

# **Detektion und Regulation aktivierungsabhängiger visueller Verengung beim Fahrer**

Eine empirische Forschungsarbeit  
zur Erfassung des Fahrerzustandes

Zur Erlangung des akademischen Grades  
**Doktor der Ingenieurwissenschaften**  
der Fakultät für Maschinenbau  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Psych. Katharina Barby

Tag der mündlichen Prüfung: 15.09.2014

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Michael Popp

# Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit untersucht den Fahrerzustand der visuellen Verengung, der dadurch gekennzeichnet ist, dass die periphere Wahrnehmung des Fahrers eingeschränkt ist. Harbluk, Noy und Eizenmann (2002) definieren diesen Zustand durch einen Anstieg in der Dauer im geradeaus Blicken und einer reduzierten Detektion peripher liegender Reize. Auf diese Weise können am Rand des Blickfeldes liegende Gefahr- oder Hinweisreize nicht oder erst spät vom Fahrer erfasst werden (Schlag, 2008; Cohen, 2009). In der Arbeit wird die zentrale Fragestellung untersucht, wie die visuelle Verengung mit der psychophysiologischen Aktivierung des Fahrers zusammenhängt und wie diese durch die Lautstärke und das Tempo von Musik reguliert werden kann.

Dazu wurden vier Studien durchgeführt, die in der Summe 169 Teilnehmer im Realverkehr (Studie 1) oder im Fahrsimulator (Studie 2, 3, 4) untersuchten. Die Blickverteilung wurde dabei durch Blickregistrierungssysteme (Studie 1, 2, 4) oder Reaktionszeittests (Studie 3) erhoben. In den Studien 3 und 4 wurde zusätzlich Musik präsentiert.

Die Auswertungen zeigen, dass eine höhere Aktivierung des Fahrers zu einer signifikant höheren relativen Fixierung der zentralen Blickfeldareale führt (Studie 1 und 2), wohingegen periphere Areale signifikant weniger fixiert werden (Studie 1). In Studie 3 zeigt sich ein signifikanter Einfluss der Lautstärke und des Tempos der Musik auf die Reaktionszeiten peripher liegender Reize, welche bei einer mittleren Lautstärke und einem mittleren Tempo signifikant schneller sind.

Aufgrund der Literaturrecherche und dieser Studienergebnisse wird angenommen, dass ein u-förmiger Zusammenhang zwischen der visuellen Verengung und der Aktivierung des Fahrers besteht. Die gleiche Beziehung ist zwischen der Lautstärke bzw. dem Tempo der Musik und der Aktivierung zu verzeichnen. Die Musik führt somit zu einer Aktivierung des Fahrers,

---

welche je nach Lautstärke- und Tempograd variiert und somit auch die visuelle Verengung beeinflusst. Es wird daher eine Regulation der visuellen Verengung durch die Musik angenommen.

Auf dieser Basis werden Gestaltungsempfehlungen für ein Fahrassistenzsystem gegeben, das den Fahrerzustand der visuellen Verengung, mittels berührungslosen Blickregistrierungssystems erfasst und durch eine Aktivierungsänderung (beispielsweise durch Musik) reguliert. Damit liefert die Arbeit einen neuen Ansatz zur Förderung der aktiven Sicherheit des Fahrers.

# Abstract

This dissertation examines the drivers visual field narrowing which is indicated by a reduction of the drivers peripheral perception. Harbluk, Noy und Eizenmann (2002) characterize this state by an increase of looking straight ahead and a simultaneous decrease in detecting peripheral cue stimuli. In this way peripheral risky cue stimuli may be detected later or not all (Schlag, 2008; Cohen, 2009).

In this thesis the following central questions are studied: the relationship between the visual field narrowing and the psycho-physiological activation of the driver as well as the regulation of this activation through the volume and tempo of music.

For this purpose, four studies have been carried out, analyzing 169 participants in real traffic (study 1) or in a driving simulator (study 2, 3, 4). The gaze distribution was explored by eye tracking systems (study 1, 2, 4) or a reaction test (study 3). In addition, music has been presented in study 3 and 4.

The analysis shows that a higher activation of the driver results in a significantly higher relative fixation rate of the central visual fields (study 1 and 2), whereas peripheral fields are significantly less fixated (study 1). Study 3 shows a significant effect of the volume and the tempo of the music on the reaction times of peripheral cue stimuli, which are faster with a moderate volume and a moderate tempo.

Due to these results and the literature review it is summarized that there is an u-shaped relationship between the visual field narrowing and the activation of the driver. The same association is observed between either the volume or the tempo of music and the activation. The music leads to an activation of the driver, which varies due to the volume level and tempo of the music. Consequently it is indicated that the visual field narrowing can be regulated through the music.

---

On this basis recommendations for an advanced driver assistance system are deduced for detection and regulation. Thus, this thesis contributes a new approach to aid the active safety of the driver.

# Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Frau Prof. Barbara Deml bedanken. Ihre verständnisvolle, motivierende und kompetente Betreuung hat mich bis zum Schluss begeistert. Besonders bedanken möchte ich mich für die gewährte Freiheit im Prozess und in der Gestaltung meiner Dissertation sowie für ihre Unterstützung diese Arbeit trotz der Entfernung zum Abschluss zu bringen.

Herrn Prof. Michael Popp danke ich für seine Begutachtung dieser Arbeit.

Bei meinen ehemaligen Kollegen vom IAF der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg möchte ich mich ebenfalls bedanken. Sie haben mich den größten Teil der Zeit begleitet und mir durch anregende Diskussionen und tatkräftige Unterstützung zur Seite gestanden.

Weiterhin möchte ich mich bei all den Psychologie und Maschinenbau Studenten bedanken, die mir bei den empirischen Erhebungen geholfen haben.

Mein persönlicher Dank geht an meine Familie, insbesondere an meine Eltern, Cornelia und Hartmut Papendick, und Großeltern Roswitha und Arnulf Jung. Sie haben immer an mich geglaubt und mich in allem unterstützt, was ich mir vorgenommen habe. Ein Dankeschön auch an meine Schwiegermutter Christina Barby für die Zeit, die sie sich nahm diese Arbeit interessiert und sorgfältig Korrektur zu lesen.

Zuletzt danke ich meinem Ehemann Morris Barby. Er hat mich immer wieder motiviert, mir Mut gemacht und mir durch seine Unterstützung all die notwendige Zeit verschafft, die ich brauchte.

Lieben Dank an alle!

Karlsruhe, im November 2014

*Katharina Barby*



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation und Zielsetzung . . . . .	1
1.2	Gliederung der Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Fahrerzustände und Fahrassistenzsysteme</b>	<b>5</b>
2.1	Fahrerzustand . . . . .	5
2.2	Fahrerassistenzsysteme . . . . .	7
2.3	Fahrerzustandserkennung . . . . .	10
2.4	Zusammenfassung . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Detektion aktivierungsabhängiger visueller Verengung</b>	<b>13</b>
3.1	Visuelle Verengung und Aktivierung . . . . .	13
3.1.1	Visuelle Wahrnehmungsfelder . . . . .	13
3.1.2	Zusammenhang zwischen visueller Verengung und Aktivierung . . . . .	17
3.1.2.1	Aktivierungstheoretischer Ansatz . . . . .	18
3.1.2.2	Belastungs-Beanspruchungs-Ansatz . . . . .	23
3.1.2.3	Aktivierungsmessung . . . . .	27
3.1.3	Ansätze zur Detektion visueller Verengung . . . . .	33
3.1.3.1	Reaktionszeiterhebung . . . . .	33
3.1.3.2	Blickregistrierungsverfahren . . . . .	35
3.1.4	Zusammenfassung . . . . .	40
3.2	Fragen und Hypothesen: aktivierungsabhängige vi- suelle Verengung . . . . .	41
3.3	Empirische Untersuchungen: aktivierungsabhängige visuelle Verengung . . . . .	44
3.3.1	Empirische Studie 1: berührungslose Detekti- on visueller Verengung . . . . .	44



3.3.1.1	Methode . . . . .	46
3.3.1.2	Ergebnisse . . . . .	59
3.3.1.3	Diskussion . . . . .	70
3.3.2	Empirische Studie 2: kopfbasierte Detektion visueller Verengung . . . . .	77
3.3.2.1	Methode . . . . .	78
3.3.2.2	Ergebnisse . . . . .	86
3.3.2.3	Diskussion . . . . .	90
3.4	Diskussion zur Detektion aktivierungsabhängiger visueller Verengung . . . . .	94
<b>4</b>	<b>Regulation visueller Verengung durch Musik</b>	<b>99</b>
4.1	Zusammenhang zwischen Musik und visueller Verengung . . . . .	99
4.1.1	Die Bedeutung der Musik für den Fahrer . . . . .	99
4.1.2	Aktivierung durch Musik . . . . .	102
4.1.3	Musik zur Regulation visueller Verengung . . . . .	110
4.1.4	Zusammenfassung . . . . .	112
4.2	Fragen und Hypothesen: Regulation visueller Verengung durch Musik . . . . .	113
4.3	Empirische Untersuchungen: Regulation visueller Verengung durch Musik . . . . .	115
4.3.1	Empirische Studie 3: reaktionszeitbasierte Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation . . . . .	115
4.3.1.1	Methode . . . . .	116
4.3.1.2	Ergebnisse . . . . .	123
4.3.1.3	Diskussion . . . . .	130
4.3.2	Empirische Studie 4: kopfbasierte Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariationen . . . . .	135

4.3.2.1	Methode . . . . .	136
4.3.2.2	Ergebnisse . . . . .	141
4.3.2.3	Diskussion . . . . .	145
4.4	Diskussion zur Regulation visueller Verengung durch Musik . . . . .	149
<b>5</b>	<b>Gesamtdiskussion</b>	<b>155</b>
<b>6</b>	<b>Gestaltungsempfehlungen</b>	<b>159</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>165</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	<b>191</b>
8.1	Anhang A . . . . .	191
8.2	Anhang B . . . . .	192
8.3	Anhang C . . . . .	193
8.4	Anhang D . . . . .	194
8.5	Anhang E . . . . .	196
8.6	Anhang F . . . . .	198
8.7	Anhang G . . . . .	200
8.8	Anhang H . . . . .	203
8.9	Anhang I . . . . .	204
8.10	Anhang J . . . . .	205
8.11	Anhang K . . . . .	206
8.12	Anhang L . . . . .	207
8.13	Anhang M . . . . .	208
8.14	Anhang N . . . . .	209
8.15	Anhang O . . . . .	210
8.16	Anhang P . . . . .	211
8.17	Anhang Q . . . . .	212



# Abbildungsverzeichnis

1.1	Gliederung dieser Arbeit . . . . .	3
3.1	Veranschaulichung des fovealen und peripheren Sehens . .	15
3.2	Veranschaulichung des visuellen Tunneleffekts und der ge- nerellen Interferenz . . . . .	17
3.3	Grafische Darstellung des Yerkes-Dodson Gesetz von 1908 (Dietz, 2006). . . . .	20
3.4	Zusammenhang zwischen der Aktivierung und dem Auf- merksamkeitsniveau nach Easterbrook 1959 . . . . .	21
3.5	Zusammenhang zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung . . . . .	22
3.6	AOI der Studie von Harbluk und Kollegen (2006) . . . . .	38
3.7	AOI der Studie von Nabatilan (2007) . . . . .	39
3.8	Untersuchungsgegenstand der Arbeit . . . . .	42
3.9	Versuchsfahrzeug Studie 1 . . . . .	49
3.10	Eye-Tracker Smart Eye Studie 1 . . . . .	50
3.11	Weltenmodell Studie 1 . . . . .	51
3.12	Weltenmodell mit AOI Studie 1 . . . . .	52
3.13	Probandin am Wiener Testsystem Studie 1 . . . . .	55
3.14	Versuchsstrecke Studie 1 . . . . .	57
3.15	Blickverteilung pro AOI pro Aktivierung Studie 1 . . . . .	62
3.16	Blickverteilung für die Verkehrssituation Nr. 7 Studie 1 . .	65
3.17	Blickverteilung für die Verkehrssituation Nr. 8 Studie 1 . .	66
3.18	Blickverteilung für die Verkehrssituation Nr. 5 Studie 1 . .	67
3.19	Zentrale und periphere Bereiche der visuellen Verengung Studie 1 . . . . .	75
3.20	Fahrsimulator Studie 2 . . . . .	80

3.21	Simulierte Landstraßenfahrt mit SILAB (WIVW GmbH)	
	Studie 2 . . . . .	81
3.22	Proband mit Dikablis Blickregistrierungssystem Studie 2 . .	82
3.23	AOI der Studie 2 . . . . .	83
3.24	Subjektive Anstrengungsbeurteilung Studie 2 . . . . .	87
3.25	Prozentualer Anteil richtig gelöster Rechenaufgaben Studie 2	88
3.26	Blickverteilung pro AOI Studie 2 . . . . .	90
4.1	Zusammenhang zwischen der Lautstärke bzw. des Tempos und der visuellen Verengung . . . . .	114
4.2	Verkehrssimulation Studie 3 . . . . .	119
4.3	Statistik nicht detektierter Reize pro Lautstärkebedingung Studie 3 . . . . .	124
4.4	Statistik nicht detektierter Reize pro Tempostufe Studie 3 .	125
4.5	Reaktionszeiten unter vier Lautstärkebedingungen Studie 3	126
4.6	Reaktionszeiten unter vier Tempobedingungen Studie 3 . .	128
4.7	Thayers zweidimensionales Stimmungsmodell (1989) . . .	138
4.8	Prozentualer Anteil der Blicke unter den einzelnen Tempo- bedingungen Studie 4 . . . . .	142
4.9	Mittlere Blickdauer pro AOI unter den einzelnen Tempobe- dingungen Studie 4 . . . . .	144

# Tabellenverzeichnis

3.1	Fahrverhalten der Teilnehmer in Studie 1 . . . . .	47
3.2	AOI des Zylinders im Weltmodell Studie 1 . . . . .	53
3.3	Verwendete Parameter zur Aktivierungsmessung Studie 1 . . . . .	54
3.4	Statistik HR und SEA Studie 1 . . . . .	61
3.5	Häufigkeit z-Werte Studie 1 . . . . .	64
3.6	Fixationsunterschiede Studie 1 . . . . .	69
3.7	Fahrverhalten der mittleren und hohen Altersgruppe Studie 2 . . . . .	79
3.8	Ergebnisse ANOVA pro AOI Studie 2 . . . . .	89
4.1	Musikalische Eigenschaften und ihre aktivierende Wirkung . . . . .	108
4.2	Musiktitel und deren Tempokategorie der Studie 4 . . . . .	139



# Abkürzungsverzeichnis

ADAS	advanced driver assistance systems
AOI	area of interest
ARAS	aufsteigendes retikuläres Aktivierungssystem
AV	abhängige Variable
bpm	beats per minute
EKG	Elektrokardiogramm
EOG	Elektrookulographie
GPS	global positioning system
HF	Herzfrequenz
HFV	Herzfrequenzvariabilität
HR	Herzrate
HRV	Herzratenvariabilität
M	Mittelwert
NSF	nutzbares Sehfeld
OvGU	Otto-von-Guericke-Universität
PDT	peripheral detection task
PP	peripheral perception
RSME	Rating Scale of Mental Effort
RTLX	Raw Task Load Index
SD	Standardabweichung
SDLP	Standardabweichung von der lateralen Position
SEA	Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung
SWAT	Subjective Workload Assessment Technique
TLC	Time-to-Line-Crossing
TLX	NASA Task Load Index
UFOV	useful field of view
UV	unabhängige Variable





# 1 Einleitung

In diesem Einleitungskapitel wird auf die Bedeutsamkeit der visuellen Wahrnehmung eines Fahrers im Straßenverkehr eingegangen und somit die Motivation dieser Arbeit begründet. Eine anschließende Schilderung des Aufbaus der Arbeit schließt das Kapitel ab.

