

Worauf achtet der Fahrer?  
Steuerung der Aufmerksamkeit beim  
Fahren mit visuellen  
Nebenaufgaben

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der  
Philosophischen Fakultät II  
der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Vorgelegt von  
Barbara Metz  
aus Würzburg

Würzburg  
2009

---

Erstgutachter: Professor Dr. Hans-Peter Krüger  
Zweitgutachter: Professor Dr. Joachim Hoffmann

Tag des Kolloquiums: 22. Juli 2009

## DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit entstand teilweise im Rahmen des Forschungsprojekts „Das Konzept des Situationsbewusstseins und seine Implikationen für die Fahrsicherheit“, das im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) am WIVW (Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften) durchgeführt wurde. Besonders bedanken möchte ich mich daher stellvertretend für den gesamten FAT-Arbeitskreis AK2 bei dessen Leiter Herrn Dr. Wilfried König und dem Projektverantwortlichen bei der BASt Herrn Dr. Christhard Gelau, dass sie die vorliegende Arbeit ermöglicht haben.

Darüber möchte ich einigen weiteren Personen danken, die mich während dem Verfassen dieser Arbeit besonders unterstützt haben.

Als erstes ist meine Kollegin Nadja Rauch zu nennen, mit der ich das Projekt zu Situationsbewusstsein beim Fahren bearbeiten durfte. Im Rahmen dieses Projekts ist ein Teil der in dieser Arbeit vorgestellten Untersuchungen entstanden. Vielen Dank an Nadja für die gute Zusammenarbeit, die vielen fruchtbaren Diskussionen sowie ihre Mithilfe beim Korrekturlesen dieser Arbeit. Da wir uns die Ergebnisse dieses Projekts geteilt haben und sie in ihrer Dissertation stärker die Projektergebnisse zum Thema Situationsbewusstsein behandelt, verweise ich an entsprechenden Stellen immer wieder auf ihre Arbeit. Ich freue mich sehr, dass wir beide die Möglichkeit hatten, im Rahmen dieses Projekts zu promovieren, und uns gegenseitig in unseren Arbeiten unterstützen konnten.

Des Weiteren geht ein besonderer Dank an Herrn Prof. Dr. Krüger, der diese Arbeit betreut und durch zahlreiche Diskussionen angeregt hat.

Außerdem möchte ich Danke sagen an Sonja Hoffmann für die Rekrutierung der Probanden sowie an die Informatiker für die erforderlichen Vorbereitungen der Simulation. Weiterhin möchte ich Christian Stößel für seine Mithilfe bei der Umsetzung von Studie 3 danken. Desgleichen vielen Dank an Su Chen-Yung für seine Unterstützung bei der Planung und Durchführung von Studie 4. Vielen Dank auch an Susanne Jeßberger für ihre zuverlässige Mithilfe bei der Datenerhebung. Einen besonderen Dank auch an Volker Hargutt für die gute Methodenausbildung sowie das Gegenlesen und die vielen hilfreichen Kommentare zu dieser Arbeit.

Zu guter Letzt vielen Dank an meine Freunde und an meine Familie, die mich während des Studiums und der Erstellung dieser Arbeit immer gefördert und unterstützt haben.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Steuerung der Aufmerksamkeit während visueller Nebenaufgaben beim Fahren. Es wird angenommen, dass für die visuelle Wahrnehmung beim Fahren drei Prozesse zur Steuerung der Aufmerksamkeit beitragen. (1) Über top-down Prozesse wird die Aufmerksamkeit auf für die aktuelle Handlung besonders relevante Situationsbestandteile gelenkt. (2) Explorative Wahrnehmung dient dazu, ein umfassenderes Situationsmodell zu entwickeln, das neben aktuell handlungssteuernden Situationsbestandteilen auch andere, potentiell aufgabenrelevante Objekte zu einem umfassenderen Abbild der Situation integriert. (3) Saliante Reize können über bottom-up Aktivierung die Aufmerksamkeit auf sich ziehen.

Aus der Literatur ist bekannt, dass Fahrer während der Bearbeitung visueller Zweit- aufgaben mit ihrem Blick und damit mit ihrer Aufmerksamkeit wiederholt zwischen Fahr- und Nebenaufgabe wechseln. Grundlage der experimentellen Arbeiten ist die Idee, dass hierbei die Ausrichtung der Aufmerksamkeit in der Fahraufgabe über top-down Prozesse gesteuert wird und auf einem mentalen Abbild der Situation basiert. Vor dem Beginn der Nebenaufgabe fokussiert der Fahrer auf die Fahrsituation, bewertet sie und entwickelt eine Antizipation der zukünftigen Situationsentwicklung. Das entstehende Situationsmodell entscheidet darüber, wie viel Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabenbearbeitung auf die Fahraufgabe verwendet wird, und welche Situationsbestandteile durch die Blicke zur Straße kontrolliert werden. Es wird angenommen, dass der Fahrer über top-down Prozesse seine Aufmerksamkeit auf als relevant für die Situationsentwicklung bewertete Situationsbestandteile lenkt. Andere Objekte, sowie eine von der aktuellen Fahraufgabe unabhängige, explorative Wahrnehmung der Fahrsituation werden während der Nebenaufgabenbearbeitung vernachlässigt. Aus der Literatur ergeben sich außerdem Hinweise darauf, dass eine reizbasierte bottom-up Ausrichtung der Aufmerksamkeit während visueller Ablenkung zumindest eingeschränkt, wenn nicht sogar zeitweise vollständig unterdrückt ist.

Die durchgeführten experimentellen Arbeiten finden in der Fahrsimulation Belege für die angenommen top-down Steuerung der Aufmerksamkeit während der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben beim Fahren. Es werden zwei unterschiedliche Messansätze verwendet. Die ersten beiden Studien greifen auf die Analyse des Blickverhaltens zurück. In diesen beiden Studien absolvieren die Testfahrer längere, anspruchsvolle Fahrten, während denen visuelle Nebenaufgaben bearbeitet werden. Es ergeben sich Hinweise auf eine tiefere visuelle Verarbeitung der Fahrszene direkt vor dem Beginn der Nebenaufgabe. Während der Bearbeitung der visuellen Nebenaufgaben passen die Fahrer ihre Aufmerksamkeitsverteilung an die Erfordernisse der Fahrsituation an: In anspruchsvollen Fahrsituationen wird häufiger und länger auf die Straße geblickt als in weniger beanspruchenden Situationen. Es finden sich außerdem Hinweise dafür, dass spezifische Fahrfehler mit einer fehlerhaften Ausrichtung der Aufmerksamkeit in der Fahrsituation in Zusammenhang stehen.

Studie 3 und 4 verwenden das Phänomen der Change Blindness als Indikator für die Ausrichtung der Aufmerksamkeit. Im Rahmen von Fahrten mit kontrollierten Situationsbedingungen wird die Hypothese untersucht, dass während der Bearbeitung visueller Nebenaufgabe die fahrbezogene Aufmerksamkeit auf fahrrelevante Situationsbestandteile gelenkt wird. Die Testfahrer nähern sich wiederholt Kreuzungen an. Während der Anfahrten wird über Okklusion ein Blickverhalten vorgegeben, das dem

bei der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben ähnelt. Die Fahrer sollen mit Tastendruck reagieren, wenn sie plötzliche Änderungen bemerken. Die Änderungen können sowohl sich der Kreuzung annähernde (d.h. relevante) als auch an sich von der Kreuzung entfernende (d.h. irrelevante) Fahrzeuge betreffen. Insbesondere bei kurzen Blickzeiten für die Straße zeigen die Ergebnisse eine schlechte Entdeckungsleistung für Änderungen an irrelevanten Fahrzeugen. Änderungen an relevanten Objekten werden dagegen so gut wie immer bemerkt. Ob die Änderung durch Okklusion maskiert wird oder ob sie stattfindet, während die Fahrer die Straße sehen, hat keinen eindeutigen Einfluss auf die Entdeckungsleistung. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass in der untersuchten Doppelaufgabensituation keine bottom-up Ausrichtung der Aufmerksamkeit erfolgt.

Die angenommene top-down gesteuerte Beschränkung der Aufmerksamkeit auf Bestandteile der Fahrsituation, die als relevant bewertet werden, hat Konsequenzen für die Analyse von Verkehrsunfällen. Unfälle infolge von visueller Ablenkung durch selbst initiierte Zweitaufgaben sind dann besonders wahrscheinlich, wenn das Situationsmodell des Fahrers falsch oder ungenau ist. Dies kann beispielsweise geschehen, wenn ein peripheres, nicht beachtetes Objekt plötzlich relevant wird und eine Reaktion des Fahrers erforderlich macht. In Übereinstimmung mit Befunden zur Gefahrenwahrnehmung sind besonders Fahranfänger aufgrund ihrer noch nicht ausreichend entwickelten mentalen Modellen anfällig für Fehleinschätzungen von Fahrsituationen. Dies führt bei Ablenkung durch Nebenaufgaben zu einer erhöhten Unfallgefährdung.

Die in Studie 3 und 4 verwendete experimentelle Anordnung hat bei entsprechender Weiterentwicklung das Potential, im Fahrzeug standardisiert die Auswirkung unterschiedlicher Nebenaufgaben auf die Steuerung der Aufmerksamkeit zu prüfen. Hierfür müssen Änderungsarten und Fahrsituationen generiert werden, die zwischen gut und schlecht mit der Fahraufgabe kombinierbaren Nebenaufgaben differenzieren. Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass - anders als in aktuellen Richtlinien vorgesehen - nicht nur die Dauer und Häufigkeit von Blickabwendungen berücksichtigt wird, sondern auch die Auswirkung der Ablenkung auf die Aufmerksamkeitsverteilung erfassbar wird.

## SUMMARY

This thesis deals with the question of how attention is controlled during driving with visual secondary tasks. It is assumed that in attentive driving three attentional processes contribute to the perception of the driving scene: (1) Top-down controlled attention is focused on those elements in the driving scene which are currently most relevant for the action of the driver. (2) Through explorative perception other currently not action guiding but potentially relevant objects are integrated into a broader mental model of the driving scene. Furthermore, salient cues in the environment can attract attention through stimulus triggered bottom-up activation of attention (3).

The literature reports that in driving with visual secondary tasks drivers repeatedly switch their gaze - and that means attention - between the driving task and the visual secondary task. The background of the experimental work presented here is the idea that this switching is controlled through top-down processes and is based on a mental model of the driving situation. Before starting a secondary task, drivers focus on the driving scene, evaluate it and create a situational model that contains an anticipation of the likely future development of the driving situation. The situational model is used to decide how much attention is directed to the driving task during the secondary task and which elements of the driving scene are monitored with the glances directed to the road. Based on top-down processes, drivers direct their attention to those parts of the scenery which they believe to be the most relevant ones. Other, less relevant objects are neglected. Furthermore, during the secondary task execution, no explorative perception of the driving scene takes place. In the literature, results can be found that hint at a diminished if not even temporarily suppressed influence of stimulus based bottom-up activation of attention in dual-task situations.

The results of the experimental part support the assumed top-down control of attention while driving with visual secondary tasks. In four experiments in the driving simulation, two different experimental approaches are used to assess the distribution of attention. The first two studies use eye movement analysis. The participants drive through a longer, demanding course during which they solve visual secondary tasks. The results indicate a deeper visual processing directly prior to the start of a secondary task. During the secondary task execution, the distribution of attention between driving and the visual secondary task is adapted to the demands of the driving scene. In more demanding situations, more attention is directed to the driving scene. A relation between specific driving errors and an inadequate distribution of attention in the driving task can be shown.

Study 3 and 4 use the phenomenon of change blindness as an indicator for the focus of attention. In drives with defined and controlled situational circumstances, the hypothesis is studied that, in dual-task situations, drivers direct their driving related attention primarily to relevant parts of the driving scene. The participants repeatedly approach crossings. During the approaches, a gaze pattern typical for driving with a visual secondary task is experimentally created through occlusion. The drivers are instructed to look for sudden changes. These changes can either occur to relevant vehicles or to vehicles that are irrelevant. Especially with short glance durations for the driving scene, change blindness for changes occurring to irrelevant objects is high. On the other side, changes to relevant objects are nearly always detected.

Whether the change is visible or occluded has no clear influence on the detection of the changes. This can be seen as an indicator, that in the situation under investigation, no bottom-up activation of attention takes place.

The assumed top-down control of attention while driving with visual secondary tasks has consequences for the analysis of accidents. Accidents through self initiated secondary tasks are most likely to happen, when the situational model of the driving scene is incorrect and leads to an inadequate distribution of attention. For example, this can be the case if some peripheral object that is considered to be irrelevant suddenly becomes relevant. Because of their insufficiently developed mental models for the driving task, novice drivers are especially prone to misjudge driving situations. Together with distraction through visual secondary tasks this leads to a higher probability for collisions while being distracted.

The experimental approach used in study 3 and 4 could potentially become a standardized method to evaluate different in-vehicle systems. For this to become true, driving situations and changes need to be developed, for which the amount of change blindness differentiates between safe and unsafe secondary tasks. This approach would not only take duration and number of glances to the secondary task into account but would also assess the consequences of the distraction on the distribution of attention.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>BLICKBEWEGUNGSMESSUNG IM FAHRKONTEXT .....</b>	<b>13</b>
2.1	Zusammenhang Blickbewegung und visuelle Wahrnehmung	13
2.2	Parameter und ihre Interpretation im Fahrkontext	15
2.3	Fazit Blickbewegungsmessung	18
<b>3</b>	<b>FAHREN MIT VISUELLEN NEBENAUFGABEN.....</b>	<b>19</b>
3.1	Untersuchung mittels Blickverhaltensmessung	19
3.1.1	Blickabwendungen bei visuellen Nebenaufgaben	19
3.1.2	Straßenblicke während Nebenaufgaben	21
3.1.3	Einfluss von Fahrsituation und Fahrerfahrung	24
3.1.4	Fazit	26
3.2	Andere Untersuchungsansätze	26
3.2.1	Die Methode der Okklusion	26
3.2.2	Der Peripheral Detection Task	28
3.2.3	Fazit	29
3.3	Anforderungen an die Gestaltung von Systemen im Fahrzeug	30
3.4	Modelle zur Steuerung der Aufmerksamkeit während visueller Nebenaufgaben beim Fahren	32
3.5	Fazit fahrbezogene Aufmerksamkeit beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben	36
<b>4</b>	<b>AUFMERKSAMKEIT UND VISUELLE WAHRNEHMUNG .....</b>	<b>38</b>
4.1	Funktion von Aufmerksamkeit im Rahmen der visuellen Wahrnehmung	38
4.2	Grenzen der visuellen Verarbeitung	40
4.2.1	Definitionen und Methoden	40
4.2.2	Ursachen für Change Blindness	42
4.2.3	Change Blindness und inattentional Blindness im Fahrkontext	44
4.2.4	Fazit Grenzen der visuellen Verarbeitung	48
4.3	Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren	49
4.3.1	Bottom-up vs. top-down Steuerung der Aufmerksamkeit	49
4.3.2	Aufgabenbezogene Steuerung der Aufmerksamkeit	51
4.3.3	Modelle zur erfahrungsgeliteten Steuerung der Aufmerksamkeit	54
4.4	Aufmerksamkeit bei Mehrfachaufgaben	60
<b>5</b>	<b>BEDEUTUNG DER BEFUNDE FÜR DIE FRAGESTELLUNG.....</b>	<b>64</b>

---

5.1	Komponenten der Aufmerksamkeitssteuerung beim Fahren	64
5.2	Auswirkung von visuellen Nebenaufgaben	67
5.3	Möglichkeit der experimentellen Prüfung	69
<b>6</b>	<b>STUDIE 1 &amp; 2: BLICKBEWEGUNGSMESSUNG ALS INDIKATOR .....</b>	<b>71</b>
6.1	Hintergrund	71
6.2	Allgemeiner Versuchsaufbau	71
6.2.1	Der Simulator	72
6.2.2	Die Strecke	73
6.2.3	Darbietung der Nebenaufgabe	78
6.2.4	Parameter der Nebenaufgabe und des Fahrverhaltens	79
6.2.5	Blickbewegungsmessung	79
6.3	Allgemeines zur Auswertung	81
6.4	Studie 1: Extern gesteuerte Nebenaufgabe	82
6.4.1	Die Nebenaufgabe	82
6.4.2	Versuchsplan	83
6.4.3	Stichprobe und Versuchsablauf	84
6.4.4	Weiterführende Auswertung der Blickdaten	85
6.4.5	Überblick über die ausgewerteten Parameter	87
6.4.6	Ergebnisse Studie 1	88
6.4.7	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse	95
6.5	Studie 2: Selbstgesteuerte Nebenaufgabe	98
6.5.1	Hintergrund von Studie 2	98
6.5.2	Die Nebenaufgabe	99
6.5.3	Versuchsplan	101
6.5.4	Stichprobe und Versuchsablauf	102
6.5.5	Weiterführende Auswertung der Blickdaten	102
6.5.6	Überblick über die ausgewerteten Parameter	103
6.5.7	Ergebnisse Studie 2	104
6.5.8	Zusammenfassung der Ergebnisse	117
6.6	Vergleich der Nebenaufgaben	119
6.7	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse	123
<b>7</b>	<b>STUDIE 3 &amp; 4: CHANGE BLINDNESS ALS INDIKATOR .....</b>	<b>128</b>
7.1	Notwendigkeit eines neuen Messansatzes	128
7.2	Allgemeiner Versuchsaufbau	129
7.3	Der Simulator	130
7.4	Allgemeines zur Auswertung	131
7.5	Studie 3	131
7.5.1	Versuchsaufbau und Versuchsdesign	131

7.5.2	Stichprobe und Versuchsablauf	137
7.5.3	Kontrolle der implementierten Änderungen	137
7.5.4	Ergebnisse	140
7.5.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	149
7.5.6	Interpretation der Ergebnisse	149
7.6	Studie 4	154
7.6.1	Hintergrund	154
7.6.2	Versuchsaufbau und Versuchsdesign	154
7.6.3	Stichprobe und Versuchsablauf	158
7.6.4	Kontrolle der implementierten Änderungen	159
7.6.5	Ergebnisse	160
7.6.6	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse	166
7.7	Fazit der Change Blindness Untersuchungen	167
<b>8</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>171</b>
8.1	Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben	171
8.1.1	Einfluss von top-down Prozessen	171
8.1.2	Einfluss explorativer Wahrnehmung	173
8.1.3	Einfluss von bottom-up Prozessen	173
8.2	Bezug zu Modellen aus der Literatur	174
8.3	Entwicklung einer neuen Untersuchungsmethode	176
8.4	Bedeutung für die Analyse von Verkehrsunfällen	177
8.5	Bedeutung für die Bewertung von Fahrerinformationssystemen	178
<b>9</b>	<b>LITERATUR.....</b>	<b>180</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>190</b>
10.1	Übersicht über Blickverhaltensparameter	190
10.2	Detaillierte Beschreibung der Situationen aus Studie 1 und Studie 2	194
10.3	Instruktion Studie 1	199
10.3.1	Instruktion Übung	199
10.3.2	Instruktion Versuchsfahrt	201
10.4	Instruktion Studie 2	202
10.4.1	Instruktion Übung	202
10.4.2	Instruktion Versuchsfahrt	204
10.5	Fragebogen Studie 3	206
10.6	Fragebogen Studie 4	207

## 1 EINLEITUNG

In Unfallanalysen wird ein großer Teil der registrierten Verkehrsunfälle auf Aufmerksamkeitsfehler des Fahrers zurückgeführt. In der Analyse von Brown (2005) wurden beispielsweise 46% der 1999 in einer Untersuchung in England protokollierter Unfälle der Kategorie Unaufmerksamkeit zugeordnet. Die breite Kategorie der Aufmerksamkeitsfehler umfasst verschiedenste Unfallursachen. Sie beinhaltet beispielsweise neben Unfällen, die durch Ermüdung oder Ablenkung des Fahrers durch Nebenbeschäftigung geschehen, auch so genannte Looked-but-failed-to-see Unfälle. Abbildung 1-1 zeigt eine Klassifikation des Fahrerszustands während Verkehrsunfällen von Wang, Knipling u. Goodman (1996).

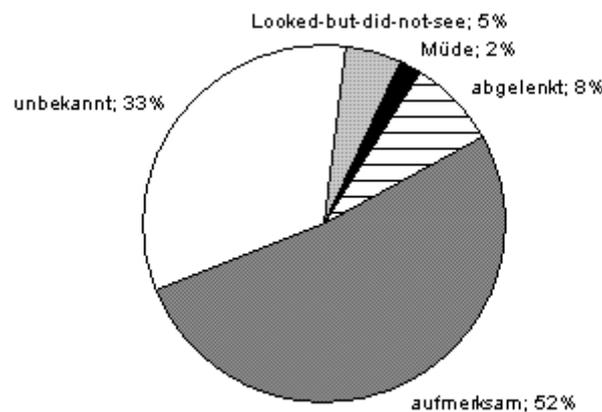


Abbildung 1-1: Klassifikation des Fahrerszustandes bei Kollisionen nach Wang et al. (1996).

Die aktuell viel diskutierte 100-car-Study untersuchte anhand 100 mit Messtechnik ausgestatteter Fahrzeuge die während der rund einjährigen Erhebungszeit auftretenden Unfälle und Beinaheunfälle (Neale, Dingus, Klauer, Sudweeks u. Goodman, 2005). In der zugrunde liegenden Stichprobe wurden rund 80% der Unfälle und rund 65% der Beinaheunfälle auf Unaufmerksamkeit zurückgeführt. Unaufmerksamkeit wird hierbei in Müdigkeit, fahrbezogene Blickabwendung von der Frontsicht, unspezifische Blickabwendung und Ablenkung durch Nebenaufgaben unterteilt. Insbesondere Ablenkung des Fahrers durch visuell beanspruchende Zweitaufgaben wird immer wieder als besonders gefährlich diskutiert. Als Folge dessen existiert eine Vielzahl von Studien, die die Auswirkung visueller Ablenkung auf das Fahren untersucht. Als Untersuchungsansätze haben sich neben den bereits erwähnten Unfallanalysen, die Analyse der Auswirkung auf das Fahrverhalten (für einen Überblick siehe Rauch, Schoch u. Krüger, 2007) sowie die Analyse des Blickverhaltens durchgesetzt. Bei allen Ansätzen wird in der Regel die Auswirkung der visuellen Ablenkung durch eine Zweitaufgabe auf die untersuchten Parameter beschrieben. Anhand der erfassten

Auswirkungen wird versucht, gefährliche von ungefährlichen Nebenaufgaben abzugrenzen. Als Folge dieser Bemühungen existieren mittlerweile Richtlinien, die Anforderung definieren, die potentiell ablenkende Systeme im Fahrzeug (z.B. Navigationssysteme, Bordcomputer) erfüllen müssen, um als sicher mit der Fahraufgabe kombinierbar zu gelten.

Im Gegensatz zu der Vielzahl von Studien, die sich mit der Beschreibung der Auswirkung von Ablenkung auf das Fahren befassen, sind die zugrunde liegenden kognitiven Prozesse deutlich schlechter untersucht. In der Regel wird die Auswirkung von Zweitaufgaben auf die Aufmerksamkeit als ausreichend bzw. zu wenig von für das Fahren verfügbarer Ressourcen beschrieben. Wenig erforscht ist, welche Auswirkung Ablenkung auf die Ausrichtung und die Steuerung der Aufmerksamkeit im Detail nimmt. Um die zugrunde liegenden Prozesse verstehen zu können, reicht die Beschreibung der Auswirkung von Ablenkung auf das Fahren bzw. auf das Blickverhalten nicht aus. Zusätzlich braucht man eine Vorstellung davon, wie Aufmerksamkeit beim „normalen“, d.h. nicht abgelenkten Fahren gesteuert wird. Nur unter Berücksichtigung beider Komponenten, kann die Auswirkung der Ablenkung auf das Fahren und die dabei auftretende Änderung der Aufmerksamkeitssteuerung im Vergleich zum nicht abgelenkten Fahren verstanden werden. Leider sind die Prozesse der Aufmerksamkeitssteuerung beim normalen Fahren nicht gut untersucht.

„How people actually drive is not well understood. Most of the research has focused on what happens to people when they are involved in accidents and other matters pertaining to crashworthiness [...]. Further, very little is known about what behavior constitutes normal driving.” (Green, 1995, S.5; zitiert nach Zhang u. Smith, 2004)

Hinweise darauf, wie Aufmerksamkeit beim Fahren gesteuert wird und welche Auswirkung die Zuwendung zu visuellen Nebenaufgabe hat, können sowohl aus der verkehrspsychologischen Forschung als auch aus Ansätzen und Modellen der grundlagenorientierten Aufmerksamkeitsforschung kommen. Erst wenn man besser versteht, wie sich die Steuerung der Aufmerksamkeit durch visuelle Ablenkung ändert, kann man beispielsweise erklären, wieso Ablenkung manchmal zu sicherheitskritischen Aufmerksamkeitsdefiziten führt, in der Regel die Fahraufgabe aber trotz Ablenkung sicher bewältigt wird. Eine Vorstellung über die bei der Steuerung der Aufmerksamkeit beteiligten Prozesse kann nicht nur zum besseren Verständnis von Verkehrsunfällen führen. Die identifizierten Prozesse können möglicherweise auch zu der Entwicklung neuer Messmethoden bzw. modellbasierter Untersuchungsansätze beitragen. In der aktuellen Forschung wird in der Regel die Blickverhaltensmessung zur Analyse von Aufmerksamkeit beim Fahren mit Nebenaufgaben herangezogen.

## 2 BLICKBEWEGUNGSMESSUNG IM FAHRKONTEXT

### 2.1 Zusammenhang Blickbewegung und visuelle Wahrnehmung

Bei der Bewegung des menschlichen Auges wechseln sich längere Phasen mit geringer okkulomotorischer Bewegung und kürzere Phasen schneller Augenbewegungen ab. Die relativ stationären Phasen werden in Fixationen und langsame Folgebewegungen unterteilt, die schnellen Bewegungen des Auges bezeichnet man als Sakkaden. Sakkaden unterscheiden sich von eher stationären Phasen nicht nur durch die Geschwindigkeit der Augenbewegung, sie übernehmen bei der visuellen Wahrnehmung auch eine vollkommen andere Funktion. Während Sakkaden wird keine visuelle Information verarbeitet. Dieses Phänomen bezeichnet man als Saccadic suppression (z.B. Ross, Morrone, Goldberg u. Burr, 2001). Abbildung 2-1 verdeutlicht an einem Beispiel, dass ca. 50 ms vor bis 150 ms nach Ende einer Sakkade die Wahrnehmung visueller Reize beeinträchtigt ist. Bis ca. 30 ms nach Beginn einer Sakkade ist fast gar keine visuelle Verarbeitung möglich.

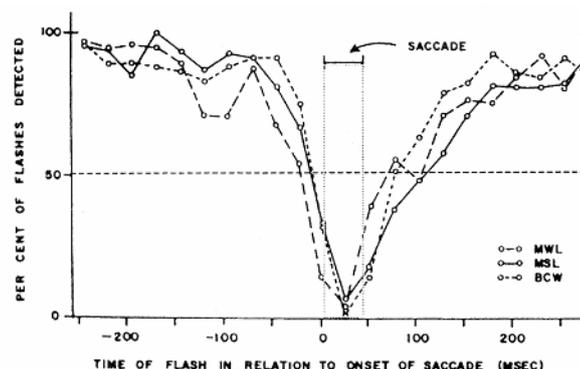


Abbildung 2-1: Beispiel für das Phänomen der „saccadic suppression“. Dargestellt ist die Entdeckungswahrscheinlichkeit für bestimmte Reize in Abhängigkeit des Abstands zum Beginn einer Sakkade (Onset = 0; zitiert nach Roetting, 2001).

Visuelle Verarbeitung findet überwiegend in Phasen statt, in denen sich das Auge in relativer Ruhe befindet. Hier ruht der Blick stabil auf einem bestimmten Teil der Umwelt. Sakkaden dienen dazu, das Auge im Raum neu auszurichten und so die visuelle Wahrnehmung auf einen neuen Ort zu verschieben. Während Fixationen hängt die Genauigkeit der visuellen Verarbeitung davon ab, auf welche Position im Auge das Abbild eines Objekts fällt. Die Wahrnehmung von Farben und Konturen ist in der Fovea, d.h. dem Ort auf der Retina, auf den das jeweils fixierte Objekt fällt, am detailliertesten. Dies bedeutet aber nicht, dass Objekte, die außerhalb der Fovea abgebildet werden, überhaupt nicht wahrgenommen werden. Auch periphere Bestandteile der Szene werden visuell verarbeitet. Dies geschieht aber mit geringerer Auflösung der Details und mit steigendem Abstand zur Fovea mit geringerer Farbigkeit.

In der Forschung werden Fixationen als Indikator für die Ausrichtung der visuellen Wahrnehmung herangezogen. Hierbei geht man meistens zumindest implizit von

zwei Annahmen aus, die einen Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit und Fixation herstellen (Roetting, 2001):

1. Das fixierte Objekt ist das Objekt, auf dem die visuelle Aufmerksamkeit ruht.
2. Die Fixationsdauer ist Indikator für die Dauer, mit der ein Objekt aufmerksam verarbeitet wird.

Eine enge Kopplung zwischen Aufmerksamkeit und Fixation konnte experimentell nachgewiesen werden. Laut Hoffmann (1993) handelt es sich bei Aufmerksamkeit:

„nicht um einen von der Blickbewegung unabhängigen mentalen Mechanismus, [...]. Es handelt sich vielmehr um einen Vorgang zur Steuerung und Kontrolle von Blickbewegungen, um einen Mechanismus also, der gerade nicht unabhängig von ihnen ist.“ (Hoffmann, 1993 S.99)

Genauer gesagt wird die Aufmerksamkeit kurz vor einer Sakkade auf das neue Blickziel verschoben. Diese Behauptung lässt sich durch eine Reihe psychologischer (Kowler, Anderson, Doshier u. Blaser, 1995; Rizzolatti, Riggio, Dascola u. Umilta, 1987) und neuropsychologischer Befunde stützen (z.B. Bushnell, Goldberg u. Robinson, 1981; Colby, 1998). So wird beispielsweise über Einzelzellableitungen das Verhalten einzelner Neurone im visuellen Kortex vor, nach und während Sakkaden untersucht. Untersuchungen zum zeitlichen Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit und Blickbewegung zeigen, dass die Verschiebung der Aufmerksamkeit rund 100 ms vor der Sakkade stattfindet (Deubel, in Press; Breitmeyer u. Braun, 1999).

Entgegen diesem Zusammenhang hat vermutlich schon jeder die Erfahrung gemacht, dass eine Trennung von Blickziel und Aufmerksamkeit möglich ist. Von dieser Möglichkeit macht man beispielsweise Gebrauch, wenn man versucht, jemanden aus dem Augenwinkel zu beobachten. An dem genannten Beispiel wird auch deutlich, dass ein solches Beobachten aus dem Augenwinkel nicht automatisch geschieht, sondern vom Beobachter gewollt werden muss. Eine Entkoppelung von Fixation und Aufmerksamkeit muss im Normalfall willentlich initiiert werden und setzt die Aufwendung von Anstrengung voraus. Willentlich wird dann die normalerweise mit der Verschiebung der Aufmerksamkeit verknüpfte Blickbewegung unterdrückt. Abgesehen von Ausnahmesituationen mit bewusster Entkoppelung von Aufmerksamkeit und Fixationsort kann man jedoch beim aufmerksamen Beobachter im Normalfall eine enge zeitliche und räumliche Kopplung der visuellen Aufmerksamkeit an den Fixationsort annehmen.

Auf das Fahren bezogene Blickanalysen basieren, wie Blickanalysen in anderen Forschungsbereichen auch, in der Regel auf der Auswertung von Fixationen. Einflüsse der peripheren Wahrnehmung werden infolge dessen eher vernachlässigt. Unabhängig davon gibt es beim Fahren eine Reihe von Aufgaben, die durch periphere Wahrnehmung erfüllt werden können. Miura (1986) ordnete unterschiedliche Fahraufgaben danach, ob sie überwiegend periphere oder foveale visuelle Verarbeitung erfordern (vgl. Tabelle 2-1). Sollen beispielsweise Objekte der Fahrscene identifiziert oder im Detail betrachtet werden, ist foveale Verarbeitung nötig. Die Kontrolle der Spur und des seitlichen Abstands, d.h. Aufgaben der Stabilisierungsebene, können dagegen zu einem großen Teil durch periphere Wahrnehmung geleistet werden, sie können aber auch auf fovealer Wahrnehmung beruhen. Laut Miura (1986) umfasst das gesamte visuelle Feld rund 210°, die foveale Wahrnehmung beschränkt sich

dagegen auf eine Ausschnitt von 2°. Daraus ergibt sich ein peripheres visuelles Feld von rund 100° rechts und links der Fovea.

*Tabelle 2-1: Einteilung unterschiedlicher Fahraufgabe nach der für sie benötigten Form der visuellen Verarbeitung (nach Miura, 1986; p = periphere Wahrnehmung, f = foveale Wahrnehmung). Zu den leeren Feldern werden keine Aussagen gemacht.*

Fahrsituation und -manöver	Visuelle Aufgabe							
	Weite Vorausschau	Überwachung der Spurhaltung	Überwachen von vorausfahrenden Fahrzeugen	Überwachen von Fahrzeugen auf gleicher Höhe	Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs durch Spiegel	Beobachten des Verkehrs vor vorausfahrenden Fahrzeugen	Setzen des Einlenkpunktes	Beobachten der Begrenzung einer engen Stelle
Geradeausfahrt	F	p						
Vorbeifahrt an parkenden Fahrzeugen	F	p				F		
Einfahrt in enge Straße	F	p / F					F	p / F
Überholen	F	p / F	F	p / F	F		F	

Da Blickbewegungsanalysen in erster Linie auf Fixationen basieren, lassen sie nur in beschränktem Maße Aussagen über die Funktion von peripherer Wahrnehmung zu. Auf den Fahrkontext bezogen bedeutet dies beispielsweise, dass man mittels Blickbewegungsmessung untersuchen kann, ob sich die Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs verändert. Auswirkungen auf die Kontrolle der Spurposition sind dagegen anhand des Blickverhaltens schwieriger zu beurteilen. Diese Aufgabe kann sowohl mittels peripherer als auch über foveale Wahrnehmung erfüllt werden.

## 2.2 Parameter und ihre Interpretation im Fahrkontext

In Studien zum Blickverhalten beim Fahren finden in der Literatur eine Vielzahl unterschiedlicher Parameter Verwendung (für einen Übersicht siehe Roetting, 2001). Die Parameter lassen sich ganz grob in globale Beschreibungen des Blickverhaltens und Mikroanalysen trennen. Unter die globalen Parameter fallen Beschreibungen des Blickfeldes sowie Angaben zur Dauer der beobachteten Fixationen. Die Größe des Blickfeldes wird häufig über die horizontale und vertikale Streuung der gemessenen Blickpunkte beschrieben. Im Fahrkontext wird die Größe und Form des Blickfeldes unter anderem von der Fahrsituation beeinflusst. Crundall u. Underwood (1998) verglichen beispielsweise das Blickverhalten auf der Landstraße mit dem auf einer zweispurigen Autobahn und mit Fahrten innerorts. Die Fahrer zeigten auf der zweispurigen Straße im Vergleich zu den beiden anderen Situationen ein vertikal und

horizontal vergrößertes Blickfeld (siehe auch Chapman u. Underwood, 1998; Underwood, Chapman, Bowden u. Crundall, 2002).

Über die verschiedenen Studien hinweg zeigt sich für den Fahrkontext ein systematischer Zusammenhang zwischen der Größe des Blickfeldes und der mittleren Fixationsdauer. Eine Vergrößerung des Blickfeldes ist beim Fahren im Normalfall mit einer Verringerung der mittleren Fixationsdauer verbunden. Ein solches Muster wird als Indikator für einen Anstieg der Beanspruchung durch die Fahrsituation interpretiert. Dies steht im Widerspruch zu Befunden aus anderen Forschungsbereichen, die einen Anstieg der Fixationsdauern mit steigender Beanspruchung berichten (z.B. Leseforschung). Eine zentrale Ursache dieser Widersprüche ist in der Dynamik der Aufgabe zu suchen. Beim Fahren ist die Gesamtzeit, die auf die Betrachtung der Szene verwandt werden kann, aufgrund der ständigen Eigenbewegung begrenzt. Der Fahrer kann deswegen mehr Objekte jeweils kürzer oder weniger Objekte länger betrachten. Somit ist bei gleich bleibender Geschwindigkeit eine Vergrößerung des Blickfeldes beim Fahren mit einer Verkürzung der Fixationsdauern verbunden (vgl. auch Underwood u. Radach, 1998).

Der Parameter „Percent Road Center“ (PRC) kombiniert die Verteilung der Blickziele und die dazugehörigen Fixationsdauern in einem Maß. Er beschreibt den Anteil der Zeit, der auf einen für die Fahraufgabe zentralen Ausschnitt des Blickfeldes verwendet wird. In der Regel umfasst der betrachtete Bereich einen um den Modus der Blickverteilung gelegten Kreis bzw. ein definiertes Rechteck. Die Festlegung des Bereichs ist von Veröffentlichung zu Veröffentlichung verschieden (z.B. Victor, Harbluk u. Engström, 2005; Victor, 2005). Die Idee hinter der Bestimmung des relevanten Szeneausschnitts anhand des Modus ist, dass man so relativ einfach den Teil der visuellen Szene abdeckt, in dem sich der weitere Verlauf der Straße befindet und der deswegen besonders fahrrelevant ist. Der Zeitanteil, der auf die Betrachtung dieses Bereichs verwendet wird verringert sich beispielsweise bei Fahrern, die viel auch auf weiter von der eigenen Spur entfernte Objekte schauen oder bei Ablenkung durch visuelle Nebenaufgaben.

Ein Problem bei der Interpretation von Veränderungen des Blickfeldes und der Fixationsdauern ist die häufige Konfundierung der Komplexität der Fahraufgabe mit der räumlichen Gestaltung der Situation. Beanspruchende Fahrsituationen, wie sie beispielsweise innerorts anzutreffen sind, zeichnen sich oft durch eine große Objektdichte am linken bzw. rechten Fahrbahnrand aus. Beim Prototyp der wenig beanspruchenden Fahrsituation, der geraden Landstraßenfahrt, befinden sich dagegen in der Regel nur wenige fahrrelevante Objekte links und rechts der Straße. Anders gesagt, Fahrsituationen, in denen sich viele potentiell relevante Objekte links und rechts der Fahrbahn befinden, sind häufig auch beanspruchender. Die berichteten Unterschiede im Blickfeld lassen sich deswegen sowohl als Folge unterschiedlicher Aufgabenschwierigkeit als auch aus der unterschiedlichen räumlichen Anordnung der relevanten Objekte erklären. So interpretieren Unema u. Rötting (1988) die Unterschiede zwischen verschiedenen Fahrsituationen in den Fixationsdauern als einen Effekt der Aufgabenschwierigkeit. Gleichzeitig unterschieden sich aber die untersuchten Situationen (z.B. gerade Straße und Kreisverkehr) auch deutlich in der räumlichen Gestaltung der Szene. Die von den Autoren vorgenommene Interpretation durch die Aufgabenschwierigkeit ist somit nur eine der möglichen Erklärungen. Unabhängig von der Interpretation lassen sich in komplexeren Fahrsituationen, d.h. in der

Regel innerorts eine Vergrößerung des Blickfeldes sowie eine Verkürzung der Fixationsdauern beobachten.

Eine andere Art von Beanspruchung sind plötzliche Veränderungen der Fahrsituation, die eine Anpassung des Fahrverhaltens erfordern. Diese Form der Beanspruchung ist unter dem Stichwort Gefahrenwahrnehmung oder Hazard Perception untersucht. Velichkovsky, Rothert, Kopf, Dornhoefer u. Joos (2002) berichteten einen Anstieg der Fixationsdauer bei Auftreten einer Gefahr von ca. 450 ms auf rund 1000 ms. Auch bei Chapman u. Underwood (1998) fand sich dieser Anstieg unabhängig vom Straßentyp. Gleichzeitig nahm die Varianz der Blickpositionen ab. Underwood, Phelps, Wright, Van Loon u. Galpin (2005) berichteten eine Verkleinerung des horizontalen Blickfeldes beim Auftreten von Gefahren. Diese Veränderungen des Blickverhaltens sind gegenläufig zu den Veränderungen in komplexen Fahrsituationen. Tabelle 2-2 zeigt noch einmal die Veränderungen des Blickverhaltens, die mit den beiden unterschiedlichen Formen von Beanspruchung – komplexe Fahrsituation und Gefahrenwahrnehmung – einhergehen. Das in Untersuchungen zur Gefahrenwahrnehmung beobachtete Muster wird als eine Konzentration der visuellen Aufmerksamkeit auf das relevante Objekt interpretiert. Die Fahrer fokussieren auf den plötzlich relevanten Reiz und verarbeiten diesen für eine längere Zeit.

*Tabelle 2-2: Änderung des Blickverhaltens durch die beiden Beanspruchungsarten „komplexe Fahrsituation“ und „Gefahrenwahrnehmung“. + steht für, der Parameter wird erhöht, - für, der Parameter wird verringert.*

Art der Beanspruchung	Parameter	
	Fixationsdauer	Größe Blickfeld
Komplexe Fahrsituation	-	+
Gefahrenwahrnehmung	+	-

Die aufgeführten Beispiele verdeutlichen, dass die Interpretation der Blickverhaltensparameter im Fahrkontext keinesfalls trivial ist. So wird je nach experimentellem und situativem Kontext eine Erhöhung der Fixationsdauern einmal als ein Anzeichen geringer und einmal als eines hoher Beanspruchung durch die Fahraufgabe interpretiert. Dazu kommt, dass der Einfluss der räumlichen Gestaltung der Fahrsituation auf das Blickverhalten in der Regel kaum diskutiert wird.

Mikroanalysen, auch Scanpfadanalysen genannt, sind im Fahrkontext vergleichsweise selten. Dies liegt hauptsächlich daran, dass eine solche Interpretation der Daten ein hohes Wissen über den situativen Kontext voraussetzt. Nur dann ist eine Bewertung der Blickabfolge möglich. Zusätzlich benötigt man Hypothesen darüber, wie „richtiges Blickverhalten“ aussehen soll bzw. welche Unterschiede zwischen möglichen experimentellen Bedingungen zu erwarten sind. Beide Punkte sind in Studien zum Fahren häufig nicht erfüllt. Beim Fahren beziehen sich Scanpfadanalysen in der Regel auf einzelne Fahrmanöver. Mikroanalysen gibt es beispielsweise für das Durchfahren von Engstellen (Cohen, 1998), dem Abbiegen nach links und rechts (Kito, Haraguchi, Funatsu, Sato u. Kondo, 1989) und für Spurwechsel auf der Autobahn (Henning, Georgeon u. Krems, 2007).

## 2.3 Fazit Blickbewegungsmessung

Die Interpretation der Blickbewegungsmessung basiert auf mehreren Annahmen über den Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit und Blickverhalten, die aber in der Regel nicht diskutiert werden. Der Messansatz macht nur dann Sinn, wenn man davon ausgeht, dass der Fixationsort auch der Ort ist, auf dem die Aufmerksamkeit liegt. Dies ist mit Sicherheit der Normalfall, muss aber nicht immer so sein. Daneben ist bei der Interpretation von Blickdaten auch zu berücksichtigen, dass Wahrnehmung nicht nur foveal, d.h. am Fixationsort, sondern auch peripher stattfindet. Periphere Wahrnehmung ist zwar nicht genauso detailliert wie foveale Wahrnehmung, für eine Reihe von Aufgaben reicht sie aber völlig aus. Im Fahrkontext ist dies insbesondere die Wahrnehmung der Spurposition, die nicht ausschließlich, aber auch peripher erfolgen kann.

In Bezug auf das Fahren werden in der Regel Parameter für die Größe des Blickfeldes und die mittleren Fixationsdauern ausgewertet. Diese beiden Informationen sollten immer gemeinsam betrachtet werden, da sie aufgrund der Dynamik der Fahraufgabe in direktem Zusammenhang stehen. Beim aufmerksamen Fahrer ist eine Erhöhung der Fixationsdauern normalerweise mit einer Verkleinerung des Blickfeldes verbunden und umgekehrt. Analysen des Blickortes und der zeitlichen Abfolge der Blickziele werden deutlich seltener durchgeführt. Sie beziehen sich meist auf definierte Manöver bzw. auf klar beschriebene Fahrsituationen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass eine Interpretation des Blickortes eine Vorstellung davon erfordert, wohin eigentlich geblickt werden sollte. Dies ist beim Fahren nur für spezifische Fahrmanöver gegeben. Solche Manöver erfordern beispielsweise eine regelhafte Abfolge von Straßen- und Spiegelblicken. Für die meisten Fahrsituationen lassen sich bisher kaum konkreten Vorhersagen treffen, welche Objekte bzw. Szenenbereiche mit welcher Häufigkeit fixiert werden sollten, um sicher zu fahren.

## 3 FAHREN MIT VISUELLEN NEBENAUFGABEN

### 3.1 Untersuchung mittels Blickverhaltensmessung

#### 3.1.1 Blickabwendungen bei visuellen Nebenaufgaben

Studien zu visuellen Nebenaufgaben beim Fahren berichten in der Analyse häufig Ergebnisse der Blickverhaltensmessung. Eine Reihe von Autoren untersuchte das Blickverhalten bei unterschiedlichsten Nebenaufgaben beim Fahren. Diese Aufgaben reichen vom Ablesen einer Anzeige über die Veränderungen verschiedener Einstellungen im Fahrzeug (z.B. Heizung) bis zum Lesen von SMS u. ä. Der Fokus der Analysen liegt meistens auf den für die Erfüllung der Zweitaufgabe notwendigen Blickabwendungen. Als eine Blickabwendung wird verstanden, wenn der Fahrer seine visuelle Aufmerksamkeit von der Fahraufgabe abwendet und auf die Nebenaufgabe (z.B. Display, Anzeige) blickt. Ausgewertete Parameter sind üblicherweise die Anzahl der benötigten Blickabwendungen, die mittlere Dauer der Blickabwendungen sowie die Summe der Blickabwendungsdauern. Diese drei Parameter stehen in direktem Zusammenhang miteinander: Aus dem Produkt der Anzahl Blickabwendungen und der mittleren Blickabwendungsdauer ergibt sich die Summe der Blickabwendungsdauern. Trotz dieses Zusammenhangs werden häufig alle drei Parameter berichtet. Eine Auflistung der in der Literatur gefunden Kenngrößen für verschiedenen visuellen Nebenaufgaben beim Fahren findet sich im Anhang (Abschnitt 10.1). In Abbildung 3-1 werden die in der Literatur am häufigsten berichteten Kenngrößen Summe Blickabwendungsdauern, Anzahl Blickabwendungen und mittlere Blickabwendungsdauer für verschiedene Kategorien von visuellen Nebenaufgaben zusammengefasst. Es wird das Ablesen von Anzeigen, das Verändern von Einstellungen im Fahrzeug (z.B. Heizung), das Wählen von Telefonnummern, das Bedienen von Radio bzw. CD-Player, das Bedienen von Navigationssystemen bzw. Bordcomputern und das Bedienen sonstiger Infotainmentgeräte (z.B. PALM) unterschieden. Die Restkategorie „sonstiges“ enthält schwer einzuordnende Aufgaben wie das Einstellen von CB-Funk oder das Suchen nach Münzen. Die Aufgabenklassen steigen in Abbildung 3-1 von links nach rechts in der Komplexität. Ganz rechts wird die Restkategorie „sonstiges“ dargestellt.

Wenig überraschend unterscheiden sich die verschiedenen Nebenaufgaben deutlich in Bezug auf Anzahl benötigter Blickabwendungen und Summe der Blickabwendungsdauern. Für Aufgaben, die das Ablesen von Anzeigen oder das Verstellen von Kontrollelementen im Fahrzeug beinhalten, liegt die Summe der Blickabwendungsdauern im Mittel zwischen 2 und 3 Sekunden. Im Vergleich dazu vervielfacht sich die Summe der Blickabwendungsdauern bei neueren Systemen, wie Navigationsgeräten und anderen Infotainmentsystemen. Für Aufgaben, die sich auf Navigationssysteme beziehen, ergeben sich beispielsweise eine mittlere Summe der Blickabwendungsdauern von rund 13 Sekunden.

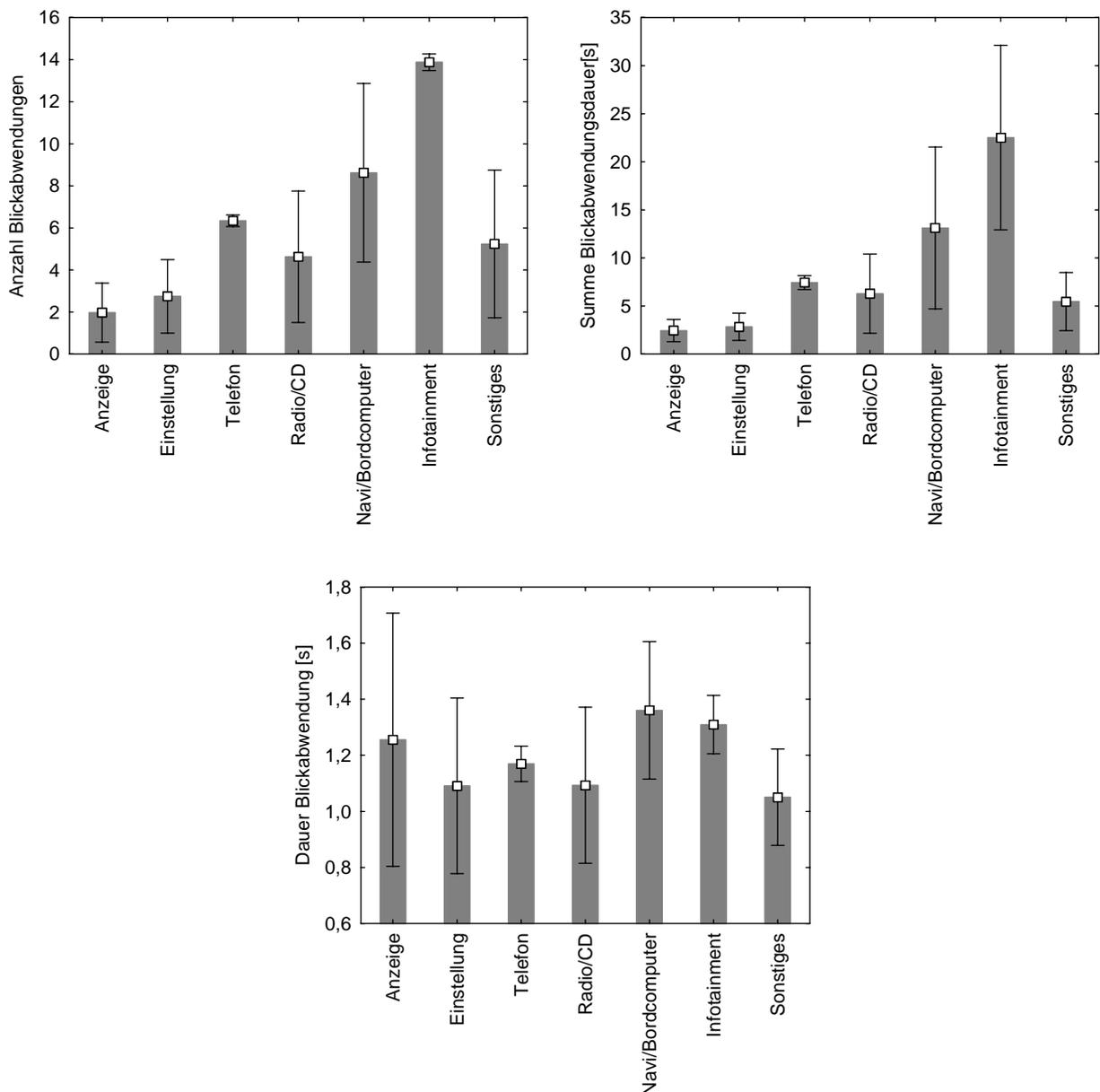


Abbildung 3-1: In der Literatur berichtete Summen der Blickabwendungsdauern, Anzahl Blickabwendungen und mittlere Dauer einzelner Blickabwendungen zusammengefasst nach verschiedenen Gruppen von visuellen Nebenaufgaben. Die berücksichtigten Werte stammen aus Victor et al. (2005), Dingus, Antin, Hulse u. Wierwille (1989), Sodhi, Reimer u. Llamazares (2002), Tijerina, Kantowitz, Kiger u. Rockwell (1994), Rassl (2004), Chiang, Brooks u. Weir (2004), Dingus (2000) und Tijerina (1996). Die beiden letzten Quellen sind zitiert nach Zhang u. Smith (2004).

Anders als die Parameter Anzahl und Summe der Blickabwendungen ist die mittlere Dauer der Blickabwendungen über die verschiedenen Nebenaufgaben relativ stabil. Nach Bruckmayr u. Reker (1994) betragen durchschnittliche Blickabwendungszeiten auf konventionelle Fahrzeugeinrichtungen (Tachometer, Innenspiegel, Radio etc.) 1 +/- 0.5 Sekunden. Nur selten überschreiten einzelne Blickabwendungen eine Dauer von 2 Sekunden. Die normalerweise akzeptierte Blickabwendungsdauer von der

Fahraufgabe liegt bei ca. 1.5 Sekunden. Dies ist unabhängig davon, ob der Fahrer die gesuchte Information innerhalb dieses Zeitraums verarbeiten kann oder nicht (vgl. auch Senders, Kristofferson, Dietrich u. Ward, 1967 und Rockwell, 1988). Wird der Fahrer zu Blickabwendungen länger als 2 Sekunden gezwungen, wirkt sich dies in der Regel kritisch auf die Fahrsicherheit aus (z.B. Zwahlen, Adams u. DeBald, 1988).

### 3.1.2 Straßenblicke während Nebenaufgaben

Da längere Nebenaufgaben beim Fahren in der Regel unter Durchführung mehrerer Blickabwendungen durchgeführt werden, treten zusätzlich zu den Blickabwendungen während der Aufgabenbearbeitung immer auch Blicke zurück zur Fahrscene (Straßenblicke) auf. Abbildung 3-2 zeigt eine schematische Darstellung dieses Wechsels von Wierwille (1993).

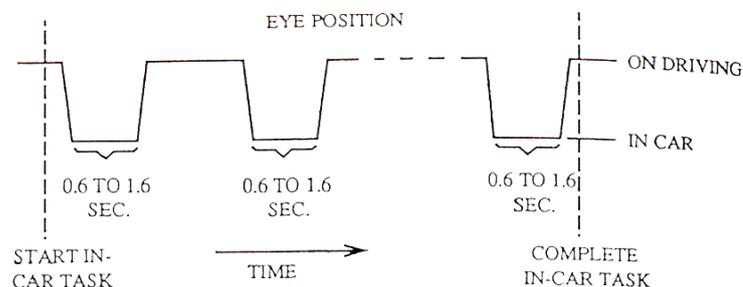


Abbildung 3-2: Schema des Blickwechsels zwischen Straße und Nebenaufgabe aus Wierwille (1993).

Bei genauer Überlegung erscheint für die Gewährleistung der Fahrsicherheit die Ausführung von Straßenblicken zentraler als die häufig untersuchten Blickabwendungen. Zwar sind die Zeitabschnitte der Blickabwendungen die, in denen das Auftreten einer zuerst unbemerkten Veränderung der Szene am wahrscheinlichsten ist. Die regelmäßig ausgeführten Straßenblicke entscheiden jedoch darüber, ob diese Veränderung rechtzeitig entdeckt und noch angemessen reagiert werden kann. Dennoch liegt in nur wenigen Studien der Fokus auf der Untersuchung der Straßenblicke.

Victor (2005) untersuchte in seiner Dissertation das Blickverhalten während unterschiedlicher Nebenaufgaben beim Fahren. Er ließ N=18 Fahrer während einer Autobahnfahrt 13 realistische, visuelle Nebenaufgaben bearbeiten. Einer der von ihm ausgewerteten Parameter beschreibt den Anteil der Blicke, die auf die Straße gerichtet sind. Dieses Maß (PRC) umfasst den Anteil der Fixationen, der in einen 16° Radius um den Modus der Blickverteilung fällt. Während visueller Nebenaufgaben reduzierte sich der Anteil Straßenblicke von 80% in den Baselinefahrten auf im Mittel 29% (sd = 14%). Tabelle 3-1 zeigt den Anteil der Straßenblicke getrennt für die verschiedenen visuellen Nebenaufgaben. Die Aufgliederung in die verschiedenen, bereits in Abschnitt 3.1 verwendeten Aufgabengruppen zeigt keinen Einfluss der Aufgabenart auf den Parameter.

*Tabelle 3-1: Anteil Straßenblicke während verschiedener Nebenaufgaben aus Victor et al. (2005). Die Aufgaben sind wieder nach den bereits in Abbildung 3-1 verwendeten Aufgabengruppen sortiert.*

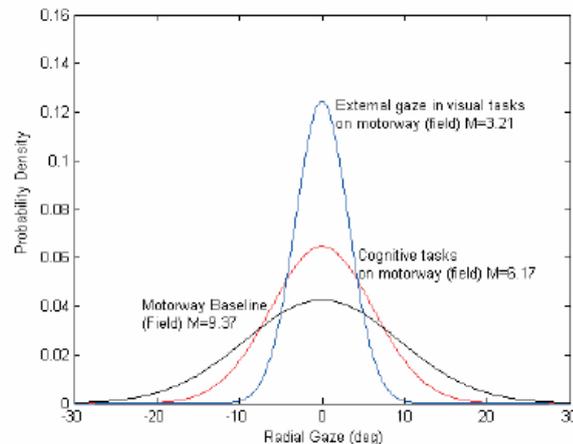
<b>Aufgaben- gruppe</b>	<b>Aufgabe</b>	<b>Anteil Straßenblicke</b>
Anzeige	Motortemperatur ablesen	21%
Einstellung	Temperatur und Lüftung verstellen	33%
Telefon	Wählen mit in der Hand gehaltenem Telefon	35%
	Wählen über Freisprecheinrichtung	23%
Radio / CD	Lied auf CD auswählen	29%
	Radiosender suchen	27%
Navi / Bordcomputer	Mittleren Verbrauch in Bordcomputer neu berechnen lassen	34%
	Zoombereich im Navi verstellen	32%
	Sprache im Navi ändern	28%
Infotainment	Text auf Display fürs Navi ablesen	22%
	Text auf Position Radio ablesen	25%
	Text auf Palm ablesen	23%
Sonstiges	Münze auf der Ablage suchen	44%

Chiang et al. (2004) ließ N = 10 Fahrer im Realverkehr in der Stadt sowie auf der Autobahn je dreimal Ziele in ein Navigationssystem eingeben. Der Anteil der Straßenblicke lag während der Nebenaufgabe in der Stadt im Mittel bei 23%, auf der Autobahn bei 25%. Die interindividuelle Varianz bewegte sich in der Stadt zwischen 16% und 38%, auf der Autobahn zwischen 17% und 37%. Die mittlere Fixationsdauer der Straßenblicke lag bei 470 ms, 95 % der Fixationen waren kürzer als 1.2 Sekunden. Blicke auf die Nebenaufgabe dauerten dagegen im Mittel 1.2 Sekunden.

In der Studie von Sodhi et al. (2002) ergaben sich für die Straßenblicke mittlere Dauern zwischen 0.2 Sekunden und 1.0 Sekunden. Beim Bedienen verschiedener Nebenaufgaben auf einer einfachen Landstraßenstrecke mit wenig Verkehr konnte Rassl (2004) während der Nebenaufgabenbearbeitung eine durchschnittliche Blickdauer auf die Verkehrssituation von 670 ms (sd=350 ms) feststellen. Im Schnitt dauerten Blicke auf die Straße damit nur halb so lange wie Blicke auf den Display (Displayblicke: m= 1.35 s, sd=0.54 s). Als mittlere minimale Dauer der Straßenblicke werden 240 ms (sd=130 ms) angegeben. Der Autor schlussfolgert hieraus, dass demnach offenbar weniger als 1 Sekunde zur Erfassung der Verkehrssituation ausreiche. Bei der Analyse der mittleren Fixationsdauern auf verschiedene Areas of Interests der Fahrscene während der Bedienung einer visuellen Nebenaufgabe ermittelten Schweigert u. Bubb (2003) in Realfahrten mittlere Fixationsdauern von 300 ms bis 550 ms. Sie betrachteten außerdem den Parameter Percent Road Center (PRC). Für visuelle Nebenaufgaben schwankten die Werte zwischen 20% und 45%. Während der Nebenaufgabe wurden somit rund 30% der Zeit auf Straßenblicke verwendet.

Victor (2005) verglich die Bedingungen Baseline, visuelle Nebenaufgabe und kognitive Nebenaufgabe hinsichtlich der Größe des auf die Straße gerichteten Blickfeldes. Abbildung 3-3 verdeutlicht, dass während der visuellen Nebenaufgabe das

auf die Straße gerichtete Blickfeld am kleinsten war. Aber auch während der kognitiven Nebenaufgabe war das Blickfeld im Vergleich zur Baselinefahrt verkleinert.



*Abbildung 3-3: Größe des auf die Straße gerichteten Blickfeldes während einer Baselinefahrt, einer Fahrt mit visueller und einer Fahrt mit kognitiver Nebenaufgabe (aus Victor, 2005)*

Einen weiteren Ansatz der Auswertung findet sich in der Veröffentlichung von Schweigert (2002). In einem Realfahrtversuch (Autobahn, Landstraße, innerorts) wurde das Blickverhalten von  $N = 30$  Fahrern ausgewertet. Die Fahrer bearbeiteten während der Fahrt entweder eine auditive oder eine visuelle Nebenaufgabe. Für die Auswertung wurden visuelle Aufgaben definiert, die der Fahrer während der Fahrt theoretisch erfüllen sollte. Eine dieser Aufgabengruppen waren situative visuelle Aufgaben wie die Beobachtung eines vorausfahrenden Fahrzeugs, die Beobachtung von Fußgängern mit Vorrang, die Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs etc. Bei einem Teil der definierten Aufgaben ließ sich eine Veränderung im Erfüllungsgrad durch die Einführung der Nebenaufgaben beobachten. In der Arbeit werden diese Änderungen allerdings nur beschrieben und nicht inferenzstatistisch abgesichert. Da teilweise auch nur in einer geringen Zahl von Fällen die einzelnen Aufgaben erforderlich waren, ist bei einer Interpretation der Ergebnisse Vorsicht geboten. So sank beispielsweise die Beobachtung von Fußgängern von 97% in der Referenz auf 50% bei der visuellen und 68% bei der auditiven Nebenaufgabe. Die Autoren interpretieren ihre Ergebnisse als einen Hinweis darauf, dass bei der Bearbeitung von Nebenaufgaben die Aufmerksamkeit verstärkt auf Objekte verlagert wird, die für der Erfüllung der rudimentären Fahraufgabe – Längs- und Querregelung – notwendig sind. Andere visuelle Aufgaben würden dagegen vernachlässigt. Es sind aber auch alternative Interpretationen der Ergebnisse denkbar. So ist es beispielsweise möglich, dass bei Nebenaufgaben vermehrt auf den weiteren Straßenverlauf fokussiert wird und eher periphere Bereiche der Fahrszene (in denen sich Fußgänger normalerweise aufhalten) vernachlässigt werden.

### 3.1.3 Einfluss von Fahrsituation und Fahrerfahrung

Wierwille (1993) berichtete einen Einfluss der Fahrsituation auf das Blickverhalten bei der Bedienung visueller Nebenaufgaben. Bei geringem Verkehrsaufkommen lag die mittlere Dauer von Straßenblicken bei 1.2 Sekunden, bei einer drohenden Gefahr stieg sie auf 3.0 Sekunden. Gleichzeitig sank die Wahrscheinlichkeit, dass der Blick auf die Nebenaufgabe gerichtet war, von 31% auf 19%. Mit steigenden Anforderungen aus der Fahraufgabe sank somit die Zeit, die auf andere Aufgaben innerhalb des Fahrzeugs verwendet wurde. So verkürzten sich beispielsweise bei hoher Verkehrsdichte die Blickzuwendungen auf ein Display im Fahrzeug (Rockwell, 1988). In einer Simulatorstudie von Tsimhoni u. Green (2001) bearbeiteten N=16 Probanden während des Fahrens eine Navigationsaufgabe. Die Aufgabe überlagerte als selbst gesteuerte Okklusion die Fahrszene. Die Schwierigkeit der Fahraufgabe wurde über Gestaltung der Straßenführung (Gerade vs. drei unterschiedliche Kurvigkeiten) variiert. Der Vergleich mit einer Bedingung, in der während der Bearbeitung der Nebenaufgabe weiterhin die Straße sichtbar war, zeigte keine Unterschiede in der Fahrleistung. Die Fahrer passten ihr Blickmuster während der Nebenaufgabe an die Schwierigkeit der Fahraufgabe an, indem sie in kurvigeren Abschnitten kürzer (Abnahme der Dauer um 33%) aber dafür häufiger auf die Nebenaufgabe blickten. Die Zeit zwischen zwei Nebenaufgabenblicken stieg bei hoher Schwierigkeit um 60%. Trotz dieser Anpassung im Blickverhalten konnte die Fahrleistung (gemessen über SDLP) im Vergleich zur Baselinefahrt nicht aufrechterhalten werden. Die Anpassung des Blickverhaltens an die Fahraufgabe über eine Verkürzung der Blickabwendungen und die Erhöhung des Abstand zwischen ihnen wird in Tsimhoni, Smith u. Green (2004) repliziert. In dieser Simulatorstudie gaben N=24 Fahrer während der Fahrt Zieladressen in ein Navigationssystem ein. Bubb (2000) berichtete eine Abnahme der mittleren Blickabwendungsdauer bei steigender Streckenkomplexität. N=19 Fahrer blickten im Mittel auf dem am wenigsten beanspruchenden Streckenabschnitt - einer Landstraße mit wenig Verkehr und Geschwindigkeitsbegrenzung - 740 ms auf den Display, auf dem komplexesten Abschnitt - einer Tempo 30-Zone mit Rechts-vor-Links Situationen - nur noch 550 ms.

Hada (1994) untersuchte u. a. den Einfluss der Straßengeometrie auf das Blickverhalten der Fahrer. N=22 Fahrer befuhren dazu eine Realfahrt-Strecke auf einer Autobahn, einer Landstraße und einer Vorort-Straße. Dabei waren die Probanden instruiert, immer dann auf den Display und eines von dreien, dort positionierten Zielreizen zu schauen, wenn sie sich sicher dabei fühlten. Ausgewertet wurden die Blickdauer, Blickhäufigkeit, der Anteil Displayblicke insgesamt sowie Fahrdaten. Es zeigte sich ein starker Einfluss des Straßentyps sowohl auf die Blickdauer und -häufigkeit als auch auf den relativen Zeitanteil der Blickabwendungen an der Gesamtzeit. Die mittlere Blickabwendungsdauer reduzierte sich von 0.86 Sekunden auf der Autobahn auf 0.68 Sekunden innerorts. Auch der Anteil der Straßenblicke war innerorts im Vergleich zur Autobahn deutlich verringert (38% vs. 25% der Zeit). Die Werte für die Landstraßenfahrt bewegten sich immer dazwischen. In einem zusätzlichen Experiment (N=8 Probanden) wurde das Blickverhalten bei der Bedienung der Nebenaufgabe in der Stadt unter verschiedenen Bedingungen (stehend z.B. an einer Ampel vs. fahrend) untersucht. Es zeigte sich, dass die Dynamik der Situation (stehend vs. fahrend) zwar einen Einfluss auf die Blickdauer, nicht jedoch auf den Blickanteil und

die Blickhäufigkeit hatte. Im Stand wurde nicht häufiger, sondern länger auf die Nebenaufgabe geschaut.

Wikman, Nieminen u. Summala (1998) beschäftigten sich mit der Aufmerksamkeitsaufteilung zwischen Fahr- und Nebenaufgabe in Abhängigkeit von Fahrerfahrung und Straßenbreite. In einer Realfahrtstudie wurden Blickdauern und -häufigkeiten bei verschiedenen Nebenaufgaben bei N=23 erfahrenen und N=24 unerfahrenen Fahrern erfasst. Das Wechseln einer Kassette sowie das Einstellen eines Radiosenders wurden dabei jeweils 2mal bei Beginn eines bestimmten Streckenabschnittes auf der Landstraße vorgegeben, das Wählen einer Telefonnummer zusätzlich zur Landstraße auch auf einem Autobahnabschnitt. Über eine Frame-by-frame-Auswertung der Videos erfolgte eine Kategorisierung der Blicke nach Straßenblicken und Blickabwendungen auf die Nebenaufgabe oder auf unspezifizierte Objekte (Tacho, Instruktor). Bezüglich der mittleren Blickdauern auf die Nebenaufgabe fanden sich lediglich Unterschiede zwischen den Aufgabentypen (die längsten Blicke bei der Radio Aufgabe). Die Fahrerfahrung hatte keinen Einfluss. Demgegenüber war die Standardabweichung der Blickdauern für Unerfahrene deutlich höher. Bei einer Klassifikation der Blicke in ungewöhnlich kurze Blicke (< 500 ms, wohl kaum ausreichend, um visuelle Informationen aufzunehmen), mittlere (0.5 s -2 s) und überlange (> 2 s) zeigte sich, dass der prozentuale Anteil an mittleren Blicken größer für erfahrene Fahrer war. Der Anteil an sicherheitskritischen Blicken mit Dauern länger als 2.5 s lag dagegen bei Unerfahrenen deutlich höher: er betrug 46% für unerfahrene Fahrer im Vergleich zu 13% für erfahrene Fahrer, Blicke länger als 3 s fanden sich nur mit 29% bei Unerfahrenen, nicht jedoch bei erfahrenen Fahrern. Die Blickanzahl war dagegen unabhängig von der Fahrerfahrung. Eine Analyse des Zusammenhangs von Blickdauern und Spurhaltung zeigte, dass mit steigender Blickdauer die Stärke der Spurabweichung anstieg.

Bezüglich des Einflusses des Straßentyps ergaben sich längere mittlere Blickdauern auf der vierspurigen Autobahn als auf der Landstraße und eine höhere mittlere Blickanzahl auf der Landstraße. Insgesamt beschäftigten sich die Fahrer auf der Landstraße weniger mit der Nebenaufgabe als auf der Autobahn. Die Autoren erklären dies mit der Anpassung der Bediendauern an die verfügbaren lateralen Zeitlücken (TLC-Time-to-line Crossing). Dies bedeutet, dass die Fahrer bevor sie befürchten müssen von der Straße abzukommen wieder zurück zur Fahrsituation blicken.

### 3.1.4 Fazit

Die bisher vorgestellten Studien benutzten die Blickverhaltensmessung um die Aufmerksamkeitsverteilung beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben zu untersuchen. Tabelle 3-2 zeigt im Überblick, welche Parameter der Blickverhaltensmessung von den drei Einflussfaktoren Art der Nebenaufgabe, Anforderung der Fahrsituation und Fahrerfahrung beeinflusst werden. Mit einem „+“ wird angezeigt, dass ein Einfluss bekannt ist, es wird keine Aussage über die Richtung des Einflusses gemacht.

*Tabelle 3-2: Einfluss der Faktoren Art der Nebenaufgabe, Anforderung der Fahrsituation und Fahrerfahrung auf Parameter der Blickverhaltensmessung.*

	Parameter	Nebenaufgabe	Fahrsituation	Fahrerfahrung
Blicke auf NA	Anzahl Blickabwendungen	+	+	
	Summe Blickabwendungsdauer	+		
	Dauer Blickabwendung		+	
Blicke auf Straße	Anteil Straßenblicke		+	
	Dauer Straßenblicke		+	
	Standardabweichung Straßenblickdauer			+

## 3.2 Andere Untersuchungsansätze

Neben Analysen des Blickverhaltens gibt es noch andere Forschungsmethoden, um den Einfluss von Nebenaufgaben auf die fahrtbezogene Aufmerksamkeit zu untersuchen. Weit verbreitet sind Okklusionsmethoden und die Verwendung des Peripheral Detection Task (PDT).

### 3.2.1 Die Methode der Okklusion

Unter Okklusion versteht man, wenn die Sicht des Fahrers phasenweise z.B. über eine Shutterbrille verdeckt wird. Man unterscheidet hierbei vom Fahrer selbstgesteuerte sowie von außen vorgegebene Okklusionen. Die Okklusionstechnik wird für zwei verschiedene Fragestellungen eingesetzt:

Im ersten Untersuchungsansatz wird die Okklusionstechnik verwendet, um die Unterbrechbarkeit von Zweitaufgaben zu untersuchen. Hierbei sollen Fahrer im Stand die untersuchte Zweitaufgabe durchführen (z.B. Radiosender suchen, Ziel ins Navigationssystem eingeben). Während dieser Aufgabe wird über Okklusion ein bei einer Bearbeitung während des Fahrens zu erwartendes Blickmuster vorgegeben (z.B. 1.5 Sekunden Blick auf die Aufgabe, 3.0 Sekunden Okklusion der Aufgabe). Wird die Aufgabenbearbeitung wenig bis gar nicht durch die Unterbrechungen gestört, geht man davon aus, dass diese Aufgabe unterbrechbar und deswegen gut mit der Fahraufgabe verschränkbar ist (z.B. Baumann, Keinath, Krems u. Bengler, 2004; Noy,

Lemoine, Klachan u. Burns, 2004). Lansdown, Burns u. Parkes (2004) schlagen zur Bewertung unterschiedlicher Zweitaufgaben als Referenz ein festes Okklusionsmuster vor, innerhalb dessen sich die Aufgabe lösen lassen sollte. Ist dies möglich, kann die Aufgabe als gut mit dem Fahren vereinbar gelten. Dies könnte beispielsweise eine Gesamtdauer von 27 Sekunden, bestehend aus 6 Blicken je 1.5 Sekunden auf die Aufgabe und 6 Okklusionen a 3.5 Sekunden sein. Mittlerweile existiert eine ISO-Norm (ISO -Norm 16673, 2006), die die Verwendung der Okklusionstechnik zur Ermittlung der visuellen Beanspruchung durch Infotainmentsysteme im Fahrzeug regelt. Hier wird standardmäßig ein Wechsel zwischen 1.5 Sekunden Blick auf die Aufgabe und 1.5 Sekunden Okklusion vorgegeben. Es wird allerdings kein festes Kriterium genannt, anhand dessen mit dem Fahren kombinierbare von nicht für das Fahren geeigneten Zweitaufgaben unterschieden werden können. Im Rahmen des EU-Projekts AIDE wurde die Okklusionsmethode zur „Enhanced Occlusion Technique“ (EOT) erweitert. Bei diesem Ansatz wird zusätzlicher zur untersuchten Zweitaufgabe eine Trackingaufgabe verwendet. Die Trackingaufgabe soll parallel zur Zweitaufgabe bearbeitet werden, in den Unterbrechungen der Zweitaufgabe durch die Okklusion hat der Fahrer die Möglichkeit, die Trackingaufgabe zu kontrollieren. Durch die Trackingaufgabe sollen zusätzlich zur Zweitaufgabe die Anforderungen der Fahraufgabe simuliert werden (Schindhelm u. Gelau, 2006). Diese Variante der Okklusionstechnik ist allerdings wenig verbreitet. Bei der Bewertung von Fahrerinformationssystemen wird in der Regel nur geprüft, ob diese trotz Unterbrechungen der Sicht bedient werden können. Während dieser Unterbrechungen ist es nicht erforderlich, dass sich der Proband mit einer anderen Aufgabe befasst.

In der zweiten Anwendung dient die Okklusionstechnik zur Untersuchung der Frage, welche Blickabwendungsdauern beim Fahren akzeptiert werden und welche Einbußen in der Fahrleistung bei unterschiedlich langen Blickabwendungen zu erwarten sind. Dies bedeutet, dass nun nicht mehr eine Zweitaufgabe durch Okklusion unterbrochen wird, sondern die Sicht des Fahrers während der Fahrt verdeckt wird. Van der Horst (2004) gibt einen Überblick über Studien, die die Methode unter diesem Gesichtspunkt anwenden. In einer Studie, in der aufgrund eines fehlenden Vorderfahrzeugs die Fahraufgabe in erster Linie aus Anforderungen an die Querregulation bestand, fand sich beispielsweise eine Abnahme der akzeptierten Okklusionsdauer mit steigender Geschwindigkeit. Bei 20 km/h stellten Fahrer ca. 6 Sekunden, bei 120 km/h noch rund 2 Sekunden Okklusion her. Dieser Einfluss der Geschwindigkeit lässt sich auch in anderen Studien replizieren. Kommen andere Anforderungen wie beispielsweise beim Folgefahren die Längsregulation dazu, bewegen sich die akzeptierten Okklusionsdauern zwischen 1.0 und 2.5 Sekunden.

Die von den Fahrern hergestellte Okklusionsdauer wird als Maß für die Beanspruchung durch die Fahraufgabe interpretiert: Je beanspruchender diese ist, desto geringer die akzeptierte Okklusionsdauer. Umgekehrt bedeutet dies, dass in beanspruchenden Situationen Fahrer nur in einem gewissen zeitlichen Rahmen Blickabwendungen von der Fahraufgabe akzeptieren. Die in Studien häufig gefundene Obergrenze für Okklusionen von rund 2.0 Sekunden ist vergleichbar zu den bei visuellen Nebenaufgaben gemessenen maximalen Blickabwendungsdauern.

### 3.2.2 Der Peripheral Detection Task

Ein Verfahren, das auch zur Analyse der Beanspruchung durch nichtvisuelle Zweit- aufgaben verwendet wird, ist der Peripheral Detection Task (PDT). Zusätzlich zur Fahr- und zur untersuchten Nebenaufgabe hat der Fahrer hier noch eine weitere Auf- gabe: Das Aufleuchten peripher angebrachter Lämpchen soll so schnell wie möglich mit einem Tastendruck angezeigt werden. Ausgewertet werden Entdeckungshäufig- keit und Reaktionszeit. Der PDT gilt als sensitiv für Workloadveränderungen auf- grund unterschiedlich beanspruchender Fahrsituationen sowie aufgrund von Neben- aufgaben beim Fahren (Jahn, Oehme, Krems u. Gelau, 2005).

In Recarte u. Nunes (2003) bearbeiteten N=12 Fahrer zusätzlich zu verschiedenen nichtvisuellen Nebenaufgaben den PDT. Das Leuchten konnte an 10 unterschied- lichen Stellen im Fahrzeug erscheinen. Durch die Bearbeitung der Nebenaufgaben sank die Entdeckungswahrscheinlichkeit im PDT von 77.3% auf 64.4%. Diese Ab- nahme der Entdeckungsrate war unabhängig von der Exzentrizität der Reize. Dies deutet darauf hin, dass die Verschlechterung der visuellen Wahrnehmung nicht auf Grund einer Einengung des Blickfeldes - eines so genannten Tunnelblicks - auftritt, sondern das gesamte Blickfeld betrifft. Harms u. Patten (2003) verglichen bei N=24 Fahrern unterschiedliche Ausgabemodalitäten (visuell, Sprache, beides) eines Navi- gationssystems mittels PDT. In allen drei Bedingungen sank die Leistung im PDT im Vergleich zu einer Referenzfahrt, in der die Route aus dem Gedächtnis gefunden werden musste. Die Leistungsverringerung war am stärksten in der Bedingung mit visueller Navigationsausgabe. Harbluk u. Lalande (2002) verglichen bei N=12 Fahr- ern mittels PDT verschiedenen Formen der Sprachausgabe. Bei synthetischer Spra- che war die Entdeckungsrate im PDT im Vergleich zu einer Fahrt ohne Nebenauf- gabe sowie im Vergleich zur natürlichen Sprache signifikant verringert. In Maßen der Längs- und Querregulation der Fahrzeugführung fanden sich keine Veränderungen durch die Nebenaufgabe. Die genannten Beispiele zeigen, dass der PDT geeignet ist, unterschiedlichste Nebenaufgaben zu untersuchen. Insbesondere die Möglich- keit, in einem Parameter visuelle und nichtvisuelle Aufgaben mit einander zu verglei- chen hebt diese Untersuchungsmethode von den anderen bisher vorgestellten Me- thoden ab.

Der PDT prüft in erster Linie, wie viele freie Ressourcen dem Fahrer zur Verfügung stehen, um den PDT zu bearbeiten. Dies sind, wenn er bereits zwei Aufgaben – die Fahrt- und die Nebenaufgabe – bearbeitet, weniger als wenn nur eine Aufgabe bear- beitet werden muss. Auch Unterschiede zwischen unterschiedlich beanspruchenden Zweitaufgaben können mit dieser Methode abgebildet werden.

### 3.2.3 Fazit

Die beiden Verfahren Okklusion und PDT werden häufig zur Untersuchung von Nebenaufgaben beim Fahren verwendet. Beide Verfahren erfordern eine spezielle Untersuchungsanordnung, die die Anforderungen an den Fahrer im Vergleich zum normalen Fahren mit visuellen Nebenaufgaben abändert. Bei der Okklusion wird in der Regel die Anforderung an den Nutzer reduziert, da nur die Nebenaufgabe bearbeitet wird und die Fahraufgabe wegfällt. Beim PDT wird dagegen eine Drittaufgabe, der PDT, den beiden eigentlich untersuchten Aufgaben, der Fahr- und der Nebenaufgabe, hinzugefügt. Beide Änderungen beeinflussen dadurch die Verteilung der Aufmerksamkeit im Vergleich zum eigentlich untersuchten Fahren mit visuellen Nebenaufgaben. Bei der Okklusionsmethode ist als besonders kritisch anzusehen, dass die Auswirkung der Ablenkung auf die Fahraufgabe sowie die Wechselkosten, die bei beim wiederholten Wechsel zwischen Fahr- und Nebenaufgabe entstehen, nicht berücksichtigt werden. Tabelle 3-3 vergleicht noch einmal die Methoden Okklusion, PDT und Blickverhaltensmessung.

*Tabelle 3-3: Vergleich der Methoden Okklusion, PDT und Blickverhaltensmessung hinsichtlich Anwendungsgebiet, Untersuchungsumgebung und untersuchtem Konstrukt. NA steht für Nebenaufgabe, + steht für trifft zu und - für trifft nicht zu. EOT steht für „Enhanced Occlusion Technique“.*

		Okklusion	PDT	Blickverhaltensmessung
Verwendung bei:	visuelle NA	+	+	+
	nicht-visuelle NA	-	+	(+) Bedeutung der Ergebnisse unklar
Anforderung an Probanden:	Fahraufgabe	(-) nur im EOT	+	+
	NA	+	+	+
	Drittaufgabe (PDT)	-	-	(-) ist theoretisch möglich
Untersuchtes Konstrukt:		Unterbrechbarkeit der NA	Für PDT freie Ressourcen	Aufteilung Aufmerksamkeit auf Fahren und NA

### 3.3 Anforderungen an die Gestaltung von Systemen im Fahrzeug

Ein wichtiges Ziel der bisher vorgestellten Untersuchungen ist die Abgrenzung von Nebenaufgaben, die mit dem Fahren sicher verschränkt werden können von solchen, deren Bearbeitung zu sicherheitskritischen Aufmerksamkeitseinschränkungen führt. Dies bedeutet, dass für die jeweils verwendete Untersuchungsmethode versucht wird, Grenzwerte zu definieren, die gerade noch sicher Nebenaufgaben von potentiell gefährlichen Nebenaufgaben trennen. Laut Zwahlen et al. (1988) sollten einzelne Blickabwendungen nicht länger als 1.2 Sekunden dauern und für die Erfüllung der Aufgabe maximal 3 Blicke benötigt werden. Ab einer Blickdauer von 2.0 Sekunden bzw. ab mehr als vier benötigten Blickabwendungen beginnt der sicherheitskritische Bereich (vgl. auch Mollenhauer, Dingus, Hankey, Carney u. Neale, 1997; Bruckmayr u. Reker, 1994).

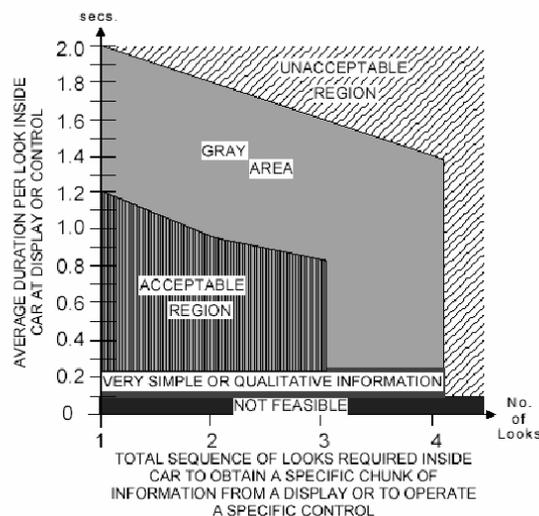


Abbildung 3-4: Abgrenzung sicherheitskritischer von ungefährlichen Zweitaufgaben nach Zwahlen et al. (1988).

