querverkehr zufährt. Der Versuch lässt sich in drei Phasen aufteilen: einen Anfahrtssteil, einen Abfrageteil und einen Unfallvermeidungsteil.

Zu Beginn jedes einzelnen Durchgangs des Versuches erscheint ein Kreuz, auf das Sie ihre Aufmerksamkeit lenken sollen (nähere Instruktionen bekommen Sie vom Versuchsleiter). Dieses Kreuz dient der Kalibrierung der beiden Trackinggeräte. Nach 5 Sekunden können Sie dann die einzelnen Durchgänge des Experiments durch Drücken der vorderen Taste am Joystick beginnen.

In der ersten Phase – dem Anfahrtssteil - fahren Sie mit konstanter Geschwindigkeit auf die Kreuzung zu, das heißt, Sie können Ihre eigene Geschwindigkeit nicht verändern. Auf der Querstraße der Kreuzung fahren die Autos mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 km/h. Während dieser ersten Phase sollen Sie die Straße mit den darauf befindlichen Autos betrachten um sich auf die spätere Unfallvermeidungsaufgabe (siehe unten) vorzubereiten.

35 m vor der Kreuzung erscheint ein schwarzer Balken. Damit beginnt die zweite Phase – der Abfrageteil – des Experimentes. Nachdem der Balken verschwunden ist, wird Ihnen ein statisches Bild der Kreuzung präsentiert, so wie Sie diese am Ende des Anfahrtssteils gesehen haben. Dabei kann jedoch ein Auto fehlen oder auch nicht. Innerhalb von 5 Sekunden müssen Sie sich entscheiden, ob ein Auto fehlt oder nicht. Drücken des Joysticks nach rechts heißt dabei „ein Auto fehlt“, drücken nach links heißt „kein Auto fehlt“.

Nach gegebener Antwort erscheint erneut ein schwarzer Balken und die Anfahrt auf die Kreuzung wird fortgesetzt. Nun beginnt der letzte, der Unfallvermeidungsteil. In diesem Teil müssen Sie die Geschwindigkeit Ihres Fahrzeugs ändern um einen Unfall zu vermeiden. Durch Ziehen des Joysticks nach hinten verlangsamt Ihr Auto die Geschwindigkeit (Das Auto kann dabei nur abgebremst, nicht aber ganz angehalten werden). Durch Drücken des Joysticks nach vorne beschleunigen Sie es.

Achtung: Sollte keine Reaktion erfolgen, so kommt es auf jeden Fall zu einem Unfall!

Zunächst kommen 5 Kreuzungsanfahrten während denen Sie sich an die virtuelle Welt und die Steuerung gewöhnen können. Dabei wird im Abfrageteil nie ein Auto fehlen.

Viel Spaß :)

A.2 Instruktion - 2. Versuchsaufbau

Liebe(r) Proband(in),

das heutige Experiment besteht aus einem graphischen Programm (ähnlich einem Computerspiel), welches auf die große gekrümmte Leinwand vor Ihnen projiziert wird. Zur Aufzeichnung Ihrer Kopf- und Augenbewegungen wird Ihnen der Versuchsleiter einen Helm mit einer entsprechenden Messapparatur aufsetzen und diese kalibrieren.

Zur eigentlichen Aufgabe:

Sie werden sich am Steuer eines Autos wieder finden, das auf eine Kreuzung mit Querverkehr zufährt. Es gibt zwei Arten von Versuchen, die in zufälliger Reihenfolge präsentiert werden. Beide Varianten lassen sich in zwei Phasen unterteilen: Bei der einen Variante einen Anfahrts- und einen Unfallvermeidungsteil, bei der anderen Variante einen Anfahrts- und einen Abfrageteil.

Zu Beginn jedes einzelnen Durchgangs des Versuches erscheint ein Kreuz, dessen Mitte Sie bitte mit den Augen fixieren sollen (nähere Instruktionen bekommen Sie vom Versuchsleiter). Dieses Kreuz dient der Kalibrierung der beiden Trackinggeräte. Nach 5 Sekunden können Sie dann die einzelnen Durchgänge des Experiments durch Drücken der vorderen Taste am Joystick beginnen.