## 1.1 Motivation und Zielsetzung

An eine Mobilität der Menschen ohne das Kraftfahrzeug ist nicht mehr zu denken. In den letzten Jahrzehnten ist ein deutlicher Zuwachs an Kraftfahrern auf den Straßen zu verzeichnen. Dieser Anstieg ist auf die zunehmend mobile Gesellschaft zurückzuführen. Statistiken des Kraftfahrtbundesamtes (2013) prognostizieren einen rasanten Anstieg der PKW Fahrerlaubnisinhaber der 25 bis 44 Jährigen um rund 128 % innerhalb von fünf Jahren. Durch den gestiegenen Fahrerlaubnisbesitz ist ebenfalls der PKW-Besitz angestiegen. Von 1950 bis 2000 hat sich die Anzahl der PKWs in Deutschland ver Hundertfacht (Schlag, 2008).

Trotz der erhöhten Mobilität und steigenden Fahrleistungen sind zurückgehende Unfallzahlen zu verzeichnen, so haben beispielsweise die Unfälle auf Autobahnen von 2002 bis 2012 um 27,5 % abgenommen (Deutscher Verkehrssicherheitsrat, 2013).

Maurer und Stiller (2005) sehen darin das hohe Potenzial von Fahrerassistenzsystemen (FAS), die durch ihre stetig verbessernden Techniken und Innovationen unmittelbar die Fahrsicherheit beeinflussen. Der Fahrer wird in seiner Fahraufgabe unterstützt, wodurch Unfallohftigkeit und Unfallschwere verringert werden können.

Der Fahrer, als Unfallursache, steht somit im Mittelpunkt der Betrachtungen. Der Großteil der Unfälle ist auf menschliche Fehler zurückzuführen (Praxenthaler, 2003; Gründl, 2005). Das Modell der internalen Fehlfunktion

nach Rasmussen (1982) klassifiziert menschliche Fehler auf der Grundlage der Informationsaufnahme und Handlungsausführung und wurde von Gründl (2005) auf den Kraftfahrzeugführer übertragen. Demnach stellt der Informationsfehler nach Rasmussen bei 77 % aller Unfälle eine unfallverursachende Rolle dar. Ein Informationsfehler wird klassifiziert, wenn der Fahrer relevante fahraufgabenbezogene Informationen zu spät oder gar nicht wahrnimmt.

Der Sehsinn stellt für das Führen eines Kraftfahrzeuges die wichtigste Fähigkeit dar. Beim Autofahren ist es von entscheidender Bedeutung seine Aufmerksamkeit auf die, für die Fahraufgabe relevanten Stimuli in der Verkehrsumwelt zu richten und irrelevante Reize auszublenken. Welche Informationen der Fahrer in einer bestimmten Situation wahrnimmt, ist somit auch für FAS ein interessanter Ansatzpunkt, um dem Informationsfehler des Fahrers entgegen zu wirken (Kopf, 2005; Winner et al., 2009).

Die vorliegende Arbeit setzt an diesem Schwerpunkt an und fokussiert die visuelle Wahrnehmung des Kraftfahrzeugführers: den Fahrerzustand der visuellen Verengung. Dieser wird von Harbluk, Noy und Eizenmann (2002) durch eine eingeschränkte periphere Wahrnehmung des Fahrers, im Sinne einer reduzierten Detektion peripher liegender Reize und dem Anstieg in der Dauer im geradeaus Blicken, definiert.

Dieser negative Zustand kann zu einem Informationsfehler führen, indem relevante peripher im Blickfeld liegende Informationen zu spät oder gar nicht wahrgenommen werden.

Das Ziel dieser Arbeit ist, den Fahrerzustand der visuellen Verengung in Abhängigkeit von dessen Auslöser, der Aktivierung des Fahrers, zu definieren und Ansätze zur Detektion und Regulation zu untersuchen. Anhand der Ergebnisse sollen Gestaltungsempfehlungen für die Entwicklung eines FAS gegeben werden.

## 1.2 Gliederung der Arbeit

Diese Arbeit folgt der in Abbildung 1.1 aufgestellten Gliederung und das Vorgehen wird im Folgenden näher erläutert.

Es wird zunächst auf den Begriff und die Vielfältigkeit von Fahrerzuständen eingegangen, um am Ende der Arbeit Gestaltungsempfehlungen für die Entwicklung eines FAS zu geben. Dazu wird der aktuelle Stand der FAS beschrieben und erläutert, wie diese visuelle Fahrerzustände detektieren können (Kapitel 2).

Danach wird der Fahrerzustand der visuellen Verengung definiert und Studien beschrieben, die diesen Zustand in seiner Ursache, der Aktivierung, untersucht haben. Auf dieser Basis wird ein Modell aufgestellt, das den

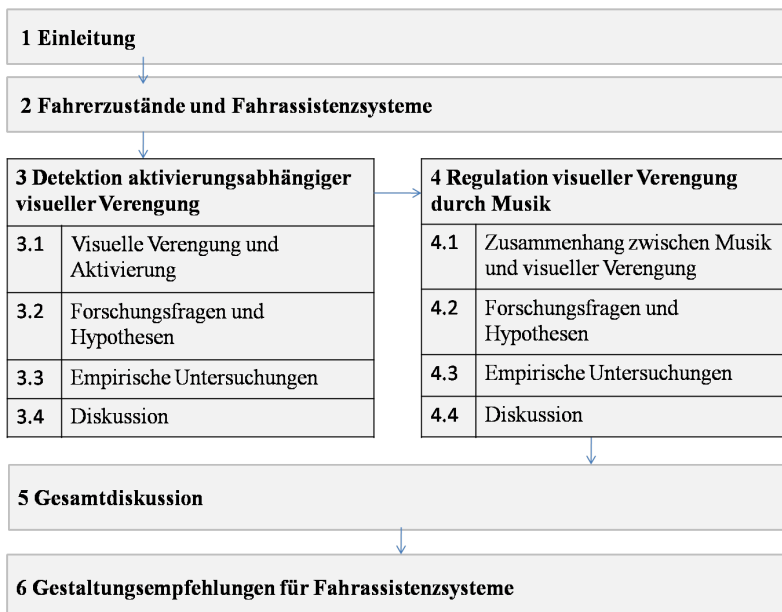


Abb. 1.1: Gliederung dieser Arbeit

Zusammenhang zwischen der visuellen Verengung und der Aktivierung abbildet. Zudem werden Detektionsmöglichkeiten der visuellen Verengung beim Fahrer beschrieben (Kapitel 3.1).

## 2 Fahrerzustände und Fahrassistenzsysteme

In diesem Kapitel wird zunächst das Konstrukt des Fahrerzustandes näher erläutert. Es werden aktuell erforschte Fahrerzustände beschrieben, die mit der visuellen Verengung in einem Zusammenhang stehen, um somit die Bedeutsamkeit der visuellen Verengung für die Fahrerzustandsforschung zu unterstreichen.

Anschließend werden Fahrerassistenzsysteme (FAS) beschrieben, welche zur Erfassung von Fahrerzuständen dienen. Darauf aufbauend werden in Kapitel 6 Ansätze zur Gestaltung eines Fahrassistenzsystems zur Erfassung der visuellen Verengung geschaffen.

### 2.1 Fahrerzustand

Nach Kopf (2005; S. 118) werden unter dem Begriff Fahrerzustand alle fahrrelevanten Informationen über den momentan mit der Fahraufgabe beschäftigten Fahrer zusammengefasst. Dieser Zustand ist über kurz oder lang veränderbar. Es gibt kurzfristig (Minuten, Sekunden) veränderliche Zustände, wie die gerichtete Aufmerksamkeit, die Vigilanz, die Beanspruchung, die Aktivierung oder die Emotionen; mittelfristig (Tage, Stunden) veränderliche Faktoren, wie Tagesrhythmus, gesundheitliche Defizite oder Alkohol- oder Drogeneinfluss; und langfristig (Monate, Jahre) veränderliche Faktoren, wie die Fahrerfahrung, das Fahrkönnen oder die Persönlichkeit.

Die visuelle Verengung gehört ebenfalls zu den kurzfristig veränderlichen Fahrerzuständen, die mit den aktuell im Fokus der Forschung stehenden kurzfristig veränderbaren Fahrerzuständen zusammenhängt (Kapitel 3.1). Dazu zählen die Schläfrigkeit, die Aufmerksamkeit und die emotionalen Zustände, welche im Folgenden näher beschrieben werden.

Laut einer Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen (Eichinger, 2011) sind ca. ein Drittel der Unfälle auf Schläfrigkeit oder Unaufmerksamkeit zurückzuführen:

Das Konstrukt der Schläfrigkeit wird durch den Grad der Wachheit (Vigilanz), somit durch den Aktivierungsgrad des Fahrers (Kapitel 3.1.2.1) definiert und grenzt sich von dem Konstrukt der Müdigkeit ab, die einen Zustand der psychischen Erschöpfung beschreibt. Im Gegensatz zur Müdigkeit stellen insbesondere monotone Situationen einen Schlafstimulus bei Schläfrigkeit dar. Zudem unterliegt die Schläfrigkeit circadianen Schwankungen (Lal & Craig, 2001; Shen et al., 2006).

Das Konstrukt der Vigilanz ist eng verbunden mit der Aufmerksamkeit (Kapitel 3.1.2.1). Diese kann beeinträchtigt sein, wenn der Fahrer abgelenkt ist. Der Fahrerzustand der Ablenkung stellt eine entscheidende Unfallursache dar. Dingus und Kollegen (2006) ermittelten, dass in 80 % aller analysierten Unfälle eine vorrausgehende visuelle Ablenkung stattfand. Ablenkung ist gekennzeichnet durch eine nicht auf die Fahraufgabe gerichtete Aufmerksamkeit des Fahrers (Theofanou, 2002; Gelau, 2004). Eine oft untersuchte Ablenkung stellt das Telefonieren mit dem Mobiltelefon während der Fahrt dar (Alm & Nilsson, 1994; Schweizer, 2004; Patten et al., 2004; Strayer et al., 2006).

Desweiteren wirken sich emotionale Zustände des Fahrers auf dessen Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit aus. So ist die Wahrscheinlichkeit für ein riskantes Fahrverhalten bei verärgerten Fahrern am größten (Deffenbacher et al., 2003; Nass et al., 2005; Grimm et al., 2007). Emotionen stellen psychische Prozesse, als Reaktion auf bewusst wahrgenommene Objekte oder Situationen, dar. Damit einher gehen physiologische Veränderungen, Kognitionen, subjektive Gefühlserleben (beispielsweise Ärger, Angst, Freude, Trauer) und Verhaltensänderungen. Emotionen sind aktuell nicht klar definiert und bedürfen weiterer Forschung. Stimmungen sind von Emotionen abzugrenzen, da Emotionen relativ kurz und intensiv sind, Stimmungen hingegen langandauernd und ungerichtet (Frijda 1993; Mees, 2006).

Das Stresserleben ist ebenfalls den Emotionen zuzuordnen, da es eine unspezifische Anpassungsreaktion darstellt und durch ein erhöhtes Aktivierungsniveau charakterisiert ist (Selye, 1956; Lazarus, 1966). Im Fahrkontext kann Stress durch die Verkehrssituation selbst oder durch äußere oder innere Faktoren hervorgerufen werden (Gulian, 1989). Der Fahrer zeichnet sich durch eine hohe Beanspruchung aus (Kapitel 3.1.2.2). Stress führt zu einer verminderten Entscheidungskompetenz, einem vermindertem Situationsbewusstsein und einer reduzierten Leistung (Matthews, 1998). Fahrerzustände sollten von einer Fahrerintention, wie dem Spurhalten oder -wechseln, der Routenwahl oder dem Einbiegen und Kreuzen, abgegrenzt werden.

### 2.2 Fahrerassistenzsysteme

FAS sind elektronische Zusatzeinrichtungen im Kraftfahrzeug, die den Fahrer in seiner primären Fahraufgabe unterstützen und somit einen Beitrag zur aktiven Sicherheit des Fahrers liefern. Aktiv meint hier die Vermeidung von Unfällen im Gegensatz zu passiv die Minderung von Unfallfolgen (beispielsweise durch Airbag oder Sicherheitsgurt) (Reif, 2010; Vollrath, 2011).

Den Vorteil von aktiven FAS argumentiert Vollrath (2011) durch:

- die Entlastung des Fahrers,
- die Erhöhung der Verkehrssicherheit und
- das Verkehrsmanagement.

FAS erfassen frühzeitig sicherheitskritische Situationen, um den Fahrer zu warnen (haptisch, visuell oder auditiv) oder andere FAS zu parametrieren, um rechtzeitig in die Fahrzeugdynamik einzugreifen (beispielsweise Spurhalte- oder Notbremsassistent). Somit werden Über- oder Unterforderungen des Fahrers abgebaut, dessen Fahrkompetenz erhöht und der Fahrkomfort gefördert (Schneider, 2009; Reif, 2010; Vollrath, 2011). In einer



Studie vom Bundesamt für Straßenwesen untersuchten Vollrath und Kollegen (2006) 2.813 Unfallprotokolle aus dem Raum Braunschweig. Es zeigt sich, dass ca. 70 % der Unfälle mithilfe von FAS hätten vermieden werden können.

Von zentraler Bedeutung ist, dass der Fahrer jederzeit das FAS übersteuern bzw. deaktivieren kann und er somit die vollständige Kontrolle und Verantwortung über das Fahrzeug behält. Dies wurde im Wiener Übereinkommen festgeschrieben (WÜ-StV, 1968).

FAS dürfen den Fahrer nicht zusätzlich beanspruchen oder ablenken (Winner et al., 2009). Andererseits ist zu bedenken, dass durch eine vermehrte Entlastung bei der Fahraufgabe die Aktivierung des Fahrers ggf. zu stark gesenkt wird und dies zu einer Unterforderung führen kann. Ein optimales Aktivierungsniveau des Fahrers sollte somit zu jeder Zeit aufrecht erhalten werden (Hargutt & Krüger, 2001; Young & Stanton, 2002; Maurer & Stiller, 2005; Schneider, 2009).

Die Klassifikation von FAS ist nicht einheitlich definiert. In der Literatur werden verschiedene Einordnungen vorgenommen (Maurer & Stiller, 2005; Schneider, 2009; Reif, 2010). Maurer und Stiller (2005) teilen FAS in autonome Systeme, Komfortsysteme, Fahrerinformationssysteme und effizienzsteigernde Systeme. Frank und Reichelt (2001) klassifizieren in Information, Warnung und Eingriff, wobei der Automatisierungsgrad einbezogen wird. Vollrath (2011) teilt die FAS in Navigations-, Stabilisierungs- und Bahnführungs-Systeme.

In dieser Arbeit wird die Klassifikation von Frank und Reichelt (2001) aufgegriffen, da diese Unterteilung erste Anhaltspunkte für die Gestaltung eines FAS zur visuellen Verengung gibt (Kapitel 6). Dazu werden exemplarisch einige FAS genannt, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht.

- Information:

Diese Systeme bieten dem Fahrer Informationen über den Zustand des Kraftfahrzeuges oder geben andere fahraufgabenrelevante Aus-

künfte. Dazu zählen beispielsweise das Navigationssystem oder der Verkehrszeichenerkennung (Mai et al., 2007; Wendel, 2007). Fahrerassistenzsysteme (FAS) sind davon abzugrenzen, da diese nur mittelbar mit der Fahraufgabe zusammenhängen (beispielsweise das Autoradio oder das Autotelefon).

- **Warnung:**

Diese Systeme warnen den Fahrer in sicherheitskritischen Situationen. Dazu zählen beispielsweise der Spurverlassens- oder Aufmerksamkeitswarner (Schmitz, 2004; Bundele, 2010).

- **Eingriff:**

Diese FAS greifen aktiv in die Fahrzeugdynamik (Längs- oder Querführung) ein, entweder selbst oder vom Fahrer initiiert. Der adaptive Geschwindigkeitsregler (Adaptive Cruise Control, ACC) passt beispielsweise die Fahrzeuggeschwindigkeit an das vorrausfahrende Fahrzeug an, wenn der Fahrer das System aktiviert. Dagegen greifen das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP), das Antiblockiersystem (ABS) und der Notbremsassistent automatisch ein (Reinisch & Zahn, 2011).