Vergleicht man diese Forderungen mit den Untersuchungsergebnissen zu Blickabwendungen bei modernen Informationssystemen im Fahrzeug (vgl. Abbildung 3-1), zeigt sich, dass die Bedienung von Navigationssystemen oder Bordcomputern zumindest laut Zwahlen et al. (1988) nicht sicher mit dem Fahren verschränkbar ist. Neuere Richtlinien zur Gestaltung von Informationssystemen im Fahrzeug sind deutlich weniger rigoros. Die Richtlinie der amerikanischen Alliance of Automobile Manufacturers (2002) fordert, dass

- die maximale Blickabwendungsdauer unter 2.0 Sekunden liegen sollen, und
- für die Bearbeitung der Aufgabe eine gesamte Blickabwendungsdauer von maximal 20 Sekunden benötigt werden darf.

Alternativ reicht es nachzuweisen, dass die Nebenaufgabe das Fahrverhalten nicht stärker beeinträchtigt als eine akzeptierte Referenzaufgabe. Dieses Kriterium ist auch auf die Beurteilung nicht visueller Zweitaufgaben anwendbar. Nach den Richtlinien der SAE (2000) darf die Bearbeitung einer Aufgabe im Stand nicht länger

als 15 Sekunden benötigen, um als sicher zu gelten. In der EU existiert ein Statement of Principles (2005), das unter anderem festlegt,

- dass die vom System dargestellte Information mit wenigen Blicken erfassbar sein soll,
- dass die gezeigte Information richtig sein soll und zu einem angemessenen Zeitpunkt gegeben werden soll,
- dass das System keine langen, nicht unterbrechbaren Bediensequenzen oder Blickzuwendungen erfordern darf.

Zur Abschätzung der visuellen Beanspruchung unterschiedlicher Zweitaufgaben wird auf die seit 2006 existierende ISO-Norm 16673 verwiesen. Diese regelt die Verwendung der Okklusionstechnik und die Berechnung geeigneter Kenngrößen zur Bewertung verschiedener Systeme. Es werden allerdings keine Grenzwerte gegeben, anhand derer eine Klassifikation in kritische und unkritische Systeme vorgenommen werden kann.

Schweigert (2002) übertrug die Forderung, dass Nebenaufgaben beim Fahren keine Blickabwendungen länger als 2 Sekunden erfordern sollten, auf nichtvisuelle Zweitaufgaben. Er interpretiert die Zunahme von Fixationen mit einer Dauer länger als 2 Sekunden während kognitiver Ablenkung als sicherheitskritisch, obwohl diese Fixationen auf die Fahrszene gerichtet waren. Diese Interpretation setzt voraus, dass ab einer bestimmten Dauer von Fixationen (in diesem Fall 2 Sekunden) der normalerweise angenommene Zusammenhang zwischen Fixationsort und Ausrichtung der Aufmerksamkeit nicht mehr gilt. Den nur in diesem Fall können lange Fixationen der Fahrsituation als ein Hinweis auf eine Einschränkung der Fahrsicherheit gewertet werden. Diese Annahme findet sich sonst nicht in der Literatur und sollte deswegen zumindest weiter geprüft werden.

### 3.4 Modelle zur Steuerung der Aufmerksamkeit während visueller Nebenaufgaben beim Fahren

Wierwille (1993) befasste sich in einem Modell (Abbildung 3-5) mit der Steuerung und Funktion von Straßenblicken während visueller Nebenaufgaben. Er geht davon aus, dass die Dauer der Blickabwendungen von der Schnelligkeit der Informationsaufnahme bei der Nebenaufgabe sowie von einem mit der Zeit immer stärker werdenden Bedürfnis, die Fahrsituation zu kontrollieren abhängt. Nach spätestens 1.6 Sekunden ist nach dem Modell das Bedürfnis zur Kontrolle der Fahrsituation so groß, dass notfalls auch ohne Abschluss der Informationsaufnahme in der Nebenaufgabe die Aufmerksamkeit zum Fahren zurückkehrt.

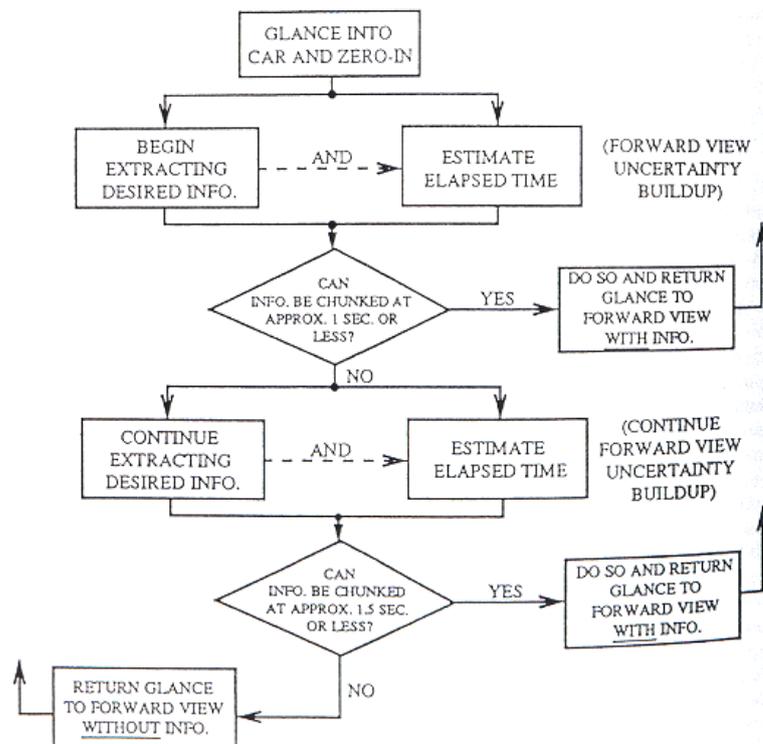


Abbildung 3-5: Modell der Aufmerksamkeitssteuerung während visueller Nebenaufgaben beim Fahren nach Wierwille (1993).

Damit wird die Rückkehr der visuellen Aufmerksamkeit zur Fahrszene durch ein Gefühl der Unsicherheit bzw. einen inneren Druck gesteuert. Inwieweit dies auf einem tatsächlichen Mangel an visueller Information beruht und ob dieser angenommene Mechanismus ausreicht, die Fahrsicherheit zu gewährleisten, ist nicht untersucht. Des Weiteren sieht das Modell keine Möglichkeit vor, wie unterschiedlich beanspruchenden Fahrsituationen Einfluss auf die Steuerung des Blickwechsels nehmen können. Wie in Abschnitt 3.1 dargestellt, beeinflusst allerdings auch die Fahrsituation und nicht nur die Art der bearbeiteten Nebenaufgabe wie häufig und wie lange der Blick von der Fahrszene abgewendet wird.

Ein anderer Ansatz von Salvucci u. Taatgen (2008) beschreibt das Verhalten in Multitaskingsituationen. Das Modell wird von den Autoren u. a. auf die Bearbeitung von

Nebenaufgaben beim Fahren angewandt. Hierbei wird auf Seite der Fahraufgabe nur die Stabilisierungsebene berücksichtigt, komplexere Aufgaben wie spezifische Fahrmanöver oder Gefahrenwahrnehmung sind nicht Teil des Modells. Es wird davon ausgegangen, dass die Aufmerksamkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt immer nur auf einer der konkurrierenden Aufgaben liegen kann. Eine Multitaskingsituation zeichnet sich deswegen durch einen wiederholten Wechsel zwischen den parallel durchgeführten Aufgaben aus. Es ist eine Eigenschaft einer jeden Aufgabe, wann und wie oft für diese Aufgabe spezifische Teilziele erreicht werden. Immer wenn dies der Fall ist, wird die Aufmerksamkeit frei und kann nun einer anderen Aufgabe zugewandt werden. Die frei werdende Aufmerksamkeit wird beim Aufgabenwechsel immer der Aufgabe zugewandt, die von allen konkurrierenden Aufgaben am längsten nicht bearbeitet wurde. Dadurch wird sichergestellt, dass keine Aufgabe über längere Zeit vernachlässigt wird. In Salvucci u. Taatgen (2008) wird der Ansatz herangezogen um Spurhaltung und Eingabeverhalten beim Wählen von Telefonnummern während der Fahrt zu modellieren.

Hauptproblem des Modells von Salvucci u. Taatgen (2008) ist, dass die parallel bearbeiteten Aufgaben immer von gleicher Wichtigkeit sind, und Zeitpunkt und Häufigkeit der Aufgabenwechsel nur von der Struktur der Aufgaben abhängen. Damit kann wieder nicht erklärt werden, wieso die Fahrsituation Einfluss auf die Dauer der Blickabwendungen nimmt. Im Rahmen des Modells ist die Dauer der auf die Nebenaufgabe gerichteten Blicke nur von den Eigenschaften dieser Nebenaufgabe abhängig. Ein Einfluss der im Wechsel durchgeführten Aufgabe, der Fahraufgabe, ist nicht vorgesehen. Außerdem kann das Modell nicht abbilden, dass Fahr- und Nebenaufgabe in der Regel von unterschiedlicher Wichtigkeit sind. Die unterschiedliche Bedeutung der Aufgaben für den Fahrer führt dazu, dass bei kritischen Entwicklungen in der Fahraufgabe die Nebenaufgabe unabhängig vom Erreichen von Teilzielen sofort unterbrochen wird. Aufgrund der gleichen Problematik kann auch ein instruierter Einfluss der Bedeutung der Nebenaufgabe auf die Aufteilung der Aufmerksamkeit (z.B. in Horrey, Wickens u. Consalus, 2006) nicht erklärt werden. Die Teilziele einer Nebenaufgabe sollten unabhängig ihrer instruierten Wichtigkeit sein. Die beobachtete Änderung der Aufmerksamkeitsverteilung kann deswegen durch das Modell nicht erklärt werden.

Horrey et al. (2006) stellen ein Modell vor, das auf dem für den Fliegerbereich entwickelten SEEV-Modell der Arbeitsgruppe um Wickens aufbaut (Wickens, 2000a). Das SEEV-Modell sagt die Aufteilung der Aufmerksamkeit auf verschiedene Bereiche einer visuellen Szene (Areas of Interest) anhand der vier Faktoren Salienz, Effort, Erwartung und Wert vorher. Der Faktor Salienz beschreibt den Einfluss von reizgesteuerten bottom-up-Prozessen auf die Aufteilung der Aufmerksamkeit. Die Faktoren Erwartung und Wert sind dagegen abhängig von top-down gesteuerten Prozessen, die die Ausrichtung der Aufmerksamkeit anhand eines internen mentalen Modells der Situation beeinflussen. Der Faktor Wert beinhaltet die Bedeutung der Aufgabe für den Operator, Erwartung beschreibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit in der entsprechenden Area of Interest neue, relevante Information erwartet wird. Der letzte Faktor des Modells, Effort beschreibt den, für die Verschiebung der Aufmerksamkeit auf die neue Area of Interest nötigen Aufwand. Große Blickbewegung erfordern einen höheren Effort und sind deswegen weniger wahrscheinlich als kleine (nach Miller, Kirlik, Kosorukoff u. Byrne, 2004; Wickens, Helleberg, Kroft, Talleur u.

Xidong, 2001). Zusätzlich wird in der Anwendung des Modells auf visuelle Nebenaufgaben beim Fahren von Horrey et al. (2006) in ambiente und fokale visuelle Wahrnehmung unterschieden. In der Kombination ergibt sich das in Abbildung 3-6 gezeigte Modell. Die visuelle Nebenaufgabe (IVT-Task) entspricht innerhalb des Modells einer fokalen, visuellen Aufgabe, die erfüllt werden muss. Die Fahraufgabe selber setzt sich aus drei Teilaufgaben zusammen. Anforderungen der Spurhaltung werden teilweise durch ambiente Wahrnehmung erfüllt. Diese unterliegt nicht dem SEEV-Ansatz. Für Schilderlesen bzw. Navigation und Gefahrenwahrnehmung (Hazard Response) ist dagegen fokale Aufmerksamkeit notwendig. Über die Annahmen des SEEV-Modells wird entschieden, wann wie viel Aufmerksamkeit auf die einzelnen Areas of Interest, d.h. auf die verschiedenen visuellen Teilaufgaben verwandt wird. Nach Wickens et al. (2001) kann ein Einfluss der vier genannten Faktoren auf die Ausrichtung der Aufmerksamkeit angenommen werden, die Gewichtung der einzelnen Faktoren ist allerdings unklar. Es wird weiterhin vermutet, dass bei einer optimalen Wahrnehmungsstrategie die Ausrichtung überwiegend auf den top-down gesteuerten Faktoren Erwartung und Wert beruht. Dies gilt allerdings nur dann, wenn das mentale Modell, das der Operator von der Umwelt hat, in Übereinstimmung mit den objektiven Umweltbedingungen steht. Laut Wickens u. Horrey (2008) kann davon ausgegangen werden, dass bei einem gut „kalibrierten“ Fahrer die Erwartung plötzlicher Gefahren in direktem Zusammenhang mit deren tatsächlichen Auftretenswahrscheinlichkeit steht.

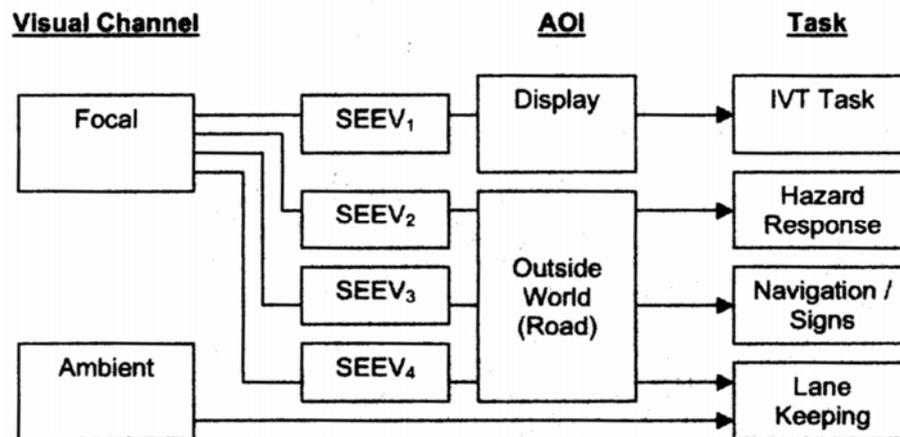


Abbildung 3-6: Auf Fahren mit visuellen Nebenaufgaben angewandtes SEEV-Modell (aus Horrey et al., 2006 S.69)

Horrey et al. (2006) versuchen, das Modell in einer Untersuchung mit N=8 Probanden zu prüfen. Sie können mittels einer einfachen Fahraufgabe in der statischen Fahrsimulation zeigen, dass über die Beeinflussung des Parameters Wert im SEEV-Modell die Aufteilung der Aufmerksamkeit zwischen Fahr- und Nebenaufgabe beeinflusst werden kann. Wurde über die Instruktion die Nebenaufgabe im Vergleich zur Fahraufgabe priorisiert, stiegen die Leistung in der Nebenaufgabe und der Zeitanteil, den die Fahrer auf die Nebenaufgabe blickten. Gleichzeitig sank die Spurhaltegröße. Die beabsichtigte Beeinflussung des Modellparameters Erwartung über plötzliche Windstörungen mit Auswirkung auf die Spurhaltung hatte eine deutlich geringere Auswirkung auf das Verhalten der Fahrer. In einer zweiten Studie mit N=11 Fahrern wurde die Reaktion auf kritische Ereignisse bei zwei unterschiedlich komplexen Ne-

benaufgaben untersucht. Laut Modell sollte bei der komplexen Nebenaufgabe mehr Aufmerksamkeit von der Fahraufgabe weg, auf die Nebenaufgabe gerichtet sein. Bei Bearbeitung der komplexen Nebenaufgabe kam es zu einem Anstieg der Blickabwendungen sowie zu einer Verschlechterung der Spurhaltung. Die Reaktion in den kritischen Situationen war dagegen unabhängig von der Komplexität der Nebenaufgabe. Entgegen der Vorhersage im Rahmen des Modells wurde damit nur eine der beiden Teilaufgaben des Fahrens beeinflusst. Die Autoren folgern daraus, dass ambiente Wahrnehmung einen entscheidenden Beitrag zur Gefahrenwahrnehmung leistet.

Die im Modell vorgenommene Unterteilung der Fahraufgabe in verschiedene Teilaufgabe lässt sich in der von den Autoren vorgenommenen experimentellen Prüfung nicht bestätigen. Entgegen der Vorhersage hatte die experimentelle Manipulation keinen Einfluss auf die Teilaufgabe Gefahrenwahrnehmung. In beiden Studien kam es dagegen zu einer Verschlechterung der Spurhaltung bei Ablenkung. Diese sollte aber zumindest teilweise über ambiente Wahrnehmung geleistet werden und deswegen von der Aufteilung der fokalen Aufmerksamkeit auf verschiedene Areas of Interest eher unabhängig sein. Die Autoren folgern aus ihren Ergebnissen, dass das Modell in erster Linie Aussagen über die Ausrichtung der fokalen visuellen Wahrnehmung treffen kann. Für Teilaufgaben des Fahrens, in denen periphere bzw. ambiente Wahrnehmung eine Rolle spielt, ist es dagegen weniger geeignet. In einer neueren Veröffentlichung (Wickens u. Horrey, 2008) wird die Idee, die Fahraufgabe in verschiedene visuelle Teilaufgaben zu unterteilen, nicht mehr aufgegriffen. Insgesamt bietet das Modell damit - wie von den Autoren gezeigt - einen Ansatz, die Aufteilung der Aufmerksamkeit zwischen Fahr- und Nebenaufgabe anhand Eigenschaften der Fahr- und der Nebenaufgabe zu erklären. Welche Teilbereiche der Fahraufgabe durch die Ablenkung vernachlässigt werden, sagt es dagegen schlechter vorher.

Tabelle 3-4 vergleicht die drei Modelle noch einmal in den wichtigsten Punkten. Bezüglich der in dieser Arbeit behandelten Fragestellung, nämlich der Frage nach der Ausrichtung der fahrbezogenen Aufmerksamkeit während der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben, erscheint von den drei vorgestellten Modellen das SEEV-Modell am besten geeignet. Dieses berücksichtigt mehrere Teilaufgaben des Fahrens. Die vorgenommene Unterteilung der Fahraufgabe erscheint allerdings ein wenig willkürlich und ließ sich in den durchgeführten Studien auch nicht absichern. Dies ist wahrscheinlich der Grund, warum die Unterteilung in späteren Veröffentlichungen (Wickens u. Horrey, 2008) nicht mehr aufgegriffen wird und nun nur noch in zwei Teilaufgaben, die Fahr- und die Nebenaufgabe unterteilt wird.

*Tabelle 3-4: Gegenüberstellung der Modelle von Wierwille (1993), Salvucci u. Taatgen (2008) und dem SEEV-Modell.*

		Modell		
		Wierwille (1993)	Salvucci u. Taatgen (2008)	SEEV-Modell von Horrey et al. (2006)
Vorhergesagt wird:	Zeitpunkt Blickwechsel	+	+	-
	Aufteilung Aufmerksamkeit	-	+	+
Steuernde Faktoren		Innerer Druck (Unsicherheit), wächst mit der Zeit	Erreichen von Teilzielen in den beiden Aufgaben	SEEV: Salienz, Erwartung, Effort, Wert der Areas of Interest
Priorisierung Fahr- und Nebenaufgabe		Fahraufgabe wichtiger	Gleich gewichtet	variabel
Einfluss der Fahrsituation		-	Nur auf fahrbezogene Blicke	+
Berücksichtigte Fahraufgaben		?	Stabilisierungsebene	Gefahrenwahrnehmung, Navigation, Spurhaltung

### 3.5 Fazit fahrbezogene Aufmerksamkeit beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben

Die im Abschnitt 3.3 dargestellten Richtlinien ziehen zur Bewertung des Risikos verschiedener Nebenaufgaben beim Fahren die zur Bearbeitung der Aufgabe nötigen Blickabwendungen heran. Um Aussagen über die Sicherheit von Nebenaufgaben beim Fahren treffen zu können, ist allerdings zusätzlich Wissen über die Funktion der Straßenblicke notwendig. Über alle Studien hinweg zeigt sich in der Literatur, dass während visueller Nebenaufgaben rund 30% der Zeit auf die Straße geblickt wird. Die hierfür aufgewandten Fixationen sind kürzer als die im Wechsel durchgeführten Blickabwendungen, und dauern im Mittel zwischen 300 ms und 700 ms. Die dargestellten Studien weisen außerdem auf eine gewisse Anpassung des Blickverhaltens an die Erfordernisse der Fahrsituation hin. Immer wieder wird diskutiert, welche Ein-

bußen genau durch die Aufteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe entstehen und welche Aspekte der Fahraufgabe davon besonders betroffen sind. Laut Schweigert (2002) gibt es Hinweise darauf, dass Fahrer während visueller Nebenaufgaben die Aufmerksamkeit verstärkt auf basale Aufgaben der Fahrzeugstabilisierung fokussieren. Dies entspricht einer Hypothese von Victor et al. (2005) zur Aufmerksamkeit während nicht-visueller Nebenaufgaben. Basierend auf ihren Untersuchungsergebnissen vermuteten die Autoren, dass Fahrer während nicht-visueller Nebenaufgaben ihre Aufmerksamkeit überwiegend zur Kontrolle der Spurhaltung verwenden, andere Aspekte der Fahraufgabe würden dagegen vernachlässigt.

Eine systematische Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Anforderungen der Fahrsituation und der Verteilung der Aufmerksamkeit zwischen Fahr- und Nebenaufgabe fehlt bisher weitgehend. Horrey et al. (2006) befassen sich im Rahmen des von ihnen aufgestellten Modells zwar ansatzweise mit dieser Frage, sie beschränken ihre Untersuchungen aber auf sehr einfache Fahrsituationen. Dazu kommt, dass die im Modell angenommenen, visuellen Teilaufgaben des Fahrens sich experimentell nicht wie vorhergesagt beeinflussen lassen. Dies könnte unter anderem darauf zurückzuführen sein, dass die vorgenommene Unterteilung der Fahraufgabe in die drei Teilaufgaben Spurhaltung, Gefahrenwahrnehmung und Navigation nicht ausreicht, um die Komplexität der Fahraufgabe abzubilden.

Eine systematische Erforschung des Zusammenhangs zwischen Fahrsituation und Aufmerksamkeitsverteilung ist nötig, um zu untersuchen, worauf die fahrbezogene Aufmerksamkeit während dem Fahren mit visuellen Nebenaufgaben gerichtet ist. Dieses Wissen kann verwendet werden um vorherzusagen, wann trotz der Ablenkung durch visuelle Nebenaufgaben die fahrbezogene Aufmerksamkeit ausreicht, die Fahrsicherheit aufrechtzuerhalten. Hier ist vermutlich keine generelle Aussage möglich, sondern ein Einfluss der Fahrsituation zu erwarten. Die von Schweigert (2002) vermutete stärkere Fokussierung auf Aufgaben der Fahrzeugstabilisierung hieße beispielsweise, dass bestimmte Fahraufgaben, wie Reaktion auf plötzliche Gefahrenreize nur schlecht, andere, wie das Durchfahren von Kurven dagegen trotz Nebenaufgabe gut gelöst werden können.

Insgesamt ergibt sich aus der Literatur zur Aufmerksamkeit während visueller Nebenaufgaben beim Fahren ein deutliches Bild davon, welches Blickverhalten mit dieser Situation einhergeht. Welche Konsequenz dies für die Wahrnehmung der Fahrsituation hat, und welche Formen der Aufmerksamkeit oder Komponenten der visuellen Wahrnehmung durch die Ablenkung eingeschränkt werden, ist dagegen unklar. Im Folgenden wird versucht, anhand von Untersuchungen und Modellen aus der psychologischen und neuropsychologischen Grundlagenforschung eine Vorstellung davon zu entwickeln, wozu Aufmerksamkeit dient, wie sie genutzt und gesteuert wird. Dies kann als Grundlage dienen, um die Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren und mögliche Auswirkungen von Ablenkung durch visuelle Nebenaufgaben auf die fahrbezogene Aufmerksamkeit zu diskutieren.

## 4 AUFMERKSAMKEIT UND VISUELLE WAHRNEHMUNG

### 4.1 Funktion von Aufmerksamkeit im Rahmen der visuellen Wahrnehmung

Theorien zur visuellen Wahrnehmung gehen von mehreren aufeinander aufbauenden Ebenen der visuellen Verarbeitung aus. Es werden Stufen der visuellen Vorverarbeitung angenommen, die noch nicht mit einer bewussten Wahrnehmung der Objekte verknüpft sind. Darauf aufbauend findet eine tiefere visuelle Verarbeitung, nun nicht mehr von Reizeigenschaften, wie Farben und Kanten, sondern von zu Objekten integrierten, visuellen Einheiten statt.

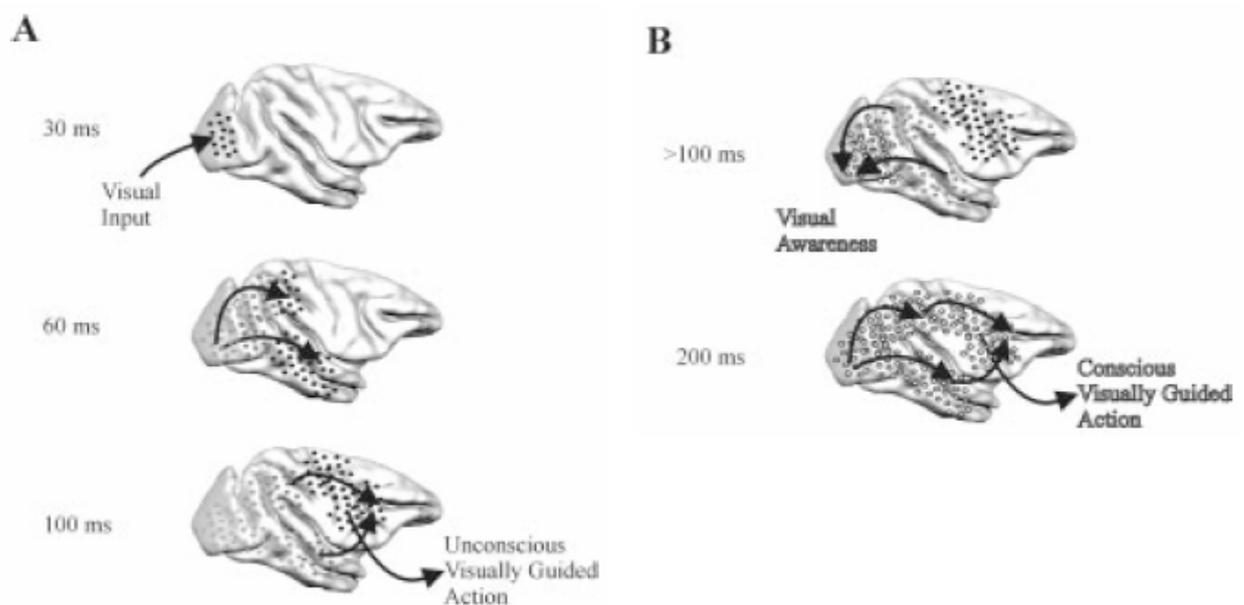


Abbildung 4-1: Schema der Abfolge der visuellen Verarbeitung in den verschiedenen Hirnregionen. Die nach 100 ms auftretenden Rückkopplungsprozesse (B) werden von Lamme (2000) mit einer bewussten Verarbeitung in Zusammenhang gebracht (aus Lamme, 2000 S.393).

Dieser Mehrebenenansatz der visuellen Verarbeitung lässt sich durch neuropsychologische Forschung absichern. Lamme (2000) ordnet die verschiedenen, an der Verarbeitung beteiligten Hirnareale unterschiedlichen Stufen der visuellen Wahrnehmung zu (vgl. Abbildung 4-1). Durch die festgelegte Abfolge der verschiedenen Verarbeitungsschritte sind die angenommenen Stufen mit unterschiedlichen Verarbeitungsdauern verknüpft. Nach rund 30 ms erreicht die visuelle Information das Gehirn. Nach einer Vorverarbeitung im okzipitalen Kortex (V1, V2, V3) wird sie nach rund 60 ms bis 80 ms in extrastriale Regionen weitergeleitet (V4). Von hieraus gibt es Verbindungen zu prefrontalen Hirnregionen. Die ab ca. 100 ms auftretenden Rückkopplungsprozesse werden von Lamme (2000) mit einer bewussten visuellen Wahrnehmung in Verbindung gebracht (vgl. auch Lamme, Super, Landman, Roelfsema u. Spekrijse, 2000). Alle vorherigen Verarbeitungsstufen sind dagegen unbewusst. Der Rückkopplungsprozess (in Abbildung 4-1 visual awareness) steht mit visueller Auf-

merksamkeit in Verbindung, ist aber nicht identisch mit dieser. Auf der einen Seite geht ein bewusstes Wahrnehmen von Objekten normalerweise mit einer aufmerksamen Verarbeitung desselben einher, auf der anderen Seite ist aber auch bekannt, dass Aufmerksamkeit die Verarbeitung bestimmter Objekte bereits auf frühen Stufen der visuellen Verarbeitung (in Abbildung 4-1 auf Seite A) verbessern kann. Damit scheint Aufmerksamkeit ein Mechanismus zu sein, der über die bewusste Wahrnehmung hinausgeht, aber dennoch mit dieser in engem Zusammenhang steht.

Rensink (2000, 2002) geht in einem abstrahierteren, weniger an neurologischen Befunden festgemachten Modell von drei Ebenen der visuellen Informationsverarbeitung aus (vgl. Abbildung 4-2). Die Vorverarbeitung der visuellen Reize in einem frühen Stadium der visuellen Verarbeitung führt zur Extraktion von Kanten und darauf aufbauend, der Ortung von Objekten. Diese Information dient noch ohne Zuwendung von Aufmerksamkeit dazu, den räumlichen Aufbau (Layout) und die Bedeutung (Gist) der Szene zu ermitteln. Unter Aufwendung von Aufmerksamkeit findet auf der dritten Ebene eine tiefere Verarbeitung von Objekten statt. Durch die Zuwendung von Aufmerksamkeit werden die extrahierten Reizeigenschaften zu kohärenten Objekten integriert, die als neue Einheiten weiter verarbeitet werden können. Sie werden Bestandteil des visuellen Arbeitsgedächtnisses und sind dadurch einer bewussten, höheren Verarbeitung zugänglich. Ähnliche Überlegungen zur Funktion der Aufmerksamkeit bei der Wahrnehmung von Objekten finden sich auch in der Feature Integration Theory von Treisman u. Gelade (1980).

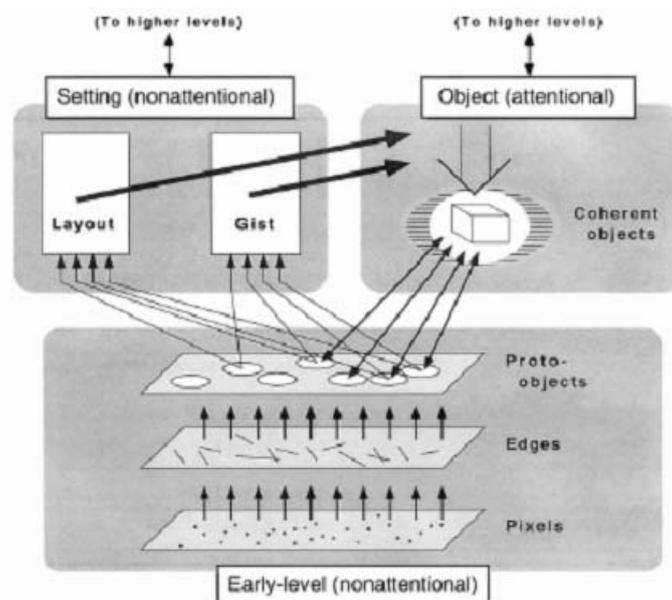


Abbildung 4-2: Modell der visuellen Informationsverarbeitung nach Rensink (2002).

Die genannten Modelle zeigen, dass die sensorische Erfassung von Information nicht gleichzusetzen ist damit, dass sie auch „gesehen“ wurde, d.h. mit Aufmerksamkeit belegt wurde und somit weiterführender, kognitiver Verarbeitung zugänglich ist. Für die Identifikation einzelner Objekte und für die Aufnahme derselbigen ins visuelle Arbeitsgedächtnis und damit für die bewusste Wahrnehmung ist Aufmerksamkeit notwendig (vgl. Rensink, 2002). Die Verteilung der visuellen Aufmerksamkeit stellt die Engstelle der visuellen Informationsverarbeitung dar, da sie zu einem Zeitpunkt immer nur auf einige wenige Objekte gerichtet sein kann. Gleichzeitig entscheidet sie

darüber, welche Objekte ins visuelle Arbeitsgedächtnis gelangen. In der Literatur lassen sich eine Vielzahl unterschiedlicher Definition von Aufmerksamkeit finden, die Selektionsfunktion derselben ist aber immer ein entscheidendes Kriterium. Nach Lamme (2000) wird Aufmerksamkeit am besten folgendermaßen beschrieben:

„Attention is the selection of certain aspects, objects or locations of the visual scene to process these faster or in more detail.“ (Lamme, 2000 S.387).

Wie bereits in Abschnitt 2 dargestellt, werden Fixationen als Indikator für die Ausrichtung der Aufmerksamkeit in der Umwelt herangezogen. In einigen Ansätzen findet bezogen auf die Aufmerksamkeit noch einmal eine Untergliederung der Fixationen statt: es werden Fixationen, die zur präattentiven Verarbeitung der Umwelt dienen von solchen unterschieden, bei denen eine Aufmerksamkeitszuwendung zum fixierten Objekt erfolgt. Präattentive Fixationen sind noch nicht mit Aufmerksamkeit verknüpft, beinhalten aber bereits spezifische Erwartungen. Sie werden zum Scannen der Umwelt („ist etwas los?“) verwendet. Laut Velichkovsky, Rothert et al. (2002) unterscheiden sich die Verarbeitungsstufen mit / ohne Aufmerksamkeitszuwendung in den jeweils für die Verarbeitung benötigten minimalen Fixationsdauern: präattentive Fixationen dauern in der Regel zwischen 150 ms bis 250 ms, die Dauer attentiver Fixationen steigt dagegen im Mittel auf ca. 500 ms. Bezogen auf das Modell von Lamme (2000) stellt diese Grenze in etwa den Übergang zu den beschriebenen Rückkoppelungsprozessen dar, bei Rensink (2002) kennzeichnet sie den Übergang zur Verarbeitung integrierter Objekte.

## 4.2 Grenzen der visuellen Verarbeitung

### 4.2.1 Definitionen und Methoden

Weitere Befunde zur Bedeutung von Aufmerksamkeit bei der visuellen Wahrnehmung liefern Studien, die sich mit den Grenzen der visuellen Wahrnehmung befassen. In der Literatur werden verschiedene Phänomene diskutiert, die alle mit einer fehlenden Wahrnehmung relevanter Informationen zusammenhängen. Als inattentional Blindness wird bezeichnet, wenn ein relevantes, aber unerwartetes Objekt nicht gesehen wird. Selbst bei einer nachgewiesenen vorherigen Fixation des relevanten Objekts bzw. dem Durchführen einer visuellen Suche auch in Richtung des betroffenen Objekts ist es möglich, dass dieses nicht bewusst wahrgenommen wird (Simons, 2000a). Ein gutes Beispiel für diesen Effekt liefert die Studie von O'Regan, Deubel, Clark u. Rensink (2000). In der Untersuchung mit Änderungen in statischen Bildern zeigte sich, dass, auch wenn der Blick auf dem Ort der Änderung ruhte, diese nur in 60% der Fälle bemerkt wurde. Dieser Anteil war unabhängig davon, ob das geänderte Objekt von zentraler oder marginaler Bedeutung für das Bild war. Insbesondere in Bezug auf Verkehrsunfälle wird an Stelle des Begriffs inattentional Blindness in der Literatur auch der Ausdruck Looked-but-failed-to-see Phänomen verwendet (Brown, 2005; Herslund u. Jorgensen, 2003).

Ein verwandtes Phänomen wird unter dem Begriff Change Blindness diskutiert. Es beschreibt, dass Veränderungen der visuellen Szene, die während Unterbrechungen der visuellen Verarbeitung auftreten, oft erstaunlich schlecht bemerkt werden. Zu natürlichen Unterbrechungen der Verarbeitung kommt es beispielsweise bei Sakkaden oder Blinzeln (Simons u. Levin, 1997). Findet die Änderungen (z.B. das Verschieben

oder Verschwinden von Objekten) nicht während einer Unterbrechung statt, entstehen Bewegungshinweise. Diese Bewegungstransienten ziehen in einer ansonsten statischen Szene die Aufmerksamkeit automatisch auf sich und werden in Folge dessen gut wahrgenommen. In Studien zu Change Blindness muss deswegen dafür gesorgt werden, dass durch die Änderung kein Bewegungshinweis entsteht. Dies ist der Fall, wenn die Änderungen während den bereits genannten, natürlichen Unterbrechungen durch Sakkaden oder Blinzeln auftreten oder in irgendeiner Form maskiert werden. Zur Maskierung wird häufig ein einfarbiges Zwischenbild (Blank) eingeblendet. Bei Untersuchungen mit Filmen kann auch ein im Film enthaltener Schnitt oder eine auftretende temporäre Verdeckung des Objekts zum Ändern genutzt werden (Rensink, 2002). Ohne direkte Maskierung kann Change Blindness unter zwei Bedingungen entstehen: gleichzeitig zur Änderungen werden andere, den Beobachter ablenkende Bewegungsreize eingeblendet (z.B. über die Technik der so genannten Mudsplashes) oder die Änderung vollzieht sich so langsam, dass die Bewegungsreize nicht ausreichen, die Aufmerksamkeit zu binden. Velichkovsky, Dornhoefer, Kopf, Helmert u. Joos (2002) untersuchten das Auftreten von Change Blindness in statischen Videobildern von Fahrsituationen. Es wurden u. a. verschiedene Formen der Maskierung miteinander verglichen. Die Änderungen konnten während Blanks (112 ms Dauer) auftreten oder durch natürliche Unterbrechung der visuellen Verarbeitung über Sakkaden oder Blinzeln verdeckt werden. Als Referenz wurde die Entdeckungswahrscheinlichkeit für Veränderungen während Fixationen erfasst. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit für die verschiedenen Änderungen war unabhängig davon, wodurch die visuelle Verarbeitung unterbrochen wurde. Änderungen während Fixationen wurden erwartungsgemäß in nahezu 100% der Fälle entdeckt.

Pearson u. Schaefer (2005) unterscheiden bei der Untersuchung von Change Blindness Ansätze die mit dem Flicker- und solche, die mit dem One-Shot-Paradigma arbeiten. Beim Flickerparadigma werden die beiden zu vergleichenden Szenen so lange immer im Wechsel gezeigt, bis die Veränderung gefunden ist. Die hierfür benötigte Zeit wird als Index der Entdeckungsschwierigkeit gewertet. Die beiden Bilder werden bei jedem Wechsel durch einen Blank getrennt. Beim One-Shot Paradigma wird die Änderung nur einmal gezeigt. Der entscheidende abhängige Parameter ist der Anteil der Probanden, der die Änderung bemerkt. Häufig werden in den Untersuchungen statische Szenen verwendet. Der Betrachter wird instruiert, auf Veränderungen zu achten. Die Szene hat ansonsten keine weitere Relevanz für ihn. Wallis u. Bülthoff (2000) untersuchten in einem direkten Vergleich, ob sich die Wahrscheinlichkeit für Change Blindness in dynamischen von der in statischen Szenen unterscheidet. Die Dynamik der Szene hatte in dieser Untersuchung zumindest bei passiven Beobachtern keinen Einfluss auf das Entdecken der Änderungen.

### 4.2.2 Ursachen für Change Blindness

Die Befunde zu Change Blindness zeigen zuerst einmal, dass entgegen dem subjektiven Eindruck, die visuelle Szene nicht komplett und in allen Details Bestandteil des visuellen Arbeitsgedächtnisses und bewusst zugänglich ist. Die Befunde, die das unerwartet große Ausmaß von Change Blindness aufzeigen, führten zu Untersuchungen dazu, auf welcher Verarbeitungsebene die retinal vorhandene Information verloren geht. Außerdem wird diskutiert, wie viel und in welcher Form Information über Sakkaden hinweg erhalten bleibt. So gibt es beispielsweise die Hypothese, dass die Information im visuellen Speicher zwar vorhanden, aber bewusst nicht zugänglich ist (vgl. Simons, 2000b; Mitroff, Simons u. Levin, 2004). Im Rahmen solcher Überlegungen wird auch untersucht, welche Objekteigenschaften und Änderungsarten Change Blindness beeinflussen. Cole u. Liversedge (2006) berichteten beispielsweise, dass Änderungen an sich vergrößernden Objekten besser bemerkt werden als an sich verkleinernden Reizen. Stelmach, Bourasse u. Di Lollo (1984) zeigten, dass beim Hinzufügen von Objekten weniger Change Blindness entsteht als beim Entfernen (vgl. auch Cole u. Liversedge, 2006).

Andere Autoren vertreten den Ansatz, dass Change Blindness in erster Linie von höheren kognitiven Prozessen, wie der aktuellen Handlungsplanung und der Bedeutung der Szene für den Betrachter, und weniger von den basalen Eigenschaften der verwendeten Reize beeinflusst wird. So konnten Stirk u. Underwood (2007) beispielsweise zeigen, dass zumindest in ihrer Untersuchungsanordnung die visuellen Salienz keinen Einfluss auf die Change Blindness nahm. Für den Einfluss höherer Prozesse spricht noch eine Reihe weiterer Untersuchungsergebnisse. So ließ sich zeigen, dass Change Blindness für vieldeutige im Gegensatz zu bedeutungsvollen Stimuli stärker ausgeprägt ist (Agostinelli, Sherman, Fazio u. Hearst, 1986). Dies gilt auch für situationsinkonsistente im Vergleich zu situationskonsistenten Objekten (Hollingworth u. Henderson, 2000; Stirk u. Underwood, 2007). Außerdem werden Veränderungen an für den Beobachter bedeutsameren Personen besser entdeckt als Veränderungen an subjektiv weniger bedeutsamen Personen (Simons u. Levin, 1997). Pearson u. Schaefer (2005) verwendeten Abbildungen von Fahrszenen, um den Einfluss von Zentralität und Bedeutung der Objekte auf das Auftreten von Change Blindness zu untersuchen. N=40 Probanden sollten im One-Shot-Paradigma Änderungen, die aus Verschwinden oder Positionsänderungen von Objekten bestanden, entdecken. Änderungen sowohl an zentralen als auch an bedeutsamen Objekten wurden besser entdeckt als solche, die periphere oder wenig bedeutsame Szenenelemente betrafen. Eine Änderung der Instruktion hin zu einer Betonung der Relevanz der Untersuchungsergebnisse für die individuelle Fahreignung, führte zu einer besseren Entdeckungsleistung für periphere, aber fahrtrelevante Objekte. Turatto, Angrilli, Mazza, Umiltà u. Driver (2002) berichteten, dass physikalisch stärkere Änderungen des Hintergrunds so gut wie nie (~ 10%), Änderungen an Objekten im Vordergrund dagegen fast immer (~ 97%) bemerkt werden. Wallis u. Bühlhoff (2000) konnten zeigen, dass, wenn der Beobachter aktiv in den Ablauf der gezeigten Szene involviert war, sich das Muster der Entdeckungswahrscheinlichkeiten für die untersuchten Objekte änderte. Änderungen an Objekten, die weiter vom Handelnden entfernt und deswegen aktuell weniger handlungsrelevant waren, wurden nun schlechter entdeckt als es ohne die aktive Involviertheit der Fall war. Der Einfluss des aktuel-

len Handlungszieles des Beobachters auf die Wahrnehmung von Änderung verdeutlicht auch die Arbeit von Triesch, Ballard, Hayhoe u. Sullivan (2003). In der virtuellen Realität sortierten N=59 Probanden Klötze unterschiedlicher Größe. Hierbei ließ sich eine feste Blicksequenz beobachten: das Objekt wurde vor dem Ergreifen fixiert, dann folgte vor Beginn der auszuführenden Bewegung eine Sakkade auf das Ziel der Bewegung. Das Objekt wurde während der Bewegung in der Regel nicht mehr fixiert. Während der Bewegung wurde die Größe des Objekts geändert. Je nach Instruktion war die Größe der Objekte mehr oder weniger relevant für die Handlung. Die Ergebnisse zeigen, dass je bedeutender die Größe der Objekte für die Handlung war, desto häufiger wurde die Größenänderung bemerkt. Eine detaillierte Analyse des Blickverhaltens zeigte außerdem, dass in den seltenen Fällen, in denen die Objekte während der Änderung fixiert wurden, dies nicht immer ausreichend für ein Bemerkten der Änderung war. Die Arbeit von Pizzighello u. Bresson (2008) zeigt anhand von zwei Experimenten, dass auch eine auditive Bindung der Aufmerksamkeit das Auftreten von visueller Change Blindness erhöhen kann.

Insgesamt zeigen die vorgestellten Ergebnisse, dass Änderungen in der Regel nur für solche Objekte entdeckt werden, die im Fokus der Aufmerksamkeit stehen. Dies sind normalerweise die Bestandteile der visuellen Szene, die für den Beobachter bedeutsam oder besonders zentral sind. Die Relevanz der Objekte wiederum wird von der Aufgabe des Beobachters bestimmt. Ein in eine bestimmte Tätigkeit involvierter Beobachter wird mit Sicherheit andere Objekte aufmerksam verarbeiten als dies bei jemandem der Fall ist, der ohne weitere Instruktion die Szene beobachtet. Passend zu dieser Interpretation lässt sich im Rahmen des Modells von Rensink (2000) das Phänomen der Change Blindness dadurch erklären, dass Änderungen nur für Teile der visuellen Szene bemerkt werden können, die vorher auf Ebene 3 als kohärente Objekte verarbeitet wurden. Dies bedeutet auch, dass diese Objekte vorher mit Aufmerksamkeit belegt wurden und Bestandteil des visuellen Arbeitsgedächtnisses sind (siehe auch Rensink, 2002). Einige Studien zeigen allerdings, dass Aufmerksamkeit eine notwendige, aber keine hinreichende Voraussetzung für das Bemerkten von Veränderungen ist. Insbesondere bei unerwarteten Änderungen kann es vorkommen, dass sie nicht bemerkt werden, obwohl Aufmerksamkeit auf das geänderte Objekt gerichtet wird (Simons u. Rensink, 2005).

Unabhängig von den dahinter stehenden Wahrnehmungsprozessen, wie sie z.B. von Simons (2000b) diskutiert werden, kann das Phänomen der Change Blindness Aufschluss über die Verteilung der Aufmerksamkeit im Rahmen unterschiedlicher Tätigkeiten geben. Änderungen an Objekten, die für die durchgeführte Tätigkeit relevant sind, sollten besser bemerkt werden als Änderungen an irrelevanten Objekten.

### 4.2.3 Change Blindness und inattentional Blindness im Fahrkontext

In Bezug auf das Autofahren bzw. auch in anderen arbeitspsychologischen Kontexten (vgl. DiVita, Obermayer, Nugent u. Linville, 2004 für eine Luftraumüberwachungsaufgabe; Durlach, 2004 für ein Review) wird untersucht, in wie weit die Phänomene Change Blindness und inattentional Blindness außerhalb experimenteller Anordnungen eine Rolle spielen. Hintergrund der Forschung ist häufig die Sorge, dass aufgrund von Sakkaden u. ä. relevante Situationsänderungen gefährlich oft nicht bemerkt werden. So zeigen Unfallanalysen, dass eine zentrale Ursache für Unfälle beim Autofahren Fehler in der Aufmerksamkeit sind. Cairney und Catchpole (1995; zitiert nach Simons, 2000b) schätzten beispielsweise, dass 69% bis 80% aller Kreuzungsunfälle darauf zurückgeführt werden können, dass die Anwesenheit eines anderen Fahrzeugs zu spät bemerkt wurde. Herslund u. Jorgensen (2003) untersuchten Unfälle und Beinaheunfälle mit Radfahrern an Kreuzungen. Sie berichten, dass besonders häufig vorfahrtsberechtigte Radfahrer übersehen werden. Dies ist sogar der Fall, wenn der Autofahrer vorher an der Kreuzung hält und aktiv nach kreuzenden Verkehrsteilnehmern sucht.

Scheuchenpflug, Piechulla, Grein u. Krüger (2004) untersuchten in einer Fahrstudie das Verhalten an Kreuzungen. Eine bestimmte Art von Kreuzung erwies sich in der Untersuchung als besonders unfallträchtig. Es handelte sich um X-Kreuzungen, an denen der Fahrer links abbiegen möchte. Es herrscht sowohl starker Quer- als auch Gegenverkehr: Sobald sich eine geeignete Lücke ergibt, musste beim Abbiegen ein entgegenkommendes Fahrzeug berücksichtigt werden. Insgesamt ereigneten sich an diesem Kreuzungstyp sechs Kollisionen mit dem entgegenkommenden Fahrzeug. Zusätzlich zu diesen Kollisionen kam es zu drei Beinaheunfällen, bei denen die Probanden den Gegenverkehr erst bemerkten, als er an ihnen vorbeifuhr. Damit wurde in mindestens 9 von 88 möglichen Fällen der Gegenverkehr übersehen. Die Autoren vermuten, dass die Ursache hierfür in einer Fokussierung auf den Querverkehr und damit einhergehend auf einer Vernachlässigung des Gegenverkehrs beruht.

Die genannten Untersuchungen verdeutlichen am Beispiel der Kreuzungssituation, welche Gefahr beim Autofahren durch das Übersehen anderer, beispielsweise vorfahrtsberechtigter Verkehrsteilnehmer ausgehen kann. Im Rahmen solcher Befunde wird häufig von dem Looked-but-failed-to-see Phänomen als Unfallursache gesprochen. Brown (2005) geht in einem Review der Frage nach, warum es im Fahrkontext zu Looked-but-failed-to-see Phänomenen kommen kann. Für den Fall, dass tatsächlich ein relevantes Objekt angesehen, dann aber nicht oder nicht ausreichend verarbeitet wird, werden zwei Erklärungsansätze genannt:

- Inadäquates Suchmodell (engl.: „inadequate search model“): Die Aufmerksamkeit wird für eine angemessene Zeitdauer auf relevante Bereiche des Verkehrsszenarios gelenkt, aber der Fahrer wird sich dennoch über spezifische Arten von gut sichtbaren Gefahren nicht bewusst. Die Ursache liegt in diesem Fall in einem unpassenden Situationsmodell, dass die spezifische Gefahr nicht berücksichtigt. Dies führt dazu, dass die Gefahr trotz Blickzuwendung nicht bemerkt wird.

- Inkohärente Merkmalsentdeckung (engl.: „incoherent feature detection“): Der Fahrer blickt in richtige Richtung, die Dauer der Zeitperiode ist jedoch nicht ausreichend, um alle relevanten Informationen über eine gut sichtbare Gefahr zu extrahieren und in ein kohärentes Bild zu integrieren.

Die beiden Erklärungsansätze unterscheiden sich darin, auf welcher Stufe der visuellen Verarbeitung der Fehler geschieht. Im zweiten Fall ist die gewählte Blickdauer nicht ausreichend, um eine tiefe Verarbeitung aller relevanten Eigenschaften des Objekts zu gewährleisten. Bezieht man diese Idee beispielsweise auf das Modell von Rensink (2002), so kann man sich vorstellen, dass die Verarbeitungsdauer nicht ausreicht, alle relevanten Details zu einem kohärenten Objekt zu verbinden. In der als inadäquates Suchmodell bezeichneten Erklärung wäre die aufgewandte Verarbeitungszeit eigentlich ausreichend, sie wird aber beispielsweise auf die Verarbeitung anderer, letztendlich weniger wichtiger Details verwandt.

Eine weiteres Beispiel für ein Looked-but-failed-to-see Phänomen liefert die Untersuchung von Most u. Astur (2007). Die Autoren vermuteten, dass ein Mismatch zwischen dem aktivierten Attentional Set, d.h. den Reizeigenschaften, nach denen aktiv gesucht wird, und den Eigenschaften eines auftretenden relevanten Reizes die Wahrnehmung desselben stören kann. In ihrer Studie wurden N=56 Probanden instruiert, in der Fahrsimulation entweder blauen oder gelben Richtungspfeilen zu folgen. Auf ein, dem Fahrer plötzlich die Vorfahrt nehmendes Motorrad konnte schneller reagiert werden, wenn dieses dieselbe Farbe wie der gerade relevante Richtungspfeil hatte. Stimmt Farbe von Motorrad und Richtungspfeilen nicht überein, wurde später reagiert und es resultierten auch mehr Kollisionen. Ein von einigen Autoren (z.B. Corbetta u. Shulman, 2002) vermutetes automatisches Binden der Aufmerksamkeit durch unerwartete, handlungsrelevante Stimuli ließ sich somit nicht nachweisen.

Velichkovsky, Dornhoefer et al. (2002) untersuchten an Hand von statischen Videobildern das Auftreten von Change Blindness bei fahrtrelevanten und irrelevanten Objekten. Die Änderung konnte aus Entfernen oder Hinzufügen von Objekten bestehen. Vor dem eigentlichen Experiment wurde die Relevanz der geänderten Objekte für die Fahraufgabe mittels Expertenurteil bestimmt. Die beiden in der Veröffentlichung aufgeführten Beispiele – das Hinzufügen eines Radfahrers als relevante und einer Werbetafel als irrelevante Änderung – lassen allerdings vermuten, dass sich relevante von irrelevanten Änderungen noch in anderen Aspekten als der Relevanz (z.B. Größe, Position) unterscheiden. Die Ergebnisse (vgl. Abbildung 4-3) zeigen, dass Veränderungen relevanter Details sowie das Hinzufügen von Objekten so gut wie immer bemerkt wurden. Dies gilt auch für unmaskierte Änderungen unabhängig von der Relevanz der Objekte. Auf relevante Änderungen wurde im Mittel 150 ms schneller reagiert als auf irrelevante. Durch die Maskierung der Änderung erhöhte sich die Reaktionszeit im Vergleich zu nicht maskierten Änderungen um rund 300 ms. Dies war unabhängig von der Art der Maskierung.

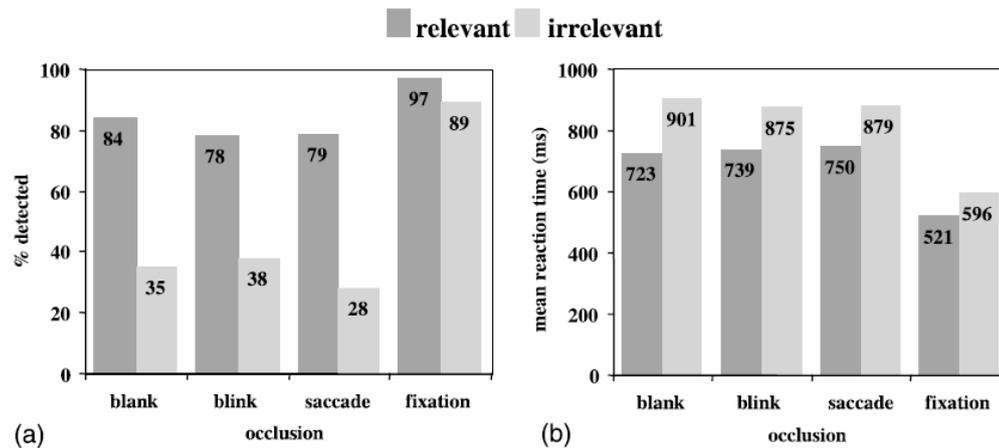


Abbildung 4-3: Entdeckungswahrscheinlichkeit (links) sowie Reaktionszeit (rechts) für relevante und irrelevante Änderungen im Fahrkontext (aus Velichkovsky, Dornhoefer et al., 2002).

In einer zweiten, in Velichkovsky, Dornhoefer et al. (2002) vorgestellten Untersuchung durchführten N=12 Probanden eine Strecke in der Fahrsimulation. Es wurden diesmal 50 verschiedene verkehrsrelevante Objekte während der Fahrt eingefügt. Alle Änderungen traten in einem Abstand von 2 Sekunden zur Position des Ego-Fahrzeugs auf. Die Änderungen wurden entweder durch einen Blank maskiert oder fanden während einer Fixation statt. In der verwendeten Untersuchungsanordnung zeigten sich klassischen Change Blindness Experimenten entgegengesetzte Ergebnisse: Maskierte Änderungen wurden signifikant häufiger (95.6% vs. 90.3%) und schneller (666 ms vs. 702 ms) entdeckt als Änderungen während Fixationen.

In einer Untersuchung von Shinoda, Hayhoe u. Shrivastava (2001) wurden in der Fahrsimulation Parken-Verboten-Schilder durch Stoppschilder ersetzt. Die Bedeutung des veränderten Objekts für die Fahraufgabe beeinflusste das Auftreten von Change Blindness. Die Veränderung wurde besonders gut wahrgenommen, wenn sich das Schild an einer Kreuzung befand und die Beachtung der Straßenverkehrsordnung instruiert wurde. Weiterhin zeigte sich, dass auch bei Nichtbemerken einer relevanten Veränderung im Normalfall auf das veränderte Schild reagiert, und an der Kreuzung angehalten wurde.

Y.-C. Lee, Lee u. Boyle (2007) benutzten den Change Blindness Effekt, um den Einfluss von visueller Unterbrechung und kognitiver Ablenkung auf die Aufmerksamkeit zu untersuchen. In einer ersten Untersuchung in der Fahrsimulation mit N=12 Probanden wurde die Entdeckungsleistung für verschiedene Änderungen der Fahrsituation mit und ohne auditive Nebenaufgabe ausgewertet. Die Änderungen wurden entweder durch einen Blank von einer Sekunde – dies entspricht in etwa einer Blickabwendung beim Fahren - oder unmaskiert dargeboten. Sprünge des vorausfahrenden Fahrzeugs nach hinten, d.h. in Richtung Ego-Fahrzeug wurden besser entdeckt als solche nach vorne. Am schlechtesten wurden Änderungen an einem parkenden Fahrzeug entdeckt. Durch die Maskierung sowie durch die Nebenaufgabe reduzierte sich die Entdeckungsrate. Der Einfluss der Maskierung war bei Änderungen an parkenden Fahrzeugen am stärksten ausgeprägt. Diese Wechselwirkung wurde tendenziell signifikant. Durch die kognitive Ablenkung reduzierte sich die Entdeckungsleistung ebenfalls. Diese Verschlechterung war unabhängig von der Art der Änderung. Die beschriebenen Ergebnisse sind in Abbildung 4-4 dargestellt.

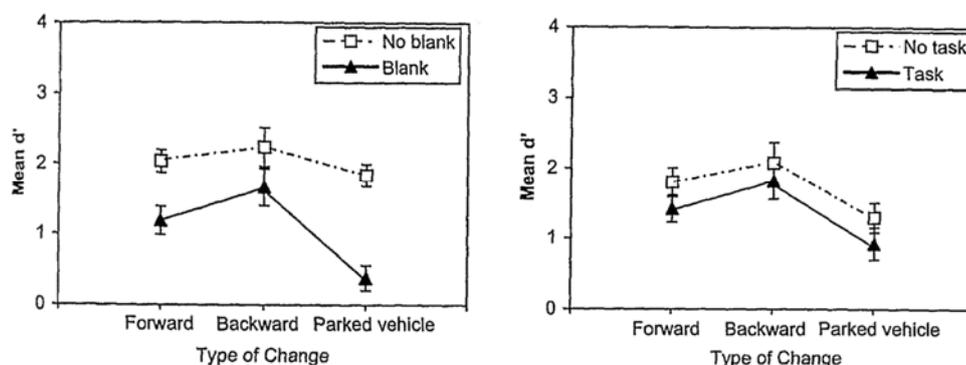


Abbildung 4-4: Einfluss von Unterbrechung (links) und auditiver Nebenaufgabe (rechts) auf die Entdeckungsleistung ( $d'$ ) (aus Y.-C. Lee et al., 2007).

Um zu klären, ob der Effekt der Sprungrichtung auf Reizeigenschaften wie der Größe des Objekts oder auf der Relevanz der Änderung für den Fahrer beruht, wurde eine zweite Studie durchgeführt. Hier bestanden die Änderungen aus plötzlichen Spurwechseln entweder aus der Nebenspur auf die Spur des Fahrers oder von der Spur des Fahrers auf die Nebenspur. Es wurde angenommen, dass die erste Form der Änderung für den Fahrer stärker relevant sei, da nun plötzlich ein vorausfahrendes Fahrzeug auftaucht. Die beiden Spurwechsel wurden allerdings entgegen der Relevanzhypothese gleich gut entdeckt. Bei der Interpretation der Ergebnisse wurde nicht berücksichtigt, dass beide Fälle mit Änderungen auf der für den Fahrer relevanten Spur einhergingen: einmal tauchte ein vorausfahrendes Fahrzeug auf und einmal verschwand es.

Zusammenfassend kann für den Fahrkontext gezeigt werden, dass Change Blindness für aufgabenirrelevante Objekte größer ist als für relevante. Die Untersuchung von Y.-C. Lee et al. (2007) deutet außerdem darauf hin, dass die Aufmerksamkeit beim Fahren nicht nur auf einzelnen Objekten, sondern auch auf ausgewählten, relevanten Bereichen der Szene liegen kann. In der genannten Untersuchung erwarteten die Autoren nicht, dass auch das Verschwinden eines Objekts von einer relevanten Position bemerkt wird. Dahinter stand vermutlich die Annahme, dass nur die Relevanz des Objekts nach der Änderung über die Entdeckung der Änderung ent-

scheidet. Entgegen dieser Erwartung wurde aber auch das Verschwinden von Objekten in einem für das Fahren relevanten Bereich bemerkt. Es zeigt sich weiterhin, dass Veränderungen in statischen Szenen (z.B. auf Bildern) maskiert werden müssen. Geschieht dies nicht, kommt es zu einer reizbasierten Ausrichtung der Aufmerksamkeit durch den bei der Änderung entstehenden Bewegungstransienten. Für dynamische Szenen, wie sie beispielsweise beim Fahren vorherrschen, sind die Ergebnisse dagegen widersprüchlich. In der Fahrstudie von Velichkovsky, Dornhoefer et al. (2002) verbesserte eine Maskierung der Änderung die Entdeckungsleistung, in der Untersuchung von Y.-C. Lee et al. (2007) wurde vergleichbar zu den Ergebnissen in statischen Untersuchungsanordnungen, durch die Maskierung die Entdeckungsleistung verringert. Dieser Widerspruch kann als ein Hinweis darauf verstanden werden, dass Ergebnisse aus statischen Untersuchungsanordnungen nicht ohne weiteres auf die Fahrsimulation bzw. das Fahren übertragbar sind. Tabelle 4-1 zeigt den Einfluss wichtiger Faktoren auf das Phänomen der Change Blindness im Fahrkontext noch einmal im Überblick.

*Tabelle 4-1: Einfluss verschiedener Faktoren auf Change Blindness im Fahrkontext getrennt für statische (z.B. Abbildungen) und dynamische Untersuchungsumgebungen (z.B. Fahrsimulation); – steht für Change Blindness wird verringert; + für Change Blindness wird erhöht; ? für es gibt widersprüchliche Ergebnisse, Effekt unklar.*

Faktor	Untersuchungsumgebung	
	statisch	dynamisch
Relevanz des Objekts für die Fahrsituation	-	-
Involviertheit des Probanden in Fahraufgabe	- (für aufgabenrelevante Reize)	- (für aufgabenrelevante Reize)
Maskierung der Änderung	+	?
Ablenkung (z.B. durch Nebenaufgabe)		+

#### 4.2.4 Fazit Grenzen der visuellen Verarbeitung

Unfallanalysen zeigen, dass Fahrfehler, die durch inattentional Blindness bzw. durch das Looked-but-failed-to-see Phänomen entstehen, von großer Bedeutung für die Fahrsicherheit sind. Insbesondere für Kreuzungssituationen wird immer wieder von solchen Aufmerksamkeitsfehlern und daraus resultierenden, gefährlichen Situationen berichtet. Die Wahrnehmungsfehler entstehen aber wahrscheinlich nicht aufgrund des Change Blindness Phänomens. Alle Untersuchungen zu Change Blindness im Fahrkontext zeigen, dass relevante Änderungen trotz Wahrnehmungsunterbrechungen infolge von beispielsweise Sakkaden oder Blinks gut bemerkt werden. Damit sind andere Ansätze, wie sie beispielsweise von Brown (2005) diskutiert werden, nötig, um das Looked-but-failed-to-see Phänomen erklären zu können. Als mögliche Erklärung wird von verschiedenen Autoren genannt, dass der nicht wahrgenommene Reiz im Widerspruch zu der aktuell in der visuellen Szene gesuchten Reizkonstellation steht. Dies führt dazu, dass der Reiz, obwohl er relevant und gut sichtbar ist, nicht ausreichend verarbeitet wird, und deswegen nicht oder zu spät bemerkt wird.

Das Change Blindness Phänomen ist unter methodischen Gesichtspunkten für die Untersuchung von Aufmerksamkeit beim Fahren von Interesse. Das Phänomen tritt überwiegend für Reize auf, die vom Beobachter nicht mit Aufmerksamkeit belegt werden. Dieses Ergebnis passt zu der subjektiv erlebbaren Strategie, beim Lösen von Change Blindness-Aufgaben im Flickerparadigma mit der Aufmerksamkeit systematisch von einem Bereich des Bildes zum nächsten zu wechseln und so nach und nach im gesamten Bild nach dem geänderten Objekt zu suchen. Da Change Blindness in erster Linie für nicht aufmerksam verarbeitete Objekte auftritt, hat das Phänomen das Potential, als Indikator zur Erfassung der Aufmerksamkeitsverteilung innerhalb unterschiedlichster Aufgaben verwendet zu werden. Es ist zu erwarten, dass Änderungen an aufgabenrelevanten Objekten besser bemerkt werden als an aufgabenirrelevanten Objekten. Im Umkehrschluss gibt das Ausmaß der Change Blindness Aufschluss über die Relevanz des Objekts für die untersuchte Aufgabe. Spezifische Hypothesen über die Verteilung der Aufmerksamkeit in bestimmten Situationen bzw. während bestimmter Tätigkeiten können so mittels Change Blindness überprüft werden.

### **4.3 Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren**

Die bisher vorgestellten Ergebnisse verdeutlichen, dass die Ausrichtung der Aufmerksamkeit entscheidend dafür ist, welche Bestandteile der Umwelt bewusst wahrgenommen werden und welche nicht. Sie können allerdings nicht erklären, worauf, sei es beim Fahren oder auch bei anderen Alltagstätigkeiten, die Aufmerksamkeit gelenkt wird. Dies ist aber eine zentrale Frage, wenn man verstehen möchte wie sich die fahrtbezogene Wahrnehmung während der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben im Vergleich zum nicht abgelenkten Fahren verändert.

#### **4.3.1 Bottom-up vs. top-down Steuerung der Aufmerksamkeit**

Hoffmann (1993) unterscheidet in eine endogene und eine exogene Steuerung der Aufmerksamkeit. Unter endogener Steuerung versteht er eine willentliche Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf bestimmte Bereiche oder Objekte der Umwelt. Im Gegensatz dazu bewirken bei exogener Steuerung Eigenschaften des Reizes selbst die Verschiebung der Aufmerksamkeit auf das Objekt. Die beiden Möglichkeiten sind in der Literatur auch als top-down und bottom-up Steuerung der Aufmerksamkeit bekannt.

Eine große Zahl wissenschaftlicher Untersuchungen befasst sich mit bottom-up Prozessen, und damit mit dem Einfluss von Reizeigenschaften auf die Ausrichtung der Aufmerksamkeit. Dies geschieht in der Regel im Rahmen hoch kontrollierter Laboranordnungen. In solchen Settings wird u. a. untersucht, welche Ausprägungen und Kombinationen von Reizeigenschaften die Verarbeitung von Reizen fördern. Darauf aufbauende Modelle der Aufmerksamkeitssteuerung gehen häufig von einer Verarbeitung der visuellen Szene in Form von Saliency-Maps aus. Die Aufmerksamkeit wird auf die Objekte gelenkt, denen innerhalb solcher Maps die höchsten Werte zugeordnet sind. Salientere Objekte, d.h. Objekte die sich aufgrund ihrer Reizeigenschaften von den umgebenden Objekten abheben (z.B. ein roter unter lauter grünen Reizen oder sich bewegende Objekte in einer sonst statischen Umwelt) haben innerhalb dieser Maps die größeren Werte und ziehen deswegen mit größerer Wahr-

scheinlichkeit die Aufmerksamkeit auf sich (z.B. Findlay u. Walker, 1999; Hamker, 2004).

Im Gegensatz zu Theorien, die einen starken Einfluss von reizgesteuerten bottom-up Prozessen auf die Aufmerksamkeit postulieren, erscheint im subjektiven Erleben die Aufmerksamkeit in erster Linie abhängig von eigenen Zielen und Handlungen. Dies bezeichnet man als top-down Prozesse, über die die Aufmerksamkeit entsprechend der Erwartungen auf ganz bestimmte Reize der Umwelt geleitet wird. Ergebnisse von Gugerty (1997) zeigen beispielsweise, dass Autofahrer mehr Aufmerksamkeit auf Fahrzeuge vor ihnen als auf Fahrzeuge hinter ihnen oder weiter weg richten. Die Aufmerksamkeitsverteilung entspricht somit der Bedeutung der Fahrzeuge für den Fahrer. Der Vorteil von top-down Prozessen ist, dass Aufmerksamkeit effizient und aufgabebezogen zur Erreichung des aktuellen Handlungszieles eingesetzt werden kann. In vielen Aufmerksamkeitsmodellen wird eine unspezifische Möglichkeit angenommen, über die ein Einfluss von top-down-Prozessen auf die Aufmerksamkeit möglich ist. Wie dieser Einfluss genau aussieht, wird in der Regel nicht beschrieben. Rensink (2002) beispielsweise sieht bei den beiden höheren Verarbeitungsstufen „Setting“ und „Object“ eine in beide Richtungen mögliche Verbindung zu „höheren Ebenen“ vor. Bei Findlay u. Walker (1999) kann top-down eine Modifizierung der Saliency-Maps erfolgen. Wie dies im Detail funktioniert, wird nicht beschrieben.

Die Verbindung, die den Einfluss von top-down Prozessen ermöglicht, stellt immer auch die Schnittstelle zwischen reizgetriebener Informationsverarbeitung und dem im Langzeitgedächtnis gespeichertem Wissen dar. Ohne sie gibt es in den Modellen keine Möglichkeit, wie Erfahrung und Vorwissen Einfluss auf die Wahrnehmung nehmen kann. Woodman u. Chun (2006) kommen in einem Review zu neueren Untersuchungen, die sich mit dem Zusammenhang Aufmerksamkeit und Gedächtnis befassen, zu dem folgenden Schluss:

Theories have typically ignored the role of long-term memory in order to focus on bottom-up visual factors and within trial top-down effects. However to increase the ecological validity of visual search, models must begin to articulate how long term visual knowledge biases attention. (Woodman u. Chun, 2006 S. 825)

Diese Forderung steht im Einklang mit Befunden aus dem Bereich der Neuropsychologie. Mittels elektrophysiologischer Studien und bildgebender Verfahren kann mittlerweile ein Einfluss top-down gesteuerter Erwartung bis in frühe Stadien der visuellen Informationsverarbeitung im primären visuellen Kortex (V1) nachgewiesen werden (Treue, 2003). Damit zeigt sich ein Einfluss von top-down Prozessen auch auf Stufen der Informationsverarbeitung, die häufig als rein reizbasiert beschrieben werden. Erst wenn der Einfluss von top-down Prozessen und damit von im Langzeitgedächtnis gespeicherter Erfahrung auf die Steuerung der Aufmerksamkeit besser untersucht und in entsprechenden Modellen näher spezifiziert ist, kann die aufgabenbezogene Steuerung der Aufmerksamkeit verstanden werden. Die folgende Aussage von Land, Mennie u. Rusted (1999) verdeutlicht noch einmal die Bedeutung des Zusammenhangs von Aufmerksamkeit und den, für die aktuelle Aufgabe relevanten Gedächtnisstrukturen für die Ausrichtung der Aufmerksamkeit während Alltagsaktivitäten:

- in real tasks – the eyes are driven much more by top-down information from the script, and rather little by the ‚intrinsic salience‘ of objects. (Land et al., 1999 S. 3561)

### 4.3.2 Aufgabenbezogene Steuerung der Aufmerksamkeit

Im Alltag wird die visuelle Informationsverarbeitung in der Regel als Mittel zum Erreichen bestimmter Ziele eingesetzt. Studien, die sich mit visueller Verarbeitung im Rahmen komplexer Alltagstätigkeiten befassen, berichten einen starken Einfluss von top-down Prozessen auf die Aufmerksamkeit (Henderson, 2003). Yarbus (1967) (zitiert nach Pelz u. Canosa, 2001) zeigte, dass die Aufgabenstellung bei der Betrachtung eines Gemäldes beeinflusst, welche Bereiche stärker betrachtet und welche vernachlässigt werden. So führt beispielsweise die Frage nach dem Alter der abgebildeten Personen zu einer stärkeren Fokussierung auf die dafür besonders relevanten Bereiche des Bildes, die Gesichter.

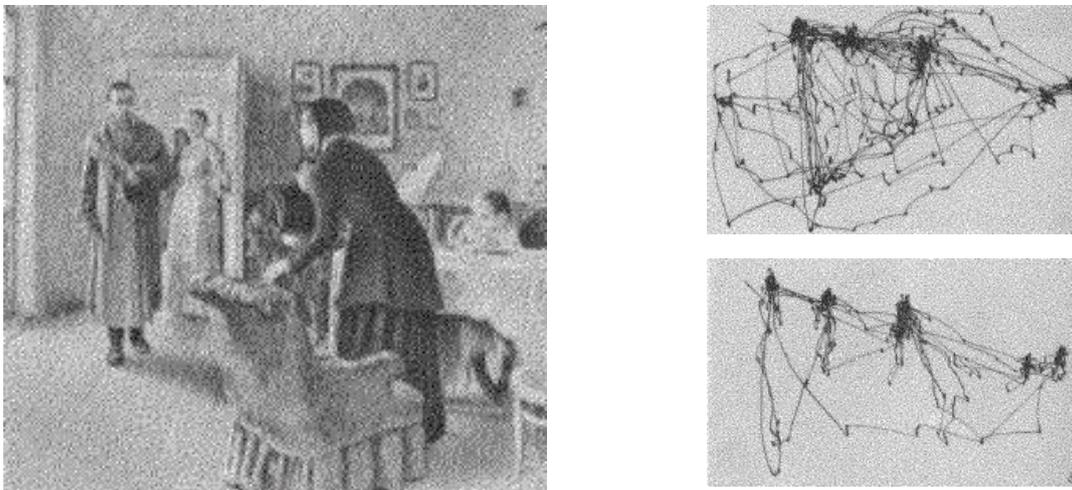


Abbildung 4-5: Blickbewegungspfade beim Betrachten eines Bildes (links) bei freier Beobachtung (rechts oben) des Bildes, sowie bei der Frage nach dem Alter der abgebildeten Personen (rechts unten) (Yarbus (1967) aus Goldstein, 2002 S. 353).

Nach Henderson, Weeks u. Hollingworth (1999) werden in einer komplexen Szene semantisch konsistente Objekte schneller angeblickt als identische Objekte in einem semantisch inkonsistenten Kontext. Im Gegensatz dazu werden inkonsistente Objekte insgesamt länger fixiert. Dies bedeutet, dass Objekte, die einen inhaltlichen Bezug zu der umgebenden Szene haben und sich in dieser auch an einem sinnvollen Ort befinden, schneller gefunden werden, als solche, die nicht in die gezeigte Szene passen oder an einem ungewöhnlichen Ort gezeigt werden. Auch scheint es, als würde bei konsistenten Objekten die Bedeutung schneller erkannt, woraus eine insgesamt kürzere Blickzuwendung resultiert. Theeuwes u. Hagenzieker (1993) bestätigten diesen Effekt für die Suche nach Objekten an Kreuzungen. Objekte, die sich hier an einem unerwarteten Ort befanden, wurden signifikant langsamer entdeckt. In Theeuwes (1996) wurde außerdem gezeigt, dass Objekte an konsistenten Positionen nicht nur schneller erkannt, sondern auch schneller angeblickt werden als solche, die sich an inkonsistenten Orten befinden. Johnston u. Peace (2007) untersuchten das Phänomen, dass es vermehrt zu Fußgängerunfällen bei Personen kommt, die sich in einem Land befinden, in dem im Vergleich zu ihrer Herkunft auf der anderen

Straßenseite gefahren wird. Sie berücksichtigten allerdings die nahe liegende Hypothese, dass das hoch geübte Suchmuster beim Überqueren von Straßen in dem neuen Kontext unpassend ist, nicht weiter. Dennoch passt das beschriebene Ausgangsphänomen zu der Vermutung, dass Vorwissen über Aufbau und Struktur von Alltagsszenen Einfluss auf die visuelle Suche und damit auch auf die Entdeckungsgeschwindigkeit für relevante Objekte nimmt.

Pelz u. Canosa (2001) verglichen das Blickverhalten während den Tätigkeiten Hände waschen und Tasse mit Wasser füllen. Bei beiden Aufgaben standen fast alle Fixationen in direktem Bezug zur durchzuführenden Abfolge von Tätigkeiten. Greifbewegungen ging beispielsweise in der Regel um ca. 500-1000 ms eine Fixation des zu greifenden Objekts voraus. Auch für die Tätigkeiten Sandwich machen und Tee kochen wurde gezeigt, dass weniger als 5 % der Fixationen auf Objekte entfallen, die nicht in Verbindung mit der jeweiligen Tätigkeit stehen. Hayhoe, Shrivastava, Mruczek u. Pelz (2003) beschäftigten sich ebenfalls mit der Tätigkeit des Sandwichmachens. Sie fanden, dass nicht nur Fixationsziele, sondern auch Fixationsdauern in direktem Zusammenhang zur durchgeführten Handlung stehen. Objekte werden solange fixiert, bis die notwendige Information extrahiert bzw. bis der das Objekt betreffende Handlungsteil abgeschlossen ist. Turano, Gerasch et al. (2003) untersuchten das Blickverhalten von N=4 Probanden, die einen Gang entlang und dann durch die fünfte Tür auf der linken Seite gehen sollten. Die Vorhersagekraft von Modellen, die die Fixationsorte ausschließlich aufgrund der Reizeigenschaften (Intensität, Orientierung, Farbe) der visuellen Szene vorhersagten, unterschied sich nicht von Modellen mit einer zufälligen Wahl der Fixationsorte. Eine deutlich bessere Modellierung des realen Blickverhaltens ergab sich dagegen bei Modellen, die Vorgaben durch die Handlung (z.B. wahrscheinliche Entfernung des Handlungsziels, räumliche Vorgaben) berücksichtigten.

Im Rahmen der genannten Untersuchungen wird die Bedeutung der Definition von Aufmerksamkeit von Allport (1987) (vgl. auch Neumann, van der Heijden u. Allport, 1986) als „selection for action“ besonders anschaulich. Visuelle Wahrnehmung bzw. Aufmerksamkeit steht im Alltag in der Regel im Dienste der gerade durchgeführten Handlung. Sie stellt die, für ein effizientes und erfolgreiches Umsetzen des aktuellen Handlungsziels benötigte Information zur Verfügung.

Land et al. (1999) ordneten die verschiedenen, während Sandwich zubereiten und Tee kochen durchgeführten Fixationen den folgenden Aufgabenbereichen innerhalb der Handlungsplanung und -durchführung zu:

- Objekte lokalisieren
- Bewegungen der Hand lenken (einfache Zielbewegung)
- Zwei Objekte aufeinander zu bewegen (komplexe Zielbewegung)
- Kontrolle der Handlung

Bezieht man diese Aufteilung auf die Tätigkeit des Fahrens, so kann man beispielsweise die für die Kontrolle und Korrektur der Spur verwendete foveale Aufmerksamkeit der Kategorie einfache Zielbewegung zuordnen. Land u. Lee (1994) zeigten, dass bei Durchfahren einer Kurve der Blick meistens auf einen Punkt im Kurveninnenradius (Tangentenpunkt) gerichtet wird, da dieser die meiste Information über

den weiteren Spurverlauf bietet (vgl. auch Underwood, Chapman, Crundall, Cooper u. Wallén, 1999). Salvucci, Liu u. Boer (2001) beschreiben das Blickverhalten während Spurwechseln. Hierbei werden die Bereiche Startspur, Zielspur und Spiegelblicke berücksichtigt. Die Blicke auf Start- und Zielspur dienen in der oben dargestellten Klassifikation zur visuellen Steuerung der Bewegung, die Spiegelblicke dagegen der Absicherung der Handlung gegen Störungen. Aktuell gibt es Forschungsbemühen, die versuchen, anhand der Abfolge und Häufigkeit von Spiegelblicken die Spurwechselabsicht vorherzusagen (Henning et al., 2007). Bei diesem Ansatz werden in erster Linie Blicke analysiert die zur Handlungskontrolle dienen. Komplexe Zielbewegungen treten beim Fahren beispielsweise beim Durchfahren von Engstellen oder dem Einparken auf. Nach Cohen (1998) springen Fahrer beim Durchfahren von Engstellen mit dem Blick immer zwischen den beiden seitlichen Begrenzungen hin und her und schätzen so den verfügbaren Platz ab. Dieses Blickmuster ähnelt dem von Land u. Hayhoe (2001) beschriebenen Muster beim Befüllen von Behältern.

Bei den von Pelz u. Canosa (2001) und Land et al. (1999) untersuchten Alltagstätigkeiten spielen Blicke mit der Funktion Objekte zu lokalisieren nur zu Beginn der Handlungsplanung eine größere Rolle. Dies ist bei Tätigkeiten wie dem Fahren, bei denen die Dynamik der Situation einen größeren Bedeutung hat, vermutlich anders: hier ist zu erwarten, dass Blicke, die zu Absicherung und Kontrolle der Handlung sowie zur Lokalisation von Objekten dienen, mit großer Regelmäßigkeit immer wieder durchgeführt werden. Dies ist zur Aufrechterhaltung der Sicherheit notwendig, da es sich um eine hoch dynamische Tätigkeit in einer instabilen, nur teilweise durch den Handelnden kontrollierten Umwelt handelt. Neben aktuell handlungsleitenden Objekten müssen auch andere, aktuell nicht relevante Objekte wahrgenommen und in das mentale Abbild der Umwelt integriert werden. Dieses Absuchen der Umwelt nach Objekten und der Aufbau eines mentalen Abbildes der aktuellen Situation ähnelt dem von Hoffmann (1993) als explorativ bezeichnetem Verhalten.

„Der Blick, der explorativ die Umgebung abtastet, dient nicht mehr der Ortung eines bestimmten Objekts sondern vielmehr dem Sammeln und Überprüfen von Erfahrungen über die relativen Lokationen aller möglicher Objekte. Wenn solche Erfahrungen allerdings erst einmal vorliegen, dann erleichtern sie die spätere Suche nach einem Objekt [...] erheblich. (Hoffmann, 1993 S. 118).

Nur ein über die aktuell handlungssteuernden Situationsbestandteile hinausgehendes Abbild der Situation ermöglicht langfristig sicheres Fahren. So erlaubt es beispielsweise die Vorhersage von vom Fahrer nicht kontrollierten Situationsänderungen. Damit deuten sich für den Fahrkontext zwei wichtige Funktionen der Aufmerksamkeit an. Aufmerksamkeit wird im Rahmen der aktuellen Handlungsplanung zur Wahrnehmung erwarteter und aktuell handlungsrelevanter Information verwendet. Dazu kommt die explorativer Wahrnehmung, die freie Kapazitäten darauf verwendet, ein über die aktuell handlungssteuernden Situationselemente hinausgehendes Modell der Umwelt zu erstellen.

Zusätzlich zu diesen beiden Prozessen darf aber auch die reizgesteuerte Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf besonders auffällige Objekte nicht ganz vernachlässigt werden. Sie ermöglicht zusammen mit der explorativen Wahrnehmung, dass der Fahrer Offenheit für neue, unerwartete Objekte bewahren kann. Bei einer zu starken

Abschirmung gegen solche Reize läuft er Gefahr, unerwartete, aber dennoch relevante Änderungen nicht zu bemerken. Hierbei ist die richtige Balance zwischen top-down und bottom-up Prozessen entscheidend. Eine zu große Offenheit für bottom-up Prozesse kann dazu führen, dass der Fahrer ablenkbar ist und unkonzentriert fährt. Bei einer zu starken Abschirmung wiederum können relevante, aber nicht erwartete Situationsentwicklungen übersehen werden. Shinoda et al. (2001) beschreiben diese Anforderung folgendermaßen:

„The visual system must balance the selectivity of ongoing task-specific computations against the need to remain responsive to novel and unpredictable visual input that may change the task agenda = the scheduling problem....” (Shinoda et al., 2001, p. 3536)

### 4.3.3 Modelle zur erfahrungsgeleiteten Steuerung der Aufmerksamkeit

Die bisher gezeigten Modelle (vgl. Abschnitt 4.1) zur Funktion von Aufmerksamkeit beinhalteten eine Einbettung der Aufmerksamkeit in den Prozess der visuellen Wahrnehmung. Außerdem wurde in Abschnitt 4.3.1 kurz die Idee der Saliency-Maps vorgestellt, über die in einigen Modellen (z.B. Findlay u. Walker, 1999) die Wahl des nächsten Aufmerksamkeitsfokus insbesondere in Folge von bottom-up Prozessen erklärt wird.