In der ersten Phase jeder Versuchsvariante – dem Anfahrts- – fahren Sie mit konstanter Geschwindigkeit auf die Kreuzung zu, das heißt, Sie können Ihre eigene Geschwindigkeit nicht verändern. Auf der Querstraße der Kreuzung fahren die Autos mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 km/h. Während dieser ersten Phase sollen Sie die Straße mit den darauf befindlichen Autos betrachten um sich auf die folgende Aufgabe (siehe unten) vorzubereiten.

35 m vor der Kreuzung erscheint ein schwarzer Balken. Damit beginnt jeweils die zweite Phase des Experimentes.

Bei der Variante mit dem Unfallvermeidungsteil müssen Sie die Geschwindigkeit Ihres Fahrzeugs nun ändern um einen Unfall zu vermeiden. Durch Ziehen des Joysticks nach hinten verlangsamt Ihr Auto die Geschwindigkeit (Das Auto kann dabei nur abgebremst, nicht aber ganz angehalten werden). Durch Drücken des Joysticks nach vorne beschleunigen Sie es (max. 50 km/ h).

Achtung: Sollte keine Reaktion erfolgen, so kommt es auf jeden Fall zu einem Unfall!

Bei der Abfrage-Variante wird Ihnen, nachdem der Balken verschwunden ist, ein statisches Bild der Kreuzung präsentiert, so wie Sie diese am Ende des Anfahrts- gesehen haben. Dabei kann jedoch ein Auto fehlen oder auch nicht. Innerhalb von 5 Sekunden müssen Sie sich entscheiden, ob ein Auto fehlt oder nicht. Drücken des Joysticks nach rechts heißt dabei „es fehlt ein Auto“, drücken nach links heißt „kein Auto fehlt“. Nach Ihrer Entscheidung beginnt die nächste Anfahrt.

Zunächst kommen 10 Probe-Anfahrten während denen Sie sich an die virtuelle Welt, die Steuerung und die Aufgaben gewöhnen können, sowie letzte Fragen geklärt werden sollen.

Viel Spaß :)

A.3 Probandeninformation

Probandeninformation zum Experiment

Name des Versuchsleiters: Thomas Müller

Sie werden an einem psychophysischen Experiment zur Untersuchung der Befüllung des Arbeitsgedächtnisses und der Repräsentationen des Gedächtnisinhaltes beim Menschen teilnehmen. Das Experiment wird mit Hilfe einer Präsentationsleinwand durchgeführt, auf der virtuelle Umgebungen dargestellt werden. Ihre Augen- und Kopfbewegungen werden während des Experimentes mit Hilfe von Tracking-Geräten registriert.

Das Registrieren der Augen- und Kopfbewegungen durch entsprechende Tracking-Geräte ist nicht invasiv, kann nicht zu Schäden führen und hat keine Nebenwirkungen.

Die Präsentation von virtuellen Stimuli auf einer großen Projektionsleinwand kann gelegentlich zu leichtem Schwindel führen. Sollten Sie während der Experimente den Eindruck haben, dass Ihnen schwindlig wird, benachrichtigen Sie bitte sofort den Versuchsleiter, damit das Experiment abgebrochen werden kann.