Fahrerassistenzsysteme nutzen verschiedene Informationsquellen, um den Fahrerzustand oder die Fahrumgebung abzubilden. Dazu zählen Kameras, Ultraschall- und Radarsensoren, Lidarsysteme, Positionsinformationen durch das Global Positioning System (GPS; globales Navigationssatellitensystem) und zukünftige Kommunikationssysteme, wie Car-to-Car oder Car-to-Infrastructure (Maurer & Stiller, 2005; Winner et al., 2009; Reif, 2010).

### 2.3 Fahrerzustandserkennung

Die Fahrerzustandserkennung mittels FAS ist ein wichtiger Bestandteil, um Fehlhandlungen des Fahrers von vornherein zu vermeiden. Die Fahrfehlerursache wird somit in den Fokus der Entwicklung von FAS gestellt. Bei den langfristigen Fahrerzustandsfaktoren (beispielsweise Fahrkönnen, Persönlichkeit) genügt es, diese einmalig zu erfassen und in einer Datenbank zu speichern, um sie anhand eines Fahreridentifikationssystems, bei der nächsten Fahrt den entsprechenden FAS und FIS zugänglich zu machen. Die kurz- und mittelfristigen Fahrerzustandsfaktoren müssen hingegen aktuell erfasst werden. Direkte (physiologische Daten, siehe Kapitel 3.1.2.3) und indirekte (Fahrverhaltensdaten, siehe Kapitel 3.1.2.3) Verfahren erlauben einen Rückschluss auf den Fahrerzustand. Je nach Faktor kommen unterschiedliche Messgrößen in Frage, wie beispielsweise Mimik und Gestik, Fahrverhalten, Blickverhalten oder andere physiologische Korrelate (Kopf, 2005).

Da in dieser Arbeit die Fahrerzustandserkennung der visuellen Verengung untersucht wird, wird an dieser Stelle näher auf Fahrerzustandserkennungssysteme eingegangen, welche die visuelle Informationsaufnahme des Fahrers betreffen.

Es gibt FAS, die einen schläfrigen Fahrer rechtzeitig über seinen Zustand informieren, bevor es zu einem sicherheitskritischen Fahrverhalten kommt (Reif, 2010). Zur Vorhersage werden mehrere Parameter eingesetzt, wobei Lidbewegungen, insbesondere die prozentuale Zeit pro Minute in der das Augenlid geschlossen ist (percentage of eyelid closure, PERCLOS), am aussagekräftigsten und genauesten sind (Verwey & Zaidel, 1999; Zhu & Ji, 2004; Kopf, 2005). Mithilfe von Blickregistrierungskameras (siehe Kapitel 3.1.3.2) werden die Lidschlaghäufigkeit, -dauer und -geschwindigkeit und der Augenöffnungsgrad erfasst (Kopf, 2005). Neben diesen Lidbewegungen werden aber auch Blick- und Kopfbewegungen (Zhu & Ji, 2004), das Fahrverhalten (Sanpeng et al., 2010), der Fahrkontext und weitere phy-

siologische Parameter herangezogen (Sanpeng et al., 2010). In Bezug auf das Fahrverhalten ist Schläfrigkeit durch ausgesetzte Lenkphasen gefolgt von abrupter Lenkung, gekennzeichnet. Diese Fahrverhaltensinformationen werden mit der Blinkersetzung, der Tageszeit und der Geschwindigkeit kombiniert (Blaschke, 2011). Der Fahrer wird jeweils durch ein Symbol in Form einer Kaffeetasse im Informationsdisplay des Fahrzeuges zu einer Pause aufgefordert, welche ggf. noch durch ein akustisches Signal bestärkt wird.

Die Aufmerksamkeitsrichtung des Fahrers wird im Fahrzeug durch Blickregistrierungssysteme erfasst (Kapitel 3.1.3.2). Ist der Fahrer in einer kritischen Situation abgelenkt, kann das FAS eine Auffahrwarnung geben. Papendick et al. (2012) untersuchten beispielsweise in einer Fahrstudie, wie gut ein Ablenkungsalgorithmus auf der Grundlage von Blickregistrierungssystemen eine differenzierte Ablenkung detektieren kann. Sonnleitner (2012) nutzte die Ableitung hirnelektrischer Potenziale zur Erfassung der Unaufmerksamkeit des Fahrers. Diese Methode besitzt jedoch keine Durchführungseffizienz, das heißt das Verfahren ist im alltäglichen Kontext nicht praktisch einzusetzen und anzuwenden (DeWaard, 1996; Manzey, 1998).

### **2.4 Zusammenfassung**

Es zeigt sich, dass aktuell viele verschiedene Fahrerzustände in ihrer Wirkung auf die Fahrsicherheit untersucht werden. Diese beschreiben in erster Linie kurzfristig veränderliche Zustände, wozu ebenfalls die visuelle Verengung zählt. Mithilfe der sensorischen Erfassung durch FAS soll der Fahrer entlastet, die Verkehrssicherheit erhöht und der Verkehrsfluss angepasst werden. Zudem dienen FAS der Detektion von Fahrerzuständen, wie am Beispiel der Detektion der Schläfrigkeit dargestellt.

Der Zustand der visuellen Verengung liegt bisher nicht im Fokus der Fahrerzustandsforschung und soll im folgenden Kapitel 3 dieser Arbeit in seiner Ursache und Wirkung näher betrachtet werden. Zudem wird die

Möglichkeit der Detektion untersucht, um somit sicherheitsgewährleistende Strategien für FAS abzuleiten (Kapitel 6).

## **3 Detektion aktivierungsabhängiger visueller Verengung**

Dieses Kapitel der Arbeit fokussiert den Fahrerzustand der visuellen Verengung in Abhängigkeit der Aktivierung des Fahrers. Dazu wird eine Literaturrecherche vorangestellt, die den Fahrerzustand in seinem Zusammenhang untersucht und Detektionsmöglichkeiten beschreibt. Anschließend werden Hypothesen aufgestellt, die durch zwei empirische Erhebungen untersucht werden. Die Ergebnisse beider Studien werden in Anlehnung an die Hypothesen am Ende des Kapitels diskutiert.

### **3.1 Visuelle Verengung und Aktivierung**

In diesem Kapitel wird das Konstrukt der visuellen Verengung definiert und die Problematik dieses Fahrerzustandes für die Sicherheit im Verkehr verdeutlicht. Der Zusammenhang mit der Aktivierung als Ursache wird anhand von Literatur untersucht und darauf aufbauend ein Modell aufgestellt, das den Zusammenhang beschreibt. Zudem werden Detektionsansätze vorgestellt.

#### **3.1.1 Visuelle Wahrnehmungsfelder**

Das Führen eines Kraftfahrzeuges ist in erster Linie eine visuelle Aufgabe, bei der ca. 90 % der Fahrinformationen über die Augen aufgenommen werden (Bao & Boyle, 2009). Neben fixierten Objekten, die vom Fahrer foveal verarbeitet werden (Fovea: Ort des schärfsten Sehens), betrifft die visuelle Wahrnehmung auch Informationen, die in den peripheren Blickfeldarealen liegen. Die periphere visuelle Wahrnehmung ist für das Führen eines Fahrzeuges ein wichtiger Prozess, durch den die Aufmerksamkeit des Fahrers auf neue relevante Objekte gelenkt wird. So werden auffällige Reize um die

foveale Stelle herum entweder sofort identifiziert oder im nächsten Schritt fixiert (Schlag, 2008).

Miura (1986) konnte anhand verschiedener Fahrsituationen und Fahrmanöver zeigen, dass sowohl die foveale als auch die periphere Wahrnehmung für das Autofahren von Bedeutung sind. Beim geradeaus Fahren ist das foveale Sehen für die weite Vorausschau und das periphere Sehen für die Überwachung der Spurhaltung von Bedeutung. Desweiteren ist das periphere Sehen für die Geschwindigkeits- und Entfernungswahrnehmung wichtig. Das foveale und periphere Sehen stellen somit die Grundlage für die Orientierung im Verkehr dar (besonders in Kreuzungssituationen und dichtem Verkehr); dieser Prozess läuft umso besser ab, je breiter das periphere Sehen ist (Green, 2002; Schlag, 2008).

Im Normalfall erstreckt sich das periphere Sehen auf ca.  $180^\circ$ , dies verkleinert sich jedoch ab einem Alter von 70 Jahren auf ca.  $140^\circ$ . Der Punkt, der aktuell fixiert wird, verfügt über die höchste Schärfe mit bis zu 2 bis  $3^\circ$  um den fixierten Punkt herum. Bei über  $5^\circ$  außerhalb des Fixierpunktes fällt die Sehschärfe auf mehr als 50 % ab bis hin zu 10 % bei einer Entfernung von  $25^\circ$  (Green, 2002). Das sensorische Gesichtsfeld ( $60$  bis  $100^\circ$  um den Fixierpunkt) zeichnet sich durch seine Sensitivität gegenüber Lichtreizen aus, welches sich mit steigendem Alter verkleinert (siehe Abbildung 3.1).

Diese beschriebenen Bedingungen beziehen sich auf das sogenannte Gesichtsfeld, welches das visuelle Feld ohne Augen- und Kopfbewegungen abdeckt (Rötting, 2001). Durch Augen- und Kopfbewegungen kann das visuelle Wahrnehmungsfeld erweitert werden. Somit werden zudem ein Augenfeld (zusätzliche Augenbewegungen), sowie ein Blickfeld (durch Kopf- und Augenbewegungen) unterschieden. Alle visuellen Felder sind in horizontaler Richtung größer als in vertikaler und beschreiben demnach eine elliptische Form (Rötting, 2001).

Das meist untersuchte Gesichtsfeld ist das sogenannte Useful Field of View (UFOV), auch als nutzbares Sehfeld (NSF) bezeichnet. Es beschreibt ca. 2 bis  $4^\circ$  des Feldes, das den Fixierpunkt umgibt (Ball et al., 1993; Isler

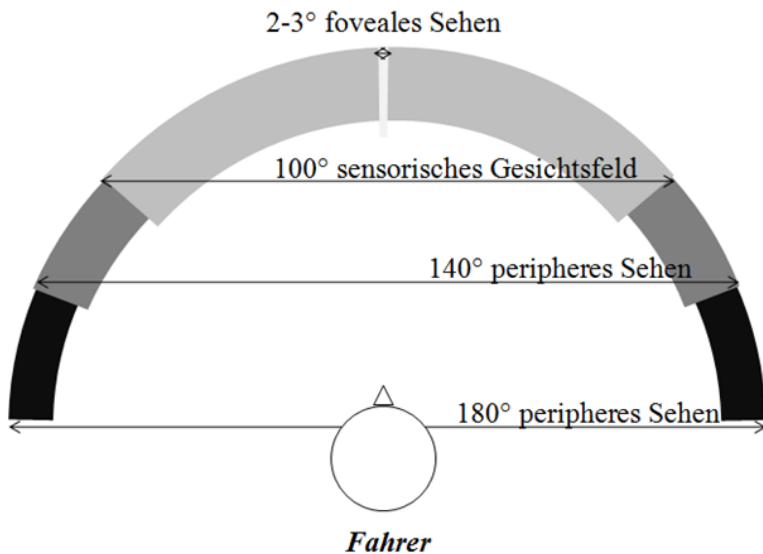


Abb. 3.1: Veranschaulichung des fovealen und peripheren Sehens, wenn ein Fahrer einen Punkt geradeaus fixiert.

et al., 1997; Ratanen & Goldberg, 1999; Schlag, 2008). Das UFOV besteht aus einem binokularen Gesichtsfeld des zentralen scharfen Sehens und einem weitergefassten lateralen Augenfeld des peripheren Sehens (binokular und monokular). Innerhalb dieser Felder können visuelle Reize und deren Eigenschaften identifiziert und ins Bewusstsein des Betrachters treten (Ball et al., 1993; Isler et al., 1997; Green, 2002). Studien haben gezeigt, dass sich die Größe des UFOVs mit steigendem Alter verkleinert (Ball et al., 1993; Sekuler, Bennett, Mamelak, 2000; Green, 2002; Rogé, 2004; Schlag, 2008).

Zentrale (Bereiche höchster Sehschärfe) und periphere Blickfelder (Bereiche geringster Sehschärfe) bilden daher die Grundlage für das sichere Führen von Kraftfahrzeugen im Straßenverkehr.

Visuelle Wahrnehmungsfelder können sich aber auch unabhängig vom



Alter in ihrer Größe verändern. Solch einen Zustand beschreibt die visuelle Verengung. Sie zeichnet sich durch einen Anstieg in der Dauer im geradeaus Blicken (zentrale visuelle Blickfelder) und einer reduzierten Detektion peripherer Reize aus (Harbluk, Noy & Eizenmann, 2002). Die visuelle Verengung stellt demnach eine Einschränkung der Aufmerksamkeit auf zentrale Blickfeldareale dar, wodurch periphere Reize weniger Beachtung finden. In Verkehrssituationen kann dies negative Konsequenzen haben, da die visuelle Orientierung erschwert ist und somit peripher erscheinende Gefahr- oder Hinweisreize nicht oder erst spät vom Fahrer detektiert werden (Janelle, Singer & Williams, 1999; Rogé et al., 2002; Harbluk, Noy, Trbovich & Eizenman, 2006; Wood et al., 2006; Cohen, 2009). Desweiteren kann durch eine visuelle Verengung die Überwachung der Spurhaltung und die Wahrnehmung für die Geschwindigkeit und Entfernung beeinträchtigt werden (Green, 2002; Schlag, 2008).

Die visuelle Verengung wird in ihrer Ausprägung konträr diskutiert. Der sogenannte visuelle Tunneleffekt beschreibt eine Detektionsabnahme peripherer Reize mit deren horizontaler Entfernung vom Fixationspunkt. Dem gegenüber steht die generelle Interferenz, die eine generelle Abnahme der peripheren Detektion, unabhängig von deren Entfernungswinkel abbildet (Williams, 1995; Ratanen & Goldberg, 1999; Recarte & Nunes, 2003). Beide Konstrukte sind in Abbildung 3.2 veranschaulicht.

Diese zwei Konstrukte werden seit längerer Zeit diskutiert und in Bezug auf den Fahrkontext untersucht (Martens & van Winsum, 2000; Crundall, Underwood und Chapman, 2002; Recarte & Nunes, 2003; Rogé et al., 2002, 2003, 2004). Studien befürworteten einheitlich das Modell der generellen Interferenz unter der Bedingung, dass die peripheren Reize, die zur Messung herangezogen werden, fahraufgabenrelevant sind (Rogé et al., 2002, 2004). Wenn die peripheren Reize für die Fahraufgabe irrelevant sind, so zeigt sich eher ein visueller Tunneleffekt (Rogé, 2003). Das Phänomen der generellen Interferenz sei daher laut Dirkin und Hancock (1985, nach Martens & van Winsum, 2000) eine selektive Aufmerksamkeitsverschiebung hin zu fahrre-

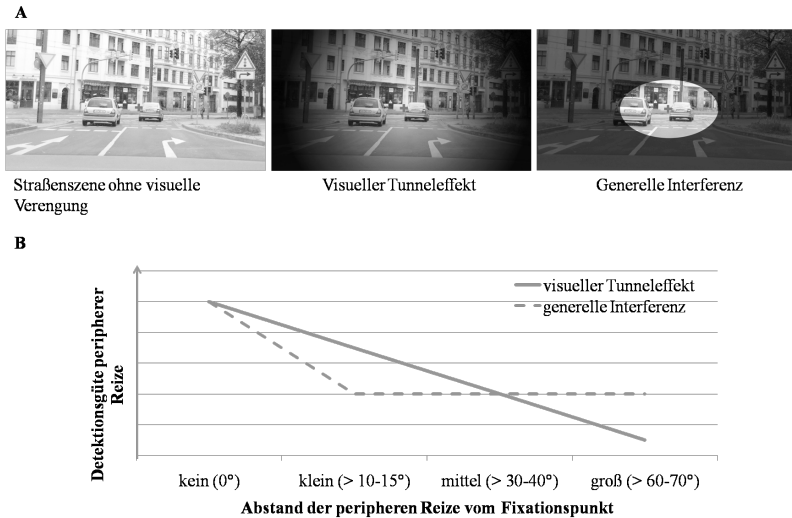


Abb. 3.2: Veranschaulichung des visuellen Tunneleffekts und der generellen Interferenz (A: Fahrersicht mit einem Fixationskreuz, B: Diagramm der funktionalen Beziehung zwischen dem Entfernungswinkel vom Fixationspunkt und der peripheren Leistung).

levanten Reizen, unabhängig von deren Entfernung zum Fixationspunkt.