#### 4.3.3.1 Das Modell von Hamker (2004)

Der Ansatz von Hamker (2004) baut auf der Modellannahme der Saliency Maps auf, spezifiziert allerdings die Rolle von top-down Prozessen näher. Er kritisiert an anderen Aufmerksamkeitsmodellen, dass über top-down Prozesse entweder nur die, durch die Wahrnehmung getriggerte Handlung geändert oder eine Vorauswahl von Reizen basierend auf einfachen, präattentiv verarbeiteten Reizeigenschaften getroffen werden kann. Mit diesen beiden Prozessen ist es allerdings nicht möglich, die schnelle Reaktion auf antizipierte Objekte zu modellieren. Die antizipierten Reizeigenschaften werden im Rahmen des Modells Hamker (2004) als Templates bezeichnet. Reize, die mit den über Templates vorselektierten Reizeigenschaften übereinstimmen werden bevorzugt verarbeitet. Nach Hamker (2004) ist visuelle Wahrnehmung ein aktiver, dynamischer und konstruktiver Prozess. Top-down erzeugte Erwartungen treffen auf bereits verarbeitete Reizeigenschaften Hierbei findet allerdings kein starrer Vergleich der beiden statt.

„Recognition is not just a rigid comparison of a target template with an incoming pattern but a flexible process that enhances the features of interest.” (Hamker, 2004 S.80).

Zusätzlich zu den beiden auch in anderen Modellen berücksichtigten Prozessen beginnt in dem Modell von Hamker (2004) bereits während der Wahrnehmung die Planung der motorischen Handlung. Als Folge der Voraktivierung können antizipierte Objekte schneller und effizienter identifiziert werden und es kann schneller reagiert werden. Das Modell von Hamker passt zu den Befunden der Studie von Most u. Astur (2007). Wie bereits in Abschnitt 4.2.3 beschrieben, sollten die Probanden entweder blauen oder gelben Richtungspfeilen folgen. Auf ein, dem Fahrer an einer Kreuzung die Vorfahrt nehmendes Motorrad konnte in der Untersuchung schneller reagiert werden, wenn das Motorrad die Farbe der gesuchten Richtungsinformation

hatte d.h. wenn seine Reizeigenschaften dem durch die Instruktion aktivierten Template ähnelten.

Das Modell von Hamker (2004) beschreibt somit, wie Erwartung mittels top-down Prozesse Einfluss auf die Ausrichtung Wahrnehmung und die Wahl der passenden Handlung nehmen kann. Es macht aber keine Aussagen darüber, welche Objekte antizipiert und damit voraktiviert werden.

#### 4.3.3.2 Die Antizipative Verhaltenssteuerung nach Hoffmann (1993)

In Modell der antizipativen Verhaltenssteuerung von Hoffmann (1993) steht jeder intentionale Verhaltensakt in Zusammenhang mit zwei Antizipationen. Zum einen werden Eigenschaften der Ausgangssituation, zum anderen die erwarteten Konsequenzen der Handlung antizipiert. Stimmt die wahrgenommene Ausgangssituation hinreichend genau mit der Startantizipation überein, wird die zum Erreichen der Zielantizipation notwendige Handlung ausgeführt. Über die Handlung wird versucht, die Start- in die Zielsituation zu überführen. Dies bedeutet, dass durch die Handlung die Situation geändert wird, was wiederum eine Änderung der Reizwirkung zur Folge hat. Gelingt die Überführung vom Start- in den antizipierten Zielzustand nicht, können sowohl Ziel- und / oder Startantizipation sowie die Handlung modifiziert und den tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden. Die Antizipation erfolgt aufgrund von erfahrungsabhängig ausgebildeter Gedächtnisstrukturen, die man sich als Verknüpfungen zwischen Stimulusbedingungen, Reaktionen und Konsequenzen vorstellen kann.

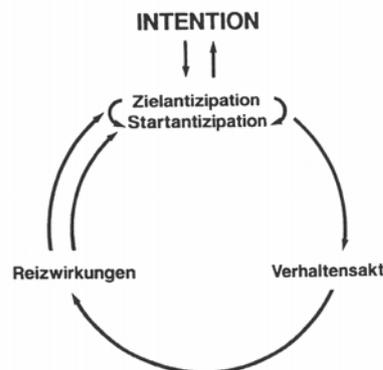


Abbildung 4-6: Modell der antizipativen Verhaltenssteuerung nach Hoffmann (1993), S. 46.

Wie bereits in Absatz 2.1 beschrieben, wird von Hoffmann (1993) weiterhin ein enger Zusammenhang zwischen Blickbewegung und Aufmerksamkeit gesehen. Der Aufmerksamkeitsfokus ermöglicht eine antizipationsgeleitete Steuerung der Blickbewegung. Die nach Ausführen der Blickbewegung erwartete Reizkonstellation wird mit der tatsächlich wahrgenommenen verglichen. Aufmerksamkeit dient im Rahmen des Modells zur Wahrnehmung der gegebenen Ausgangssituation, die erst die Wahl einer angemessenen Handlung möglich macht, sowie anschließend zur Wahrnehmung der aus der Handlung resultierenden Situation. Diese wird mit der Zielantizipation verglichen, kann aber auch wieder als neue Startantizipation dienen. Da die Handlung immer auch die Situation ändert, wird ein zyklischer Zusammenhang zwischen den einzelnen Bestandteilen des Modells angenommen. Der Vergleich der Ziel- bzw. Startantizipation mit der Umwelt erfolgt über top-down Steuerung der Auf-

merksamkeit, die Hoffmann als endogene Steuerung bezeichnet. Die Aufmerksamkeit wird auf die Elemente der Umwelt gelenkt, die durch Antizipation als relevant spezifiziert sind. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit bottom-up (exogen) ausgerichteter Aufmerksamkeit sowie die bereits in Abschnitt 4.3.2 beschriebene explorative Ausrichtung der Aufmerksamkeit.

#### 4.3.3.3 Der Wahrnehmungszyklus nach Neisser (1979)

Auch Neisser (1979) sieht Aufmerksamkeit als einen aktiven Prozess, durch den der Beobachter die für ihn relevanten Informationen auswählt. Er nimmt ebenfalls einen zyklischen Prozess zwischen Umwelt, Gedächtnis und Aufmerksamkeit an: Aus im Gedächtnis gespeicherten Gedächtnisstrukturen, genannt Schemata der Situation wird Erwartung über relevante Reize der Umwelt ausgebildet. Diese werden aktiv über gezieltes Verschieben der Aufmerksamkeit gesucht. Die tatsächlich in der Umwelt aufgefundene Reizausprägung wird anschließend in das Schema integriert und beeinflusst so in einem nächsten Schritt wiederum Aufmerksamkeitsprozesse (vgl. Abbildung 4-7).

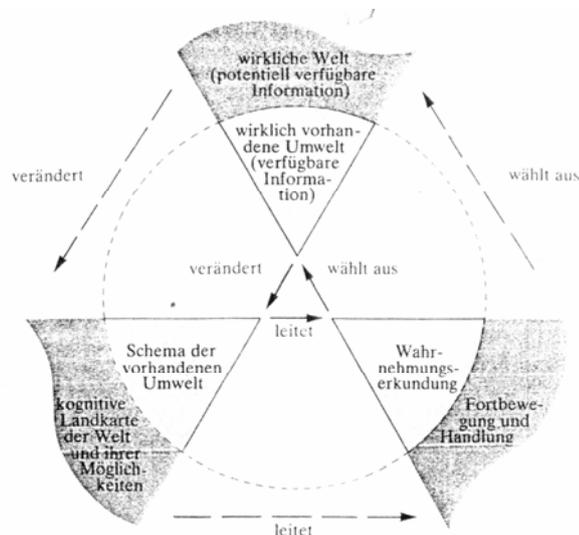


Abbildung 4-7: Wahrnehmungszyklus aus Neisser (1979), S. 92.

Zur Beschreibung der Gedächtnisstruktur, die Einfluss auf die Steuerung der Aufmerksamkeit nimmt, verwendet Neisser (1979) den Schema-Begriff. Dieser findet sich schon lange in der Literatur (z.B. Head, 1920; Bartlett, 1932). Der in den Anfängen eher weiche Gebrauch des Begriffs wurde mittlerweile von einer Vielzahl von Autoren aufgegriffen, definiert und erweitert. Schemata werden als Gedächtnisstrukturen gesehen, die in direkter Verbindung mit Handlungszielen stehen. Sie enthalten das notwendige Wissen um die, mit ihnen verknüpften Ziele zu erreichen (Cooper u. Shallice, 2006). Ein Schema umfasst situations- und handlungsbezogenes Wissen, das generalisiert ist und deswegen auf neue, ähnliche Situationen angewendet werden kann. Es kann sowohl den, für die Aktivierung des Schemas erforderlichen Input der Umwelt, interne Operationen als auch Output in Form von Handlungen umfassen. Output kann in Form von beobachtbaren sensomotorischen Handlungen sowie als internalisierte Handlungen oder als physiologische Prozesse auftreten.

Neisser (1979) beschreibt den Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und Schema folgendermaßen:

„Wahrnehmung ist immer eine Interaktion zwischen einem besonderen Objekt oder Ereignis und einem allgemeineren Schema. Sie kann als ein Prozess des Generalisierens des Objekts oder des Partikularisierens des Schemas angesehen werden.“ (Neisser, 1979 S.58)

Schemata entwickeln sich aus dem wiederholten Durchführen bestimmter Handlungen und dem Erleben der damit verknüpften Konsequenzen, Ausgangsbedingungen und dem Handlungserfolg. Erst nach mehrmaligem Erleben können die gespeicherten Einzelerlebnisse zu Schemata integriert werden. Dies kann entweder anhand der situativen Voraussetzungen, der Ergebnisse oder der Handlungen erfolgen (nach Hoffmann, 1993). In unserem Zusammenhang ist der Einfluss von Schemata auf die Steuerung der Aufmerksamkeit von besonderem Interesse. Neisser (1979) definiert Schema als jenen Teil des Wahrnehmungszyklus,

„der im Inneren des Wahrnehmenden ist, durch Erfahrung veränderbar und spezifisch für das, was wahrgenommen wird. Das Schema nimmt Informationen auf, wenn sie bei den Sinnesorganen verfügbar wird, und es wird durch diese Information verändert. Es leitet Bewegungen und Erkundungsaktivitäten, die weitere Informationen verfügbar machen, und wird durch diese wiederum verändert.“ (Neisser, 1979 S. 50)

Das aktivierte Schema bereitet zuerst die Wahrnehmung auf die zu erwartende Information vor. Diese wird dann in der Umwelt gesucht und bevorzugt verarbeitet. Mandler (1984) beschreibt die Funktion von Schemata bei der Steuerung der Aufmerksamkeit folgendermaßen:

„The schema prepares the person to see certain kinds of things.“ (Mandler, 1984 S.105)

Neisser (1979) schreibt weiterhin, dass es sich bei dieser, die Wahrnehmung steuernde Antizipation nicht um eine wohlüberlegte, bewusste Hypothese handelt, sondern um eine allgemeine Bereitschaft für bestimmte Informationen. Ein Schema wird als eine variable Struktur angesehen, die bei Wiederholung der Situationen modifizierbar und auf die jeweiligen Umweltbedingungen anpassbar ist. Diese Variabilität wird über so genannte Slots erreicht. Unter einem Slot ist eine Art Platzhalter für einen in der Situation erwarteten, relevanten Umweltreiz zu verstehen. Die aktuelle Ausprägung der Reize kann variieren und wird in der jeweils wahrgenommenen Ausprägung mittels Slots in das Schema integriert. Dadurch kann das Schema entsprechend der Gegebenheiten modifiziert und die Handlung an die jeweils aktuelle Situationsausprägung angepasst werden.

Die Objekte der Umwelt können in Bezug auf ein Schema unterschiedliche Bedeutung haben. Mandler (1984) unterscheidet in Bezug auf Schemata relevante und typische Objekte. Ein Objekt ist dann für ein Schema relevant, wenn in dem Schema ein Slot für dieses Objekt vorgesehen ist. Dies bedeutet, dass nur relevante Objekte innerhalb eines Schemas die Wahrnehmung und Interpretation der Umwelt beeinflussen. Für ein schema-irrelevantes Objekt steht kein Slot zur Verfügung. Somit kann dieser Reiz, solange kein anderes Schema aktiviert wird, die Handlung nicht beeinflussen. Durch das Schema wird die Aufmerksamkeit auf relevante Informationen gelenkt, irrelevante Informationen werden ignoriert. Unter Typikalität wird verstanden, in wieweit die Ausprägungen eines schema-relevanten Objekts den Erwartungen des Schemas entspricht. Die Ausprägung kann entweder typisch für das entsprechende Schema sein oder untypisch. Typische Ausprägungen treten mit hoher Wahrscheinlichkeit auf, untypische mit geringer. Studien zeigen, dass Objekte mit niedriger Typi-

kalität besser erinnert werden, da sie mehr Aufmerksamkeit binden. So ist beispielsweise ein vorausfahrender Golf ein typischeres Fahrzeug als ein vorausfahrender Ferrari. Beide Objekte sind für das Schema Folgefahren auf Landstraßen relevante Objekte und führen zu ähnlichem Verhalten und Erwartungen. Am Ende der Fahrt wird dennoch der Ferrari besser erinnert, da er aufgrund seiner geringen Typikalität mehr Aufmerksamkeit gebunden hat. Ein Radfahrer dagegen wäre für dasselbe Schema nur bedingt relevant. Stattdessen würde er vermutlich stärker ein Schema aktivieren, das zur aktiven Suche nach Verkehr auf der Gegenfahrbahn und wenn möglich zur Handlung des Überholens führt.

Allgemein gilt, Objekte bzw. Ereignisse die Schemata zugeordnet werden, werden besser erinnert als Objekte, die zu keinem aktivierten Schema in Bezug stehen. In der Umwelt fehlende Details werden durch die im Schema enthaltenen Defaultwerte ergänzt und dann auch so erinnert. Innerhalb der schemarelevanten Objekte werden untypische besser erinnert als typische.

Wie beschrieben, dienen im Rahmen des Modells von Neisser (1979) Schemata dazu, die Aufmerksamkeit top-down auf erwartete Umweltreize zu lenken, diese wahrzunehmen. Die wahrgenommene Information wird in das Schema integriert und kann so in einem nächsten Schritt die Ausrichtung der Aufmerksamkeit beeinflussen. Zusätzlich zu dieser top-down gesteuerten Ausrichtung der Aufmerksamkeit wird von Neisser (1979) die Möglichkeit einer reizgesteuerten Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf saliente Reize, d.h. von bottom-up Aktivierung, berücksichtigt.

#### 4.3.3.4 Fazit

Die Ansätze von Neisser und Hofmann ähneln sich inhaltlich in mehreren Punkten:

- Aufmerksamkeit bzw. visuelle Wahrnehmung steht im Zusammenhang mit der durchgeführten Handlung.
- Es wird ein zyklischer Zusammenhang zwischen Erwartung, Umwelt (bzw. wahrgenommener Umwelt) und visueller Suche angenommen.
- Die Aufmerksamkeit dient zum Vergleich der erwarteten und der wahrgenommenen Umwelt.
- Die Aufmerksamkeit wird hierfür auf relevante Bestandteile der Szene gelenkt.
- Durch Erfahrung ausgebildete Gedächtnisstrukturen steuern über Erwartungen bzw. Antizipation die Ausrichtung der Aufmerksamkeit.
- Zusätzlich zur top-down gesteuerten Ausrichtung der Aufmerksamkeit, gibt es die Möglichkeit, dass saliente Reize die Aufmerksamkeit über bottom-up Aktivierung auf sich ziehen.

Der Ansatz von Neisser beschränkt sich auf eine Beschreibung der Wahrnehmungsprozesse. Das Modell der antizipativen Verhaltenssteuerung ist dagegen allgemeiner und umfasst alle möglichen Formen von Handlung. Wahrnehmung bzw. visuelle Suche wird innerhalb des Modells als eine Sonderform von Handlung gesehen, deren Zweck darin liegt, die Aufmerksamkeit auf bestimmte Aspekte der Umwelt auszurichten und einen Abgleich tatsächlicher Umweltbedingungen mit erwarteten zu ermöglichen. Ein weiterer Unterschied liegt in der Art der angenommenen Gedächtnisstrukturen. Hoffmann (1993) kritisiert an dem von Neisser verwendeten Schema-Ansatz explizit, dass nicht klar, ist wonach verschiedene Einzelerfahrungen abstrahiert und zu Schemata integriert werden. In der Theorie der antizipativen Verhaltenssteuerung ist das Kriterium, anhand dessen Situationsklassen gebildet werden, ganz klar das antizipierte Ergebnis. Tabelle 4-2 vergleicht die beiden Modelle noch einmal direkt.

*Tabelle 4-2: Vergleich der Modelle von Hoffmann (1993) und Neisser (1979).*

	<b>Hoffmann (1993)</b>	<b>Neisser (1979)</b>
Funktion von Aufmerksamkeit	Abgleich tatsächliche und erwartete Umwelt	Abgleich tatsächliche und erwartete Umwelt
Zusammenhang zw. Erwartung, Umwelt und Aufmerksamkeit	zyklisch	zyklisch
Modell bezieht sich auf	Handlung im allgemeinen	Wahrnehmung
Wahrnehmungssteuernde Gedächtnisstruktur	Antizipation	Schema
Formen der Aufmerksamkeitssteuerung	Top-down Bottom-up Explorativ	Top-down Bottom-up

#### 4.4 Aufmerksamkeit bei Mehrfachaufgaben

Arbeiten, die sich mit Leistungseinbussen bei Mehrfachaufgaben befassen, greifen im Fahrkontext häufig auf den theoretischen Hintergrund der Ressourcentheorien zurück. Unter Ressource wird die Menge, der zur Verfügung stehenden Leistungskapazität verstanden, die der Handelnde auf alle von ihm gleichzeitig durchgeführten Aufgaben verteilt. Jede Aufgabe benötigt zur fehlerfreien Bewältigung ein bestimmtes Maß an Ressourcen. Überschreiten die insgesamt benötigten Ressourcen die zur Verfügung stehenden, kommt es zu Leistungseinbussen in einer oder mehreren Einzelaufgaben. Untersuchungen im Rahmen von Ressourcentheorien haben sich ausführlich damit befasst, bei welchen Aufgabenkombinationen welche Art von Leistungseinbussen zu erwarten ist. Nach der Theorie der Multiplen Ressourcen (Wickens, 2000b) wird nicht nur eine allgemeine Ressource angenommen, sondern mehrere spezifische Ressourcen. Es sind insbesondere dann Leistungsabnahmen zu erwarten, wenn die verschiedenen Aufgaben in Teilen oder insgesamt dieselben Ressourcen benötigen. Eine der postulierten Ressourcen umfasst den Bereich der visuellen Wahrnehmung. Im Rahmen der Theorie sollten also bei der Ausführung visueller Nebenaufgaben beim Fahren Leistungseinbußen auftreten, da beide Aufgaben visuelle Aufmerksamkeit benötigen. Die genannte Theorie sagt zwar Leistungseinbussen voraus, erlaubt aber keine Aussagen dazu, welche Bereiche der visuellen Szene oder welche Fahraufgaben besonders betroffen sind. Deutlich wird allerdings, dass die Aufmerksamkeit eingeschränkt wird und deswegen weniger Bestandteile der visuellen Szene und / oder einzelne Elemente weniger detailliert als unter Einfachaufgabenbedingung verarbeitet werden können.

Adams, Tenney u. Pew (1995) erweiterten den Ansatz von Neisser (1979) um eine Differenzierung innerhalb der Schemata, d.h. innerhalb der Gedächtnisstrukturen, die für die top-down gesteuerte Ausrichtung der Aufmerksamkeit verantwortlich sind. Die verwendete Unterteilung geht auf eine Arbeit von Sanford u. Garrod (1981) aus dem Bereich der Leseforschung zurück. Das Schema wird nun in einen expliziten und einen impliziten Fokus unterteilt. Der explizite Fokus umfasst eine begrenzte Anzahl von Objekten, die aktuell handlungssteuernd und für die durchgeführte Aufgabe besonders zentral sind. Die Objekte im expliziten Fokus sind bewusst zugänglich. Er ist somit der in einem Moment bewusst zugängliche, aktivierte Bestandteil des Schemas. Der implizite Fokus umfasst dagegen das gesamte Schema und ist nur in einem Ausschnitt im expliziten Fokus enthalten. Information, die sich auf den impliziten Fokus bezieht, wird schneller verarbeitet als solche, die keinerlei Bezug zum aktivierten Schema hat. Am schnellsten jedoch wird all das verarbeitet, was sich auf den expliziten Fokus bezieht. In der Arbeit von Adams et al. (1995) wird die eingeführte Unterteilung des Fokus herangezogen, um den Umgang von Piloten mit Mehrfachaufgaben sowie möglicherweise dabei entstehende Fehler zu erklären. Die Autoren glauben, dass Information, die sich auf den impliziten Fokus bezieht, übersehen bzw. falsch interpretiert werden kann. Dies liegt daran, dass neue Information am einfachsten dann die Aufmerksamkeit bindet, wenn sie sich direkt auf den Inhalt des expliziten Fokus bezieht. Andere, ebenfalls relevante Information hat es deutlich schwerer, wahrgenommen zu werden. Auch die Interpretation der Information erfolgt zuerst einmal im Rahmen des im expliziten Fokus enthaltenen Situationskontextes.

Übertragen auf die Bearbeitung visueller Nebenaufgaben beim Fahren bedeutet dies, dass die Fahrer die auf die Straße gerichtete Aufmerksamkeit in erster Linie dazu nutzen, die im expliziten Fokus enthaltenen Annahmen zu überprüfen. Information, die für die Fahraufgabe zwar relevant ist, aber nicht im Bezug zum expliziten Fokus steht, deren Relevanz also Teil des impliziten Fokus ist, hat es schwerer, die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Um ein Beispiel zu nennen: Besteht die zentrale Anforderung der Fahraufgabe im Folgen eines vorausfahrenden Fahrzeugs, so wird dieses wichtigster Bestandteil des expliziten Fokus sein. Der Fahrer wird die Straßenblicke dazu nutzen, Abstand zum Vorausfahrenden und dessen Bremsverhalten zu kontrollieren. Ein plötzlich auftauchender Fußgänger hat es unter diesen Voraussetzungen schwer, bewusst wahrgenommen zu werden, da seine Relevanz für die Fahraufgabe im impliziten Fokus enthalten ist.

In der Arbeit von Hoffmann (1993) werden leider wenig Aussagen dazu getroffen, welche Informationen genau im Rahmen der Ziel- und Startantizipation relevant sind und ob es hier zentralere und weniger wichtige Bestandteile gibt. Stattdessen gibt es aber die Möglichkeit der explorativen Wahrnehmung (vgl. Abschnitt 4.3.2). Es wird angenommen, dass die antizipierten Situationsbestandteile die für die aktuelle Handlung zentralen Elemente umfassen. Sie entsprechen damit vermutlich dem expliziten Fokus bei Adams et al. (1995). Darüber hinausgehende Information wird mittels explorativer Wahrnehmung zu einem umfassenderen Abbild der Fahrsituation integriert. Kommt es nun zu einer Einschränkung der für die Fahraufgabe verfügbaren Aufmerksamkeit durch die Zweitaufgabe, ist eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf die aktuelle Handlung und damit auf die hierfür als relevant antizipierten Situations-elemente zu erwarten. Explorative Wahrnehmung wird dagegen vermutlich eingeschränkt oder für die Dauer der Mehrfachaufgabe sogar ganz unterbrochen.

Sowohl im theoretischen Rahmen von Neisser (1979) bzw. Adams et al. (1995) als auch bei Hoffmann (1993) kann man somit während Mehrfachaufgaben von einer Beschränkung der top-down gesteuerten Aufmerksamkeit auf eine Auswahl weniger, für die durchgeführte Handlung besonders zentraler Reize ausgehen. Die außerdem angenommene Möglichkeit der bottom-up gesteuerten Ausrichtung der Aufmerksamkeit ist zumindest im Rahmen des dahinter stehenden theoretischen Konzepts unabhängig von der verfügbaren Aufmerksamkeitskapazität. Bottom-up wird automatisch die Aufmerksamkeit auf saliente Reize gerichtet. Einzige Voraussetzung ist, dass der Reiz salient und für den Beobachter potentiell wahrnehmbar ist, d.h. sich innerhalb des Blickfeldes befindet. Dies bedeutet, dass auch in Situationen mit Mehrfachaufgaben eine bottom-up gesteuerte Ausrichtung der Aufmerksamkeit stattfinden sollte. Um die Möglichkeit der bottom-up gesteuerten Ausrichtung der Aufmerksamkeit während visueller Nebenaufgaben beim Fahren zu erhalten, wird beispielsweise gefordert, dass Displays möglichst nahe an der Sichtachse des Fahrers angebracht werden (z.B. Wittmann et al., 2006). So soll erreicht werden, dass auch bei Blicken auf das Display die periphere Wahrnehmung von Objekten in der Fahrszene möglich ist. Saliente Reize (z.B. Bewegungen) sollten so beim Erscheinen im peripheren Blickfeld die Aufmerksamkeit automatisch auf sich ziehen.

In der Grundlagenforschung gibt es allerdings Hinweise darauf, dass bei der Ausführung von Mehrfachaufgaben die bottom-up gesteuerte Ausrichtung der Aufmerksamkeit gehemmt wird. Joseph, Chun u. Nakayama (1997) (vergleiche auch Chun u. Marois, 2002) konnten beispielsweise zeigen, dass unter Dual-Task Bedingungen der Pop-Out-Effekt für saliente Reize deutlich reduziert ist. Bei der untersuchten Aufgabe handelte es sich um eine Oddball-Aufgabe, in der nach einem salienten Reiz gesucht werden sollte. Erst mit Erhöhung des zeitlichen Abstands zwischen den beiden Aufgaben verschwand der Effekt. Erst bei einem Abstand von 700 ms zwischen den beiden Aufgaben war die Leistung unter Dual-Task Bedingung vergleichbar zu Single-Task.

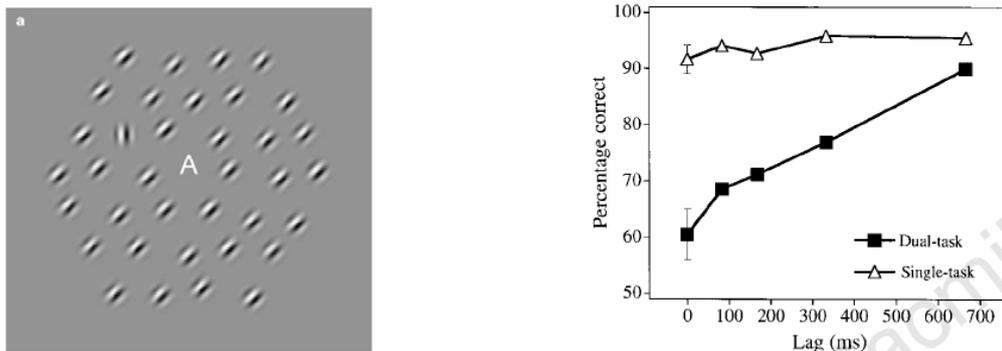


Abbildung 4-8: Verringerter Pop-Out Effekt unter Dual-Task-Bedingung. Links: Beispiel für die verwendeten Reize; rechts: Ergebnis der Untersuchung (aus Joseph et al., 1997, S.806 u. 807).

Dieser Effekt wird als Attentional Blink bezeichnet, da es ähnlich wie beim Blinzeln zu einer kurzen Einschränkung der visuellen Verarbeitung kommt. Die Einschränkung tritt bei einem zeitlichen Abstand der beiden Aufgaben zwischen 0 ms und 500 ms auf. Nach Kawahara, Di Lollo u. Enns (2001) werden Reize aufgrund des Attentional Blinks sowohl schlechter entdeckt als auch schlechter identifiziert. Ghorashi, Smilek u. Di Lollo (2007) zeigten weiterhin, dass es auch bei nicht salienten Reizen zu einer vergleichbaren, vorübergehende Einschränkung der Wahrnehmungsleistung kommt. Damit beruht der Effekt vermutlich auf der noch andauernden Bindung der Aufmerksamkeit in der vorhergehenden Aufgabe. Erst wenn diese abgeschlossen ist, steht die Aufmerksamkeit für die zweite Aufgabe zur Verfügung. Wird die vorhergehende Aufgabe nur als Störreiz eingeführt, d.h. die Probanden sollen die Reize der ersten Aufgabe einfach ignorieren, kommt es zu keiner Beeinflussung der Wahrnehmungsleistung in der zweiten Aufgabe. Weiterhin gibt es Untersuchungen, die zeigen, dass das Ausmaß der Beeinträchtigung durch Attentional Blink nicht nur vom zeitlichen Abstand zwischen den beiden Aufgaben, sondern auch von der Schwierigkeit der ersten Aufgabe abhängt. Je mehr Aufmerksamkeit diese erfordert, desto größer ist die Beeinträchtigung in der zweiten Aufgabe (Jiang u. Chun, 2001).

In wieweit die als Attentional Blink bezeichneten Einschränkungen der Aufmerksamkeit aufgrund eines Aufgabenwechsels auch bei visuellen Nebenaufgaben beim Fahren eine Rolle spielt, ist nicht einfach zu beurteilen. Anders als in Studien zum Attentional Blink wird beim Fahren mit Nebenaufgaben nicht nur einmal, sondern wiederholt zwischen den beiden Aufgaben gewechselt. Ein weiterer wichtiger Unterschied ist, dass anders als in den experimentellen Anordnungen die Fahraufgabe

nicht erst mit dem Straßenblick beginnt. Der Fahrer wechselt vielmehr zwischen den beiden Aufgaben hin und her und führt diese immer an einem vorher erreichten Punkt fort. Es ist somit kein Wechsel zwischen einer eben abgeschlossenen und einer noch nicht begonnenen Aufgabe. Dies bedeutet, dass bereits vor dem Wechsel aufgabenbezogene Erwartungen vorhanden sind, die die Ausrichtung der Aufmerksamkeit und unter Umständen auch die Verarbeitung der visuellen Reize in der neuen Aufgabe vereinfachen. Dies ist in den Untersuchungen zum Attentional Blink nicht der Fall. Der Effekt zeigt deswegen zuerst einmal, dass die Neuausrichtung der Aufmerksamkeit in einer neuen Aufgabe durch die Bindung der Aufmerksamkeit in einer vorangehenden Aufgabe beeinträchtigt wird. Dies betrifft insbesondere Situationen, in denen noch keine erwartungsgeleitete Ausrichtung der Aufmerksamkeit erfolgen kann sowie reizgesteuerte bottom-up Prozesse.

Für eine Beeinträchtigung der reizgesteuerten Aufmerksamkeitsausrichtung sprechen außerdem die Ergebnisse zum Einfluss von Nebenaufgaben auf die Leistung im PDT (vgl. 3.2.2). Es wurde aufgezeigt, dass während Nebenaufgaben beim Fahren seltener auf blinkende, nicht fahrtrelevante Stimuli reagiert wird. Diese Abnahme der Entdeckungsrate ist unabhängig von der Position der Reize. Die in solchen Untersuchungen für den PDT verwendeten Stimuli sind in der Regel der Art, dass sie eigentlich zu einer bottom-up gesteuerten Bindung der Aufmerksamkeit führen sollten. Dennoch kommt es zu einer Verringerung der Wahrnehmungsleistung für diese Stimuli bei Zweitaufgaben. Insgesamt deutet sich somit an, dass auch die theoretisch automatisch erfolgende Ausrichtung der Aufmerksamkeit und des Blicks durch bottom-up Aktivierung in Mehrfachaufgabensituationen gestört werden kann.

## 5 BEDEUTUNG DER BEFUNDE FÜR DIE FRAGESTELLUNG

### 5.1 Komponenten der Aufmerksamkeitssteuerung beim Fahren

Wie einleitend dargestellt, benötigt man erst eine Vorstellung von der Steuerung der Aufmerksamkeit beim nicht abgelenkten Fahren, um die Auswirkung von Ablenkung verstehen und beschreiben zu können. Von den vorgestellten Ansätzen sind insbesondere die Modelle von Hoffmann (1993) und Neisser (1976, erweitert von Adams et al., 1995) geeignet, die Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren zu beschreiben. Beiden Ansätze gehen von einer aufgabenbezogenen Funktion der Aufmerksamkeit aus und unterscheiden drei Komponenten der Aufmerksamkeitssteuerung:

- Über top-down Prozesse wird die Aufmerksamkeit auf die Bestandteile der Umwelt gelenkt, die für die Handlung zentral sind. Ein mentales Abbild der Situation bzw. die Antizipation der erwarteten Reizkonstellation lenkt die Aufmerksamkeit auf für die Situationsbestandteile, die für die aktuell durchgeführte Handlung besonders relevant sind.
- Zusätzlich zu dieser stark fokussierten, aufgabenbezogenen top-down Steuerung existiert Wahrnehmung, die ein größeres, über die aktuelle Handlungssteuerung hinausreichendes Verständnis der Situation ermöglicht. Hoffmann nennt diese Komponente explorative Wahrnehmung, im Bezug auf das Modell von Neisser wird von Adams et al. (1995) von einem impliziten Fokus gesprochen. In beiden Fällen ist eine, über die aktuelle Handlungssteuerung hinausgehende Wahrnehmung weiterer, potentiell aufgabenrelevanter Situationsbestandteile gemeint.
- Als letzte Komponente gibt es die Möglichkeit einer reizbasierten bottom-up gesteuerten Ausrichtung der Aufmerksamkeit. Diese erlaubt unabhängig von der aktuellen Handlung und dem mentalen Abbild der Situation, eine Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf saliente Reize.

Tabelle 5-1 vergleicht die Modell von Hoffmann und Neisser hinsichtlich der Wahrnehmung verschiedener Klassen von Umgebungsreizen.

*Tabelle 5-1: Vergleich der Ansätze von Hoffmann (1993) und Neisser (1979) (einschließlich der Erweiterung von Adams et al. 1995) in Bezug auf die Wahrnehmung verschiedener Reizklassen.*

Reizeigenschaft		Hoffmann (1993)	Neisser (1979) (+ Erweiterung Adams et al. 1995)
Saliente Umgebungsreize		+ (bottom-up)	+ (bottom-up)
Handlungs- bezogene Wahrnehmung	Direkt handlungs- leitend	+ (antizipativ)	+ (expliziter Fokus)
	Andere handlungs- bezogene Objekte	+ (explorativ)	+ (impliziter Fokus)
Andere Umgebungsreize			

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird die Terminologie top-down, bottom-up und explorative Wahrnehmung verwendet und damit sich verstärkt auf das Modell von Hoffmann (1993) bezogen. Hierfür gibt es zwei Gründe:

- Das Modell kommt ohne Bezug zur Schematheorie aus. Wie in Abschnitt 4.3.3.3 beschrieben, macht die Schematheorie eine Reihe relativ detaillierter Annahmen dazu, welche Arten von Reizen existieren und wie diese im Rahmen von Schemata verarbeitet werden. Dies macht die hinter dem Ansatz von Neisser (1979) stehenden Modellannahmen für die in dieser Arbeit behandelte Fragestellung unnötig komplex.
- Die Annahme einer explorativen Wahrnehmung, die alle möglichen Situationsbestandteile umfassen kann, erscheint für den Fahrkontext geeigneter als das Konstrukt des impliziten Fokus.

Erst ein Zusammenwirken aller drei Aufmerksamkeitskomponenten ermöglicht sicheres Fahren. Durch die top-down gesteuerte Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf handlungsrelevante Situationsbestandteile wird die effiziente, situationsangepasste und sichere Bewältigung der Fahraufgabe möglich. So wird beispielsweise während spezifischer Fahrmanöver wie dem Überholen, die Aufmerksamkeit wissensbasiert über top-down Prozesse auf relevante Bereiche der Fahrsituation, wie Rück- und Außenspiegel gelenkt. Die explorative Wahrnehmung wiederum erlaubt die Entwicklung eines umfassenderen, über die aktuell zentralen Situationskomponenten hinausgehenden Situationsmodells. Auf in diesem Model enthaltene Situationsbestandteile kann bei einer Änderung der Situation schnell und angemessen reagiert werden. Es ermöglicht somit vorausschauendes Fahren. Die letzte Komponente, die reizbasierte, bottom-up gesteuerte Ausrichtung der Aufmerksamkeit erlaubt bei plötzlichen, unerwarteten Situationsänderungen die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf saliente Reize. Dies können beispielsweise peripher auftauchende, bewegte Objekte sein.

Die beiden Komponenten bottom-up und top-down Steuerung (teilweise auch als exogene und endogene Wahrnehmung bezeichnet) finden sich immer wieder in der verkehrspsychologischen Forschung (z.B. Shinoda et al., 2001; Victor, 2005). Die Berücksichtigung einer dritten Komponente, der explorativen Wahrnehmung ist dagegen neu. Durch diese Komponente wird es möglich, die Funktion der top-down ge-

steuerten Aufmerksamkeit auf die aktuell handlungsleitenden Bestandteile der Fahrsituation zu beschränken und von einer darüber hinausgehende Situationswahrnehmung abzugrenzen. Bringt man die drei Komponenten der Aufmerksamkeitssteuerung in Zusammenhang mit den Annahmen der Ressourcentheorie, ergeben sich die folgenden Zusammenhänge.

- Die Ressourcen, die von der top-down gesteuerten Aufmerksamkeit beansprucht werden, sind die Ressourcen, die minimal für eine erfolgreiche Bewältigung der Fahraufgabe benötigt werden. Dies gilt nur, solange keine unerwartete Änderung der Situation auftritt.
- Für die explorative Wahrnehmung werden freie, von top-down Prozessen nicht beanspruchte Ressourcen verwendet. Diese freien Ressourcen können auf die explorative Wahrnehmung der Fahrsituation, aber auch auf andere Tätigkeiten (beispielsweise Nebenaufgaben) verwandt werden.
- Nach der Theorie sind bottom-up Prozesse automatisch und damit Ressourcen unabhängig. Die bottom-up gesteuerte Ausrichtung der Aufmerksamkeit sollte somit unabhängig davon sein, wie viele Ressourcen verfügbar sind.

In Abschnitt 2 wurde in foveale und periphere visuelle Wahrnehmung unterteilt. Diese Unterscheidung ist insbesondere für die Methode der Blickbewegungsmessung von zentraler Bedeutung, da diese nur Fixationen und damit nur die Ausrichtung der fovealen Aufmerksamkeit abbilden kann. Bei allen drei Komponenten ist es prinzipiell möglich, dass diese sowohl auf peripherer als auch auf fovealer Wahrnehmung beruhen. Eine top-down gesteuerte Kontrolle der Spurposition kann sowohl mittels peripherer Wahrnehmung als auch über Fixationen auf den Fahrbahnrand geschehen. Eine top-down gesteuerte Kontrolle des Bremslichts des Vorfahrenden erfordert dagegen vermutlich foveale Wahrnehmung. Ähnlich verhält es sich mit der explorativen Wahrnehmung. Es gibt Situationskomponenten, die peripher wahrgenommen werden können und solche, die eine Zuwendung des Blicks erfordern. Eine bottom-up gesteuerte Ausrichtung der Wahrnehmung ist prinzipiell sowohl für periphere als auch foveale Reize möglich. Die Hauptfunktion dieser Komponente ist allerdings, dass saliente periphere Reize die Aufmerksamkeit auf sich ziehen können. Passiert dies, ist es wahrscheinlich, dass die foveale Wahrnehmung und damit der Blick dem salienten Reiz zugewandt wird.

## 5.2 Auswirkung von visuellen Nebenaufgaben

Befunde zum Blickverhalten beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben zeigen einen wiederholten Wechsel des Blicks und damit der Aufmerksamkeit zwischen der Fahr- und der Nebenaufgabe (vgl. Abschnitt 3.1). Die für die Fahraufgabe verfügbare Aufmerksamkeit ist hierbei im Vergleich zum nicht abgelenkten Fahren deutlich eingeschränkt. Dies führt dazu, dass sich während der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben beim Fahren der Beitrag der drei Komponenten top-down Steuerung, explorative Wahrnehmung und bottom-up Aktivierung zur visuellen Wahrnehmung verändert. Durch die Einschränkung der Aufmerksamkeit kommt es zu einer Fokussierung auf die top-down gesteuerte Ausrichtung, und damit zu einer Fokussierung auf relevante bzw. für die aktuelle Handlung zentrale Situationselemente. Die explorative Wahrnehmung, die für die Aufrechterhaltung und Entwicklung eines umfassenden Situationsmodells verantwortlich ist, wird eingeschränkt oder fällt sogar ganz weg.

In wieweit bottom-up Prozesse während der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben beim Fahren geeignet sind, die Aufmerksamkeit auf saliente aber unerwartete Situationsentwicklungen zu lenken, ist unklar. Zwar wird dies immer wieder als Möglichkeit diskutiert, warum trotz Nebenbeschäftigung die Fahrsicherheit erhalten bleibt, es gibt aber auch Studien (z.B. zum Peripheral Detection Task) die zeigen, dass bottom-up Prozesse bei Mehrfachaufgaben zumindest verringert sind.

In den Modellen von Neisser (1976) und Hoffmann (1993) führt die top-down Steuerung der Aufmerksamkeit zyklisch zu einem regelmäßig wiederholten Vergleich der tatsächlichen mit der erwarteten Situation. Beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben wird in der Regel der Wechsel zwischen den beiden Aufgaben vom Fahrer gesteuert. Die Häufigkeit des Wechsels entscheidet darüber, wie häufig in der Fahraufgabe die tatsächliche mit der erwarteten Situation verglichen wird. Dies entspricht der Häufigkeit, mit der der Wahrnehmungszyklus für die Fahraufgabe durchlaufen wird. Außerdem entscheidet der Fahrer darüber, wie viel Zeit auf einen Zyklus verwandt wird. Sowohl Häufigkeit als auch Dauer eines Zyklus wird vom Fahrer an die Anforderungen der Fahrsituation angepasst. Damit bilden sowohl die Häufigkeit des Blickwechsels zwischen den Aufgaben als auch die Zeitdauer, die pro Straßenblick auf die Fahraufgabe verwandt wird, die Anforderungen der Fahraufgabe ab. Anders gesagt, je komplexer die Fahraufgabe ist, desto kürzer und / oder seltener wird der Fahrer sich seiner Nebenaufgabe zuwenden.

Die Vermutung von Schweigert (2002), dass Fahrer während visueller Nebenaufgaben die Aufmerksamkeit verstärkt auf basale Aufgaben der Fahrzeugstabilisierung fokussieren, ergibt im Rahmen der dargestellten Annahmen Sinn. In Untersuchungen zum Einfluss von Zweitaufgaben auf das Fahren werden häufig mehr oder weniger kurvige Landstraßenfahrten oder Folgefahrten auf der Landstraße verwendet. In diesen Situationen ist die zentrale Anforderung aus der Fahraufgabe die Aufrechterhaltung der Fahrzeugstabilisierung. Deswegen ist hier auch eine Fokussierung der fahrbezogenen Aufmerksamkeit auf diese Bereiche der Fahraufgabe zu erwarten. Dem gegenüber gibt es Fahrsituationen, in denen andere Aufgaben im Vordergrund stehen. So sollte beispielsweise bei einer Anfahrt an eine Ampel der Fahrer seine auf die Fahraufgabe gerichtete Aufmerksamkeit auf die Ampel fokussieren, um zu überprüfen, ob diese während der Anfahrt umschaltet. In Situationen, in denen einem vor-

ausfahrenden Fahrzeug gefolgt wird, wird wiederum vermutlich stark auf den Abstand zu diesem Fahrzeug und dessen Bremsverhalten geachtet.

Worauf genau geachtet wird, hängt von den Antizipationen des Fahrers bzw. von seinem Situationsmodell ab. Bildet dieses die wichtigen Bestandteile der Situation vollständig und richtig ab, ist auch eine situationsangemessene Ausrichtung der auf die Fahraufgabe gerichteten Aufmerksamkeit zu erwarten. Werden allerdings wichtige Bestandteile der Situation in der Antizipation nicht berücksichtigt, so steigt die Gefahr, dass wichtige Situationsänderungen nicht bemerkt werden. Diese Gefahr ist im Vergleich zum Fahren ohne Zweitaufgabe erhöht, da Reize außerhalb des aktuellen Aufmerksamkeitsfokus schlechter verarbeitet werden. Auch die nicht auszuschließende Unterdrückung von bottom-up Prozessen erhöht das Unfallrisiko, wenn die Ausgangssituation falsch bewertet wird.

Zusammenfassend ergeben sich somit die folgenden Annahmen über die die Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben:

- Die Ausrichtung der Aufmerksamkeit in der Fahraufgabe erfolgt top-down gesteuert auf handlungsrelevante Situationsbestandteile.
- Das Situationsmodell des Fahrers entscheidet darüber, welche Situationsbestandteile als handlungsrelevant angesehen werden.
- Das Situationsmodell beeinflusst außerdem, wie häufig die Aufmerksamkeit der Fahraufgabe zugewandt wird und wie lange jeweils der Fahrer die Aufmerksamkeit dem Fahren zuwendet (dies entspricht der Länge und der Häufigkeit des Aufmerksamkeitszyklus in der Fahraufgabe).
- Während der Beschäftigung mit einer visuellen Nebenaufgabe findet keine explorative Wahrnehmung der Fahrsituation statt.

Ob während der Nebenaufgabenbearbeitung eine reizbasierte bottom-up Ausrichtung der Aufmerksamkeit erfolgen kann, ist unklar. Aus diesem Grund wird für diese Komponente keine explizite Annahme formuliert.

### 5.3 Möglichkeit der experimentellen Prüfung

Aus den in den Abschnitten 5.1 und 5.2 dargestellten Annahmen ergibt sich der in Tabelle 5-2 im Überblick dargestellte Beitrag der verschiedenen, die Aufmerksamkeit steuernden Prozesse zur Wahrnehmung der Fahrsituation beim aufmerksamen Fahren sowie beim Fahren mit visueller Nebenaufgabe.

*Tabelle 5-2: An der Wahrnehmung der Fahrsituation beteiligte Aufmerksamkeitsprozesse beim aufmerksamen Fahren und beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben. + steht für der Prozess trägt zur Wahrnehmung der Situation bei; - steht für der Prozess trägt nicht / kaum zur Wahrnehmung der Situation bei; ? steht für es sind keine sicheren Vorhersagen möglich. In Klammern ist jeweils der Name des Prozesses angegeben.*

Art des Umgebungsreizes:		Aufmerksames Fahren	Fahren mit visueller Nebenaufgabe
Saliente Umgebungsreize		+ (bottom-up)	? (bottom-up)
Handlungsbezogene Wahrnehmung	Direkt handlungsleitend	+ (top-down)	+ (top-down)
	Andere handlungsbezogene Objekte	+ (explorativ)	- (explorativ)
Andere Umgebungsreize			

Im Unterschied zum aufmerksamen Fahren ist beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben der Beitrag der explorativen Wahrnehmung zur Wahrnehmung der Gesamtsituation deutlich reduziert. Dies führt zu einer Fokussierung der Aufmerksamkeit über top-down Steuerung auf direkt handlungsleitende Objekte. Die Wahrnehmung anderer, beispielsweise potentiell handlungsleitender Objekte über den Prozess der explorativen Wahrnehmung wird dagegen vernachlässigt. Aus der angenommenen Fokussierung auf eine top-down gesteuerte Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf aktuelle handlungsleitende Situationsbestandteile resultiert, dass während der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben die Anforderungen der Fahraufgabe die Ausrichtung der fahrbezogenen Aufmerksamkeit beeinflussen sollten. Dies betrifft zum einen die räumliche Ausrichtung auf bestimmte Objekte der Fahrszene, aber auch die zeitliche Aufteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe. Wie in Abschnitt 5.2 beschrieben, wird top-down nicht nur beeinflusst welche Objekte aufmerksam verarbeitet werden, sondern auch wie häufig erwartete und tatsächliche Situation miteinander verglichen werden.

Um den erwarteten Einfluss der Fahrsituation zu prüfen, ist es notwendig, das Verhalten während der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben in einer Vielzahl unterschiedlicher Fahrsituationen zu untersuchen. Anders als häufig in Untersuchungen zur Auswirkung von Ablenkung auf das Fahren vorgegangen wird, ist es nicht ausreichend, die Fahraufgabe auf Folgefahren in mehr oder weniger kurvigen Abschnitten zu beschränken. Eine detaillierte Analyse der angenommenen Fokussierung auf aktuell handlungsleitende Situationsbestandteile erfordert vielmehr die Untersuchung der Aufmerksamkeitsverteilung bei der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben in einer Vielzahl unterschiedlicher Fahrsituationen. Die untersuchten Situationen sollten sich nicht nur in der räumlichen Gestaltung der Szene, sondern auch in den Anforderungen an den Fahrer unterscheiden.

Wie in Abschnitt 2 und Abschnitt 3 dargestellt, ist die gebräuchlichste Methode zur Untersuchung der Aufmerksamkeit beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben die Analyse des Blickverhaltens. Unter der Annahme, dass der Fokus der Aufmerksamkeit im Fixationspunkt liegt, lässt die Analyse des Blickverhaltens Rückschlüsse auf die räumliche und zeitliche Aufteilung der Aufmerksamkeit zu. Damit ist die Blickverhaltensmessung eine geeignete Messmethode, um den Einfluss der Fahrsituation auf die Aufteilung und Ausrichtung der visuellen Aufmerksamkeit beim Bearbeiten visueller Nebenaufgaben zu untersuchen.

## **6 STUDIE 1 & 2: BLICKBEWEGUNGSMESSUNG ALS INDIKATOR**

### **6.1 Hintergrund**

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus zwei Studien vorgestellt, die im Rahmen eines Projekts zum Thema „Situationsbewusstsein beim Fahren mit Informationssystemen“ durchgeführt wurden. Das Projekt wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen (bast) und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) gefördert. Die beiden Untersuchungen unterscheiden sich in der Art der visuellen Nebenaufgabe, die die Fahrer während der Fahrt bearbeiten, ansonsten sind sie im Design vergleichbar. Aus diesem Grund wird zuerst der allgemeine Versuchsaufbau vorgestellt, der für beide Studien gleichermaßen gilt. Erst danach erfolgt eine Aufteilung in Studie 1 und Studie 2. Im Rahmen dieser Arbeit werden nur die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert, die direkt mit der hier behandelten Fragestellung in Verbindung stehen. Weitere Ergebnisse, die einen stärkeren Bezug zu dem Thema Situationsbewusstsein beim Fahren aufweisen sind in Rauch, Gradenegger u. Krüger (2008) und Rauch (2009) dargestellt. Zur Erfassung der Aufmerksamkeit wird in beiden Studien die Blickverhaltensmessung eingesetzt.

### **6.2 Allgemeiner Versuchsaufbau**

Beide Studien werden in der Fahrsimulation des Würzburger Instituts für Verkehrswissenschaften (WIVW, [www.wivw.de](http://www.wivw.de)) durchgeführt. Die Probanden durchfahren eine abwechslungsreichen Strecke, die eine Vielzahl unterschiedlich anspruchsvoller Situationen enthält. Ziel der Untersuchungen ist es, die Bearbeitung von Nebenaufgaben beim Fahren unter möglichst realistischen Bedingungen nachzustellen.

Im Gegensatz zu vielen Untersuchungen zum Einfluss von Nebenaufgaben auf das Fahren werden die Fahrer deswegen nicht instruiert, die Zweitaufgabe auf jeden Fall und so viel wie möglich zu bearbeiten. Anders als in vielen experimentellen Anordnungen enthält im realen Straßenverkehr der Beginn einer Nebenaufgabe immer auch eine Entscheidung des Fahrers, dies genau jetzt zu tun. Um diesen Entscheidungsprozess zu einem Bestandteil der Studie zu machen, wird es den Fahrern freigestellt, ob und wie lange sie sich den Nebenaufgaben zuwenden wollen. In einer, der eigentlichen Nebenaufgabe vorangehenden Entscheidungsphase entscheiden die Fahrer darüber, ob die Fahrsituation für eine Aufteilung der Aufmerksamkeit auf zwei Aufgaben geeignet ist. Diese Entscheidung muss in einem fest vorgegebenen zeitlichen Rahmen erfolgen. Damit ähnelt die Gestaltung der Nebenaufgabe einem eingehenden Telefonanruf. Der Fahrer kann innerhalb eines nicht von ihm festgelegten, zeitlichen Rahmens (dem Klingeln des Telefons) entscheiden, ob er den Anruf annehmen möchte oder nicht.

Ziel von Studie 1 und Studie 2 ist es, den Einfluss der Fahrsituation auf die Aufteilung der Aufmerksamkeit zwischen Fahr- und Nebenaufgabe zu untersuchen. Die Nebenaufgabe wird deswegen nicht kontinuierlich, sondern nur an einzelnen, vorher festgelegten Punkten der Strecke angeboten. Diese Zeitpunkte sind so gewählt, dass sich

der Fahrer entweder in einer unkritischen Fahrsituation oder zu Beginn eines potentiellen Konflikts (kritische Situation) befindet. Die Kritikalität der Situationen kann aus verschiedenen Situationsbestandteilen resultieren. Sie kann beispielsweise aus einem kurvigen Straßenverlauf, d.h. einem statischen Aspekt der Situation oder aus dem Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer, also aus dynamischen Situationsbestandteilen, entstehen. Ein Beispiel für eine Situation, in der die Kritikalität aus einem dynamischen Situationsbestandteil entsteht, ist ein die Straße querender Fußgänger. Damit werden in der Untersuchung unterschiedlichste situative Anforderungen umgesetzt. Durch die Bindung einzelner Nebenaufgaben an Fahrsituationen und durch die Vielzahl verschiedener kritischer Situationen kann der Einfluss der Fahrsituation auf die Aufteilung der Aufmerksamkeit zwischen Fahr- und Nebenaufgabe untersucht werden.

In Studie 1 und Studie 2 wird die Aufteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe mittels Blickerhaltungsmessung untersucht. Unter Annahme der in Abschnitt 2.1 dargestellten Zusammenhänge, wird die Ausrichtung von Fixationen als Indikator für die Ausrichtung von Aufmerksamkeit herangezogen. Basierend auf den in Abschnitt 5 dargestellten Überlegungen werden die folgenden Ergebnisse erwartet:

- Die Aufteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe spiegelt die Anforderungen der Fahraufgabe wieder. Dies bedeutet, dass in beanspruchenderen (kritischen) Fahrsituationen mehr Aufmerksamkeit auf das Fahren verwendet wird als dies in weniger beanspruchenden Situationen der Fall ist.
- In für diese Analyse geeigneten Situationen, gibt es einen Zusammenhang zwischen der Ausrichtung bzw. dem Zeitpunkt der auf die Fahraufgabe gerichteten Aufmerksamkeit und den spezifischen Anforderungen der Situation.
- Fahrfehler während der Beschäftigung mit Nebenaufgaben stehen mit einer fehlerhaften Ausrichtung der Aufmerksamkeit in Zusammenhang.

### 6.2.1 Der Simulator

Realisiert wird ein Fahrparcours im Fahrsimulator des mit Bewegungssystem (siehe Abbildung 6-1).



Abbildung 6-1: Der Würzburger Fahrsimulator in Betrieb (links) und während des Aufbaus (rechts). In der Kuppel zu sehen sind die Fahrzeugkonsole (BMW 520i) und die Projektionsfläche für die Frontsicht.

Die Würzburger Fahrsimulation wurde speziell zu Forschungszwecken entwickelt und ermöglicht eine flexible Gestaltung der Versuche. Beim Bewegungssystem handelt es sich um eine Stewart-Plattform mit sechs Freiheitsgraden. Der Simulator ist mit einer 180°-Projektion sowie einer Soundsimulation ausgestattet. Das Frontalsichtsystem umfasst 180° horizontal und 47° vertikale Sicht. Der Innen- und die zwei Außenspiegel sind als LCD-Displays ausgeführt. Als Mockup wird die Konsole eines BMW 520i verwendet. Im Mockup sind in und auf der Mittelkonsole zwei weitere Displays montiert, die für Fahrerassistenzsysteme und Nebenaufgaben verwendet werden können. Die Simulation verfügt über eine Lenkkraftsimulation. Zur Durchführung der Simulation stehen 14 PCs zur Verfügung, welche über 100 Mbit Ethernet verbunden sind.

Die Simulation läuft unter der am WIVW entwickelten Simulationssoftware SILAB. Ein Vorteil der Software ist, dass sie nicht auf einer festen Datenbasis basiert sondern vom Versuchsleiter definierte Fahrsituationen flexibel miteinander verknüpft. Dies ermöglicht eine variable und versuchsbezogene Gestaltung der Strecke. Daneben erlaubt sie auch eine flexible und detaillierte Gestaltung verschiedener Streckenabschnitte und Verkehrssituationen. So können beispielsweise Kurvigkeit, Höhenprofil, Beschilderung und Bebauung variiert werden. Prinzipiell ist eine Aufzeichnung aller, in der Simulation verfügbaren Parameter und aller Bedieneingaben des Fahrers möglich. Angepasst an die jeweilige experimentelle Fragestellung können die relevanten Parameter der Bedieneingaben, der Fahrdynamik, des jeweiligen Streckenabschnitts, des umgebenden Verkehrs und der Nebenaufgabe ausgewählt und aufgezeichnet werden. Die Aufzeichnung erfolgt mit 100 Hz. Das System wird von einem Bedienplatz aus durch einen geschulten Versuchsleiter gesteuert. Von hier aus kann der Fahrer über eine Videoanlage beobachtet werden. Über eine Gegensprechanlage steht der Fahrer mit dem Versuchsleiter in Kontakt.

### 6.2.2 Die Strecke

Der Testparcours besteht aus Streckenabschnitten in der Innenstadt und auf der Landstraße und dauert insgesamt 1 Stunde 15 Minuten. Er setzt sich aus acht sog. Basissituationen zusammen, die alle ein spezifisches Konfliktpotential aufweisen. Auf dieses muss der Fahrer mit einer entsprechenden Verhaltensanpassung reagieren (z.B. auf ein ausparkendes Fahrzeug achten, sich richtig an einer Kreuzung einordnen, rechtzeitig vor einer scharfen Kurve Geschwindigkeit reduzieren), um die Situation sicher und ohne Fahrfehler zu meistern. Zusätzlich werden Situationen realisiert, die der Fahrer problemlos, ohne das Auftreten eines Konflikts durchfahren kann (z.B. gerade Abschnitte auf der Landstraße). In solchen Fällen ist keine definierte Verhaltensanpassung erforderlich.

Die folgenden acht Basissituationen werden realisiert:

- Fußgänger: Fußgänger kreuzt vor EGO-Fahrzeug die Fahrbahn;
- Ausparkendes Fahrzeug: vor dem EGO-Fahrzeug parkt ein Fahrzeug aus und nimmt diesem die Vorfahrt;
- Einparkendes Fahrzeug: das vor dem EGO-Fahrzeug fahrende Fahrzeug parkt ein;

- Fremder: ein vorausfahrendes Fahrzeug bremst an einer Kreuzung scharf ab und biegt nach links ab; zuvor zeigt es ein Verhalten, das dem eines Fremden in der Stadt ähnelt (z.B. Blinken ohne Abzubiegen)
- Einordnen: an einer ampelgeregelten zweistreifigen Kreuzung muss sich der Fahrer zum Geradeaus fahren links einordnen;
- Wechsel: Wechsel zwischen kurvigen und geraden Streckenabschnitten auf der Landstraße;
- CarFollow: das vorausfahrende Fahrzeug fährt deutlich zu schnell in eine Kurve auf der Landstraße;
- Panne: auf der Landstraße steht ein liegen gebliebenes Fahrzeug auf dem eigenen Fahrstreifen;

Alle Situationen sind so gestaltet, dass die erforderliche Verhaltensanpassung vom Fahrer prinzipiell antizipiert werden kann. Nicht untersucht werden Situationen, die eine plötzliche, unvorhersehbare Gefahr beinhalten, da sie lediglich die Reaktions-schnelligkeit des Fahrers messen würden. Da die Gesamtfahrdauer beinahe 1.5 Stunden beträgt, wird die Strecke auf zwei Teilstücke aufgeteilt. Dazwischen haben die Fahrer die Möglichkeit eine Pause zu machen.

#### 6.2.2.1 Variation der Hinweisreize

Ein Faktor, der in erster Linie für die Untersuchung des Situationsbewusstseins beim Fahren implementiert wird, ist die Vorhersehbarkeit der Situation. Dieser Faktor ist für die Analyse der Aufmerksamkeitsverteilung höchstens in ausgewählten Situationen von Interesse. Dies sind beispielsweise Situationen in denen sich der räumliche Aufbau der Szene zwischen den Situationsabstufungen unterscheidet und in denen deswegen ein Einfluss der Situationsabstufung auf Parameter des Blickverhaltens zu erwarten ist. Die Umsetzung des Faktors Vorhersehbarkeit wird hier aber dennoch beschrieben, da er die Gestaltung der implementierten Fahrsituationen entscheidend beeinflusst. Die Ergebnisse zum Faktor Vorhersehbarkeit finden sich detailliert in Rauch (2009) und Rauch et al. (2008).

Um den Einfluss der Vorhersehbarkeit der Situation untersuchen zu können, wird jede der acht Situationen bezüglich der Qualität der Hinweisreize, die in der Situation auf einen potenziellen Konflikt hinweisen, variiert. So sind beispielsweise die Verhaltensabsichten anderer Fahrzeuge (z.B. das Abbiegen, Ein- oder Ausparken) durch die Anzeige bzw. das Fehlen von Bremslichtern oder über Verdeckungen durch andere Fahrzeuge vs. freie Sicht unterschiedlich gut erkennbar. Die Erkennbarkeit von Konfliktbereichen z.B. scharfe Kurven, wird über Sichtweiten (Höhenprofil der Strecke) oder das Fehlen oder Vorhandensein von Hinweisschildern (z.B. Kurvenschilder vs. keine Kurvenschilder) variiert. Durch die Variation dieser Faktoren entsteht pro Situation eine Abstufung der Erkennbarkeit des Konfliktpotenzials in drei Stufen:

- schlecht erkennbar
- mittel erkennbar
- gut erkennbar

Zusätzlich werden in einzelnen Situationen weitere spezifische Varianten mit erschweren Anforderungen realisiert.

Tabelle 6-1 zeigt die acht Basissituation mit den jeweiligen Abstufungen im Überblick. Im Anhang (Abschnitt 10.2) befindet sich außerdem eine ausführliche Beschreibung der Situationen und ihrer Abstufungen.

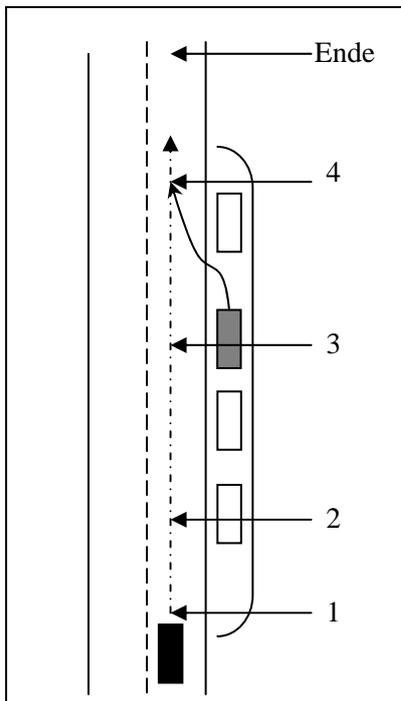
*Tabelle 6-1: Abstufung der acht Basissituationen hinsichtlich ihrer Vorhersehbarkeit.*

Basis-situation	Abstufung Vorausschau		
	schwer	mittel	leicht
Fußgänger	Fußbänger überquert Straße ohne Überweg;	Fußgänger überquert Straße an Zebra-streifen, mehrere Fußgänger sind unter-wegs;	Einzelner Fußgänger wartet an Zebrastreifen und überquert dort die Straße;
Einparker	Vorderfahrzeug hält nach einmaligem Blinken an Bushalte-stelle an;	Vorderfahrzeug hält nach einmaligem Blinken an Parkzone an;	Vorderfahrzeug hält nach mehrmaligem Blinken an Parkzone an;
Ausparker	Teilweise verdecktes Fahrzeug parkt nach Blinken aus dicht be-parkter Parkzone aus;	Fahrzeug parkt nach Blinken aus locker be-parkter Parkzone aus;	Frei stehendes Fahr-zeug parkt nach Blinken aus;
Einordnen	An Kreuzung weisen nur Fahrbahnmar-kierung auf richtige Spur hin, sie sind teil-weise durch wartende Fahrzeuge verdeckt;	An Kreuzung weisen nur Fahrbahnmar-kierung auf richtige Spur hin, sie sind nicht durch wartende Fahrzeuge verdeckt;	An Kreuzung weisen Fahrbahnmarkierungen und Schilder auf richtige Spur hin;
Fremder im Ort	Vorderfahrzeug blinkt nicht, verzögert aber an vorhergehenden Ab-zweigungen, biegt dann plötzlich links ab;	Vorderfahrzeug blinkt nicht, bremst aber an vorhergehenden Ab-zweigungen, biegt dann plötzlich links ab;	Vorderfahrzeug blinkt und bremst an vorher-gehenden Abzweig-ungen, biegt dann plötzlich links ab;
Wechsel	Wechsel zwischen Ge-raden und Kurven, Höhenprofil erlaubt nur geringe Vorausschau; Kurven sind nicht be-schildert;	Wechsel zwischen Ge-raden und Kurven, Höhenprofil erlaubt nur geringe Vorausschau; Kurven sind be-schildert;	Wechsel zwischen Ge-raden und Kurven, Höhenprofil erlaubt gute Vorausschau; Kurven sind be-schildert;
Panne	Pannenfahrzeug befindet sich hinter einer Kuppe; es gibt kein Warnschild;	Pannenfahrzeug befindet sich hinter einer Kuppe; vor der Kuppe gibt es ein Warnschild;	Pannenfahrzeug befindet sich in einer Senke; vor der Senke gibt es ein Warnschild;
Car Follow	Vorderfahrzeug beschleunigt allmählich und fährt zu schnell durch scharfe Kurve; Kurve ist nicht beschildert,	Vorderfahrzeug beschleunigt allmählich und fährt zu schnell durch scharfe Kurve; Kurve ist beschildert,	Vorderfahrzeug beschleunigt abrupt und fährt zu schnell durch scharfe Kurve; Kurve ist beschildert,;

### 6.2.2.2 Überprüfung der Situationsabstufung über ausgewählte Fahrparameter

Da sich die Basissituationen deutlich in ihren Anforderungen an den Fahrer unterscheiden, erfolgt die Überprüfung der Situationsabstufung getrennt für die Situationen. Pro Situation wird ein Fahrparameter definiert, anhand dessen die experimentelle Manipulation der Vorhersehbarkeit des Konfliktpotenzials über die drei Situationsabstufungen überprüft wird. In Abhängigkeit der Anforderungen der Situationen wird ein geeigneter Parameter ausgewählt. Die entsprechenden Parameter sind in Tabelle 6-2 aufgelistet. Die Überprüfung der Abstufung erfolgt anhand einer Baselinebedingung in der N=8 Fahrer den Parcours ohne Nebenaufgabe durchfahren.

Am Beispiel der Situation „Ausparker“ ist hier dargestellt, wie ein solcher Fahrparameter ermittelt wird (siehe Abbildung 6-2). Das Verhalten des Ausparkers wird über verschiedene Streckenpunkte gesteuert. Überfährt der Fahrer einen solchen Punkt, wird ein definiertes Verhalten des Ausparkers ausgelöst. Von unten kommend bewegt sich das EGO-Fahrzeug auf der Fahrspur. Das ausparkende Fahrzeug (grau) befindet sich in diesem Moment auf der mit 3 markierten „Pos. Fhzg.“. Überfährt das EGO-Fahrzeug den ersten Streckenpunkt, beginnt das ausparkende Fahrzeug zu blinken, beim zweiten Streckenpunkt fährt es schließlich los. Der Endpunkt dieses Abschnitts ist Streckenpunkt 4, an der Parkspur und Fahrspur wieder zusammen kommen. Der betrachtete Fahrparameter in dieser Situation ist der Abstand zum Streckenpunkt 4 [in m] im Moment der stärksten Verzögerung.



1. „blinkt“: bei Beginn dieses Abschnitts beginnt das parkende Fahrzeug zu blinken;
2. „fährt los“: bei Beginn dieses Abschnitts fährt das parkende Fahrzeug los;
3. „Pos. Fhzg.“: bei Beginn dieses Abschnitts befindet sich der Fahrer an der Position, an der das Fahrzeug parkte;
4. „Spuren zusammen“: bei Beginn dieses Abschnitts läuft die eigene Spur mit der Spur des Ausparkers zusammen; die eigentliche Situation ist nun zu Ende.

Abbildung 6-2: Beschreibung der Situation „Ausparker“ mit den entsprechenden Streckenpunkten an denen das Verhalten des ausparkenden Fahrzeugs ausgelöst wird.

Es ist davon auszugehen, dass je früher der Fahrer die Verhaltensabsichten des ausparkenden Fahrzeugs erkennt, er desto früher beginnt, seine Geschwindigkeit zu

reduzieren. Prüft man für den definierten Fahrparameter mittels einer einfaktoriellen Varianzanalyse den Unterschied zwischen den Situationsvarianten (schwer, mittel, leicht zu erkennendes Konfliktpotenzial) ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt in die erwartete Richtung ( $F(2,14) = 6.66$ ,  $p = 0.009$ ; siehe Abbildung 6-3): Je schwieriger das beabsichtigte Ausparkmanöver des Fahrzeugs vorherzusehen ist, desto später wird vor dem Ausparker gebremst.

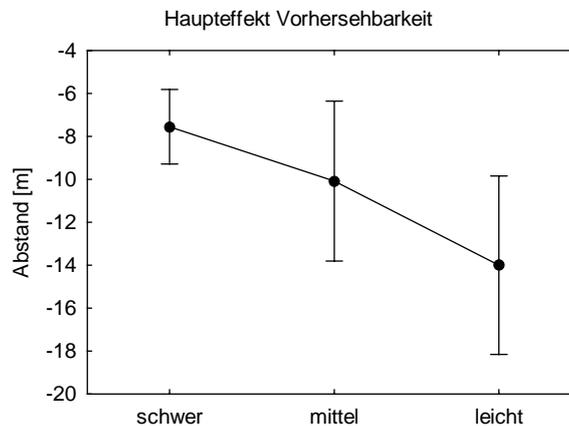


Abbildung 6-3: Situationsabstufung für den Parameter „Abstand zu definiertem Streckenpunkt im Moment der stärksten Verzögerung“ in der Situation „Ausparker“. Die Abbildung zeigt Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle.

Eine vergleichbare Überprüfung wird für jede der acht Basissituationen vorgenommen. Tabelle 6-2 zeigt, dass die erwartete Abstufung, mit Ausnahme der Situation „Wechsel“ (mehrere Kurven pro Abstufung, kein einheitliches Bild erkennbar), für jede Situation mit einem geeigneten Fahrparameter gezeigt werden kann. Die Manipulation der Erkennbarkeit des Konfliktpotenzials einer Situation kann somit als erfolgreich betrachtet werden.

*Tabelle 6-2: Ergebnisse der ANOVA für den Haupteffekt Situationsabstufung (schwer-mittel-leicht) über jeweils einen ausgewählten Parameter pro Situation.*

Situation	F	df	p	gewählter Parameter	Interpretation des Ergebnisses
Einparker	3.06	2;14	0.079	min. Geschwindigkeit in Streckenabschnitt, in dem Vorderfhzg. einparkt	Nur tendenziell signifikant. Je schwerer die Abstufung ist, desto stärker muss die Geschwindigkeit für den Einparker verringert werden.
Ausparker	6.66	2;14	0.009	Zeitpunkt der max. Verzögerung (Abstand zu definiertem Streckenpunkt in Metern)	Je schwerer die Abstufung ist, desto später wird für den Ausparker gebremst
Fremder	4.59	2;12	0.033	Zeitpunkt der max. Verzögerung (Abstand zu definiertem Streckenpunkt in Metern)	Je schwerer die Abstufung ist, desto später wird gebremst
Einordnen	6.83	2;14	0.009	Anteil Zeit, die man während der Anfahrt falsch eingeordnet ist	Je schwerer die Abstufung ist, umso länger ist man falsch eingeordnet
Fußgänger	7.78	1;6	0.032	max. Verzögerung	Die Abstufung wird nur für die Varianten mittel & leicht geprüft. In der schweren Variante wird häufig überhaupt nicht gehalten, es kann also der Parameter nicht berechnet werden. In der schwersten Abstufung wird für den Fußgänger so gut wie nie gehalten; in der mittleren Abstufung wird stärker gebremst als in der leichten
CarFollow	26.01	2;14	0.002	mittlere Geschwindigkeit in der Kurvenanfahrt	Je schwerer die Abstufung, desto schneller wird in die Kurve eingefahren
Panne	13.16	2;14	0.001	Zeitpunkt max. Verzögerung (in Streckenmetern = absoluter auf relevanten Streckenabschnitt bezogener Wert)	Je schwerer die Abstufung, näher am Hindernis wird gebremst
Wechsel	1.40	2;14	0.279	Standardabweichung Beschleunigung / Verzögerung	Kein sign. Unterschied zwischen den Sit.-Abstufungen

### 6.2.3 Darbietung der Nebenaufgabe

Ziel der Untersuchung ist es, einen Zusammenhang zwischen der Aufteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe und den Anforderungen der Fahrsituation herzustellen. Um dies zu ermöglichen, wird die Nebenaufgabe nicht kontinuierlich bearbeitet sondern an vorher festgelegten Streckenpunkten den Fahrern angeboten. Pro Situation wird eine Aufgabe angeboten, die die Fahrer annehmen oder ablehnen können. Wird die Aufgabe nicht bearbeitet, müssen die Fahrer bis zum nächsten Aufgabenangebot warten. Vor jeder der definierten Fahrsituationen erfolgt ein Aufgaben-

angebot. Der Zeitpunkt des Angebots ist so gewählt, dass die Hinweisreize für die entsprechende Situation schon erkennbar sind, die eigentliche Situation aber noch nicht erreicht ist. Beispielsweise wird die Aufgabe angeboten, wenn der Fußgängerüberweg und der Fußgänger bereits sichtbar sind, der Fußgänger aber noch nicht losgelaufen ist. Neben diesen Aufgabenangeboten in den definierten Situationen gibt es auch Angebote in Situationen, die ohne besondere Anforderungen durchfahren werden können. Solche unkritischen Situationen sind beispielsweise gerade Landstraßenabschnitte oder Zwischensituationen in der Stadt, in denen nichts passiert.

Für die Auswertung wird in kritische und unkritische Situationen unterschieden. Unter dem Begriff kritische Situationen werden die Nebenaufgabe, die kurz vor einer der definierten Situationen dargeboten werden, zusammengefasst. Unkritische Situationen beinhalten die Nebenaufgaben, die zwischen den kritischen Situationen angeboten werden. In den länger dauernden Situationen „Wechsel“ werden von den insgesamt 10 Aufgabenangeboten diejenigen als kritisch definiert, die unmittelbar vor einer Kurve erfolgen.

#### **6.2.4 Parameter der Nebenaufgabe und des Fahrverhaltens**

Während der Fahrt werden Parameter der Nebenaufgabe, Bedieneingaben des Fahrers, Parameter der Fahrdynamik und Parameter des umgebenden Verkehrs mit 100 Hz aufgezeichnet. Eine ausführliche Analyse dieser Maße findet sich in Rauch et al. (2008) und Rauch (2009). Im Rahmen dieser Arbeit werden an geeigneter Stelle kurz einige Parameter der Nebenaufgabenbearbeitung dargestellt. Hierbei handelt es sich um:

- Anteil Auslassungen [%]: Anteil ausgelassener Nebenaufgaben;
- Entscheidungsdauer [s]: Dauer der Entscheidungsphase bis die Fahrer die Nebenaufgabe annehmen;
- Bediendauer [s]: Dauer der Nebenaufgabenbedienung;

Für die Auswertung der Entscheidungsdauern bis eine Aufgabe angenommen wird, werden nur die Aufgaben berücksichtigt, die vom Fahrer angenommen und bearbeitet werden. Dies liegt daran, dass um eine Aufgabe abzulehnen, der Fahrer immer die volle Entscheidungszeit abwarten muss. Aus diesem Grund enthält die Entscheidungsdauer bei nicht bearbeiteten Aufgaben keine Information mehr darüber, wie schwierig die Entscheidung in der gegebenen Situation ist bzw. wie lange der Fahrer braucht, um die Situation zu bewerten und zu seiner Entscheidung zu kommen.

Bei der Auswertung des Fahrverhaltens stehen Kollisionen im Mittelpunkt. Diese werden nicht nachträglich aus den aufgezeichneten Fahrdaten bestimmt, sondern vom Versuchsleiter während der Fahrt mitprotokolliert. Als Kollision wird gewertet, wenn es zu einem Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug oder mit einem Fußgänger kommt. Probleme der Spurhaltung, die dazu führen, dass der Fahrer auf den Bordstein fährt, werden nicht als Kollisionen gezählt.

#### **6.2.5 Blickbewegungsmessung**

In beiden Studien wird das Blickverhalten der Fahrer über das in der Fahrsimulation integrierte, kamerabasierte Eyetrackingsystem der Firma SmartEye aufgezeichnet.

Es handelt sich dabei um ein 4-Kamerasystem mit dazugehörigen Infrarotflashern. Die Aufzeichnung erfolgt berührungslos mit 60 Hz. Das System erfasst Kopfposition und Kopfdrehung sowie die Blickrichtung.

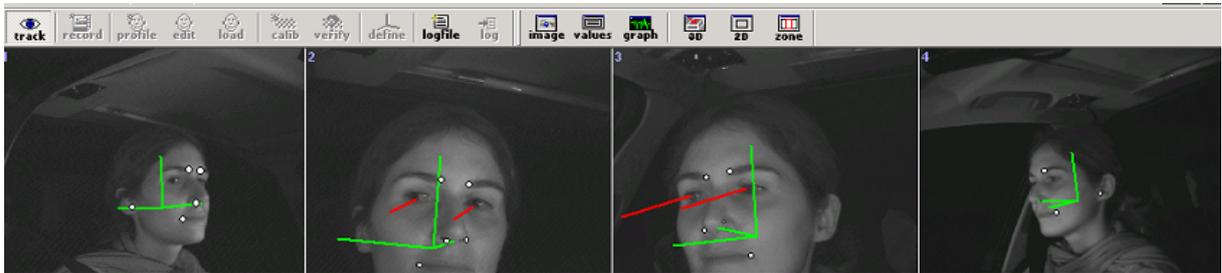


Abbildung 6-4: SmartEye Eyetrackingsystem.

Laut Hersteller beträgt die Messgenauigkeit für die Kopfposition ca.  $0.5^\circ$  und für die Blickrichtung ca.  $1.0^\circ$  (bestimmt über die Standardabweichung der Messwerte). Eigene Messungen für den Blickpunkt bestätigen diese Angaben zumindest für Personen mit gutem Tracking.

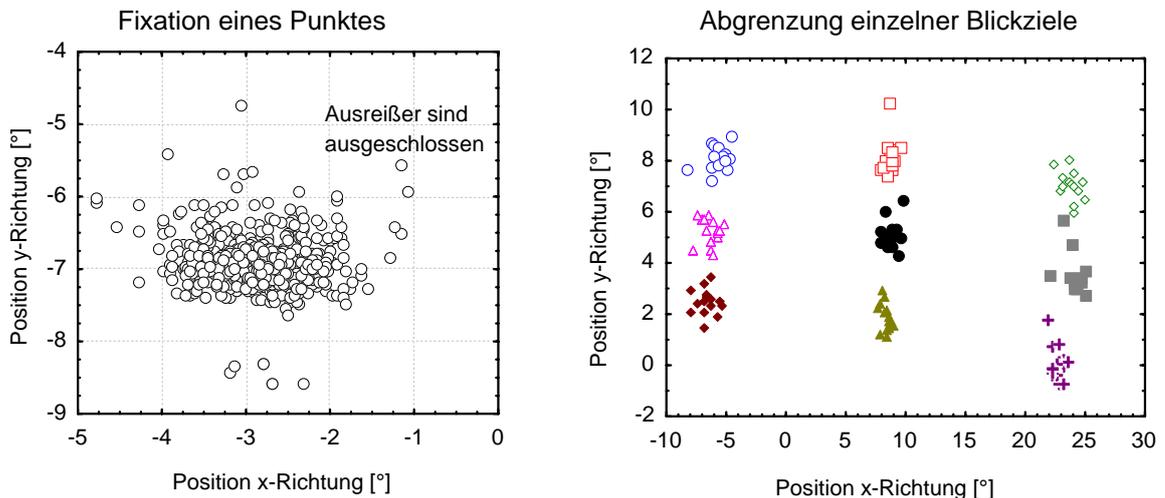
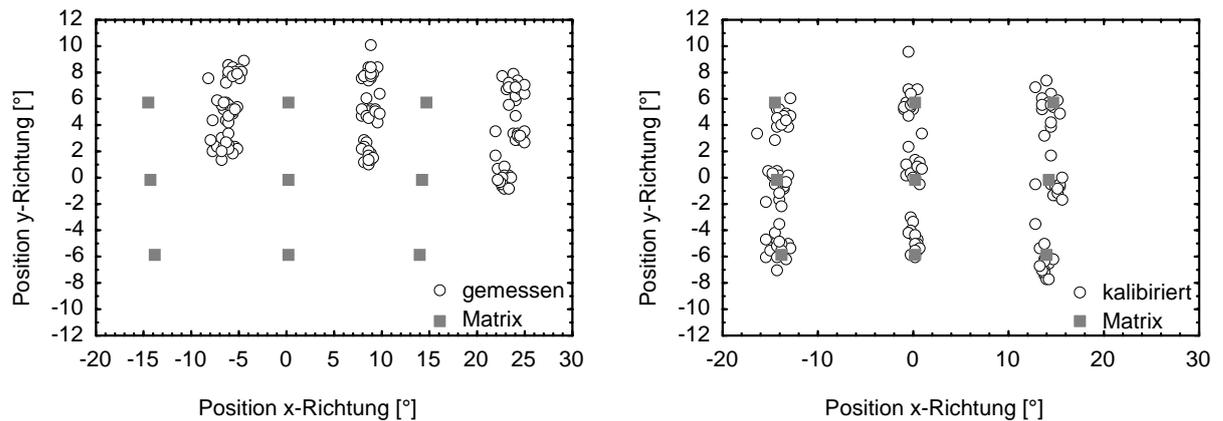


Abbildung 6-5: Genauigkeit des Eyetrackings: links Streuung der Messwerte während einer Fixation ohne Kopfbewegung, rechts Abgrenzung der verschiedenen Blickziele während einer 9-Punkt-Kalibrierung.

Zu Beginn einer Messung muss für jeden Fahrer ein individuelles Profil erstellt werden. Dieses ist die Grundlage des späteren Trackings. Die Erstellung eines solchen Profils dauert ca. 20 Minuten.

Die vom System ausgegebenen Rohdaten beinhalten Variablen für die Kopfposition, die Kopfdrehung, die Blickrichtung sowie das Augenöffnungsniveau und einige Parameter zur Messqualität. Die aufgezeichneten Rohdaten, die sich auf ein systeminternes Koordinatensystem beziehen, werden in einem ersten Schritt in x- und y-Koordinaten der Projektionsleinwand umgerechnet. Um die Messgenauigkeit zu verbessern, wird vor Beginn der eigentlichen Messung eine 9-Punkt-Kalibrierung durchgeführt. Abbildung 6-6 verdeutlicht an einem Beispiel die Verbesserung der absoluten Messgenauigkeit durch die 9-Punkt-Kalibrierung.



*Abbildung 6-6: Beispiel für die Verbesserung der absoluten Messgenauigkeit durch die Kalibrierung: links Verhältnis gemessene Position / tatsächliche Position vor der Kalibrierung, rechts nach der Kalibrierung.*

Im nächsten Verarbeitungsschritt erfolgt eine Zusammenfassung der einzelnen Messzeitpunkte zu Fixationen. Hierfür wird ein Fixationsalgorithmus verwendet, der auf der Arbeit Jacob (1995) basiert. Im Unterschied zu Jacob wird eine Fixation durch einen Lidschluss als beendet betrachtet. Der Algorithmus basiert auf einer Minimaldefinition des Begriffs Fixation:

„A relatively stable eye-in-head position within some threshold of dispersion (typically  $\sim 2^\circ$ ) over some minimum duration (typically 100-200 ms), and with a velocity below some threshold (typically 15-100 degrees per second)” (Jacob u. Karn, 2003 S. 581).