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

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

Tübingen, den

Name der Versuchsperson

Unterschrift

Literaturverzeichnis

- [AB98] W. B. Atkins and A.D. Baddeley. Working memory and distributed vocabulary learning. *App. Psycholinguistics* 19, 19:537-552, 1998.
- [AF07] George A Alvarez and Steven L Franconeri. How many objects can you track? Evidence for a resource-limited attentive tracking mechanism. *J Vis*, 7(13):14.1–1410, 2007.
- [AMPM06] Roy Allen, Peter McGeorge, David G Pearson, and Alan Milne. Multiple-target tracking: A role for working memory? *Q J Exp Psychol (Colchester)*, 59(6):1101–1116, Jun 2006.
- [Bad66] A. D. Baddeley. Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic and formal similarity. *Q J Exp Psychol*, 18(4):362–365, Nov 1966.
- [Bad00] A. D. Baddeley. The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends Cogn Sci*, 4(11):417–423, Nov 2000.
- [Bad01] A. D. Baddeley. Is working memory still working? *Am Psychol*, 56(11):851–864, Nov 2001.
- [Bad03] A. D. Baddeley. Working memory: looking back and looking forward. *Nat Rev Neurosci*, 4(10):829–839, Oct 2003.
- [BF00] J. A. Bargh and M. J. Ferguson. Beyond behaviorism: on the automaticity of higher mental processes. *Psychol Bull*, 126(6):925–945, Nov 2000.
- [BHPR97] D. H. Ballard, M. M. Hayhoe, P. K. Pook, and R. P. Rao. Deictic codes for the embodiment of cognition. *Behav Brain Sci*, 20(4):723–42; discussion 743–67, Dec 1997.
- [CH64] R. Conrad and A. J. Hull. Information, acoustic confusion and memory span. *B. J. Psychol.*, 55:429-432, 1964.
- [DH07] Jason A Droll and Mary M Hayhoe. Trade-offs between gaze and working memory use. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 33(6):1352–1365, Dec 2007.
- [HGM08] Gregor Hardiess, Sabine Gillner, and Hanspeter A. Mallot. Head and eye movements and the role of memory limitations in a visual search paradigm. *J Vis*, 8(1):7.1–713, 2008.
- [Mil56] G. A. Miller. The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychol Rev*, 63(2):81–97, Mar 1956.
- [O’R92] J. K. O’Regan. Solving the realmysteries of visual perception: the world as an outside memory. *Can J Psychol*, 46(3):461–488, Sep 1992.
- [OSG09] OSG. <http://www.openscenegraph.com>, 2009.
- [PHV⁺] E. Papageorgiou, G. Hardiess, R. Vonthein, H. Ackermann, H.-O. Karnath, H. Wiethoelter, B. Schoenfish, H. A. Mallot, and U. Schiefer. Driving performance in patients with homonymous visual field defects and healthy subjects in a standardized virtual reality environment. Submitted.
- [Pos80] M. I. Posner. Orienting of attention. *Q J Exp Psychol*, 32(1):3–25, Feb 1980.

- [RCWS98] Ramesh Raskar, Matt Cutts, Greg Welch, and Wolfgang Stürzlinger. Efficient image generation for multiprojector and multisurface displays. *Proceedings of the 9th Eurographics Workshop on Rendering (pp. 139-144)*, Springer Verlag, 1998.
- [Ren99] Rensink. The magical number one, plus or minus zero. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 40:52–56, 1999.
- [Ren00] R. A. Rensink. Seeing, sensing, and scrutinizing. *Vision Res*, 40(10-12):1469–1487, 2000.
- [Ren02] Ronald A Rensink. Change detection. *Annu Rev Psychol*, 53:245–277, 2002.
- [ROC97] Ronald A. Rensink, J. Kevin O’Regan, and James J. Clark. To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychol. Sci.*, 8:368–373, 1997.
- [Ser92] E. Service. Phonology, working memory, and foreign-language learning. *Q J Exp Psychol A*, 45(1):21–50, Jul 1992.
- [SGB⁺99] S. Della Sala, C. Gray, A. Baddeley, N. Allamano, and L. Wilson. Pattern span: a tool for unwinding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, 37(10):1189–1199, Sep 1999.
- [She98] S.J. Shettleworth. *Cognition, Evolution, and Behavior*. Oxford University Press, 1998.
- [SL97] D. J. Simons and D. T. Levin. Change blindness. *Trends Cogn. Sci.*, 1:261–267, 1997.
- [SL98] D. J. Simons and D. T. Levin. Failure to detect changes to people in a real-world interaction. *Psychon. Bull. Rev.*, 5:644–649, 1998.
- [SPWB14] T. Shallice and P. W. Brain P. W. Burgess. Deficits in strategy application following frontal lobe damage in men. *Brain*, 727-741:1991, 114.
- [Sto08] Stefan Storch. Die Rolle des Arbeitsgedächtnisses in einem virtuellen dynamischen Kollisionsvermeidungsexperiment. Diplomarbeit. 2008.
- [WG02] Peter Willemsen and Amy A. Gooch. Perceived egocentric distances in real, image-based, and traditional virtual environments. *Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2002 (VR02)*, page 275276, 2002.
- [WS98] Bob G. Witmer and Wallace J. Sadowski. Nonvisually guided locomotion to a previously viewed target. *Real and Virtual Environments, Human Factors*, 40:478–484, 1998.
- [XC07] Yaoda Xu and Marvin M Chun. Visual grouping in human parietal cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 104(47):18766–18771, Nov 2007.