Neben den Charakteristika der visuellen Verengung stellt sich zudem die Frage nach den Ursachen. Das ist Gegenstand des nachfolgenden Kapitels.

#### 3.1.2 Zusammenhang zwischen visueller Verengung und Aktivierung

Im Folgenden werden theoretische Modelle vorgestellt, die zur Ableitung des Zusammenhangs zwischen der visuellen Verengung und der Aktivierung genutzt werden. Zudem wird darauf eingegangen, wie die Aktivierung gemessen werden kann, um einen solchen Zusammenhang untersuchen zu können.

#### 3.1.2.1 Aktivierungstheoretischer Ansatz

Die Begriffsbezeichnungen Erregung (engl. Arousal) wird im Zusammenhang mit der Aktivierung oft synonym verwendet werden (Dorsch, 1976; Tewes, 1992; Diller, 1994; Lefrancois, 1994; Borgaes, 2007). Die Aktivierung wird dabei auf einer psychophysiologischen Ebene beschrieben (Bartenwerfer, 1969).

Auf physiologischer Ebene beschreibt die Aktivierung die Erregung von Nervenzellen in der Hirnrinde (Dorsch, 1976; Lefrancois, 1994; Borgaes, 2007). Dieser Aktivierungsgrad des Organismus basiert auf einem neuronalen System, dem aufsteigenden retikulären Aktivierungssystem (ARAS). Zu dem ARAS gehören die vom Hirnstamm zum Thalamus (bündelndes Kerngebiet im Gehirn) und zur Großhirnrinde gehenden Nervenfasern (Moruzzi & Magoun, 1949). Eine Erregung dieses Systems entsteht durch äußere (beispielsweise neuartige Reize, physische Belastungen) oder innere (beispielsweise Angst, Konzentration) Reize (Dorsch, 1976; Thayer, 1978, 1989; Tewes, 1992; Diller, 1994; Lefrancois, 1994; Borgaes, 2007).

Auf psychologischer Ebene wird Aktivierung als der daraus resultierende Grad der Aufmerksamkeit des Organismus verstanden, der sich von einem minimalen Erregungsniveau (beispielsweise Schlaf, entspannte Wachheit), über moderate Stufen (wache Aufmerksamkeit), bis zu maximalen Erregungsniveaus (beispielsweise Stress, Panik, Angst) erstreckt (Moruzzi & Magoun, 1949; Foscht & Swoboda, 2004).

Die Aktivierung stellt eine Mobilisierung von Energieressourcen dar, um den Organismus in einen Zustand der Leistungsbereitschaft zu versetzen (Tewes, 1992; Diller, 1994; Borgaes, 2007). Es wird zudem zwischen tonischer und phasischer Aktivierung unterschieden (Diller, 1994; Arolt, 2004). Die tonische Aktivierung beschreibt dabei eine allgemeine, andauernde Wachheit (auch Vigilanz genannt) und demnach eine andauernde Leistungsfähigkeit; die phasische Aktivierung hingegen eine kurzzeitige Leistungssteigerung (auch alertness genannt). Die phasische Aktivierung

hängt mit dem Konstrukt der ungerichteten Aufmerksamkeit zusammen, die von der fokussierten selektiven Aufmerksamkeit zu trennen ist (Diller, 1994; Arolt, 2004).

Überträgt man diese Konstrukte auf das Beispiel einer Landstraßenfahrt bei Nacht, so stellt die tonische Aktivierung die andauernde Fahrleistung dar, wohingegen die phasische Aktivierung einsetzt, wenn entgegenkommende Fahrzeuge mittels Lichthupe vor einer potentiellen Gefahrenquelle, wie Wildwechsel, warnen. Der Fahrer wird somit in einen Zustand der Reaktionsbereitschaft (alertness) mit einer erhöhten Aufmerksamkeit für potentielle Gefahrenquellen versetzt.

Nach dem Yerkes-Dodson Gesetz (auch unter Lambda-Hypothese bekannt) gibt es einen Zusammenhang zwischen der Aktivierung des Organismus und der Leistung (Yerkes & Dodson, 1908; Diller, 1994, Foscht & Swoboda, 2004; Dietz, 2006). Das Yerkes-Dodson Gesetz bezieht sich auf eine umgekehrt-u-förmige Beziehung zwischen der Aktivierung und der Leistung. Demnach wird die höchste Leistung bei einer mittleren Aktivierung erreicht und das Leistungsvermögen sinkt bei zu niedriger oder zu hoher Aktivierung (Lefrancois, 1994; Borgaes, 2007). Dabei variiert das optimale Aktivierungsniveau für eine höchstmögliche Leistung mit der Aufgabenschwierigkeit, so dass das optimale Aktivierungsniveau für schwere Aufgaben unter dem optimalen Aktivierungsniveau von leichten Aufgaben liegt (Abbildung 3.3).

Fünf Jahrzehnte später beschrieb auch Easterbrook (1959) mit seiner Cue utilization Theorie einen umgekehrt-u-förmigen Zusammenhang. Seine Theorie legt die funktionale Beziehung zwischen der Aktivierung und dem Aufmerksamkeitsniveau relevanter Reize dar. Im Vergleich zum Yerkes-Dodson-Gesetz kann deren Parameter Leistung mit dem Aufmerksamkeitsniveau für relevante Reize in Easterbrooks Theorie gleichgesetzt werden, wodurch sich der gleiche funktionale Zusammenhang ergibt. Liegt der Aktivierungsgrad auf einem niedrigen Niveau, so werden relevante und irrelevante Reize gleichermaßen selektiert. Da die Aufmerksamkeitsleistung

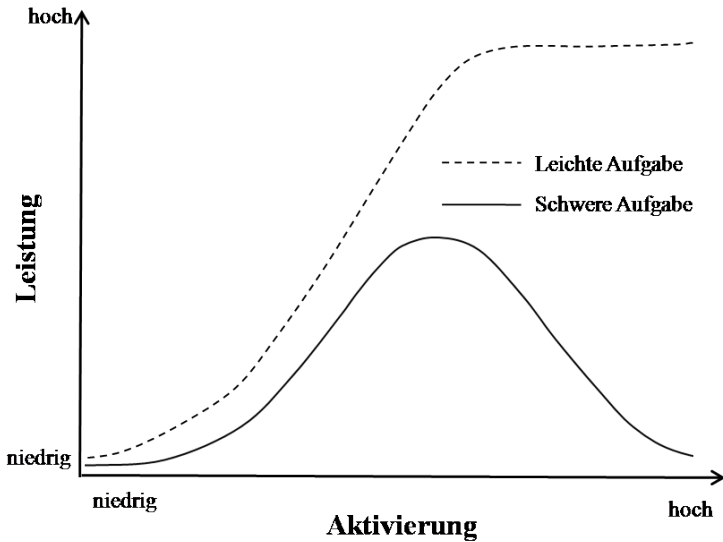


Abb. 3.3: Grafische Darstellung des Yerkes-Dodson Gesetz von 1908 (Dietz, 2006).

begrenzt ist, kann das Aufmerksamkeitsniveau für relevante Reize herabgesetzt sein, da gleichzeitig relevante und irrelevante Reize verarbeitet werden müssen. Steigt das Aktivierungsniveau auf ein moderates, mittleres Niveau, so werden irrelevante Reize zunehmend ausgeblendet und nur relevante Reize selektiert; das Aufmerksamkeitsniveau für relevante Reize ist demnach optimal. Steigt das Aktivierungsniveau weiterhin an, so werden auch relevante Reize zunehmend ausgeblendet; das Aufmerksamkeitsniveau für relevante Reize sinkt dementsprechend wieder (Abbildung 3.4). Demnach wird das höchste Aufmerksamkeitsniveau für relevante Reize bei einer mittleren Aktivierung erreicht, wobei es bei einer zu hohen oder zu niedrigen Aktivierung geringer ist. Gleicher Zusammenhang besteht für die Leistung und die Aktivierung nach dem Yerkes-Dodson Gesetz (1908).

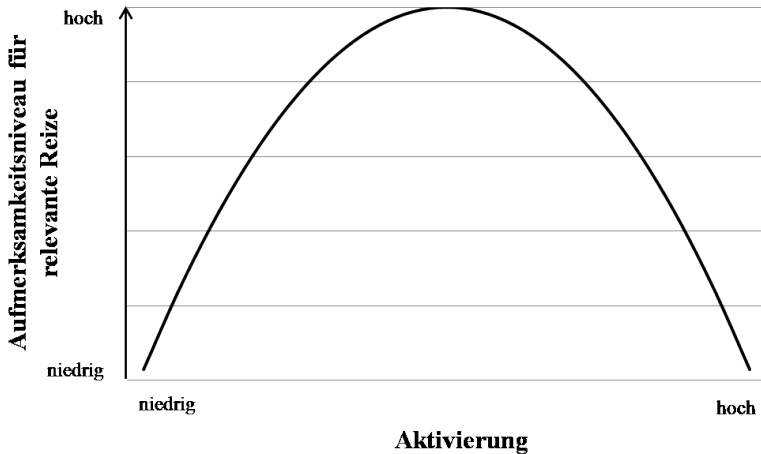


Abb. 3.4: Umgekehrt-u-förmiger Zusammenhang zwischen der Aktivierung und dem Aufmerksamkeitsniveau für relevante Reize nach Easterbrooks Cue utilization Theorie (1959).

Im Zusammenhang zu den zwei zuvor beschriebenen Theorien wird daher in dieser Arbeit geschlussfolgert, dass die visuelle Verengung, wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, ein Aufmerksamkeitsdefizit für relevante periphere Reize darstellt. Nach Easterbrooks Theorie (1959) ist dieses Aufmerksamkeitsniveau bei einer niedrigen oder hohen Aktivierung des Fahrers am geringsten. Die visuelle Verengung ist somit in diesen Zuständen der Aktivierung am größten und bei einer mittleren Aktivierung am geringsten. Es wird daher in dieser Arbeit ein u-förmiger Zusammenhang zwischen der visuellen Verengung und der Aktivierung hypothesiert (Abbildung 3.5). Im Zusammenhang zum Yerkes-Dodson Gesetz (1908) stellt die visuelle Verengung ein Leistungsdefizit dar, das negative Folgen für den Fahrer haben kann (Janelle, Singer & Williams, 1999; Green, 2002; Rogé et al., 2002; Harbluk, Noy, Trbovich & Eizenman, 2006; Wood et al., 2006; Schlag, 2008). Da nach dem Yerkes-Dodson Gesetz (1908) das optimale Aktivierungsniveau vom

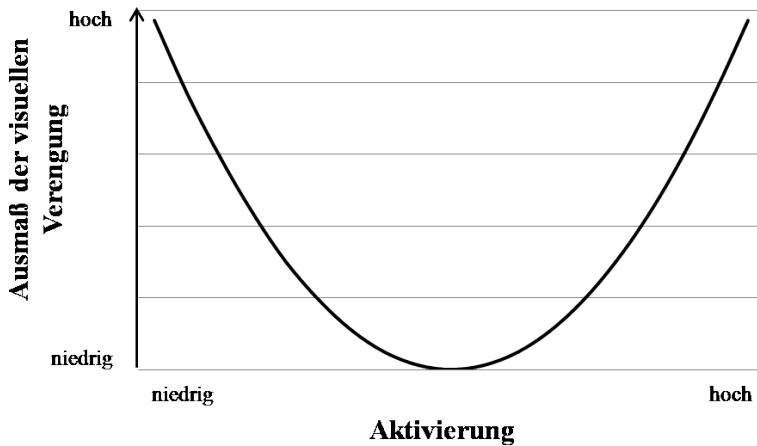


Abb. 3.5: Postulierter funktionaler Zusammenhang zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung beim Fahrer.

Kontext (schwere oder leichte Aufgaben) abhängt, sollte sich auch für das Aktivierungsniveau in Bezug auf die visuelle Verengung eine Abhängigkeit zu den Umgebungsfaktoren zeigen.

In Bezug auf die Aktivierung gilt es nun niedrige und hohe Aktivierungsniveaus in Bezug zum Fahrkontext zu definieren. Den Arbeitswissenschaftlern Hacker und Richter (1984) zufolge, bezieht sich eine gesenkte Aktivierung auf unterfordernde, monotone Anforderungssituationen, wohingegen eine erhöhte Aktivierung überfordernde, stressauslösende Anforderungssituationen darstellt. Ein Zustand der Monotonie wird von den Autoren als einförmig gleichbleibend und ohne ausreichende Erfordernis zur geistigen Befassung mit der Tätigkeit beschrieben (S. 202).

Bezieht man die niedrige und hohe Aktivierung auf den Fahrkontext, so sollten monotone, langandauernde Fahrten (beispielsweise Landstraße) und komplexe, Stress auslösende Fahrten eine visuelle Verengung auslösen.

Beide Situationen stellen eine Fehlanforderung für den Fahrer dar und sollen im nächsten Kapitel im Zusammenhang mit der visuellen Verengung näher erläutert werden.

#### **3.1.2.2 Belastungs-Beanspruchungs-Ansatz**

Eine hohe Aktivierung des Fahrers löst nach dem Modell dieser Arbeit eine visuelle Verengung aus und zeigt sich in überfordernden Verkehrssituationen, die Stress, Panik oder gar Angst hervorrufen. Studien, welche die visuelle Verengung im Fahrkontext untersuchten, führten im Gegenzug zur Aktivierung den Begriff der Beanspruchung auf (Ratanen & Goldberg, 1999; Martens & van Winsum, 2000; Recarte & Nunes, 2003; Harbluk, Noy, Trbovich & Eizenman, 2006; Reimer, 2009). Die Beanspruchung wird aus dem aktivierungstheoretischen Ansatz abgeleitet und direkt mit dem psychophysischen Aufwand gleichgesetzt, der zur Erfüllung der Aufgabe notwendig ist (Manzey, 1998).

Der Begriff Beanspruchung entstammt dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (stress-strain-concept) nach Rohmert und Rutenfranz (1975). Unter Beanspruchung (engl.: strain, workload) werden die individuellen subjektiven Reaktionen auf die Belastungsfaktoren im Organismus verstanden, wobei unter Belastung (engl.: stress, demands, input load) die Gesamtheit aller erfassbaren äußeren Einflüsse, die auf den Menschen einwirken, definiert werden (Rohmert, 1984). Somit sind Belastung und Beanspruchung kausal miteinander zusammenhängende Konstrukte. Beanspruchung stellt, ähnlich wie die Aktivierung, eine Erregung des Organismus (Fahrers) durch äußere Reize dar.

Obwohl die physische Belastung (körperlich-muskuläre Belastungsfaktoren) beim Fahren durch moderne Fahrzeugtechniken (z. B. Servolenkung, Bremskraftverstärker) abgenommen hat, führen erhöhte Verkehrsdichten, höhere Geschwindigkeiten und fahrzeuginterne Informations- und Unterhaltungssysteme zu einer erhöhten psychischen Beanspruchung des Fahrers



(Schlag, 2008). Die psychische Beanspruchung lässt sich in eine emotionale und mentale Komponente unterteilen (Manzey, 1998). Manzey (1998) bezeichnet die mentale Komponente, als denjenigen Anteil, der das menschliche Informationsverarbeitungssystem (Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung) durch spezifische Aufgaben fordert und somit von der Aufgabenschwierigkeit bzw. -komplexität bestimmt wird. Hingegen wird die emotionale Komponente als derjenige Anteil definiert, der durch ausführungsspezifische Belastungsfaktoren (wie z. B. Zeitdruck, Lärm, Gefahren oder soziale Konflikte) beeinflusst wird und mit aversiven Gefühlen verbunden ist.

Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept nimmt weiterhin an, dass objektiv gleiche Belastungsfaktoren bei verschiedenen Personen (Fahrern) zu unterschiedlichen Beanspruchungsfolgen führen können. Das Ausmaß der Beanspruchung ist somit individuell verschieden, je nach Fähigkeiten, Einstellungen oder Leistungsmotivationen, welche die Person mitbringt, um die ihr gestellten Aufgaben zu erfüllen (Rohmert & Rutenfranz, 1975; Kuhmann, 1994).

Für das hier postulierte Modell des u-förmigen Zusammenhangs zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung bedeutet es Folgendes: die gleichen überfordernden Verkehrssituationen aktivieren verschiedene Fahrer (beispielsweise Fahranfänger vs. geübter Fahrer, junge vs. alte Fahrer) unterschiedlich stark. Somit kann von einem unterschiedlichen Ausmaß an visueller Verengung bei objektiv gleich belastenden Verkehrssituationen ausgegangen werden.

Welche Situationen erhöhter Beanspruchung zu einer visuellen Verengung des Fahrers führen, soll die folgende Studienrecherche zeigen. Miura (1986, 1990) sowie Martens und van Winsum (2000) erforschten das UFOV der Fahrer in verschiedenen komplexen Verkehrssituationen. Die Blickregistrierungsdaten zeigten, dass sich das UFOV mit Zunahme der Komplexität der Verkehrssituationen verkleinert. Die Leistungseinbußen für die peripheren Areale wurden mit steigender Anforderung größer. In der Studie von

Crundall, Underwood und Chapman (2002) mittels Videofilmen zeigte sich, dass die Aufmerksamkeit für periphere Reize mit zunehmender zentraler Anforderung (Kollisionsgefahren) abnahm. Auch das Alter als individuelle Voraussetzung kann sich auf die Höhe der Aktivierung und die visuelle Verengung auswirken. Lavallière und Kollegen (2006) führten eine Fahrersimulationsstudie durch, in der ältere (65 bis 75 Jahre) und jüngere (21 bis 31 Jahre) Fahrer verschieden komplexe Verkehrssituationen (freie Landstraße vs. Überqueren einer Kreuzung) durchfahren mussten. Die älteren Fahrer zeigten eine visuelle Verengung, die aus einer steigenden Komplexität der Verkehrssituation resultierte. Andere Autoren erzeugen zudem eine hohe Aktivierung durch die Zugabe von Nebenaufgaben. Ratanen und Goldberg (1999) erforschten, inwieweit auditive Zählaufgaben zu einer Verkleinerung des visuellen Feldes führen. Das visuelle Feld reduzierte sich um 7,8 % bei Hinzunahme einer mittleren und um 13,59 % bei einer stark beanspruchenden Zählaufgabe.

In der Studie von Harbluk, Noy, Trbovich und Eizenman (2006) wurde das Blickverhalten des Fahrers während einer Stadtfahrt unter drei Bedingungen (keine, leichte, schwierige Additionsaufgabe) untersucht. Es zeichnete sich ein signifikanter Anstieg der Blicke in zentrale Blickfeldareale unter schwierigen Aufgaben, im Vergleich zu keiner Nebenaufgabe ab.

Reimer (2009) konnte die visuelle Verengung in einer ähnlichen Studie mit kognitiven, auditiven Zweitaufgaben (Konversationen) reproduzieren. Im Einklang mit der visuellen Verengung war die Blickverteilung signifikant kleiner (reduziertes peripheres Sehen), wenn die Fahrer die Nebenaufgaben lösten, wobei die Blickverteilung bei der schwierigsten Zweitaufgabe am geringsten war.

Des Weiteren wurde das UFOV junger Fahrer in Abhängigkeit visueller und auditiver Ablenkungen, untersucht (Wood et al., 2006). Die Leistung für periphere Reize nahm in den Bedingungen mit visueller und auditiver Ablenkung ab.

Auch Janelle, Singer und Williams (1999) erforschten in ihrer simulierten

Rennstudie den Zusammenhang zwischen dem Erregungsgrad, hervorgerufen durch ein unspezifisches Angstniveau, und der visuellen Verengung. Es zeigte sich, dass höhere Angstwerte zu einem visuellen Verengen des Blickfeldes führen. Nach dem in dieser Arbeit postulierten Zusammenhang gilt eine niedrige Aktivierung des Fahrers ebenfalls als Ursache für den Zustand der visuellen Verengung. Eine niedrige Aktivierung entspricht nach dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (Rohmert & Rutenfranz, 1975) einer niedrigen Beanspruchung. Diese kann entweder durch monotone, unterfordernde Verkehrssituationen (Langstreckenfahrten), die zur Ermüdung des Fahrers führen, oder durch den schläfrigen Zustand des Fahrers vor Beginn der Fahrt ausgelöst werden. Beide Ursachen können einen kumulativen Effekt haben (Oron-Gilad & Hancock, 2005; Cohen, 2009).

Der Zusammenhang zwischen der niedrigen Aktivierung bzw. Beanspruchung und der visuellen Verengung wurde nach Kenntnissen des Autors bisher wenig untersucht. In den Arbeiten von Rogé und Kollegen (2002, 2003, 2004) wird stattdessen der Begriff der Vigilanz (tonische Aktivierung, siehe 3.1.2.1) aufgegriffen. Die Autoren stellten fest, dass das Vigilanzniveau unter extrem monotonen Bedingungen einen Einfluss auf die Detektion peripherer Reize hat. Probanden mussten für ca. zwei Stunden im simulierten Verkehr ein vorrausfahrendes Fahrzeug verfolgen. Mit zunehmender Dauer der Fahrt wurde das Blickfeld kleiner (Rogé et al., 2002). Neben der Dauer der Fahrt führte auch das Ausmaß an Schlafentzug zu einer visuellen Verengung (Rogé et al., 2003). Ebenfalls untersuchten sie den Altersaspekt; auch hier zeigte sich, dass die visuelle Verengung mit dem Alter zunahm (Rogé et al., 2003, 2004).

In der Studie von Hargutt und Krüger (2001) mittels Fahr Simulator konnte demonstriert werden, dass schon ab einer Fahrt von weniger als einer Stunde eine nachlassende Aufmerksamkeit auftritt. Ähnliches demonstrieren Liu und Wu (2009), die bei ansteigender Müdigkeit eine nachlassende Aufmerksamkeit der Fahrer feststellten.

Bisher wurde davon ausgegangen, dass Situationen, in denen Vigilanz

auftritt, mit wenig mentaler Anstrengung einhergehen. Warm und seine Kollegen (2008) stellten jedoch anhand von Verhaltensdaten und neuronalen Messungen fest, dass Zustände der Vigilanz ebenfalls mit subjektiver Beanspruchung und Stress einhergehen. Ähnliches beschreiben auch Maurer und Stiller (2005, S. 163) und Reitter (2000), wonach die mentalen Kosten für die Unterforderung ebenfalls hoch sind.

Somit zeigt sich, dass die niedrige Aktivierung, wie die hohe Aktivierung, zu einer visuellen Verengung führen kann, die je nach individuellen Gegebenheiten (beispielsweise das Alter) unterschiedlich stark ausgeprägt ist.

#### 3.1.2.3 Aktivierungsmessung

Der Aktivierungsgrad des Organismus drückt sich in physiologischen und psychologischen Prozessen aus. Diese können durch drei wesentliche Methoden erfasst werden: objektiv über die Physiologie oder die Leistung und subjektiv über das Bewusstsein. (Hacker & Richter, 1984; O'Donnell & Eggemeier, 1984; Lefrancois, 1994; Borgaes, 2007). Alle drei Ansätze werden daher im Folgenden beschrieben und in ihren Vor- und Nachteilen diskutiert. Die nachfolgenden hier beschriebenen Studien untersuchten in erster Linie die hohe Aktivierung im Sinne einer mentalen (und nicht emotionalen) Beanspruchung des Fahrers.

##### **Physiologische Messmethoden:**

Viele Untersuchungen stützen den Zusammenhang zwischen mentaler Beanspruchung und physiologischen Reaktionen (Fahrenberg, Walschburger, Foerster, Myrtek & Müller, 1979; Lefrancois, 1994; Borgaes, 2007). Die Vielzahl an physiologischen Indikatoren werden wie folgt gemessen: hirnelektrisch, kardiovaskulär, respiratorisch, okulomotorisch, elektrodermal, muskulär und endokrin. An dieser Stelle wird lediglich auf die kardiovaskulären und okulomotorischen Messmethoden näher eingegangen, da diese vielfach Anwendung im Fahrkontext finden.

Maße des Elektrokardiogramms (EKG) gehören zu den am häufigsten in physiologischen Untersuchungen eingesetzten Maßen. Dazu zählen die Herzrate (HR, oder auch Herzfrequenz genannt HF) und die Herzratenvariabilität (HRV oder Herzfrequenzvariabilität HFV), die aufgrund ihrer objektiven, leichten, kontinuierlichen und artefaktfreien Datenregistrierung vielfach zur Messung, auch im Feld, genutzt werden (Küting, 1976; Schandry, 1981; De Waard und Brookhuis, 1997; Manzey, 1998; Piechulla, Peißner, Wersé, Zimmer, 2001; Piechulla, 2004; Abendroth, Bruder, Fuchs, Schramm, 2009).

Die HR hat sich in vielen Studien als sensitiver Indikator der Beanspruchungsmessung (Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Belastungsintensitäten) erwiesen. Sie wird als Herzschläge pro Minute (engl.: beats per minute, bpm) durch eine R-Zacken-Zählung des EKGs ermittelt. Sie steigt bei zunehmenden kognitiven oder psychomotorischen Anforderungen an, kann aber, im Sinne der Diagnostizität, nicht gut zwischen unterschiedlichen Beanspruchungsformen (mental, emotional und physisch) differenzieren (Manzey, 1998; Küting, 1976; Nickel, 2002).

Neben der HR wird ebenfalls die HRV zur Messung eingesetzt. So konnte gezeigt werden, dass bei einer Zunahme der mentalen Beanspruchung, die Variabilität der R-Zacken-Abstände im Elektrokardiogramm (EKG) signifikant abnimmt. Damit geht einer Erhöhung der HRV ein regelmäßigerer Herzschlag einher (Mulder & Mulder, 1981). In der Studie von Bauch (2010) wurden neben anderen Indikatoren die HRV in Verkehrssituationen (z. B. Warten an einer roten Ampel, Abbiegen, plötzliches Bremsen, Einparken) gemessen. Die HRV war, verglichen mit den Ruhewerten, signifikant niedriger in der hoch beanspruchenden Situation des plötzlichen Bremsens. Kein anderer Indikator wies diesen Unterschied auf. Allerdings kritisieren auch viele Autoren die Güte der HRV zur sensitiven und diagnostischen Messung, da sie hoch mit der emotionalen Komponente zusammenhängen soll (Manzey, 1998; Nickel, 2002; Nickel, Eilers, Seehase, Nachreiner, 2002; Jorna, 1992).

Auch im Fahrkontext werden kardiovaskuläre Maße erfolgreich einge-

setzt (Verwey & Veltman, 1996; De Waard & Brookhuis, 1997; Richter, Wagner, Heger & Weise, 1998; Piechulla, Peißner, Werse & Zimmer, 2001; Backs, Lenneman, Wetzel & Green, 2003; Piechulla, 2004; Reimer, Mehler, Pohlmeier, Coughlin & Dusek, 2006; Mehler, Reimer, Coughlin & Dusek, 2009). In einer Literaturübersicht über den Vergleich der in Frage kommenden physiologischen Maße, wurde die HR unter 185 Studien als der brauchbarste Indikator angesehen (Küting, 1976). Hering (1999) bestätigte in seiner Arbeit zur verkehrspsychologischen Beanspruchungsforschung das Ergebnis von Küting (1976) und beschreibt die HR als den weitverbreitesten physiologischen Parameter der empirischen Verkehrsforschung (S. 147).

Einen weiteren physiologischen Indikator für Aktivierung stellen spontane (definiert als nicht reflexhaft), unwillkürliche Lidschläge (Blinzeln) dar, die mittels der Elektrookulografie (EOG) oder mit Blickregistrierungsverfahren (siehe Kapitel 3.1.3.2) aufgezeichnet werden können (Schandry, 1981). Die Lidschlagfrequenz schwankt von einem Individuum zum anderen beträchtlich, jedoch scheint sie intraindividuell stabil zu sein. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der abnehmenden Lidschlagfrequenz und der steigenden Schwierigkeit visuell dargebotener Aufgaben. Die Lidschlagfrequenz ist bei Aufgaben mit ausgeprägten visuellen Beanspruchungskomponenten sensitiv; dies konnte mehrfach im Fahrkontext nachgewiesen werden (Kramer, 1991; Veltman & Gaillard, 1996; Manzey, 1998; Richter et al., 1998; Heger, 1998).

#### **Leistungsmessung:**

Mithilfe von leistungsbezogenen Messmethoden wird entweder die Leistung in einer Hauptaufgabe (Primäraufgabe), in einer Nebenaufgabe (Sekundäraufgabe) oder in einer Referenzaufgabe (standardisierte Aufgaben, die vor und nach der Hauptaufgabe durchgeführt werden) gemessen (De Waard, 1996; Wilson & Eggemeier, 2000).

Bezogen auf den Fahrkontext stellt die Primäraufgabe die Fahrzeuglängs- und -querführung dar. Daher werden Maße der Fahrleistung als Indikatoren für die Fahrerbeanspruchung herangezogen (Bauch, 2010; Hering, 1999;

Abendroth, et al., 2009). Dazu zählen die Fahrgeschwindigkeit, Standardabweichung von der lateralen Position (SDLP), Time-to-Line-Crossing (TLC), das Bremsverhalten, die Lenkfrequenz, Spurüberschreitung und die Fahrfehler. In der Studie von Harbluk, Noy, Trbovich und Eizenman (2006) zeigte sich, dass die Probanden an Kreuzungen in Situationen höherer Anforderung stärker bremsen. In einer anderen Untersuchung führen ältere Probanden langsamer, wenn die Fahraufgabe schwieriger wurde (Trick, Toxopeus und Wilson, 2010).

Die Leistungsmessung in der Sekundäraufgabe, auch Neben- oder Doppelaufgabe genannt, wird oft zur Messung der mentalen Beanspruchung verwendet (Hering, 1999; Piechulla, 2004; Harms, 1991). Dabei wird die Leistung in einer zusätzlich zur Primäraufgabe gestellten Nebenaufgabe gemessen. Dieses Verfahren basiert auf dem ressourcentheoretischen Ansatz nach Wickens (1991), der besagt, dass der Mensch über verschiedene Ressourcen verfügt um Informationen zu verarbeiten. Wenn zwei Informationen die gleiche Ressource beanspruchen, ist die Verarbeitung geringer, als wenn unterschiedliche Ressourcen beansprucht werden würden. Die Leistung in der Zweitaufgabe wird als Maß für die verbleibende Restkapazität gesehen, die nicht von der Primäraufgabe aufgebraucht wurde.

Bei der Durchführung einer Sekundäraufgabe wird zwischen zwei Paradigmen unterschieden:

- Paradigma der Primäraufgabe (Subsidiary Task Paradigma): Die Bearbeitung der Primäraufgabe hat höchste Priorität. Wenn Restkapazitäten für Sekundäraufgaben nicht ausreichen, sollen Leistungseinbußen nur die Sekundäraufgaben betreffen.
- Paradigma der Sekundäraufgabe (Loading Task Paradigma): Die Bearbeitung der Sekundäraufgabe hat höchste Priorität, auch wenn sich dadurch Leistungseinbußen in der Primäraufgabe ergeben.

Das Paradigma der Primäraufgabe wird in Feldstudien zur Sicherheit des Fahrers eingesetzt (z. B. reale Fahrten im Verkehr) und das Paradigma

der Sekundäraufgabe in Fahrstudien, da Leistungseinbußen in der Fahraufgabe nicht die Sicherheit des Probanden gefährden (De Waard, 1996; Sprenger, 2009).