Eine Fixation wird angenommen, sobald die Standardabweichung der Blickpunkte in den letzten 100 ms sowohl in x als auch in y-Richtung kleiner  $1^\circ$  ist. Sobald über 50 ms die gemessenen Werte von Centroid der letzten 100 ms um mehr als  $2^\circ$  abweichen, wird die Fixation als beendet betrachtet. Als Fixationspunkt wird immer der Centroid der letzten 100 ms verwendet. Der verwendete Algorithmus erlaubt keine Unterscheidung zwischen Fixationen und langsamen Augenfolgebewegung. Da für die Detektion einer Fixation relativ strenge Voraussetzungen an die Messstabilität gestellt werden, dient der Fixationsalgorithmus auch zur Datenkontrolle – in Phasen instabiler Messung werden keine Fixationen detektiert. Alle weiteren Auswertungen beruhen auf detektierten Fixationen.

### 6.3 Allgemeines zur Auswertung

Die Auswertungen in Studie 1 und Studie 2 sind überwiegend mit der Statistiksoftware Statistica 7.1 durchgeführt. Ein Teil der Rohdatenaufbereitung für die Blickverhaltensmessung erfolgt in MatLab. Die Grafiken in den Ergebnisdarstellungen zeigen so lange nichts anderes angegeben ist Mittelwert und Standardabweichung. Zur inferenzstatistischen Prüfung werden in der Regel mehrfaktorielle ANOVAs durchgeführt. Als Post-Hoc Tests werden Scheffetests verwendet. Die Signifikanzprüfung erfolgt bei einem Alpha-Niveau von 5%. Bis zu einem Alpha-Fehler kleiner 10% wird von einer Tendenz gesprochen.

## 6.4 Studie 1: Extern gesteuerte Nebenaufgabe

### 6.4.1 Die Nebenaufgabe

Um möglichst standardisierte Bedingungen während der Nebenaufgabenbearbeitung zu haben, wird in Studie 1 eine künstliche, stark extern gesteuerte Aufgabe gewählt. Das Aufgabenangebot erfolgt mittels Einblendung eines Fragezeichens auf dem Head-Up-Display. Die Fahrer sollen jedes Mal von neuem in Abhängigkeit der Fahrsituationen entscheiden, ob die Bearbeitung der Nebenaufgabe ohne Gefährdung der Fahrleistung möglich ist. Die Fahrer haben für diese Entscheidung 3 bzw. 5 Sekunden Zeit. Möchte der Fahrer die Aufgabe bearbeiten, drückt er eine Taste am Lenkrad. Verstreicht die Entscheidungszeit, ohne dass eine Lenkradtaste gedrückt wird, gilt die Aufgabe als abgelehnt. Die Aufgabe dauert immer solange wie eine Lenkradtaste gedrückt wird, maximal jedoch 5 Sekunden. Die Aufgabe besteht darin, Ziffern auf einem Display in der Mittelkonsole laut vorzulesen.



Abbildung 6-7: Angebot einer Nebenaufgabe mittels „?“ im Head-Up (links); Darbietung der Nebenaufgabe auf einem Display in der Mittelkonsole (rechts).

Die Ziffern erscheinen im 500 ms Takt. Durch diese schnelle Taktung ist sicher gestellt, dass die fehlerfreie Bearbeitung der Nebenaufgabe einen Großteil der visuellen Aufmerksamkeit erfordert. Durch das gewählte experimentelle Design lässt sich jede Nebenaufgabe in zwei Phasen unterteilen:

- **Entscheidungsphase:** In dieser Phase wird dem Fahrer die Möglichkeit zur Nebenaufgabenbearbeitung angeboten. Er hat maximal 3 bzw. 5 Sekunden Zeit die Aufgabe anzunehmen.
- während der **Nebenaufgabe:** entscheidet sich der Fahrer für eine Bearbeitung der Nebenaufgabe, folgt auf die Entscheidungsphase die Phase der Nebenaufgabenbearbeitung. Hier muss nun die visuelle Aufmerksamkeit zwischen Fahraufgabe und Nebenaufgabe aufgeteilt werden.

Um den Unterschied zum Fahren ohne Nebenaufgabe beurteilen zu können, wird eine dritte Phase berücksichtigt.

- **zwischen** den Nebenaufgaben: in dieser Phase wird das Verhalten während dem Fahren ohne Ablenkung durch eine Zweitaufgabe erfasst.

Abbildung 6-8 zeigt die Abfolge der drei Phasen im Zeitverlauf.

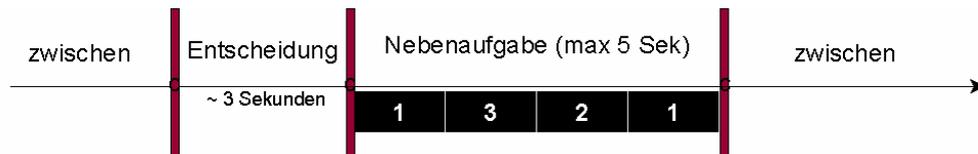


Abbildung 6-8: Phasen von Nebenaufgabe1.

Insgesamt werden auf der Strecke  $N=108$  Aufgaben angeboten, davon  $n=50$  innerorts (45.5%) sowie  $n=58$  außerorts (54.6%).  $N=65$  der Aufgaben werden in unkritischen Situationen angeboten (60.2%),  $n=43$  Aufgaben kurz vor einer der als kritisch definierten Situationen (39.8%).

Tabelle 6-3: Verteilung der Nebenaufgaben auf innerorts vs. außerorts sowie auf kritische und unkritische Situationen.

	innerorts	außerorts	Summe
unkritisch	31	34	65
kritisch	19	24	43
Summe	50	58	108

Um die Fahrer zur Bearbeitung der Nebenaufgabe zu motivieren, wird ein Punktesystem entwickelt, das dem Fahrer für jede vorgelesene Zahl einen Pluspunkt verspricht. Für Fahrfehler werden gestaffelt nach dem Schweregrad Punktabzüge gegeben. Um die Fahrer davon abzuhalten, eine Aufgabe grundsätzlich immer anzunehmen ohne sie dann wirklich bearbeiten zu können, werden auch für Fehler in der Nebenaufgabe Punktabzüge angedroht.

#### 6.4.2 Versuchsplan

Aus der Streckengestaltung sowie aus den Phasen der Nebenaufgabe ergibt sich der in Tabelle 6-4 dargestellte Versuchsplan. Die in diesem Plan enthaltenen Faktoren werden abhängig geprüft. Der in den Abschnitten 10.2 und 6.2.2.2 beschriebene Faktor Vorhersehbarkeit der Situationsentwicklung ist zwar für die Streckenbeschreibung von zentraler Bedeutung, wird aber im Rahmen dieser Arbeit für Studie 1 nicht analysiert. Da die Nebenaufgabe stark extern getaktet ist und dem Fahrer wenig Freiheit in der Gestaltung seines Blickverhaltens lässt, ist ein Einfluss der Vorhersehbarkeit auf die Aufteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe nicht zu erwarten. Dafür unterscheiden sich die Abstufungen einer Situation im räumlichen Aufbau der Szene zu wenig.

*Tabelle 6-4: Darstellung der abhängigen Faktoren in Studie 1.*

		Phase der Nebenaufgabe		
		zwischen	Entscheidung	während NA
Kritikalität der Situation	unkritisch			
	kritisch			

Zusätzlich zu den beiden abhängigen Faktoren werden unabhängig einige Parameter der Nebenaufgabe variiert. Insgesamt gibt es in Studie 1 vier unabhängige Gruppen. Jede Bedingung wird mit N = 8 Fahrern durchgeführt.

- Baseline: Fahrt ohne Nebenaufgabe
- Okklusion: Nebenaufgabe wird anstatt auf dem Display als Okklusion auf der Fahrszene präsentiert.
- Display 3 Sekunden: Nebenaufgabe läuft auf dem Display, maximale Entscheidungsdauer beträgt 3 Sekunden
- Display 5: Sekunden: Nebenaufgabe läuft auf dem Display, maximale Entscheidungsdauer beträgt 5 Sekunden

Im Folgenden werden nur die Ergebnisse für die beiden Gruppen, bei denen die Darbietung der Nebenaufgabe auf dem Display erfolgt, dargestellt. Diese insgesamt 16 Fahrer werden zusammengenommen, da sich der Bedingungsunterschied nur auf die Phase vor der eigentlichen Nebenaufgabe bezieht. Die Ergebnisse der Okklusionsbedingung werden in dieser Arbeit nicht dargestellt (für eine Darstellung siehe Rauch et al., 2008). Die Baselinebedingung ohne Nebenaufgabe wird, wie bereits in Abschnitt 6.2.2.2 beschrieben, zur Überprüfung der Situationsabstufung sowie als Vergleichsbedingung bei der Bewertung von Fahrfehlern herangezogen.

### 6.4.3 Stichprobe und Versuchsablauf

Die Fahrer der Baselinebedingung sind im Mittel etwas älter als die, die die Strecke mit Nebenaufgabe befahren. Sechs Fahrer der Nebenaufgabenbedingung und zwei in der Baselinebedingungen sind Frauen.

*Tabelle 6-5: Altersverteilung der Stichprobe in Studie 1.*

Bedingung	min	max	m	sd
Baseline	28	52	36.50	9.12
Nebenaufgabe	23	45	31.06	7.04

Die Fahrleistung der Stichprobe in den letzten 12 Monaten variiert von 600 km bis 30.000 km (mean: 16.178 km; sd = 17.645 km). Je 21,9% der Stichprobe nutzen das Auto weniger als 1mal die Woche bzw. 1 bis 2mal die Woche, 15,6% 3 bis 5mal pro Woche und 40,6% täglich. Alle Fahrer entstammen dem Testfahrerpanel des WIVW, sind ausreichend in der Fahrsimulation trainiert und nehmen häufiger an Fahrversuchen teil.

Nach der Begrüßung erhalten die Fahrer eine schriftliche Beschreibung der Nebenaufgabe. Vor der eigentlichen Fahrt machen sich die Fahrer in einer Übungsphase

mit der Nebenaufgabe im Stand und während der Fahrt vertraut. Während dieser Übungsphase wird das Profil für die Blickbewegungsmessung erstellt. Anschließend werden die Fahrer schriftlich für die eigentliche Versuchsfahrt instruiert. Die gesamte Versuchsstrecke ist in zwei ca. 45-minütige Fahrten unterteilt. Die Fahrer haben zwischen den beiden Fahrten die Möglichkeit, eine Pause zu machen. Die Instruktionen für die Übung sowie für die Versuchsfahrt sind beispielhaft für die Bedingung „Display 3 Sekunden“ im Anhang abgebildet. Nach Beendigung des zweiten Versuchsteils beantworten die Fahrer einige Fragebögen über ihre Einstellung zu Nebenaufgaben beim Fahren. Die Fragebögen und die dazugehörigen Ergebnisse sind in den Arbeiten zu Situationsbewusstsein beim Fahren näher dargestellt (Rauch et al., 2008; Rauch, 2009).

#### 6.4.4 Weiterführende Auswertung der Blickdaten

In den Phasen der Nebenaufgabenbearbeitung findet ein Wechsel zwischen Blicken auf die Nebenaufgabe (Displayblicke) und auf die Straße gerichteten Blicken statt. (für ein Beispiel siehe Abbildung 6-9).

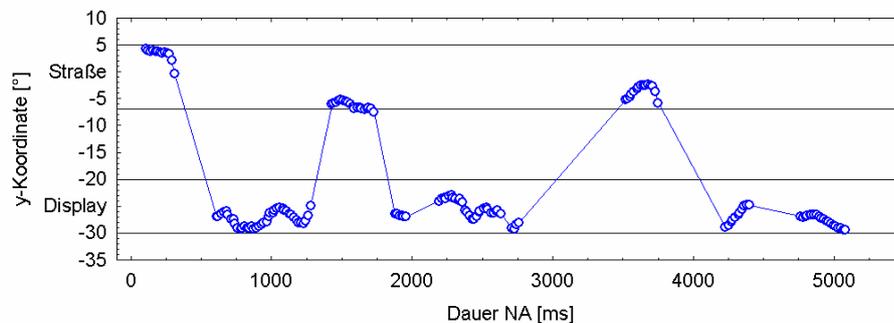


Abbildung 6-9: Beispiel für das Blickmuster während der Bearbeitung der Nebenaufgabe. Dargestellt ist der Wechsel zwischen Display- und Straßenblicken über die Zeit.

Die Zuordnung der einzelnen Fixationen zu den Areas of Interest Display vs. Straße erfolgt mittels Clusterung der Daten. Da während der Bearbeitung der Nebenaufgabe das Blickfeld auf der Straße eingeschränkt ist, lassen sich die beiden Bereiche bei allen Probanden gut unterscheiden (für ein Beispiel siehe Abbildung 6-10).

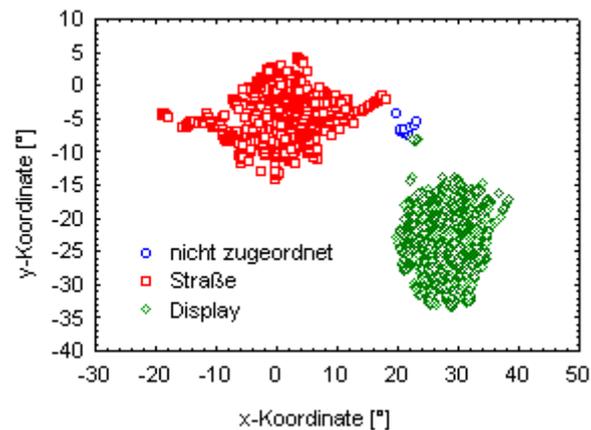


Abbildung 6-10: Beispiel für die räumliche Verteilung der Straßen- und Displayblicke für einen Probanden. Die Darstellung fasst alle während einer Fahrt bearbeiteten Nebenaufgaben zusammen.

Alle Auswertungen des Blickverhaltens während der Nebenaufgabe basieren auf den während der Nebenaufgabenbearbeitung durchgeführten Straßenblicken. Aus den detektierten Fixationen werden pro Nebenaufgabe die folgenden Parameter berechnet:

- $sd(x)$  und  $sd(y)$  [°]: Standardabweichung der Blickpunkte in x- und y-Richtung. Maß für die Größe des Blickfeldes;
- $m(x)$  [°]: Mittelwert des Blickpunkts in x-Richtung. Maß für die Ausrichtung des Blicks in x-Richtung;
- $m(\text{Dauer})$  [ms]: Mittelwert der Fixationsdauern;
- Anzahl Straßenblicke: Anzahl während einer Nebenaufgabe durchgeführter Straßenblicke
- Abstand [s]: mittlere Abstand zwischen Straßenblicken; der Parameter entspricht inhaltlich der Dauer der Displayblicke, wird aber aus Gründen der Messstabilität aus den detektierten Straßenblicken abgeleitet.
- Anteil Straßenblicke [%]: Anteil Straßenblicke an der Bediendauer ((mittlere Dauer Straßenblick \* Anzahl Straßenblicke) / Bediendauer);

Aufgrund schlechter Datenqualität wird einer der insgesamt 16 Testfahrer aus der Auswertung der Blickdaten ausgeschlossen.

### 6.4.5 Überblick über die ausgewerteten Parameter

Tabelle 6-6 zeigt die in Studie 1 ausgewerteten und in den vorangegangenen Abschnitten bereits beschriebenen Parameter noch einmal im Überblick.

*Tabelle 6-6: Überblick über die in Studie 1 ausgewerteten Parameter.*

Parametergruppe	Parameter	Einheit	Beschreibung
Nebenaufgabe	Anteil ausgelassener Aufgaben	%	Anteil der Aufgaben, deren Bearbeitung die Fahrer ablehnen. Als Grundgesamtheit werden alle in der entsprechenden Bedingung angebotenen Aufgaben herangezogen.
	Entscheidungsdauer	s	Zeit zwischen Beginn des Aufgabenangebots und erster Bedieneingabe des Fahrers (=Annehmen der Aufgabe)
	Bediendauer	s	Gesamtdauer der Nebenaufgabenbearbeitung. Die Bediendauer umfasst sowohl Straßen- als auch Displayblicke
Blickverhalten	sd(x)	°	Standardabweichung der Blickpunkte in x-Richtung. Dieser Parameter beschreibt die Größe des Blickfeldes in einem bestimmten Zeitraum.
	sd(y)	°	Standardabweichung der Blickpunkte in y-Richtung. Dieser Parameter beschreibt die Größe des Blickfeldes in einem bestimmten Zeitraum.
	m(x)	°	Mittelwert des Blickpunkts in x-Richtung. Maß für die Ausrichtung des Blicks in x-Richtung.
	m(Dauer)	ms	Mittelwert der Fixationsdauern. Dieser Parameter sollte beim Fahren immer in Kombination mit der Größe des Blickfeldes interpretiert werden.
	Anzahl Straßenblicke	N	Anzahl während einer Nebenaufgabe durchgeführter Straßenblicke
	Abstand	s	Abstand zwischen 2 Straßenblicken. Der Parameter entspricht inhaltlich der Dauer der Displayblicke.
	Anteil Straßenblicke	%	Zeitanteil während der Bedienung einer Nebenaufgabe, der auf Straßenblicke entfällt.
Fahrverhalten	Anteil Kollisionen	%	Anteil Situationen, in denen es zu einer Kollision kommt.

## 6.4.6 Ergebnisse Studie 1

### 6.4.6.1 Einfluss der Faktoren Kritikalität und Phase der Nebenaufgabe

Die Anforderungen der Fahrsituation, d.h. die Situationskritikalität, beeinflussen die Bereitschaft der Fahrer, sich Nebenaufgaben zuzuwenden. Insgesamt werden im Schnitt 22.9% der N=108 Aufgaben ausgelassen. Der Anteil Auslassungen ist in kritischen deutlich höher als in unkritischen Situationen ( $F(1,15) = 27.53, p < 0.001$ ).

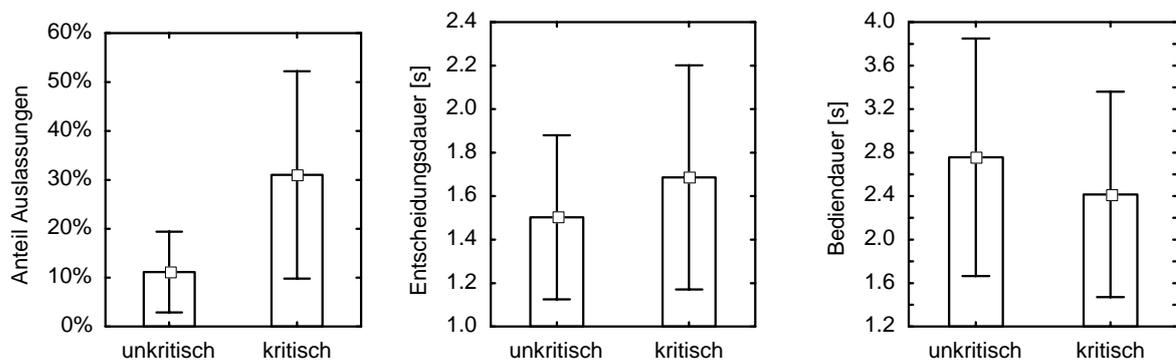


Abbildung 6-11: Einfluss Situationskritikalität auf Anteil Auslassungen (links), Entscheidungs- (Mitte)- und Bediendauer (rechts).

Insgesamt wird vor kritischen Situationen länger mit dem Beginn der Aufgabe gewartet als vor unkritischen (Entscheidungsdauer:  $F(1,15) = 8.64, p = 0.010$ ). Nimmt der Fahrer eine Aufgabe an, wird sie im Mittel 2.6 Sekunden lang bearbeitet ( $sd=1.45$  s). Zwei Drittel der Aufgaben werden dabei über 1.5 Sekunden lang bedient, ca. 30% sogar länger als 3 Sekunden, 13.5% bis zum Maximum von 5 Sekunden. Auch bei der Bearbeitungsdauer lässt sich ein signifikanter Einfluss der Situationskritikalität nachweisen ( $F(1,15) = 13.73, p = 0.002$ ).

Für die Parameter des Blickverhaltens  $sd(x)$ ,  $sd(y)$  und  $m(\text{Dauer})$  wird der Einfluss der Faktoren „Phase der Nebenaufgabe“ und Kritikalität geprüft. Für alle drei Parameter ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt der Phase ( $sd(x): F(2,28) = 259.81, p < 0.001$ ;  $sd(y): F(2,28) = 95.73, p < 0.001$ ;  $m(\text{Dauer}): F(2,28) = 54.15, p < 0.001$ ). Der Haupteffekt „Phase der Nebenaufgabe“ beruht auf einer deutlichen Verkleinerung des Blickfeldes in x- und y-Richtung über die drei Phasen hinweg. Post-Hoc-Tests zeigen, dass sich für beide Richtungen alle drei Phasen signifikant unterscheiden ( $sd(x)$  &  $sd(y)$ : alle  $p < 0.05$ ). Im Vergleich zur Phase „zwischen“ ändert sich die gemessene mittlere Fixationsdauer in der Entscheidungsphase und während der Nebenaufgabe. Die Verkleinerung des Blickfeldes während der Entscheidungsphase geht mit einer Verlängerung der Fixationsdauern einher ( $p < 0.001$ ). Während der Nebenaufgabe findet sich dagegen zusätzlich zum verkleinerten Blickfeld eine deutliche Verringerung der Fixationsdauern ( $p < 0.001$ ).

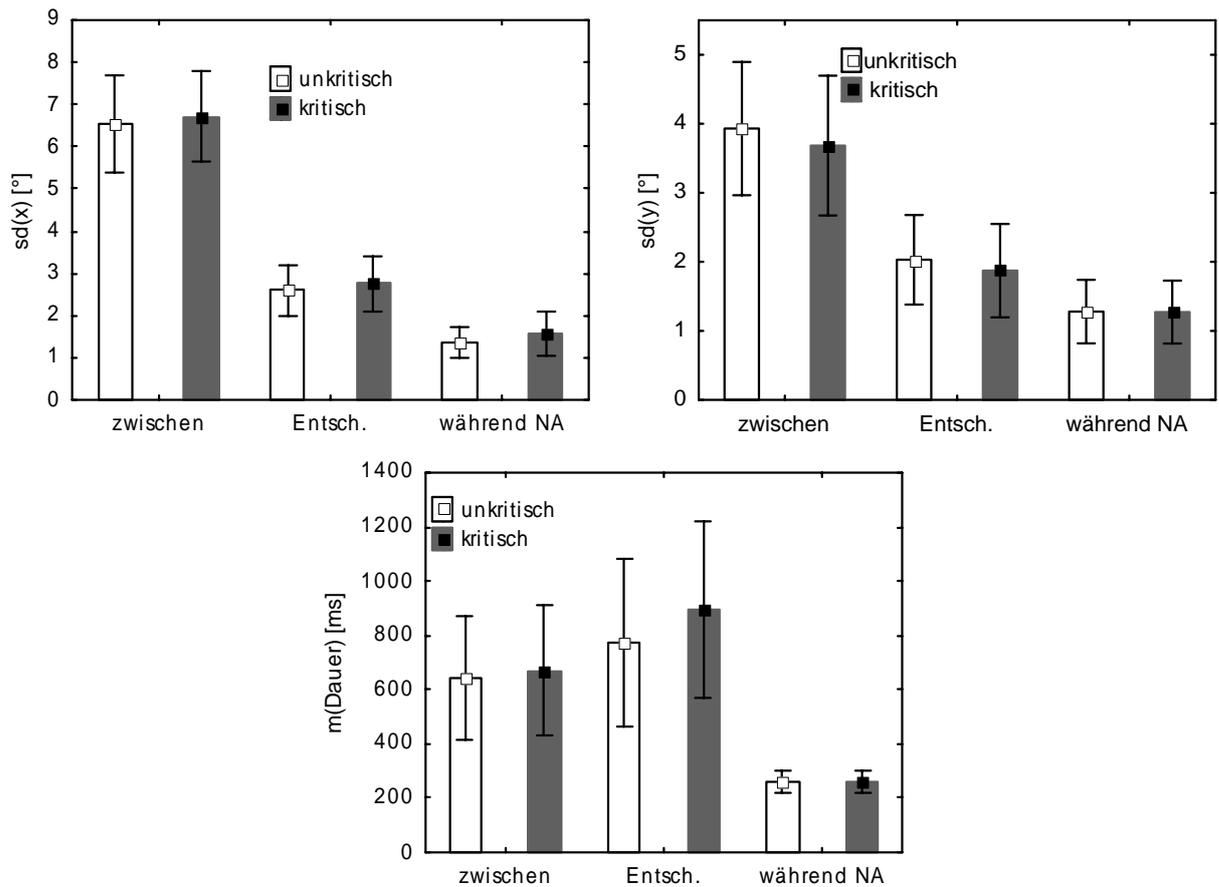


Abbildung 6-12: Einfluss der Situationskritikalität auf das Blickverhalten in den Phasen der Nebenaufgabe. Dargestellt sind die Parameter Standardabweichung in x-Richtung (oben links), Standardabweichung in y-Richtung (oben rechts) und mittlere Fixationsdauer (unten).

Abbildung 6-13 verdeutlicht an zwei Fahrern wie die Veränderung des Blickfeldes in den drei Phasen aussehen kann. Dargestellt ist das während der Fahrt abgedeckte visuelle Feld. Zu beachten ist, dass die roten die blauen und die grünen wiederum die roten Punkte überlagern. Der grüne Bereich rechts unten markiert den Bereich in dem sich der Display mit der Nebenaufgabe befindet.

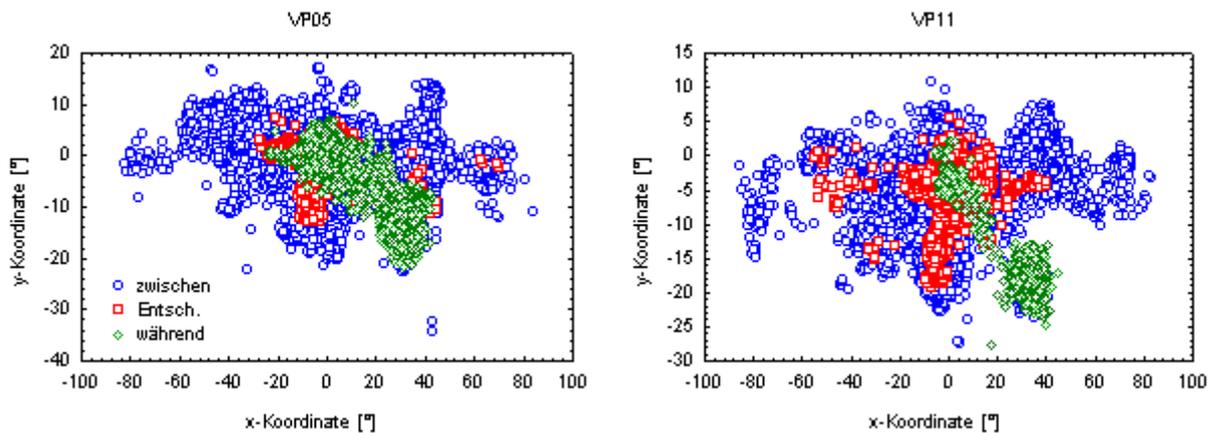


Abbildung 6-13: Beispiele für die Veränderung des Blickfelds in der Entscheidungsphase (rot) und während der Nebenaufgabe (grün) im Vergleich zum freien Fahren (blau).

Die Analyse des Blickverhaltens in den verschiedenen Phasen der Nebenaufgabe zeigt somit eine deutliche Veränderung der Aufmerksamkeitsverteilung während der beiden Phasen der Nebenaufgabe. In der Entscheidungsphase kommt es zu einer Verkleinerung des Blickfeldes sowie zu einer Verlängerung der Fixationsdauern. Während der Nebenaufgabe verkleinert sich das Blickfeld weiter und gleichzeitig sind die auf die Straße gerichteten Fixationen deutlich verkürzt. Auffällig sind die extrem kurzen Fixationsdauern von rund 250 ms während der Nebenaufgabe. Diese Dauern liegen deutlich unter den in der Literatur berichteten Dauern und sind auf die Gestaltung der Nebenaufgabe zurückzuführen. Durch die externe Steuerung mit Taktzeiten von 500 ms haben die Fahrer keine Möglichkeit, länger auf die Straße zu blicken, ohne dass es zu Fehlern in der Nebenaufgabe kommt.

Außer der Phase der Nebenaufgabe nimmt die Kritikalität der Situation Einfluss auf das Blickverhalten: in kritischen Situationen ist die Standardabweichung in x-Richtung größer ( $F(1,14) = 6.03$ ,  $p = 0.028$ ), in y-Richtung kleiner ( $F(1,14) = 7.82$ ,  $p = 0.015$ ) als in unkritischen Situationen. Für  $sd(y)$  ergibt sich außerdem noch eine signifikante Wechselwirkung ( $F(2,28) = 3.41$ ,  $p = 0.047$ ). Die Wechselwirkung beruht darauf, dass sich nur in der Phase „zwischen“, also nicht während den eigentlichen Phasen der Nebenaufgabe, kritische von unkritischen Situationen unterscheiden. Insgesamt ist die Auswirkung der Kritikalität auf die Größe des Blickfeldes gering: der Unterschied in der Standardabweichung beträgt in beide Richtungen nur rund  $0.15^\circ$ .

Bei der Interpretation der Auswirkung der Situationskritikalität auf die Größe des Blickfeldes müssen die Unterschiede zwischen kritischen und unkritischen Situationen im Aufbau der visuellen Szene berücksichtigt werden. Häufig entsteht die Kritikalität durch einen Reiz, der sich entweder von rechts nach links bewegt (Fußgänger überquert Straße) oder sich am Fahrbahnrand befindet (Fahrzeug parkt aus, Pannenfahrzeug). Auch Kurven im nahen Streckenverlauf führen zu einer Erweiterung der relevanten visuellen Szene in x- sowie – da oft der weiter entfernte Streckenverlauf verdeckt wird - zu einer Verkleinerung in y-Richtung. Die Erweiterung des Blickfeldes in x-Richtung zeigt, dass die Fahrer ihr Blickverhalten an diese situativen Gegebenheiten anpassen. Die Existenz eines relevanten Reizes in relativer Nähe zum

eigenen Fahrzeug führt gleichzeitig dazu, dass das Blickfeld in y-Richtung verkleinert wird.

Für die Fixationsdauern ergibt sich zusätzlich zu den beiden Haupteffekten (Einfluss Kritikalität:  $F(1,14) = 4.63$ ,  $p = 0.049$ ; Einfluss Phase:  $F(2,28) = 54.15$ ,  $p < 0.001$ ) eine tendenziell signifikante Wechselwirkung Phase\*Kritikalität ( $F(2,28) = 2.42$ ,  $p = 0.107$ ): Nachtests zeigen, dass es der Einfluss der Kritikalität überwiegend auf der Entscheidungsphase beruht. In kritischen Situationen sind hier die Fixationsdauern rund 120 ms länger als in unkritischen, während der Nebenaufgabe beträgt der Unterschied nur noch rund 5 ms.

#### 6.4.6.2 Aufteilung der Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabe

Trotz der extern getakteten Nebenaufgabe, die nur in einem sehr eingeschränktem Rahmen Straßenblicke während der Nebenaufgabe erlaubt, konnten diese bei allen Fahrern beobachtet werden. Eine detaillierte Analyse der Straßenblicke zeigt in Übereinstimmung mit den in der Literatur berichteten Ergebnissen einen Einfluss der Aufgabendauer auf die Anzahl der Straßenblicke. Für die Darstellung dieses Einflusses werden die bearbeiteten Nebenaufgaben anhand ihrer Dauer kategorisiert.

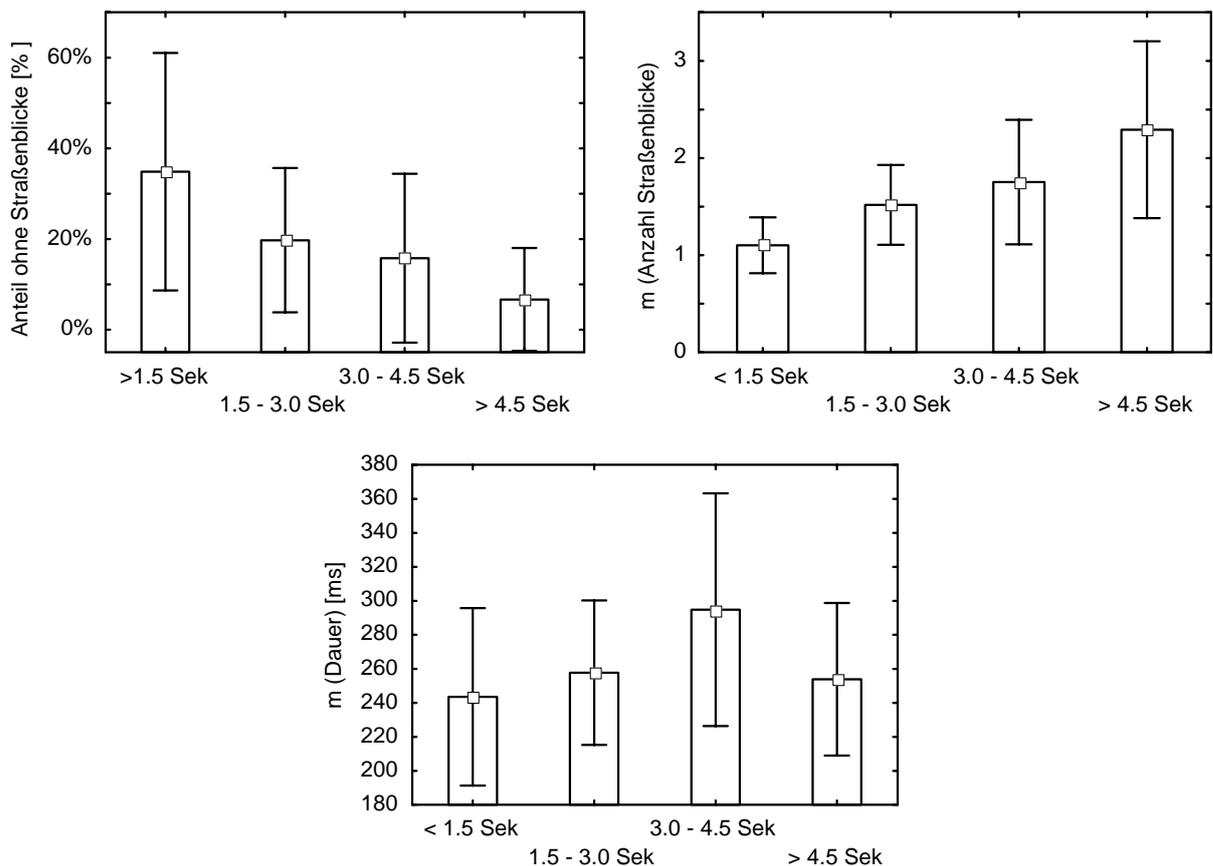
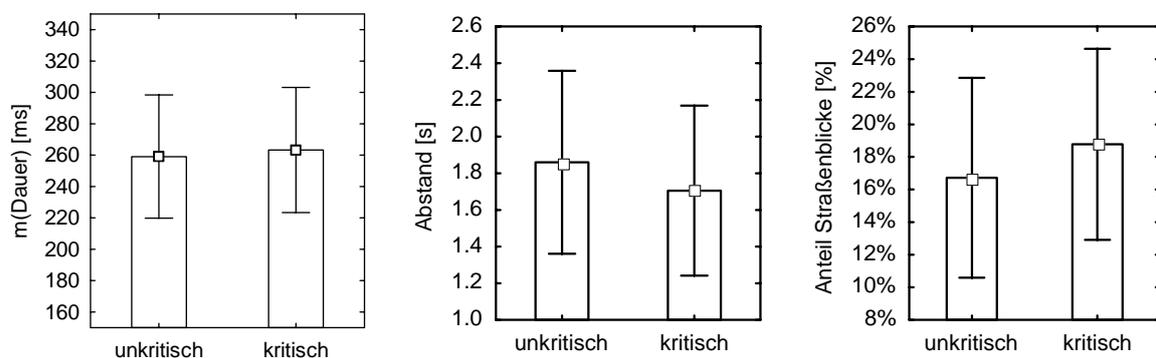


Abbildung 6-14: Einfluss der Dauer der Nebenaufgabe auf den Anteil von Nebenaufgaben ohne Straßenblicke, die mittlere Anzahl Straßenblicke pro Nebenaufgabe und die mittlere Dauer der Straßenblicke.

Eine steigende Dauer der Nebenaufgabe geht mit einer steigenden Anzahl von Straßenblicken ( $F(3,36) = 21.27, p < 0.001$ ) einher. Gleichzeitig sinkt der Anteil von Nebenaufgaben, in denen überhaupt keine Straßenblicke zu beobachten sind ( $F(3,39) = 11.56, p < 0.001$ ). Die mittlere Dauer der Straßenblicke ist dagegen relativ unabhängig von der Bediendauer. Der signifikante Einfluss der Nebenaufgabendauer ( $F(3,36) = 4.42, p = 0.010$ ) beruht auf einer signifikanten Erhöhung in der Kategorie 3.0-4.5 Sekunden ( $p = 0.047$ ) von 252 auf 295 ms.

Zur Analyse eines möglichen Situationseinflusses auf die Straßenblicke werden die Daten um den Einfluss der Bediendauer bereinigt. Es werden die Dauer der Straßenblicke, der Abstand zwischen zwei Straßenblicken und Anteil der Straßenblicke an der Bediendauer ausgewertet. Abbildung 6-15 zeigt den Unterschied zwischen kritischen und unkritischen Situationen in den beiden Parametern.



**Abbildung 6-15: Einfluss der Situationskritikalität auf die Parameter mittlere Fixationsdauer, Anteil Straßenblicke an der Bediendauer und Abstand zwischen Straßenblicken.**

Tendenziell ist der Abstand zwischen zwei Straßenblicken in kritischen Situationen verringert ( $F(1,14) = 4.07, p = 0.063$ ). Für den Anteil der Straßenblicke an der Bediendauer gibt es einen signifikanten Anstieg in kritischen Situationen ( $F(1,14) = 6.48, p = 0.023$ ). In kritischen Situationen blicken Fahrer im Mittel rund 19%, in unkritischen nur 17% der Zeit auf die Straße. Für die mittlere Fixationsdauer ergibt sich kein signifikanter Einfluss der Situationskritikalität.

#### 6.4.6.3 Zusammenhang Fahrfehler und Aufmerksamkeit

Einige der definierten kritischen Situationen sind so schwierig, dass es sowohl in der Baselinebedingung als auch in den Fahrten mit Nebenaufgabe bei einigen Fahrern zu Kollisionen kommt. Es handelt sich dabei um die Situationen Ausparker, Panne und Fremder. In die folgende Analyse gehen deswegen nur diese drei Situationen jeweils in allen drei Schwierigkeitsabstufungen ein.

Abbildung 6-16 links zeigt einen signifikanten Anstieg ( $X^2 = 4.239$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.040$ ) der Kollisionshäufigkeit bei Bearbeitung der Nebenaufgabe im Vergleich zur Baseline.

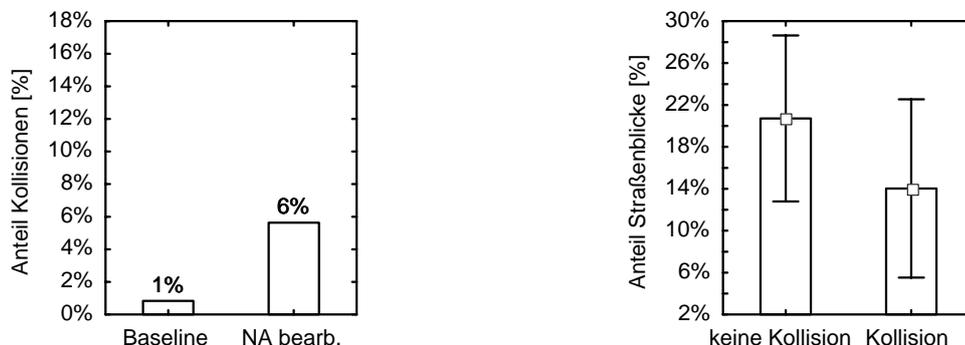


Abbildung 6-16: Anstieg Kollisionshäufigkeit durch die Bearbeitung der Nebenaufgabe (links); Anteil Straßenblicke während der Nebenaufgabe in Situationen mit vs. ohne Kollision (rechts).

In Abbildung 6-16 rechts wird das Blickverhalten in Situationen, in denen die Nebenaufgabe bearbeitet und keine Kollision verursacht wird, mit den Situationen verglichen, in denen es bei Bearbeitung der Nebenaufgabe zu einer Kollision kommt. Da abhängig ausgewertet wird, gehen nur Fahrer in die ANOVA mit ein, bei denen beide Fälle mindestens einmal auftreten ( $N = 7$ ). Grafisch lässt sich in Situationen, in denen es zu einer Kollision kommt, ein geringerer Anteil Straßenblicke erkennen als in vergleichbar kritischen Situationen, die ohne Kollision gemeistert werden. Dieser Unterschied wird allerdings statistisch nicht signifikant.

Um zu prüfen, ob Fahrfehler mit einer falschen Ausrichtung der Aufmerksamkeit in Zusammenhang stehen, muss eine situationsbezogene Auswertung durchgeführt werden. Nur wenn man ausreichend Wissen über die jeweilige Fahrsituation hat, kann die Angemessenheit der Blickorte beurteilt werden. Für diese Analyse sind nicht alle Situationen geeignet. Da die Blickbewegungsmessung nur eine begrenzte räumliche Auflösung aufweist, ist eine situationsbezogene Analyse der Blickorte in Situationen, in denen sich der relevante Reiz auf der eigenen Spur und damit in dem beim Fahren unabhängig von der Situation besonders relevante Szeneausschnitt befindet, nicht möglich. Für eine Analyse des Blickortes bietet sich die schwierige Variante der Situation Ausparker an. In dieser Situation parkt ein Fahrzeug am rechten Fahrbahnrand. Dieses blinkt und fährt dann knapp vor dem Fahrer heraus und nimmt diesem dabei die Vorfahrt. Um eine Kollision zu verhindern, muss der Fahrer bremsen oder ausweichen.

Bevor die Ausrichtung der Straßenblicke analysiert wird, zeigt Abbildung 6-17 die mittlere Fixationsdauer und den Anteil der Straßenblicke an der Bediendauer in der Situation Ausparker. Fahrer die in dieser Situation eine Kollision verursachen, werden mit den Fahrern verglichen, die die Situation trotz Nebenaufgabe ohne Kollision bewältigen.

Grafisch lassen sich für die Fahrer mit Kollisionen sowohl geringere mittlere Fixationsdauern als auch ein geringere Anteil Straßenblicke erkennen. Der Unterschied wird für den Parameter Anteil Straßenblicke tendenziell signifikant

( $F(1,10) = 3.79$ ,  $p = 0.080$ ), für die mittlere Fixationsdauer ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen Kollision und keine Kollision.

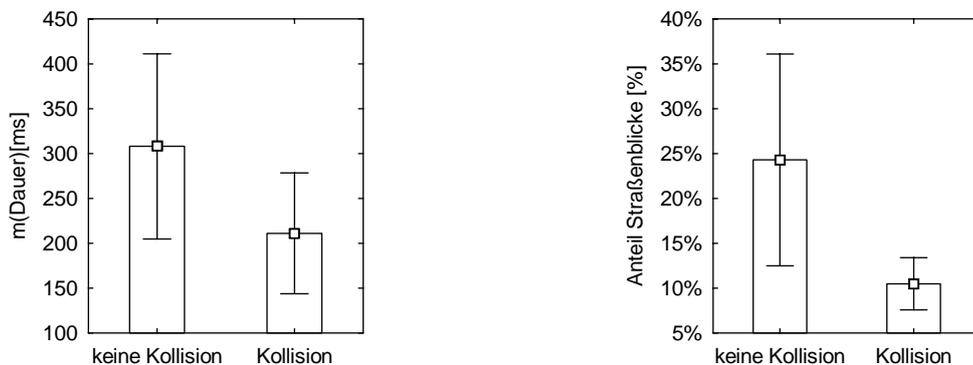


Abbildung 6-17: Mittlere Fixationsdauer (links) und Straßenblicke während der Nebenaufgabe (rechts) in der Situation „Ausparker“ mit vs. ohne Kollision).

Abbildung 6-18 vergleicht die Blickziele der Straßenblicke während der Nebenaufgabe von Fahrer, die die Situation bewältigen mit denen, die eine Kollision verursachen. Fahrer, die die Situation trotz Nebenaufgabe meistern, richten ihre Straßenblicke sowohl in der Entscheidungsphase ( $F(1,12) = 5.34$ ,  $p = 0.039$ ) als auch während der Nebenaufgabe ( $F(1,12) = 7.44$ ,  $p = 0.018$ ) weiter nach rechts. Dies ist die Straßenseite, auf der sich das blinkende Fahrzeug befindet.

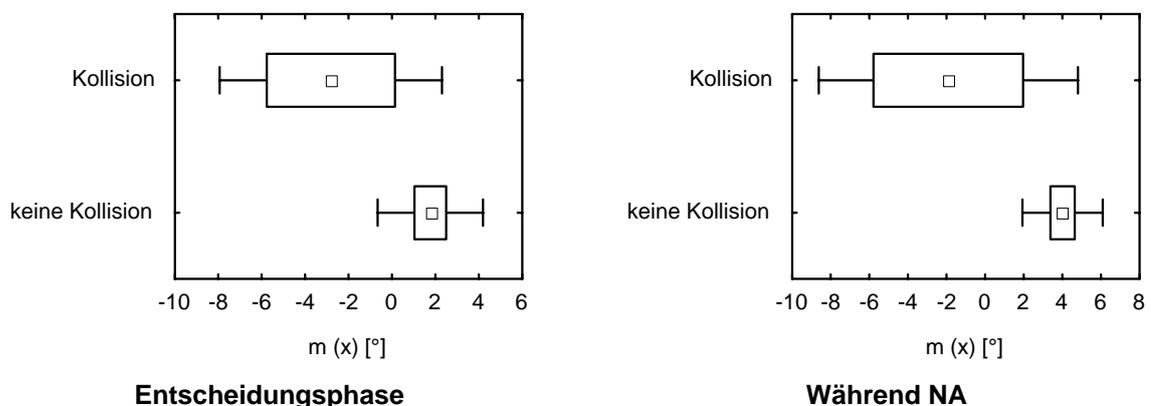


Abbildung 6-18: Mittlerer Blickort in x-Richtung in der Situation „Ausparker“ in der schweren Variante. Links Blickort in der Entscheidungsphase, rechts während der Nebenaufgabe.

Fehler in der Fahraufgabe stehen somit in der Situation „Ausparker“ nicht nur tendenziell mit einer fehlerhaften zeitlichen Aufteilung der Aufmerksamkeit auf die beiden Aufgaben in Verbindung. In einer für diese Auswertung geeigneten Situation lässt sich auch eine falsche Wahl des Blickzieles nachweisen. Bereits vor Beginn der Nebenaufgabe, in der Entscheidungsphase, zeigt sich die unangemessene räumliche Ausrichtung der Aufmerksamkeit.

### 6.4.7 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Tabelle 6-7 zeigt die wichtigsten Ergebnisse aus Studie 1 noch einmal im Überblick.

*Tabelle 6-7: Überblick über die wichtigsten Ergebnisse aus Studie 1. Signifikante Effekte sind mit einem X gekennzeichnet, Tendenzen mit (X).*

Faktor	Parameter				
	sd(x)	sd(y)	m(Dauer)	Anteil Straßen- blicke	m(x)
Phase	X	X	X		
Kritikalität				X	
Kollision					
Situation Ausparker: Entscheidungsphase					X
Situation Ausparker: während NA				(x)	X

Die Auswertung des Blickverhaltens in den verschiedenen Phasen der Nebenaufgabe zeigt sowohl für die Entscheidungsphase als auch für die Phase während der Nebenaufgabenbearbeitung eine deutliche Veränderung im Vergleich zum freien Fahren.

- Entscheidungsphase: Das Blickfeld verkleinert sich, während sich gleichzeitig die Fixationsdauern erhöhen. Dieser Befund ähnelt Ergebnissen aus dem Bereich der Gefahrenwahrnehmung.
- Während der Nebenaufgabenbearbeitung: Das Blickfeld verkleinert sich weiter. Diesmal verringern sich parallel auch die Fixationsdauern deutlich.

Studien zur Gefahrenwahrnehmung (Hazard Perception) berichten beim Auftreten von Gefahren eine Verkleinerung des Blickfeldes sowie eine Verlängerung der Fixationsdauern (Velichkovsky, Rothert et al., 2002; Chapman u. Underwood, 1998; Underwood et al., 2005). Diese Veränderungen werden auf eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen eingeschränkten Bereich der Fahrszene, im Fall der Gefahrenwahrnehmung auf das gefährliche Objekt, zurückgeführt. Analog zu den Ergebnissen auf dem Gebiet der Gefahrenwahrnehmung lassen sich die Verkleinerung des Blickfeldes sowie die Verlängerung der Fixationsdauern in der Entscheidungsphase ebenfalls als eine Konzentration der visuellen Aufmerksamkeit auf relevante Bereiche der Fahrszene interpretieren. Ein kleinerer Bereich der visuellen Szene wird tiefer verarbeitet. Für diese Interpretation spricht auch, dass in der Entscheidungsphase in kritischen Situationen die Fixationsdauern tendenziell länger sind als in unkritischen Situationen. Je komplexer die Situation ist, desto stärker muss der Fahrer vor Beginn der Nebenaufgabe auf die Fahrsituation fokussieren.

Während der Nebenaufgabe kommt es dann nur noch zu einer eingeschränkten visuellen Verarbeitung der Fahrszene: ein kleiner Bereich wird nur noch mit kurzen Blicken fixiert, dann geht die Aufmerksamkeit wieder zurück zur Nebenaufgabe. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass die gewählte Nebenaufgabe Blicke zur Straße nur in einem sehr beschränkten Ausmaß zulässt. Durch die externe Taktung mit einem Wechsel der dargestellten Information alle 500 ms, können die Fahrer den

Blick nur sehr kurz von der Nebenaufgabe abwenden, ohne Information in der Nebenaufgabe zu verpassen. Dies führt dazu, dass die gemessenen Blickdauern und der Anteil Straßenblicke an der Bediendauer im Vergleich zu in der Literatur berichteten Werten deutlich verringert sind. Bemerkenswert ist allerdings, dass die Fahrer trotz ihrer stark eingeschränkten Möglichkeit zur visuellen Kontrolle der Fahrszene bereit sind, auch in komplexen bzw. kritischen Fahrsituationen (wie beispielsweise Innerortsituationen mit Fußgängern und anderen Fahrzeugen) Nebenaufgaben zu bearbeiten.

Den stärksten Einfluss auf das Blickverhalten während der Nebenaufgabe geht in Übereinstimmung mit Ergebnissen in der Literatur von der Aufgabendauer aus. Je länger die Aufgabe bearbeitet wird, desto mehr Straßenblicke werden durchgeführt. Der mittlere Abstand zwischen den Straßenblicken von ca. 1.6 Sekunden liegt im Bereich der maximal akzeptierten Okklusionsdauern. Dies gilt sowohl für die in der Literatur berichteten Werte (vgl. Abschnitt 3.1.4) als auch für die in der Bedingung Okklusion gemessenen Zeiten (diese Bedingung wird hier nicht berichtet, für eine Darstellung der Ergebnisse siehe Rauch et al., 2008). Bereinigt man die Daten um den Einfluss der Nebenaufgabendauer, indem man den Anteil der Straßenblicke an der Gesamtbediendauer bestimmt, zeigt sich ein Einfluss der Situationskritikalität: in kritischen Situationen wird mehr auf die Straße geblickt als in unkritischen. Dass es sich bei dem beobachteten Wechsel des Blicks zwischen Nebenaufgabe und Straße wahrscheinlich nicht - wie von Wierwille (1993) vermutet - um ein ausschließlich durch einen rein zeitlich festgelegten, internen Druck ausgelöstes Verschieben der Aufmerksamkeit zurück zur Fahrszene handelt, zeigt sich an den, wenn auch wenigen Nebenaufgaben, die länger als 4.5 Sekunden bearbeitet werden und während denen dennoch keine Straßenblicke auftreten. Bei diesen Aufgaben handelt es sich in erster Linie um Nebenaufgaben, die in Situationen bearbeitet werden, in denen der Fahrer nur noch sehr langsam fährt bzw. teilweise steht und die weitere Situationsentwicklung abwartet (beispielsweise bei Anfahrten an rote Ampeln oder während ein Fußgänger die Straße überquert). Dies sind Situationen, in denen die Fahraufgabe so wenig Aufmerksamkeit erfordert, dass sich die Fahrer kurzzeitig ausschließlich der Nebenaufgabe zuwenden können.

Der Einfluss der Situationskritikalität auf den Anteil der Straßenblicke an der Bediendauer bestätigt die Hypothese, dass Fahrer in Abhängigkeit der Anforderungen in der Fahraufgabe die Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe verteilen. Der Einfluss der Situationskritikalität zeigt sich nur im Parameter Anteil Straßenblicke. Dieser Parameter kombiniert Veränderungen der Blickhäufigkeit und der Blickdauer. Der beobachtete Anteil von Straßenblicken an der Bediendauer liegt insgesamt etwas unter 20% und damit unter den in der Literatur berichteten Werten. Dieser Unterschied zu anderen Untersuchungen ist auf die Art der Nebenaufgabe zurück zu führen. Die in der vorliegenden Untersuchung verwendete Nebenaufgabe bietet wie bereits erwähnt, nur wenige Möglichkeiten den Blick zur Straße zurückzuwenden. Dennoch nimmt die Fahrsituation Einfluss auf die Steuerung der visuellen Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabe. Obwohl der Unterschied zwischen kritischen und unkritischen Situationen nur rund 2% der Bearbeitungszeit beträgt, hat dieses Ergebnis inhaltliche Bedeutung. Durch die Gestaltung der Nebenaufgabe sind die Fahrer in ihren Möglichkeiten stark eingeschränkt, die Aufmerksamkeit situationsangepasst auf Fahr- und Nebenaufgabe zu verteilen. Unter diesen Umständen kommt auch einem

kleinen, aber systematischen Situationseinfluss inhaltliche Bedeutung zu. Bei einer anderen, vom Fahrer selbst gesteuerten Nebenaufgabe ist ein wesentlich deutlicherer Situationseinfluss zu erwarten.

Ein unzureichendes Bewältigen der Fahraufgabe steht in der Situation Ausparker in Zusammenhang mit einer fehlenden bzw. falschen Anpassung des Blickverhaltens. In Situationen, in denen es zu Kollisionen kommt, blicken die Fahrer während der Nebenaufgabenbearbeitung tendenziell weniger auf die Straße als in vergleichbaren Situationen der Fall ist, die die Fahrer trotz Ablenkung fehlerfrei bewältigen. Außerdem zeigt sich, dass die Straßenblicke auch auf einen falschen Bereich der Fahrscene gerichtet werden. Bereits in der Entscheidungsphase findet sich diese falsche Ausrichtung. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die fehlerhafte Bewertung der Situation bereits vor der Nebenaufgabe beginnt und dann während der Nebenaufgabe fortgeführt wird.

Insgesamt deutet sich eine wichtige Funktion der Entscheidungsphase für die Aufmerksamkeitssteuerung während der Nebenaufgabe an. Die Fahrer nutzen die ihnen zur Verfügung stehende Entscheidungszeit, um relevante Bereiche der Fahrsituation intensiv zu beobachten. Das dabei entwickelte Situationsmodell entscheidet über die Aufteilung und Ausrichtung der Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabenbearbeitung. Kommt es in der Entscheidungsphase zu einer fehlerhaften Situationsbewertung, beeinflusst diese die Ausrichtung und Aufteilung der Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabe u. U. negativ und kann dann auch, wie in der Situation „Ausparker“ geschehen, in der Folge zu Fahrfehlern führen. Ist die Vermutung über die während der Entscheidungsphase stattfindenden Prozesse richtig, sollte in dieser Phase die Änderung des Blickverhaltens im Vergleich zum freien Fahren unabhängig von der Art der anschließend bearbeiteten Nebenaufgabe sein: Es ist anzunehmen, dass unabhängig von den Eigenschaften der Nebenaufgabe die Situation vor Beginn der Nebenaufgabe bewertet werden muss, um dann, basierend auf der Situationseinschätzung die Aufmerksamkeit situationsangepasst auf Fahr- und Nebenaufgabe verteilen zu können.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die gewählte, extern getaktete Nebenaufgabe und die Bindung der Aufgabenangebote an bestimmte Fahrsituationen es erlauben, den Einfluss der Fahrsituation auf die Aufteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe zu untersuchen. Durch die enge zeitliche Vorgabe, wann die Nebenaufgabe bearbeitet werden muss, ist eine klare Bindung von Ablenkung an definierte Fahrsituationen möglich. Die externe Taktung der Nebenaufgabe hat aber gleichzeitig den Nachteil, dass eine situationsangepasste Aufteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe nur sehr eingeschränkt möglich ist. Die wahre Größe der Anpassungsprozesse lässt sich deswegen mit der in Studie 1 gewählten Nebenaufgabe nicht untersuchen. Hierfür ist eine realistischere, vom Fahrer selbst getaktete und unterbrechbare Nebenaufgabe nötig.

Dass die Fahrer die Nebenaufgabe in unpassend erscheinenden Situationen ablehnen können, führt dazu dass die ganze Fahraufgabe realistischer wird. Auch im Realverkehr entscheidet der Fahrer in der Regel selbst, ob und wann er sich mit Nebenaufgaben befassen möchte. Gleichzeitig erhält durch das Einführen dieser Entscheidungsmöglichkeit die Entscheidungsphase eine spezifische Bedeutung und ist mit spezifischen, auch in der Realität relevanten Aufmerksamkeits- und Bewertungs-

prozessen verbunden. Methodisch hat die Möglichkeit Aufgaben abzulehnen den Nachteil, dass in unterschiedlichen Situationen unterschiedliche Zellbesetzungen resultieren. Dies erschwert die Auswertung des Verhaltens während der Nebenaufgabenbearbeitung. Da die Entscheidungsmöglichkeit allerdings von zentraler Bedeutung für die untersuchten Prozesse ist, sollte sie trotz der mit ihr verbundenen methodischen Probleme auch in weiteren Studien den Fahrern eingeräumt werden.

## **6.5 Studie 2: Selbstgesteuerte Nebenaufgabe**

### **6.5.1 Hintergrund von Studie 2**

Ein Problem bei der Übertragung der Ergebnisse aus Studie 1 auf das Fahren im Realverkehr ist die Gestaltung der dort verwendeten Nebenaufgabe. Um in Studie 1 möglichst kontrollierte Anforderungen durch die Nebenaufgabe und eine klare Zuordnung zwischen Fahrsituation und Nebenaufgabe zu erhalten, wurden alle Anforderungen die an die Gestaltung von Fahrerinformationssystemen gestellt werden, außer Acht gelassen. Die untersuchte Nebenaufgabe war insbesondere von den Fahrern nicht selbst, sondern extern getaktet und sie ließ sich auch nicht unterbrechen. Jede Unterbrechung war mit einem Abbruch der Nebenaufgabe verbunden.

Ziel von Studie 2 ist die Überprüfung der in Studie 1 gefundenen Zusammenhänge anhand einer realistischeren Nebenaufgabe. Es wird das Versuchsdesign und die Strecke aus Studie 1 unverändert übernommen, die Fahrer bearbeiten nun aber eine Nebenaufgabe, die stärker an reale Fahrerinformationssysteme angelehnt ist. In Anlehnung an Gestaltungsempfehlungen für Fahrerinformationssysteme ist die Nebenaufgabe in Studie 2 vom Fahrer jederzeit unterbrechbar und in ihrem zeitlichen Ablauf nur von den Eingaben des Fahrers abhängig.

Hintergrund der Gestaltungsrichtlinien für Fahrerinformationssysteme ist die Annahme, dass durch die Unterbrechbarkeit und die vom Fahrer frei gewählte zeitliche Taktung von Nebenaufgaben die Fahrsicherheit erhöht wird. Dem Fahrer wird ermöglicht, seine Aufmerksamkeit optimal zwischen den beiden Aufgaben zu verteilen und sich nur dann der Nebenaufgabe zuzuwenden, wenn die Fahrsituation es erlaubt. Dies bedeutet in der vorliegenden Untersuchungsanordnung, dass die Fahrer die größere Freiheit einer solchen Nebenaufgabe nutzen sollten, um ihre Aufmerksamkeit optimal auf Fahr- und Nebenaufgabe zu verteilen. Die Straßenblickdauern und der Anteil der Straßenblicke an der Bediendauer sollten insgesamt höher ausfallen als bei der in Studie 1 verwendeten Nebenaufgabe, und sich den in der Literatur berichteten Werten annähern. Außerdem kann bei einer selbst getakteten und unterbrechbaren Nebenaufgabe die Verteilung der Aufmerksamkeit stärker an die situativen Anforderungen der Fahraufgabe angepasst werden. Dies sollte einen deutlicheren Unterschied zwischen kritischen und unkritischen Situationen zur Folge haben. Auch eine situationsbezogene Auswertung des Blickverhaltens - zumindest in dafür geeigneten Situationen - wird bei einer variableren Gestaltung der Aufmerksamkeitsverteilung möglich und sinnvoll.

### 6.5.2 Die Nebenaufgabe

Als Nebenaufgabe wird eine Menüaufgabe gewählt, mittels der die Interaktion eines Fahrers mit einem Fahrerinformationssystem im Fahrzeug simuliert werden soll. Das Menüsystem besteht aus sequentiell dargebotenen Menüebenen, die hierarchisch angeordnet sind. Die Menüinhalte sind typischen Bereichen eines Fahrerinformationssystems nachempfunden, wie z.B. Navigation, Telefon, Entertainment und Bordcomputer. Durch Auswahl eines Menüpunktes auf der obersten Menüebene (z.B. Entertainment) gelangt man zum nächsten Bildschirm mit einer weiteren Menüebene, auf der wiederum ein Menüpunkt auszuwählen ist (z.B. Radio) usw., bis man schließlich auf der untersten Menüebene angelangt ist und dort eine bestimmte Menüfunktion auswählen kann (z.B. Sender „Antenne Bayern“). Das Menüsystem wird dem Fahrer auf einem Bildschirm in der Mittelkonsole des Fahrzeugs dargeboten. Die Display-Position ist identisch mit der für die Nebenaufgabe in Studie 1 verwendeten (vgl. Abbildung 6-7). Der Fahrer hat durch die tiefe Positionierung des Bildschirms kaum Möglichkeit, die Fahraufgabe während der Nebenaufgabenbearbeitung peripher zu überwachen. Bedient wird das Menüsystem mittels eines Joysticks, der auf der Mittelarmatur angebracht ist. Durch Bewegungen nach rechts gelangt der Fahrer auf eine tiefer gelegene Menüebene und bestätigt eine ausgewählte Funktion, durch Bewegungen nach links kann der Fahrer im Menü zurücklaufen, wenn er sich verirrt hat. Joystickbewegungen nach oben bzw. unten dienen der Navigation innerhalb einer Menüebene, um auf einen bestimmten Menüpunkt zu gelangen.

Aufgabe des Fahrers ist es, innerhalb des Menüsystems zu einer vorgegebenen Menüoption zu navigieren und diese zu bestätigen (z.B. Navigation über Kategorien „Entertainment“; „Audio“, „Radio“ zu „Bayern 3“). Das jeweilige Ziel wird ihm vor jeder neuen Aufgabe auf einem sog. „Instruktionsbildschirm“ präsentiert. Durch eine Joystickbewegung nach rechts gelangt der Fahrer dann in das eigentliche Menüsystem und kann mit der Aufgabe beginnen. Hat er den richtigen Begriff gefunden und bestätigt diesen, wird ein sog. „Richtig-Bildschirm“ angezeigt und die Aufgabe ist gelöst. Hat er einen falschen Begriff ausgewählt, wird ein „Falsch-Bildschirm“ sowie erneut der gesuchte Begriff angezeigt und der Fahrer muss im Menü weiter zum richtigen Menüpunkt navigieren.

Vergleichbar mit Studie 1 wird den Fahrern zu vorgegebenen Zeitpunkten auf der Strecke ein Aufgabenangebot über das im HUD dargebotene Fragezeichen gegeben. Die Streckenpositionen der Angebote sind identisch mit denen aus der ersten Studie. Aufgrund der längeren Dauer der Aufgaben werden jedoch einige Aufgabenangebote aus der Anordnung entfernt, so dass statt der vormals  $n=108$  Aufgaben jetzt nur noch  $n=76$  Aufgaben angeboten werden. Davon befinden sich 55,3% in unkritischen Situationen (bzw. 44,7% vor kritischen Situationen). Jedem Aufgabenangebot (z.B. vor Situation „Einparker schwer“) ist eine feste Menüaufgabe zugewiesen (z.B. „Sitzposition verstellen“). Dies soll aufgrund von Variationen in den Aufgabendauern eine bessere Vergleichbarkeit der einzelnen Situationen über die Probanden hinweg gewährleisten.

Tabelle 6-8: Verteilung der Nebenaufgaben auf innerorts vs. außerorts sowie in kritischen und unkritischen Situationen.

	innerorts	außerorts	Summe
unkritisch	21	21	42
kritisch	19	15	34
Summe	40	36	76

Bei jedem Aufgabenangebot kann sich der Fahrer frei entscheiden, ob er eine Aufgabe annehmen möchte oder nicht. Dazu steht ihm eine Entscheidungsphase von 3 Sekunden zur Verfügung. Der Fahrer ist instruiert, seine Entscheidung von der aktuellen Fahrsituation abhängig zu machen und sich nur dann der Nebenaufgabe zuzuwenden, wenn er glaubt, ohne Gefährdung der Fahrsicherheit diese bedienen zu können. Entscheidet er sich für eine Aufgabe, kann er dies mit einer Joystickbewegung nach rechts bestätigen. Daraufhin erscheint ein Start-Bildschirm auf dem Display in der Mittelkonsole, der wiederum mit einer Joysticknavigation nach rechts bestätigt werden muss. Daraufhin erhält der Fahrer über den Instruktionsbildschirm die Aufgabenstellung. Erst über eine weitere Joystickbewegung nach rechts gelangt der Fahrer dann in das eigentliche Menüsystem. Die Aufgabenbearbeitung (beginnend vom Annehmen der Aufgabe in der Entscheidungsphase) ist auf insgesamt 15 Sekunden beschränkt. Dieses Zeitfenster ist so gewählt, dass es die Dauer einer Situation abdeckt, aber es zu keinen Überlappungen von Aufgaben über Situationen hinweg kommt. Schafft der Fahrer es innerhalb dieser Zeit, zum vorgegebenen Menüpunkt zu gelangen, gilt die Aufgabe als gelöst. Gelingt es dem Fahrer nicht, wird die Aufgabe automatisch abgebrochen und kann nicht weiterbearbeitet werden. Erst beim nächsten Aufgabenangebot wird eine neue Aufgabe vorgegeben. Entscheidet sich der Fahrer gegen die Annahme einer Aufgabe, lässt er die Entscheidungsphase verstreichen und wartet auf das nächste Aufgabenangebot. In Abbildung 6-19 ist der Ablauf einer Menüaufgabe nach Annahme des Aufgabenangebotes schematisch veranschaulicht.

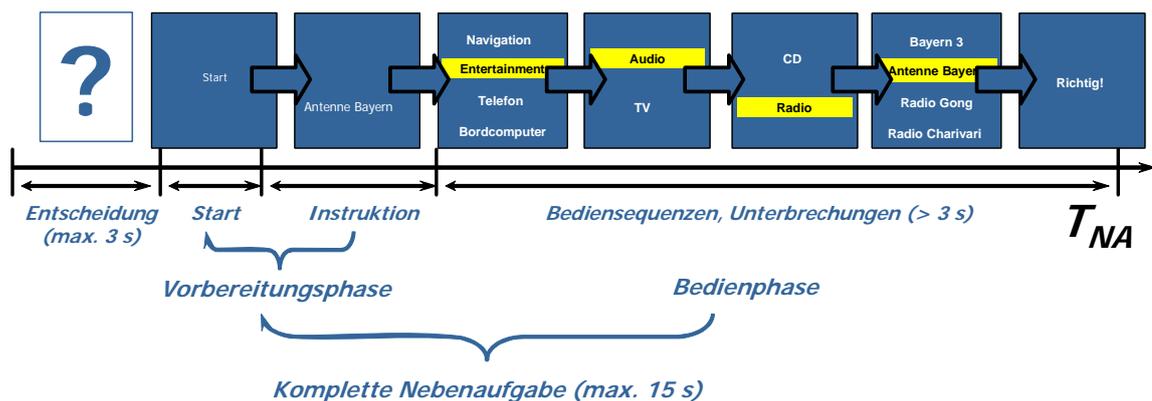


Abbildung 6-19: Ablauf einer Menüaufgabe nach Annahme des Aufgabenangebotes.

Vergleichbar zur Nebenaufgabe in Studie 1 lässt sich auch die Menüaufgabe in drei Phasen unterteilen. Phase 1 beinhaltet wieder die maximal 3 Sekunden dauernde Entscheidungsphase. Darauf folgt die Phase der Nebenaufgabenbearbeitung. Diese dauert nun maximal 15 anstatt 5 Sekunden. Anders als in Studie 1 können die Fahrer bei der Menüaufgabe ihr Blickverhalten viel freier wählen und auch die Nebenaufga-

benbearbeitung zeitweise unterbrechen, ohne dass es zu Fehlern in der Nebenaufgabe kommt. Von den beiden Phasen der Nebenaufgabenbearbeitung unterschieden wird wieder eine Zwischenphase, in der die Fahrer ohne Ablenkung durch Zweitaufgaben fahren.

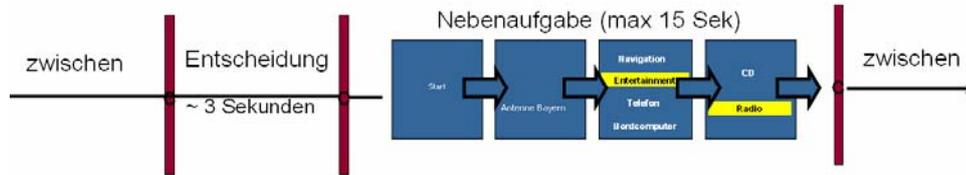


Abbildung 6-20: Phasen von Nebenaufgabe 2.

Um die Fahrer zur Bearbeitung der Nebenaufgabe zu motivieren, wird ein Punktesystem entwickelt, das dem Fahrer für jeden Schritt innerhalb des Menüsystems einen Pluspunkt verspricht, für jede innerhalb des vorgegebenen Zeitfensters gelöste Aufgabe zusätzlich drei weitere Pluspunkte. Für Fahrfehler werden gestaffelt nach dem Schweregrad Punktabzüge gegeben. Um die Fahrer davon abzuhalten, eine Aufgabe grundsätzlich immer anzunehmen ohne dann wirklich zu bedienen, werden auch hierfür Punktabzüge angedroht.

Zur Überprüfung des Einflusses der Menüstruktur auf die situationsangemessene Bedienung bzw. Sequentierung der Nebenaufgabe werden zwei Menüsysteme konstruiert: Ein tiefes Menü, das aus vier Menüebenen besteht und ein breites Menü, das aus zwei Menüebenen besteht. Um die beiden Menüs miteinander vergleichen zu können, werden identische Menüinhalte verwendet. Die Menüstruktur wird als Between-Faktor in zwei unabhängigen Versuchsbedingungen umgesetzt.

### 6.5.3 Versuchsplan

Aus der Streckengestaltung sowie aus den Phasen der Nebenaufgabe ergibt sich wie bereits in Studie 1 der in Tabelle 6-9 dargestellte Versuchsplan. Die in diesem Plan enthaltenen Faktoren werden abhängig geprüft. Der Faktor Vorhersehbarkeit wird auch in Studie 2 in der globalen Auswertung der Effekte nicht berücksichtigt.

Tabelle 6-9: Darstellung der abhängigen Faktoren in Studie 2.

		Phase der Nebenaufgabe		
		zwischen	Entscheidung	während NA
Kritikalität der Situation	unkritisch			
	kritisch			

Zusätzlich wird die Menüstruktur der Nebenaufgabe als unabhängiger Faktor variiert. Die beiden Bedingungen tiefe und breite Menüstruktur werden von je N=8 Probanden bearbeitet.

#### 6.5.4 Stichprobe und Versuchsablauf

An Studie 2 nehmen N=16 Fahrer (N=10 weiblich, N=6 männlich) teil. Je N=8 bearbeiten während der Fahrt das tiefe bzw. das breite Menüsystem. Das mittlere Alter der Fahrer beträgt 35.8 Jahre (min. 23 Jahre, max. 65 Jahre), wobei nur ein Fahrer mit 65 Jahren deutlich älter als die übrige Fahrergruppe (max. 52 Jahre) ist. Die Altersverteilung in beiden Versuchsbedingungen ist vergleichbar (breites Menü: mittleres Alter 36.4 Jahre, sd=12.7 Jahre; tiefes Menü: mittleres Alter 35.1 Jahre, sd=7.5 Jahre).

Die Fahrerfahrung von 2/3 der Fahrer liegt im Bereich zwischen 100.000 und 500.000 km Fahrleistung im Leben, N=3 der Fahrer sind bislang weniger als 100.000 km, n=3 mehr als 500.000 km gefahren. Die km-Leistung im letzten Jahr liegt im Mittel bei 15.875 km (sd=10.904). Zwischen den beiden Versuchsbedingungen bestehen keine Unterschiede bezüglich der Lebens- bzw. Jahresfahrleistung. Alle Fahrer entstammen wieder dem Testfahrerpanel des WIVW, sind ausreichend in der Fahrsimulation trainiert und nehmen häufiger an verkehrspsychologischen Untersuchungen teil.

Nach der Begrüßung erhalten die Fahrer eine schriftliche Beschreibung der Nebenaufgabe. Vor der eigentlichen Fahrt machen sich die Fahrer in einer Übungsphase mit der Nebenaufgabe im Stand und während der Fahrt vertraut. Während dieser Übungsphase wird das Profil für die Blickbewegungsmessung erstellt. Anschließend werden die Fahrer schriftlich für die eigentliche Versuchsfahrt instruiert. Die gesamte Versuchsstrecke ist in zwei ca. 45-minütige Fahrten unterteilt. Die Fahrer haben zwischen den beiden Fahrten die Möglichkeit, eine Pause zu machen. Die Instruktionen für die Übung sowie für die Versuchsfahrt sind im Anhang dargestellt. Nach Beendigung des zweiten Versuchsteils beantworten die Fahrer einige Fragebögen über ihre Einstellung zu Nebenaufgaben beim Fahren. Die Fragebögen und die dazugehörigen Ergebnisse sind in den Arbeiten zu Situationsbewusstsein beim Fahren näher dargestellt (Rauch et al., 2008; Rauch, 2009).

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Daten für beiden Menübedingungen zusammen ausgewertet. Die Auswirkung der Menüstruktur auf das Verhalten der Fahrer sind in Rauch et al. (2008) und Rauch (2009) dargestellt.

#### 6.5.5 Weiterführende Auswertung der Blickdaten

Auch in Studie 2 werden die während der Nebenaufgabenbearbeitung auftretenden Fixationen den beiden Clustern Straße und Display zugeordnet. Da nun das Blickverhalten deutlich variabler ist und auch während der Nebenaufgabe ein größerer Bereich der Fahrszene abgedeckt wird, ist eine automatische Clusterung nicht mehr bei allen Probanden möglich. Teilweise müssen die Grenze zwischen Display- und Straßenblicken manuell anhand der Lage der Blickpunkte im Koordinatensystem festgelegt werden. Die anhand der Fixationen berechneten Parameter sind vergleichbar zu denen in Studie 1. Drei der 16 Fahrer werden aufgrund instabiler Blickbewegungsmessung aus der Analyse des Blickverhaltens ausgeschlossen.

### 6.5.6 Überblick über die ausgewerteten Parameter

Tabelle 6-10 zeigt die in Studie 2 ausgewerteten und in den vorangegangenen Abschnitten bereits beschriebenen Parameter noch einmal im Überblick.

*Tabelle 6-10: Überblick über die in Studie 2 ausgewerteten Parameter.*

Parametergruppe	Parameter	Einheit	Beschreibung
Nebenaufgabe	Anteil ausgelassener Aufgaben	%	Anteil der Aufgaben, deren Bearbeitung die Fahrer ablehnen. Als Grundgesamtheit werden alle in der entsprechenden Bedingung angebotenen Aufgaben herangezogen.
	Entscheidungsdauer	s	Zeit zwischen Beginn des Aufgabenangebots und erster Bedieneingabe des Fahrers (=Annehmen der Aufgabe)
	Bediendauer	s	Gesamtdauer der Nebenaufgabenbearbeitung. Die Bediendauer umfasst sowohl Straßen- als auch Displayblicke
Blickverhalten	sd(x)	°	Standardabweichung der Blickpunkte in x-Richtung. Dieser Parameter beschreibt die Größe des Blickfeldes in einem bestimmten Zeitraum.
	sd(y)	°	Standardabweichung der Blickpunkte in y-Richtung. Dieser Parameter beschreibt die Größe des Blickfeldes in einem bestimmten Zeitraum.
	m(x)	°	Mittelwert des Blickpunkts in x-Richtung. Maß für die Ausrichtung des Blicks in x-Richtung.
	m(Dauer)	ms	Mittelwert der Fixationsdauern. Dieser Parameter sollte beim Fahren immer in Kombination mit der Größe des Blickfeldes interpretiert werden.
	Anzahl Straßenblicke	N	Anzahl während einer Nebenaufgabe durchgeführter Straßenblicke
	Anteil Straßenblicke	%	Zeitanteil während der Bedienung einer Nebenaufgabe, der auf Straßenblicke entfällt.
Fahrverhalten	Anteil Kollisionen	%	Anteil Situationen, in denen es zu einer Kollision kommt.

## 6.5.7 Ergebnisse Studie 2

### 6.5.7.1 Einfluss Situationskritikalität und Phase der Nebenaufgabe

Auch bei Bearbeitung des Menüsystems lassen Fahrer in kritischen Situationen deutlich mehr Aufgaben aus als in unkritischen ( $F(1,15) = 61.19, p < 0.001$ ).

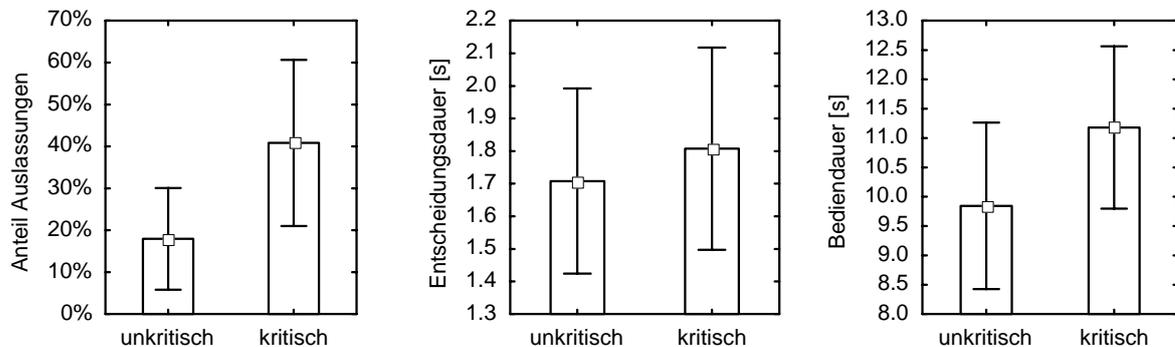


Abbildung 6-21: Einfluss Situationskritikalität auf Anteil Auslassungen (links), Entscheidungs- (Mitte)- und Bediendauer (rechts).

Entscheidungs- ( $F(1,15) = 7.95, p = 0.013$ ) und Bediendauer ( $F(1,15) = 55.44, p < 0.001$ ) unterscheiden sich zwischen kritischen und unkritischen Situationen. In kritischen Situationen brauchend die Fahrer länger, um sich für die Nebenaufgabe zu entscheiden und benötigen dann anschließend auch mehr Zeit, die Nebenaufgabe zu lösen. Im Mittel brauchen Fahrer in unkritischen Situationen 9.9, in kritischen 11.2 Sekunden zum Lösen der Nebenaufgabe. Für die Entscheidung über den Beginn der Nebenaufgabe werden im Mittel rund 1.7 Sekunden benötigt wobei hier die Maximaldauer durch das Versuchsdesign auf 3 Sekunden begrenzt ist.

Die Analyse der Faktoren Kritikalität und Phase der Nebenaufgabe ergibt für die Parameter des Blickverhaltens einen Haupteffekt Phase für alle drei Parameter ( $sd(x): F(2,30) = 102.67, p < 0.001$ ;  $sd(y): F(2,30) = 60.79, p < 0.001$ ;  $m(\text{Dauer}): F(2,30) = 13.09, p < 0.001$ ). Für die Standardabweichung in x-Richtung zeigen Nachtests, dass sich alle drei Phasen signifikant von einander unterscheiden (alle  $p < 0.001$ ). Für  $sd(y)$  wird der Unterschied zwischen freiem Fahren (zwischen) und den Phasen der Nebenaufgabenbedienung signifikant (beide  $p < 0.001$ ). Entscheidungsphase und „während der Nebenaufgabe“ unterscheiden sich dagegen nicht. Die Fixationsdauern in der Entscheidungsphase sind im Vergleich zu den beiden anderen Phasen signifikant verlängert (beide  $p < 0.001$ ).

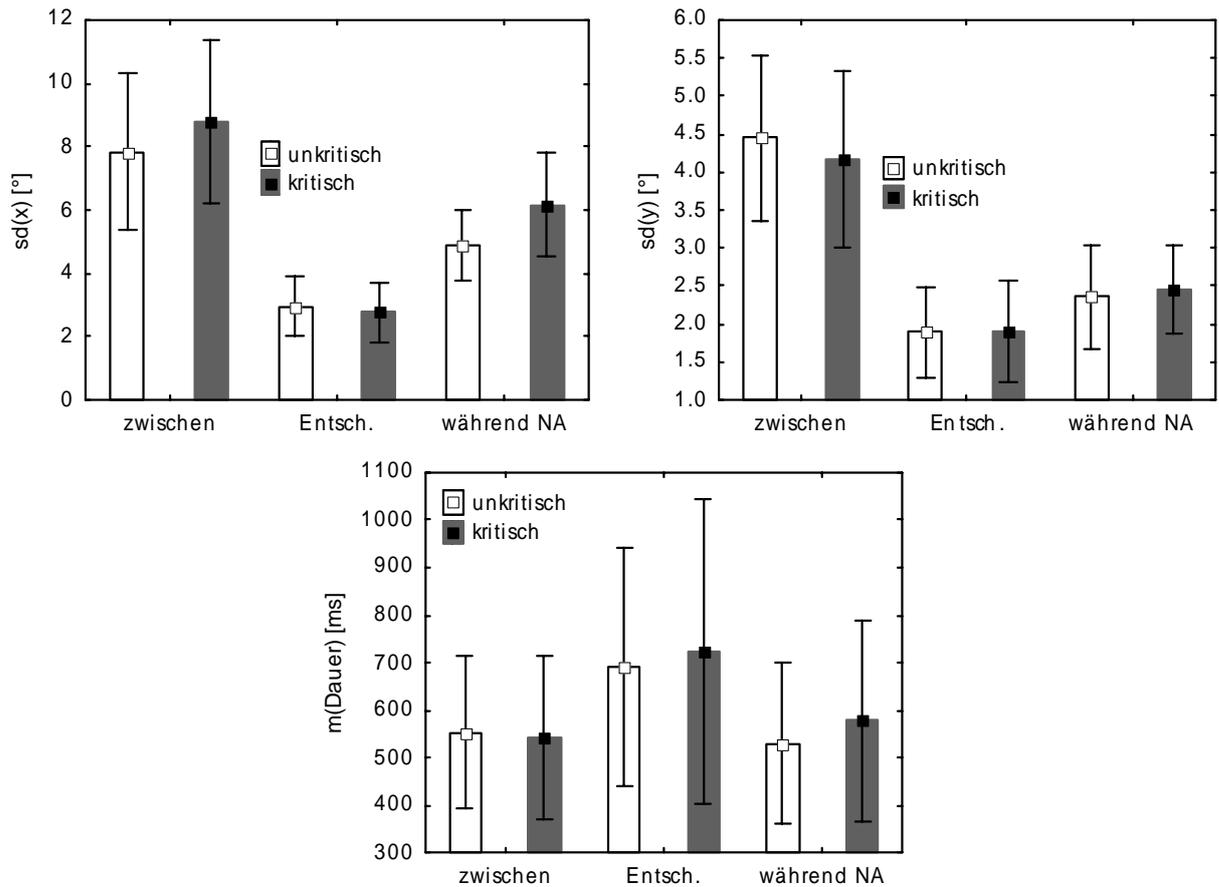


Abbildung 6-22: Einfluss der Situationskritikalität auf das Blickverhalten in den Phasen der Nebenaufgabe. Dargestellt sind die Parameter Standardabweichung in x-Richtung (oben links), Standardabweichung in y-Richtung (oben rechts) und mittlere Fixationsdauer (unten).

Für  $sd(x)$  ergibt sich weiterhin ein Einfluss der Situationskritikalität ( $F(1,12) = 17.02$ ,  $p = 0.001$ ) sowie eine signifikante Wechselwirkung ( $F(2,30) = 10.92$ ,  $p < 0.001$ ). In kritischen Situationen ist das Blickfeld in x-Richtung größer als das in unkritischen der Fall ist. Nachtests zeigen, dass es nur in der Entscheidungsphase keine Unterschiede zwischen kritischen und unkritischen Situationen gibt (alle anderen  $p < 0.005$ ). Für  $sd(y)$  gibt es dagegen keinen Einfluss der Kritikalität, dafür aber eine signifikante Wechselwirkung ( $F(2,30) = 6.62$ ,  $p = 0.005$ ). Nachtests zeigen, dass sich in keiner Phase kritische von unkritischen Situationen unterscheiden. Die Wechselwirkung beruht somit auf unterschiedlich starken Veränderungen zwischen den Phasen, die aber nie für einen signifikanten Unterschied zwischen kritischen und unkritischen Situationen ausreicht. Auf die mittlere Fixationsdauer hat die Kritikalität keinen Effekt.

### 6.5.7.2 Aufteilung der Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabe

Um den Einfluss der Bediendauer auf die Parameter des Blickverhaltens darstellen zu können, werden die Nebenaufgaben anhand ihrer Dauer auf drei Kategorien (kurz, mittel, lang) aufgeteilt. Die Kategorien kurz (<8 Sekunden), mittel (<12 Sekunden) und lang (>12 Sekunden) sind so gewählt, dass sie je ca. 1/3 der bearbeiteten Nebenaufgaben umfassen.

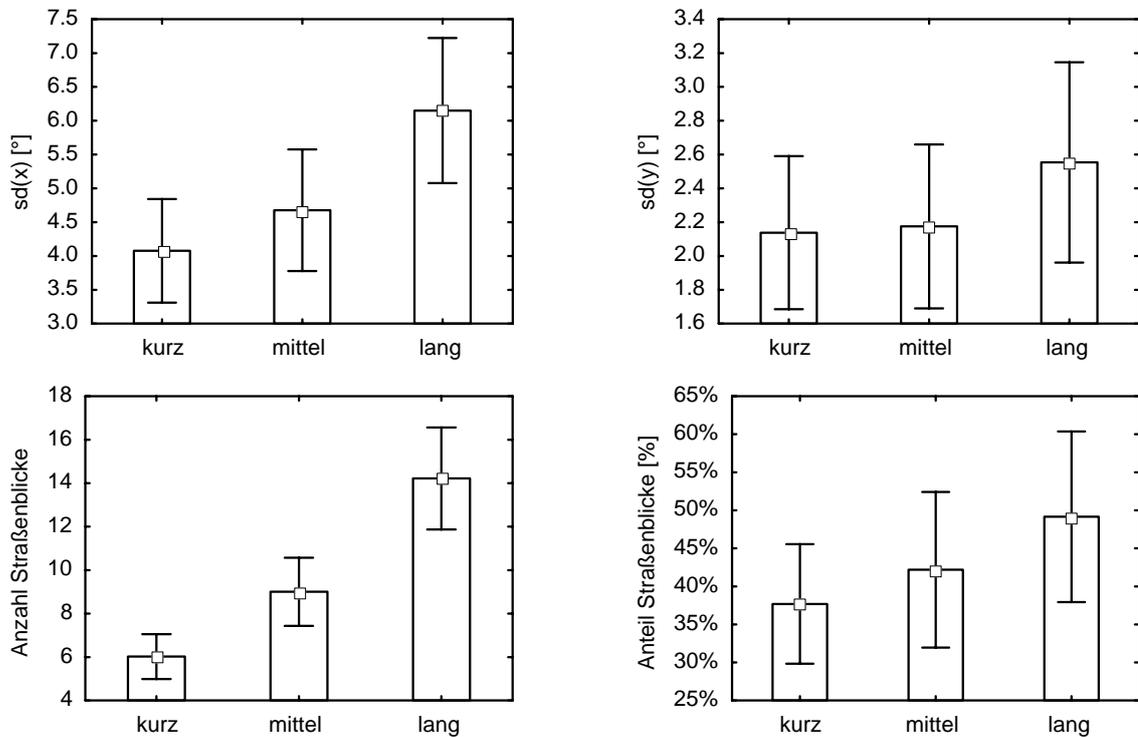
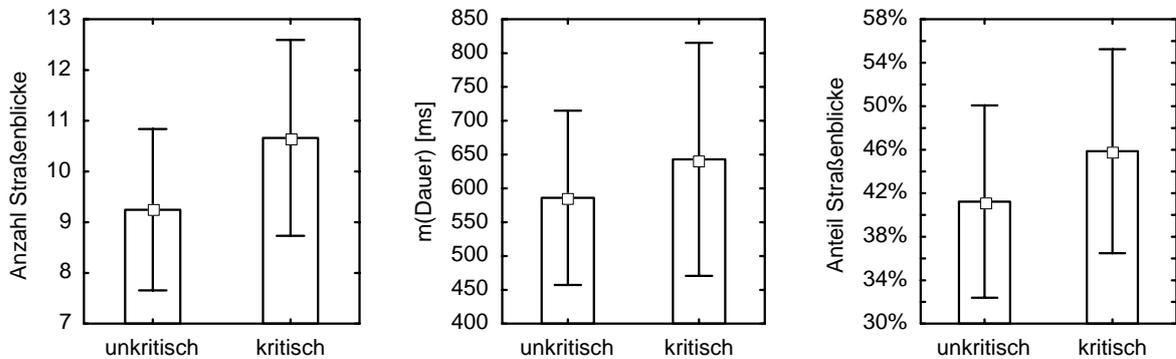


Abbildung 6-23: Einfluss der Bediendauer auf das Blickverhalten. Dargestellt sind die Parameter Standardabweichung in x-Richtung (oben links), Standardabweichung in y-Richtung (oben rechts), Anzahl Straßenblicke (unten links) und Anteil Straßenblicke an der Bediendauer (unten rechts).

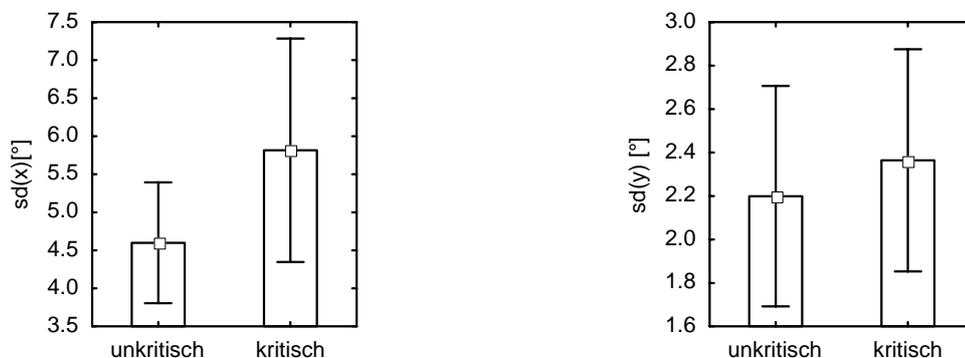
Deutlich wird, dass eine längere Bediendauer bei dieser selbst getakteten Nebenaufgabe zum größten Teil auf einer stärkeren Fokussierung der Aufmerksamkeit auf die Straße beruht. Mit der Bediendauer steigt nicht nur die absolute Zahl der Straßenblicke ( $F(2,20) = 182.95$ ,  $p < 0.001$ ), sondern auch der Anteil der Straßenblicke an der Bediendauer ( $F(2,20) = 17.17$ ,  $p < 0.001$ ). Gleichzeitig vergrößert sich das Blickfeld in x- ( $F(2,20) = 33.02$ ,  $p < 0.001$ ) und y-Richtung ( $F(2,20) = 19.80$ ,  $p < 0.001$ ). Die mittlere Dauer der Straßenblicke (hier nicht dargestellt) ist dagegen von der Bediendauer unabhängig.

Für die Fragestellung besonders interessant ist wieder der Einfluss der Situationsanforderung auf das Blickverhalten während der Nebenaufgabe. Auch für das Menüsystem findet man eine Erhöhung des Anteils Straßenblicke in kritischen Situationen ( $F(1,12) = 9.71, p = 0.009$ ). Dieser beruht sowohl auf einer größeren Anzahl Straßenblicke ( $F(1,12) = 14.32, p = 0.003$ ) als auch auf längeren Fixationsdauern ( $F(1,12) = 5.94, p = 0.031$ ).



**Abbildung 6-24:** Einfluss der Situationskritikalität auf Anzahl und Dauer von Straßenblicken. Dargestellt sind die Parameter Anzahl Straßenblicke (links), mittlere Fixationsdauer (Mitte) und Anteil Straßenblicke an der Bediendauer (rechts).

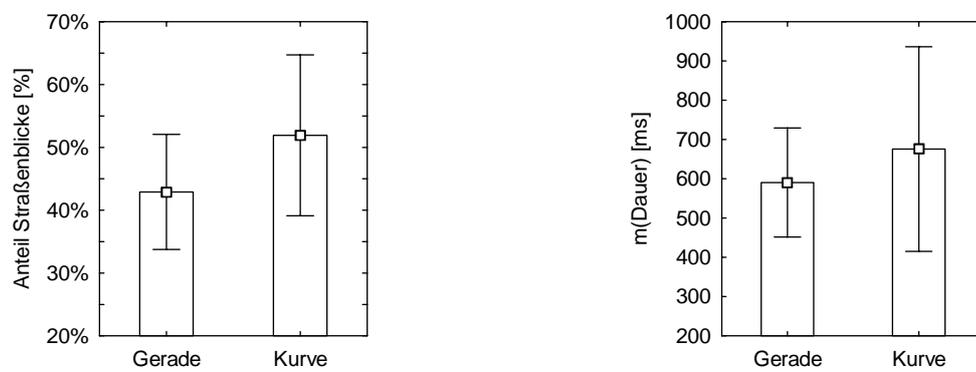
Abbildung 6-25 zeigt, dass die häufigeren Straßenblicke in kritischen Situationen dazu genutzt werden, das Blickfeld zu erweitern. Die Vergrößerung der Streuung der Blickpunkte wird in x-Richtung signifikant ( $F(1,12) = 14.77, p = 0.002$ ), in y-Richtung zeigt sich kein Effekt.



**Abbildung 6-25:** Einfluss Situationskritikalität auf die Größe des Blickfeldes. Dargestellt sind die Standardabweichung in x- (links) und in y-Richtung (rechts).

### 6.5.7.3 Kurven vs. Geraden: Fokussierung auf die Stabilisierungsebene

Da in Studie 2 die Nebenaufgabe deutlich länger bearbeitet wird und dem Fahrer mehr Freiheiten in der Gestaltung der Aufmerksamkeitsverteilung lässt als die in Studie 1 verwendete Nebenaufgabe, ist es möglich, den Einfluss der Situation auf die Verteilung der Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabe weiterführend zu analysieren. Eine der aufgestellten Hypothesen ist, dass Fahrer in Situationen, in denen die zentrale Fahraufgabe in der Spurhaltung besteht, auch verstärkt Aufmerksamkeit auf die Spurhaltung verwenden. In der folgenden Auswertung werden nur Nebenaufgaben berücksichtigt, die in den Landstraßenabschnitten angeboten und bearbeitet wurde. Abbildung 6-26 vergleicht den Anteil Straßenblick und die mittlere Blickdauer für gerade und kurvige Landstraßenabschnitte. Der Anteil Straßenblicke ist in kurvigen Abschnitten höher als auf Geraden ( $F(1,11) = 5.40, p = 0.040$ ), auf die mittlere Blickdauer nimmt die Kurvigkeit keinen Einfluss.



*Abbildung 6-26: Vergleich des Blickverhaltens in Nebenaufgaben auf geraden und kurvigen Abschnitten.*

Als Parameter für die Häufigkeit von Spurkorrekturen wird die Frequenz der Spurkorrekturen während der Nebenaufgabenbearbeitung berechnet. Als Spurkorrektur werden alle lokalen Maxima der Spurposition gezählt. Die Größe der Korrektur wird hierbei nicht berücksichtigt.

Abbildung 6-27 zeigt an zwei Beispielen exemplarisch den Zusammenhang zwischen Blickverhalten und Spurkorrekturen. Es handelt sich in beiden Fällen um Nebenaufgaben, die in kurvigen Abschnitten auf der Landstraße bearbeitet werden.

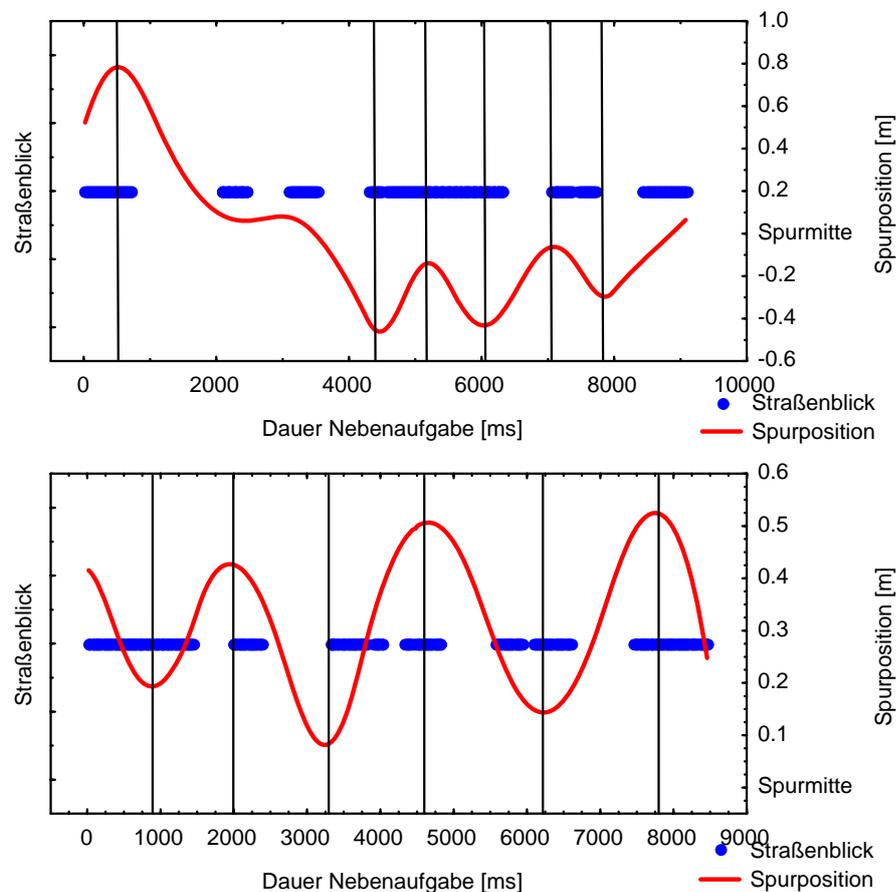


Abbildung 6-27: Beispiele für den Zusammenhang Spurkorrekturen und Straßenblicke (beide Beispiele VP38, Nebenaufgaben auf kurvigen Landstraßenabschnitten).

Blau sind die Zeitabschnitte markiert, in denen der Fahrer auf die Straße blickt, rot ist der Verlauf der Spurposition aufgezeigt. In beiden Beispielen fallen die meisten lokalen Maxima der Spurposition in Phasen, in denen auf die Straße geblickt wird.

Der Anstieg der Frequenz der Spurkorrekturen in Kurven ( $F(1,14) = 19.21, p < 0.001$ ) zeigt, dass die Fahrer trotz Nebenaufgabenbearbeitung in der Lage sind, ihr Lenkverhalten den Situationsanforderungen anzupassen. In Kurven wird den Erfordernissen der Situation angemessen häufiger gelenkt als dies auf geraden Abschnitten der Fall ist.

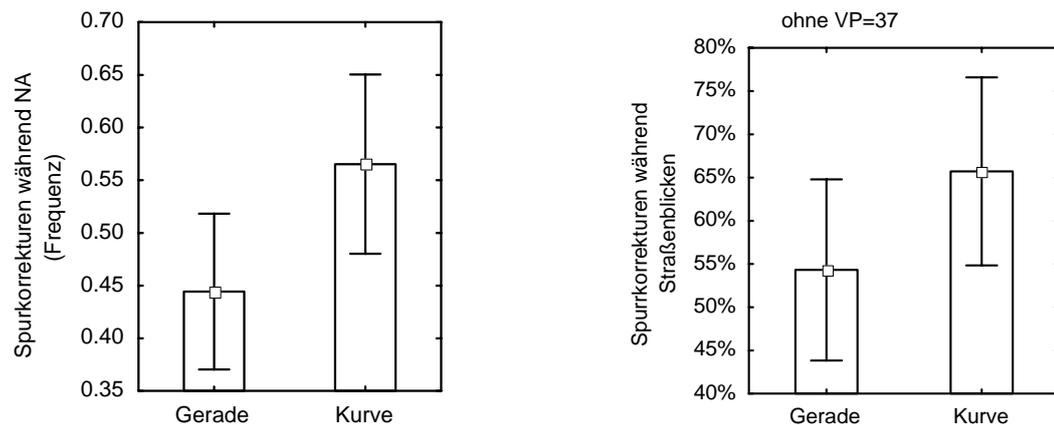


Abbildung 6-28: Frequenz der Spurkorrekturen (links) und Anteil Spurkorrekturen, die während Straßenblicken stattfinden (rechts).

Gleichzeitig steigt im Vergleich zu geraden Abschnitten auch der Anteil der Spurkorrekturen, der während Straßenblicken ausgeführt wird ( $F(1,10) = 5.61$ ,  $p = 0.034$ ). Aus der Analyse des Anteils der Spurkorrekturen während Straßenblicken ist VP37 ausgeschlossen. Diese VP stellt einen extremen Ausreißer da (nur ca. 15% der Korrekturen während Straßenblicken in kurvigen Abschnitten).

#### 6.5.7.4 Situation Panne: Einfluss der Vorhersehbarkeit auf die Aufmerksamkeit

Jede Situation ist in mindestens drei unterschiedlichen Schwierigkeitsabstufungen implementiert, die sich in der Anzahl der Hinweise auf die kommende Situationsentwicklung unterscheiden. Diese Vorhersehbarkeit soll das Situationsmodell beeinflussen, das sich die Fahrer von der jeweiligen Situation machen. Vom Situationsmodell wiederum wird angenommen, dass es direkt die Aufteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe beeinflusst.

Eine Situation, die sich für die Untersuchung dieses Zusammenhangs besonders eignet, ist die Situation „Panne“. In dieser Situation befindet sich ein Pannenfahrzeug auf der Spur des Fahrers. Der Fahrer muss verzögern und dem Hindernis ausweichen, um eine Kollision zu verhindern. In der Situation Panne lässt sich anhand der Steckenposition des Fahrzeugs gut festmachen, welche Hinweisreize für den Fahrer bereits erkennbar sind.

Die Situation wird in die in Tabelle 6-11 dargestellten Abschnitte unterteilt. Für jeden Abschnitt ist angegeben, welche Hinweisreize in den drei Abstufungen jeweils wahrnehmbar sind.

*Tabelle 6-11: Abschnitte der Situation „Panne“.*

Abschnitt	Beschreibung	Sichtbare Situationselement in den verschiedenen Abstufungen		
		schwer	mittel	leicht
vor Schild	Fahrer befindet sich vor dem Warndreieck	Die Kuppe verdeckt die Sicht auf das Pannenfahrzeug	Warnschild sichtbar, aber die Kuppe verdeckt die Sicht auf das Pannenfahrzeug	
vor Kuppe	Fahrer befindet sich nach dem Warndreieck aber noch vor der Kuppe			
vor Fhzg.	Fahrer befindet sich nach dem Kuppenscheitel aber noch vor dem Pannenfahrzeug; er muss in diesem Abschnitt reagieren	Pannenfahrzeug ist sichtbar	Warnschild + Pannenfahrzeug ist jetzt sichtbar	Warnschild und Pannenfahrzeug sichtbar
nach Fhzg.	Fahrer befindet sich hinter dem Pannenfahrzeug, Situation ist vorbei			

Abbildung 6-29 vergleicht die Situationsabstufungen hinsichtlich der Parameter Anteil Straßenblicke und  $sd(y)$  in den verschiedenen Abschnitten der Situation. Die beiden Parameter werden gewählt, da in ihnen Auswirkungen der Situationsabstufung erwartet werden. In der Situation, in der die Gefahr früh erkennbar ist (Abstufung leicht) sollten die Fahrer das Hindernis bereits von weitem bemerken. Dies sollte sich in einer größeren Vorausschau bereits zu Beginn der Situation zeigen. Eine größere Vorausschau bildet sich in einer größeren Streuung der Blickpunkte in y-Richtung ab. Der Parameter Anteil Straßenblicke wird gewählt, da er den Anteil auf die Fahraufgabe verwendeter Aufmerksamkeit widerspiegelt. Da sich das Pannenfahrzeug auf der Spur des Fahrers befindet, wird für die x-Richtung des Blickfeldes keine Auswirkung der Situationsabstufung erwartet. Parameter der x-Koordinate werden deswegen auch nicht geprüft.

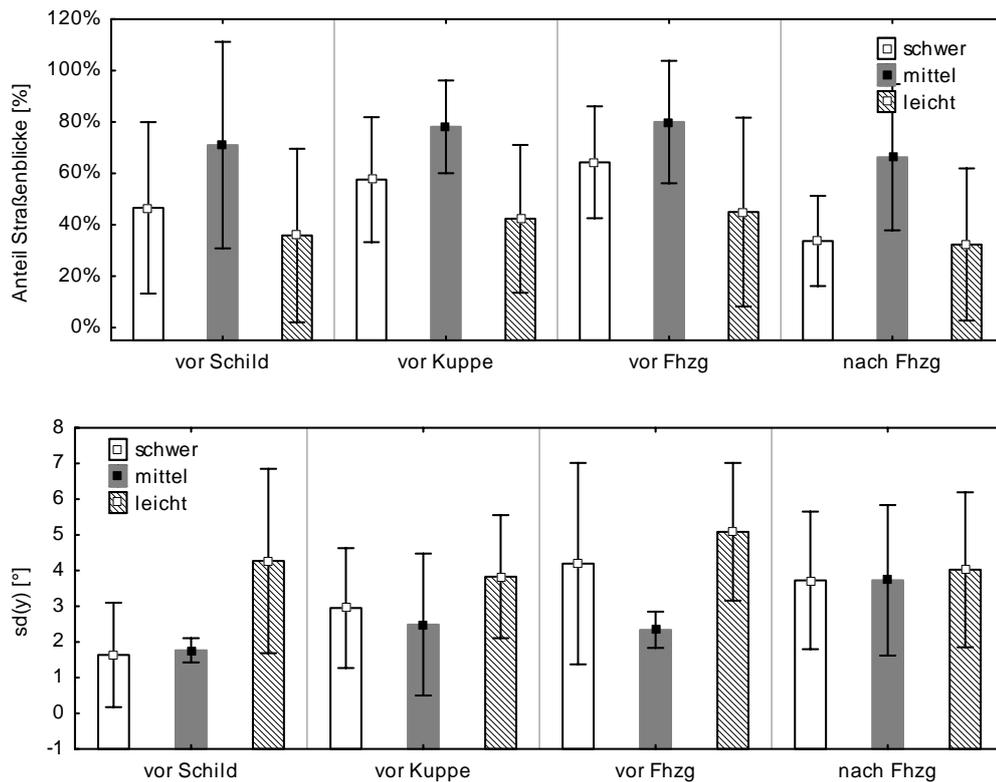


Abbildung 6-29: Vergleich des Blickverhaltens in den Situationsabstufungen für die Situation „Panne“.

Auffällig ist, dass in der mittleren Abstufung, in der der Fahrer zwar weiß, dass ein Hindernis kommen kann, aber nicht erkennt, wann dies der Fall ist und worum es sich handelt, der Anteil der Straßenblicke in allen Abschnitten deutlich erhöht ist. Da nur ein Fahrer in allen drei Abstufungen die Nebenaufgabe bearbeitet hat, wird der Faktor Abstufung als unabhängiger Faktor geprüft.

Tabelle 6-12: F-Werte der einfaktoriellen unabhängigen ANOVAS für die Prüfung des Faktors Vorhersehbarkeit in den Abschnitten der Situation „Panne“. Signifikante F-Werte sind fett gedruckt. Für alle Vergleiche  $df(2, 14)$ .

Parameter	Abschnitt			
	vor Schild	vor Kuppe	vor Fhzig.	nach Fhzig.
Anteil Straßenblicke	<b>4.17; p = .038</b>	2.23; p = .145	1.91; p = .184	3.06; p = .079
sd(y)	3.39; p = .063	0.69; p = .473	1.99; p = .516	0.42; p = .662

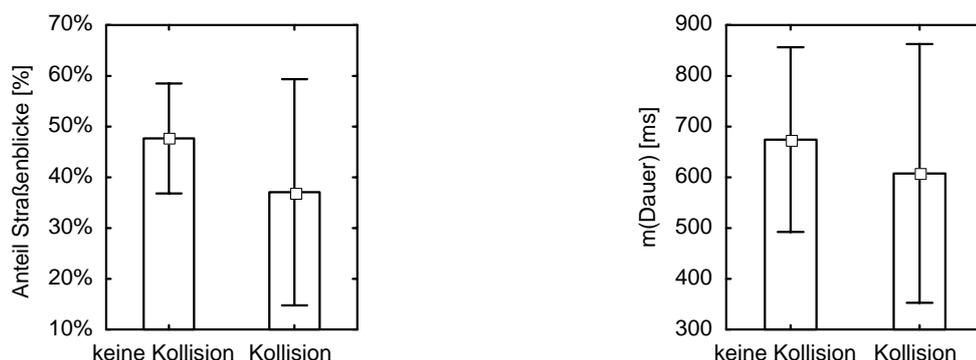
Die statistische Prüfung ergibt, dass in der mittleren Abstufung im Abschnitt „vor Schild“ signifikant mehr, im Abschnitt „nach Fhzig“ tendenziell mehr Aufmerksamkeit auf die Straße gerichtet wird als in den beiden anderen Abstufungen. Auch in den beiden mittleren Situationsabschnitten gibt es grafisch und in p-Werten kleiner 20% Hinweise auf einen erhöhten Anteil Straßenblicke in der mittleren Abstufung. Die Tatsache, dass auch nach der Situation, in dem Abschnitt „nach Fhzig.“ der Unterschied zwischen den Bedingungen bestehen bleibt, spricht allerdings eher für einen Gruppenunterschied und gegen einen Einfluss der Vorhersehbarkeit. Im Parameter sd(y) zeigt sich im Abschnitt „vor Schild“ in der Situationsabstufung „leicht“ ein tendenziell

vergrößertes Blickfeld in y-Richtung. Dies kann als ein Hinweis auf einen weiter vorausgerichteten Blick gewertet werden.

Der U-förmige Einfluss der Vorhersehbarkeit der Situation, der sich für den Parameter Anteil Straßenblicke andeutet, zeigt sich auch im Anteil der in der jeweiligen Situation bearbeiteten Aufgaben. In der schweren Situation bearbeiten 100% der Probanden die Aufgabe, in der mittleren Abstufung nur 25% und in der leichten Abstufung 50% der Fahrer. Insgesamt scheint es, als würde die potentiell kritische Situation „Panne“ in der schweren Abstufung von den Fahrern nicht als solche erkannt. Obwohl sie durch die Kuppe nur eine geringe Sichtweite haben, wenden sich die Fahrer der Nebenaufgabe zu und blicken auch nicht häufiger auf die Straße, um die schlechte Vorausschau zu kompensieren. In der mittleren Abstufung wird den Fahrern durch das Warndreieck die schlechte Vorausschau bewusst. Sie bearbeiten die Nebenaufgabe entweder überhaupt nicht, oder wenn sie die Aufgabe annehmen, blicken sie vermehrt auf die Straße. In der leichten Situationsabstufung ist der potentielle Konflikt für die Fahrer von weitem erkennbar. Dies erlaubt ihnen, die Nebenaufgabe zu bearbeiten, ohne vermehrt auf die Straße blicken zu müssen.

#### 6.5.7.5 Zusammenhang Fahrfehler und Aufmerksamkeit

Analog zur Auswertung von Studie 1 wird das Blickverhalten während der Nebenaufgabe in Situationen mit einer Kollision mit dem in ähnlichen schweren aber fehlerfrei bewältigten Situationen verglichen.



*Abbildung 6-30: Blickverhalten in Situationen mit Kollision im Vergleich zu ähnlich schwierigen Situationen ohne Kollision: links Anteil Straßenblicke an der Bediendauer, rechts mittlere Fixationsdauer.*

In Abbildung 6-30 ist gibt es grafisch Hinweise auf einen geringeren Anteil Straßenblicke an der Bediendauer bei Kollisionen. Der Unterschied wird allerdings auch in Studie 2 nicht signifikant. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass nur 4 Fahrer überhaupt mindestens eine Kollision verursachten, weswegen die Stichprobengröße der abhängigen ANOVA auch nur vier beträgt.

Auch in Studie 2 erweist sich die Situation „Ausparker“ als besonders schwierig. Aus diesem Grund wird für diese Situation wieder der Zusammenhang zwischen Kollision und Blickverhalten genauer betrachtet. Für eine detaillierte Beschreibung der Situation siehe Abschnitt 6.4.6.3.

In Abbildung 6-31 ist zu erkennen, dass Fahrer, die eine Kollision verursachen, in der Entscheidungsphase ein wenig weiter nach links blicken. Die ANOVA ist für diesen Effekt allerdings nicht signifikant ( $F(1,11) = 1.89$ ,  $p = 0.189$ ).

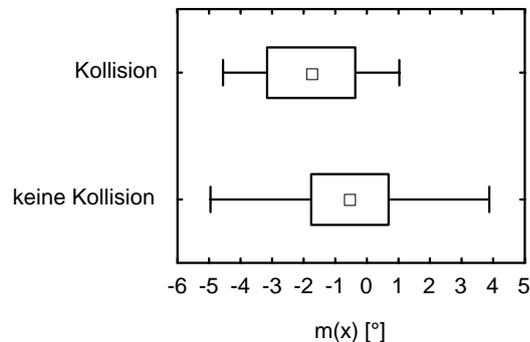


Abbildung 6-31: Mittlere Blickort in x-Richtung in der Entscheidungsphase für Situation Ausparker.

Wenn es zu einer Kollision kommt ist während der Nebenaufgabenbearbeitung tendenziell der Anteil der Straßenblicke ( $F(1,10) = 4.62$ ,  $p = 0.057$ ) und die mittlere Fixationsdauer ( $F(1,10) = 4.13$ ,  $p = 0.069$ ) verringert. Wie auch schon für die Entscheidungsphase ist grafisch zu erkennen, dass Fahrer, die eine Kollision verursachen, weiter nach links blicken. Der Unterschied im Blickort in x-Richtung wird auch für die Phase der Nebenaufgabenbearbeitung nicht signifikant.

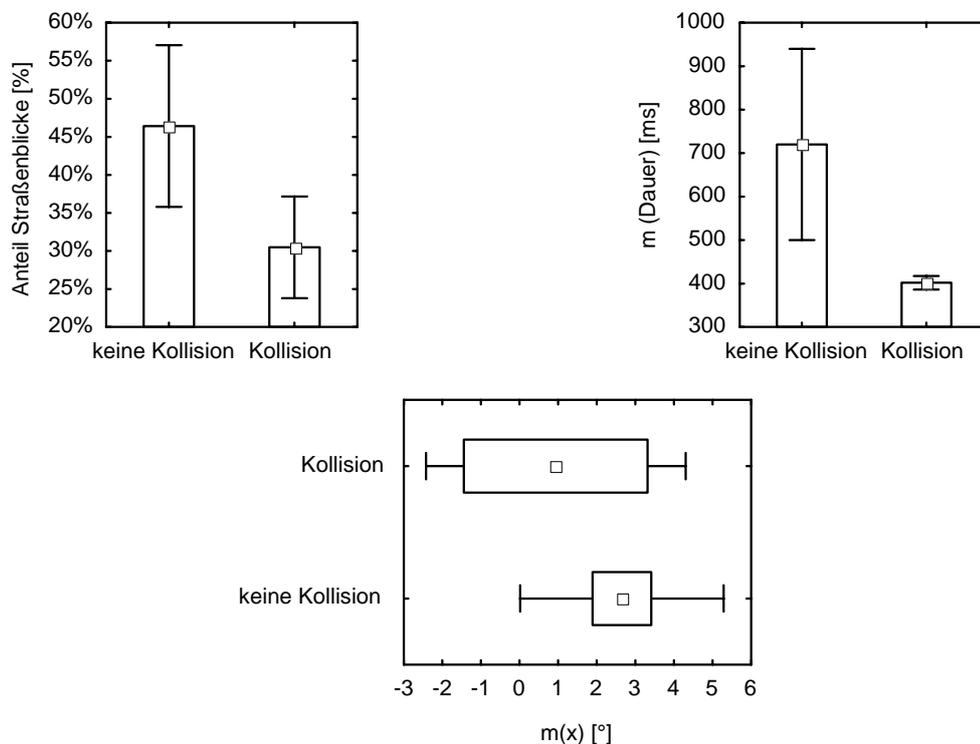
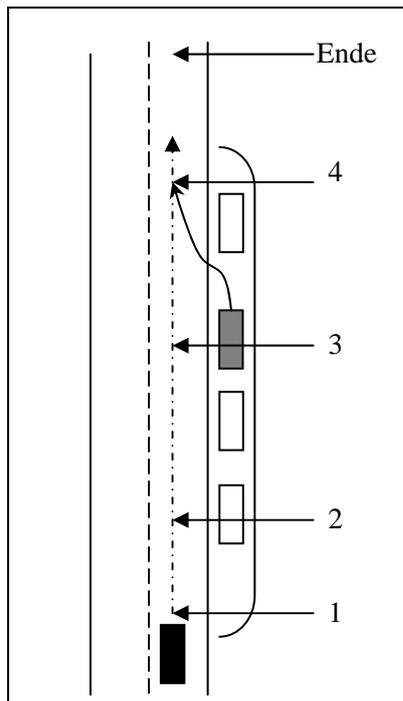


Abbildung 6-32: Vergleich des Blickverhaltens während der Nebenaufgabenbearbeitung mit und ohne Kollision in der Situation Ausparker. Oben links Anteil Straßenblicke, oben rechts mittlere Fixationsdauer, unten mittlere Blickposition in x-Richtung.

Anders als bei der in Studie 1 verwendeten Nebenaufgabe dauert die Bearbeitung des Menüsystems deutlich länger und lässt ein viel freieres Blickverhalten zu. Da die Nebenaufgabe nun häufig die gesamte Situation umfasst und auch nach der eigentlichen Situation noch fortgeführt wird, wird im folgenden das Blickverhalten für verschiedene Abschnitte der Situation getrennt betrachtet. Die Situation „Ausparker“ wird wie in Abbildung 6-33 gezeigt in vier Abschnitte unterteilt:



1. „blinkt“: bei Beginn dieses Abschnitts beginnt das parkende Fahrzeug zu blinken;
2. „fährt los“: bei Beginn dieses Abschnitts fährt das parkende Fahrzeug los;
3. „Pos. Fhvg.“: bei Beginn dieses Abschnitts befindet sich der Fahrer an der Position, an der das Fahrzeug parkte;
4. „Spuren zusammen“: bei Beginn dieses Abschnitts läuft die eigene Spur mit der Spur des Ausparkers zusammen; die eigentliche Situation ist nun zu Ende.

Abbildung 6-33: Unterteilung der Situation „Ausparker“ in Situationsabschnitte. Das Ego-Fahrzeug ist schwarz dargestellt und bewegt sich von unten nach oben, der „Ausparker“ ist grau gekennzeichnet.

Abbildung 6-34 vergleicht das Blickverhalten der Fahrer, die in der Situation „Ausparker“ eine Kollision verursachen, mit dem der Fahrer, die die Situation trotz Nebenaufgabe sicher bewältigen. Dies geschieht getrennt für die vier Situationsabschnitte.

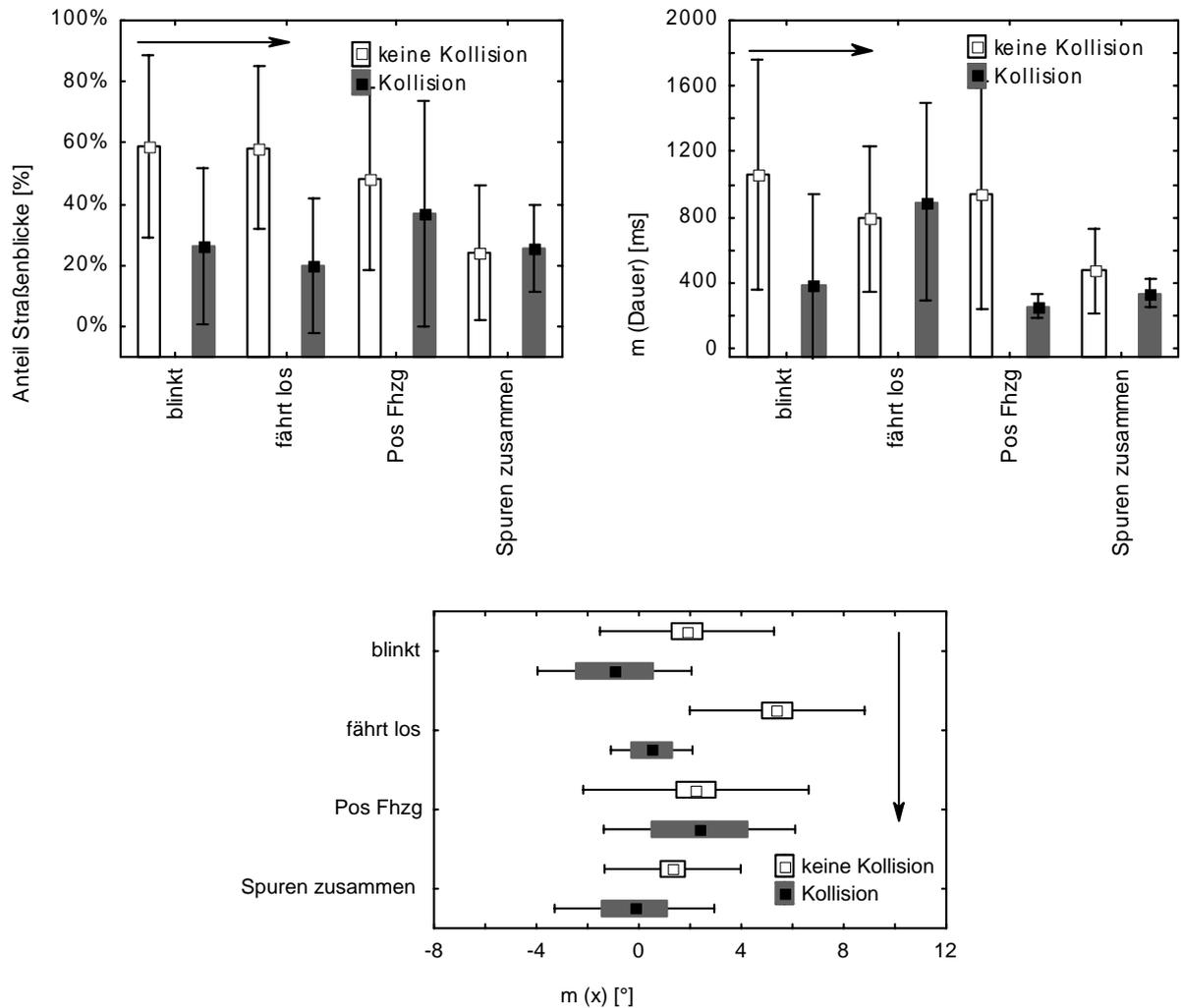


Abbildung 6-34: Blickverhalten in den Abschnitten der Situation „Ausparker“, Vergleich Kollision / keine Kollision. Der Pfeil gibt jeweils die Richtung an, in der die verschiedenen Abschnitte durchfahren werden. Dargestellt sind die Parameter Anteil Straßenblicke (oben links), mittlere Fixationsdauer (oben rechts) und mittlere Blickposition in x-Richtung (unten).

Zu erkennen ist in Situationen mit Kollision ein geringerer Anteil Straßenblicke und ein Blickort weiter links in den Abschnitten „blinkt“ und „fährt los“. Ab dem Abschnitt „Pos. Fhzig.“ sind dann keine Unterschiede mehr zwischen den Gruppen „Kollision“ und „keine Kollision“ zu erkennen. Es wird mittels t-Tests der Unterschied zwischen den Gruppen mit vs. ohne Kollision getrennt für die vier Abschnitte geprüft.

*Tabelle 6-13: T-Werte für die Vergleiche mit vs. ohne Kollision in den Abschnitten der Situation „Ausparker“. Signifikante t-Werte sind fett gedruckt. Für alle Vergleiche  $df=10$ .*

Parameter	Abschnitt			
	blinkt	fährt los	Pos. Fhgz.	Spuren zusammen
Anteil Straßenblick	1.52	<b>2.40</b> ( $p=.037$ )	0.11	0.24
m(Dauer)	1.43	-0.28	1.29	0.80
m(x)	0.66	<b>2.48</b> ( $p=.032$ )	-0.43	0.38

Die Analyse ergibt, dass im Situationsabschnitt „fährt los“ die Fahrer, die die Situation sicher bewältigen, einen höheren Anteil Straßenblicke haben und weiter nach rechts - also in Richtung des ausparkenden Fahrzeugs - blicken als Fahrer, die mit dem Ausparker kollidieren. Dies zeigt, dass diese Fahrer die Situation vermutlich falsch einschätzen und deswegen in dem entscheidenden Situationsabschnitt, nämlich wenn der Ausparker beginnt loszufahren, zu wenig auf die Straße blicken und ihren Blick anstatt auf die rechts parkenden Fahrzeuge weiter nach links auf die Fahrbahnmitte richten.

### 6.5.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Tabelle 6-14 zeigt die wichtigsten Ergebnisse aus Studie 2 noch einmal im Überblick.

*Tabelle 6-14: Überblick über die Ergebnisse aus Studie 2. Signifikante Effekte sind mit einem X gekennzeichnet, Tendenzen mit (X).*

Faktor	Parameter				
	sd(x)	sd(y)	m(Dauer)	Anteil Straßenblicke	m(x)
Phase	X	X	X		
Kritikalität	X		X	X	
Kollision					
Einfluss Kurvigkeit				X	
Situation Ausparker: Entscheidungsphase					
Situation Ausparker: während NA			(x)	X (in geeig. Abschnitten)	X (in geeig. Abschnitten)
Situation Panne: Einfluss der Vorhersehbarkeit		(x) (in geeig. Abschnitten)		X (in geeig. Abschnitten)	

Die Auswertung des Blickverhaltens in den verschiedenen Phasen der Nebenaufgabe bestätigt für die Entscheidungsphase das Ergebnis der ersten Studie. Auch bei der realistischeren Nebenaufgabe, dem Menüsystem, ist in dieser Phase das Blickfeld verkleinert, gleichzeitig sind die Fixationsdauern erhöht. Diese Veränderungen des Blickverhaltens in der Entscheidungsphase werden - wie bereits in Studie 1 - als eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen kleineren Ausschnitt der Fahrscene interpretiert.

Die deutliche Verringerung der auf die Straße gerichteten Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabenbearbeitung aus Studie 1 findet sich in Studie 2 nicht. Zwar ist das Blickfeld während der Nebenaufgabe im Vergleich zum freien Fahren verkleinert, die Fixationsdauern sind nun aber nicht mehr verringert. Dies deutet darauf hin, dass die Fahrer die Möglichkeiten der selbstgetakteten Nebenaufgabe nutzen und mehr Aufmerksamkeit auf die Straße richten als das bei der extern getakteten Nebenaufgabe der Fall war.

Eine Anpassung des Blickverhaltens an die Erfordernisse der Fahrsituation zeigt sich bei der selbst getakteten Nebenaufgabe nicht nur im Anteil der Straßenblicke an der Bediendauer. Der Vergleich kritische vs. unkritische Situationen ergibt außerdem die folgenden Effekte:

- In kritischen Situationen ist das Blickfeld in x- Richtung größer;
- In kritischen Situationen gibt es eine höhere Anzahl von Straßenblicken;
- In kritischen Situationen gibt es eine längere mittlere Dauer der Straßenblicke;

Damit zeigt sich wie erwartet ein deutlicher Einfluss der Situationsanforderungen auf die Aufteilung der Aufmerksamkeit zwischen Fahr- und Nebenaufgabe. In kritischen Situationen wird häufiger und länger auf die Straße geblickt und mit den Blicken ein größerer Bereich der Fahrszene betrachtet als dies in unkritischen Situationen der Fall ist. Auch die weiterführende Auswertung des Blickverhaltens in geeigneten Situationen ergibt Hinweise auf eine situationsangepasste Ausrichtung und Aufteilung der Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabenbearbeitung. Die Auswertung des Blickverhaltens in Abhängigkeit von Abschnitten der Fahrsituation für die Situation „Panne“ verdeutlicht, dass eine bewusst ungewisse Entwicklung der Fahrsituation - wie es in der Pannensituation in der mittleren Abstufung der Fall ist - zu einer Fokussierung der Aufmerksamkeit auf das Fahren führt. Ist dagegen die Situation, in diesem Fall das Hindernis gut vorhersehbar, orientieren sich die Fahrer frühzeitig und blicken weiter voraus. Dies zeigt sich in einer größeren Streuung der Blickziele in y-Richtung zu Beginn der Situation. Durch diese Vorausschau können die Fahrer das Hindernis bereits frühzeitig in ihr Situationsmodell integrieren und sich dann während der Anfahrt an das Hindernis verstärkt der Nebenaufgabe zuwenden. Den kritischsten Fall stellt für die Situation „Panne“ die schwere Abstufung dar: da die Fahrer das Hindernis nicht frühzeitig wahrnehmen können, und da ihnen scheinbar auch nicht bewusst ist, dass sich eine kritische Situation entwickeln könnte, fokussieren sie während der Anfahrt an das Hindernis stark auf die Nebenaufgabe. Die Situation ist allerdings so gestaltet, dass dann trotz dem plötzlich auftauchenden Hindernis die Situation in der Regel ohne Kollision bewältigt werden kann. Eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf aktuell handlungsrelevante Aspekte der Fahraufgabe verdeutlicht auch die Analyse des Zusammenhangs zwischen Blickverhalten und Spurkorrekturen in kurvigen und geraden Abschnitten. Es zeigt sich, dass in Kurven nicht nur mehr auf die Straße geblickt wird als dies auf geraden Landstraßenabschnitten der Fall ist, sondern dass diese Straßenblicke auch stärker mit Spurkorrekturen in Zusammenhang stehen. Dieses Ergebnis kann als ein Hinweis darauf gewertet werden, dass in kurvigen Streckenabschnitten die auf die Straße gerichtete Aufmerksamkeit gezielt zur Kontrolle und Korrektur der Spurposition genutzt wird.

Ein nicht angemessenes Bewältigen der Anforderungen der Fahraufgabe steht wie auch schon in Studie 1 mit einer fehlenden bzw. unzureichenden Anpassung des Blickverhaltens in Zusammenhang. Auch in Studie 2 stellt sich die Situation „Ausparker“ als besonders gefährlich heraus. Fahrer, die die Situation nicht bewältigen, d.h. bei denen es zu einer Kollision mit dem ausparkenden Fahrzeug kommt, blicken in dem besonders relevanten Situationsabschnitt, in dem der Ausparker beginnt loszufahren, weniger auf die Straße und richten ihren Blick auch weiter nach links Richtung Straßenmitte als dies Fahrer tun, die die Situation trotz Nebenaufgabe sicher bewältigen. Leider lassen sich anders als in Studie 1 Unterschiede zwischen Fahren mit und Fahren ohne Kollision erst während der Nebenaufgabe und nicht schon in der Entscheidungsphase nachweisen. Damit kann in Studie 2 nicht repliziert werden, dass Fahrer, die die Situation bewältigen, bereits vor Beginn der Nebenaufgabe ein stärker an die Erfordernisse der Fahrsituation angepasstes Blickverhalten zeigen.

Bei der Analyse der einzelnen Situationen zeigt sich ein methodisches Problem, das bereits aus Studie 1 bekannt ist. Da die Fahrer frei entscheiden, in welchen Situationen sie die Nebenaufgaben bearbeiten, resultieren unterschiedliche und teilweise auch sehr geringe Zellbesetzungen für die einzelnen Situationen und ihre Abstufungen. Dies erschwert den Vergleich zwischen den Bedingungen auf Situations-ebene und führt zu einer geringen Power der statistischen Prüfung. Besonders gravierend ist dieses Problem bei der Analyse des Zusammenhangs zwischen Blickverhalten und Fahrfehlern. Hier wird das Problem verschärft, da es sich zusätzlich bei Kollisionen um seltene Ereignisse handelt. Aus diesem Grund ist insbesondere der Zusammenhang zwischen Fahrfehlern und Parametern des Blickverhaltens in dem verwendeten experimentellen Design schwer statistisch abzusichern.

## 6.6 Vergleich der Nebenaufgaben

Um abschätzen zu können, in wieweit die gezeigten Ergebnisse von der Art der Nebenaufgabe abhängig sind und wie stark sie aufgabenunabhängig Prozesse abbilden, werden im Folgenden die beiden Nebenaufgaben direkt nebeneinander gestellt. Als erste werden die beiden Nebenaufgaben hinsichtlich der beobachtbaren Veränderung des Blickverhaltens in den Phasen der Nebenaufgabe verglichen. Es ergeben sich für die Parameter  $sd(x)$  und  $sd(y)$  je zwei signifikante Haupteffekte (Faktor Studie:  $sd(x)$   $F(1,26) = 40.32$ ,  $p < 0.001$ ;  $sd(y)$   $F(1,26) = 6.77$ ,  $p = 0.015$ ; Faktor Phase:  $sd(x)$   $F(2,52) = 289.14$ ,  $p < 0.001$ ;  $sd(y)$   $F(2,52) = 150.81$ ,  $p < 0.001$ ) sowie eine signifikante Wechselwirkung ( $sd(x)$ :  $F(2,52) = 40.69$ ,  $p < 0.001$ ;  $sd(y)$ :  $F(2,52) = 5.15$ ,  $p = 0.009$ ). Für die mittlere Fixationsdauer ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt Phase ( $F(2,52) = 45.40$ ,  $p < 0.001$ ) sowie eine signifikante Wechselwirkung ( $F(2,52) = 17.97$ ,  $p < 0.001$ ).

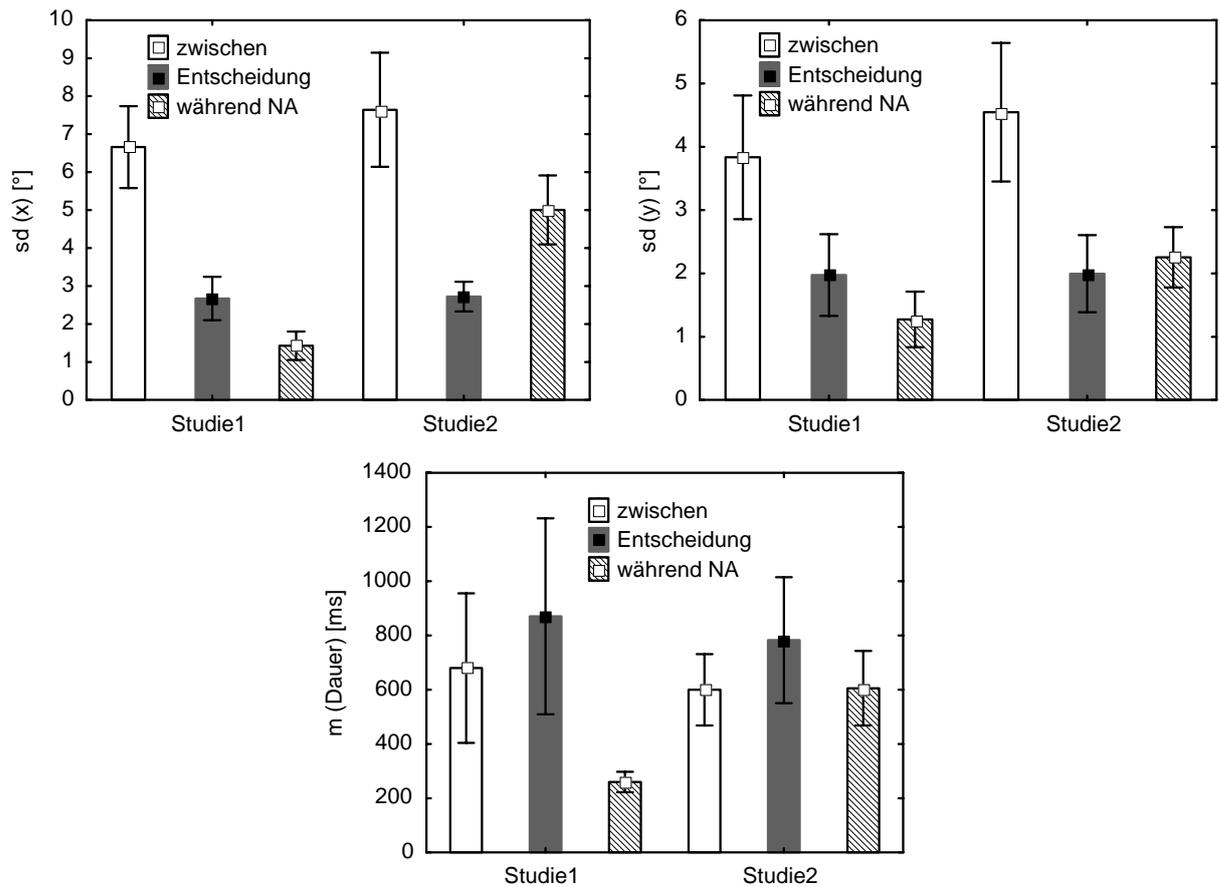


Abbildung 6-35: Vergleich des Blickverhaltens in Studie 1 und Studie 2 in den drei Phasen. Dargestellt sind die Parameter Standardabweichung in x-Richtung (oben links), Standardabweichung in y-Richtung (oben rechts) und mittlere Fixationsdauer (unten).

Abbildung 6-35 verdeutlicht, dass das Blickverhalten beim freien Fahren (Phase zwischen) und in der Entscheidungsphase unabhängig von der Art der gewählten Nebenaufgabe ist. Die hat insbesondere Bedeutung für die Interpretation der Ergebnisse für die Entscheidungsphase. Unabhängig von der Art der geplanten Nebenaufgabe kommt es hier zu einer tieferen visuellen Verarbeitung der Fahrszene.

Deutliche Unterschiede zwischen den Nebenaufgaben gibt es allerdings während der Nebenaufgabenbearbeitung. Die Fahrer nutzen die Freiheit, die ihnen die Menüaufgabe bietet. Sie blicken länger auf die Fahrbahn ( $F(2,20) = 17.17, p < 0.001$ ) und decken durch diese Blicke auch einen größeren Bereich der Fahrszene ab ( $sd(x): F(2,20) = 33.02, p < 0.001$ ;  $sd(y): F(2,20) = 19.80, p < 0.001$ ). Dies führt in der Folge zu einem Anstieg des Anteils Straßenblicke ( $F(2,20) = 182.95, p < 0.001$ ) an der Gesamtbediendauer von ca. 20% für die Zahlenaufgabe auf rund 40% für das Menüsystem.

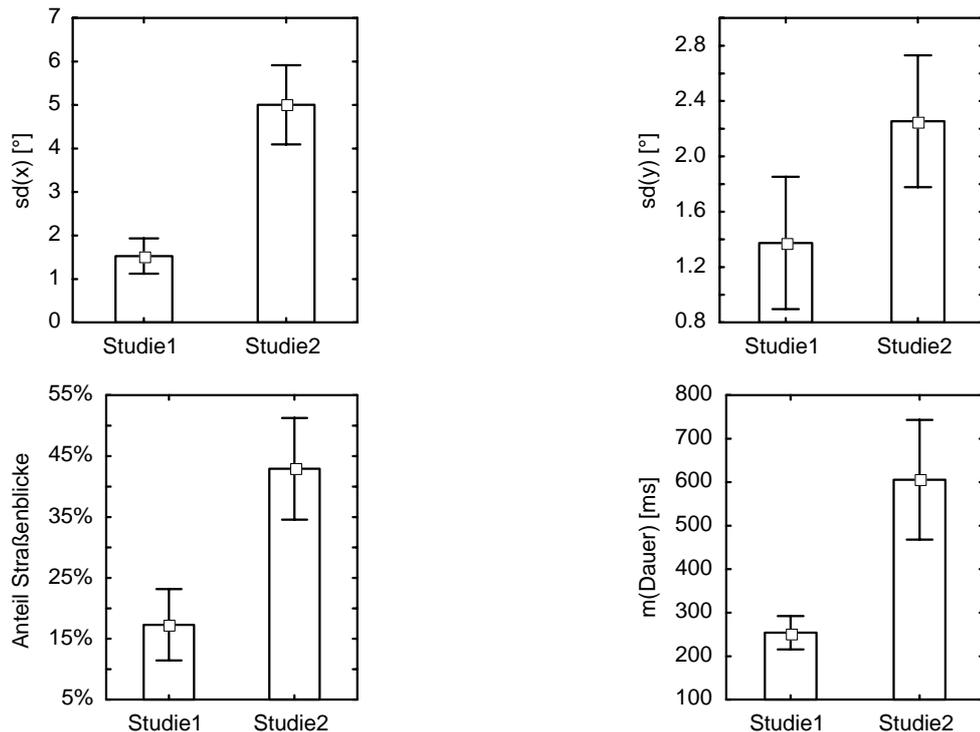


Abbildung 6-36: Vergleich des Blickverhaltens in Studie 1 und Studie 2 während der Nebenaufgabe. Dargestellt sind die Parameter Standardabweichung in x-Richtung (oben links), Standardabweichung in y-Richtung (oben rechts), Anteil Straßenblicke (unten links) und mittlere Fixationsdauer (unten rechts).

Dass Aufmerksamkeit verstärkt der Fahraufgabe zugewendet werden kann, reicht allerdings nicht aus, um die Fahrsicherheit zu erhöhen. Sowohl mit Menü- als auch mit der Zahlenaufgabe verursachen die Fahrer mehr Kollisionen als in der Baselinefahrt (Vergleich Baseline – Studie1:  $X^2 = 5.17$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.023$ ; Vergleich Baseline – Studie2:  $X^2 = 6.30$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.012$ ). Die beiden Nebenaufgaben unterscheiden sich dagegen nicht hinsichtlich der Kollisionshäufigkeit ( $X^2 = 0.11$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.740$ ).

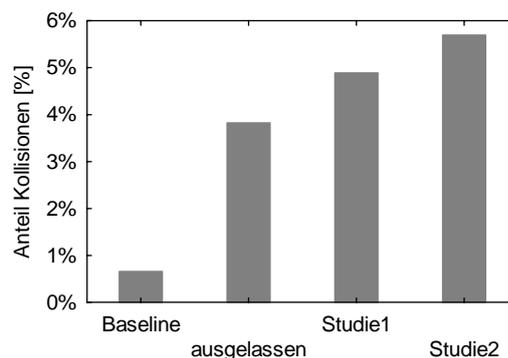
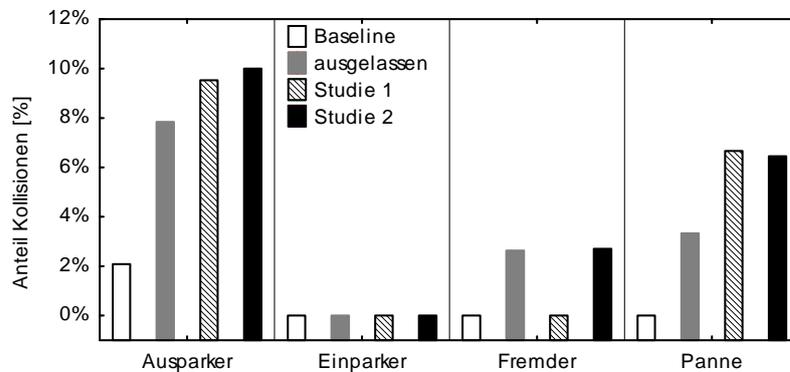


Abbildung 6-37: Anteil Kollisionen in der Baselinebedingung im Vergleich zu Nebenaufgabe 1 u. 2 über alle relevanten Situationen. Extra dargestellt ist der Anteil für Situationen, in denen die Nebenaufgabe ausgelassen wird (gemittelt für Studie 1 u. 2).

Eine detaillierte Analyse der kritischen Situationen zeigt, dass in beiden Fahrten dieselben Situationen besonders unfallträchtig sind. Hierbei handelt es sich insbe-

sondere um die Situationen „Ausparker“ und „Panne“, aber auch in den Situation „Fremder“ kommt es zu Kollisionen. In allen anderen Situationen, beispielsweise Situation „Einparker“ kommt es zu keinen Kollisionen.



*Abbildung 6-38: Anteil Kollisionen in der Baselinebedingung im Vergleich zu Nebenaufgabe 1 und 2 getrennt für die relevanten Situationen. Extra dargestellt ist der Anteil für Situationen, in denen die Nebenaufgabe ausgelassen wird (gemittelt für Studie 1 und 2).*

Insgesamt erweisen sich damit solche Situationen als besonders fehleranfällig, in denen die Situationsentwicklung von Objekten ausgeht, die sich am Rande der Straße befinden oder verdeckt werden. Diese Situationen werden durch die Einführung der Nebenaufgaben signifikant schlechter bewältigt. Dieser Effekt ist unabhängig von der Art der verwendeten Nebenaufgabe.

## 6.7 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Tabelle 6-15 zeigt die wichtigsten Ergebnisse aus Studie 1 und Studie 2 noch einmal Überblick. Die Richtung der signifikanten Effekte wird jeweils in abgekürzter Form dargestellt.

*Tabelle 6-15: Überblick über die Ergebnisse aus Studie 1 und 2. Bei signifikanten Effekten ist die Richtung des Effekts in abgekürzter Form dargestellt. Es werden die folgenden Abkürzungen verwendet: Zw = zwischen Phase, entspricht freiem Fahren ohne Nebenaufgabe; Entsch = Entscheidungsphase; wNA = während der Nebenaufgabe; krit = kritische Situation; unKrit = unkritische Situation; +Koll = Kollision; -Koll = keine Kollision; leicht, mittel, schwer = Abstufung der Vorhersehbarkeit; Ger = Gerade; Kurv = Kurve; NA1 = Nebenaufgabe in Studie 1 (Zahlernaufgabe); NA2 = Nebenaufgabe in Studie 2 (Menusystem).*

Faktor	Studie	Parameter				
		sd(x)	sd(y)	m(Dauer)	Anteil Staßenblicke	m(x)
Phase						
	1	Zw>Entsch> wNA	Zw>Entsch> wNA	Entsch>Zw> wNA		
	2	Zw>wNA >Entsch	Zw>(Entsch & wNA)	Entsch> (zw & wNA)		
Kritikalität						
	1				Krit>unKrit	
	2	Krit>unKrit		Krit>unKrit	Krit>unKrit	
Kollision						
	1					
	2					
Kollision in Situation Ausparker						
Entsch.	1					+Koll< -Koll
	2					
Während NA	1				(+Koll< -Koll)	+Koll< -Koll
	2			(+Koll< -Koll)	+Koll< -Koll (in geeign. Abschnitten)	+Koll< -Koll (in geeign. Abschnitten)
Vorhersehbarkeit in Situation Panne						
	2		Leicht> (Mittel & schwer) (in geeign. Abschnitten)		Mittel> (leicht& schwer) (in geeign. Abschnitten)	
Einfluss Kurvigkeit						
	2				Ger < Kurv	
Vergleich der Nebenaufgaben						
Entsch.						
Während NA		NA1<NA2	NA1<NA2	NA1<NA2	NA1<NA2	

In beiden Studien lässt sich vor dem eigentlichen Beginn der Nebenaufgabe in der Entscheidungsphase eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf zentrale Bereiche der Fahrszene beobachten. Unabhängig von der Art der Nebenaufgabe kommt es zu einer Verkleinerung des Blickfeldes und zu einer Verlängerung der Fixationsdauern im Vergleich zum freien, nicht abgelenkten Fahren. Dieser Befund wird in Anlehnung an Ergebnisse zur Gefahrenwahrnehmung (Velichkovsky, Rothert et al., 2002; Chapman u. Underwood, 1998; Underwood et al., 2005) als eine verstärkte visuelle Verarbeitung und Bewertung eines Ausschnitts der Fahrszene interpretiert.

Die Verteilung der Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabe selber ist stark abhängig von der Art der Nebenaufgabe. Wenn diese die Möglichkeit zur stärkeren visuellen Überwachung der Fahraufgabe bietet, wird dies von den Fahrern auch genutzt. Im Vergleich zur extern gesteuerten Zahlenaufgabe, blicken die Fahrer beim selbstgetakteten, unterbrechbaren Menüsystem länger und häufiger auf die Straße und sie nutzen die Straßenblicke, um einen größeren Bereich der visuellen Szene abzudecken. Außerdem werden die Freiheiten der selbstgetakteten Nebenaufgabe genutzt, die Aufteilung und die Ausrichtung der Aufmerksamkeit stärker an die Erfordernisse der Fahrsituation anzupassen. Zwar wird unabhängig von der Art der Nebenaufgabe das Blickverhalten an die Erfordernisse der Situation angepasst, bei der selbstgetakteten Nebenaufgabe haben die Fahrer hierbei allerdings mehr Möglichkeiten. Die Fahrer verwenden in kritischen Situationen mehr Aufmerksamkeit auf die Fahraufgabe als dies in unkritischen Situationen der Fall ist. Bei der extern gesteuerten Nebenaufgabe lässt sich dies nur im Parameter Anteil Straßenblicke zeigen, der Blickhäufigkeit und Blickdauer kombiniert. Bei dem selbstgetakteten, unterbrechbaren Menüsystem unterscheidet sich das Blickverhalten in kritischen und unkritischen Situationen zusätzlich in der Anzahl und der Dauer der Straßenblicke. Außerdem werden in kritischen Situationen die Straßenblicke dazu genutzt, ein größeres Blickfeld abzudecken. Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit der Erwartung, dass Häufigkeit und der Dauer des Abgleichs von erwarteter und tatsächlicher Fahrsituation die Anforderungen der Fahraufgabe widerspiegeln aber auch von der Gestaltung der Nebenaufgabe beeinflusst werden.

Die Analysen für die Menüaufgabe zeigen außerdem, dass Anpassung der Aufmerksamkeitsverteilung relativ differenziert erfolgt. Die Auswertung der drei Situationen Kurvenfahrt, „Ausparker“ und „Panne“, die sich durch deutlich unterschiedliche Anforderungen in der Fahraufgabe auszeichnen, legt nahe, dass die Fahrer die Aufmerksamkeit auf aktuell zentrale Anforderungen der Fahraufgabe richten. Dies ist in Kurvensituation beispielsweise die Spurhaltung, vor verdeckten Hindernissen aber eher die Suche nach neuen Objekten. Beim Ausparker wiederum wird ein möglicherweise gefährliches Fahrzeug, das sich am rechten Straßenrand befindet, beobachtet.

Die Auswertung der Kollisionen zeigt, dass auch bei der selbstgetakteten Nebenaufgabe mit der von den Fahrern selbst gesteuerten Aufteilung der Aufmerksamkeit die Fahrsicherheit im Vergleich zur Baselinefahrt reduziert ist. Die Fehler geschehen bei beiden Nebenaufgaben nur in bestimmten Fahrsituationen. Dies sind Situationen, in denen die Kritikalität von einem verdeckten oder einem peripheren Objekt ausgeht. Es scheint, dass die Fahrer die Freiheiten, die das Menüsystem bietet, zwar nutzen und mehr auf die Fahrszene blicken, durch ihre Straßenblicke aber trotzdem nur einen begrenzten Ausschnitt der Fahrszene überwachen. Situationsänderungen durch nicht im Fokus stehende Objekte werden unabhängig von der Gestaltung der

Nebenaufgabe schlecht wahrgenommen und eine angemessene Reaktion fällt den Fahrern hier schwer. Eine Mehr an auf die Fahraufgabe gerichtete Aufmerksamkeit geht somit nicht zwingend mit einem Mehr an Sicherheit einher.

Die Ergebnisse von Studie 1 und Studie 2 bestätigen weitgehend die in Abschnitt 6.2 aufgestellten Erwartungen. Es lässt sich zeigen, dass die Anforderungen der Fahrsituation Einfluss auf die Verteilung der Aufmerksamkeit zwischen Fahr- und Nebenaufgabe nehmen. Insbesondere bei der vom Fahrer selbstgetakteten Nebenaufgabe wird in kritischen Situationen häufiger und länger auf die Fahrszene geblickt als in unkritischen Situationen. Dies zeigt, dass Länge und Häufigkeit des angenommenen zyklischen Abgleichs zwischen erwarteter und tatsächlicher Situation von den Anforderungen der Fahrsituation beeinflusst werden. Wie stark diese Anpassungen sind hängt allerdings stark von der Gestaltung der Nebenaufgabe ab. Auch für die Annahme, dass Fahrfehler während der Nebenaufgabe mit einer fehlerhaften Anpassung der Aufmerksamkeitsverteilung in Zusammenhang stehen, finden sich in beiden Studien Belege. Hier ist allerdings auch zu berücksichtigen, dass es sich bei Fahrfehlern um seltene Ereignisse handelt, weswegen dieser Punkt mit dem gewählten methodischen Ansatz schwer abzusichern ist. Auch für die dritte Annahmen, dass in für diese Analyse geeigneten Situationen ein Zusammenhang zwischen dem Blickverhalten und spezifischen Situationsanforderungen besteht, ergeben die Analysen der Situationen „Ausparker“ in Studie 1 und Studie 2 sowie „Panne“ und „Kurve“ in Studie 2 Belege. Diese Befunde sprechen gegen die in der Literatur vertretene Annahme, dass während der Nebenaufgabenbearbeitung immer auf die Stabilisierungsebene fokussiert wird. In der Situation „Ausparker“ scheinen die Fahrer vielmehr auf ein seitliches, relevantes Objekt zu fokussieren, in der mittleren Abstufung der Panensituation dagegen nur bei bewusst unbekannter Situationsentwicklung verstärkt auf den weiteren Straßenverlauf.

Hintergrund der in Abschnitt 6.2 aufgestellten Erwartungen ist die Annahme, dass es während der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben in der Fahraufgabe zu einer Fokussierung auf top-down gesteuerte Aufmerksamkeitsprozesse kommt und dass eine darüber hinausgehende explorative Situationswahrnehmung wegfällt. Dieser Punkt ist leider nur schwer mittels Blickverhaltensmessung nachzuweisen, da es weder für die eine noch für die andere Form der Aufmerksamkeit spezifisches Blickverhalten gibt. Einzig die Einschränkung des Blickfeldes auf einen im Vergleich zum freien Fahren verkleinerten Ausschnitt der Szene kann hier als Hinweis gewertet werden. Außerdem bietet der angenommene Wegfall explorativer Wahrnehmung eine Erklärung dafür, warum bei beiden Nebenaufgaben nur bestimmte Fahrsituationen zu Kollisionen führen und warum hier das selbstgetaktete Menüsystem nicht zu einer Erhöhung der Fahrsicherheit führt. Unabhängig von der Gestaltung der Nebenaufgabe fokussieren die Fahrer während der Nebenaufgabenbearbeitung top-down auf einen als relevant identifizierten Szeneausschnitt. Auch wenn während dem Menüsystem häufiger und länger auf die Fahrszene geblickt wird, wird diese Aufmerksamkeit nicht zur explorativen Wahrnehmung der Szene genutzt. Es wird trotzdem top-down auf einen vermeintlich relevanten Szeneausschnitt fokussiert. Entsteht dann eine nicht erwartete gefährliche Situation durch einen beispielsweise peripheren Reiz kann diese nur schlecht wahrgenommen und nicht angemessen reagiert werden. Damit scheint der vermutet Wegfall explorativer Wahrnehmung unabhängig von der

Gestaltung der Nebenaufgabe zu sein. Auch Nebenaufgaben, die gültigen Gestaltungsempfehlungen entsprechen, führen hier nicht zu mehr Sicherheit.

Die Ergebnisse für die Entscheidungsphase deuten darauf hin, dass diese eine spezifische Funktion beim Übergang vom nicht abgelenkten Fahren zum Fahren mit Nebenaufgabe hat. Während der Entscheidungsphase gibt es unabhängig von der Art der anschließend bearbeiteten Nebenaufgabe Hinweise auf eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen Ausschnitt der Fahrszene. Es wird angenommen, dass diese Phase von zentraler Bedeutung für die top-down gesteuerte Ausrichtung der Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabe ist. Die folgenden Prozesse sind vermutlich an der top-down Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben beteiligt:

- Vor dem Beginn der Nebenaufgabe wenden sich die Fahrer verstärkt der Fahrsituation zu. Sie bewerten dabei die aktuelle Fahrsituation und entwickeln ein Situationsmodell. Basierend auf der wahrgenommenen Situation wird die wahrscheinliche Entwicklung der Situation antizipiert.
- Anhand des Situationsmodells wird über den Beginn der Nebenaufgabe entschieden. Außerdem legt das Situationsmodell die Aufteilung und die Ausrichtung der Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabe fest.
- Während der Nebenaufgabe wird nur noch ein begrenzter Ausschnitt der Fahrsituation beobachtet. Dieser umfasst die in der Situationsbewertung als aktuell fahrrelevant definierten Bestandteile der Szene.

Damit kann man eine Bewertungs-, eine Entscheidungs- und eine Kontrollphase unterscheiden. Im in Studie 1 und Studie 2 verwendeten experimentellen Design finden die Bewertungs- und die Entscheidungsphase während dem als Entscheidungsphase bezeichneten Abschnitt vor Beginn einer Nebenaufgabe statt. Während der Nebenaufgabenbearbeitung befindet sich der Fahrer in der Kontrollphase und richtet seine Aufmerksamkeit überwiegend auf vorher als relevant identifiziert Bestandteile der Fahrsituation. Ergeben sich während der Nebenaufgabenbearbeitung Situationsänderungen aufgrund der beobachteten Elemente, ist auch während der Nebenaufgabe eine Änderung der Aufmerksamkeitsverteilung möglich. Die Ergebnisse für die Situation „Ausparker“ weisen außerdem darauf hin, dass nicht nur die Aufteilung, sondern auch die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf bestimmte Bereiche oder Objekte der Fahrszene vor Beginn der Nebenaufgabe entschieden wird. In der Situation „Ausparker“ steht in Studie 1 die Ausrichtung des Blicks in der Entscheidungsphase in Zusammenhang mit der Ausrichtung während der Nebenaufgabenbearbeitung. Fahrer, denen es nicht gelingt, die Situation fehlerfrei zu bewältigen, blicken sowohl in der Entscheidungsphase als auch während der Nebenaufgabe weiter nach links, d.h. in Richtung Fahrbahnmitte. Fahrer, die angemessen auf den Ausparker reagieren, fokussieren dagegen stärker auf die rechte Seite der Fahrszene, auf der sich auch das ausparkende Fahrzeug befindet. Die Tatsache, dass dieser Unterschied im Blickverhalten bereits in der Entscheidungsphase zu finden ist, deutet darauf hin, dass die Situation bereits vor Beginn der Nebenaufgabe falsch eingeschätzt wird und dass dieser Fehler während der Nebenaufgabe fortgeführt wird. Auch in Studie 2 findet sich grafisch der beschriebene Blickrichtungsunterschied. Er wird hier allerdings nicht signifikant.

Die verwendete experimentelle Anordnung erlaubt nur in begrenztem Maße die Prüfung der Hypothese, dass während der Nebenaufgabenbearbeitung die Aufmerksamkeit in der Fahraufgabe über top-down Prozesse auf als relevant bewertete Reize gelenkt wird und dass andere Reize kaum noch - beispielsweise über explorative Wahrnehmung – verarbeitet werden. Einzige Möglichkeit dies zu messen, ist die Analyse spezifischer Fahrfehler. Diese können Hinweise auf ein falsches Situationsmodell liefern. Wie für die Situation „Ausparker“ gezeigt, sollte in solchen Fällen aus dem falschen Situationsmodell ein nicht angepasstes Blickverhalten während der Nebenaufgabe resultieren. Hier hat man allerdings wie bereits diskutiert das Problem, dass es sich bei schweren Fahrfehlern oder Kollisionen um seltene Ereignisse handelt. Dazu kommt, dass nicht alle Fahrsituationen für eine solche Analyse des Blickverhaltens geeignet sind. Nur in Situationen, in denen aus dem falschen Situationsmodell ein räumlich deutlich anderes Blickmuster entsteht als aus einer richtigen Situationseinschätzung, ist die Blickverhaltensmessung als Messansatz geeignet. Eine solche Situation ist beispielsweise die Situation „Ausparker“, bei der sich der relevante Reiz rechts vom weiteren Straßenverlauf und damit rechts von dem beim Fahren in der Regel besonders relevanten Situationsausschnitt befindet.

Um den Zusammenhang zwischen Situationsmodell und Blickverhalten während Nebenaufgaben über die Analyse von Fahrfehlern weiter untersuchen zu können, müsste man entweder die Blickziele mit deutlich höherer Genauigkeit erfassen oder gezielt weitere Fahrsituationen entwickeln, in denen sich – ähnlich wie in der Situation „Ausparker“ - die relevanten Objekte deutlich entfernt vom weiteren Straßenverlauf befinden. Eine andere Möglichkeit wäre, sich einen Untersuchungsansatz zu überlegen, in dem man, beispielsweise über vorangehende Situationen versucht, ein spezifisches Situationsmodell aufzubauen. Kommt dann der Fahrer in eine Situation, die den vorangehenden ähnelt, sich aber anders entwickelt, sollte das Blickverhalten während der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben dem zuvor aufgebauten Situationsmodell entsprechen und es sollte zu spezifischen, aus der nun unerwarteten Situationsentwicklung entstehenden Fahrfehlern kommen.

## 7 STUDIE 3 & 4: CHANGE BLINDNESS ALS INDIKATOR

### 7.1 Notwendigkeit eines neuen Messansatzes

Die Ergebnisse der Blickverhaltensanalyse aus Studie 1 und Studie 2 zeigen wie in Abschnitt 5 vorhergesagt, einen Einfluss der Fahrsituation auf die zeitliche Aufteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe. Der erwartete Einfluss auf die räumliche Ausrichtung der Aufmerksamkeit, d.h. darauf welche Objekte der Szene aufmerksam verarbeitet werden, ließ sich dagegen deutlich schwieriger anhand der Blickverhaltensmessung nachweisen. Für diese Art der Analyse waren nur bestimmte Situationen geeignet. Diese Situationen zeichneten sich durch einen spezifischen räumlichen Aufbau der Fahrszene aus; insbesondere war es notwendig, dass das handlungsleitende Objekt sich nicht direkt im weiteren Verlauf der Straße befindet. Nur so kann eine unspezifische Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf den weiteren Straßenverlauf von einer Fokussierung auf spezifische handlungsleitende Objekte getrennt werden.

Hauptproblem der Blickverhaltensmessung bei der Analyse des Orts bzw. des Objektes auf dem die Aufmerksamkeit ruht, ist die mangelnde räumliche Auflösung. Die gemessene Blickrichtung ist nicht genau genug, um in komplexen Situationen mit vielen potentiell relevanten und anderen ablenkende Szenebestandteilen den genauen Ort des Aufmerksamkeitsfokus zu bestimmen. Aber auch bei absoluter Messgenauigkeit begrenzen zwei Grundprobleme der Blickverhaltensmessung die Aussagekraft der Analysen:

- Die Fovea umfasst rund ein Grad. Damit kann im Umkreis von einem Grad um den Fixationspunkt nicht unterschieden werden, auf welchem Objekt bzw. auf welchem Teil eines Objektes die Aufmerksamkeit ruht. Insbesondere bei Blicken auf den weiter entfernten Straßenverlauf (wo verschiedene fahrrelevante Objekte häufig nahe beieinander liegen) wird dadurch eine Entscheidung über den genauen Inhalt des Aufmerksamkeitsfokus schwierig.
- Der Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit und Fixation ist nicht zwingend. So kann insbesondere aus dem Fehlen einer Fixation nicht sicher geschlossen werden, dass ein Objekt nicht wahrgenommen wurde. Auch über periphere Wahrnehmung ist es möglich, dass ein Objekt in das mentale Abbild der Situation integriert wird.

Insgesamt resultiert aus den genannten Problemen der Blickverhaltensmessung, dass mittels dieses Messansatzes eine Bestimmung des Objektes, auf dem die Aufmerksamkeit ruht, schwierig ist bzw. nur in bestimmten, für diese Analyse geeigneten Situationen möglich ist. Im Folgenden wird deswegen ein neuer Messansatz entwickelt, der eine genauere Untersuchung der Hypothese zulässt, dass während der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben überwiegend aktuell handlungsrelevante Objekte im Fokus der Aufmerksamkeit stehen.

## 7.2 Allgemeiner Versuchsaufbau

Ziel der beiden folgenden Studien ist es, die Hypothese genauer zu untersuchen, dass während der Bearbeitung visueller Nebenaufgaben die auf die Fahraufgabe verwendete Aufmerksamkeit auf eine beschränkte Auswahl fahrrelevanter Szenebestandteile gerichtet wird. Als Maß für die Ausrichtung der Aufmerksamkeit wird das Phänomen der Change Blindness verwendet. Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, werden plötzliche Änderungen von Objekten in der Regel nur dann bemerkt, wenn das geänderte Objekt vorher im Fokus der Aufmerksamkeit stand. Damit kann das Auftreten von Change Blindness als Indikator dafür verwendet werden, dass das geänderte Objekt nicht aufmerksam verarbeitet wurde. Unter einer ähnlichen Fragestellung wurde das Phänomen der Change Blindness bereits von J. Lee, Reyes, Liang u. Lee (2007) und Y.-C. Lee et al. (2007) sowie in eigenen Untersuchungen (Gradenegger u. Krüger, 2008) verwendet, um die Ausrichtung von Aufmerksamkeit beim Fahren zu messen.

Um die Untersuchungsfrage prüfen zu können, treten in Studie 3 und Studie 4 Änderungen entweder an für die Fahraufgabe relevanten oder an nicht relevanten Objekten auf. Es wird erwartet, dass Änderungen an fahrrelevanten Objekten gut, an fahrirrelevanten Objekten dagegen schlecht bemerkt werden. Das Design ist so gewählt, dass sich relevante und irrelevante Objekte in Form und Größe nicht unterscheiden. Es handelt sich außerdem in beiden Fällen um bewegte Objekte. Die Relevanz entsteht nur aus der Kombination der Bewegungsrichtung und –geschwindigkeit des Fahrers und des entsprechenden Objekts. Als relevante Objekte werden solche bezeichnet, deren Trajektorie sich in naher Zukunft auf Kollisionskurs zum Ego-Fahrzeug befindet.

Als Grundsituation wird ein Kreuzungsszenario gewählt. Hier ist eine möglichst große räumliche Trennung der verschiedenen Reize möglich. Dies erschwert die Kontrolle mehrerer Objekte mittels eines, auf die Straßenmitte gerichteten Blicks. Wie weit die Objekte allerdings tatsächlich von einander und vom Ego-Fahrzeug entfernt sind, ist abhängig von ihrer Bewegung und von der Bewegung des Ego-Fahrzeugs in Bezug auf die Kreuzung. Da sich sowohl Ego-Fahrzeug als auch die Objekte in ständiger Bewegung befinden, ändern sich die räumliche Trennung der Objekte und ihr Abstand zur Trajektorie des Ego-Fahrzeugs permanent.

Um größerer experimenteller Kontrolle zu erreichen, wird in Studie 3 und Studie 4 der wiederholte Wechsel der Aufmerksamkeit zwischen Fahr- und Nebenaufgabe experimentell hergestellt. Anders als in Studie 1 und 2 kann der Fahrer nun nicht mehr selbst über den Beginn der Nebenaufgabe entscheiden. Auch das Blickmuster wird experimentell vorgegeben. Hierfür wird auf die Methode der Okklusion zurückgegriffen (vgl. Kapitel 3.1.4). Im Rahmen der Anordnung bedeutet dies, dass die Entscheidungsphase zu einer Vorbereitungsphase wird, auf die dann immer die Nebenaufgabe folgt. Während der Nebenaufgabenphase werden beide Aufgaben im Wechsel auf der Frontprojektion des Fahrsimulators dargeboten. Das Muster, mit dem zwischen den beiden Aufgaben gewechselt wird, legt den Wechsel der Aufmerksamkeit zwischen Fahr- und Nebenaufgabe fest.

Aus Untersuchungen zur Change Blindness ist bekannt (vgl. Kapitel 4.2), dass Veränderungen in der Regel nur dann nicht entdeckt werden, wenn der Zeitpunkt der

Änderungen maskiert wird. Unmaskierte Änderung führen zu einem salienten Bewegungstransienten und werden durch die, bei plötzlichen Bewegungsreizen entstehende, reizbasierte bottom-up Ausrichtung der Aufmerksamkeit sofort bemerkt. Change Blindness Untersuchungen werden allerdings normalerweise unter Single-Task-Bedingung durchgeführt. Die Probanden müssen ihre Aufmerksamkeit nicht auf zwei Aufgaben verteilen, sondern können alle verfügbaren Ressourcen auf die Suche nach Änderungen verwenden. Wie in Abschnitt 5.2 dargestellt, ist es unklar, ob es während der Ablenkung durch visuelle Nebenaufgaben beim Fahren einen Einfluss von bottom-up Prozessen auf die Steuerung der Aufmerksamkeit gibt. Um dieser Frage nachgehen zu können, wird in den folgenden beiden Studien der Zeitpunkt der Änderungen variiert. Die Änderungen können entweder auftreten während der Proband die Straße sieht (also unmaskiert) oder während der Okklusion durch die Nebenaufgabe (also maskiert). Gibt es einen Einfluss von bottom-up Prozessen, sollten bei unmaskierter Änderung, also bei einer Änderung während einer Straßensicht, auch Änderungen an irrelevanten Objekten gut bemerkt werden.