Beispiele für Sekundäraufgaben, die erfolgreich im Fahrkontext eingesetzt wurden, sind Kopfrechenaufgaben, visuelle Detektionsaufgaben, Verfolgungsfahrten, akustische Diskriminationsaufgaben, Gedächtnisaufgaben (beispielsweise Detektion von doppelten Buchstaben innerhalb einer Folge von zehn Buchstaben) oder aktive Zeitschätzungen (Harms, 1991; Hering, 1999; Verwey, 2000; Piechulla, 2004; Harbluk et al., 2006; Schlag, 2008; Bauch, 2010).

Es wird jedoch kritisiert, dass die Leistungsmessung aufgrund ihrer Lerneffekte als alleiniges Messverfahren nicht zur Beanspruchungsmessung geeignet ist (Nickel, 2002). Daher sollten sie stets in Kombination mit physiologischen Verfahren und Selbstbeurteilungsskalen, die folgend beschrieben werden, eingesetzt werden (De Waard, 1996).

#### **Subjektive Messmethoden:**

Eine weitere Methode zur Erfassung der mentalen Beanspruchung stellt die subjektive Messung der Beanspruchung, mittels Befragungsmethoden oder Skalierungsverfahren, dar (Nickel, 2002; Wilson & Eggemeier, 2000). Nach Scheufler (2006) können anhand von Selbstauskünften sehr aussagekräftige Erkenntnisse über die Beanspruchungsqualität gewonnen werden. Demnach sind die Personen selbst die besten Experten für ihr Erleben und können am genauesten Auskunft über ihr Beanspruchungsempfinden geben (De Waard, 1996). Selbstbeurteilungsverfahren werden häufig aufgrund ihrer leichten Handhabung und Auswertbarkeit eingesetzt (Scheufler, 2006; De Waard, 1996; O'Donnel & Eggemeier, 1986; Chin et al. 2006). Kritik, die diesen Messverfahren zukommt, besteht in den nicht eindeutig beschreibbaren Ursache-Wirkungs-Beziehungen des Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts (Hacker & Richter, 1984; O'Donnel & Eggemeier, 1986). Demnach ist das Gütekriterium der Diagnostizität nicht gegeben. Selbstbeurteilungsverfahren



repräsentieren eher eine globale Messung der Beanspruchung (O'Donnel & Eggemeier, 1986).

Man unterscheidet zwischen eindimensionalen und mehrdimensionalen Skalen. Eindimensionale Skalen erfassen die Gesamtbeanspruchung einer Person. Mehrdimensionale Skalen messen nicht nur die Gesamtbeanspruchung, sondern auch Teilaspekte der psychischen Beanspruchung, wie die emotionale und mentale Komponente. Wenn die Gesamtbeanspruchung erfasst werden soll, sind eindimensionale Skalen zuverlässiger, da sie im Vergleich zu mehrdimensionalen Skalen nicht auf der Grundlage summierter Werte basieren (De Waard & Brookhuis, 1997). Einen guten Überblick über die verschiedenen subjektiven Skalierungsverfahren bietet die Arbeit von Chin et al. (2006). Verwey und Veltman (1996) haben in einer Studie verschiedene Indikatoren gemessen und kamen zu dem Schluss, dass aufwändige physiologische Verfahren und Leistungsmessungen die mentale Beanspruchung nicht zuverlässiger als die Selbstbeurteilungsverfahren messen können.

Für den Fahrkontext als geeignet erwiesen, haben sich bei den eindimensionalen Skalen die Rating Scale of Mental Effort (RSME) und die dazu deutschsprachige Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung (SEA) mit hoher Reliabilität und Validität (Eilers, Nachreiner & Hänecke, 1986; Zijlstra, 1993; De Waard, 1996; Verwey & Veltman, 1996; Rakauskas, Gurgerty und Ward, 2004; Van Erp und Van Veen, 2004; Brookhuis & Dicke, 2009) und bei den mehrdimensionalen Skalen der NASA Task Load Index (NASA-TLX), der Raw Task Load Index (RTLX), die Subjective Workload Assessment Technique (SWAT) und der Driving Activity Load Index (DALI) (O'Donnel & Eggemeier, 1986; Ceci, Högman & Pattens, 2001; Chin et al., 2006; Piechulla, 2004; Sprenger, 2009; Pauzié & Manzano, 2007; Baldauf, Burgard, Wittmann, 2009; Petzoldt, Bär & Krems, 2009; Spiessl & Mangold, 2010; Cao et al., 2010).

Als Ergebnis der Literaturrecherche kann festgehalten werden, dass alle genannten Indikatoren Fehlervarianz mit sich führen und keiner uneinge-

schränkt zur sensitiven und diagnostischen Messung geeignet ist. Daher empfiehlt De Waard (1996) die mentale Beanspruchung durch alle drei Kategorien zu messen und, wenn möglich, durch mehrere Indikatoren pro Kategorie. Die Wahl der Indikatoren ist zudem abhängig von der Fragestellung und der Fahraufgabe des jeweiligen Experimentes.

#### **3.1.3 Ansätze zur Detektion visueller Verengung**

In diesem Abschnitt werden Studien, welche die visuelle Verengung untersucht haben, nach ihren Detektionsmethoden klassifiziert. Es zeigt sich, dass überwiegend zwei Methoden zum Einsatz kommen: Reaktionszeiterhebungen und Blickregistrierungsverfahren. Diese sollen im Folgenden kurz beschrieben und deren Vor- und Nachteile diskutiert werden.

##### **3.1.3.1 Reaktionszeiterhebung**

Viele Studien nutzen Reaktionszeiterhebungen, um das Blickfeld zu erfassen (Miura, 1986, 1990; Janelle, Singer & Williams, 1999; Martens & van Winsum, 2000; Crundall, Underwood & Chapman, 2002; Rogé und Kollegen, 2002, 2003, 2004). Dabei werden Reize (meist Lichtsignale) in den zentralen und peripheren Blickfeldern des Fahrers präsentiert. Die Aufgabe des Fahrers besteht darin, so schnell wie möglich auf solch einen Reiz zu reagieren, wenn er diesen detektiert hat. Die Reaktionszeit stellt dabei eine Operationalisierung der Aufmerksamkeit des Fahrers dar; kleine Reaktionszeiten repräsentieren eine hohe und große Reaktionszeiten eine geringe Aufmerksamkeit für die jeweiligen visuellen Areale, welche die Reize beinhalten. Demzufolge wird die visuelle Verengung durch kleinere Reaktionszeiten für die zentralen und größere Reaktionszeiten für die peripheren Areale charakterisiert.

Die Methode der Reaktionszeiterhebung gehört der Klasse der Sekundäraufgaben an, wenn diese zusätzlich zur Primäraufgabe des Fahrers, der

sicheren Fahrzeuglängs- und -querführung, gestellt wird (Hering, 1999; Piechulla, 2004; Harms, 1991).

Miura (1986, 1990) setzte diese Methode bei realer Fahrt in verschiedenen, komplexen Situationen ein (beispielsweise im Stand des Fahrzeuges, in einer Einbahnstraße mit geringer Verkehrsdichte oder bei einer Stadtfahrt mit hohem Verkehrsaufkommen), um die Verkleinerung des UFOV der Probanden zu messen. Dazu wurde dem Fahrer in zufälliger zeitlicher und räumlicher Reihenfolge ein Lichtpunkt auf einem visuellen Feld von  $40^\circ \times 20^\circ$  (Breite x Höhe) auf der Rückseite der Windschutzscheibe präsentiert. Der Fahrer hatte die Aufgabe, auf diesen Reiz so schnell wie möglich verbal zu reagieren.

Janelle, Singer und Williams (1999) bedienten sich in einem simulierten Rennspiel ebenfalls einer Reaktionszeitaufgabe in Form einer Sekundäraufgabe. Die Fahrer mussten dazu zufällig aufleuchtende rote, periphere Lichtreize unter verschiedenen Angstniveaus detektieren.

Rogé und Kollegen (2002, 2003, 2004) untersuchten die visuelle Verengung unter monotonen Fahrbedingungen im Fahrsimulator. Während einer zweistündigen Verfolgung eines vorrausfahrenden Fahrzeuges mussten die Fahrer einen peripheren Lichtreiz detektieren, der in verschiedenen Abständen präsentiert wurde.

Eine genau definierte klassische Reaktionszeitaufgabe stellt die periphere Zielreizdetektionsaufgabe (Peripheral Detection Task, PDT) dar (Martens & van Winsum, 2000; Jahn et al., 2005). Dabei müssen die Probanden für ein bis zwei Sekunden aufblinkende periphere Lichtreize (horizontale Entfernung zum Mittelpunkt von  $5$  bis  $25^\circ$ ) durch eine manuelle Reaktion detektieren.

Martens und van Winsum (2000) sowie Jahn und Kollegen (2005) setzten diese PDT ein. Die Trefferquote der Fahrer nahm ab und die Reaktionszeit nahm signifikant mit den beanspruchenden Verkehrssituationen zu (z. B. innerstädtische Situation an einer beschilderten Kreuzung mit Vorrang für die anderen Fahrer im Vergleich zu einer Landstraße). Ebenso waren die

Reaktionszeiten auf peripher präsentierte Reize verlangsamt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Reaktionszeiterfassung geeignet ist, um eine visuelle Verengung zu detektieren. Laut der Definition der visuellen Verengung nach Harbluk, Noy und Eizenmann (2002) wird somit der Bedingung der reduzierten Detektion peripherer Reize Rechnung getragen. Voraussetzung für diese Methode ist, dass die Lichtreize in messbaren Abständen vom Fokus präsentiert werden. Nachteil ist jedoch, dass ein Anstieg in der Dauer im geradeaus Blicken nicht erfasst wird.

#### **3.1.3.2 Blickregistrierungsverfahren**

Die zweite Methode stellt das Blickregistrierungsverfahren, auch Eye-Tracking genannt, dar. Mittels Eye-Tracking können unter anderem verschiedene Blickbewegungen des Fahrers erfasst werden (Seifert, Rötting & Jung, 2001; Rötting, 2001). Die menschlichen Blickbewegungen zeichnen sich in erster Linie durch einen Wechsel von sogenannten Fixationen und Sakkaden aus. Diese sollen hier zunächst kurz erläutert werden.

Fixation wird als eine Ausrichtung der Augen definiert, so dass das Bild des fixierten Zieles für eine bestimmte Zeit auf die Fovea fällt. (ISO 15007-1:2002, S. 5). Das Zielobjekt wird bei einer Fixation für mindestens 100 ms erfasst, die durchschnittliche Dauer liegt bei 200 bis 350 ms (Rötting, 2001; Green, 2002). Bei langsam bewegten Objekten kommt es zu langsamen Folgebewegungen (durchschnittlich  $40^\circ/s$ ), so genannte Smooth Pursuit Movements, die es dem Betrachter ermöglichen, das Zielobjekt weiterhin zu fixieren.

Sakkaden hingegen sind schnelle Blicksprünge zwischen den Fixationen, um neue Objekte in die Fovea zu rücken. Die Sakkadengeschwindigkeit ist von der Sprungweite abhängig. So sind weite Sprünge schneller (bis zu  $1000^\circ/s$ ) als kurze (bis zu  $100^\circ/s$ ). Während einer Sakkade ist das Sehvermögen weitgehend ausgeschaltet. Zudem kommt es ca. 30–40 ms vor und 100–120 ms nach einer Sakkade zu keiner Informationsaufnahme, die so ge-

nannten Pre-saccadic Suppression und Post-saccadic Suppression (Rötting, 2001).

Eine visuelle Informationsaufnahme findet daher fast ausschließlich während den Fixationen statt (Seifert, Rötting & Jung, 2001; ISO 15007-1:2002; Nabatiyan, 2007). Eine Abfolge von Blickfixationen und sakkadischen Bewegungen wird als Blickpfad oder auch als Suchpfad bezeichnet (Schlag, 2008).

Um der Annahme gerecht zu werden, dass Blickbewegungen, insbesondere Fixationen, als visuelle Informationsaufnahme und -verarbeitung zu interpretieren sind, wird in dieser Arbeit von den folgenden Grundannahmen ausgegangen (Just & Carpenter, 1980; Rötting, 2001):

1. **Eye-Mind Assumption:** Das fixierte Zielobjekt wird in dem Moment der Fixierung mental verarbeitet.
2. **Immediacy Assumption:** Die Dauer der Fixation entspricht der Dauer der mentalen Verarbeitung.
3. **Sequence Assumption:** Aufeinanderfolgende Fixationen stellen die seriellen Prozesse der Informationsverarbeitung dar.

Es gibt verschiedene Blickregistrierungsverfahren, die Augen- und Blickbewegungen erfassen können. Im Folgenden soll die Methode der Pupillenregistrierung vorgestellt werden, die primär im Fahrkontext zur Erfassung der visuellen Verengung eingesetzt wird.

Das Auge besitzt bestimmte Charakteristika, die optisch leicht zu erkennen sind. Die Pupille eignet sich besonders zur Messung vertikaler und horizontaler Augenbewegungen. Dabei wird das Auge mit einer Infrarot-Lichtquelle beleuchtet. Die Pupille absorbiert die Infrarotstrahlen gut, wohingegen der Rest des Auges die Strahlen reflektiert, die mit einer lichtempfindlichen Kamera aufgenommen werden. Somit kann die Pupille und deren Bewegungen leicht detektiert und weiter verarbeitet werden (Seifert, Rötting & Jung, 2001; Rötting, 2001).

Zur Pupillenregistrierung gibt es kopfbasierte oder berührungslose Systeme. Die kopfbasierten Systeme bestehen aus einem brillenähnlichen Gestell, das dem Probanden aufgesetzt wird. Bei den berührungslosen Systemen werden die Blickbewegungen durch entfernt platzierte Kameras aufgenommen (aufgrund ihrer geringen Größe meist im Armaturenbrett verbaut), wobei zusätzlich Kopfregistrierungssysteme eingesetzt werden müssen, um die Augenbewegung in Relation zu den Kopfbewegungen zu berechnen (Gottlieb, Scherbarth & Guse, 1996; Nabatilan, 2007, Poitschke, 2011). Dadurch wird der Fahrer nicht durch ein Kopfgestell in seinem Fahrverhalten beeinträchtigt.

Der Vorteil von Eye-Tracker-Systemen besteht darin, dass der Blick zu jeder Zeit im Raum gemessen werden kann. Mithilfe von sogenannten Areas of Interests (AOI) können die Blicke des Fahrers auf bestimmte Bereiche im oder außerhalb des Fahrzeuges mittels deskriptiver Statistiken (beispielsweise Blickhäufigkeiten oder Blickdauer) berechnet werden (Harbluk et al., 2006; Nabatilan, 2007). Diese Technik wird genutzt, um die Blickverteilung auf zentrale und periphere visuelle Felder und somit die visuelle Verengung beim Fahrer zu messen (Recarte & Nunes, 2000, 2003; Harbluk et al., 2006; Nabatilan, 2007).

Harbluk und Kollegen (2006) nutzen in ihrer Studie einen kopfbasierten Eye-Tracker (VISION 2000, El Mar Inc., Toronto, Canada) zur Messung der visuellen Verengung während einer Fahrt in der Stadt. Dazu wurde das visuelle Feld in drei rechteckige AOI geteilt; ein zentrales AOI und jeweils ein peripheres AOI links und rechts vom zentralen AOI. Das zentrale AOI entsprach dem Bereich, wenn der Fahrer geradeaus auf die Straße blickte (Abbildung 3.6).

Nabatilan (2007) bediente sich in seiner Simulationsstudie ebenfalls eines kopfbasierten Systems (IviewX, SMI, Boston, Massachusetts). Das visuelle Feld des Fahrers wurde hingegen in vier AOI geteilt; ein rundes AOI für die zentralen Blicke auf die Straße, jeweils ein peripheres AOI für alle Blicke außerhalb dieses zentralen Ausschnitt (links und rechts) und ein rechteckiges



Abb. 3.6: Drei AOI, die in der Studie von Harbluk und Kollegen (2006) genutzt wurden.

AOI für das Armaturenbrett (Abbildung 3.7).