### 7.3 Der Simulator

Die Untersuchung findet am WIVW im statischen Simulator ohne Bewegungssystem statt. Vorteile dieses Simulators im Vergleich zur Simulation mit Bewegungssystem sind eine bessere Verträglichkeit und ein breiteres Sichtsystem. Die Projektion der Szenerie erfolgt über fünf LCD-Projektoren. Über die fünf Kanäle wird ein horizontales Sichtfeld von 300° dargeboten. Vertikal umfasst die Sicht 47°. Als Außen- und Innenspiegel fungieren LCD-Displays. Das Fahrzeugmockup ist einem Kleintransporter der Sprinterklasse nachempfunden und besteht in den wichtigsten Komponenten (Gas, Bremse, Lenkung, Fahrersitz) aus originalen Fahrzeugteilen. Beispielsweise sorgt eine modifizierte EPS Lenkung für die realistische Darstellung des Lenkmoments. Insgesamt besteht das System aus zehn Rechnern, die unter dem Microsoft Betriebssystem Windows XP laufen. Der Datenaustausch zwischen den Rechnern erfolgt über ein 100 Mbit Ethernet.



Abbildung 7-1: Statischer Fahrsimulator des WIVWs.

Das Lenkrad ist mit Tasten ausgestattet. Diese sind so montiert, dass sie leicht mit den Daumen bedient werden können, wenn der Fahrer das Lenkrad umfasst. Die Simulation läuft wie in den vorangehenden beiden Studien auch, unter der Simulationssoftware SILAB. Das System wird von einem Bedienplatz aus durch einen geschulten Versuchsleiter gesteuert. Von hier aus kann der Fahrer über eine Videoanlage beobachtet werden. Über eine Gegensprechanlage steht der Fahrer mit dem Versuchsleiter in Kontakt. Die Datenaufzeichnung erfolgt mit 120 Hz.

## 7.4 Allgemeines zur Auswertung

Die Auswertungen für Studie 3 und Studie 4 sind mit der Statistiksoftware Statistica 7.1 durchgeführt. Die Grafiken in den Ergebnisdarstellungen zeigen so lange nichts anderes angegeben ist Mittelwert und Standardabweichung. Zur inferenzstatistischen Prüfung werden in der Regel mehrfaktorielle ANOVAs durchgeführt. Als Post-Hoc Tests werden Scheffétests verwendet. Die Signifikanzprüfung erfolgt bei einem Alpha-Niveau von 5%. Bis zu einem Alpha-Fehler kleiner 10% wird von einer Tendenz gesprochen.

## 7.5 Studie 3

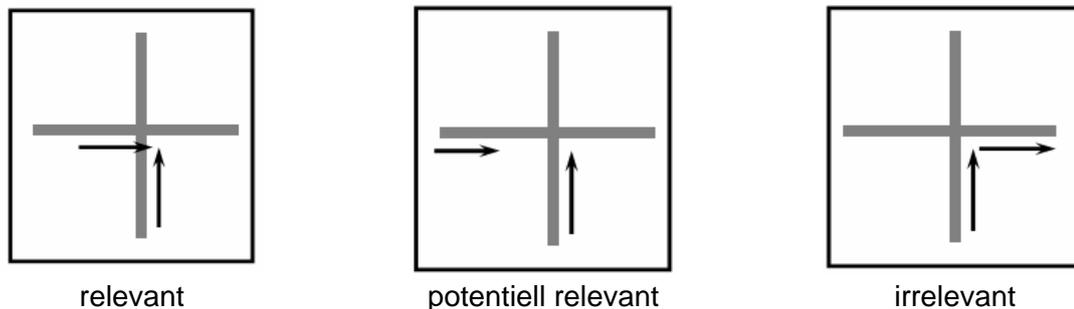
### 7.5.1 Versuchsaufbau und Versuchsdesign

#### 7.5.1.1 Grundsituation

Bei der verwendeten Grundsituation handelt es sich um eine x-Kreuzung, an der von rechts und von links sowie von vorne sich je ein LKW nähert. Der Fahrer muss an der Kreuzung sowohl dem Verkehr von links als auch dem von rechts Vorfahrt gewähren (Vorfahrtachten-Schild). Die Relevanzmanipulation betrifft nur diese beiden vorfahrtberechtigten, sich seitlich der Kreuzung nähernden LKW. Diese sich von rechts und links nähernden LKW können drei verschiedene Geschwindigkeiten haben. Die Geschwindigkeiten stehen in direktem Zusammenhang mit der Relevanz der LKW für den Fahrer.

- LKW ist zeitgleich mit dem Ego-Fahrzeug an der Kreuzung: dieses Fahrzeug ist relevant, da der Fahrer bremsen muss.
- LKW erreicht nach dem Ego-Fahrzeug die Kreuzung: Diese Fahrzeug ist potentiell relevant, da es sich zwar ebenfalls der Kreuzung annähert, ihm aber aufgrund seiner Geschwindigkeit keine Vorfahrt gewährt werden muss.
- LKW kreuzt vor dem Ego-Fahrzeug: dieses Fahrzeug ist für den Fahrer irrelevant, da es sich, wenn er die Kreuzung erreicht bereits wieder von dieser entfernt.

Abbildung 7-2 verdeutlicht die beschriebenen Unterschiede zwischen den verschiedenen Abstufungen der Relevanz noch einmal grafisch. Es ist immer nur das Ego-Fahrzeug, das sich von unten annähert und ein sich seitlich näherndes Fahrzeug dargestellt.



*Abbildung 7-2: Grafische Darstellung der Relevanzmanipulation. Das Ego-Fahrzeug nähert sich von unten. Querend ist immer ein sich von rechts näherndes, in den verschiedenen Situationen unterschiedlich relevanter LKW dargestellt. Zur Vereinfachung werden die beiden anderen, sich von links und frontal nähernden LKW nicht gezeigt.*

An jeder Kreuzung gibt es einen relevanten LKW. Der zweite LKW erreicht entweder vor oder nach dem Fahrer die Kreuzung und ist damit entweder potentiell relevant oder irrelevant. Das Erscheinen des relevanten LKWs von rechts bzw. von links ist ausbalanciert. Der Vorteil dieser Anordnung ist der deutliche räumliche Abstand zwischen den drei Fahrzeugen. Dies führt dazu, dass der Fahrer bei kurzen Blickzeiten nur schwer alle drei LKWs beobachten kann.

Während den Anfahrten an die Kreuzungen bearbeiten die Fahrer immer zusätzlich zur Fahraufgabe eine Nebenaufgabe. Diese ist an die Zahlenaufgabe aus Studie 1 angelehnt, erlaubt nun aber keine freie Gestaltung des Blickmusters mehr. Die Zahl auf schwarzem Grund wird als Okklusion der vorderen 180° der Projektion eingeblendet. Jede Zahl wird für 1 Sekunde angezeigt und wird dann von einer kurzen Präsentation der Fahrszene abgelöst. Es kommt somit zu einem experimentell gesteuerten Wechsel zwischen Nebenaufgabe und Fahrszene. Die Fahrer sind instruiert, die gezeigten Zahlen laut vorzulesen. Die Nebenaufgabe wird ab 250 Meter vor der Kreuzung über ein eingeblendetes Ausrufezeichen für ca. 3 Sekunden angekündigt. Die Präsentation der Zahlen beginnt ab 200 Meter vor der Kreuzung und dauert 10 Zahlen an. Wenn die Kreuzung ohne zu bremsen überfahren wird, endet die Nebenaufgabe auf bzw. kurz nach der Kreuzung.

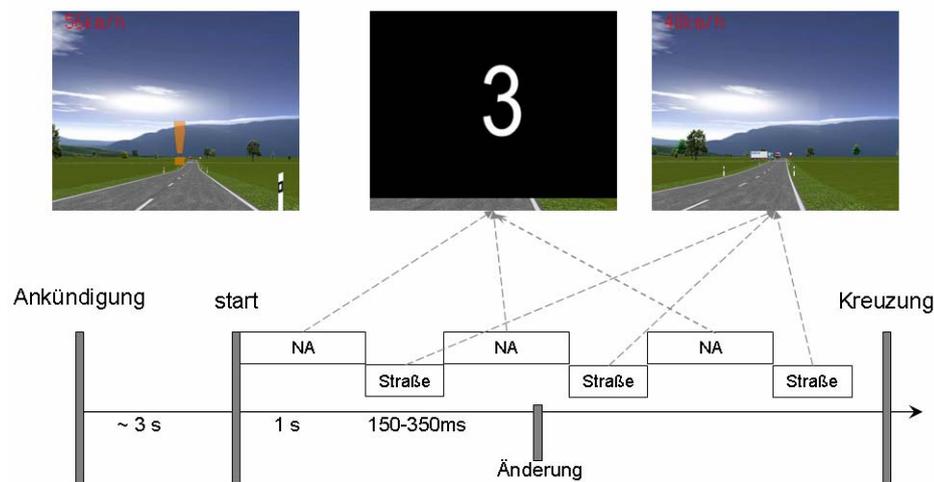


Abbildung 7-3: Schema des zeitlichen Ablaufs der Nebenaufgabe. Die gezeigten Zeitverhältnisse entsprechen nicht der Realität. Beispielhaft sind nur drei Wechsel zwischen Straßensicht und Okklusion (=NA) dargestellt.

Das Blickmuster während der Anfahrt auf die Kreuzung wird variiert:

- Okklusionsdauer mit Präsentation der Nebenaufgabe: 1 Sekunde pro Zahl
- Dauer der dazwischen geschalteten Präsentation der Fahrszene (Straßensicht): 150ms, 250ms, 350ms

Die verwendeten Dauern werden in Anlehnung an die Literatur und an die Ergebnisse von Studie 1 gewählt. Die Okklusionsdauer von einer Sekunde liegt im unteren Bereich der vom Fahrer akzeptierten Blickabwendungsdauern. Die mittlere umgesetzte Dauer der Straßensicht entspricht in etwa der mittleren Dauer der Straßenblicke aus Studie 1 (250ms). Die längste Dauer von 350 ms liegt bereits im Bereich der Fixationsdauern, die für Straßenblicke während selbstgetakteter Nebenaufgaben gemessen werden. Die kürzeste Dauer von 150 ms ist dagegen sehr kurz, und erlaubt es vermutlich nicht, die Fahrszene ausreichend gut wahrzunehmen. Innerhalb einer Nebenaufgabe wird immer nur eine der drei Straßensichtdauern verwendet.

Mittels Tempomat wird die maximale Geschwindigkeit auf 60 km/h beschränkt. Dies ist notwendig, da der Zeitpunkt der Änderungen und des Beginns der Nebenaufgabe über die Streckenposition bestimmt wird.

Zusätzlich zu der Fahraufgabe und der Zahlenaufgabe sollen die Fahrer auf plötzlich auftretende, unerwartete Veränderungen achten. Als unabhängiger Faktor wird der Zeitpunkt der Änderungen manipuliert. Bei der einen Hälfte der Fahrer finden alle Änderungen während der Straßensicht, bei der anderen Hälfte während der Maskierung durch die Nebenaufgabe (Okklusion) statt. Die Änderung wird 100 Meter vor der Kreuzung gestartet. Dies entspricht bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h rund 6 Sekunden nach Beginn der Nebenaufgabe. Da die Fahrer teilweise während der Anfahrt auf die Kreuzung verzögern, kann der zeitliche Abstand zwischen der Änderung und dem Erreichen der Kreuzung nicht genau angegeben werden. Das Zeitfenster, in dem Änderung während Straßenblicken stattfinden sollen, wird auf 45 ms bis 75 ms nach Beginn eines Straßenblickes festgelegt. Wenn die Fahrer

während der Fahrt eine Veränderung bemerken, sollen sie so schnell wie möglich eine Taste am Lenkrad drücken.

#### 7.5.1.2 Implementierte Änderungen

Als unerwartete Veränderungen werden das Verschwinden von Fahrzeugen sowie Sprünge von Fahrzeugen verwendet. Der Veränderungstyp Verschwinden tritt in den in Tabelle 7-1 gezeigten Abstufungen auf. Für die Auswertung werden die beiden das relevante Fahrzeug betreffenden Veränderungen zusammengefasst.

*Tabelle 7-1: Abstufungen des Änderungstyps Verschwinden.*

Geändertes Objekt	Dauer der Straßensicht		
	150ms	250ms	350ms
relevant (2.LKW = potentiell relevant)			
relevant (2.LKW = irrelevant)			
potentiell relevant			
irrelevant			

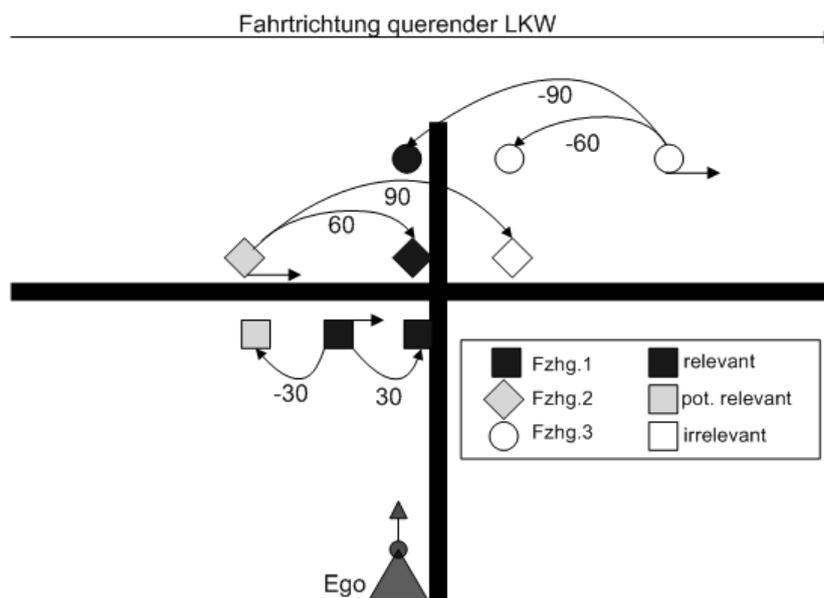
Die Abstufungen der Änderungen des Typs Sprung sind komplexer. Da die unterschiedlich relevanten Fahrzeuge zum Zeitpunkt der Veränderung unterschiedlich weit von der Kreuzung entfernt sind und da es sich bei der Veränderung immer um einen Sprung auf die Kreuzung zu handeln sollte, resultierten in Vorversuchen drei verschiedene Sprungweiten. Bei zwei der drei Sprünge bewegte sich das Fahrzeug mit der Fahrtrichtung, bei einem entgegen der Fahrtrichtung (in Tabelle 7-2 Sprung 1). Die Ergebnisse des Vorversuchs legten allerdings nahe, dass für die Sprünge die Entdeckungswahrscheinlichkeit u. U. ein reiner Effekt der Reizart ist und sich vollständig durch Sprungweite und Sprungrichtung erklären lässt. So deutete sich an, dass größere Sprünge sowie Sprünge gegen die Bewegungsrichtung besser entdeckt werden. Um diese Hypothese prüfen zu können, werden alle drei Sprungweiten noch einmal mit entgegen gesetzter Sprungrichtung implementiert (in Tabelle 7-2 Sprung 2). Ein komplettes Kreuzen der Faktoren Sprungrichtung, Sprungweite und Relevanz des Fahrzeugs ist leider aus geometrischen Gründen nicht möglich. Dazu müssten Veränderungen stattfinden, bei denen ein Fahrzeug aus dem Blickfeld springt. Eine solche Änderung kommt allerdings faktisch einem Verschwinden des Fahrzeugs gleich. Die Zuordnung der Sprünge mit entgegen gesetzter Richtung zu den unterschiedlich relevanten Objekten erfolgt so, dass alle Relevanzen gleich häufig auftreten und nur Sprünge implementiert sind, die auch als solche erkennbar sind. Alle implementierten Sprünge sind so, dass das Fahrzeug durch den Sprung den näheren Kreuzungsbereich nicht verlässt.

*Tabelle 7-2: Implementierte Sprünge. Sprünge gegen die Fahrtrichtung sind mit einem Minus gekennzeichnet.*

Objekt der Veränderung	Sprung 1		Sprung 2	
	Weite	Richtung	Weite	Richtung
relevant	30 Meter	mit Fahrtrichtung	-30 Meter	gegen Fahrtrichtung
potentiell relevant	90 Meter	mit Fahrtrichtung	60 Meter	mit Fahrtrichtung
irrelevant	-60 Meter	gegen Fahrtrichtung	-90 Meter	gegen Fahrtrichtung

Kreuzt man die 6 unterschiedlichen Sprungtypen mit den drei Straßensichtdauern ergeben sich insgesamt 18 Kreuzungen, an denen Veränderungen durch Sprünge auftreten.

Anstelle der reizbezogenen Unterteilung nach Sprungweite und Sprungrichtung kann man die Sprünge auch anhand ihrer Relevanz für den Fahrer betrachten. Abbildung 7-4 zeigt für die drei unterschiedlich relevanten Ausgangspositionen, wie sich die Relevanz jeweils durch die beiden Sprünge ändert.



*Abbildung 7-4: Veränderung der Objektrelevanz durch die Sprünge. Das geänderte Fahrzeug bewegt sich von links nach rechts. Das Ego-Fahrzeug nähert sich von unten. Die Relevanz der Fahrzeuge zu Beginn und Ende der Sprünge ist über die Graustufe kodiert. Fahrzeug 1 (Quadrate) ist zu Beginn der Änderung relevant, Fahrzeug 2 (Rauten) ist zu Beginn der Änderung potentiell relevant und Fahrzeug 3 (Kreise) ist zu Beginn der Änderung irrelevant. Die Zahlen geben die Sprungweite in Metern an. Sprünge gegen die Fahrtrichtung sind mit einem Minus gekennzeichnet.*

Die verschiedenen Sprünge lassen sich anhand der durch sie herbeigeführten Relevanzänderungen in einer Matrix darstellen. Durch die untersuchten Sprünge lassen

sich sechs der neun möglichen Fälle abdecken. Die Position des zweiten, nicht von der Änderung betroffenen Fahrzeugs wird nicht kontrolliert.

*Tabelle 7-3: Änderungsmatrix für die Sprünge.*

		Position nach Sprung		
		relevant	pot. relevant	irrelevant
Position vor Sprung	Relevant	30 m	-30 m	
	pot. relevant	60 m		90 m
	irrelevant	-90 m		-60 m

### 7.5.1.3 Weitere Situationen

Aus den beiden Änderungsarten Verschwinden und Sprung ergeben sich insgesamt 30 Kreuzungen mit Änderungen. Dazu kommen 17 Kreuzungen, an denen keine Änderungen stattfinden.

Damit auch der LKW, der sich von vorne der Kreuzung nähert und diese dann geradeaus überquert für die Fahrer relevant bleibt und nicht vollkommen ausgeblendet wird, wechselt dieser an sechs weiteren Kreuzungen die Spur. Er kommt dann dem Ego-Fahrzeug auf dessen Spur frontal entgegen. Der Zeitpunkt des Spurwechsels ist unabhängig von der Sichtbedingung, findet aber so früh statt, dass sich der entgegenkommende LKW über längere Zeit frontal auf der eigenen Spur annähert. Dieses frontale Entgegenkommen zählt nicht als plötzliche Änderung im engeren Sinne, der Fahrer muss aber ausweichen, um eine Kollision zu vermeiden. An den meisten, für die Fragestellung relevanten Kreuzungen, stellt sich die Situation am Ende der Kreuzungsanfahrt so dar, dass der Fahrer bremsen und querenden Fahrzeugen Vorrang gewähren muss. Um das erforderliche Fahrverhalten etwas variabler und weniger vorhersagbar zu gestalten, werden 7 zusätzliche Kreuzungen eingefügt, an denen der Fahrer ohne anzuhalten die Kreuzung überqueren kann. Diese Kreuzungen sind für die Auswertung nicht von Interesse.

### 7.5.1.4 Abhängige Variablen

Während der Fahrt werden Parameter der Nebenaufgabe, die Bedieneingaben des Fahrers sowie Position und Geschwindigkeit des gesamten Verkehrs aufgezeichnet. Hauptparameter der Auswertung sind der Anteil entdeckter Änderungen sowie die dafür benötigte Reaktionszeit. Der Versuchsleiter protokolliert während der Fahrt das Auftreten von Kollisionen. Am Ende des Versuchs beurteilen die Fahrer mittels 16-stufiger Ratingskalen Schwierigkeit der Fahr- und der Zahlenaufgabe, sowie wie anstrengend die Fahraufgabe war und wie aufmerksam sie gefahren sind. Außerdem beurteilen sie, wie gut sie die aufgetretenen Veränderungen entdecken konnten. Abbildung 7-5 zeigt die verwendete Ratingskala an einem Beispiel.

*Abbildung 7-5: Beispiel für die in Studie 3 verwendeten Ratingskalen.*

Wie gut konnten Sie die Veränderungen entdecken?

gar nicht	sehr schlecht	schlecht	mittel	gut	sehr gut
0	1 - 2 - 3	4 - 5 - 6	7 - 8 - 9	10 - 11 - 12	13 - 14 - 15

### 7.5.2 Stichprobe und Versuchsablauf

Insgesamt ergeben sich 60 Kreuzungen, die auf zwei Versuchsteile aufgeteilt werden. Die Fahrt dauert pro Strecke ca. 40 Minuten. Zwischen den beiden Versuchsteilen haben die Fahrer die Möglichkeit, eine Pause zu machen. Am Ende des Versuchs füllen sie noch einen kurzen Fragebogen aus. Anschließend werden sie vom Versuchsleiter verabschiedet. An dem Experiment nehmen 16 Probanden teil, 7 davon Frauen. Die Fahrer sind im Mittel 28.2 Jahre alt ( $sd = 4.99$ ,  $min = 21$ ,  $max = 41$ ). Alle Fahrer entstammen dem Testfahrerpanel des WIVW und sind ausreichend in der Fahrsimulation trainiert.

### 7.5.3 Kontrolle der implementierten Änderungen

In einem ersten Schritt der Auswertung werden die umgesetzten Änderungen anhand der aufgezeichneten Fahrdaten kontrolliert. Die Auswertung der aufgezeichneten Versuchsdaten ergibt, dass die Änderungen im Mittel 78 ms ( $min = 66$  ms,  $max = 94$  ms,  $sd = 9.4$  ms) nach Beginn der Straßenblicke auftreten. Die Messwerte sind im Vergleich zum vorgegebenen Fenster von 45 ms bis 75 ms leicht erhöht, da nach der durch das Zeitfenster festgelegten Auslösung der Änderung ein Messtakt vergehen kann, bis die Änderung umgesetzt wird und ein weiterer bis sie sich in der Aufzeichnung nachweisen lässt. Änderungen während Nebenaufgaben können zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Nebenaufgabenpräsentation stattfinden, da in diesem Fall die Änderung sowieso verdeckt ist.

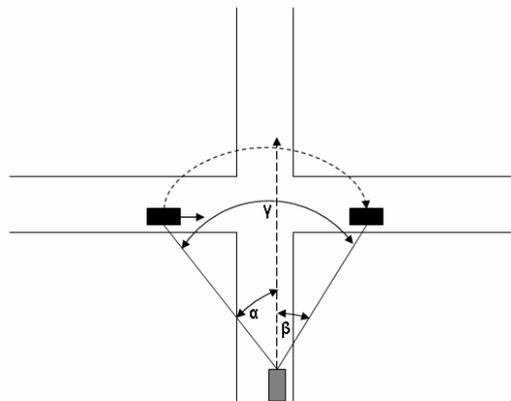


Abbildung 7-6: Beispielhafte Darstellung der Winkel, die zur Beschreibung der Änderungen verwendet werden. Im Beispiel springt ein von rechts kommendes Fahrzeug über die Kreuzung hinweg. Das Ego-Fahrzeug nähert sich von unten.

Zusätzlich zu der Beschreibung in Metern innerhalb des Simulationskoordinatensystems können alle Änderungen als Abweichungen von der vermutlichen Trajektorie des Fahrers in Grad dargestellt werden. Abbildung 7-6 verdeutlicht die zu Beschreibung der Änderungen berechneten Winkel an einem Beispiel. Durch die Manipulation des Änderungszeitpunktes sowie durch den von den Fahrern beeinflussten Zeitpunkt des Bremsens vor der Kreuzung entsteht eine gewisse Varianz in der Position der Fahrzeuge zum Zeitpunkt der Änderung. Da die Sprungweite und nicht der Endpunkt des Sprungs festgelegt ist, ist die Varianz im Absprungpunkt direkt mit Varianz im Endpunkt des Sprungs verbunden. Aufgrund der höheren Geschwindigkeit des irrele-

vanten LKWs, der so schnell ist, dass er vor dem Ego-Fahrzeug die Kreuzung quert, streuen für dieses Fahrzeug die Entfernungen zum Zeitpunkt der Änderung am stärksten. Dazu kommt, dass unterschiedliche Objektrelevanz zum Zeitpunkt der Änderung auch mit unterschiedlichem Abstand zur Kreuzung verknüpft ist.

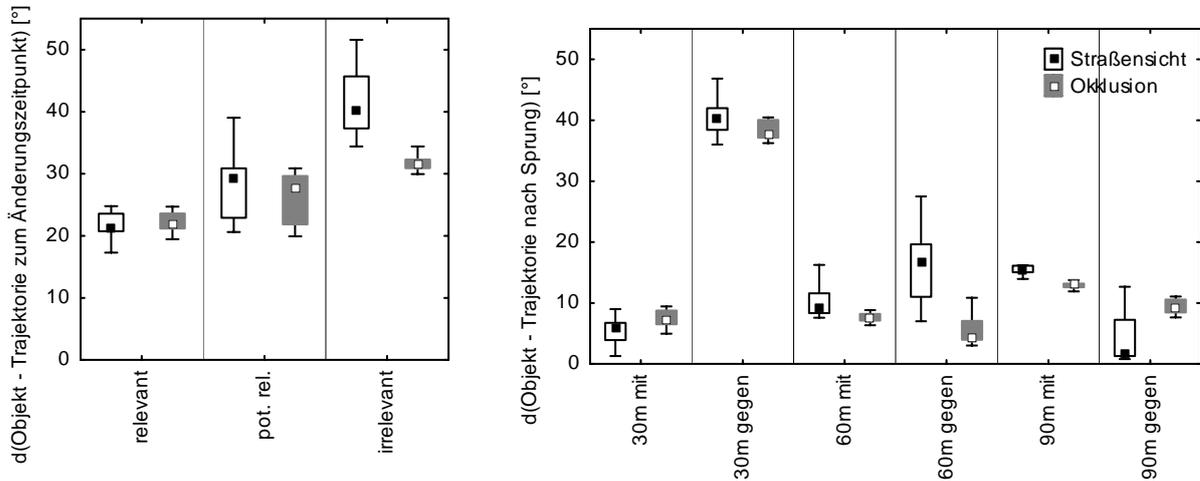


Abbildung 7-7: Abstand der Objekte zur Kreuzung vor (links, im Beispiel  $\alpha$ ) und nach der Änderung (rechts, im Beispiel  $\beta$ ) als Abweichung in Grad zur Trajektorie des Ego-Fahrzeugs. Dargestellt sind der Median, die mittleren 80 Prozent der Verteilung sowie der Bereich ohne Ausreißer.

Der nachträglich berechnete Abstand wird in Abbildung 7-7 als Abweichung in Grad dargestellt. Der Abstand zur Kreuzung zum Änderungszeitpunkt beruht auf allen Änderungen, d.h. auf Sprüngen und verschwindenden Objekten.

Tabelle 7-4: Mittlerer Abstand zur Kreuzung vor und nach den Sprüngen.

Sprungweite	Sprungrichtung	Abstand davor		Abstand danach	
		m	°	m	°
30 Meter	mit Fahrtrichtung	42,13	21,81	12,75	6,37
	gegen Fahrtrichtung	41,94	21,39	71,88	39,02
60 Meter	mit Fahrtrichtung	42,17	21,57	17,86	9,17
	gegen Fahrtrichtung	82,67	37,99	22,86	9,67
90 Meter	mit Fahrtrichtung	59,52	29,09	30,52	14,52
	gegen Fahrtrichtung	78,54	36,37	15,85	6,87

Nach dem Sprung sind die Fahrzeuge in der Regel weniger als 10° von der Fahrtrichtung des Ego-Fahrzeugs entfernt. Am weitesten entfernt ist das relevante Fahrzeug, das 30 Meter gegen die Fahrtrichtung springt. Dieses weicht nach dem Sprung im Mittel rund 40° von der Fahrtrichtung des Ego-Fahrzeugs ab.

Auch die Positionsänderungen durch die Sprünge können als Änderungen in Grad bezogen auf die Position des Fahrers zum Zeitpunkt der Änderung ausgedrückt werden. Durch die Variabilität des Zeitpunkts der Änderung insbesondere bei Änderungen während Straßenblicken und die dennoch konstant gehaltene Größe der Änderung in Metern, entsteht eine leichte Variabilität bei den nachträglich berechneten Änderungen in Grad.

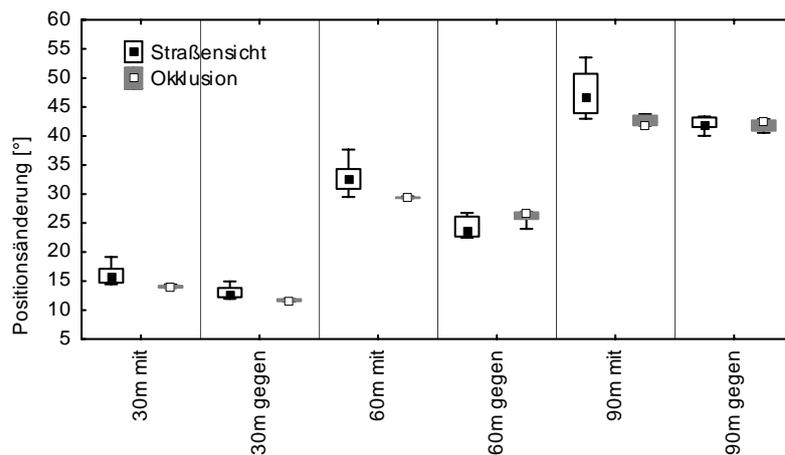


Abbildung 7-8: Positionsänderung durch die Sprünge in Grad (im Beispiel Winkel  $\gamma$ ). Dargestellt sind der Median, die mittleren 80 Prozent der Verteilung sowie der Bereich ohne Ausreißer.

Deutlich wird, dass die Variabilität der Änderungen minimal ist im Vergleich zu den Unterschieden zwischen den drei Sprungweiten. Die kleinste Sprungweite führt zu einer Positionsänderung zwischen  $11^\circ$  und  $17^\circ$ , die mittlere zwischen  $24^\circ$  und  $33^\circ$  und die größte Sprungweite ist mit einer Änderung zwischen  $41^\circ$  und  $48^\circ$  verbunden.

Tabelle 7-5: Positionsänderung durch die Sprünge in Grad.

Sprungweite	Sprungrichtung	Okklusion		Straßensicht	
		m	sd	m	sd
30 Meter	mit Fahrtrichtung	14.14	0.326	17.26	4.078
	gegen Fahrtrichtung	11.77	0.398	13.53	1.741
60 Meter	mit Fahrtrichtung	29.39	0.149	33.65	3.942
	gegen Fahrtrichtung	26.30	1.040	24.09	2.215
90 Meter	mit Fahrtrichtung	42.46	0.813	48.27	4.466
	gegen Fahrtrichtung	41.86	1.003	41.48	2.316

## 7.5.4 Ergebnisse

### 7.5.4.1 Subjektiv

In der Bewertung des Versuchs durch die Fahrer ergeben sich nur für die Frage „Wie gut konnten Sie die Veränderungen entdecken?“ Unterschiede zwischen den Gruppen. Fahrer, bei denen die Veränderungen während der Straßenblicke stattfinden, geben an, dass sie diese signifikant besser entdecken können ( $F(1,14)=8.03$   $p=0.0133$ ). In der Okklusionsbedingung geben die Fahrer an, dass sie die Änderungen mittel, in der Bedingung mit Änderungen während der Straßensicht dass sie die Änderung gut entdecken können. Die beiden Gruppen unterscheiden sich nicht in der Bewertung der Schwierigkeit von Fahr- und Zahlenaufgabe.

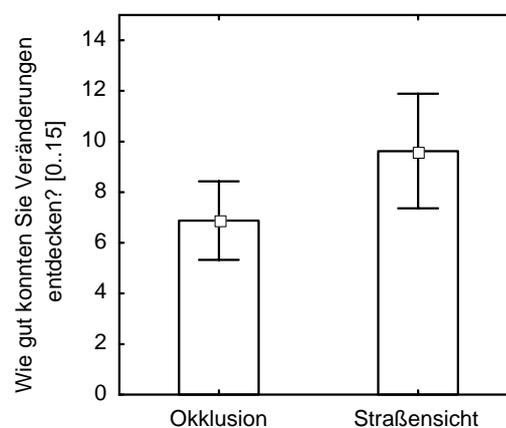


Abbildung 7-9: Einfluss der Bedingung auf die subjektive Einschätzung, wie gut Veränderungen entdeckt werden können.

### 7.5.4.2 Situation Fahrzeug frontal

Eine Situation, die zwar keine Veränderung im Sinne dieser Studie, aber dennoch ein ungewöhnliches Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer umfasst, ist der Spurwechsel des entgegenkommenden LKWs. Dieser nähert sich an insgesamt 6 Kreuzungen dem Ego-Fahrzeug frontal. Der Fahrer muss die Spur wechseln und dem Entgegenkommenden ausweichen, um eine Kollision zu vermeiden. Als relevanter Parameter für die Reaktion der Fahrer wird der minimale Abstand zum entgegenkommenden Fahrzeug ausgewertet, bevor der Fahrer die Spur wechselt. Dieser Parameter kann aufgrund von Problemen in der Datenaufzeichnung nur an 5 der 6 Kreuzungen berechnet werden. Die fehlende Kreuzung ist je nach Fahrtreihenfolge die vierte oder die sechste Kreuzung im Versuchsablauf und deswegen für das Ergebnis nicht von zentraler Bedeutung. Sie wird bei der Auswertung des Abstands weggelassen und die verbleibenden fünf Kreuzungen nach der Reihe des Durchfahrens nummeriert. Der Abstand zwischen den beiden Fahrzeugen ist zwischen den beiden Fahrzeugschwerpunkten gerechnet. Dieser beträgt, wenn die beiden Fahrzeuge Stoßstange an Stoßstange stehen, 6.925 Meter. Der minimale Abstand zum Entgegenkommenden steigt über die 5 Situationen – d.h. je häufiger die Fahrer die Situation erleben – an ( $F(4,60) = 6.33$ ,  $p < 0.001$ ). Dies zeigt, dass es den Fahrern mit der Zeit gelingt, frühzeitig auf die Situation zu reagieren und auszuweichen. Nachtests zeigen, dass sich Wiederholung 4 und 5 signifikant von den drei vorherigen unterscheiden.

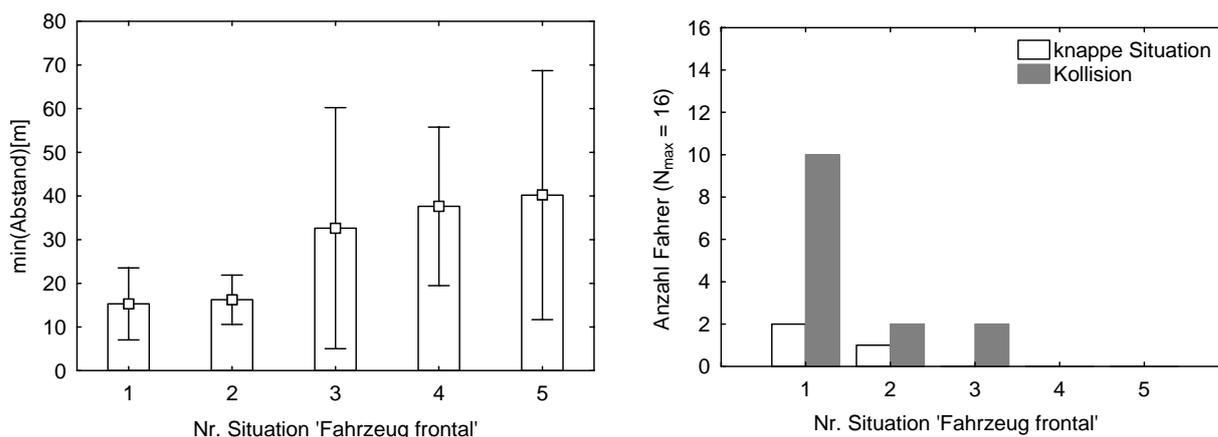


Abbildung 7-10: Minimaler Abstand zwischen Ego-Fahrzeug und entgegenkommendem LKW in den Situationen Fahrzeug frontal 1-5 (links) sowie Anzahl Kollisionen in den Situationen Fahrzeug frontal 1-5 (rechts).

Anhand des berechneten Abstandes lässt sich die Kollisionshäufigkeit nur schwer ableiten, da beispielsweise Fahrer sehr spät ausweichen und dabei nicht weit genug auf die linke Spur kommen, um eine Kollision zu verhindern oder beim Ausweichen in den Graben fahren. Aus den Versuchsleiterprotokollen lassen sich Kollision, keine Kollision und eine knappe Entwicklung der Situation, die aus der Beobachtung keine klare Entscheidung zulässt, unterscheiden. Es gibt eine signifikante Häufung von Kollisionen in der ersten Situation, in der das Fahrzeug von vorne kommt ( $X^2 = 43.6$ ,  $df = 10$ ,  $p < 0.001$ ). Schon bei der zweiten Wiederholung geht die Kollisionswahrscheinlichkeit trotz des noch knappen Ausweichens gegen Null.

#### 7.5.4.3 Einfluss von Bedingung, Dauer Straßensicht und Änderungsart

Nimmt man alle aufgetretenen Veränderungen zusammen und analysiert den Einfluss der Dauer der Straßensicht, so findet man einen tendenziell signifikanten Anstieg der Entdeckungsrate (Correct Response) ( $F(2,28) = 2.54$ ,  $p=0.097$ ) sowie eine signifikante Abnahme der Reaktionszeit ( $F(2,28) = 11.28$ ,  $p<0.001$ ) mit steigender Sichtdauer. Nachtest zeigen, dass die Reaktionszeiten für Sichtdauern von 150 ms signifikant über den beiden anderen Bedingungen liegen (Vergleich mit 250 ms:  $p=0.012$ ; Vergleich mit 350 ms:  $p<0.001$ ). Bei Sichtdauern von 150 ms liegt die Reaktionszeit im Mittel in der Bedingung Straßensicht rund 400 ms, in der Bedingung Okklusion rund 520 ms über der für Sichtdauern von 350 ms. Die Tendenz für die Entdeckungswahrscheinlichkeit beruht auf dem Unterschied zwischen 150 ms und 350 ms ( $p=0.108$ ). Bei Änderungen während der Straßensicht beträgt der Anstieg der Entdeckungsrate zwischen 150 ms und 350 ms rund 4%, bei Änderungen während der Okklusion rund 7%.

Die beiden Bedingungen, „Veränderung tritt während der Straßensicht“ und „Veränderung tritt während Okklusion auf“ unterscheiden sich ebenfalls wie erwartet: Veränderungen während der Straßensicht werden unabhängig von der Blickdauer schneller ( $F(1,14) = 7.64$ ,  $p = 0.015$ ) und häufiger ( $F(1,14) = 6.78$ ,  $p = 0.021$ ) entdeckt. Der Unterschied in der Reaktionszeit beläuft sich auf ca. 500 ms, der in der Entdeckungswahrscheinlichkeit auf ca. 12%.

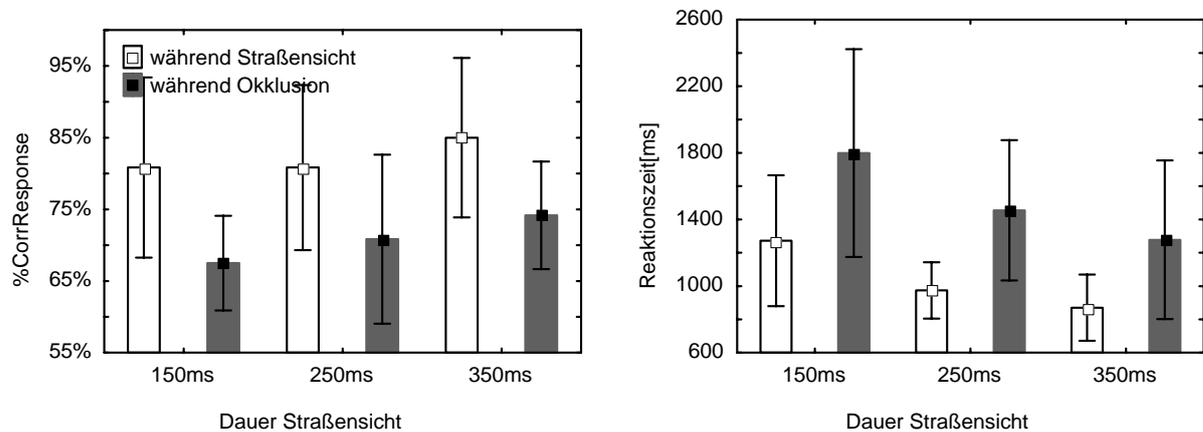


Abbildung 7-11: Einfluss von Dauer Straßensicht und Versuchsbedingung auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit (Corr. Response, links) und Reaktionszeit (rechts).

Betrachtet man unabhängig von der Relevanz des geänderten Objekts die drei Änderungsarten „keine Änderung“, „Verschwinden des Objekts“ und „Sprung des Objekts“, ergibt sich das in Abbildung 7-12 gezeigte Bild. Der hohe Anteil richtiger Reaktionen bei fehlender Änderung (d.h. die Fahrer haben hier nicht reagiert) zeigt, dass die Probanden den Versuch ernst nehmen und in der Regel nur dann reagieren, wenn sie auch wirklich eine Veränderung bemerken. Tendenziell gibt es auch in dieser Auswertung den Effekt der Bedingung ( $F(1,14) = 4.11$ ,  $p = 0.062$ ), der darauf beruht, dass Änderungen während der Straßensicht häufiger entdeckt werden. Dazu kommt ein signifikanter Haupteffekt „Art der Änderung“ ( $F(2,28) = 12.33$ ,  $p < 0.001$ ) sowie eine signifikante Wechselwirkung ( $F(2,28) = 3.95$ ,  $p = 0.031$ ). Nachtests zeigen, dass bei Sprüngen seltener richtig reagiert wird als bei fehlender Änderung ( $p < 0.001$ ) sowie bei Verschwinden von Objekten ( $p = 0.045$ ). Sprünge werden bei einer Änderung während der Okklusion besonders schlecht entdeckt. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit von Sprüngen während der Okklusion liegt bei rund 50%, und damit im Bereich der Ratewahrscheinlichkeit.

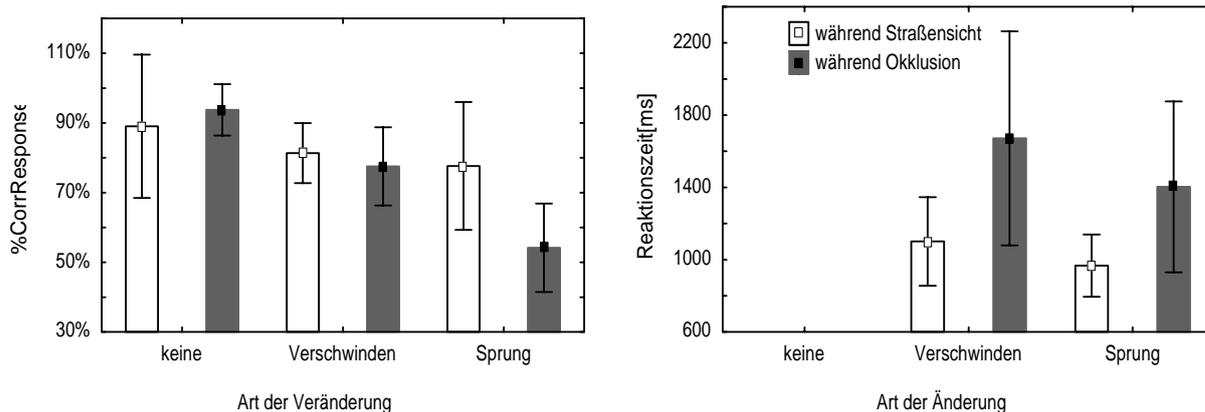


Abbildung 7-12: Einfluss der Änderungsart auf Entdeckungswahrscheinlichkeit (Corr. Response, links) und Reaktionszeit (rechts).

Für die Reaktionszeiten ergibt sich ein anderes Bild. Da Reaktionszeiten nur für entdeckte Veränderungen bestimmt werden können, fällt dieser Parameter für die Änderungsart „keine Änderung“ von vornherein weg. Der signifikante Haupteffekt Bedingung ( $F(1,14) = 8.43, p = 0.012$ ) beruht wieder darauf, dass Änderungen während der Straßensicht schneller entdeckt werden. Dazu ergibt sich ein tendenzieller Haupteffekt „Art der Änderung“ ( $F(1,14) = 3.53, p = 0.081$ ): Die mittlere Reaktionszeit bei verschwindenden Objekten ist höher als bei Sprüngen. Anstelle der Reaktionszeiten kann man auch analysieren, wie häufig die Probanden nach der Änderung noch auf die Straße blicken, bis eine Reaktion erfolgt (vgl. Tabelle 7-6). Unabhängig von der Art der Änderung erfolgt die Reaktion in der Regel spätestens nach der zweiten Straßensicht nach Auftreten der Änderung. Der tendenzielle Unterschied in den Reaktionszeiten beruht auf einem erhöhten Anteil von Reaktionen nach drei und mehr Straßensichten bei verschwindenden Objekten. Dieser Effekt ist in der Art der Änderung begründet. Das Verschwinden eines Objekts kann auch nach mehreren Okklusionen durch die Nebenaufgabe noch gut bemerkt werden, da die Änderung bestehen bleibt. Bei Sprüngen muss dagegen für das betroffene Objekt eine erwartete mit einer tatsächlichen Position verglichen werden. Dies wird umso schwieriger je länger die Änderung zurück liegt. Die 9 von 200 Reaktionen, die in dieser Bedingung erst nach drei oder mehr Straßensichten erfolgen, beruhen deswegen vermutlich eher auf einer verzögerten Reaktionsausführung als auf einer verzögerten Entdeckung.

Tabelle 7-6: Anteil Durchgänge, bei denen die Reaktion nach N Straßensichten erfolgt. Die Anteile summieren sich pro Bedingung (Zeile) auf 100%.

	Anzahl Straßensichten bis Reaktion erfolgt				
	1	2	3	4	5
Verschwinden	66.8%	21.6%	6.3%	4.7%	0.5%
Sprung	74.0%	21.5%	3.0%	1.5%	0.0%
Während Straßensicht	80.5%	17.1%	2.0%	0.5%	0.0%
Während Okklusion	59.5%	26.5%	7.6%	6.0%	0.5%

Betrachtet man den Unterschied zwischen den beiden Bedingungen Änderung erfolgt „während der Okklusion“ vs. „während einer Straßensicht“ so ergibt sich wenig

überraschend, dass bei Änderungen während Straßensichten die Probanden deutlich häufiger bereits während der ersten Sicht auf die Straße reagieren.

#### 7.5.4.4 Verschwinden von Objekten

Abbildung 7-13 zeigt den Einfluss der Objektrelevanz auf die Entdeckung des Verschwindens von Fahrzeugen. Deutlich wird sowohl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit als auch die Reaktionszeit ein großer Unterschied zwischen irrelevanten und relevanten bzw. potentiell relevanten Fahrzeugen. Das Verschwinden irrelevanter Fahrzeuge wird nur in ca. 20% der Fälle entdeckt, das Verschwinden von relevanten und potentiell relevanten Objekten so gut wie immer. Aufgrund der teilweise fehlenden Varianz (alle Fahrer entdecken alle Änderungen) kann dieser Effekt nicht statistisch geprüft werden. Ein Einfluss der Untersuchungsbedingung zeigt sich hier nun nicht mehr. Auffällig ist, dass auch ein Verschwinden während einer Straßensicht nur in rund 20% der Fälle entdeckt wird.

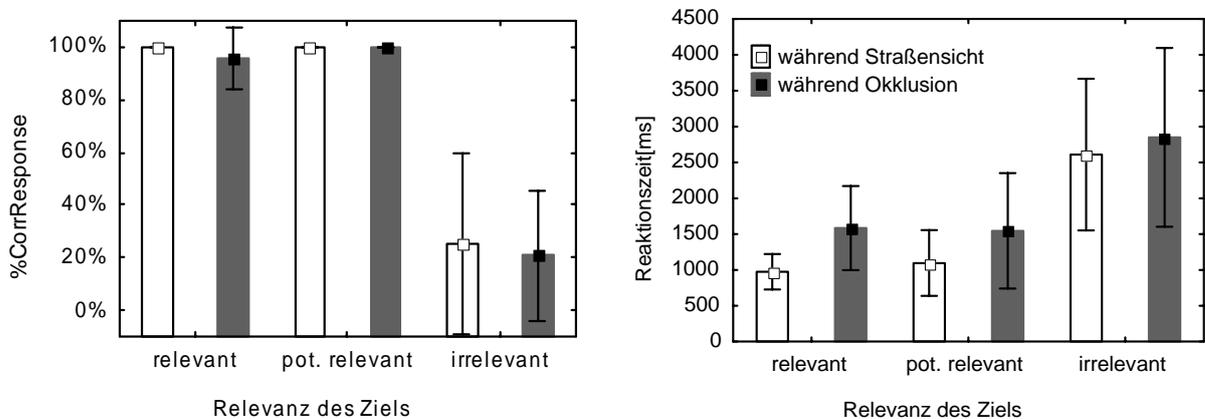


Abbildung 7-13: Einfluss der Objektrelevanz bei Verschwinden des Fahrzeugs auf Entdeckungswahrscheinlichkeit (links) und Reaktionszeit (rechts).

Nur insgesamt 7 Fahrer entdecken mindestens einmal das Verschwinden irrelevanter Fahrzeuge. Aus diesem Grund kann für die Reaktionszeit eine abhängige Prüfung des Einflusses der Objektrelevanz nur mit dieser geringen Stichprobe gerechnet werden. Es ergibt sich ein signifikanter Einfluss der Objektrelevanz ( $F(2,10) = 10.52$ ,  $p = 0.003$ ): das Verschwinden von irrelevanten Objekten wird signifikant langsamer entdeckt. Hier liegt die mittlere Reaktionszeit bei ca. 2700 ms, für die beiden anderen Objektgruppen bei ca. 1300 ms. Prüft man mit allen Probanden nur für die Bedingungen relevantes und potentiell relevantes Objekt, ergibt sich der bereits bekannte Effekt der Versuchsbedingung ( $F(1,14) = 5.21$ ,  $p = 0.039$ ), die Relevanz hat keinen Einfluss.

Als letzter Faktor wird in Abbildung 7-14 die Dauer der Straßensicht mit in die Analyse eingebunden. Zur übersichtlicheren Darstellung werden die beiden Bedingungen zusammengefasst. Aufgrund der in der Abstufung „potentiell relevant“ fehlenden Varianz wird diese Faktorstufe aus der ANOVA für die Entdeckungswahrscheinlichkeit ausgeschlossen. Es ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt Relevanz ( $F(1,14) = 61.35$ ,  $p < 0.001$ ) sowie eine signifikante Wechselwirkung ( $F(2,28) = 5.4$ ,  $p = 0.010$ ). Außerdem wird der Faktor „Dauer der Straßensicht“ tendenziell signifikant ( $F(2,28) = 3.00$ ,  $p = 0.066$ ). Nachtest zeigen, dass sich innerhalb einer Relevanzabstufung die

drei Sichtdauern nicht voneinander unterscheiden. Bei Blicken mit 250 ms und 350 ms Dauer werden relevante Änderungen besser entdeckt als irrelevante (250 ms Dauer:  $p < 0.001$ ; 350 ms Dauer:  $p < 0.001$ ). Bei einer Dauer von 150 ms wird dieser Unterschied nur tendenziell signifikant ( $p = 0.071$ ).

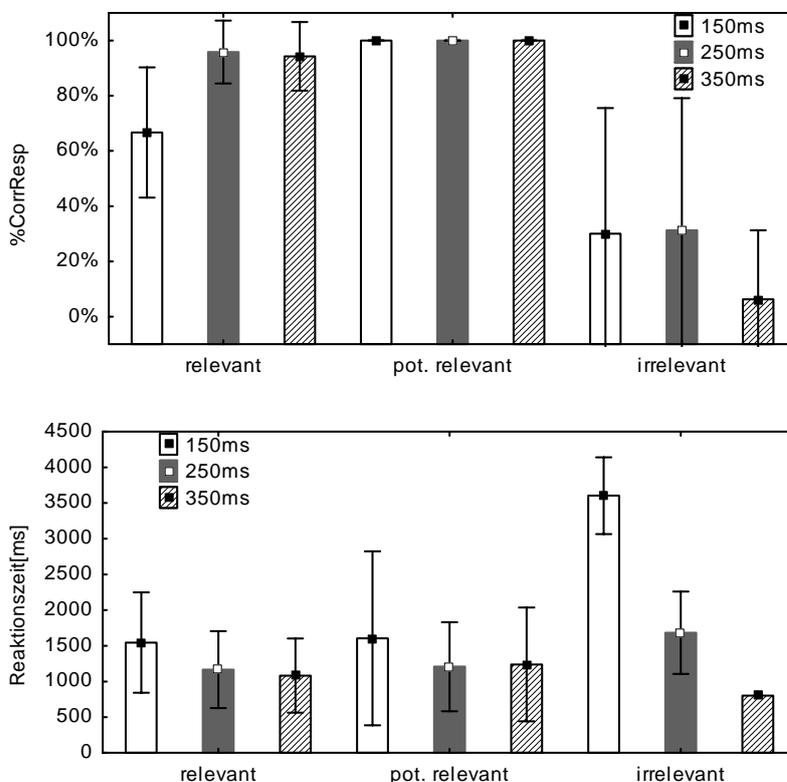


Abbildung 7-14: Einfluss der Dauer der Straßensicht und der Relevanz auf Entdeckungswahrscheinlichkeit (oben) und Reaktionszeit (unten).

Für die Reaktionszeiten wird der Einfluss der Sichtdauer bei relevanten und potentiell relevanten Objekten geprüft. Irrelevante Objekte werden aus der Analyse ausgeschlossen, da hier zu wenige Änderungen entdeckt werden. Die bei dieser Abstufung in der Grafik erkennbaren Unterschiede sind deswegen auch nicht interpretierbar. Der Faktor Sichtdauer wird signifikant ( $F(2,24) = 7.01$ ,  $p = 0.004$ ). Nachtests zeigen, dass dies in erhöhten Reaktionszeiten bei Sichtdauern von 150 ms begründet ist. Diese unterscheiden sich sowohl von Sichtdauern von 250 ms ( $p=0.013$ ) als auch von 350 ms ( $p=0.013$ ).

#### 7.5.4.5 Sprünge von Objekten

Die Auswertung für den Veränderungstyp Sprung ist deutlich komplexer. Zuerst wird die aus Vorversuchen abgeleitete Hypothese geprüft, dass hier das Entdecken von Änderungen ein Effekt von Sprungweite und Sprungrichtung ist. Es wird angenommen, dass große Sprünge besser als kleine und Sprünge gegen die Fahrtrichtung besser als solche mit der Fahrtrichtung entdeckt werden. Bei der statistischen Prüfung der Effekte für die Reaktionszeiten ergibt sich das gleiche Problem wie auch schon bei der Analyse für verschwindende Objekte. Insbesondere bei der kleinsten Sprungweite 30 Meter und bei Sprüngen von 60 Metern gegen die Fahrtrichtung gibt

es eine Reihe von Fahrern, die keine einzige Änderung bemerken. Aus diesem Grund wird für die Reaktionszeit auf eine statistische Absicherung verzichtet.

Betrachtet man den Einfluss von Sprungweite und Sprungrichtung, ergeben sich für die Entdeckungswahrscheinlichkeit die signifikanten Haupteffekte Sprungweite ( $F(2,28) = 22.36, p < 0.001$ ) und Sprungrichtung ( $F(1,14) = 17.23, p < 0.001$ ) sowie eine signifikante Wechselwirkung ( $F(2,28) = 25.22, p < 0.001$ ). Die Wechselwirkung beruht darauf, dass 60 Meter-Sprünge mit der Fahrtrichtung besser entdeckt als Sprünge gegen die Fahrtrichtung (Nachtest:  $p < 0.001$ ; vgl. Abbildung 7-16 rechts). Bei den beiden anderen Sprungweiten gibt es dagegen keinen Einfluss der Sprungrichtung.

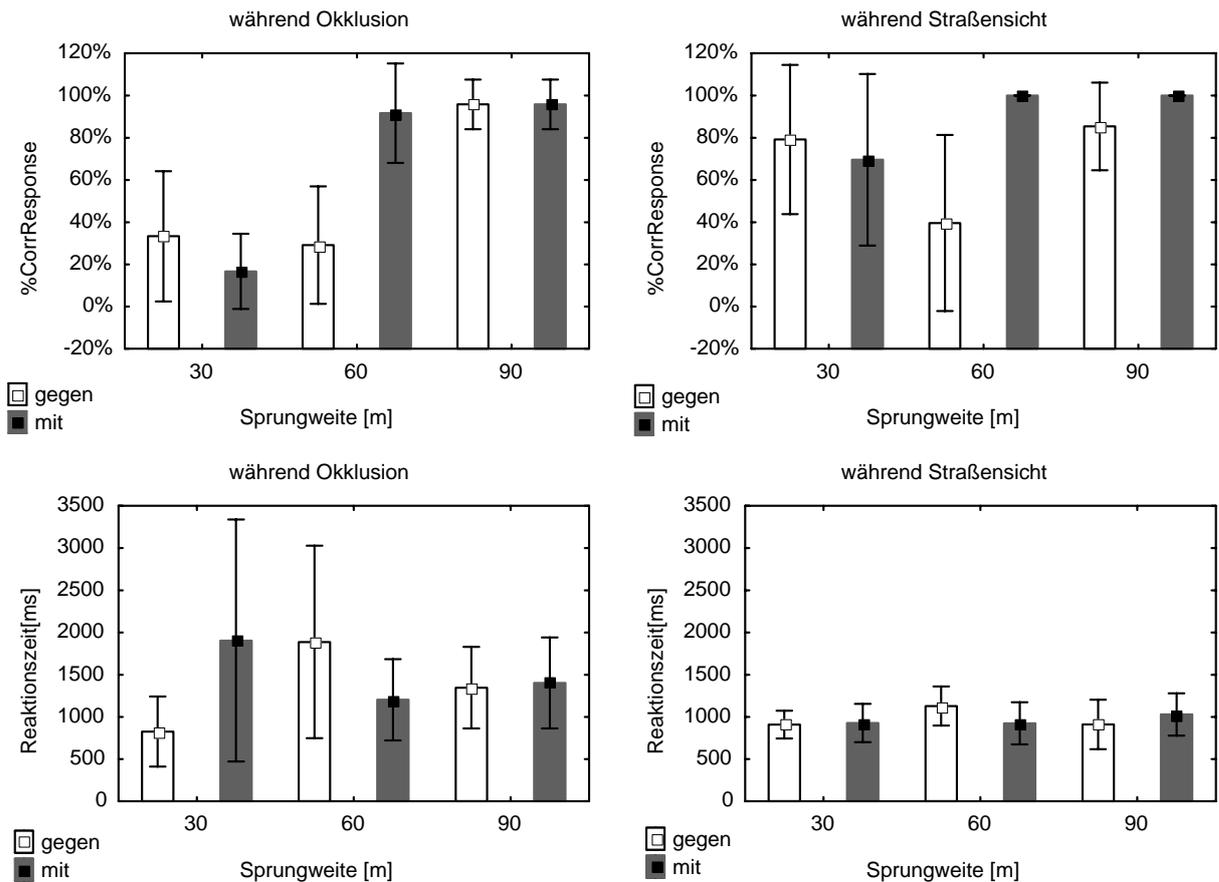


Abbildung 7-15: Einfluss von Sprungweite und Sprungrichtung auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit (oben) und die Reaktionszeit (unten). Links die Ergebnisse für die Bedingung „während Okklusion“, rechts für „während Straßensicht“.

Grafisch zeigt sich für die Gruppe, bei der die Änderungen während der Straßensicht auftreten, nur ein geringer Einfluss der Art des Sprungs auf die Reaktionszeit. Insgesamt kann in dieser Bedingung schneller reagiert werden als in der Okklusionsbedingung. In der Okklusionsbedingung wird bei den beiden Änderungsarten, die schlecht entdeckt werden, auch langsamer reagiert. Es handelt sich hierbei um 60 Meter-Sprünge gegen die Fahrtrichtung und 30 Meter-Sprünge mit der Fahrtrichtung. Im Gegensatz zu den geringen Entdeckungsraten wird bei 30 Meter-Sprünge mit der Fahrtrichtung allerdings besonders schnell reagiert.

Berücksichtigt man bei der Entdeckungswahrscheinlichkeit zusätzlich den Einfluss der Bedingung Straßensicht vs. Okklusion, ergibt sich eine signifikanter Haupteffekt Bedingung ( $F(1,14) = 7.58, p = 0.016$ ) sowie eine signifikante Wechselwirkung Bedingung\*Weite ( $F(2,28) = 8.20, p = 0.001$ ). Die Wechselwirkung zeigt, dass sich die Bedingungen nur bei der niedrigsten Sprungweite von 30 Metern unterscheiden ( $p = 0.027$ ; vgl. Abbildung 7-16 links). Hier bringt das Auftreten einer Veränderung während der Straßensicht einen Vorteil im Vergleich zu einer Änderung während der Okklusion.

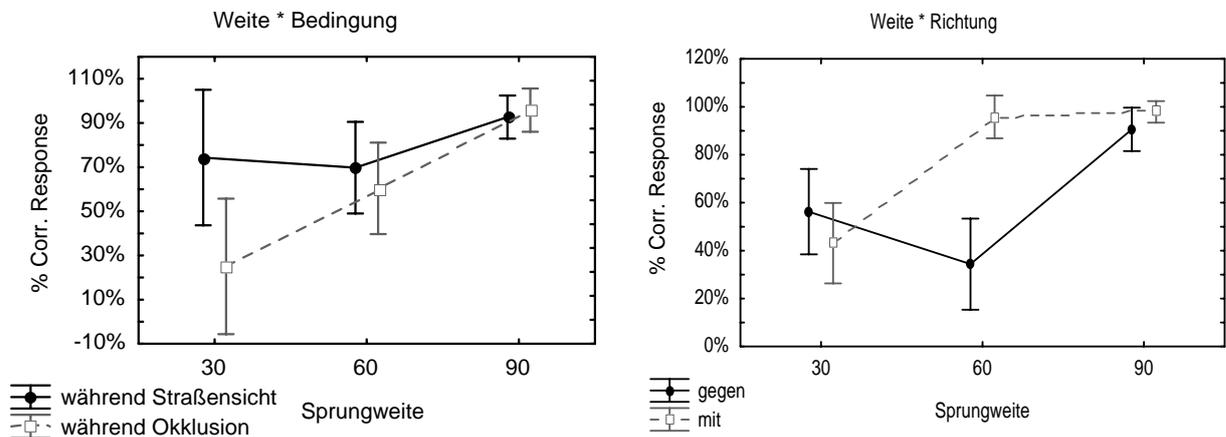


Abbildung 7-16: Darstellung der Wechselwirkungen Weite\* Bedingung (links) und Weite\* Richtung (rechts). Gezeigt werden Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall.

Anstatt unter dem Gesichtspunkt der Änderungsgröße können die Sprünge auch unter dem Aspekt der Relevanz der Objekte für den Fahrer ausgewertet werden. Pro Änderung müssen zwei Relevanzen berücksichtigt werden: die Relevanz vor der Änderung sowie die Relevanz nach der Änderung.

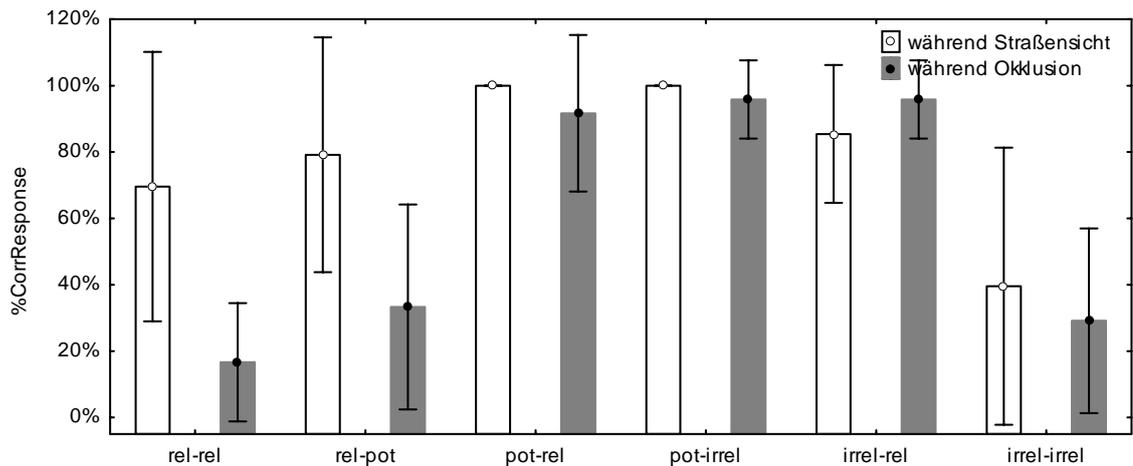


Abbildung 7-17: Entdeckungswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der Relevanz der Sprünge, in der Beschriftung wird zuerst die Relevanz vor, danach die nach dem Sprung angegeben.

Eine Prüfung der Entdeckungswahrscheinlichkeiten mit den Faktoren Bedingung und der 6-stufigen Relevanz ergibt zwei signifikante Haupteffekte (Relevanz:  $F(5,70) = 22.46, p < 0.001$ ; Bedingung:  $F(1,14) = 7.48, p = 0.015$ ) und eine signifikante Wechselwirkung ( $F(5,70) = 4.35, p = 0.002$ ). Nachtests zeigen, dass Sprünge, bei denen das Fahrzeug zu Beginn und Ende irrelevant ist (irrel-irrel) signifikant schlechter entdeckt werden als solche bei denen das Objekt zu Beginn der Änderung potentiell relevant ist (pot-rel, pot-irrel). Vergleichbar gut wie bei Sprüngen, bei denen das Objekt zu Beginn der Änderung potentiell relevant ist, ist die Entdeckungsleistung bei dem Sprung von irrelevant nach relevant (irrel-rel). Bei den Sprüngen der relevanten Fahrzeuge (rel-rel, rel-pot) gibt es eine Besonderheit: Finden die Änderungen während der Straßensicht statt, unterscheidet sich die Entdeckungswahrscheinlichkeit innerhalb der Gruppe von keiner der anderen Stufen des Faktors Relevanz. Sie liegt somit zwischen den schlechten Entdeckungsleistungen für irrelevante Sprünge und den guten Entdeckungsleistungen für die übrigen Änderungen. Bei Änderungen während der Okklusion ist die Entdeckungswahrscheinlichkeit für Sprünge von relevanten Objekten ähnlich schlecht wie für irrelevante Änderungen.

Tabelle 7-7: Mittlerer Anteil richtig entdeckter Änderungen für die verschiedenen Sprünge. Der erste Wert steht für die Bedingung „Änderung während Straßensicht“, der zweite für „Änderung während Okklusion“.

		Position nach Sprung		
		relevant	pot. relevant	irrelevant
Position vor Sprung	relevant	69.5% / 16.7%	79.1% / 33.3%	
	pot. relevant	100% / 91.7%		100% / 95.8%
	irrelevant	85.4% / 95.8%		39.6% / 29.2%

### 7.5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bevor die Bedeutung der Ergebnisse für die Fragestellung diskutiert wird, werden kurz die wichtigsten Befunde zusammengefasst:

- Die Fahrer können in der ersten Situation des frontal sich nähernden Fahrzeugs nicht angemessen reagieren. Bei 10 von 16 Fahrern kommt es zu einer kritischen Fahrsituation.
- Das Verschwinden relevanter und potentiell relevanter Fahrzeuge wird fast immer, das von irrelevanten Fahrzeugen nur in rund 20% der Fälle entdeckt.
- 30 Meter-Sprünge werden schlechter als 90 Meter-Sprünge bemerkt. Bei 60 Meter-Sprüngen gibt es einen Einfluss der Sprungrichtung: Sprünge mit der Fahrtrichtung werden besser als Sprünge gegen die Fahrtrichtung bemerkt.
- Sprünge, bei denen das Fahrzeug zu Beginn und / oder am Ende des Sprungs potentiell relevant ist, werden gut bemerkt. Dies gilt auch für Sprünge von zu Beginn relevanten Objekten in der Bedingung „während Straßensicht“.
- Sprünge, bei denen sich das Fahrzeug zu Beginn und am Ende des Sprungs von der Kreuzung wegbewegt (und damit irrelevant ist), werden schlecht bemerkt.
- Sprünge von zu Beginn relevanten Objekten entsprechen der kleinsten Änderung (30 Meter-Sprünge). Diese werden während der Straßensicht besser bemerkt als während der Okklusion. Bei allen anderen Änderungen hat der Zeitpunkt der Änderung keinen Einfluss auf die Entdeckungsrate.
- Über alle Änderungen gemittelt, ist bei der kürzesten Straßensichtdauer (150 ms) die Entdeckungsrate leicht verringert und die Reaktionszeit leicht erhöht.

### 7.5.6 Interpretation der Ergebnisse

#### 7.5.6.1 Bedeutung des Situationsmodells

Die Bedeutung des Situationsmodells für die Ausrichtung der Aufmerksamkeit wird besonders deutlich in der Situation des sich frontal nähernden Fahrzeugs. Dieses wird trotz der sicherheitskritischen Bedeutung für den Fahrer beim ersten Auftreten der Situation von 10 von 16 Fahrern so spät bemerkt, dass eine Kollision nicht mehr verhindert werden kann. Bei zwei weiteren Fahrern ist die entstehende Situation sehr knapp. Dies ist umso erstaunlicher, da sich ein LKW frontal auf der eigenen Spur nähert. Das Fahrzeug ist somit weder klein noch in der Peripherie und wird trotzdem nicht bemerkt. Nach dem ersten Erleben der Situation ist den Fahrer bewusst, dass das entgegenkommende Fahrzeug dieses unerwartete Verhalten zeigen kann. Von nun an bereiten die Wahrnehmung der Situation und eine angemessene Reaktion kaum noch Probleme. Die Deutlichkeit dieses Effekts ist erstaunlich und ist bei Gestaltung des Experiments so nicht erwartet worden. Durch das gewählte Design gelingt es, bei rund 75% der Fahrer eine kritische Situation durch eine Looked-but-failed-to-see Fehler zu provozieren. Dieser Fehler wird allerdings nur einmal gemacht. Anschließend wird das mentale Model, das sich die Fahrer von der Kreuzung

zungssituation machen, angepasst, die Möglichkeit des sich frontal nähernden Fahrzeugs wird integriert und auf die gefährliche Situation kann von nun an angemessen reagiert werden.

#### 7.5.6.2 Wahrnehmen von Änderungen

Hinsichtlich der Frage, welche Änderungen am besten bemerkt werden, lassen sich die folgenden drei Vermutungen aufstellen:

1. Änderungen werden aufgrund der, durch die Änderung entstehende Bewegungsgröße bemerkt. Dies bedeutet, dass verschwindende Fahrzeuge besser als springende, große Sprünge besser als kleine Sprünge und Sprünge gegen die Bewegungsrichtung besser als solche mit der Bewegungsrichtung bemerkt werden.
2. Die Fahrer fokussieren ihre Aufmerksamkeit auf ihren weiteren Fahrtverlauf und damit auf die Kreuzung. Deswegen werden Änderungen, die nahe der Kreuzung auftreten, besser bemerkt als weiter entfernte Änderungen.
3. Die Fahrer fokussieren ihre Aufmerksamkeit auf für ihre Fahraufgabe relevante Objekte. Änderungen an relevanten Objekten werden deswegen besser bemerkt als Änderungen an irrelevanten Objekten.

Für Vermutung 1 spricht, dass Sprünge schlechter entdeckt werden als verschwindende Objekte. Dies liegt daran, dass ein Sprung im Grunde direkt in der ersten Straßensicht nach Auftreten der Änderung bemerkt werden muss, da der Fahrer eine erwartete mit einer tatsächlichen Position des Objekts vergleichen muss. Je weiter die Änderung zurück liegt, desto schwieriger wird es, die Änderung zu bemerken, da sich sowohl Fahrer als auch das betroffene Objekt in der dazwischen liegenden Zeit bewegen. Das Verschwinden eines Fahrzeugs kann ohne Probleme auch noch deutlich später bemerkt werden, da das Objekt verschwunden bleibt. Dies führt dazu, dass das Verschwinden von Objekten häufiger auch erst nach drei bis fünf Straßensichten bemerkt wird. Gegen Vermutung 1 sprechen die Ergebnisse für die 60 Meter-Sprünge: Gegen die Fahrtrichtung werden sie ähnlich schlecht wie 30 Meter-Sprünge, mit der Fahrtrichtung ähnlich gut wie 90 Meter-Sprünge entdeckt. Bei den anderen beiden Sprungweiten hat die Richtung des Sprungs entgegen der Annahme keinen Einfluss auf die Entdeckungsleistung. Damit hat die Sprungrichtung in Abhängigkeit der Sprungweite keinen Einfluss oder wirkt entgegen der Erwartung. Für die mittlere Sprungweite wiederum hängt das Ergebnis von der Sprungrichtung ab, es gibt hier keinen eindeutigen Einfluss der Sprungweite. Insgesamt trifft damit Vermutung 1 nicht zu, dass es nur von der entstehende Bewegungsgröße abhängt, ob eine Änderung bemerkt wird oder nicht.

Für Vermutung 2 spricht, dass Änderungen von Objekten, die sich näher an der Kreuzung befinden (in der Anordnung an relevanten und potentiell relevanten Objekten) besser bemerkt werden als an solchen, die weiter entfernt und in der Anordnung gleichzeitig irrelevant sind. Gegen diese Interpretation sprechen allerdings die Ergebnisse für die Sprünge: Bei der in dieser Bedingung am schlechtesten entdeckten Änderung (60 Meter gegen die Fahrtrichtung) befindet sich der LKW vor und nach dem Sprung in ähnlicher Entfernung zur Kreuzung, wie bei dem 90 Meter Sprung gegen die Fahrtrichtung. Einziger Unterschied ist, dass der Sprung einmal so groß ist, dass er über die Kreuzung hinweggeht. In diesem Fall

wird die Änderung gut entdeckt. Bleibt das Objekt auf der ursprünglichen Kreuzungsseite, wird die Änderung nicht bemerkt. Wäre einzig die Entfernung zur Kreuzung für das Entdecken der Änderungen verantwortlich, dürften Seite und Bewegungsrichtung des Objekts keinen Einfluss auf die Ergebnisse nehmen.

Relevanz entsteht in der verwendeten Untersuchungsanordnung offenbar in erster Linie durch die Bewegungsrichtung des Objekts in Bezug auf einen Referenzpunkt. Bewegen sich die Objekte auf die Kreuzung zu, werden sie von den Fahrern beachtet, bewegen sie sich von der Kreuzung weg, sind sie irrelevant. Für Vermutung 3 spricht, dass das Verschwinden von irrelevanten Reizen kaum, das Verschwinden relevanter und potentiell relevanter Reize dagegen fast immer bemerkt wird. Die Ergebnisse für den Änderungstyp Sprünge sind komplexer, passen aber dennoch in das Bild. Auch hier werden Änderungen, bei denen das Objekt vor und nach dem Sprung irrelevant ist kaum bemerkt. Sobald das Fahrzeug an mindestens einem der beiden Punkte für den Fahrer relevant ist, werden auch die Sprünge in der Mehrzahl der Fälle bemerkt.

Die Tatsache, dass auch Sprünge von einer irrelevanten auf eine relevante Position bemerkt werden, spricht dafür, dass nicht nur einzelne Objekte, sondern zusätzlich ein Bereich rechts und links der Kreuzung überwacht wird. Das Auftauchen von relevanten Fahrzeugen innerhalb dieses Bereichs wird gut bemerkt. Damit deuten die Ergebnisse auf eine Kombination von Vermutung 2 und 3 hin. Einerseits werden ausgewählte, für die Fahraufgabe relevante Objekte überwacht, andererseits werden aber auch relevante Änderungen innerhalb eines ausgewählten Bereichs nahe der Kreuzung bemerkt. Aufgrund der Tatsache, dass sich in der verwendeten Anordnung die verschiedenen Stufen der Relevanz auch immer im Abstand zu Kreuzung unterscheiden, ist es leider nicht möglich, den Einfluss des Abstands zur Kreuzung vom Einfluss der Relevanz sauber zu trennen.

#### 7.5.6.3 Einfluss der Sichtbedingung

Der Zeitpunkt der Änderung, das heißt, ob die Änderung während der Okklusion oder während einer Straßensicht stattfindet, hat nur eine geringe Auswirkung auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit. Änderungen an irrelevanten Objekten werden auch während Straßensichten kaum entdeckt. Nur bei kleinen Änderungen an relevanten Objekten (30 Meter-Sprünge) führt das Auftreten der Änderungen während der Straßensicht zu einer besseren Entdeckungsleistung. Über alle Bedingungen hinweg kann allerdings bei Änderungen während Straßensichten schneller reagiert werden als wenn die Änderung verdeckt wird. Die Ergebnisse sprechen insgesamt eher gegen eine bottom-up Ausrichtung der Aufmerksamkeit durch die durch die Änderungen entstehenden Bewegungstransienten. Änderungen an relevanten Objekten, d.h. an Objekten, die schon vor der Änderungen im Fokus der Aufmerksamkeit stehen, werden bei Straßensicht besser entdeckt. Änderungen an irrelevanten Objekten werden dagegen unabhängig vom Zeitpunkt der Änderung nicht bemerkt.

Als weiterer Faktor der Sichtbedingung wurde die Dauer der Straßensicht manipuliert. Über alle Änderungen gemittelt zeigen sich tendenziell ein Anstieg der Entdeckungsrate sowie eine Abnahme der Reaktionszeit mit steigender Sichtdauer. Dieser Effekt beruht auf einer leicht geringeren Entdeckungsrate und erhöhten Reaktionszeiten bei Sichtdauern von 150 ms. Die beiden anderen Sichtdauern unterscheiden sich nicht voneinander. Damit ist der Einfluss der Sichtdauern auf die Er-

gebnisse äußerst gering. Es deutet sich ein äußerst effizienter Mechanismus an, der relativ unabhängig von der Sichtdauer die Überwachung subjektiv relevanter Situationsbestandteile erlaubt. Zumindest in der untersuchten Fahrsituation sind die Fahrer auch bei den äußerst kurzen Blickdauern von 150 ms in der Lage, die relevanten Situationsbestandteile fast genauso gut zu überwachen, wie es bei real akzeptierten Dauern von 350 ms der Fall ist. Für zukünftige Untersuchungen interessant ist die Frage, ob es bei längeren Blickdauern, wie sie beispielsweise bei realen, selbstgetakteten Nebenaufgaben zu beobachten sind, zu einer Verbesserung der Wahrnehmungsleistung für Änderungen an irrelevanten Objekten kommt.

#### 7.5.6.4 Exkurs: Antizipation der Bewegung anderer Verkehrsteilnehmer

Die beim Design eingeführte Unterscheidung in relevante und potentiell relevante Objekte hat keinen Effekt. Die beiden Relevanzabstufungen unterscheiden sich im Zeitpunkt, zu dem das Objekt die Kreuzung erreicht. Relevante Objekte erreichen zeitgleich mit dem Fahrer, potentiell relevante Objekte nach dem Fahrer die Kreuzung. Der Effekt bleibt vermutlich aus, da die Fahrer Probleme haben zu antizipieren, ob die Kombination der eigenen und der Fremdgeschwindigkeit zu einem Zusammentreffen an der Kreuzung führen wird oder nicht. Dadurch ist der objektiv vorhandene Relevanzunterschied subjektiv nicht wahrnehmbar.

Die Schwierigkeit die Fahrer haben, Bewegungen anderer Objekte über Blickabwendungen hinweg vorherzusagen, zeigt sich auch in den Ergebnissen für die 30 Meter-Sprünge. Dies ist die einzige Bedingung, in der das Auftreten der Änderung während der Straßensicht zu einer höheren Entdeckungswahrscheinlichkeit führt. Die geringe Entdeckungsrate bei maskierten Änderungen ist allerdings vermutlich weniger ein Change-Blindness-Effekt im engeren Sinne als ein Antizipationsproblem. Bei maskierten Änderungen muss die erwartete mit der tatsächlichen Position eines sich bewegenden Objekts verglichen werden, um den Sprung zu entdecken. Es fällt den Probanden offensichtlich schwer, die exakte Positionsänderung über die Zeit bei sich bewegenden Objekten vorherzusagen. Deswegen können bei kleinen Änderungen unerwartete Sprünge nicht von der erwarteten Eigenbewegung des Objekts unterschieden werden. Da es sich aber im Falle der 30 Meter-Sprünge um die Änderung eines relevanten Objekts handelt, welches sich im Fokus der Aufmerksamkeit befindet, bringt das Auftreten eines Bewegungsreizes in der Bedingung „Änderung während einer Straßensicht“ beim Entdecken des Sprungs einen Vorteil. Die Änderung wird in dieser Bedingung schneller und häufiger bemerkt. Die beobachtete Wechselwirkung zwischen Sprungweite und Änderungszeitpunkt kann deswegen als Hinweis darauf gewertet werden, dass die Bewegung anderer Verkehrsteilnehmer bei Blickabwendungen nicht oder nur äußerst ungenau fortgeschrieben wird.

Auch die Untersuchung von Scheuchenpflug et al. (2004) zum Verhalten an Kreuzungen mit Fremdverkehr erbrachte Hinweise darauf, dass es Fahrern Probleme bereitet, die Bewegung andere Fahrzeuge im Gedächtnis fortzuschreiben. Diese Befunde können eine Erklärung dafür sein, warum an Kreuzungen immer wieder Zeitlücken falsch eingeschätzt werden. Vermutlich bereitet es den Fahrern Schwierigkeiten, die Bewegung von Fahrzeugen auf der gerade nicht beachteten Seite fortzuschreiben und die Positionsänderung über die Zeit zu antizipieren. Ob dies darauf beruht, dass die Positionsänderungen überhaupt nicht oder nur sehr ungenau antizipiert werden, könnte in einer Untersuchungsanordnung analysiert werden, die der in

Studie 3 verwendeten ähnelt. Über die Kombination unterschiedlicher Okklusionsdauern, Geschwindigkeiten und Sprungweiten ließe sich prüfen, ob beispielsweise der Bereich, indem das Fahrzeug nach der Okklusion erwartet wird und in dem deswegen Sprünge nicht bemerkt werden, von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs abhängt. Ein Einfluss der Geschwindigkeit wäre ein Hinweis darauf, dass die Bewegung fortgeschrieben wird, dies aber nur ungenau geschieht. Die Größe des Bereichs, in dem Sprünge nicht als solche wahrgenommen werden, könnte als Indikator für das Ausmaß der Ungenauigkeit herangezogen werden.

#### 7.5.6.5 Methodisches Fazit

Auswertung und Interpretation für den Änderungstyp „Sprung des Objekts“ erweisen sich als äußerst komplex. Es müssen Sprungweite und -richtung sowie Start- und Endposition berücksichtigt werden. Dazu kommt, dass ein komplettes Kreuzen aller möglicherweise relevanten Faktoren aufgrund geometrischer Zwänge nicht möglich ist und außerdem zu einem unsinnig großen und kaum realisierbaren Versuchsplan führen würde. Es ist deswegen zu überlegen, ob man anstelle von Sprüngen nicht lieber das Verschwinden und Auftauchen von Objekten getrennt untersuchen sollte. Ein Sprung stellt immer eine Kombination eines an einer Stelle verschwindenden Objekts und eines an einer anderen Stelle auftauchenden Objekts dar. Durch die getrennte Manipulation von Auftauchen und Verschwinden von Objekten ließen sich die verschiedenen potentiellen Einflussfaktoren besser trennen.

Die Auswertung verdeutlicht auch, dass eine Vielzahl möglicher Einflussfaktoren bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen sind. In Studie 3 ist insbesondere der Abstand der Fahrzeuge zur Kreuzung zum Zeitpunkt der Änderung und bei den Sprüngen auch nach der Änderung unzureichend kontrolliert. Dies ist aber notwendig, um eine mögliche Bereichsüberwachung von einer Fokussierung der Aufmerksamkeit auf relevante Objekte abgrenzen zu können. In der Auswertung überhaupt nicht berücksichtigt und im Versuchsdesign weder systematisch manipuliert noch kontrolliert, ist die Position und Bedeutung des jeweils zweiten, sich seitlich nähernden Fahrzeugs. Dieses Fahrzeug bestimmt unter anderem, ob während der Kreuzungsanfahrt die Aufmerksamkeit auf zwei relevante Objekte aufgeteilt werden muss oder ob die Überwachung von einer Seite der Kreuzung ausreicht. Dazu kommt, dass die Größe des zu überwachenden Bereichs links und rechts der Kreuzung von der Position beider Fahrzeuge abhängt. Über die Bedeutung dieses Faktors für die Aufteilung der Aufmerksamkeit kann anhand der vorliegenden Untersuchung keine Aussagen getroffen werden.

## 7.6 Studie 4

### 7.6.1 Hintergrund

In Studie 4 wird die Methode aus Studie 3 weitgehend übernommen: Es werden wieder Kreuzungsanfahrten mit drei sich nähernden LKW verwendet. Die Relevanzmanipulation betrifft wieder nur die beiden sich seitlich nähernden LKW und die Fahrer bearbeiten außerdem während den Kreuzungsanfahrten die aus Studie 3 übernommene Zahlenaufgabe.

Hauptziel von Studie 4 ist es, die Bedeutung der Relevanz für die Ausrichtung der Aufmerksamkeit erneut abzusichern und dabei den Einfluss von Relevanz und Abstand zur Kreuzung getrennt zu variieren. In Studie 3 unterschieden sich die verschiedenen Fahrzeuge nicht nur in ihrer Relevanz, sondern damit einhergehend immer auch im Abstand zur Kreuzung. Aufgrund der Konfundierung dieser beiden Faktoren war es nicht möglich, den Einfluss von Relevanz und Entfernung auf die Entdeckungsleistung zu trennen. In Studie 4 werden nun die Relevanz und die Entfernung zur Kreuzung getrennt beeinflusst.

Als weiterer Einflussfaktor wird die Relevanz des zweiten, nicht geänderten Fahrzeugs manipuliert. Dieses beeinflusst, auf welchen und auf wie vielen Seiten der Kreuzung relevante Fahrzeuge beachtet werden müssen. Von der Relevanz der Fahrzeuge auf beiden Seiten der Kreuzung hängt ab, auf wie viele relevante Fahrzeuge der Fahrer seine Aufmerksamkeit verteilen muss bzw. unter wie vielen aufgabenrelevanten Objekten er eine Teilmenge zur Beobachtung auswählen muss. Befinden sich auf beiden Seiten der Kreuzung relevante Fahrzeuge, muss die Aufmerksamkeit entweder auf beide Fahrzeuge verteilt werden oder, falls dies nicht möglich ist, muss eines der beiden relevanten Objekte ausgewählt und dann über die Straßenblicke beobachtet werden. Befindet sich nur auf einer Seite der Kreuzung ein relevantes Fahrzeug, sollte dieses während der Kreuzungsanfahrt beobachtet und das zweite, irrelevante Fahrzeug vernachlässigt werden.

Zur Erleichterung der Interpretation wird in Studie 4 nur noch der Änderungstyp „Verschwinden des Fahrzeugs“ verwendet.

### 7.6.2 Versuchsaufbau und Versuchsdesign

#### 7.6.2.1 Implementierte Situationen

In Studie 4 wird das Grunddesign aus Studie 3 übernommen. Sowohl der geometrische Aufbau der Kreuzungen, die Gestaltung der Nebenaufgabe als auch die zeitliche Abstimmung von Annäherung, Nebenaufgabe und Auftreten der Änderung wird beibehalten. Dies bedeutet, dass wie in Studie 3 die Nebenaufgabe ab 250 Meter vor der Kreuzung angekündigt wird und dann 200 Meter vor der Kreuzung beginnt. Die Änderung wird in einem Abstand von 100 Metern zu Kreuzung ausgelöst (vgl. Abbildung 7-18).

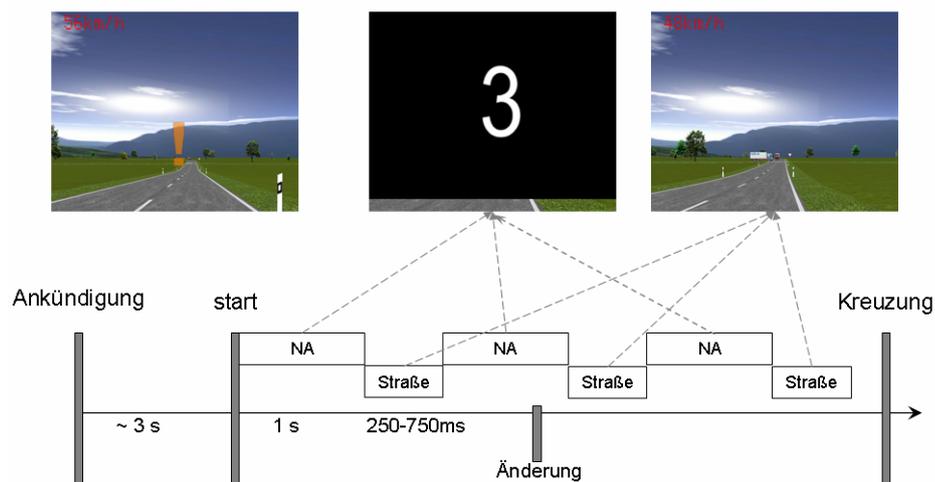


Abbildung 7-18: Schema des zeitlichen Ablaufs der Nebenaufgabe. Die gezeigten Zeitverhältnisse entsprechen nicht der Realität. Beispielhaft sind nur drei Wechsel zwischen Straßensicht und Okklusion (=NA) dargestellt.

Die Fahrer sind wieder instruiert, sicher zu fahren, die Nebenaufgabe zu bearbeiten und auf plötzliche Änderungen mittels Tastendruck zu reagieren. Die Fahraufgabe hat wieder die höchste Priorität, das Entdecken von Änderungen die niedrigste. Die Fahrer wissen außerdem, dass es sich bei den Änderungen immer um das Verschwinden von Objekten handelt.

Die Strecke setzt sich aus einer Abfolge von X-Kreuzungen zusammen, an die sich jeweils drei Fahrzeuge annähern. Befinden sich zu Beginn der Situation je ein Fahrzeug rechts und eines links der Kreuzung und unterscheidet man in relevante und irrelevante Fahrzeuge, ergeben sich drei mögliche Ausgangssituationen (vgl. Abbildung 7-19). Beide Fahrzeuge können sich der Kreuzung annähern, d.h. beide sind relevant, eines der Fahrzeuge kann sich annähern, das andere kann sich von der Kreuzung entfernen, damit ist eines relevant und eines irrelevant und beide Fahrzeuge können irrelevant sein und sich von der Kreuzung entfernen.

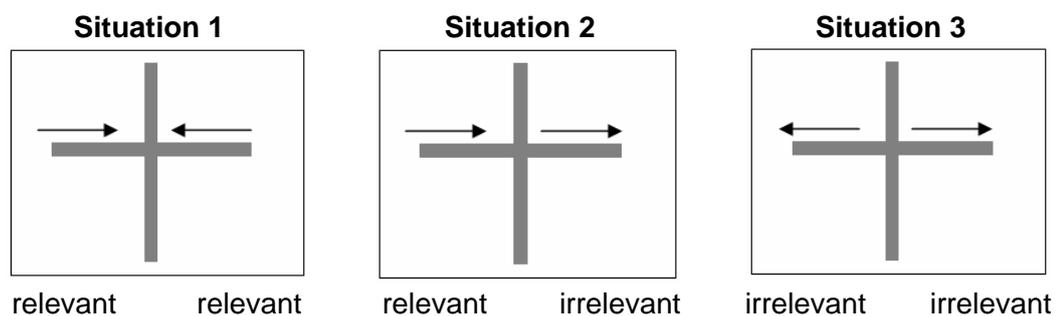


Abbildung 7-19: Mögliche Ausgangssituationen bei einer Unterscheidung in relevante und irrelevanten Fahrzeuge sowie je einem Fahrzeug rechts und einem links der Kreuzung. Das Ego-Fahrzeug nähert sich von unten und ist zur Vereinfachung der Darstellung ebenso wie der von oben entgegenkommende LKW nicht eingezeichnet.

In Situation 1 besteht nur die Möglichkeit, dass ein relevantes Fahrzeug verschwindet, in Situation 3 kann die Änderung dagegen nur irrelevante Fahrzeuge betreffen.

Für Situation 2 gibt es zwei unterschiedliche Änderungsarten. Es kann entweder das relevante oder das irrelevante Fahrzeug verschwinden (vgl. Abbildung 7-20).

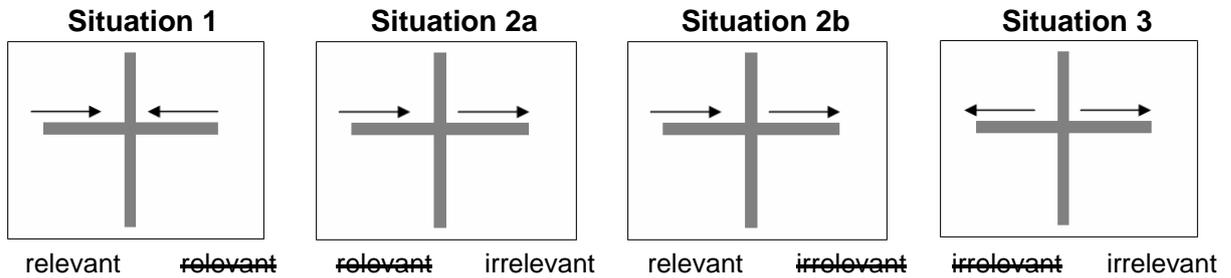


Abbildung 7-20: Mögliche Änderungen bezogen auf die Relevanz der Fahrzeuge in den drei Ausgangssituationen. Das jeweils geänderte Fahrzeug ist durchgestrichelt. Das Ego-Fahrzeug nähert sich von unten und ist zur Vereinfachung der Darstellung ebenso wie der von oben entgegenkommende LKW nicht eingezeichnet.

In Situation 2 nähern sich seitlich immer ein relevantes und ein irrelevantes Fahrzeug. In dieser Situation sollte die top-down gesteuerte Aufmerksamkeit während der Anfahrt auf das relevante Objekt gerichtet werden, das irrelevantes Objekt sollte dagegen nicht beachtet werden. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus Studie 3 sollten deswegen die Änderungen in Situation 2a gut, in Situation 2b schlecht bemerkt werden.

Auch in Situation 1 sollten die Änderungen bemerkt werden, da sie immer ein relevantes Objekt betreffen. Hier muss allerdings die Aufmerksamkeit auf zwei relevante Objekte rechts und links der Kreuzung aufgeteilt werden. Im Vergleich zu Situation 2a kann dies im Mittel zu erhöhten Reaktionszeiten führen, da mehrere Objekte gleichzeitig beobachtet werden müssen.

Schwierig wird die Vorhersage für Situation 3. Hier gibt es keine für die Fahraufgabe relevanten Objekte. Dies kann dazu führen, dass Änderungen hypothesenkonform schlecht bemerkt werden, da sie immer irrelevante Objekte betreffen. Da allerdings in dieser Situation während der Kreuzungsanfahrt schon frühzeitig klar ist, dass die Kreuzung ohne anzuhalten überfahren werden kann, ist die Fahraufgabe in Situation 3 weniger beanspruchend als in Situation 1 und Situation 2. Aus diesem Grund ist es denkbar, dass die Fahrer die in der Fahraufgabe nicht benötigte Aufmerksamkeit nutzen, um die Entdeckungsaufgabe möglichst gut zu lösen. In diesem Fall ist es denkbar, dass Änderungen in Situation 3 besonders gut entdeckt werden, da die Fahraufgabe in dieser Situation die wenigste Aufmerksamkeit beansprucht und deswegen mehr Aufmerksamkeit gezielt zum Entdecken der Änderungen eingesetzt werden kann. Insgesamt ist die Vorhersage der Ergebnisse für Situation 3 am schwierigsten, da es keine theoretische Annahme gibt, die vorhersagt, worauf die auf die Straße gerichtete Aufmerksamkeit verwendet wird, wenn sie nicht für die Fahraufgabe benötigt wird. In Studie 1 gab es den Fall, dass Fahrer in wenig beanspruchenden Fahrsituationen Nebenaufgaben für längere Zeit bearbeiteten, ohne zur Straße zurückzublicken. Diese Möglichkeit besteht in Situation 3 nicht, da der Wechsel zwischen Nebenaufgabe und Straßensicht experimentell vorgegeben wird. Trotz der schwierigen Vorhersage wird Situation 3 in Studie 4 untersucht, da sie eine interessante Variante der Grundsituation darstellt und da sie Aufschluss darüber geben kann, wie die Fahrer die ihnen gestellten Aufgaben priorisieren und kombinieren.

Zusätzlich zur Relevanz wird die Entfernung der Fahrzeuge zur Kreuzung zum Zeitpunkt der Änderung manipuliert. Diese beträgt entweder 40 oder 70 Meter. 40 Meter ist im Bereich der nächsten in Studie 3 untersuchten Entfernung, 70 Meter im Bereich der weitesten. Dieser Faktor ermöglicht es, systematisch zu prüfen, ob und in welchen Situationen die Nähe zum potentiellen Konfliktbereich, d.h. die Nähe zur Kreuzung, Einfluss auf die Verteilung der Aufmerksamkeit nimmt. So ist es beispielsweise möglich, dass unabhängig von der Ausgangssituation Fahrzeuge die sich näher an der Kreuzung befinden, besser wahrgenommen werden. Eine Alternative ist, dass nur in bestimmten Situationen - beispielsweise nur in Situation 1, in der sich zwei relevante Fahrzeuge der Kreuzung annähern - die Entfernung der Objekte zur Kreuzung die Verteilung der Aufmerksamkeit beeinflusst.

Vollständig permutiert ergeben sich aus den vier Änderungsarten sowie den zwei Entfernungen  $N = 8$  Situationen. Jede Änderung wird zweimal umgesetzt. Die Entfernung des zweiten Fahrzeugs und das Auftreten der Änderung rechts bzw. links der Kreuzung werden ausbalanciert.

Auch der Faktor Dauer der Straßensicht während der Nebenaufgabe wird aus Studie 3 übernommen und modifiziert. Als Sichtdauern werden 250 ms, 500 ms und 750 ms untersucht. Die kleinste Dauer bewegt sich im Bereich der in Studie 3 umgesetzten Dauern und erlaubt so einen direkten Vergleich der Ergebnisse. Die Sichtdauer von 500 ms nähert sich dagegen den während selbstgetakteter Nebenaufgaben auftretenden Blickdauern an, 750 ms bewegen sich auch bei selbstgetakteten Nebenaufgaben im oberen Bereich. Die Dauer der Okklusion durch die Nebenaufgabe beträgt wie in Studie 3 immer eine Sekunde. Aufgrund der längeren Sichtdauern für die Straße erhöht sich die Gesamtdauer der Nebenaufgabe. Als Folge wird die Anzahl der eingeblendeten Ziffern pro Nebenaufgabe von 10 auf 8 verringert.

Zusätzlich zu den  $N=48$  für die Untersuchungsfrage relevanten Situationen (3 Blickdauern \* 8 Situationsvarianten \* 2 Wiederholungen) wird in  $N=6$  Situationen das sich frontal nähernden Fahrzeugs aus Studie 3 übernommen. In dieser Situation wechselt das entgegenkommende Fahrzeug die Spur und nähert sich dem Fahrer frontal. Um eine Kollision zu verhindern, muss der Fahrer dem entgegenkommenden LKW ausweichen. Zusätzlich enthält die Strecke  $N=24$  Situationen in denen keine Änderung auftritt. Damit besteht die Strecke in Studie 4 aus insgesamt 78 Kreuzungen.

Vergleichbar zu Studie 3 wird der Versuch mit 2 unabhängigen Gruppen durchgeführt, die sich im Zeitpunkt der Änderung unterscheiden. In einer Bedingung finden wieder alle Änderungen während der Straßensicht, in der anderen während der Verdeckung durch die Nebenaufgabe statt. Insgesamt ergeben sich die folgenden Faktoren sowie der in Tabelle 7-8 dargestellt Versuchsplan:

- Situation: vgl. Abbildung 7-20;
- Entfernung zu Kreuzung: nah vs. fern;
- Dauer Straßensicht: 250ms vs. 500ms vs. 750ms;
- Maskierung der Änderung: Straßensicht vs. Okklusion; einziger unabhängiger Faktor.

Tabelle 7-8: Versuchsplan in Studie 4.

Gruppe	Sicht- dauer [ms]	Situation							
		1		2a		2b		3	
		nah	fern	nah	fern	nah	fern	nah	fern
Während Straßensicht	250								
	500								
	700								
Während Okklusion	250								
	500								
	700								

### 7.6.2.2 Abhängige Variablen

Während der Fahrt werden Parameter der Nebenaufgabe, die Bedieneingaben des Fahrers sowie Position und Geschwindigkeit des gesamten Verkehrs aufgezeichnet. Hauptparameter der Auswertung sind wieder der Anteil entdeckter Änderungen sowie die dafür benötigte Reaktionszeit. Am Ende des Versuchs beurteilen die Fahrer mittels 16-stufiger Ratingskalen Schwierigkeit der Fahr- und der Zahlenaufgabe, sowie wie anstrengend die Fahraufgabe war und wie aufmerksam sie gefahren sind. Außerdem geben sie an, wie gut sie die aufgetretenen Veränderungen entdecken konnten. Abbildung 7-21 zeigt die verwendete Ratingskala an einem Beispiel.

Abbildung 7-21: Beispiel für die in Studie 4 verwendeten Ratingskalen.

Wie gut konnten Sie die Veränderungen entdecken?

gar nicht 0	sehr schlecht 1 - 2 - 3	schlecht 4 - 5 - 6	mittel 7 - 8 - 9	gut 10 - 11 - 12	sehr gut 13 - 14 - 15
-------------------	-------------------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	-----------------------------

### 7.6.3 Stichprobe und Versuchsablauf

Insgesamt ergeben sich 78 Kreuzungen, die auf zwei Versuchsteile aufgeteilt werden. Die Fahrt dauert pro Versuchsteil ca. 30 Minuten. Zwischen den beiden Versuchsteilen haben die Fahrer die Möglichkeit, eine Pause zu machen. Nach den beiden Fahrten füllen die Fahrer einen kurzen Fragebogen zum Versuch aus und werden anschließend vom Versuchsleiter verabschiedet.

An dem Experiment nehmen 12 Probanden teil, 6 davon Frauen. Die Fahrer sind im Mittel 32 Jahre alt (sd = 8.54, min = 24, max = 49). Je 6 Fahrer werden den Bedingungen Straßensicht und Okklusion zugeteilt. Alle Fahrer entstammen dem Testfahrerpanel des WIVW und sind ausreichend in der Fahrsimulation trainiert.

### 7.6.4 Kontrolle der implementierten Änderungen

Die Auswertung der aufgezeichneten Versuchsdaten ergibt, dass die Änderungen in der Bedingung Straßensicht im Mittel rund 70 ms (sd = 9 ms) nach Beginn der Straßensicht auftreten. Die Messwerte befinden sich damit im vorgegebenen Fenster von 45 ms bis 95 ms. Änderungen während der Okklusion können zu jedem beliebigen Zeitpunkt innerhalb einer Okklusionsphase stattfinden, da die Änderung verdeckt ist. Bei der Streckenerstellung werden 40 m in der Bedingung nah und 70 m in der Bedingung fern als Entfernungen zur Kreuzung zum Zeitpunkt der Änderung angezielt. Die tatsächlichen Entfernungen bewegen sich im Mittel zwischen 34 Meter und 41 Meter für die nahen und 65 Meter und 74 Meter für die entfernten Fahrzeuge (vgl. Tabelle 7-9).

*Tabelle 7-9: Mittelwert und Standardabweichung des Abstands zur Kreuzung in Metern bzw. zur Trajektorie des Ego-Fahrzeugs in Grad getrennt für die verschiedenen Bedingungen.*

		Abstand zur Kreuzung [m]		Abstand zur Trajektorie [°]	
		m	sd	m	sd
Während Straßensicht	Relevant nah	38.61	3.680	20.44	2.851
	Relevant fern	73.98	5.850	35.67	3.811
	Irrelevant nah	35.40	6.222	18.88	2.919
	Irrelevant fern	65.09	6.434	32.20	2.028
Während Okklusion	Relevant nah	34.31	2.060	16.82	0.808
	Relevant fern	66.21	2.154	30.23	0.710
	Irrelevant nah	40.77	5.505	19.74	2.497
	Irrelevant fern	73.65	2.082	32.97	1.074

Aufgrund des unterschiedlichen Bremsbeginns der Fahrer und aufgrund zeitlicher Varianz, die durch das Abwarten des passenden Zeitpunkts für die Änderung entsteht, weichen die tatsächlichen Entfernungen leicht von den angestrebten Entfernungen ab. Dennoch unterscheiden sich die Entfernungen naher Fahrzeuge deutlich von denen ferner Fahrzeuge. Die Entfernungen zum Zeitpunkt der Änderung sind für relevante und irrelevante Fahrzeuge vergleichbar. In der Bedingung, in der die Änderungen während der Straßensicht stattfinden, sind die Streuungen der Positionen aufgrund der strengeren Bedingungen für den geeigneten Zeitpunkt der Änderung etwas höher. Zusätzlich zu der Beschreibung in Metern innerhalb des Simulationskoordinatensystems können alle Änderungen als Abweichungen von der vermutlichen Trajektorie des Fahrers in Grad dargestellt werden. Die Abweichung zwischen der Position des geänderten Fahrzeugs und der Trajektorie des Ego-Fahrzeugs beträgt zwischen 17° und 20° für nahe und 30° bis 35° für entfernte Fahrzeuge.

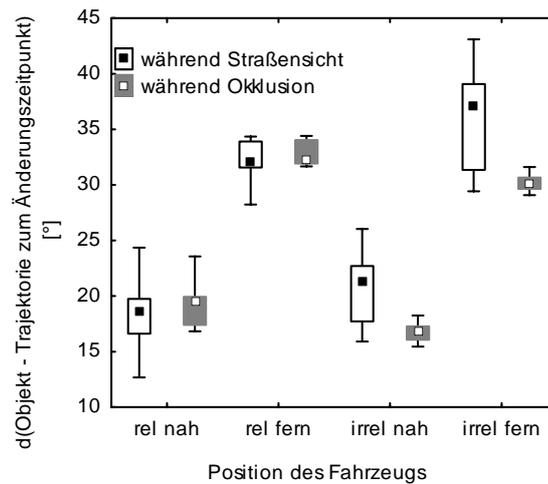


Abbildung 7-22: Abweichung des Fahrzeugs von der Trajektorie des Ego-Fahrzeugs zum Zeitpunkt der Änderung in Grad.

## 7.6.5 Ergebnisse

### 7.6.5.1 Subjektiv

Die Versuchsgruppen unterscheiden sich nicht hinsichtlich ihrer Bewertung der Schwierigkeit von Fahrt- und Nebenaufgabe. Außerdem geben sie an vergleichbar aufmerksam gefahren zu sein, sowie, dass die Fahraufgabe vergleichbar anstrengend war. Auch bei der Frage, wie gut die Änderungen während des Versuchs entdeckt werden konnten, ergibt sich in Studie 4 kein Unterschied zwischen den Bedingungen. Auffällig ist, dass die Probanden insgesamt angeben, dass sie die Änderungen besser entdecken können als dies in Studie 3 der Fall war.

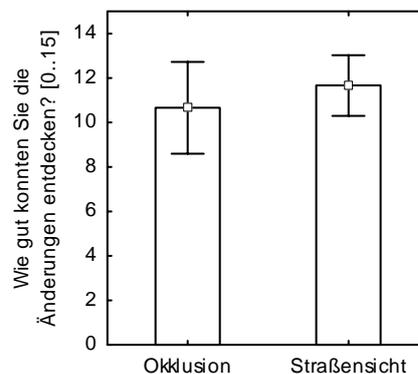


Abbildung 7-23: Einfluss der Bedingung auf die subjektive Einschätzung, wie gut Veränderungen entdeckt werden können.

### 7.6.5.2 Situation Fahrzeug frontal

Wie bereits in Studie 3 wird für die Situation des sich frontal annähernden Fahrzeugs die Anzahl von Kollisionen ausgewertet, sowie der minimale Abstand zum Entgegenkommenden bevor ausgewichen und die Spur gewechselt wird. Der Abstand zwischen den beiden Fahrzeugen ist wieder zwischen den beiden Fahrzeugschwerpunkten gerechnet. Dieser beträgt, wenn die beiden Fahrzeuge Stoßstange an Stoß-

stange stehen, 6.925 Meter. Kollisionen werden diesmal nicht aus den Versuchsleiterprotokollen sondern aus den aufgezeichneten objektiven Fahrdaten abgeleitet. Die sechs Kreuzungen mit der Situation des frontal entgegenkommenden Fahrzeugs sind nach der Reihe des Durchfahrens nummeriert.

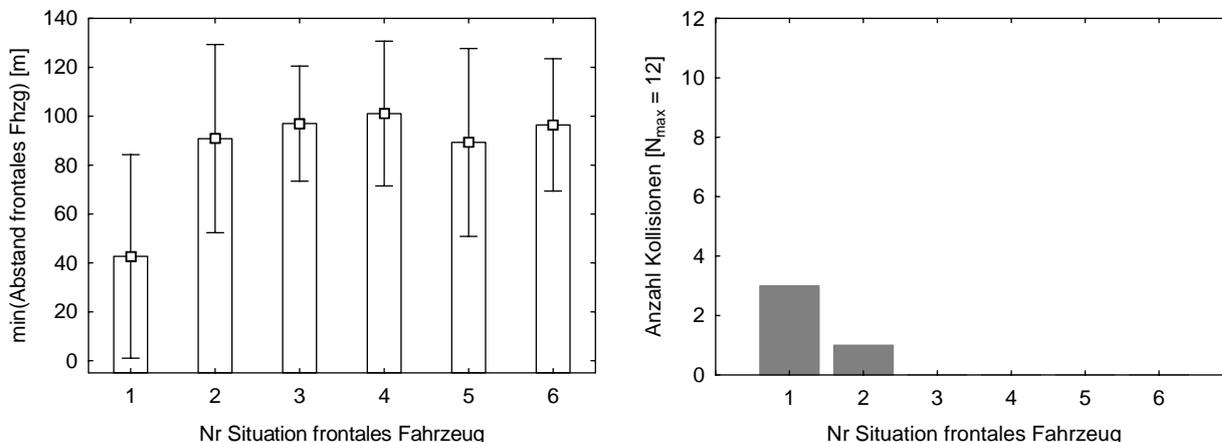


Abbildung 7-24: Der minimale Abstand zwischen Ego-Fahrzeug und entgegenkommendem LKW in den Situationen „Fahrzeug frontal“ 1-6 (links) sowie die Anzahl Kollisionen in den Situationen „Fahrzeug frontal“ 1-6 (rechts).

Es ergibt sich ein signifikanter Anstieg des minimalen Abstands zum entgegenkommenden Fahrzeug ab der zweiten Situation ( $F(5,55) = 6.61$ ,  $p < 0.001$ , in den Nachtests ist für alle Vergleiche zwischen Situation 1 und allen folgenden Situationen  $p < 0.05$ ). Insgesamt liegt die Kollisionshäufigkeit auch in der ersten Situation deutlich unter der in Studie 3. Die Abnahme der Kollisionshäufigkeit wird zwischen Situation 1 und Situation 2 nicht signifikant, zwischen Situation 1 und Situation 3 tendenziell signifikant (Vergleich Situation 1 / Situation 2:  $df = 1$ ,  $X^2 = 1.20$ ,  $p = 0.273$ ; Situation 1 / Situation 3:  $df=1$ ,  $X^2 = 3.43$ ,  $p = 0.0641$ ). Das Auftreten einer Kollision ist unabhängig von der Dauer der Straßensicht. Zwei Kollisionen ereignen sich bei einer Sichtdauer von 500 ms und zwei bei 750 ms.

#### 7.6.5.3 Entdeckungswahrscheinlichkeit

Anders als in Studie 3 ist der Anteil entdeckter Änderungen in Studie 4 deutlich höher. Über alle Änderungen bewegt sich der Anteil in der Bedingung „Änderung während der Okklusion“ zwischen 46% und 92%. Einzig ein Proband (VP9) entdeckt bei irrelevanten Fahrzeugen keine einzige Änderung. In der Bedingung mit der Änderung während der Straßensicht beträgt die geringste Entdeckungsrate 96%, 4 Probanden entdecken hier alle Änderungen.

Wie in 7.6.2.1 beschrieben, lassen sich basierend auf der Relevanz der Fahrzeuge vier Ausgangssituationen unterscheiden. Abbildung 7-25 zeigt den Einfluss von Situation und Bedingung auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit.

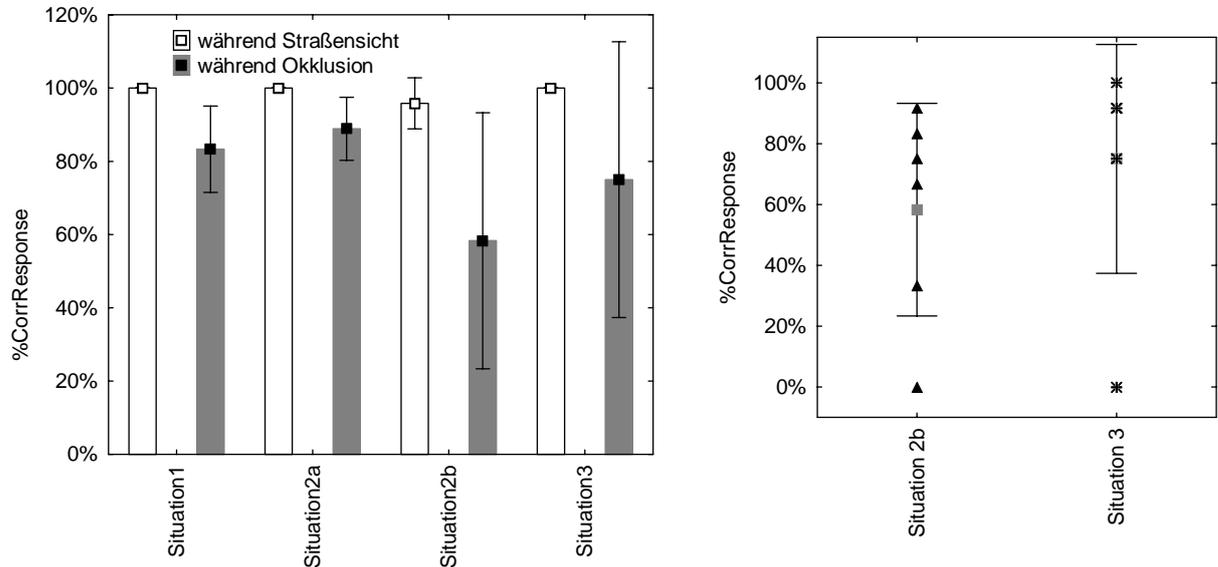


Abbildung 7-25: Einfluss von Bedingung und Ausgangssituation auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit (links) sowie Streuung der Daten für Situation 2b und Situation 3 in der Bedingung „während Okklusion“ (rechts).

Die statistische Prüfung ergibt einen signifikanten Haupteffekt Bedingung ( $F(1,10) = 10.03$ ,  $p = 0.010$ ) sowie eine Tendenz für den Haupteffekt Situation ( $F(3,30) = 2.48$ ,  $p = 0.080$ ). Wenn die Änderungen während der Straßensicht auftreten, werden sie häufiger entdeckt als wenn sie während der Okklusion stattfinden. Nachtests zeigen, dass die Tendenz für den Haupteffekt Situation auf einer geringeren Entdeckungswahrscheinlichkeit in Situation 2b (rel. – irrel.) beruht. Auffällig ist, dass die Streuungen in der Bedingung „während Okklusion“ in Situation 2b und Situation 3 deutlich erhöht sind. In Situation 3 beruht die Streuung ausschließlich auf VP09, die in dieser Situation keine einzige Änderung bemerkt. Alle anderen Probanden bemerken mindestens 75% der Änderungen. In Situation 2b ist das Bild deutlich heterogener. Zur Verdeutlichung zeigt Abbildung 7-25 rechts für Situation 2b und Situation 3 in der Bedingung „während Okklusion“ noch einmal Mittelwert und Standardabweichung, diesmal aber zusätzlich mit den Originaldaten.

Da in der Bedingung „Änderung während Straßensicht“ so gut wie alle Änderungen bemerkt werden, wird für die weiterführende Analyse der Entdeckungswahrscheinlichkeit nur die Bedingung „Änderung während Okklusion“ berücksichtigt. Als zweiter Faktor der Fahrsituation nimmt die Entfernung der Objekte zur Kreuzung keinen Einfluss auf die Entdeckungsleistung (vgl. Abbildung 7-26 oben rechts). Abbildung 7-26 oben rechts zeigt außerdem, dass die Entfernung unabhängig von der Ausgangssituation keinen Einfluss auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit nimmt (Haupteffekt Entfernung:  $F(1,5) = 1.07$ ,  $p = 0.348$ ; Wechselwirkung Entfernung \* Situation:  $F(3,15) = 0.17$ ,  $p = 0.917$ ).

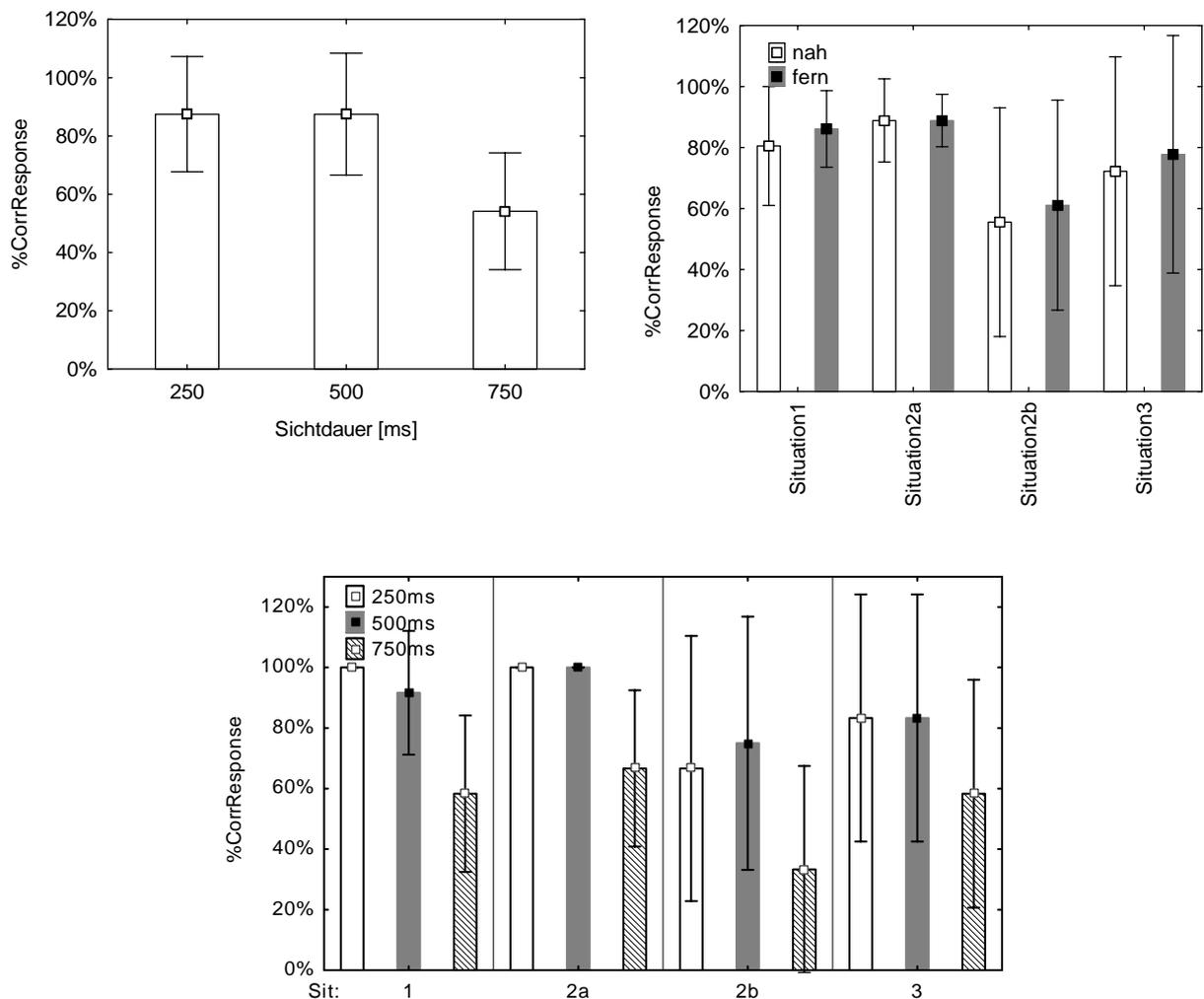


Abbildung 7-26: Einfluss von Sichtdauer (oben links), Sichtdauer und Ausgangssituation (unten) sowie Ausgangssituation und Entfernung (oben rechts) auf die Entdeckungsrate. Ergebnisse beruhen nur auf der Bedingung „Änderung während Okklusion“.

Darüber hinaus ergibt sich ein signifikanter Einfluss der Dauer der Straßensicht auf die Entdeckungsleistung (vgl. Abbildung 7-26 oben links,  $F(2,10) = 13.69$ ,  $p = 0.001$ ). Entgegen aller Erwartungen werden Änderung bei Sichtdauern von 750 ms signifikant schlechter entdeckt als bei 250 ms ( $p = 0.004$ ) und bei 500 ms ( $p = 0.004$ ). Aufgrund teilweise fehlender Varianz in Situation 1 und Situation 2a lässt sich die Wechselwirkung Sichtdauer \* Situation nicht statistisch analysieren. Grafisch scheint die Verringerung der Entdeckungsleistung bei 750 ms unabhängig von der Situation. Dieses Ergebnis ist vollkommen unerwartet und passt nicht zu der Annahme, dass die Wahrnehmungsleistung bei längeren Sichtdauern besser sein sollte als bei kurzen Straßensichten.

#### 7.6.5.4 Reaktionszeiten

Für die Reaktionszeiten beruht der signifikante Haupteffekt Situation ( $F(3,30) = 4.63$ ,  $p = 0.009$ ) darauf, dass auf das Verschwinden irrelevanter Fahrzeuge in Situation 2b (rel - irrel) langsamer reagiert wird als in Situation 3 (irrel - irrel) sowie tendenziell langsamer als in Situation 2a (rel - irrel). Außerdem wird in Situation 3 (irrel - irrel) tendenziell schneller reagiert als in Situation 1 (rel - rel). Weiterhin gibt es einen signifikanten Haupteffekt Entfernung ( $F(1,11) = 6.15$ ,  $p = 0.031$ ): Verschwinden Fahrzeuge, die sich nahe an der Kreuzung befinden, wird schneller reagiert als bei weiter entfernten Fahrzeugen. Damit zeigt sich, dass in Situation 2, in der sich ein relevantes und ein irrelevantes Fahrzeug der Kreuzung annähern, überwiegend auf das relevante Fahrzeug fokussiert wird: verschwindet dieses (Situation 2a), wird die Änderung häufiger und schneller entdeckt als wenn das irrelevante Fahrzeug verschwindet (Situation 2b). In Situation 1, in der sich zwei relevante Fahrzeuge der Kreuzung annähern, werden die Änderungen ebenfalls gut entdeckt. Da die Aufmerksamkeit aber auf zwei Objekte verteilt werden muss, wird im Mittel langsamer reagiert.

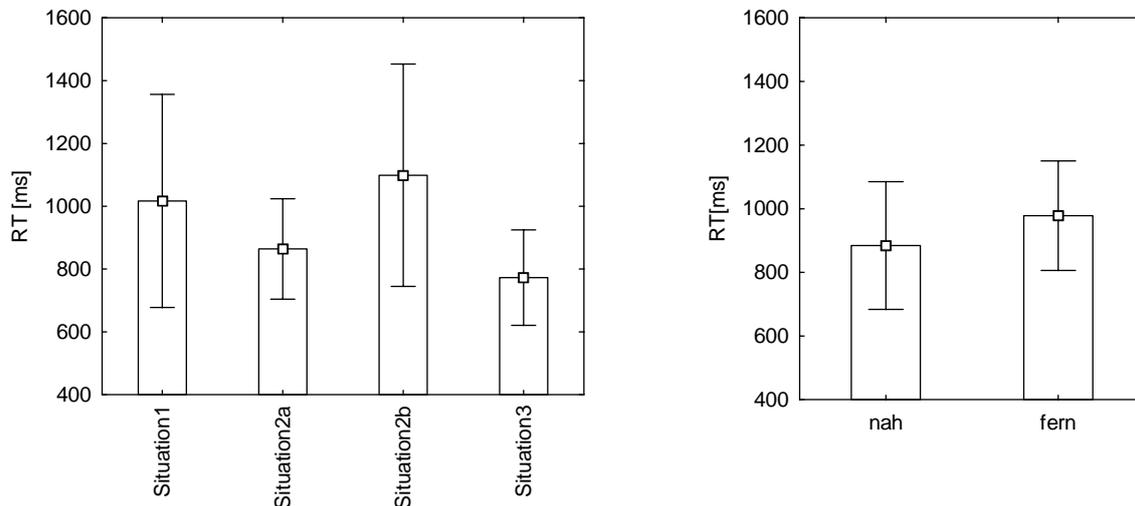


Abbildung 7-27: Einfluss der Fahrsituation (links) und der Entfernung (rechts) auf die Reaktionszeit.

Abbildung 7-28 rechts zeigt die Wechselwirkung zwischen Situation und Entfernung. Obwohl die Wechselwirkung nicht signifikant wird ( $F(3,27)=1.97$ ,  $p=0.142$ ), ist grafisch der stärkste Einfluss der Entfernung in Situation 1 (rel - rel) zu erkennen. Berücksichtigt man zusätzlich zur Fahrsituation die Faktoren „Entfernung zum Zeitpunkt der Änderung“ und die Versuchsbedingung Straßensicht vs. Okklusion ergibt sich eine signifikante Wechselwirkung Situation \* Bedingung (vgl. Abbildung 7-28 links,  $F(3,27) = 2.98$ ,  $p = 0.049$ ). Diese beruht darauf, dass auf das Verschwinden relevanter Objekte in Situation 1 schneller reagiert werden kann, wenn die Änderung während der Straßensicht stattfindet. Beim Verschwinden irrelevanter Objekte hat die Bedingung keinen Einfluss auf die Reaktionszeit.

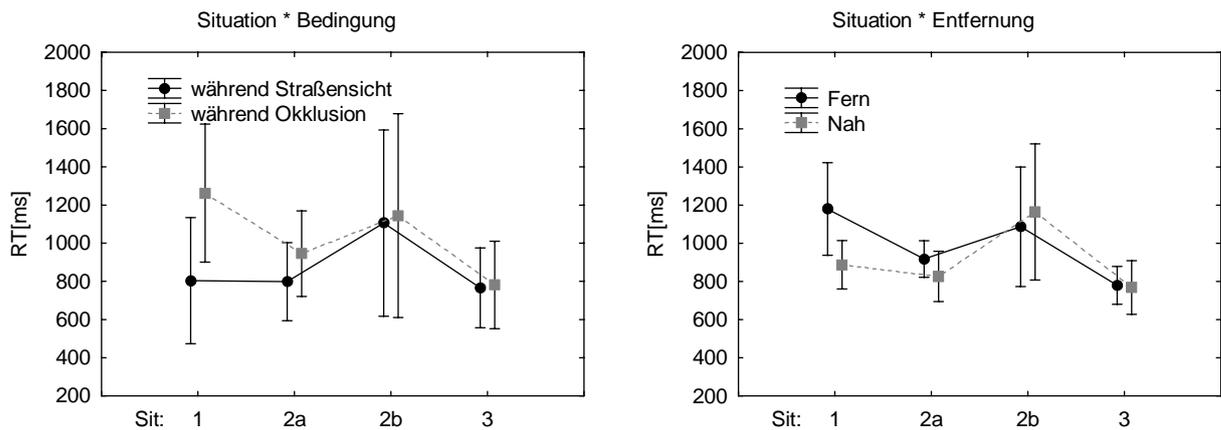


Abbildung 7-28: Darstellung der Wechselwirkungen Situation \* Bedingung (links) und Situation \* Entfernung (rechts). Gezeigt werden Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall.

Als Faktoren des Blickmusters sind die Dauer der Straßensicht und die Versuchsbedingung (während Straßensicht vs. während Okklusion) variiert. Es ergeben sich ein signifikanter Haupteffekt „Dauer der Straßensicht“ ( $F(2,22) = 9.37, p = 0.001$ ) und eine signifikante Wechselwirkung „Dauer der Straßensicht“ \* Bedingung (vgl. Abbildung 7-29 rechts,  $F(2,20) = 22.62, p < 0.001$ ). Abbildung 7-29 verdeutlicht, dass der Haupteffekt „Dauer der Straßensicht“ nur auf der Bedingung während Okklusion beruht. Hier kommt es zu einer Abnahme der Reaktionszeiten mit steigenden Dauern der Straßensicht (von 1360 ms bei 250 ms über 950 ms bei einer Sichtdauer von 500 ms auf 510 ms bei einer Sichtdauer von 750 ms). Im Gegensatz dazu bewegen sich in der Bedingung „während Straßensicht“ die Reaktionszeiten bei allen Dauern zwischen 820 ms und 910 ms.

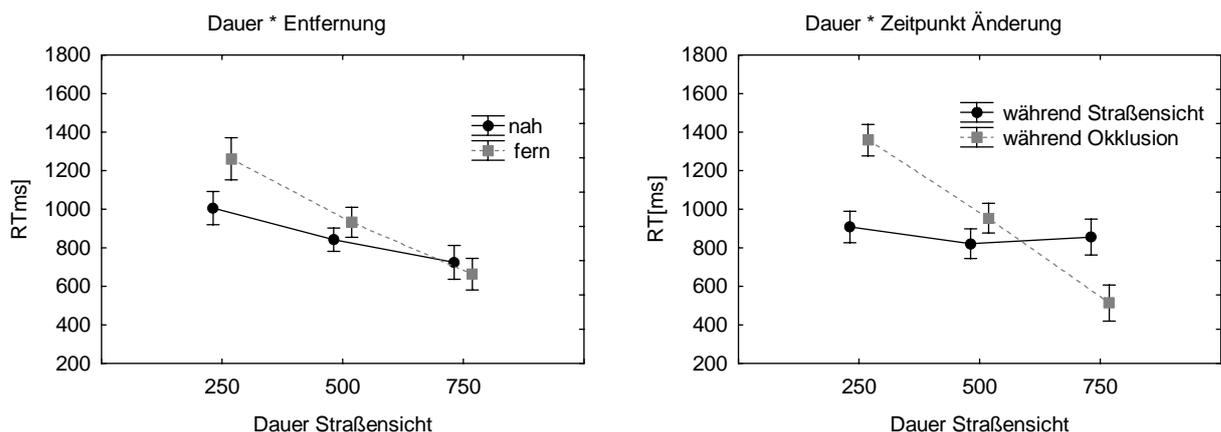


Abbildung 7-29: Darstellung der Wechselwirkungen Dauer Straßensicht \* Entfernung (links) und Dauer Straßensicht \* Bedingung (rechts). Gezeigt werden Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall.

Berücksichtigt man den Faktor Entfernung zu Kreuzung ergibt sich eine signifikante Wechselwirkung Entfernung \* „Dauer der Straßensicht“ (vgl. Abbildung 7-29 links,  $F(2,22) = 3.87, p = 0.036$ ). Bei kurzen Dauern der Straßensicht von 250 ms werden

Änderungen an entfernten Objekten schlechter entdeckt als an nahen, bei längeren Sichtdauern hat die Entfernung keinen Einfluss (Unterschied nah-fern bei 250 ms:  $p = 0.115$ , bei 500 ms  $p = 0.934$ , bei 750 ms  $p = 0.988$ ).

### 7.6.6 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Insgesamt ist in Studie 4 die Entdeckungsrate deutlich höher als in Studie 3. Dies beruht vermutlich darauf, dass die Aufgabe insgesamt weniger schwierig ist. Hierzu tragen die verlängerten Dauern der Straßensicht als auch die Tatsache bei, dass nur das Verschwinden von Fahrzeugen untersucht wird. Die Fahrer wissen, dass es sich bei den Änderungen immer um das Verschwinden von Objekten handelt. Dieses Wissen vereinfacht es vermutlich erheblich, die Änderungen zu entdecken. Auch die subjektive Einschätzung der Fahrer deutet darauf hin, dass in Studie 4 das Entdecken von Veränderungen einfacher ist als es in Studie 3 der Fall war.

Dennoch lässt sich auch in Studie 4 die Fokussierung auf relevante Situationsbestandteile zeigen.

- In Situation 2, in der eines der beiden Fahrzeuge relevant, das andere irrelevant ist, werden Änderungen des relevanten Fahrzeugs (Situation2a) häufiger und schneller entdeckt als Änderungen an irrelevanten Fahrzeugen (Situation2b).
- Änderungen in Situation 1, in der beide Fahrzeuge sich der Kreuzung annähern und deswegen relevant sind, werden genauso häufig entdeckt wie Änderungen an relevanten Objekten in Situation 2a. Da die Aufmerksamkeit in dieser Situation auf zwei sich gleichzeitig annähernde Fahrzeuge verteilt werden muss, sind die Reaktionszeiten im Vergleich zu Situation 2a erhöht.
- Die Entfernung der Fahrzeuge zur Kreuzung nimmt Einfluss auf die Reaktionszeit. Näher an der Kreuzung befindliche Fahrzeuge stehen stärker im Fokus der Aufmerksamkeit. Das Verschwinden wird hier schneller bemerkt als bei weiter entfernten Fahrzeugen. Grafisch erscheint der Einfluss der Entfernung in Situation 1 am stärksten ausgeprägt, die dazugehörige Wechselwirkung wird allerdings nicht signifikant. Außerdem zeigt sich, dass die Fokussierung auf näher an der Kreuzung befindliche Objekte mit steigender Sichtdauer abnimmt.
- In Situation 3 sind die Fahrzeuge auf beiden Seiten der Kreuzung für den Fahrer irrelevant. Für diese Situation lassen sich am schlechtesten Vorhersagen treffen, da sich aus den Anforderungen der Fahraufgabe keine Erwartung für die Ausrichtung der Aufmerksamkeit ergeben. In Situation 3 werden Änderungen genauso schnell entdeckt wie Änderungen an relevanten Objekten in Situation 2. Dies spricht dafür, dass die Fahrer die in Situation 3 für die Fahraufgabe nicht benötigte Aufmerksamkeit anderweitig nutzen und auf das Entdecken von Änderungen verwenden. Aus diesem Grund können in dieser Situation Änderungen von irrelevanten Objekten schnell entdeckt werden.

Zusammengefasst fokussieren die Fahrer ihre Aufmerksamkeit auf relevante Situationsbestandteile. Enthält die Situation mehrere relevante Objekte (Situation 1), scheint es zumindest grafisch, dass näher an der Kreuzung befindliche Objekte stärker im Fokus der Aufmerksamkeit stehen. Insgesamt gilt, dass die Entdeckungs-

wahrscheinlichkeit für Änderungen unabhängig von der Entfernung der Objekte ist, nur die Entdeckungsgeschwindigkeit wird von ihr beeinflusst.

Situation 3 zeigt, dass die Ergebnisse der Change Blindness Anordnung nicht nur von der Bedeutung der Objekte in der Fahrsituation abhängen. In der verwendeten Untersuchungsanordnung ist das Achten auf Änderungen expliziter Bestandteil der Instruktion und wird dadurch zu einer instruierten Aufgabe, die die Probanden lösen sollen. Es ist zu vermuten, dass Aufmerksamkeit, die nicht zur Bewältigung der Fahr- bzw. der Nebenaufgabe benötigt wird, von den Fahrern auf die Bearbeitung der Entdeckungsaufgabe verwendet wird. Der Vergleich von Situation 3 zu Situation 2b spiegelt wieder, wie viel Aufmerksamkeit die Probanden in den verschiedenen Fahrsituationen für die Suche nach Änderungen zur Verfügung haben. In Situation 3 stellt die Fahraufgabe im Vergleich zu den anderen Situationen geringere Anforderungen an den Fahrer. Da sich beide querenden Fahrzeuge von der Kreuzung wegbewegen, weiß der Fahrer, dass er die Kreuzung ohne anzuhalten überfahren kann. Er kann deswegen mehr Aufmerksamkeit auf das Entdecken von Änderungen verwenden als dies in Situationen, in denen er auf den Verkehr achten muss, der Fall ist. In der Folge führt dies zu schnelleren Reaktionszeiten für das Verschwinden irrelevanter Objekte.

Beim Blickmuster werden die Faktoren Dauer der Straßensicht und Zeitpunkt der Änderung manipuliert. Anders als in Studie 3 werden Änderungen während der Straßensicht besser und schneller entdeckt als während der Okklusion. Die Reaktionszeiten in der Bedingung „während der Straßensicht“ sind unabhängig von der Dauer der Straßensicht. In der Okklusionsbedingung nehmen die Reaktionszeiten erwartungsgemäß mit steigender Dauer der Straßensicht ab. Entgegen aller Erwartungen ist in der Bedingung „während Okklusion“ die Entdeckungswahrscheinlichkeit bei der höchsten Straßensichtdauer von 750 ms signifikant verringert.

In der Situation des frontal entgegenkommenden Fahrzeugs zeigt sich ähnlich wie in Studie 3 die Bedeutung des mentalen Modells der Kreuzungssituation. Begegnen die Probanden der Situation des sich frontal auf der eigenen Spur nähernden LKWs zum ersten Mal, wird später ausgewichen als dies bei wiederholtem Erleben der Situation der Fall ist. Der sprunghafte Anstieg der minimalen Entfernung zum Entgegenkommenden zwischen dem ersten und dem zweiten Auftreten der Situation zeigt, dass die Möglichkeit eines so ungewöhnlichen Verhaltens des entgegenkommenden LKWs schon nach einmaligem Erleben in das Situationsmodell integriert wird. In den folgenden fünf Wiederholungen der Situation „frontales Fahrzeug“ können die Fahrer frühzeitig die Gefahr wahrnehmen und angemessen reagieren. Die Kollisionswahrscheinlichkeit ist auch in der ersten Situation „frontales Fahrzeug“ deutlich geringer als in Studie 3 (25% vs. 62.5%). Ob dieser Unterschied wie vermutet auf der insgesamt verringerten Aufgabenschwierigkeit in Studie 4 beruht, kann an dieser Stelle nicht entschieden werden.

## 7.7 Fazit der Change Blindness Untersuchungen

Ziel von Studie 3 und Studie 4 ist, die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf fahrrelevante Situationsbestandteile während der Beschäftigung mit visuellen Nebenaufgaben nachzuweisen. Hierfür werden in einer neuen Untersuchungsanordnung die bekannte Methodik aus Change Blindness Untersuchungen mit der Okklusions-

methode kombiniert. Über eine experimentell vorgegebenen Wechsel aus Straßensicht und Okklusion mit gleichzeitig eingeblendeter Nebenaufgabe wird das Blickmuster beim Bearbeiten visueller Nebenaufgaben simuliert. Gleichzeitig wird die Leistung beim Entdecken definierter Änderungen als Parameter für die Ausrichtung der Aufmerksamkeit herangezogen.

In beiden Studien zeigt sich die erwartete Fokussierung der Aufmerksamkeit auf für die Fahraufgabe relevante Situationsbestandteile. Änderungen an relevanten Objekten (d.h. Fahrzeugen die sich auf die Kreuzung zu bewegen) werden häufiger und schneller entdeckt als Änderungen an irrelevanten Objekten. Vorteil der verwendeten Kreuzungssituation ist es, dass sich relevante und irrelevante Objekte nur in ihre Bedeutung für den Fahrer, nicht aber in Aussehen, Größe etc. unterscheiden. Für in der Situation enthaltene Objekte zeigt sich, dass in der Kreuzungssituation die Aufmerksamkeit auf relevante Fahrzeuge gerichtet wird. Relevant sind Fahrzeuge immer dann, wenn sie sich gleichzeitig mit dem Fahrer der Kreuzung annähern und ihnen deswegen potentiell Vorfahrt gewährt werden muss. Studie 3 ergibt, dass auch das Auftauchen relevanter Objekte in der Nähe der Kreuzung bemerkt wird. Dies deutet darauf hin, dass während der Nebenaufgabe nicht nur bereits in der Situation befindliche Objekte überwacht werden, sondern das zusätzlich in einem bestimmten Ausschnitt der Szene auf fahrrelevante Entwicklungen geachtet wird. Einen weiteren Hinweis auf eine Fokussierung auf einen Bereich nahe dem potentiellen Konfliktbereich (d.h. der Kreuzung) liefert der Einfluss der Entfernung zur Kreuzung auf die Reaktionszeit in Studie 4. Wie groß dieser relevante Bereich ist und welchen Einfluss Eigenschaften der geänderten Objekte nehmen, muss in weiteren Studien genauer untersucht werden.

Insbesondere Studie 3 macht außerdem deutlich, dass viele potentielle Einflussfaktoren berücksichtigt und kontrolliert werden müssen, bevor man die gefundenen Effekte sicher auf die Relevanz der Objekte für die Fahraufgabe zurückführen und andere Reizeigenschaften als Ursache ausschließen kann. In der verwendeten Kreuzungssituation sind dies beispielsweise die Entfernung der Objekte zur Kreuzung zum Zeitpunkt der Änderung sowie die Größe und Art der Änderung.

Aufgrund der expliziten Instruktion, auf bekannte Änderungen zu achten, können die Ergebnisse der Change Blindness Anordnung nicht nur die Relevanz der verschiedenen geänderten Objekte für die Fahraufgabe abbilden, sondern auch die Menge der für diese Entdeckungsaufgabe verfügbaren Aufmerksamkeit widerspiegeln. In Situation 3 aus Studie 4 können Änderungen an irrelevanten Objekten schnell entdeckt werden, da in dieser Situation die Anforderungen in der Fahraufgabe geringer sind als in allen anderen Situationen. Da sich kein Fahrzeug der Kreuzung annähert, kann diese für den Fahrer klar erkenntlich ohne anzuhalten überfahren werden. Die in der Fahraufgabe nicht benötigte Aufmerksamkeit kann von den Fahrern auf die Entdeckung von Änderungen verwendet werden. Diese Möglichkeit wird in Studie 4 von 11 von 12 Fahrern genutzt. Einzig VP09 wendet ganz offensichtlich die Strategie der Aufmerksamkeitsverschiebung nicht an. Konform mit der Relevanzhypothese entdeckt dieser Proband in Situation 3 kein einziges Mal ein Verschwinden eines irrelevanten Fahrzeugs. Dies bedeutet, dass Change Blindness zwei unterschiedliche aufmerksamkeitsbezogene Größen abbilden kann:

- In vergleichbar beanspruchenden Fahrsituationen kann Change Blindness als Maß für die Relevanz verschiedener, von den Änderungen betroffener Objekte für die Fahraufgabe verwendet werden. Dieser Befund zeigt sich am deutlichsten in Situation 2 aus Studie 4. In dieser Situation werden bei identischer Ausgangssituation Änderungen an relevanten Objekten (Variante 2a) besser und schneller entdeckt als Änderungen an irrelevanten Objekten (Variante 2b).
- Für Objekte mit ähnlicher fahrbezogener Relevanz kann Change Blindness in unterschiedlich beanspruchenden Fahrsituationen als Maß für die Beanspruchung durch die Fahrsituation herangezogen werden. Je weniger Aufmerksamkeit die Fahraufgabe benötigt, desto besser können Änderungen entdeckt werden. Dies sieht man beispielsweise an dem direkten Vergleich von Situation 3 und Situation 2b aus Studie 4. In Situation 2b muss der Fahrer seine Aufmerksamkeit auf die Beobachtung eines relevanten, sich der Kreuzung annähernden Fahrzeugs verwenden. Das Verschwinden irrelevanter Objekte wird seltener und langsamer bemerkt als in Situation 3, in der keine relevanten Fahrzeuge beachtet werden müssen und in der die Kreuzung ohne Anzuhalten überfahren werden kann. In dieser Verwendung ähnelt das Maß dem Peripheral Detection Test.

Die Ergebnisse zum Einfluss des Blickmusters lassen keine eindeutigen Aussagen zu. In Studie 3 führt das Auftreten der Änderungen während der Straßensicht nur bei kleinen Änderungen an relevanten Objekten zu einer besseren Entdeckungsrate. Änderungen an irrelevanten Objekten werden dagegen auch wenn sie während der Straßensicht stattfinden kaum bemerkt. Anders in Studie 4: hier werden Änderungen während der Straßensicht so gut wie immer bemerkt, wobei allerdings die Entdeckungsrate auch in der Okklusionsbedingung im Vergleich zu Studie 3 deutlich erhöht ist. Damit spricht Studie 3 gegen, Studie 4 für eine reizbasierte bottom-up Ausrichtung der Aufmerksamkeit während der Doppelaufgabensituation. In wieweit die Unterschiede mit der insgesamt geringeren Aufgabenschwierigkeit in Studie 4 oder mit den verlängerten Straßensichten zusammenhängen, kann anhand der beiden vorliegenden Studien nicht beurteilt werden.

Auch der Einfluss der Dauer der Straßensicht ist nicht eindeutig. In Studie 3 ergibt sich eine etwas schlechtere Leistung für extrem kurze Sichtdauern von 150 ms, die beiden anderen Sichtdauern unterscheiden sich dagegen nicht. In Studie 4 nimmt erwartungsgemäß die Reaktionszeit mit steigender Sichtdauer ab; Die Entdeckungsrate ist allerdings entgegen aller Prognosen bei 750 ms signifikant verschlechtert. Dies gilt nur für die Bedingung, in der die Änderungen während der Okklusion stattfinden. Dies kann ein Hinweis darauf sein, dass es bei Sichtdauern zwischen 500 ms und 750 ms zu einer Änderung der beteiligten Aufmerksamkeitsprozesse kommt. Eine Möglichkeit ist, dass die überwiegend top-down gesteuerte Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf relevante Situationsobjekte endet, und die Ausrichtung der Aufmerksamkeit sich wieder der bei nicht abgelenktem Fahren annähert. Im Rahmen des aufgestellten Modells bedeutet dies, dass bei 750 ms zusätzlich zur top-down gesteuerten Aufmerksamkeit wieder verstärkt explorative Wahrnehmung stattfindet.

Unter dieser Annahme stellt sich nun allerdings die Frage, ob die implementierten Änderungen bei nicht abgelenktem Fahren überhaupt geeignet sind, reizbasiert über bottom-up Aktivierung die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Wie in Abschnitt 4.2

dargestellt, belegen Untersuchungen zu Change Blindness in statischen Szenen, dass bei unmaskierten Änderungen in der Regel eine automatische Bindung der Aufmerksamkeit über bottom-up Aktivierung entsteht. In wieweit dies auch für dynamische Situationen mit Eigenbewegung und bewegten Objekten gilt, ist unklar. Nur selten werden in Anordnungen aus der Grundlagenforschung dynamische Szenen mit bewegten Objekten verwendet. Stattdessen ist die visuelle Szene häufig reduziert und die verwendeten Reize unterscheiden sich in einzelnen, klar definierten Eigenschaften (als Beispiel siehe die in 0 dargestellte Untersuchung von Joseph et al., 1997). Es ist deswegen schwierig zu beurteilen, welche Reizeigenschaften bzw. Änderungen in einer angereicherten dynamischen Umwelt geeignet sind, über bottom-up Prozesse zu einer automatischen Aktivierung der Aufmerksamkeit zu führen. Auch die bereits vorgestellten Ergebnisse von Velichkovsky, Dornhoefer et al. (2002) weisen darauf hin, dass die Befunde der Grundlagenforschung zu bottom-up Prozessen nicht ohne weiteres auf das Fahren bzw. die Fahrsimulation übertragen werden können. In einer Studie zu Change Blindness in der Fahrsimulation fanden die Autoren schlechtere Entdeckungsleistungen bei unmaskierten im Gegensatz zu maskierten Änderungen.

In zukünftigen Untersuchungen sollte deswegen auf jeden Fall eine Kontrollbedingung eingeführt werden, die prüft, ob die implementierten Änderungen beim Fahren ohne Ablenkung die Aufmerksamkeit über bottom-up Prozesse binden können. Ist dies der Fall, sollten ohne Maskierung Änderungen an irrelevanten Objekten genauso gut bemerkt werden wie Änderungen an relevanten Objekten. Maskierte Änderungen sollten dagegen insgesamt schlechter bemerkt werden und hier sollte es außerdem einen Einfluss der Objektrelevanz auf Entdeckungshäufigkeit bzw. Entdeckungsgeschwindigkeit geben.

## 8 DISKUSSION

### 8.1 Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben

Wie einleitend dargestellt, benötigt man um die Auswirkung visueller Ablenkung auf die fahrbezogenen Aufmerksamkeit zu verstehen, ein Modell davon, wie während nicht abgelenkten Fahren die Aufmerksamkeit gesteuert wird. Aus Modellen der Aufmerksamkeitsforschung wurde in Abschnitt 5 die Idee abgeleitet, dass drei Komponenten an der Steuerung der Aufmerksamkeit beim Fahren beteiligt sind.

- Über top-down Prozesse wird die Aufmerksamkeit auf die Bestandteile der Umwelt gelenkt, die für den Handlungserfolg zentral sind. Ein mentales Abbild der Situation lenkt die Aufmerksamkeit auf die Situationsbestandteile, die für die Fahraufgabe besonders relevant sind. Diese top-down gesteuerte Wahrnehmung dient direkt zur Steuerung der Handlung.
- Zusätzlich zu dieser stark fokussierten, aufgabenbezogenen top-down Steuerung existiert explorative Wahrnehmung. Diese ermöglicht ein breiteres, über die aktuelle Handlungssteuerung hinausreichendes Verständnis der Situation. Dadurch wird die Wahrnehmung weiterer, potentiell aufgabenrelevanter Situationsbestandteile ermöglicht. Diese Situationsbestandteile sind zwar für die Kontrolle der Handlung in der aktuellen Fahrsituation nicht direkt notwendig, können aber potentiell für das Fahren relevant werden.
- Als letzte Komponente gibt es die Möglichkeit einer reizbasierten bottom-up gesteuerten Ausrichtung der Aufmerksamkeit. Diese erlaubt die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf saliente Reize unabhängig von der aktuellen Handlung und dem mentalen Abbild der Situation.

Ein Zusammenwirken aller drei Komponenten ermöglicht sicheres Fahren. Es ist zu berücksichtigen, dass die Bedeutung und das Zusammenspiel der drei Komponenten im Rahmen dieser Arbeit nur für die Situation des abgelenkten Fahrens untersucht wurden. Es wird angenommen, dass sich beim Fahren mit visuellen Nebenaufgaben der Beitrag der verschiedenen Komponenten zur Wahrnehmung der Fahrsituation ändert.

#### 8.1.1 Einfluss von top-down Prozessen

Die Ausrichtung der Aufmerksamkeit während visueller Nebenaufgaben beim Fahren ist ein überwiegend top-down gesteuerter Prozess. Studie 1 und Studie 2 erbringen Hinweise auf verschiedene Phasen, die für diese top-down Steuerung der Aufmerksamkeit von Bedeutung sind. Es lassen sich hier insgesamt drei Phasen unterscheiden. (Zusammengefasst ähneln diese den Phasen Decision und Control im PDC-Modell des Situationsbewusstseins von Rauch (2009).)

- **Bewertungsphase:** Vor Beginn der Nebenaufgabe bewertet der Fahrer die aktuelle Fahrsituation. Er entwickelt ein Situationsmodell, das neben der aktuellen Situation auch eine Antizipationen der zukünftigen Entwicklung enthält.

- Entscheidungsphase: Auf Grundlage des Situationsmodells wird einerseits über den Beginn der Nebenaufgabe (näher dargestellt in den Veröffentlichungen zu Situationsbewusstsein vgl. Rauch et al., 2008 und Rauch, 2009) aber auch über die Aufteilung und Ausrichtung der Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabe entschieden.
- Kontrollphase: Während der Nebenaufgabenbearbeitung werden wiederholt die als relevant identifizierten Bestandteile der Fahrszene kontrolliert. So wird die tatsächliche mit der antizipierten Situationsentwicklung verglichen. Ausrichtung und Anteil der auf die Fahraufgabe verwendeten Aufmerksamkeit stehen in Zusammenhang mit den Anforderungen der Fahrsituation und beruhen auf dem in der Bewertungsphase entwickelten Situationsmodell.

Durch die beschriebenen Prozesse entsteht ein flexibler Mechanismus, der eine situationsangepasste, top-down gesteuerte Verteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe ermöglicht. Die Blickbewegungsanalysen in Studie 1 und Studie 2 finden Belege für eine tiefere visuelle Verarbeitung der Fahrszene direkt vor Beginn der Nebenaufgaben. Dies wird als Hinweis dafür gewertet, dass die Fahrer in der Bewertungsphase die Fahrsituation detailliert verarbeitet und ein Situationsmodell entwickeln. Dieses ist die Grundlage der top-down gesteuerten Ausrichtung der Aufmerksamkeit während der Kontrollphase. Während der Nebenaufgabenbearbeitung stehen Häufigkeit, Dauer und Ausrichtung der fahrbezogenen Blicke in Zusammenhang mit den Anforderungen der Fahrsituation. Sowohl die Ergebnisse der Blickbewegungsanalyse als auch der Change Blindness Anordnung finden Hinweise für die Annahme, dass während der Nebenaufgabe nur ein Ausschnitt der Fahrszene überwacht wird. Dieser beinhaltet relevante Bereiche und / oder relevante Objekte der Szene. Irrelevante Bestandteile werden dagegen vernachlässigt und nicht weiter wahrgenommen. Liegt beispielsweise in Kurven die zentrale Anforderung in der Fahrzeugstabilisierung, fokussieren die Fahrer auf den weiteren Spurverlauf und nutzen die Straßenblicke zur Korrektur der Spur. Ist dagegen wichtig, das Verhalten eines anderen Verkehrsteilnehmers, beispielsweise des Ausparkers, zu kontrollieren, wird dieser über die Straßenblicke beobachtet. Auch Studie 3 und Studie 4 verdeutlichen, dass irrelevante Situationselemente kaum beachtet werden. Sogar große Änderungen, wie das Verschwinden von Objekten, werden teilweise für irrelevante Elemente der Situation nicht bemerkt. Diese beiden Studien ergeben außerdem, dass die Unterteilung in relevante und irrelevante Szenenbestandteile nicht aufgrund einfacher Reizeigenschaften wie bewegt / unbewegt oder zentral / peripher entsteht. Es wird vielmehr die Bedeutung der Objekte für die Fahrhandlung innerhalb einer komplexen, dynamischen Szene bewertet.

Welche Aspekte der Fahrsituation als besonders relevant bewertet werden und deswegen während visueller Nebenaufgaben im Fokus der Aufmerksamkeit stehen, ist bisher so gut wie nicht untersucht. Wissen darüber wäre allerdings hilfreich, um vorhersagen zu können, unter welchen situativen Umständen eine kritische Einschränkung der Verkehrssicherheit durch Ablenkung zu erwarten ist. Studie 3 und Studie 4 legen zumindest für die hier verwendete Kreuzungssituation nahe, dass es sich bei dem kontrollierten Ausschnitt um keine einfache Teilmenge der Situation handelt. Vielmehr deutet sich für die untersuchte Situation eine Kombination aus einer Bereichs- und einer Objektüberwachung an.

### 8.1.2 Einfluss explorativer Wahrnehmung

Der beschriebene top-down gesteuerte Mechanismus ist solange erfolgreich, solange das Situationsmodell alle relevanten Situationselemente enthält. Da die explorative Wahrnehmung wegfällt, kann nur schlecht auf unerwartete, und deswegen nicht top-down kontrollierte Situationsänderungen reagiert werden. Anhand der Kollisionsanalyse in den ersten beiden Studien wird deutlich, dass ein fehlerhaftes Situationsmodell zu einer unangemessene Ausrichtung und Aufteilung der Aufmerksamkeit führen kann. Dies kann eine Erhöhung des Unfallrisikos zur Folge haben. Der Vergleich der Kollisionshäufigkeit in Studie 1 und 2 zeigt keinen Vorteil für die realistischere, vom Fahrer selbst gesteuerte und jederzeit unterbrechbare Nebenaufgabe. Bei beiden Nebenaufgaben erweisen sich die gleichen Situationen als besonders unfallträchtig. Im Vergleich zur Baselinebedingung kommt es in diesen Situationen bei Ablenkung zu einem erhöhten Anteil von Kollisionen. Unabhängig von der Gestaltung der Nebenaufgabe sind Situationen, in denen der Konflikt von peripheren oder verdeckten Objekten ausgeht besonders kritisch. Dieser Befund spricht dafür, dass die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf relevante Situationsbestandteile unabhängig von der Dauer der durchgeführten Straßenblicke ist. Längere bzw. häufigere Blicke werden nicht zu einer explorativen Wahrnehmung der Fahrszene genutzt.

Besonders gut verdeutlicht allerdings die Situation des frontal entgegenkommenden Fahrzeugs in den Change Blindness Untersuchungen die Bedeutung des Situationsmodells sowie die Auswirkung fehlender explorativer Wahrnehmung. Beim ersten Erleben kann in dieser Situation auf eine ungewöhnliche und deswegen im Situationsmodell nicht enthaltene Situationsentwicklung nicht oder nur sehr spät reagiert werden. Der sich den Probanden frontal annähernde LKW wird trotz seiner Bedeutung für die Fahrsicherheit nur schwer bemerkt. Wie der große Lerneffekt in den darauf folgenden Situationen verdeutlicht, beruht dies nicht darauf, dass der LKW schwer wahrnehmbar ist. Nach dem ersten Erleben des sich frontal nähernden LKWs integrieren die Fahrer die unwahrscheinliche Situationsentwicklung in ihr Situationsmodell. Sie können deswegen in den folgenden Situationen die Gefahr wahrnehmen, frühzeitig ausweichen und eine Kollision verhindern.

Durch die erwartungsgeleitete Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen Teilbereich der Fahrszene und durch den Wegfall explorativer Wahrnehmung sind die Fahrer nicht in der Lage, auf eine gefährliche aber unerwartete Situationsentwicklung angemessen zu reagieren. Die Aufmerksamkeit wird nur auf im Situationsmodell als handlungsrelevant identifizierte Situationsbestandteile fokussiert; andere Objekte werden dagegen kaum verarbeitet. Dies verhindert, dass nicht im Situationsmodell enthaltene, aber dennoch wichtige Situationsbestandteile wahrgenommen werden können. Eine Neubewertung der Situation bei unerwarteten Änderungen und darauf aufbauend eine rechtzeitige Anpassung des Fahrverhaltens an sich neu ergebende Situationsanforderungen ist nicht möglich.

### 8.1.3 Einfluss von bottom-up Prozessen

Ob und wie stark reizgesteuerte bottom-up Prozesse während visueller Nebenaufgaben zur Wahrnehmung der Fahrsituation beitragen, kann aus den vorliegenden Untersuchungen nicht endgültig entschieden werden. In der Literaturanalyse ergeben sich Hinweise, dass diese Form der Aufmerksamkeitssteuerung bei Mehrfachaufga-

ben zumindest eingeschränkt sein könnte. Studie 3 und Studie 4, in denen die Manipulation der Maskierung der Änderung darauf abzielte, die Bedeutung von bottom-up Prozessen näher zu untersuchen, bringen widersprüchliche Ergebnisse. In Studie 3 werden unmaskierte Änderungen genauso schlecht entdeckt wie maskierte. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass, entgegen der Erwartungen aus anderen Change Blindness Untersuchungen, saliente Änderungen in der untersuchten Doppelaufgabensituation nicht zur bottom-up Ausrichtung der Aufmerksamkeit führen. Im Gegensatz dazu werden in Studie 4 unmaskierte Änderungen besser entdeckt als maskierte. Dieses Ergebnis spricht für eine reizgetriggerte Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf saliente Umgebungsreize.

In der Zusammenschau der Befunde aus der Literatur sowie der Ergebnisse der beiden Change Blindness Untersuchungen wird allerdings eines klar: Bevor man bezogen auf visuelle Nebenaufgaben beim Fahren den Einfluss von bottom-up Prozessen näher untersucht, sollte man klären, welche Reize in der Fahrsituation überhaupt zu einer reizbasierten bottom-up Ausrichtung der Aufmerksamkeit führen können. Es deutet sich an, dass Reizeigenschaften, die in den abstrahierten, meist statischen Settings der Grundlagenforschung zu Pop-Out Effekten bzw. zu bottom-up Aktivierung führen, dies nicht unbedingt auch während dem Fahren tun. In Untersuchungen zu bottom-up Prozessen werden häufig reduzierte Reizkonfigurationen verwendet, in denen ein sich von dem experimentell verwendeten Hintergrund deutlich abhebender Reiz automatisch die Aufmerksamkeit bindet. Dies kann beispielsweise ein rotes unter lauter grünen Objekten oder ein bewegter Reiz vor einem statischen Hintergrund sein.

Beim Fahren bewegt sich nun der Fahrer durch eine angereicherte, farbige und bewegte Umwelt. Zu der Bewegung bestimmter umgebender Objekte kommt die Eigenbewegung des Fahrers. Diese führt dazu, dass auch eigentlich statische Situationsbestandteile ein bewegtes Abbild auf der Retina erzeugen. Ein Reiz bzw. eine Änderung muss sich vermutlich deutlich von diesem Hintergrund abheben, um aufgrund ihrer Eigenschaften die Aufmerksamkeit über bottom-up Prozesse binden zu können. In Bezug auf das Fahren mit Informationssystemen wird immer wieder angenommen, dass bei einer optimalen Positionierung von Displays im Fahrzeug die negative Auswirkung von Ablenkung aufgrund von bottom-up Prozessen reduziert werden kann (vgl. Wittmann et al., 2006). Diese Annahme setzt voraus, dass relevante Umgebungsreize, z.B. periphere bewegte Objekte, in der Lage sind, die Aufmerksamkeit automatisch an sich zu binden. Es ist allerdings fraglich, ob sich beim Fahren periphere Bewegungsreize so stark vom umgebenden Szenenhintergrund abheben, dass sie automatisch die Aufmerksamkeit auf sich ziehen können. Welche Reize bzw. Reizeigenschaften dies können, ist für die Fahraufgabe noch nicht ausreichend untersucht. Erst wenn Reize bzw. Änderungen identifiziert sind, die beim nicht abgelenkten Fahrer zu einer bottom-up Ausrichtung der Aufmerksamkeit führen, kann geprüft werden, welche Auswirkung visuelle Ablenkung auf die Wahrnehmung dieser Reize hat.

## 8.2 Bezug zu Modellen aus der Literatur

Wie in 8.1.1 dargestellt können drei, an der top-down Ausrichtung der Aufmerksamkeit während visueller Nebenaufgaben beim Fahren beteiligte Prozesse identifiziert

werden. Diese ermöglichen es dem Fahrer, während der Nebenaufgabenbearbeitung seine Aufmerksamkeit gezielt auf subjektiv relevante Bestandteile der Fahrsituation zu beschränken und für diese erwartete und tatsächliche Situationsentwicklung zu vergleichen. Dieses Verhalten entspricht weitgehend den Annahmen der Modelle von Neisser (1979) und Hoffmann (1993), die beide einen erwartungsgesteuerten, zyklischen Abgleich tatsächlicher und antizipierter Reizkonstellationen beschreiben. Im Gegensatz zu diesen beiden recht allgemein gehaltenen Modellen erlauben die Ergebnisse dieser Arbeit eine spezifischere Beschreibung der beteiligten Prozesse für das untersuchte Anwendungsgebiet.

Neben den beiden genannten zyklischen Aufmerksamkeitsmodellen kann man die Ergebnisse auch in Bezug zu Modellen der Verkehrspsychologie setzen. Hier ist insbesondere das in Abschnitt 3.4 dargestellte SEEV-Modell von Bedeutung. Dieses erklärt die Ausrichtung der Aufmerksamkeit während visueller Nebenaufgaben als eine Funktion von Erwartung, Wert, Salienz und Effort verschiedener visueller Teilaufgabe. Erwartung und Wert können als Parameter der top-down Steuerung angesehen werden. Die Salienz repräsentiert den Einfluss reizbasierter bottom-up Prozesse. Horrey et al. (2006) unterteilen nicht nur in Fahr- und Nebenaufgabe, sondern die Fahraufgabe zusätzlich in die Teilaufgaben Spurhaltung, Navigation und Gefahrenwahrnehmung. Diese Aufteilung der Fahraufgabe in drei Teilaufgaben ließ sich weder in den Untersuchungen der Autoren noch in den vorliegenden Experimenten bestätigen. Deswegen wird im Folgenden von zwei Teilaufgaben, der Fahr- und der Nebenaufgabe ausgegangen. In der Sprache des Modells ausgedrückt bedeuten die vorliegenden Ergebnisse, dass sich während der die Nebenaufgabe die Gewichtung der einzelnen Faktoren im Vergleich zum freien Fahren ändert. So verlieren beispielsweise bottom-up Prozessen, d.h. der Faktor Salienz während der Nebenaufgabenbearbeitung an Bedeutung. Stattdessen beruht nun die Ausrichtung der Aufmerksamkeit fast ausschließlich auf dem Einfluss der top-down Faktoren Erwartung und Wert. Die Anpassung der Aufmerksamkeitsverteilung an die Erfordernisse der Fahrsituation lässt sich im Rahmen des SEEV-Modells auf unterschiedliche Ausprägungen des Faktors Erwartung für die Fahraufgabe zurückführen. Je kritischer die Fahrsituation ist, desto höher wird die Erwartung, dass neue, relevante Informationen in der Fahraufgabe beobachtet werden können. Als Folge dessen wird mehr Aufmerksamkeit auf das Fahren und weniger auf die Nebenaufgabe verwendet. Damit erlaubt es das Modell, durch die Anpassung der Gewichtung der einzelnen Faktoren die Aufteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe zu beschreiben. Im Rahmen des SEEV-Modells kann allerdings nicht vorhergesagt werden, auf welche Bereiche der Fahrszene die Aufmerksamkeit gerichtet wird.

Keines der aus der Literatur bekannten Modelle bietet einen theoretischen Rahmen für die identifizierte Bewertungsphase. Diese ist notwendig, damit basierend auf den situativen Gegebenheiten eine Anpassung der Aufmerksamkeit während der Nebenaufgabe erfolgen kann. In der Bewertungsphase kommt es zu einer tiefer gehenden Verarbeitung der Fahrsituation. Relevante Situationsbestandteile werden identifiziert und eine Erwartung über die weitere Entwicklung der Situation ausgebildet. Das dabei entstehende Situationsmodell entscheidet in der Modellsprache des SEEV-Modells über die Gewichtung der einzelnen Faktoren während der Nebenaufgabenbearbeitung. Hauptgrund für die fehlende Berücksichtigung einer solchen Übergangsphase in den in Abschnitt 3.4 vorgestellten Modellen ist vermutlich darin zu suchen,

dass sich keines mit dem Wechsel zwischen zwei Aufgaben bzw. mit dem Wechsel zwischen Einfach- und Doppelaufgabenanforderung befasst. Alle Ansätze beschäftigen sich mit der Steuerung der Aufmerksamkeit in Situationen, in der stabil eine oder mehrere Tätigkeiten durchgeführt werden. Damit können sie Erklärungen für die Beobachtungen im freien Fahren bzw. während dem Fahren mit visuellen Nebenaufgaben liefern. Wie der Übergang zwischen den beiden Phasen aussieht, beschreiben sie nicht. Bezogen auf das SEEV-Modell lässt sich die Bewertungsphase als eine Phase beschreiben, in der der Fahrer die Anpassung der Gewichtungsfaktoren im Modell festlegt. Laut Wickens et al. (2001) sind diese Gewichtungen die kritischen Bestandteile des Modells, die letztendlich über die Aufteilung der Aufmerksamkeit in einer bestimmten Situation entscheiden.

### **8.3 Entwicklung einer neuen Untersuchungsmethode**

Ein Problem bei der Untersuchung von Aufmerksamkeitsprozessen während visueller Nebenaufgaben ist die Erfassung der Aufmerksamkeit. Häufig wird hierfür auf die Methode der Blickbewegungsmessung zurückgegriffen. Diese ist allerdings mit einigen Nachteilen verbunden. So ist aufwändige Technik nötig, die Versuchsvorbereitung und –auswertung ist in der Regel langwierig und komplex. Dazu kommt, dass Datenausfälle und –ungenauigkeiten die Auswertung zusätzlich erschweren. Insbesondere in Situationen, in denen alle fahrtrelevanten Reize räumlich nah beieinander auf bzw. nahe am weiteren Verlauf der eigenen Spur liegen, kann kaum unterschieden werden, welches Objekt bzw. welche Objekteigenschaften aufmerksam betrachtet werden. Ein letzter entscheidender Nachteil insbesondere bei der Bewertung nicht visueller Ablenkung ist, dass man nicht zwingend aus einer Fixation auf eine aufmerksame visuelle Verarbeitung des betrachteten Objekts schließen kann.