Vorteile der kopfbasierten Eye-Tracker bestehen in der einfachen und schnellen Anwendung im experimentellen Setting. Nachteile ergeben sich für den praktischen, realen Einsatz in einem Fahrzeug ohne experimentellen Hintergrund. Eine Echtzeitdetektion visueller Verengung ist aufgrund einer Postimplimentierung der AOI mithilfe von Markern nicht durchführbar. Weiterhin ist das Tragen eines Kopfgestells im normalen Fahrkontext nicht zumutbar. Für die Praxis hat sich daher die Methode des berührunglosen Eye-Trackers als vorteilhaft erwiesen, welche bereits in Fahrassistenzsystemen (Kapitel 2) implementiert ist (Kaneda, 1995; Smith et al., 2000; Ji & Yang, 2002).

Recarte und Nunes (2000, 2003) untersuchten in einer Feldstudie mit einem berührunglosen Eye-Tracker (Dornier Company, Germany; Gottlieb et al. 1996) die visuelle Verengung unter der Hinzunahme von Nebenaufgaben (beispielsweise verbale und räumliche Vorstellungsaufgaben, Detektionsaufgaben). Der Eye-Tracker registrierte dabei die Blickkoordinaten der Probanden.



Abb. 3.7: Vier AOI, die in der Studie von Nabatilan (2007) genutzt wurden.

Nach Kenntnissen des Autors gibt es bisher keine weiteren Studien, die mittels berührungslosem Eye-Tracker die visuelle Verengung untersucht haben. Es ist daher das Anliegen dieser Arbeit, diese Methode in ihrer praktischen Anwendbarkeit zu prüfen. Technisch neuwertige Eye-Tracker beinhalten ebenfalls die Möglichkeit AOI in sogenannte Weltmodelle einzubauen (Smart Eye AB, 2010). Weltmodelle repräsentieren die reale Abbildung der Welt in einer dreidimensionalen Umgebung (Heinzmann & Zelinsky, 1998; Bee et al., 2009).

Generell ist zu sagen, dass die Blickregistrierungsmethode, im Vergleich zur Reaktionszeiterfassung, den Anstieg der Dauer im geradeaus Blicken messen kann. Die Grenzen der Eye-Trackingverfahren liegen jedoch in der Interpretation der Blickdaten. So müssen Blickfixierungen nicht in jedem Fall auch eine Verarbeitung bzw. eine Aufmerksamkeitsausrichtung der fixierten Informationen darstellen (entgegen der Eye-Mind Assumption). Ebenfalls können periphere, nicht fixierte Informationen verarbeitet werden, die Eye-Tracker nicht erfassen können (Green, 2002). Dies wiederum ist Vorteil der Reaktionszeiterfassung. Es empfiehlt sich daher in dieser Arbeit



die visuelle Verengung durch beide Ansätze zu untersuchen.

#### 3.1.4 Zusammenfassung

Neben dem fovealen Sehen, stellt auch das periphere Sehen eine zentrale Eigenschaft für das sichere Führen eines Kraftfahrzeuges dar. Es erleichtert die Orientierung, verbessert die Spurhaltung, Geschwindigkeiten und Entfernungen können richtig wahrgenommen und Gefahren rechtzeitig erkannt werden. Die visuelle Verengung zeichnet sich hingegen durch eine reduzierte Detektion peripherer Reize und einen Anstieg der Dauer im geradeaus Blicken aus. Diese eingeschränkte visuelle periphere Leistung des Fahrers kann sowohl durch Reaktionszeiterhebungen als auch durch Blickregistrierungsverfahren erfasst werden (Janelle, Singer & Williams, 1999; Harbluk, Noy & Eizenmann, 2002; Wood et al., 2006; Schlag, 2008).

Nach dem Yerkes-Dodsen Gesetz (1908) besteht eine umgekehrt-u-förmige Beziehung zwischen dem Aktivierungsniveau und der Leistungsqualität. Der Aktivierungsgrad stellt den psychophysiologischen Zustand des Fahrers dar, der die Aufmerksamkeit vom schläfrigen bis zu einem Zustand höchster Erregung beschreibt und durch physiologische, leistungsbezogene oder subjektive Methoden erfasst werden kann. Den gleichen umgekehrt-u-förmigen Zusammenhang beschrieb Easterbrook (1959) mit seiner Cue Utilization Theorie auf Basis der Erregung und der Aufmerksamkeitsleistung für relevante Reize.

Greift man diese zwei Theorien auf, so lässt sich schlussfolgern, dass die visuelle Verengung durch eine niedrige oder hohe Aktivierung beim Fahrer ausgelöst werden kann und folglich ein u-förmiger Zusammenhang zur Aktivierung des Fahrers bestehen sollte. Situationen hoher Aktivierung stellen komplexe Verkehrssituationen, angstausslösende Situationen oder zusätzlich zur Fahraufgabe gestellte Nebenaufgaben dar. Niedrige Aktivierungsniveaus werden durch extrem monotone Fahrten verursacht. Zudem ist festzuhalten, dass individuelle Eigenschaften, wie beispielsweise das Alter des Fahrers,

zu unterschiedlich hohen Aktivierungen und somit unterschiedlich stark ausgeprägten Graden an visueller Verengung führen können.

In Anlehnung an das Kapitel 2.1 stellt die visuelle Verengung demnach ebenfalls einen Fahrerzustand dar, der zur Kategorie der kurzfristig veränderlichen Fahrerzustandsfaktoren zu zuordnen ist.

Im nächsten Kapitel werden die Fragen und Hypothesen des ersten empirischen Teils dieser Arbeit vorgestellt.

## **3.2 Fragen und Hypothesen: aktivierungsabhängige visuelle Verengung**

In Abbildung 3.8 ist der Untersuchungsfokus dieser Arbeit anhand der herausgearbeiteten Zusammenhänge und der aufgestellten Modelle aus Kapitel 2 und 3.1, veranschaulicht. Nach diesem Modell wird der Fahrerzustand der visuellen Verengung durch eine sehr hohe oder sehr niedrige Aktivierung des Fahrers verursacht (Kapitel 3.1.2). Das Aktivierungsausmaß wird dabei unter anderem von personenspezifischen (beispielsweise Alter) oder Umweltfaktoren (beispielsweise komplexe oder monotone Verkehrssituationen) beeinflusst. Die visuelle Verengung führt zu Leistungseinbußen beim Fahren (Kapitel 3.1.1). Um solche sicherheitskritischen Situationen zu minimieren, müssen Fahrassistenzsysteme diesen Zustand anhand von Fahrerdaten (beispielsweise Blickdaten, Fahrverhalten) und Umweltdaten detektieren, um den Fahrer zu informieren oder in seiner Aktivierung zu regulieren und andere FAS rechtzeitig zu parametrieren.

Die Zielstellung des ersten Teils dieser Arbeit beinhaltet die Untersuchung des Fahrerzustandes der visuellen Verengung in Abhängigkeit von der Aktivierung des Fahrers. Des Weiteren soll untersucht werden, inwieweit berührungslose Blickregistrierungssysteme Einschränkungen bei der Erfassung der visuellen Verengung aufgrund von Kopfbewegungen in verschiedenen Fahrsituationen unterliegen.

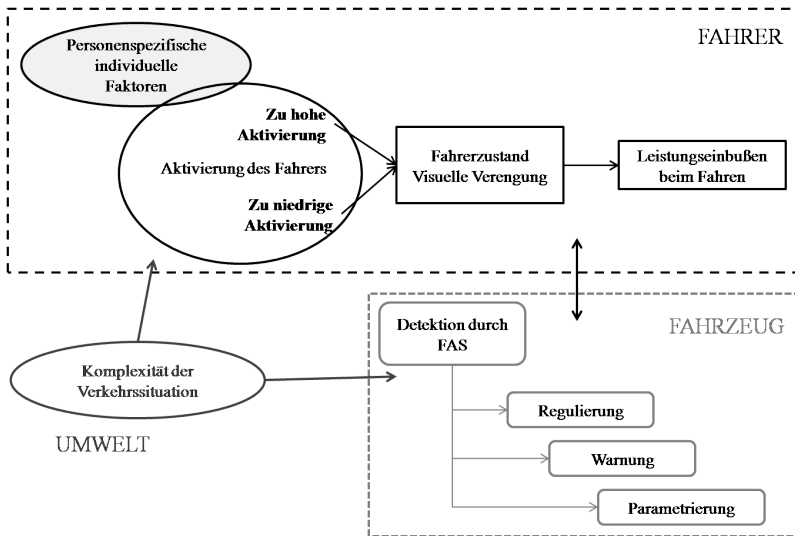


Abb. 3.8: Veranschaulichung des Untersuchungsgegenstandes dieser Arbeit.

Es lassen sich folgende **Fragestellungen** ableiten:

1. Ist es möglich, neben kopfbasierten Systemen, mithilfe von berührungslosen Blickregistrierungssystemen die visuelle Verengung des Fahrers in verschiedenen Verkehrssituationen zu detektieren?
2. Verursacht eine niedrige und hohe Aktivierung den Fahrerzustand der visuellen Verengung? Besteht ein u-förmiger-Zusammenhang zwischen dem Aktivierungsgrad des Fahrers und der visuellen Verengung?
3. Haben personenspezifische individuelle Faktoren, wie das Alter, einen Einfluss auf den Grad der visuellen Verengung?

Folgende **Hypothesen** lassen sich aufgrund der Ergebnisse der Literaturrecherche aufstellen:

- H1: Berührungslose Blickregistrierungsverfahren können zur Zustandserfassung der visuellen Verengung eingesetzt werden.
- H2: Die visuelle Verengung wird durch eine niedrige und eine hohe Aktivierung ausgelöst; bei einer mittleren Aktivierung des Kraftfahrers ist diese nicht vorhanden (u-förmiger Zusammenhang).
- H3: Das Alter als individueller Faktor hat einen Einfluss auf die visuelle Verengung, indem ältere Fahrer eine größere visuelle Verengung als Fahrer mittleren Alters zeigen. Dies ist durch eine höhere Aktivierung bedingt.

Im folgenden Kapitel werden die empirischen Studien erläutert, welche die Hypothesen des ersten Teils dieser Arbeit untersuchen.

### 3.3 Empirische Untersuchungen: aktivierungsabhängige visuelle Verengung

In diesem Kapitel werden zwei empirische Studien beschrieben, die zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der visuellen Verengung und der Aktivierung durchgeführt worden. Die Studie 1 beschreibt eine Detektion der visuellen Verengung mithilfe eines berührungslosen Eye-Tracker im Feld. Die Studie 2 untersucht die visuelle Verengung mithilfe eines kopfbasierten Eye-Trackers in einem Fahrsimulator.

#### 3.3.1 Empirische Studie 1: berührungslose Detektion visueller Verengung

Da nach der aufgestellten Theorie die visuelle Verengung durch einen sehr niedrigen oder einen sehr hohen Grad an Aktivierung ausgelöst wird, werden Fahrer in einer Feldstudie in gering, mittel und hoch komplexe Verkehrssituationen versetzt, um unterschiedliche Grade an Aktivierung zu erzeugen. Zudem wird in jeder Verkehrssituation die Blickverteilung gemessen. Es werden zwei Altersgruppen (mittleres und hohes Alter) gewählt werden, um das Ausmaß des Alters auf den Grad der visuellen Verengung zu untersuchen. Zudem ist es das Anliegen der Studie, die Methode des berührungslosen Eye-Trackers auf die Möglichkeit der Erfassung der visuellen Verengung im realen Verkehr zu untersuchen.

Diese Studie soll daher einen Teil der gestellten **Fragen** klären:

1. Ist es mit einem berührungslosen Eye-Tracker möglich, in verschiedenen Verkehrssituationen die visuelle Verengung zu erfassen?
2. Besteht ein u-förmiger Zusammenhang zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung?
3. Besteht ein Unterschied in der visuellen Verengung zwischen den gewählten zwei Altersgruppen?

In Bezug auf die Literaturrecherche der vorangegangenen Kapitel ergeben sich folgende **Hypothesen** bezüglich der Fragestellungen dieser Erhebung:

- **H1.1:** Berührungslose Blickregistrierungsverfahren können die visuelle Verengung in jeder Situation erfassen.
- **H2.1:** Im Vergleich zu einer optimalen Aktivierung führen eine hohe sowie eine niedrige Aktivierung zu einem signifikant höheren Anteil an Fixationen auf zentrale Blickfeldareale und einem signifikant geringeren Anteil an Fixationen auf periphere Blickfeldareale (u-förmiger Zusammenhang).

Dazu sollen folgende Einzelhypothesen untersucht werden.

- **H2.1.1:** Bei demselben Fahrer führen Verkehrssituationen, die eine hohe oder niedrige Aktivierung hervorrufen, zu einem signifikant höheren Anteil an Fixationen auf zentrale Blickfeldareale und einem signifikant geringeren Anteil an Fixationen auf periphere Blickfeldareale im Vergleich zu Verkehrssituationen, die eine optimale mittlere Aktivierung hervorrufen.
- **H2.1.2:** Im Vergleich zu Fahrern, die in einer Verkehrssituation eine optimale mittlere Aktivierung zeigen, besitzen andere Fahrer, die in derselben Situation eine hohe oder niedrige Aktivierung zeigen, einen signifikant höheren Anteil an Fixationen auf zentrale Blickfeldareale und einen signifikant geringeren Anteil an Fixationen auf periphere Blickfeldareale.
- **H3.1:** Ältere Fahrer zeigen im Vergleich zu jüngeren Fahrern eine signifikant größere visuelle Verengung, die auf eine höhere Aktivierung zurückzuführen ist.

### 3.3.1.1 Methode

#### A) Stichprobe

Die Probanden wurden über Aushänge an der Universität, in Volkshochschulen und Bibliotheken, über gedruckte oder online geschaltete Anzeigen in der Magdeburger und Schönebecker Volksstimme und dem lokalen Anzeigenmagazin Urbanite sowie durch Flyer an Fahrzeugen rekrutiert.

Insgesamt nahmen 61 Probanden (16 weiblich, 45 männlich) mit einer Altersbreite von 42 bis 88 Jahren an dieser Erhebung teil. Davon wurden anteilig 32 (10 weiblich, 22 männlich) der Fahrergruppe mittleren Alters ( $M = 52,03$  Jahre;  $SD = 6,05$  Jahre) und 29 (6 weiblich, 23 männlich) der alten Fahrergruppe ( $M = 70,34$  Jahre;  $SD = 4,86$  Jahre) zugeordnet. Als Grenzwert diente hier das 65. Lebensjahr, da dieses biographische Alter die Grenze für das hohe Alter beschreibt (World Health Organization, o. J.). Jüngere Probanden werden nicht in die Untersuchung mit einbezogen, da diese aufgrund ihrer geringeren Fahrerfahrung ein anderes Fahr- und Blickverhalten zeigen (Maltz & Shinar, 1999; Lavallière et al., 2007; Bao & Boyle, 2009).

Die Probanden wurden ebenfalls nach dem Modell und der Getriebeart des Fahrzeuges gefragt, die sie zum Zeitpunkt der Studie regelmäßig fuhren. Im Zusammenhang zum Modell und der Getriebeart des Versuchsfahrzeuges sollten dadurch Bekanntheitseffekte untersucht werden. Weitere fahrverhaltensbezogene Eigenschaften bezüglich der zwei Probandengruppen sind in Tabelle 3.1 dargestellt.

Die Sehschärfe aller Versuchsteilnehmer war normal, beziehungsweise auf normal korrigiert.

Variable	Mittlere Altersgruppe ( <i>N</i> = 32)	hohe Altersgruppe ( <i>N</i> = 29)
Führerscheinbesitz in Jahren <sup>a</sup> M (SD)	31,00 (8,20)	48,14 (6,84)
Jahresfahrleistung in km <sup>b</sup> M (SD)	25.169,81 (28.953,97)	9.239,31 (5.963,89)
unfallfreie Jahre M (SD)	25,62 (10,97)	33,65 (17,14)
Punkte im Verkehrszentralregister in Flensburg	0 Punkte ( <i>N</i> =29) 1 Punkt ( <i>N</i> = 1) 3 Punkte ( <i>N</i> = 1) 8 Punkte ( <i>N</i> = 1)	0 Punkte ( <i>N</i> = 29)
aktuelles Fahrzeug:		
Volkswagen	21,9% ( <i>N</i> = 7)	20,7% ( <i>N</i> = 6)
Schaltgetriebe <sup>c</sup>	84,4% ( <i>N</i> = 27)	58,6% ( <i>N</i> = 17)
überwiegende Fahrzeit pro Strecke	bis 30 min 43,8% ( <i>N</i> = 14) 30 – 60min 37,5% ( <i>N</i> = 12) über 60 min 15,6% ( <i>N</i> = 5)	bis 30 min 39,3% ( <i>N</i> = 11) 30 – 60min 44,8% ( <i>N</i> = 13) über 60min 13,8% ( <i>N</i> = 4)

Anmerkungen.