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Methode, die Okklusions- mit Change Blindness-Anordnungen kombiniert, erlaubt in der Fahrsimulation mit einfachen Parametern die Erfassung der Aufmerksamkeit in der Fahraufgabe. Durch die Okklusion ist eindeutig zu bestimmen, ob zu einem interessierenden Zeitpunkt die Aufmerksamkeit auf der Fahr- oder auf der Nebenaufgabe liegt. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit für bestimmte Änderungsarten wiederum gibt Auskunft darüber, ob der geänderte Aspekt im Fokus der Aufmerksamkeit steht und damit vom Fahrer als relevant für die Situation erachtet wird.

Studie 4 verdeutlicht, dass die gemessene Change Blindness je nach Kontext als Maß für unterschiedliche Konstrukte dienen kann. In vergleichbar beanspruchenden Situationen bildet sie für verschieden relevante Objekte deren Relevanz für die Fahraufgabe ab. In unterschiedlich beanspruchenden Situationen wiederum kann Change Blindness für irrelevante Änderungen – ähnlich wie der PDT – als Maß für die Beanspruchung durch die Fahr- bzw. Nebenaufgabe verwendet werden. Dies zeigt, wie wichtig eine sorgfältige Konstruktion der experimentell miteinander verglichenen Bedingungen ist, wenn man Aufmerksamkeitsprozesse mittels Change Blindness untersuchen möchte. Nur wenn die Ausgangssituationen vergleichbar beanspruchend sind, lässt das Ausmaß der Change Blindness sichere Rückschlüsse auf die Relevanz der geänderten Objekte für die untersuchte Aufgabe zu. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die verwendete Instruktion. In Studie 4 sind die Probanden in der Lage, ihre Aufmerksamkeit flexibel so zu verteilen, dass alle ihnen gestellten Aufgaben in

der Reihe ihrer instruierten Bedeutung möglichst gut gelöst werden. Wird die hoch priorisierte Fahraufgabe einfacher, kann mehr Aufmerksamkeit auf die am niedrigsten priorisierte Entdeckungsaufgabe verwendet werden. Es ist anzunehmen, dass bei einer Instruktion, die die verschiedenen Aufgaben anders priorisiert, die Aufmerksamkeit anders verteilt wird. Dies kann möglicherweise zu einem vollkommen anderen Muster von Entdeckungswahrscheinlichkeit und Reaktionszeit führen. Bei der Verwendung des in dieser Arbeit entwickelten experimentellen Ansatzes ist deswegen darauf zu achten, dass die eigentlich untersuchte Aufgabe immer am höchsten priorisiert wird und dass die verwendete Instruktion die Aufmerksamkeitsprozesse in dieser Aufgabe möglichst wenig beeinflusst. Dieser Punkt ist allerdings genauso bei der Verwendung des PDT zu berücksichtigen.

Durch Anpassungen in der Gestaltung der Okklusion, der untersuchten Fahrsituation und der verwendeten Änderungen ist eine weitgehende Analyse der Aufmerksamkeitsprozesse während visueller Nebenaufgaben beim Fahren möglich. Über eine systematische Anpassung der verwendeten Sichtdauern kann beispielsweise bestimmt werden, ab welchen Sichtdauern auch unerwartete Änderungen bemerkt werden. Aus der Untersuchung unterschiedlichster Änderungsarten wiederum lässt sich ableiten, welche Bestandteile der Szene im Arbeitsgedächtnis behalten und über die Straßenblicke kontrolliert werden. So kann man beispielsweise prüfen, ob nur die Anwesenheit eines anderen Fahrzeugs oder auch bestimmte Eigenschaften desselbigen repräsentiert sind. Es lässt sich auch untersuchen, ob aktuell nicht handlungsrelevante Verkehrsteilnehmer - wie beispielsweise Fußgänger am Straßenrand oder Fahrzeuge auf der Nebenspur - auch während Nebenaufgaben im Fokus der Aufmerksamkeit bleiben. Das Ausmaß der Change Blindness ist ein direkter Indikator dafür, welche Situationsbestandteile trotz Ablenkung noch überwacht werden und welche nicht mehr im Fokus der Aufmerksamkeit stehen.

Außer für die in dieser Arbeit eingesetzte Kreuzungssituation kann man die fahrbezogene Aufmerksamkeit für unterschiedlichste Fahrsituationen untersuchen. In Bezug auf Nebenaufgaben beim Fahren wären hier insbesondere Situationen von Interesse, in denen es häufig zu einer Beschäftigung mit Fahrirrelevantem kommt. Dies sind beispielsweise Situationen auf der Autobahn oder beim Folgefahren auf der Landstraße. Mittels der entwickelten Methode lässt sich gut untersuchen, welche Arten plötzlicher Situationsänderungen in den entsprechenden Situationen ein abgelenkter Fahrer noch wahrnehmen kann.

Durch Änderungen im Design ist auch eine Untersuchung von realen Nebenaufgaben möglich. Führt man eine vom Fahrer selbst gesteuerte Okklusion ein und lässt diesen damit selbst über den Zeitpunkt und die Dauer der Verdeckung entscheiden, können auch reale Fahrerinformationssysteme anstelle der künstlichen Nebenaufgabe in die Untersuchung eingebunden werden. Durch die selbstgesteuerte Okklusion lassen sich den Gestaltungsrichtlinien für Fahrerinformationssysteme entsprechende selbstgetakteten, vom Fahrer jederzeit unterbrechbaren Nebenaufgaben in das Design einbinden.

#### **8.4 Bedeutung für die Analyse von Verkehrsunfällen**

Die Beschäftigung mit visuellen Nebenaufgaben beim Fahren kann immer dann zu kritischen Verkehrssituationen führen, wenn eine fehlerhafte Situationseinschätzung

des Fahrers mit einer gefährlichen, nicht im Situationsmodell erwarteten Änderung der Fahrsituation zusammenfällt. Dass diese zwei Voraussetzungen gemeinsam auftreten müssen, erklärt, warum in der Regel trotz visueller Ablenkung die Fahrsicherheit problemlos aufrechterhalten werden kann.

Es ist anzunehmen, dass erfahrene Fahrer normalerweise ein relativ gutes Modell der aktuellen Fahrsituation haben und handlungsrelevante Situationsbestandteile identifizieren können (Wickens u. Horrey, 2008). Dazu kommt, dass schwer vorher-sagbare Situationsänderungen beispielsweise durch periphere Objekte eher seltene Ereignisse sind. In den meisten Situationen kann vermutlich auch mit einfachen Situationsmodellen (beispielsweise mit einer regelhaften Fokussierung auf den Abstand zum Vorausfahrenden beim Folgefahren und einer Fokussierung auf die Spurhaltung beim freien Fahren) die Fahrsicherheit aufrechterhalten werden. Erst wenn beide Voraussetzungen – ein zu einfaches bzw. fehlerhaftes Situationsmodell und eine unerwartete, gefährliche Situationsentwicklung - zusammentreffen, reicht die ausschließlich top-down gesteuerte Wahrnehmung nicht aus und es ist möglich, dass fahrrelevante Entwicklungen nicht oder zu spät bemerkt werden.

Für die Sicherheit während visueller Ablenkung von zentraler Bedeutung ist die Fähigkeit des Fahrers, die Fahrsituation angemessen zu bewerten und ein ausreichend gutes Situationsmodell zu entwickeln. Insbesondere bei Fahranfänger kann diese Fähigkeit nicht als gegeben angesehen werden. Studien zur Gefahrenwahrnehmung (z.B. Sagberg u. Bjornskau, 2005; Chapman u. Underwood, 1999; Velichkovsky, Rotherth et al., 2002) zeigen, dass unzureichend entwickelte mentale Modelle bei Fahranfängern auch bei nicht abgelenktem Fahren zu einem erhöhten Unfallrisiko führen. In der Literatur wird außerdem für junge Fahrer ein erhöhtes Risiko für Verkehrsunfälle berichtet, die in Zusammenhang mit Ablenkung beim Fahren stehen (Young u. Regan, 2008; Ferguson, 2003; Stutts, Reinfurt, Staplin u. Rodgman, 2001). Eine Untersuchung von Wikman et al. (1998) zeigt beispielsweise, dass bei Fahranfänger die Aufteilung der Aufmerksamkeit auf Fahr- und Nebenaufgabe häufiger unangemessen ist. Andere Studien berichten bei Ablenkung eine schlechtere Fahrleistung sowie eine verringerte Entdeckungsleistung für bestimmte Ereignisse für Fahranfänger (Young u. Regan, 2008). Die verringerte Leistung von Fahranfänger bei Ablenkung lässt sich aus den noch nicht hinreichend ausgebildeten, fahrbezogenen mentalen Modellen erklären. Durch die top-down Steuerung der Aufmerksamkeit während visueller Ablenkung führt dies zu einer erhöhten Gefahr, die Fahrsituationen falsch einzuschätzen und darauf aufbauend Nebenaufgaben in ungeeigneten, weil beispielsweise instabilen Situationen zu beginnen. Außerdem resultiert ein erhöhtes Risiko, dass während den Nebenaufgaben zu wenig Aufmerksamkeit auf die Fahraufgabe zu gelenkt wird oder mit der fahrbezogenen Aufmerksamkeit die falschen Szenebestandteile kontrolliert werden. Insgesamt ergibt sich dann bei Ablenkung durch Nebenaufgaben, das in der Literatur berichtete erhöhte Unfallrisiko für junge Fahrer.

## **8.5 Bedeutung für die Bewertung von Fahrerinformationssystemen**

Aufgrund der wachsenden Verfügbarkeit von Informations- und Entertainmentsystemen im Fahrzeug gewinnt die Frage nach deren Auswirkung auf die Fahrsicherheit immer mehr an Bedeutung. Eine wichtige Aufgabe bei der Entwicklung solcher

Systeme ist es, die Auswirkung der Systeme auf das Fahren zu messen und zu bewerten. Ziel ist es, nur solche Systeme ins Fahrzeug zu bringen, die zu keiner sicherheitskritischen Einschränkung der fahrbezogenen Aufmerksamkeit führen. Bisher liegt der Schwerpunkt auf der Bewertung der Auswirkung auf das Fahrverhalten und hier insbesondere auf der Auswirkung auf die Fahrzeugstabilisierung sowie auf der Erfassung des Blickverhaltens. Aktuelle Richtlinien legen fest, wie viele Blickzuwendungen eine potentielle Nebenaufgabe maximal erfordern darf, um als sicher mit dem Fahren vereinbar zu gelten. Welche Auswirkung die Ablenkung auf die Verteilung der Aufmerksamkeit innerhalb der Fahraufgabe hat, wird in der Regel nicht erfasst und bei der Bewertung der Systeme auch nicht berücksichtigt.

Die im Abschnitt 7 vorgestellte Methode erfasst über Change Blindness die Ausrichtung der Aufmerksamkeit während des Fahrens mit Nebenaufgaben. In der Fahrsimulation kann so die Auswirkung von Ablenkung auf die Verarbeitung unterschiedlicher Aspekte der Fahrsituation gemessen werden. Anders als bei bisher eingesetzten Methoden besteht die Möglichkeit, den Einfluss verschiedener Nebenaufgaben auf die Situationswahrnehmung zu erfassen. So kann man beispielsweise die Wahrnehmung peripherer Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger oder die Wahrnehmung von Fahrzeugen auf der Nebenspur untersuchen und verschiedene Nebenaufgaben bzw. Fahrerinformationssysteme hinsichtlich ihrer Auswirkung vergleichen.

Dieser Ansatz geht deutlich über die bisher im Vordergrund stehende Untersuchung der Fahrzeugstabilisierung hinaus. Längs- und Querregulation stellen zwar einen wichtigen Bestandteil der Fahraufgabe da, sind aber in erster Linie vom weiteren Straßenverlauf und vom Verhalten des Vorfahrenden abhängig. Dies sind zwei Komponenten der Fahrsituation, deren Bedeutung offensichtlich ist und die deswegen immer Bestandteil des Situationsmodells des Fahrers sein sollten. Wie beschrieben, ist beim Fahren mit Nebenaufgaben weniger die Aufrechterhaltung der Fahrzeugstabilisierung, sondern die Reaktion auf unerwartete Situationsänderungen problematisch. Damit diese gut gelingt, sind entweder ein umfassendes Modell der Fahrsituation oder explorative Wahrnehmung notwendig. Über die in Studie 3 und Studie 4 verwendete Untersuchungsanordnung kann die Auswirkung von Nebenaufgaben auf die Situationswahrnehmung erfasst werden. Objekte, für die Änderungen bemerkt werden können, werden trotz Ablenkung aufmerksam verarbeitet. Je mehr Änderungen auch an nicht direkt handlungssteuernden Situationsbestandteilen entdeckt werden können, desto besser sollte der Fahrer trotz Ablenkung auf Situationsänderungen reagieren können.

Durch weitere Forschung kann ein Set von Situationen und Änderungen entwickelt werden, das für die Bewertung verschiedener Nebenaufgaben hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Situationswahrnehmung besonders geeignet ist. Die darin enthaltenen Situationen sollten solche umfassen, in denen besonders häufig Nebenaufgaben bearbeitet werden oder solche, in denen Nebentätigkeiten besonders gefährlich sind. Des Weiteren ist es notwendig, die Änderungsarten zu identifizieren, die bei langen Straßenblicken bzw. bei gut gestalteten Fahrerinformationssystemen noch bemerkt werden, bei kurzen Blicken oder schlechten Systemen jedoch nicht. Sind beide Punkte gegeben, steht eine sensitive Messmethode zur Verfügung. Es ist dann möglich, die Änderung der fahrbezogenen Aufmerksamkeit durch verschiedene Fahrerinformationssysteme standardisiert zu erfassen und zu bewerten.

## 9 LITERATUR

- Alliance of Automobile Manufacturers (AAM). (2002). *Driver Focus-Telematics Working Group: Statement of principles, criteria and verification procedures on driver interactions with advanced in-vehicle information and communication systems*. Alliance of Automobile Manufacturers.
- Adams, M. J., Tenney, Y. J. u. Pew, R. W. (1995). Situation awareness and the cognitive management of complex systems. *Human Factors*, 37(1), 85-104.
- Agostinelli, G., Sherman, S. J., Fazio, R. H. u. Hearst, E. S. (1986). Detecting and identifying change: Additions vs. deletions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, 445-454.
- Allport, A. (1987). Selection for action: Some behavioral and neurophysiological considerations of attention and action. In H. Heuer & A. F. Sanders (Eds.), *Perspectives on perception and action* (pp. 395-419). Hillsdale: Erlbaum.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Baumann, M., Keinath, A., Krems, J. F. u. Bengler, K. (2004). Evaluation of in-vehicle HMI using occlusion techniques: experimental results and practical implications. *Applied Ergonomics*, 35, 197-205.
- Breitmeyer, B. u. Braun, D. (1990). Effects of fixation and attention on saccadic reaction time. In R. Groner, G. d'Ydewalle & R. Parham (Eds.), *From eye to mind: Information acquisition in perception, search and reading* (pp. 71-79). Amsterdam: North-Holland.
- Brown, I. D. (2005). *Review of the 'Looked but failed to see' accident causation factor*. Bericht: Road safety research report No. 60: London, Departement of Transport.
- Bruckmayr, E. u. Reker, K. (1994). Neue Informationstechniken im Kraftfahrzeug. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 40(12-22).
- Bubb, H. (2000). *Blickanalyse zur Ermittlung der Aufmerksamkeitszuwendung zu Informationssystemen*. BAST-Bericht M 116 Informations- und Assistenzsysteme im Auto benutzergerecht gestalten. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Bushnell, M. C., Goldberg, M. E. u. Robinson, D. L. (1981). Behavioral enhancement of visual responses in monkey cerebral cortex: I. Modulation in posterior parietal cortex related to selective visual attention. *Journal of Neurophysiology*, 46, 755-772.
- Chapman, P. u. Underwood, G. (1998). Visual search of driving situations: Danger and experience. *Perception*, 27, 951-964.
- Chapman, P. u. Underwood, G. (1999). Looking for danger: Driver's eye movements in hazardous situations. In A. G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles 7* (pp. 225-232). Amsterdam: Elsevier.

- Chiang, D. P., Brooks, A. M. u. Weir, D. H. (2004). On the highway measures of driver glance behavior with an example automobile navigation system. *Applied Ergonomics*, 35, 215-223.
- Chun, M. M. u. Marois, R. (2002). The dark side of visual attention. *Current Opinion in Neurobiology*, 12, 184-189.
- Cohen, A. S. (1998). *Visuelle Orientierung im Straßenverkehr - Eine empirische Untersuchung zur Theorie des visuellen Abtastens*. Projektbericht. Bern, bfu.
- Colby, C. L. (1998). Action-oriented spatial reference frames in cortex. *Neuron*, 20, 15-14.
- Cole, G. G. u. Liversedge, S. P. (2006). Change blindness and the primacy of object appearance. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(4), 588-593.
- Cooper, R. P. u. Shallice, T. (2006). Hierarchical schemas and goals in the control of sequential behavior. *Psychological review*, 113(4), 887-916.
- Corbetta, M. u. Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews: Neuroscience*, 18, 193-222.
- Crundall, D. u. Underwood, G. (1998). Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers. *Ergonomics*, 41(4), 448-458.
- Deubel, H. (inPress). The time course of presaccadic attention shifts. *Psychological Research*.
- Dingus, T. A. (2000). *Driver distraction: New features, new tasks, new risks*. Paper presented at the NHTSA driver distraction public meeting (18.07.2000).
- Dingus, T. A., Antin, J. F., Hulse, M. C. u. Wierwille, W. W. (1989). Attentional demand requirements of an automobile moving-map navigation system. *Transportation Research A*, 23A(4), 301-315.
- DiVita, J., Obermayer, R., Nugent, W. u. Linville, J. M. (2004). Verrification of the change blindness phenomenon while managing critical events on a combat information display. *Human Factors*, 46(2), 205-218.
- Durlach, P. J. (2004). Change blindness and its implications for complex monitoring and control systems design and operator training. *Human-Computer Interaction*, 19, 423-451.
- European Commission. (2005). *European statement of principles on the design of human machine interaction*.
- Ferguson, S. A. (2003). Other high-risk factors for young drivers - how graduated licensing does, doesn't, or could address them. *Journal of Safety Research*, 34, 71-77.
- Findlay, J. M. u. Walker, R. (1999). A model of saccade generation based on parallel processing and competitive inhibition. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 661-721.
- Ghorashi, S. M. S., Smilek, D. u. Di Lollo, V. (2007). Visual search is postponed during the attentional blink until the system is suitably reconfigured. *Journal of*

- Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(1), 124-136.
- Goldstein, B. E. (2002). *Wahrnehmungspsychologie* (2. deutsche Aufl.). Heidelberg: Spektrum.
- Gradenegger, B. u. Krüger, H.-P. (2008). *Einfluss von Zusatzschildern auf die Wahrnehmung von Richtungsinformation*. Projektbericht. Würzburg, WIVW.
- Gugerty, L. J. (1997). Situation awareness during driving: explicit and implicit knowledge in dynamic spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3(1), 42-66.
- Hada, H. (1994). *Drivers' visual attention to in-vehicle displays: Effects of display location and road type*. Bericht No. UMTRI-94-9: Michigan, UMTRI.
- Hamker, F. H. (2004). Vision as an anticipatory process. In H.-M. Groß (Ed.), *SOAVE (3rd Workshop on self organization of adaptive behavior) Fortschrittsberichte VDI*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Harbluk, J. L. u. Lalande, S. (2002). *Performing e-mail tasks while driving: the impact of speech-based tasks on visual detection*. Paper presented at the 3rd International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design.
- Harms, L. u. Patten, C. (2003). Peripheral detection as a measure of driver distraction. A study of memory-based versus system-based navigation in a built-up area. *Transportation Research F*, 6, 23-36.
- Hayhoe, M. M., Shrivastave, A., Mruczek, R. u. Pelz, J. B. (2003). Visual memory and motor planning in a natural task. *Journal of vision*, 3, 49-63.
- Head, H. (1920). *Studies in neurology*. London: Hodder & Stoughton.
- Henderson, J. M. (2003). Human gaze control during real-world scene perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(11), 498-504.
- Henderson, J. M., Weeks, P. A. J. u. Hollingworth, A. (1999). The effects of semantic consistency on eye movements during complex scene viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 210-228.
- Henning, M. J., Georgeon, O. u. Krems, J. F. (2007). Verhaltensindikatoren zur Fahrerabsichtserkennung am Beispiel des Spurwechsels. In M. Rötting, G. Wozny, A. Klostermann & J. Huss (Eds.), *Fortschritt-Berichte VDI: Prospektive Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion* (Vol. Reihe 22, Nummer 25). Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Herslund, M.-B. u. Jorgensen, N. O. (2003). Looked-but-failed-to-see-errors in traffic. *Accident analysis and prevention*, 35, 885-891.
- Hoffmann, J. (1993). *Vorhersage und Erkenntnis*. Göttingen: Hogrefe.
- Hollingworth, A. u. Henderson, J. M. (2000). Semantic informativeness mediates the detection of changes in natural scenes. *Visual Cognition*, 7, 213-235.

- Horrey, W. J., Wickens, C. D. u. Consalus, K. P. (2006). Modeling drivers' visual attention allocation while interacting with in-vehicle technologies. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 12(2), 67-78.
- ISO-Norm 16673. (2006). Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems - Occlusion method to assess visual demand due to the use of in-vehicle systems.
- Jacob, R. (1995). Eye tracking in advanced interface design. In T. Furness (Ed.), *Advanced interface design and virtual environments*.
- Jacob, R. u. Karn, K. (2003). Eye tracking in human-computer interaction and usability research: ready to deliver the promises. *The Mind's Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research*, 573-605.
- Jahn, G., Oehme, A., Krems, J. F. u. Gelau, C. (2005). Peripheral detection task as a workload measure in driving: Effects of traffic complexity and route guidance system use in a driving study. *Transportation Research F*, 8, 255-275.
- Jiang, Y. u. Chun, M. M. (2001). The influence of temporal selection on spatial selection and distractor interference: An attentional blink study. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(3), 664-679.
- Johnston, L. u. Peace, V. (2007). Where did that car come from?: Crossing the road when the traffic comes from an unfamiliar direction. *Accident Analysis and Prevention*, 39, 886-893.
- Joseph, J. S., Chun, M. M. u. Nakayama, K. (1997). Attentional requirements in a 'preattentive' feature search task. *Nature*, 387, 805-808.
- Kawahara, J.-I., Di Lollo, V. u. Enns, J. T. (2001). Attentional requirements in visual detection and identification: evidence from the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(4), 969-984.
- Kito, T., Haraguchi, M., Funatsu, T., Sato, M. u. Kondo, M. (1989). Measurements of gaze movements while driving. *Perception and Motor Skills*, 68, 19-25.
- Kowler, E., Anderson, E., Doshier, B. u. Blaser, E. (1995). The role of attention in the programming of saccades. *Vision Research*, 35(13), 1897-1916.
- Lamme, V. (2000). Neural mechanisms of visual awareness: a linking proposition. *Brain and Mind*, 1, 385-406.
- Lamme, V., Super, H., Landman, R., Roelfsema, P. R. u. Spekreijse, H. (2000). The role of primary visual cortex (V1) in visual awareness. *Vision Research*, 40, 1507-1521.
- Land, M. u. Hayhoe, M. (2001). In what ways do eye movements contribute to everyday activities. *Vision Research*, 41, 3559-3565.
- Land, M. u. Lee, D. N. (1994). Where do we look when we steer. *Nature*, 369(742-744).
- Land, M., Mennie, N. u. Rusted, J. (1999). The roles of vision and eye movements in the control of activities of daily living. *Perception*, 28, 1311-1328.

- Lansdown, T. C., Burns, P. C. u. Parkes, A. M. (2004). Perspectives on occlusion and requirements for validation. *Applied Ergonomics*, 35, 225-232.
- Lee, J., Reyes, M. L., Liang, Y. u. Lee, Y.-C. (2007). *SAfety VEhicles using adaptive Interface Technology (Task 5) Final Report: Phase 2 Algorithms to assess cognitive distraction*. Bericht. University of Iowa.
- Lee, Y.-C., Lee, J. D. u. Boyle, L. N. (2007). Visual attention in driving: The effects of cognitive load and visual disruption. *Human Factors*, 49(4), 721-733.
- Mandler, J. M. (1984). *Stories, scripts and scenes: aspects of schema theory*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Miller, S., Kirlik, A., Kosorukoff, A. u. Byrne, M. D. (2004). *Ecological validity as a mediator of visual attention allocation in human-machine systems*. Technical Report AHFD-04-17/NASA-04-6: Savoy, Illinois, Aviation Human Factors, Division Institute of Aviation, University of Illinois.
- Mitroff, S. R., Simons, D. J. u. Levin, D. T. (2004). Nothing compares 2 views: Change blindness can occur despite preserved access to the changed information. *Perception and Psychophysics*, 66(8), 1268-1281.
- Miura, T. (1986). Coping with situational demands: a study of eye movements and peripheral vision performance. In A. G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles* (pp. 205-216). Amsterdam: Elsevier.
- Mollenhauer, M. A., Dingus, T. A., Hankey, J. M., Carney, C. u. Neale, V. L. (1997). *Development of human factors guidelines for advanced traveler information systems (ATIS) and commercial vehicle operations (CVO): Display formats and commercial vehicle operator (CVO) workload*. Bericht. Blacksburg, Center for Transportation Research Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Most, S. B. u. Astur, R. S. (2007). Feature-based attentional set as a cause for traffic accidents. *Visual Cognition*, 15(2), 125-132.
- Neale, V. L., Dingus, T. A., Klauer, S. G., Sudweeks, J. u. Goodman, M. (2005). *An overview of the 100-car naturalistic study and findings*. Bericht No. 05-0400, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA).
- Neisser, U. (1976). *Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology*. San Francisco: Freeman.
- Neisser, U. (1979). *Kognition und Wirklichkeit*. Stuttgart: Ernst Klett.
- Neumann, O., van der Heijden, A. H. C. u. Allport, D. A. (1986). Visual selective attention: Introductory remarks. *Psychological Research*, 48, 185-188.
- Noy, Y. I., Lemoine, T. L., Klachan, C. u. Burns, P. C. (2004). Task interruptability and duration as measures of visual distraction. *Applied Ergonomics*, 35, 207-213.
- O'Regan, J. K., Deubel, H., Clark, J. J. u. Rensink, R. A. (2000). Picture changes during blinks: Looking without seeing and seeing without looking. *Visual Cognition*, 7(1/2/3), 191-211.

- Pearson, P. M. u. Schaefer, E. G. (2005). Toupee or not toupee? The role of instructional set, centrality, and relevance in change blindness. *Visual Cognition*, 12(8), 1528-1543.
- Pelz, J. B. u. Canosa, R. (2001). Oculomotor behavior and perceptual strategies in complex tasks. *Vision Research*, 41, 3587-3596.
- Pizzighello, S. u. Bresson, P. (2008). Auditory attention causes visual inattentive blindness. *Perception*, 37(6), 859-866.
- Rassl, R. (2004). *Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im PKW-systemergonomische Analyse und Prognose*. Dissertation: TU München, München.
- Rauch, N. (2009). *Ein verhaltensbasiertes Messmodell zur Erfassung von Situationsbewusstsein im Fahrkontext*. Dissertation: Julius Maximilians Universität, Würzburg.
- Rauch, N., Gradenegger, B. u. Krüger, H.-P. (2008). *Das Konzept des Situationsbewusstseins und seine Implikationen für die Fahrsicherheit*. FAT-Schriftenreihe Vol. 210: Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.v.
- Rauch, N., Schoch, S. u. Krüger, H.-P. (2007). *Ermittlung von Fahreraufmerksamkeit aus Fahrverhalten. BMWi Projekt AKTIV-AS- Teilprojekt FSA*. Projektbericht. Würzburg, WIVW.
- Recarte, M. A. u. Nunes, L. M. (2003). Mental workload while driving: effects on visual search, discrimination and decision making. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9(2), 119-137.
- Rensink, R. A. (2000). Seeing, sensing, and scrutinizing. *Vision Research*, 40, 1469-1487.
- Rensink, R. A. (2002). Change detection. *Annual Review of Psychology*, 53, 245-277.
- Rizzolatti, G., Riggio, L., Dascola, I. u. Umiltà, C. (1987). Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: Evidence of a premotor theory of attention. *Neuropsychologica*, 25, 31-40.
- Rockwell, T. H. (1988). Spare visual capacity in driving revisited: new empirical results for an old idea. In A. G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles II* (pp. 317-324). Amsterdam: North Holland Press.
- Roetting, M. (2001). *Parametersystematik der Augen- und Blickbewegung für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen*. Dissertation: RWTH Aachen.
- Ross, J., Morrone, C., Goldberg, M. E. u. Burr, D. C. (2001). Changes in visual perception at the time of saccade. *Trends in Neurosciences*, 24(2), 113-121.
- SAE. (2000). *Recommended practice navigation and route guidance function accessibility while driving*. SAE 2364.
- Sagberg, F. u. Bjornskau, T. (2006). Hazard perception and driving experience among novice drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 38(2), 407-414.

- Salvucci, D., Liu, A. u. Boer, E. R. (2001). Control and monitoring during lane change. In A. G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles 9*. Amsterdam: Elsevier.
- Salvucci, D. u. Taatgen, N. A. (2008). Threaded cognition: An integrated theory of concurrent multitasking. *Psychological Review*, 115(1), 101-130.
- Sanford, A. J. u. Garrod, S. C. (1981). *Understanding written language*. New York: John Wiley & Sons.
- Scheuchenpflug, R., Piechulla, W., Grein, M. u. Krüger, H.-P. (2004). *INVENT: FVM AP 1400*. Abschlussbericht: Würzburg, WIVW.
- Schindhelm, R. u. Gelau, C. (2006). *Driver visual distraction assessment by enhanced occlusion technique (EOT)*. Bericht No. AIDE IST-1-507674-IP, Bergische Gladbach, Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Schweigert, M. (2002). *Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben*. Dissertation: Technische Universität, München.
- Schweigert, M. u. Bubb, H. (2003). Einfluss von Nebenaufgaben auf das Fahrerblickverhalten. In *Der Fahrer im 21. Jahrhundert*. Braunschweig: VDI-Berichte 1768.
- Senders, J. W., Kristofferson, A. B., Dietrich, C. W. u. Ward, J. L. (1967). The attentional demand of automobile driving. *Highway Research Record*, 195, 15-33.
- Shinoda, H., Hayhoe, M. u. Shrivastava, A. (2001). What controls attention in natural environments. *Vision Research*, 41, 3535-3545.
- Simons, D. J. (2000a). Attentional capture and inattention blindness. *Trends in cognitive sciences*, 4(4), 147-155.
- Simons, D. J. (2000b). Current approaches to change blindness. *Visual Cognition*, 7, 1-15.
- Simons, D. J. u. Levin, D. T. (1997). Change blindness. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 261-267.
- Simons, D. J. u. Rensink, R. A. (2005). Change blindness: past, present, and future. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(1), 16-20.
- Sodhi, M., Reimer, B. u. Llamazares, I. (2002). Glance analysis of driver eye movements to evaluate distraction. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34(4), 529-538.
- Stelmach, L. B., Bourasse, C. M. u. Di Lollo, V. (1984). Detection of stimulus change: The hypothetical role of visual transient responses. *Perception and Psychophysics*, 35(3), 245-255.
- Stirk, J. A. u. Underwood, G. (2007). Low-level visual saliency does not predict change detection in natural scenes. *Journal of Vision*, 7(10), 3-10.
- Stutts, J. C., Reinfurt, D. W., Staplin, L. u. Rodgman, E. A. (2001). *The role of driver distraction in traffic crashes*. Bericht: Washington, DC, University of North Carolina.

- Theeuwes, J. (1996). Visual Search At Intersections: An Eye-Movement Analysis. In A. G. Gale, I. D. Brown, C. M. Halsegrave & S. Taylor (Eds.), *Vision In Vehicles - V* (pp. 125-134). Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Theeuwes, J. u. Hagenzieker, M. P. (1993). Visual Search of Traffic Scenes: On the Effect of Location Expectations. In A. G. Gale (Ed.), *Vision in Vehicles IV* (pp. 149-158). Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Tijerina, L. (1996). *Final report - program executive summary: Heavy vehicle driver workload assessment*. Bericht No. DOT HS 808 466.
- Tijerina, L., Kantowitz, B., Kiger, S. M. u. Rockwell, T. H. (1994). *Driver workload assessment of in-cab high technology devices (Paper No. 94-S2-O-060)*. Paper presented at the Proceedings of the 14th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles, München.
- Treisman, A. M. u. Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treue, S. (2003). Visual attention: the where, what, how and why of saliency. *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 428-432.
- Triesch, J., Ballard, D., Hayhoe, M. u. Sullivan, B. T. (2003). What you see is what you need. *Journal of Vision*, 3, 86-94.
- Tsimhoni, O. u. Green, P. (2001). *Visual demand of driving and the execution of display-intensive in-vehicle tasks*. Paper presented at the 45th annual meeting of the Human Factors and Ergonomics Society.
- Tsimhoni, O., Smith, D. T. u. Green, P. (2004). Address entry while driving: speech recognition versus a touch-screen keyboard. *Human Factors*, 46(4), 600-610.
- Turano, K. A., Gerasch, D. R. u. Baker, F. H. (2003). Oculomotor strategies for the direction of gaze tested with a real-world activity. *Vision Research*, 43, 333-346.
- Turatto, M., Angrilli, A., Mazza, V., Umiltà, C. u. Driver, J. (2002). Looking without seeing the background change: electrophysiological correlates of change detection versus change blindness. *Cognition*, 84, B1-B10.
- Underwood, G., Chapman, P., Bowden, K. u. Crundall, D. (2002). Visual search while driving: skill and awareness during inspection of the scene. *Transportation Research F*, 5, 87-97.
- Underwood, G., Chapman, P., Crundall, D., Cooper, S. u. Wallén, R. (1999). The Visual Control Of Steering And Driving: Where Do We Look When Negotiating Curves. In A. G. Gale, I. D. Brown, C. M. Halsegrave & S. Taylor (Eds.), *Vision In Vehicles - VII* (pp. 245-252). Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Underwood, G., Phelps, N., Wright, C., Van Loon, E. u. Galpin, A. (2005). Eye fixation scanpaths of younger and older drivers in a hazard perception task. *Ophthal. Phys. Opt.*, 25, 346-356.
- Underwood, G. u. Radach, R. (1998). Eye guidance and visual information processing: Reading, visual search, picture perception and driving. In G.

- Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 1-27). Amsterdam: Elsevier.
- Unema, P. J. A. u. Rötting, M. (1988). *Differences in eye movements and mental workload between experienced and inexperienced motor-vehicle drivers*. Paper presented at the First International Conference on visual Search, Durham, England.
- van der Horst, R. (2004). Occlusion as a measure of visual workload: an overview of TNO occlusion research in driving. *Applied Ergonomics*, 35, 189-196.
- Velichkovsky, B. M., Dornhoefer, S., Kopf, M., Helmert, J. u. Joos, M. (2002). Change detection and occlusion modes in road traffic scenarios. *Transportation Research F*, 5(99-109).
- Velichkovsky, B. M., Rothert, A., Kopf, M., Dornhoefer, S. u. Joos, M. (2002). Towards an express diagnosis of level of processing and hazard perception. *Transportation Research F*, 5, 145-156.
- Victor, T. (2005). *Keeping eye and mind on the road*. Dissertation: Universitet Uppsala, Uppsala.
- Victor, T., Harbluk, J. L. u. Engström, J. A. (2005). Sensitivity of eye-movement measures to in-vehicle task difficulty. *Transportation Research F*, 8, 167-190.
- Wallis, G. u. Bühlhoff, H. (2000). What's scene and not seen: Influences of movement and task upon what we see. *Visual cognition*, 7, 175-190.
- Wang, J. S., Knipling, R. R. u. Goodman, R. J. (1996). *The role of driver inattention in crashes: new statistics from the 1995 crashworthiness data system*. Paper presented at the 40th Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine.
- Wickens, C. D. (2002a). *Attention based display design for terminal area operations*. Final Technical Report AHFD-02-12/NASA-02-9, Aviation Human Factors Division Institute of Aviation, University of Illinois.
- Wickens, C. D. (2002b). Multiple resources and performance prediction. *Theor. Issues in Ergon. Sci.*, 3(2), 159-177.
- Wickens, C. D., Helleberg, J., Kroft, P., Talleur, D. A. u. Xidong, X. (2001). *Mid air target detection: What makes it difficult? Application of attention and situation awareness model*. Technical Report ARL-01-9/NASA-01-5: Savoy, Illinois, Aviation research lab, Institute of Aviation, University of Illinois.
- Wickens, C. D. u. Horrey, W. J. (2008). Models of attention, distraction, and highway hazard avoidance. In M. A. Regan, J. D. Lee & K. L. Young (Eds.), *Driver distraction Theory, effects and mitigation* (pp. 57-70). New York: CRC Press.
- Wierwille, W. W. (1993). Visual and manual demands of in-car controls and displays. In B. Peacock & W. Karwowski (Eds.), *Automotive Ergonomics* (pp. 299-320). London: Taylor & Francis.
- Wikman, A.-S., Nieminen, T. u. Summala, H. (1998). Driving experience and time-sharing during in-car tasks on roads of different width. *Ergonomics*, 41(3), 358-372.

- Wittmann, M., Kiss, M., Gugg, P., Steffen, A., Fink, M., Pöppel, E. et al. (2006). Effects of display position of a visual in-vehicle task on simulated driving. *Applied Ergonomics, in Press*.
- Woodman, G. F. u. Chun, M. M. (2006). The role of working memory and long-term memory in visual search. *Visual Cognition, 14*(4), 808-830.
- Yarbus, A. F. (1967). *Eye movements and vision*. New York: Plenum Press.
- Young, K. L. u. Regan, M. A. (2008). Factors moderating the impact of distraction on driving performance and safety. In M. A. Regan, J. D. Lee & K. L. Young (Eds.), *Driver distraction: Theory, effects and mitigation*. London: CRC Press.
- Zhang, H. u. Smith, M. (2004). *SAfety VEhicles using adaptive Interface Technology (Task 7): A literature review of visual distraction research*. Bericht: Delphi Electronics & Safety.
- Zwahlen, H. T., Adams, C. C. u. DeBald, D. P. (1988). Safety aspects of CRT touch panel controls in automobiles. *Stress and Tension Control 3. Stress Management, 335-344*.

## 10 ANHANG

### 10.1 Übersicht über Blickverhaltensparameter

*Tabelle 10-1: Parameter der Blickabwendungen während visueller Nebenaufgaben für eine Reihe unterschiedlicher Nebenaufgaben. Es wird auf die folgenden Studien Bezug genommen: [1] = Victor et al. (2005), [2] = Dingus et al. (1989), [3]= Sodhi et al. (2002), [4]= Tijerina et al. (1994), [5] = Rassl (2004), [6]= Chiang et al. (2004), [7]= Dingus (2000), [8] = Tijerina (1996). [7] und [8] sind zitiert nach Zhang u. Smith (2004). Die grau unterlegten Zellen wurden aus den restlichen Angaben berechnet.*

Aufgabenart	Autor	Aufgabe	Aufgaben- dauer	Anzahl Blickab- wendungen	Gesamtdauer Blickab- wendungen	mittlere Dauer Blickab- wendung
Anzeige ablesen			4,72	3,00	2,96	0,99
	[1]	Motortemperatur ablesen				0,99
	[2]	Tacho ablesen		1,26	0,78	0,62
				1,52	1,58	1,04
	[2]	Tankanzeige ablesen				1,04
	[2]	Uhr ablesen		1,26	1,04	0,83
					4,21	2,11
	[3]	Kilometerstand ablesen	10,94	6,5		0,75
	[4]	Tacho ablesen		1,29	2,06	1,60
				2,00	4,21	2,11
	[4]	Luftdruck ablesen				2,11
	[8]	Luftdruck ablesen		1,16		1,57
	[4]	Drehzahl ablesen		1,61	2,67	1,66
				1,78	3,34	1,88
	[4]	Tankanzeige ablesen				1,88
	[7]	Tankanzeige ablesen		1,20		1,30
[4]	Uhr ablesen		1,88	2,25	1,20	
[8]	Uhr ablesen		1,03		1,20	
			2,12	1,75	1,20	
[2]	Prüfen, ob Kontrollleuchten aktiv sind				0,83	
<b>Mittelwert</b>			<b>7,83</b>	<b>2,04</b>	<b>2,44</b>	<b>1,26</b>

Aufgabenart	Autor	Aufgabe	Aufgaben- dauer	Anzahl Blickab- wendungen	Gesamtdauer Blickab- wendungen	mittlere Dauer Blickab- wendung
Einstellung verändern	[1]	Temperatur und Lüftung verstellen	3,81	2,36	2,17	0,92
	[2]	Lüftung verstellen		1,83	1,13	0,62
	[2]	Gebläse anstellen		1,78	1,95	1,10
	[2]	Rückscheiben-heizung anstellen		2,51	2,86	1,14
	[5]	Temperatur verstellen	4,20		2,58	1,09
	[4]	Temperatur verstellen		2,40	3,97	1,65
	[4]	Gebläse verstellen		1,71	2,31	1,35
	[2]	Spiegel einstellen		6,64	5,71	0,86
	<b>Mittelwert</b>			<b>4,01</b>	<b>2,75</b>	<b>2,84</b>
Radio / CD	[1]	Lied auf CD auswählen	9,79	5,18	6,09	1,18
	[1]	Radiosender suchen	12,02	6,38	6,76	1,06
	[2]	Lautstärke verstellen		1,73	1,59	0,92
	[2]	Balance verstellen		2,59	2,23	0,86
	[2]	Radiosender suchen		6,91	7,60	1,10
	[2]	Kassette einlegen		2,06	3,23	0,80
	[3]	Radiosender suchen	21,99	12,00	9,87	0,77
	[8]	Radiosender suchen		5,62		1,22
	[5]	Bass / Höhen verstellen im Radio	16,85		11,51	1,20
	[4]	Lautstärke verstellen		1,62	1,78	1,10
	[8]	Lautstärke verstellen		1,10		0,77
	[4]	Gespeicherten Sender auswählen		3,19	4,65	1,46
	[7]	komplexe Radioaufgabe		4,00		1,10
	[4]	zu bestimmter Frequenz wechseln		7,81	13,81	1,77
	<b>Mittelwert</b>			<b>15,16</b>	<b>4,63</b>	<b>6,28</b>

<b>Aufgabenart</b>	<b>Autor</b>	<b>Aufgabe</b>	<b>Aufgaben- dauer</b>	<b>Anzahl Blickab- wendungen</b>	<b>Gesamtdauer Blickab- wendungen</b>	<b>mittlere Dauer Blickab- wendung</b>
Telefonieren						
	[1]	Wählen mit in der Hand gehaltenem Telefon	11,88	6,54	7,94	1,21
	[1]	Wählen über Freisprech-einrichtung	11,97	6,15	6,92	1,13
<b>Mittelwert</b>			<b>11,93</b>	<b>6,35</b>	<b>7,43</b>	<b>1,17</b>
Navi / Bordcomputer	[1]	Zoombereich im Navi verstellen	21,45	10,71	11,55	1,08
	[1]	Sprache im Navi ändern	34,93	16,08	20,97	1,30
	[1]	Mittleren Verbrauch in Bordcomputer neu berechnen lassen	13,45	5,38	4,90	0,91
	[2]	Name der nächsten Querstraße ablesen		5,21	8,63	1,66
	[2]	Navi einstellen, so dass Zoom etc. passt		6,52	10,63	1,63
	[2]	Entfernung zum nächsten Abbiegen schätzen		5,78	8,84	1,53
	[7]	Navigation mit dynamischer Routeführung		5,80		1,50
	[6]	Zieleingabe	34,10	13,50	17,60	1,32
	[5]	Info aus Bordcomputer lesen	7,41		4,58	1,19
	[5]	Zieleingabe	44,45		30,38	1,48
	<b>Mittelwert</b>			<b>25,97</b>	<b>8,62</b>	<b>13,12</b>
Intotainment divers	[1]	Text auf Display fürs Navi ablesen	27,57	13,50	18,15	1,34
	[1]	Text auf Position Radio ablesen	27,14	13,85	16,06	1,16
	[1]	Text auf Palm ablesen	30,02	14,29	19,07	1,33
	[5]	SMS beantworten	51,43		36,79	1,40
<b>Mittelwert</b>			<b>34,04</b>	<b>13,88</b>	<b>22,52</b>	<b>1,31</b>

<b>Aufgabenart</b>	<b>Autor</b>	<b>Aufgabe</b>	<b>Aufgaben- dauer</b>	<b>Anzahl Blickab- wendungen</b>	<b>Gesamtdauer Blickab- wendungen</b>	<b>mittlere Dauer Blickab- wendung</b>
Sonstiges	[2]	Tempomat einstellen		5,88	4,82	0,82
	[1]	Münze suchen	11,62	5,77	6,31	1,09
	[3]	Fhzg. im Rückspiegel beschreiben	18,91	11,50	9,75	1,03
	[4]	Funkfrequenz wechseln		3,76	5,04	1,34
	[8]	CB-Funk einstellen		3,23		0,96
	[4]	Lautstärke CB-Funk verstellen		1,29	1,37	1,06
	<b>Mittelwert</b>			<b>15,27</b>	<b>5,24</b>	<b>5,46</b>

## 10.2 Detaillierte Beschreibung der Situationen aus Studie 1 und Studie 2

### Situation „Fußgänger“

In der Situation „Fußgänger“ besteht das Konfliktpotential darin, dass ein Fußgänger vor dem EGO-Fahrzeug die Straße überquert und dadurch die Trajektorie des EGO-Fahrzeugs schneidet. Der Fahrer muss diesen Konflikt erkennen und entsprechend frühzeitig einen Bremsvorgang einleiten. In der schlecht erkennbaren Situationsvariante überquert der Fußgänger die Fahrbahn an einer Stelle, an der es der Fahrer nicht erwarten würde. Der einzige Hinweis, der die Verhaltensabsichten des Fußgängers andeutet, ist, dass der Fußgänger am Straßenrand steht und der Fahrbahn zugewandt ist.

In der mittel erkennbaren Situation wird die Situationseinschätzung dadurch erleichtert, dass der Fußgänger sich in unmittelbarer Nähe eines Fußgängerüberwegs befindet. Erschwert wird die Erkennbarkeit des Konflikts nur dadurch, dass er aus einer Reihe von mehreren Fußgängern denjenigen herausfiltern muss, der sich als einziger nicht bewegt und der Fahrbahn zugewandt ist. In der gut erkennbaren Situation befindet sich nur ein einziger Fußgänger in der Nähe des Fußgängerüberwegs. In einer weiteren Variante wird ein zweiter Handlungsstrang dadurch eingeführt, dass vor dem Fußgängerüberweg der Fahrstreifen durch parkende Fahrzeuge verengt ist und der Fahrer zusätzlich auf Gegenverkehr achten muss.

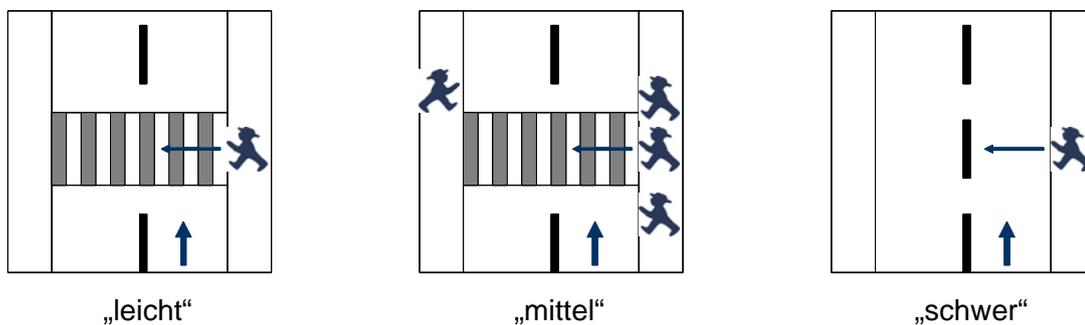


Abbildung 10-1: Veranschaulichung der Situationsabstufung in Situation „Fußgänger“.

Situation „Einparker“

In dieser Situation geht das Konfliktpotenzial von einem vorausfahrenden Fahrzeug aus, das vor dem EGO-Fahrzeug blinkt und einparkt. Ein vorausschauender Fahrer sollte die Verhaltensabsicht des Fahrzeugs erkennen und seinen Abstand zum Vorderfahrzeug rechtzeitig vergrößern. In der gut erkennbaren Situation deutet sich das Einparkmanöver dadurch an, dass der Fahrer bereits deutlich vorher blinkt und sich gleichzeitig innerhalb einer ausgewiesenen Parkzone befindet. In der mittel erkennbaren Situation blinkt der Vorausfahrende erst kurz vor der tatsächlich genutzten Parklücke. In der schwer erkennbaren Variante parkt das vorausfahrende Fahrzeug an einer Bushaltestelle ein.

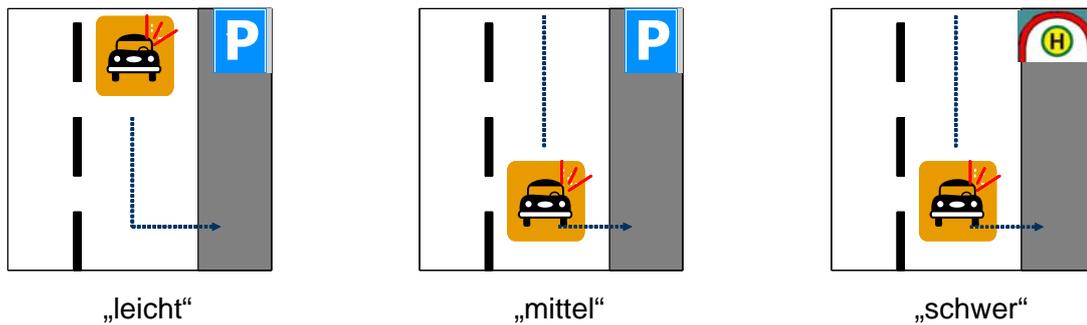


Abbildung 10-2: Veranschaulichung der Situationsabstufung in Situation „Einparker“.

Situation „Ausparker“

In der Situation „Ausparker“ geht das Konfliktpotenzial von einem Fahrzeug am Straßenrand aus, das vor dem EGO-Fahrzeug ausparkt und diesem die Vorfahrt nimmt. In allen Fällen wird diese Verhaltensabsicht durch das Blinken des Fahrzeugs deutlich gemacht. In der gut erkennbaren Situation steht das Fahrzeug als einziges blinkend am Straßenrand und kann daher schon von weitem entdeckt werden. In der mittel erkennbaren Situation ist das Fahrzeug in einer Reihe parkender Fahrzeuge weniger früh erkennbar. In der schlecht erkennbaren Situation kann die Verhaltensabsicht des Fahrzeugs erst sehr spät entdeckt werden, da es am Ende einer dichten Reihe von parkenden Fahrzeugen steht und es sich hierbei um ein kleineres Fahrzeug handelt. In einer weiteren Variante mit zweitem Handlungsstrang parkt kurz vor dem Ausparkenden zunächst ein vorausfahrendes Fahrzeug ein und lenkt dadurch die Aufmerksamkeit von dem Ausparker ab.

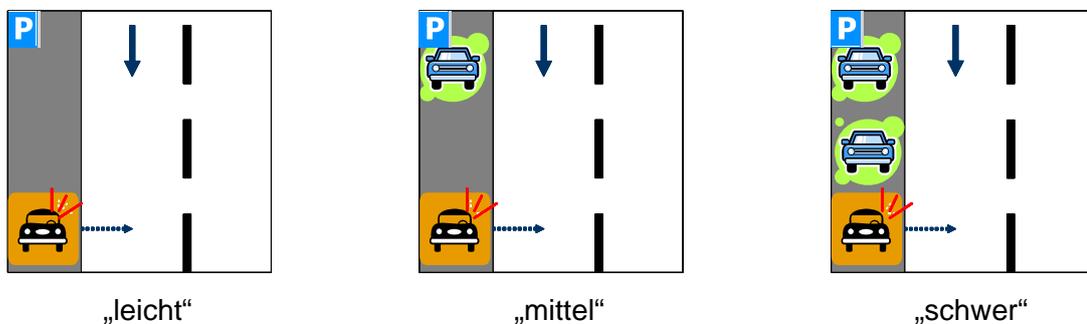


Abbildung 10-3: Veranschaulichung der Situationsabstufung in Situation „Ausparker“.

### Situation „Fremder“

In dieser Situation bremst ein vorausfahrendes Fahrzeug an einer Kreuzung heftig ab und biegt dann ohne vorheriges Blinken links ab. Dieses ungewöhnliche Verhalten kann der Fahrer in der gut erkennbaren Variante sehr gut antizipieren, da das Vorderfahrzeug vor diesem Manöver bereits mehrfach an Kreuzungen gebremst und geblinkt hatte und dann doch nicht abgebogen war (als „suche“ er nach dem richtigen Weg).

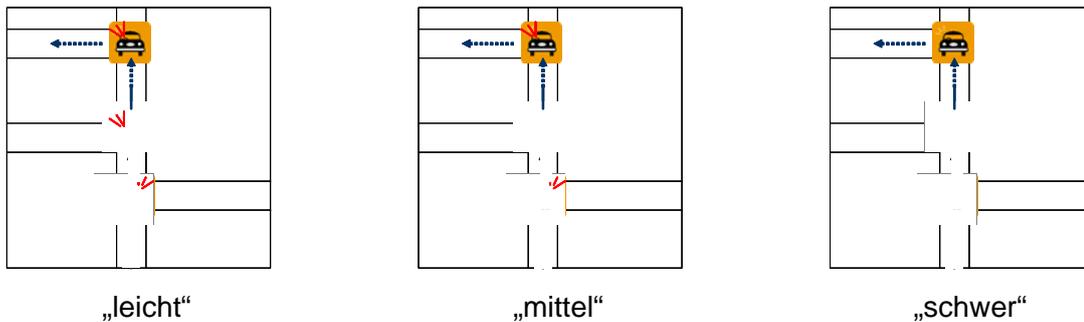


Abbildung 10-4: Veranschaulichung der Situationsabstufung in Situation „Fremder“.

In der mittel erkennbaren Situation bremst der Vorausfahrende vorher ebenfalls mehrfach an Abzweigungen ab, blinkt aber seltener als in der vorigen Variante. In der schlecht erkennbaren Variante werden die Verhaltensabsichten des Vorausfahrenden lediglich durch sein Geschwindigkeitsverhalten deutlich. Andere Anzeichen, wie Bremslichter oder Blinker, werden in dieser Variante nicht vorgegeben.

### Situation „Einordnen“

In dieser Situation muss der Fahrer sich an einer zweistreifigen ampelgeregelten Kreuzung zum Geradeausfahren auf der linken Spur einordnen. Die besondere Kreuzungssituation wird dem Fahrer in der gut erkennbaren Variante sehr deutlich durch eine entsprechende Beschilderung an der Kreuzung angezeigt. In der mittel erkennbaren Variante werden die unterschiedlichen Fahrtrichtungen lediglich über Pfeile auf den Fahrstreifen angezeigt. Deutlich schlechter erkennbar ist die Situation, wenn der Fahrer nur aus dem Blinkverhalten der anderen Fahrzeuge an der Kreuzung erkennen kann, dass er sich links einordnen muss.

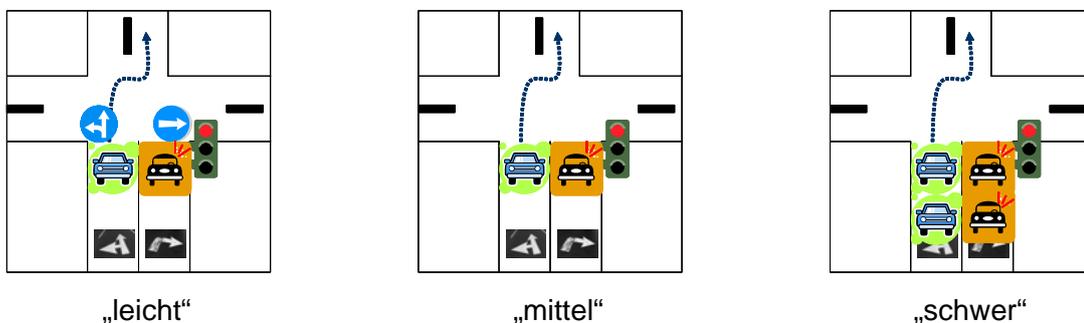
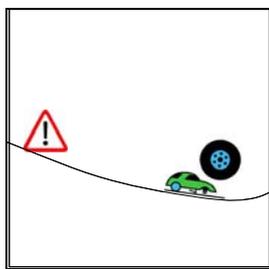


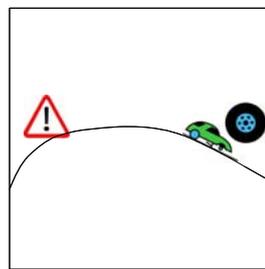
Abbildung 10-5: Veranschaulichung der Situationsabstufung in Situation „Einordnen“.

### Situation „Pannenfahrzeug“

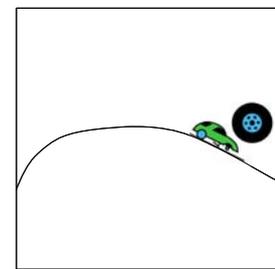
In dieser Situation entsteht ein potenzieller Konflikt durch ein stehendes Pannenfahrzeug auf der Landstraße, auf das der Fahrer reagieren muss. In der gut erkennbaren Variante ist das Pannenfahrzeug über ein Warndreieck angekündigt und steht in einer Senke. In der weniger gut erkennbaren Variante ist das Pannenfahrzeug selbst zwar erst sehr spät erkennbar, da es sich hinter einer Kuppe befindet, das Warndreieck weist jedoch bereits vor der Kuppe auf diesen potenziellen Konfliktpunkt hin. In der schlecht erkennbaren Variante ist das Fahrzeug durch eine Kuppe verdeckt und nicht durch ein Warndreieck gekennzeichnet. In diesem Fall muss der Fahrer allein aus der Tatsache, dass der weitere Streckenverlauf durch die Kuppe nicht einsehbar ist, mit unvorhersehbaren Ereignissen rechnen. In einer weiteren Situationsvariante wird ein zusätzlicher Handlungsstrang eingeführt, der aus einem während der Annäherungsphase an das Pannenfahrzeug von hinten überholendem Fahrzeug besteht. Der Fahrer muss in der Lage sein, angemessen auf dieses zu reagieren und entsprechend erst ein Ausweichmanöver einleiten, wenn das Fahrzeug überholt hat.



„leicht“



„mittel“

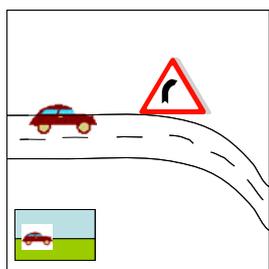


„schwer“

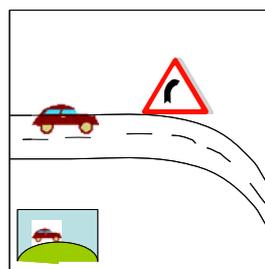
Abbildung 10-6: Veranschaulichung der Situationsabstufung in Situation „Pannenfahrzeug“.

### Situation „Wechsel“

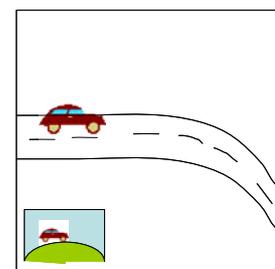
In dieser Situation muss der Fahrer den Wechsel zwischen geraden und kurvigen Streckenabschnitten rechtzeitig erkennen und frühzeitig seine Geschwindigkeit reduzieren. In der gut erkennbaren Variante sind die kurvigen Abschnitte durch den ebenen Streckenverlauf und die Kennzeichnung über entsprechende Kurvenschilder gut vorhersehbar. Eingeschränkt wird dies in der mittleren Variante durch ein stärkeres Höhenprofil, was die Erkennbarkeit der Kurven verschlechtert. In der schwersten Variante sind die bevorstehenden kurvigen Abschnitte dadurch schlecht erkennbar, dass sie durch Kuppen verdeckt werden und nicht durch entsprechende Beschilderung gekennzeichnet sind.



„leicht“



„mittel“

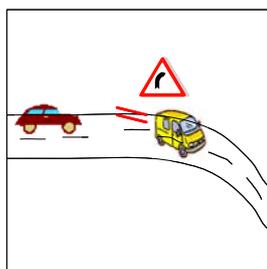


„schwer“

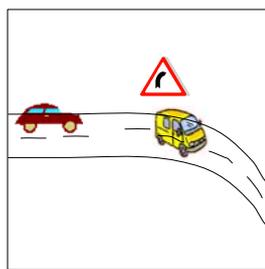
Abbildung 10-7: Veranschaulichung der Situationsabstufung in Situation „Wechsel“.

### Situation „Car Follow“

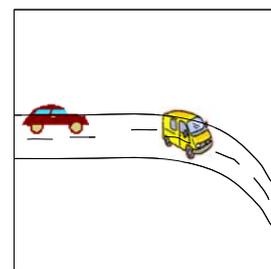
In dieser Situation entsteht durch das falsche Verhalten eines vorausfahrenden Fahrzeugs eine kritische Situation. Das vorausfahrende Fahrzeug fährt vor dem EGO-Fahrzeug zu schnell in eine scharfe Kurve auf der Landstraße. Der Fahrer muss frühzeitig erkennen, dass er sich von der Hauptaufgabe des Folgefahrens lösen und seine Geschwindigkeit selbständig anpassen muss. Anderenfalls kann es dazu kommen, dass der Fahrer sich in dieser Situation von dem Vorausfahrenden „mitziehen“ lässt, was eine zu hohe Geschwindigkeit in der Kurve nach sich zieht. Das fehlerhafte Verhalten des Vorausfahrenden wird in der gut erkennbaren Variante dadurch sehr deutlich, dass die Kurve durch eine entsprechende Beschilderung als scharfe Kurve ausgewiesen ist und der Vordermann dennoch deutlich vor der Kurve beschleunigt. In der mittel erkennbaren Situation ist eine Kurvenwarnung gegeben, das Vorderfahrzeug beschleunigt aber weniger stark, so dass die Unangemessenheit des Verhaltens weniger deutlich wird. In der schlecht erkennbaren Variante beschleunigt der Vordermann wieder sehr gemächlich, so dass der Fahrer geneigt sein könnte, sich diesem in seinem Geschwindigkeitsverhalten anzupassen. Außerdem fehlt die Kurvenwarnung.



„leicht“



„mittel“



„schwer“

Abbildung 10-8: Veranschaulichung der Situationsabstufung in Situation „CarFollow“.

## 10.3 Instruktion Studie 1

### 10.3.1 Instruktion Übung

Lieber Testfahrer,

Sie werden im folgenden Versuch einen Fahrparcours im Fahrsimulator durchfahren. Währenddessen sollen Sie eine Nebenaufgabe bearbeiten.

Stellen Sie sich dabei vor, Sie wollen neben dem Fahren eine Zigarette anzünden, SMS schreiben, eine neue CD einlegen, etwas in ihrer Handtasche/Rucksack suchen usw. Bei all diesen Aufgaben sollten Sie sich gut überlegen, ob es die Fahrsituation gerade zulässt, dass Sie sich neben dem Fahren noch mit etwas anderem beschäftigen. Außerdem sollten Sie abschätzen, wie lange Sie maximal für diese Aufgabe den Blick von der Straße abwenden können, ohne sich und andere zu gefährden.

Die Nebenaufgabe, die Sie später während der Fahrt machen sollen, sieht folgendermaßen aus: Zu vorgegebenen Zeitpunkten erhalten Sie, während Sie fahren, das Angebot, eine Aufgabe zu bearbeiten.

Dazu wird Ihnen im Head-Up Display, d.h. direkt vor Ihnen auf der Fahrbahn, ein Fragezeichen eingeblendet.

Sobald das Fragezeichen vor Ihnen erscheint, haben Sie **drei Sekunden** Zeit, sich zu entscheiden, ob Sie eine Aufgabe bearbeiten möchten. Machen Sie diese Entscheidung bitte davon abhängig, ob es die Fahrsituation zulässt, sich längere Zeit von der Fahraufgabe abzuwenden.

Haben Sie sich dafür entschieden, eine Aufgabe auszuführen, drücken Sie bitte eine der beiden Lenkradtasten und halten sie die Taste so lange gedrückt, wie Sie die Aufgabe bearbeiten möchten. Nach dem Start erscheinen Ziffern in einem festen Zeittakt von einer halben Sekunde hintereinander auf dem unteren Bildschirm in der Mittelkonsole, z.B. „1, 2, 1“. Ihre Aufgabe ist es, die **Ziffern der Reihe nach laut vorzulesen**. Es kommen so lange Ziffern, wie sie die Taste gedrückt halten. Sobald Sie den Finger von der Taste nehmen, ist die Aufgabe beendet.

Überlegen Sie sich gut, wie lange Sie eine Aufgabe bearbeiten können, bevor Sie wieder zurück auf die Straße schauen müssen und drücken Sie auch nur so lange die Taste. Für jede richtige Ziffer, die Sie nennen erhalten Sie einen **Pluspunkt**. Je länger Sie die Aufgabe bearbeiten, desto mehr Punkte bekommen Sie also. Allerdings ist die Anzahl von Ziffern, die sie maximal bei einem Aufgabenangebot bearbeiten können, auf 10 Ziffern begrenzt. Danach endet die Aufgabe automatisch. Bei einer begonnenen, aber fehlerhaften Aufgabe, z.B. wenn Sie eine Ziffer auslassen müssen, weil Sie doch zwischendrin auf die Straße zurückschauen müssen, gehen alle Pluspunkte für diese eine Aufgabe verloren und Sie müssen zusätzlich einen **Punkt abzug von 10 Punkten** in Kauf nehmen. Drücken Sie die Taste also nur so lange, wie sie auch tatsächlich von der Fahrbahn wegschauen können.

Wenn Sie innerhalb der vorgegeben Entscheidungszeit von 3 s keine Taste drücken, verfällt die Aufgabe. Sie erhalten dann zwar keine Punkte, riskieren aber auch keinen Punktabzug. Erst beim nächsten Angebot können Sie dann wieder eine Aufgabe bearbeiten.

Bitte achten Sie darauf, dass das Fahren nach wie vor die höchste Priorität hat! Um zu gewährleisten, dass Sie die Fahraufgabe nicht vernachlässigen, werden Ihnen bei schwerwiegenden Fahrfehlern Punkte abgezogen:

- Für zu schnelles Fahren (d.h. über 110 km/h auf Landstraßen, über 55 km/h in der Innenstadt): **-10 Punkte**
- Für zu langsames Fahren und dadurch Behinderung des rückwärtigen Verkehrs: **-10 Punkte**
- Für unnötiges Überfahren der Spurbegrenzungen (sowohl nach rechts zum Fahrbahnrand als auch über die Mittellinie) : **-20 Punkte**
- Für die Kollision mit anderen Fahrzeugen oder Fußgängern: **-40 Punkte**

Der Fahrer mit der höchsten Punktzahl (Summe aus Plus- und Minuspunkten) am Ende erhält einen Buchgutschein!

Sie haben jetzt die Möglichkeit, die Aufgabe zunächst erst einmal im Stand und während der Fahrt zu üben. Bitte probieren Sie dabei aus, unterschiedliche lange Aufgaben zu bearbeiten und wie sich dies auf Ihre Fahrleistung auswirkt.

### 10.3.2 Instruktion Versuchsfahrt

Lieber Testfahrer,

Sie werden jetzt im Fahrsimulator eine Strecke befahren, die abwechselnd auf der Landstraße und durch Ortschaften führt. Ihre Aufgabe ist es, die Strecke **zügig** und **gemäß der StVo** zu durchfahren (also z.B. Rechtsfahrgebot, Vorfahrtsregelungen beachten, Blinken bei Hindernissen/Überholen). Dabei sollen Sie weder sich noch andere gefährden.

Sofern es nicht anders angegeben ist, gelten die üblichen Geschwindigkeitsbeschränkungen von 100 km/h auf der Landstraße bzw. 50 km/h in der Innenstadt. Ihnen ist jederzeit erlaubt, andere Fahrzeuge/Hindernisse zu überholen, sofern es nach der StVO erlaubt ist und die Situation es zulässt.

Fahren Sie bitte, sofern es nicht anders angegeben ist, an Kreuzungen immer gerade aus weiter. Sollen Sie an einer Kreuzung oder Einmündung abbiegen, wird Ihnen durch ein grünes Pfeilschild mit der Aufschrift „Ziel“ angezeigt, in welche Richtung Sie weiterfahren sollen.

Zusätzlich sollen Sie während dem Fahren die Nebenaufgabe so bearbeiten, wie Sie sie jetzt schon geübt haben.

**Denken Sie bitte daran:** Machen Sie die Entscheidung, ob und wie lange Sie eine Aufgabe bearbeiten können, von der Fahrsituation abhängig! Sie haben 3 s Zeit für diese Entscheidung! Wenn Sie innerhalb der vorgegeben Entscheidungszeit von 3 s keine Taste drücken, verfällt die Aufgabe. Sie erhalten dann zwar keine Punkte, riskieren aber auch keinen Punktabzug.

Hier noch einmal die Punkteverteilung:

Pro genannte Ziffer:	+ 1 P.
Fehler in der Nebenaufgabe:	-10 P.
Zu schnelles/zu langsames Fahren	-10 P.
Überfahren der Spurbegrenzung:	-20 P.
Kollision mit anderen:	-40 P.

Während der Fahrt wird die Blickbewegung mit aufgezeichnet. Aus diesem Grund sollten Sie sich während der Fahrt möglichst nicht mit der Hand ins Gesicht oder an den Kopf fassen. Beides stört die Erfassung der Blickrichtung. Für die Blickbewegungsmessung wird zu Beginn der Fahrt eine kurze Messung durchgeführt, bei der Sie insgesamt neun Punkte der Reihe nach anschauen sollen. Der Versuchsleiter wird Ihnen wenn es soweit ist, erklären, was Sie machen sollen.

Falls Ihnen während der Fahrt unwohl wird, teilen Sie dies bitte dem Versuchsleiter umgehend mit. Die gesamte Versuchsfahrt dauert ca. 1 Stunde. Nach ca. 35 Minuten können Sie eine Pause von 5 min. einlegen und sich erholen. Der zweite Teil wird dann nur noch ca. 25 Minuten dauern.

Wenn die Simulation gleich gestartet wird, fahren Sie bitte nicht direkt los. Es erfolgt zuerst noch die Kalibrierung der Blickbewegungsmessung.

## 10.4 Instruktion Studie 2

### 10.4.1 Instruktion Übung

#### Lieber Testfahrer,

Sie werden im anschließenden Fahrparcours gebeten, zusätzlich zur Fahrt eine Nebenaufgabe auszuführen. In diesem Fall sollen Sie ein Informationssystem bedienen, wie es in neuen Autos immer häufiger zu finden ist, z.B. in Form von Navigationssystemen oder Infotainment-Systemen, mit denen man ins Internet gehen, Telefonieren, Radio bedienen oder auch Einstellungen des Fahrzeugs regulieren kann, alles über ein einziges Menü.

Der Aufbau ist dabei vergleichbar mit dem Menü eines Handys. Wenn Sie dort auf Telefonbuch gehen, dann können Sie z.B. wählen zwischen „neuen Kontakt erstellen“ oder „Kontakt anrufen“- bei „anrufen“ erhalten Sie dann die Liste der gespeicherten Kontakte, aus denen Sie dann wiederum auswählen können...die Menüpunkte werden also immer spezifischer.

Das Menüsystem wird Ihnen auf dem unteren Display in der Mittelkonsole dargeboten. Ihre Aufgabe ist es, in dem Menüsystem zu vorgegebenen Menüfunktionen zu „navigieren“. Dazu bedienen Sie den Joystick, der auf der Mittelkonsole angebracht ist.

Wenn Sie den Joystick nach rechts bewegen, beginnt die Aufgabe mit einem grauen Bildschirm. Über eine weitere Bewegung nach rechts erhalten Sie dann die Menüfunktion, die Sie suchen sollen, unten links im Display eingeblendet (z.B. „Mozart“-CD“). Mit einer weiteren Bewegung nach rechts gelangen Sie in das Menüsystem.

Das Menü, das Sie hier bedienen sollen, besteht aus zwei Ebenen. Auf der obersten Ebene befinden sich die Oberbegriffe. Durch Bewegungen des Joysticks nach oben oder unten bewegen Sie sich innerhalb dieser Menüebene nach oben oder unten und können so einen der angezeigten Begriffe auswählen. Der Begriff, bei dem Sie sich gerade befinden, ist jeweils gelb hinterlegt.

Wählen Sie nun z.B. den Begriff „Audio“ aus und bewegen den Joystick nach rechts, gelangen Sie auf die zweite Ebene, zu den Unterbegriffen von „Audio“. Hier müssen Sie nur noch den gesuchten Begriff (hier: Mozart) ansteuern. Haben Sie den gesuchten Begriff erreicht, bestätigen Sie dies bitte durch eine Joystickbewegung nach rechts. Es erscheint dann ein Bildschirm mit der Rückmeldung, dass es sich um den richtigen Begriff handelt. Diese Aufgabe ist damit beendet. Bewegen Sie den Hebel erneut nach rechts, beginnt eine neue Aufgabe wiederum mit dem grauen Bildschirm und anschließend dem gesuchten Begriff.

Haben Sie einen falschen Begriff bestätigt, erscheint ein „Falschbildschirm“, in dem Ihnen der zu suchende Begriff noch einmal genannt wird. Um die Aufgabe weiter bearbeiten zu können, müssen Sie mit einer Joystickbewegung nach links wieder im Menü zurückgehen. Durch diese Bewegungen nach links gelangen Sie wieder schrittweise zurück auf die höheren Ebenen und können von dort aus unter einem anderen Oberbegriff den vorgegeben Menüpunkt weitersuchen.

Sollten Sie einmal während der Aufgabe vergessen haben, welchen Begriff Sie suchen sollen, gehen Sie am besten einfach ganz nach rechts durch, bis der Falschbildschirm erscheint. So bekommen Sie die Aufgabe noch mal gestellt.

-- Zur Übung möchte ich Sie jetzt bitten, einige Aufgaben im Menü zu bearbeiten --

## 10.4.2 Instruktion Versuchsfahrt

Lieber Testfahrer,

Sie werden jetzt im Fahrsimulator eine Strecke befahren, die abwechselnd auf der Landstraße und durch Ortschaften führt. Ihre Aufgabe ist es, die Strecke **zügig** und **gemäß der StVo** zu durchfahren (also z.B. Rechtsfahrgebot, Vorfahrtsregelungen beachten, Blinken bei Hindernissen/Überholen). Dabei sollen Sie weder sich noch andere gefährden.

Sofern es nicht anders angegeben ist, gelten die üblichen Geschwindigkeitsbeschränkungen von 100 km/h auf der Landstraße bzw. 50 km/h in der Innenstadt. Ihnen ist jederzeit erlaubt, andere Fahrzeuge/Hindernisse zu überholen, sofern es nach der StVO erlaubt ist und die Situation es zulässt.

Fahren Sie bitte, sofern es nicht anders angegeben ist, an Kreuzungen immer gerade aus weiter. Sollen Sie an einer Kreuzung oder Einmündung abbiegen, wird Ihnen durch ein grünes Pfeilschild mit der Aufschrift „Ziel“ angezeigt, in welche Richtung Sie weiterfahren sollen.

Zusätzlich sollen Sie während dem Fahren die Menüaufgabe so bearbeiten, wie Sie sie jetzt schon geübt haben.

**Denken Sie bitte daran:** Machen Sie die Entscheidung, ob und wie lange Sie eine Aufgabe bearbeiten können, von der Fahrsituation abhängig! Sie haben 3 s Zeit für diese Entscheidung! Wenn Sie innerhalb der vorgegeben Entscheidungszeit von 3 s keine Taste drücken, verfällt die Aufgabe. Sie erhalten dann zwar keine Punkte, riskieren aber auch keinen Punktabzug.

Hier noch einmal die Punkteverteilung:

Pro zurückgelegten Schritt im Menüsystem:	+ 1 P.
Pro richtig gelöste Aufgabe:	+ 3 P.
Aufgabenannahme ohne jegliche Bedieneingabe	-10 P.
Zu schnelles/zu langsames Fahren	-10 P.
Überfahren der Spurbegrenzung:	-20 P.
Kollision mit anderen:	-40 P.

Während der Fahrt wird die Blickbewegung mit aufgezeichnet. Aus diesem Grund sollten Sie sich während der Fahrt möglichst nicht mit der Hand ins Gesicht oder an den Kopf fassen. Beides stört die Erfassung der Blickrichtung. Bitte lehnen Sie außerdem Ihren Kopf während der gesamten Fahrt an der Kopfstütze an, so dass Sie aufrecht sitzen. Für die Blickbewegungsmessung wird zu Beginn der Fahrt eine kurze Messung durchgeführt, bei der Sie insgesamt neun Punkte der Reihe nach anschauen sollen. Der Versuchsleiter wird Ihnen wenn es soweit ist, erklären, was Sie machen sollen.

Falls Ihnen während der Fahrt unwohl wird, teilen Sie dies bitte dem Versuchsleiter umgehend mit. Die gesamte Versuchsfahrt dauert ca. 1 Stunde. Nach ca. 35 Minuten können Sie eine Pause von 5 min. einlegen und sich erholen. Der zweite Teil wird dann nur noch ca. 25 Minuten dauern.

Wenn die Simulation gleich gestartet wird, fahren Sie bitte nicht direkt los. Es erfolgt zuerst noch die Kalibrierung der Blickbewegungsmessung.

## 10.5 Fragebogen Studie 3

### Versuch Kontrollblicke3: Nachbefragung

VPNr: \_\_\_\_\_

VPName: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Bedingung: \_\_\_\_\_

Bitte geben Sie für die eben durchgeführten Fahrten an:

1. Wie aufmerksam sind Sie gefahren?

gar nicht 0	sehr wenig 1 - 2 - 3	wenig 4 - 5 - 6	mittel 7 - 8 - 9	viel 10 - 11 - 12	sehr viel 13 - 14 - 15
-------------------	----------------------------	--------------------	---------------------	----------------------	------------------------------

2. Wie anstrengend war die Fahrt?

gar nicht 0	sehr wenig 1 - 2 - 3	wenig 4 - 5 - 6	mittel 7 - 8 - 9	viel 10 - 11 - 12	sehr viel 13 - 14 - 15
-------------------	----------------------------	--------------------	---------------------	----------------------	------------------------------

3. Wie schwer war die Fahrt?

gar nicht 0	sehr leicht 1 - 2 - 3	leicht 4 - 5 - 6	mittel 7 - 8 - 9	schwer 10 - 11 - 12	sehr schwer 13 - 14 - 15
-------------------	-----------------------------	---------------------	---------------------	------------------------	--------------------------------

4. Wie schwer war die Zahlenaufgabe?

gar nicht 0	sehr leicht 1 - 2 - 3	leicht 4 - 5 - 6	mittel 7 - 8 - 9	schwer 10 - 11 - 12	sehr schwer 13 - 14 - 15
-------------------	-----------------------------	---------------------	---------------------	------------------------	--------------------------------

5. Wie gut konnten Sie die Veränderungen entdecken?

gar nicht 0	sehr schlecht 1 - 2 - 3	schlecht 4 - 5 - 6	mittel 7 - 8 - 9	gut 10 - 11 - 12	sehr gut 13 - 14 - 15
-------------------	-------------------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	-----------------------------

## 10.6 Fragebogen Studie 4

### Versuch C-Praktikum CY: Nachbefragung

VPNr: \_\_\_\_\_

VPName: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Bedingung: \_\_\_\_\_

Bitte geben Sie für die eben durchgeführten Fahrten an:

1. Wie aufmerksam sind Sie gefahren?

gar nicht 0	sehr wenig 1 - 2 - 3	wenig 4 - 5 - 6	mittel 7 - 8 - 9	viel 10 - 11 - 12	sehr viel 13 - 14 - 15
-------------------	----------------------------	--------------------	---------------------	----------------------	------------------------------

2. Wie anstrengend war die Fahrt?

gar nicht 0	sehr wenig 1 - 2 - 3	wenig 4 - 5 - 6	mittel 7 - 8 - 9	viel 10 - 11 - 12	sehr viel 13 - 14 - 15
-------------------	----------------------------	--------------------	---------------------	----------------------	------------------------------

3. Wie schwer war die Fahrt?

gar nicht 0	sehr leicht 1 - 2 - 3	leicht 4 - 5 - 6	mittel 7 - 8 - 9	schwer 10 - 11 - 12	sehr schwer 13 - 14 - 15
-------------------	-----------------------------	---------------------	---------------------	------------------------	--------------------------------

4. Wie schwer war die Zahlenaufgabe?

gar nicht 0	sehr leicht 1 - 2 - 3	leicht 4 - 5 - 6	mittel 7 - 8 - 9	schwer 10 - 11 - 12	sehr schwer 13 - 14 - 15
-------------------	-----------------------------	---------------------	---------------------	------------------------	--------------------------------

5. Wie gut konnten Sie die Veränderungen entdecken?

gar nicht 0	sehr schlecht 1 - 2 - 3	schlecht 4 - 5 - 6	mittel 7 - 8 - 9	gut 10 - 11 - 12	sehr gut 13 - 14 - 15
-------------------	-------------------------------	-----------------------	---------------------	---------------------	-----------------------------

---

# LEBENS LAUF

BARBARA METZ

## PERSÖNLICHE DATEN

---

Barbara Jutta Metz, geb. Gradenegger  
Geboren am 26. Februar 1978 in Würzburg  
Nationalität: deutsch

## BERUFSERFAHRUNG

---

- Seit 01/2004 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Interdisziplinären Zentrum für Verkehrswissenschaften (IZVW) / Lehrstuhl für Psychologie III (Methodenlehre und Verkehrspsychologie, Prof. H-P Krüger) an der Universität Würzburg
- Mitarbeit in Projekten zur Wahrnehmung von Lenkmomentveränderungen, zu Situationsbewusstsein beim Fahren mit Informationssystemen, zur Bewertung von Fahrerassistenzsystemen, zur Messung von Ablenkung beim Fahren mit Nebenaufgaben mittels Blick- und Kopfbewegung sowie zur Wahrnehmung von Beschilderung auf Autobahnen
  - Aktuell Projektleitung im EU-Projekt Euro-FOT (Bewertung von Navigationssystemen mittels Field Operational Test)
  - Lehre im Rahmen des Vertiefungsfachs Verkehrspsychologie an der Universität Würzburg und im Rahmen des Elitestudiengangs „Neuro-cognitive psychology“ an der Ludwig-Maximilians Universität, München

## PRAKTIKA

---

- 10/1998–11/1998 Praktikum in einem Kinderheim in Kulmbach,  
01/2000–03/2000 Praktikum in einer geriatrischen Rehabilitationsklinik in Würzburg  
02/2001–03/2001 Forschungspraktikum am Max-Planck-Institute für Neuro-cognitive Sciences in Leipzig,  
09/2000 Praktikum in einer Erziehungsberatungsstelle in Würzburg  
05/2003–07/2003 Praktikum in der Abteilung für Forschung und Entwicklung der Robert Bosch GmbH, Schwieberdingen

---

## AUSLANDSSTUDIUM

---

- 09/2001-12/2001 Studium der Psychologie an der Universität Amsterdam, Niederlande.
- Kurse in Neurowissenschaften und Methodenlehre
  - Forschungspraktikum in Sozialpsychologie (Prof. van Dijksterhuis)

## HILFSWISSENSCHAFTLICHE TÄTIGKEITEN

---

- 03/1999, 07/1999 Wissenschaftliche Hilfskraft am Lehrstuhl für Psychologie IV (Entwicklung- und Pädagogische Psychologie) an der Universität Würzburg
- 08/1999 Wissenschaftliche Hilfskraft am Lehrstuhl für Psychologie I (Interventionspsychologie) an der Universität Würzburg
- 08/2000-06/2002 Wissenschaftliche Hilfskraft am Lehrstuhl für Psychologie III (Methodenlehre und Verkehrspsychologie) an der Universität Würzburg

## UNIVERSITÄRE AUSBILDUNG

---

- 1997–2004 Studium der Psychologie an der Bayerischen Julius–Maximilians–Universität, Würzburg
- 02/2004
- Diplom
- 10/1999
- Vordiplom
  - Vertiefungsfach: Verkehrspsychologie

## SCHULISCHE AUSBILDUNG

---

- 1988–1997 Besuch des Deutschhaus-Gymnasiums in Würzburg
- Abschluss Abitur
- 1984–1988 Besuch der Grundschule in Würzburg

Würzburg, 3.April 2009