<sup>a</sup>  $t(58) = -8,71, p < 0,001$ , alte Altersgruppe *N* = 28

<sup>b</sup>  $t(33,88) = 3,04, p = 0,005$ , korrigierter Wert aufgrund von Varianzungleichheit nach dem Levene-Test

<sup>c</sup>  $\chi^2(1) = 5,02, p = 0,025$

Tab. 3.1: Fahrverhalten der Fahrer mittleren und hohen Alters in Studie 1.

## B) Geräte, Software und Materialien

### B1) Gesichtsfeldmessung

Zur Kontrolle, dass Unterschiede in der Blickverteilung nicht durch altersabhängige Gesichtsfeldgrößen verursacht sind, fand eine Gesichtsfeldmessung statt.

Zur Gesichtsfeldmessung wurde das linke und rechte Gesichtsfeld der Probanden mit dem Untertest zur peripheren Wahrnehmung (Peripheral Perception, PP) des Wiener Testsystems der Schuhfried GmbH gemessen (Prieler, 2009). Dazu muss der Proband eine Trackingaufgabe absolvieren und parallel periphere Zielreize auf horizontaler Ebene detektieren. Das Wiener Testsystem ist eine computergestützte Testbatterie zur psychologischen Diagnostik in verschiedenen Anwendungsgebieten. Der PP-Test gehört zu dem Expertensystem Verkehr, mit dem kraftfahrspesifische Leistungsfähig-



keiten und Persönlichkeitseigenschaften erfasst werden können.

Die Ergebnisse des Wiener Testsystems zeigen, dass kein Proband ausgeschlossen werden musste. Weiterhin weisen die älteren Probanden ein signifikant kleineres Gesichtsfeld auf;  $t(49,50) = 3,59$ ,  $p = 0,001$ , korrigierter Wert aufgrund von Varianzungleichheit nach dem Levene-Test. Dies zeigt sich mit einer durchschnittlichen Gesichtsfeldgröße von  $149,79^\circ$  ( $SD = 21,37$ ) der älteren im Vergleich zu  $166,91^\circ$  ( $SD = 14,93$ ) der mittleren Altersgruppe. Es können somit die Ergebnisse aus der Literatur bestätigt werden (Green, 2002), dass das periphere Sehen mit steigendem Alter kleiner wird (ein signifikanter Unterschied von knapp  $20^\circ$  zwischen beiden Altersgruppen).

#### B2) Versuchsfahrzeug

Als Versuchsfahrzeug stand ein VW Passat Variant TDI mit Schaltgetriebe zur Verfügung, indem zum einen die Blicke des Fahrers über das Blickregistrierungssystem Smart Eye (Smart Eye AB 2010) und zum anderen die fahrdynamischen Daten vom CAN-Bus (Controller Area Network) registriert werden. Auf der Rückbank des Fahrzeuges ist zusätzlich ein Computerarbeitsplatz eingerichtet, wodurch der Versuchsleiter die Datenaufnahme der einzelnen Systeme steuern und überwachen kann (Abbildung 3.9).



Abb. 3.9: Der Proband sitzt am Steuer des Versuchsfahrzeuges und wird vom Versuchsleiter auf der Rückbank instruiert [Bildquelle: Karin Lange, Otto-von-Guericke Universität (OvGU) Magdeburg].

#### B3) Blickregistrierungssystem

Während der Versuchsfahrt werden die Blickdaten der Probanden aufgenommen, um den Anteil an Fixationen für zentrale und periphere Blickfeldareale zu bestimmen. Dazu dient das berührungslose Blickregistrierungssystem Smart Eye der Firma Smart Eye AB und der Software Smart Eye Pro 5.9. Smart Eye bedient sich hierbei der Pupillenregistrierung (Kapitel 3.1.3.2). Der Eye-Tracker besteht aus einem fünfteiligen digitalen Kamerasystem, der die Blickbewegungen des Fahrers registriert. Die fünf Kameras sind horizontal auf dem Cockpit des Fahrzeuges in gleichen Abständen zwischen dem linken und rechten Außenspiegel angebracht, um das gesamte Blickfeld des Fahrers (Kapitel 3.1.1) zu messen (Abbildung 3.10).



Abb. 3.10: Eye-Tracker Smart Eye im Versuchsfahrzeug mit einer Szenenkamera zur Verkehrsbeobachtung (neben dem Rückspiegel) und Kameras für die Blickmessung auf dem Armaturenbrett (Bildquelle: Karin Lange, OvGU Magdeburg).

#### B4) Messung der Blickverteilung

In die Software Smart Eye Pro 5.9 wurde ein vom Autor programmiertes Weltmodell geladen (Abbildung 3.11). Es bildet die relevanten Bestandteile des Versuchsfahrzeuges (Front- und Seitenscheiben, Rück- und Seitenspiegel sowie Cockpit), auf die der Fahrer während der Fahrt blickt, maßgetreu ab. Um die Blickverteilung zu messen, wurde außerhalb des modellierten Fahrzeuges ein halber Zylinder (mit einem Radius von zwei Metern und einer Höhe von einem Meter) definiert, mit dem Kopf des Fahrers im Zentrum. Der Zylinder entspricht einem Gesichtsfeld von  $140^\circ$ , wenn der Fahrer geradeaus blickt.

Der Zylinder besteht aus einzelnen aneinandergereihten, rechteckigen AOI. Jedes AOI befindet sich aus Fahrersicht in einem bestimmten zentralen oder peripheren Gesichtsfeld. Diese Methode wurde in Anlehnung an die Literatur gewählt (vgl. Harbluk et al., 2006; Nabitlan, 2007). Da in dieser

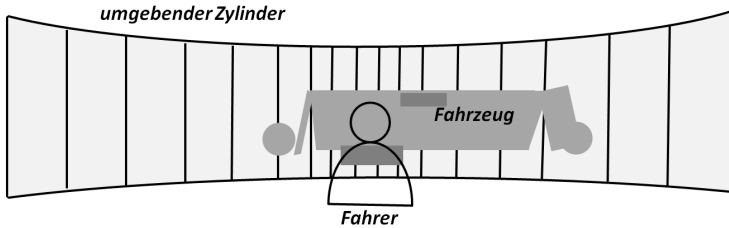


Abb. 3.11: Weltmodell aus Fahrersicht mit dem modellierten Versuchsfahrzeug und dem umgebenden, AOI beinhaltenden, Zylinder.

Studie das Ausmaß der horizontalen Blickverteilung untersucht werden soll, wurde die Anzahl der horizontal aneinander gereihten AOIs im Vergleich zur Literatur um ein Vielfaches erhöht. Damit soll sichergestellt werden, dass etwaige Varianz in der Blickverteilung auf der horizontalen Achse nicht vernachlässigt wird. Auf diese Weise lassen sich Blickstatistiken für die einzelnen AOIs berechnen, um somit Unterschiede im Blickverhalten auf der horizontalen Ebene zu untersuchen.

Die aus den Ergebnissen der Literaturrecherche stammenden visuellen Feldgrößen bilden die Grundlage für die Segmentierung des Zylinders in einzelne AOIs.

- Ein normales Gesichtsfeld umfasst  $180^\circ$ . Wie auch die Ergebnisse des Wiener Testsystems zeigen, verkleinert sich das Gesichtsfeld im hohen Alter. Um die Blickverteilung unabhängig von der altersabhängigen Gesichtsfeldgröße zu messen, wird ein Blickfeld von  $140^\circ$  betrachtet. Es wurde daher eine Segmentierung von  $-70^\circ$  und  $+70^\circ$  gewählt, die sich auf einen geradeaus schauenden Fahrer bezieht, der im Zentrum des Zylinders sitzt.

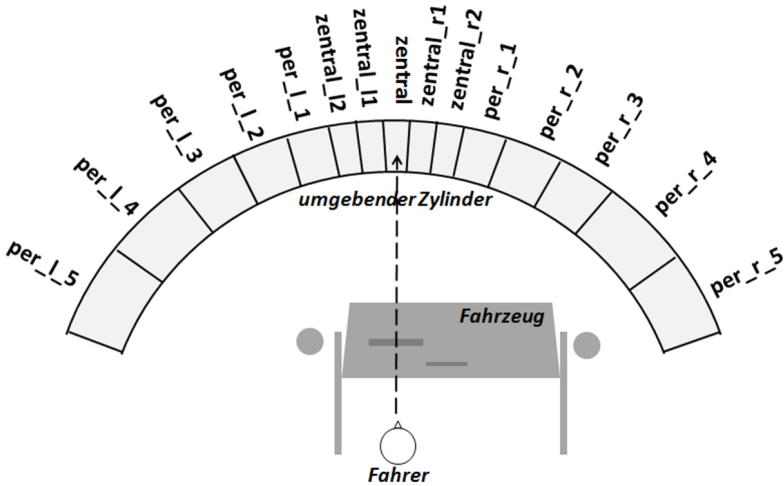


Abb. 3.12: Darstellung des Weltmodells mit der Fahrerposition, Teilen des Versuchsfahrzeuges und die einzelnen AOI der Zylinderform aus Vogelperspektive.

- Eine weitere Unterteilung erfolgte bei  $-40^\circ$  und  $+40^\circ$ , um das sensorische Gesichtsfeld zu definieren.
- Eine zusätzliche Unterteilung erfolgt bei  $-2,5^\circ$  und  $+2,5^\circ$  um den fixierten Punkt höchster Sehschärfe zu definieren, wenn ein Lot vom Fahrer aus gefällt wird.

Diese ersten Grenzen wurden dann weiterhin in feinere Segmente untergliedert, um eine detaillierte Analyse zu gewährleisten (Abbildung 3.12 und Tabelle 3.2).

Es wurde ein AOI von  $5^\circ$  definiert (zentral), welches den Bereich des scharfen Sehens beschreibt. Sowohl auf der linken als auch auf der rechten Seite dieses AOI, liegen zwei weitere AOI mit jeweils  $5^\circ$  (zentral\_l1, zentral\_l2, zentral\_r1, zentral\_r2).

<b>Zentrales AOI beim geradeaus Blicken</b>	
zentral (-2,5°; +2,5°)	
<b>Zentrale AOI auf der linken Seite</b>	<b>Zentrale AOI auf der rechten Seite</b>
zentral_l1 (-2,5°; -7,5°)	zentral_r1 (+2,5°; +7,5°)
zentral_l2 (-7,5°; -12,5°)	zentral_r2 (+7,5°; +12,5°)
<b>Periphere AOI auf der linken Seite</b>	<b>Periphere AOI auf der rechten Seite</b>
per_l_1 (-12,5°; -20,0°)	per_r_1 (+12,5°; +20,0°)
per_l_2 (-20,0°; -30,0°)	per_r_2 (+20,0°; +30,0°)
per_l_3 (-30,0°; -40,0°)	per_r_3 (+30,0°; +40,0°)
per_l_4 (-40,0°; -55,5°)	per_r_4 (+40,0°; +55,5°)
per_l_5 (-55,5°; -70,0°)	per_r_5 (+55,5°; +70,0°)

Tab. 3.2: AOI des Zylinders im Weltmodell Studie 1

Desweiteren wurden periphere AOI unterteilt, welche größer werden, je weiter sie vom AOI zentral entfernt liegen. Neben den äußeren zentralen AOI schließt sich jeweils ein peripheres AOI mit 7,5° an (per\_l\_1, per\_r\_1). Auf jeder Seite kommen zudem jeweils zwei weitere AOI mit je 10° hinzu (per\_l\_3, per\_l\_2, per\_r\_3, per\_r\_2). Die daran anliegenden äußersten AOI (per\_l\_5, per\_l\_4, per\_r\_5, per\_r\_4) beschreiben jeweils 15°.

Die zentralen AOI weisen die geringste Größe auf, da die Literaturrecherche gezeigt hat, dass sich die visuelle Verengung überwiegend auf diese Areale bezieht (Harbluk und Eizenmann, 2002; Harbluk et al., 2006; Lavallière und Kollegen, 2006; Reimer, 2009).

B5) Aktivierungsmessung

Es wird zudem die durch Verkehrssituationen ausgelöste Aktivierung während der Fahrt gemessen. Dazu wird der mehrdimensionale Ansatz genutzt (Kapitel 3.1.2.3) und dementsprechend physiologische, leistungsbezogene und subjektive Indikatoren betrachtet (Tabelle 3.3). Auf physiologischer Ebene wurden die HR und HRV gemessen, da diese nach Küting (1976) die validesten Indikatoren darstellen. Auf leistungsbezogener Ebene wurden der Bremsdruck, die Fahrzeuggeschwindigkeit, die Querschleunigung, die Längsbeschleunigung, der Lenkradwinkel und die Lenkradwinkelgeschwindigkeit gemessen. Auf subjektiver Ebene wurde die SEA-Skala aufgrund ihrer schnellen Durchführbarkeit während der Fahrt ausgewählt.

Indikatoren	Parameter	Messgeräte
Physiologie	HR, HRV	Schiller Microvit MT-101 Holter-EKG- Rekorder
	Lidschlussfrequenz	Smart Eye Eye-Tracker (Smart Eye Pro 5.9)
Leistungsmaße	Fahrdynamische Parameter:	CAN-Bus
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bremsdruck in bar</li> <li>● Querschleunigung in <math>m/s^2</math></li> <li>● Längsbeschleunigung in <math>m/s^2</math></li> <li>● Lenkradwinkel in <math>^\circ</math></li> <li>● Lenkradwinkelgeschwindigkeit in <math>^\circ/s</math></li> </ul>	
Subjektive Beurteilungsskalen	Eindimensional: SEA (Eilers, Nachreiner & Hänecke, 1986)	Skala Anhang A

Tab. 3.3: Verwendete Parameter zur Aktivierungsmessung Studie 1.



Abb. 3.13: Probandin absolviert den Test zur peripheren Wahrnehmung am Wiener Testsystem Studie 1.

#### **C) Ablauf**

Zu Beginn der Studie wurden die Probanden gebeten, die Einverständniserklärung (Anhang B), Dokumente zur rechtlichen Absicherung des Fahrers und Verhalten bei Unfällen, eine schriftliche Instruktion (Anhang C) und einen Pretestfragebogen (Anhang D) auszufüllen. Der Pretestfragebogen diente zur Erfassung demographischer Merkmale der Probanden, deren Fahrverhalten, eventueller Medikamenteneinnahme oder Krankheiten, die mit den physiologischen Daten interferieren könnten. Danach absolvierten die Teilnehmer den Test zur peripheren Wahrnehmung am Wiener Testsystem, mit dem das Gesichtsfeld gemessen wird (Abbildung 3.13). Im Anschluss wurde den Probanden das EKG-Gerät, zur physiologischen Aktivierungsmessung, angelegt.

Daraufhin führte der Versuchsleiter den Probanden zum Versuchsfahrzeug und wies ihn in das Fahrzeug ein. Es folgte für ca. fünf Minuten die Aufnahme eines Ruhe-EKGs im Fahrzeug. Währenddessen kalibrierte der



Versuchsleiter den Eye-Tracker. Im Anschluss wurde dem Probanden die SEA erklärt, die zur subjektiven Aktivierungsmessung diente. Der Fahrer gab mithilfe der SEA seine Beanspruchung im noch parkenden Fahrzeug an, um einen Ruhewert zu erhalten. Nach einer Einfahrphase auf dem Universitätsgelände, begann die Fahrt auf der Versuchsstrecke.

Die Versuchsstrecke beinhaltete Verkehrssituationen verschiedener Komplexität und basierte auf dem Situationskatalog für repräsentative Fahrttypen nach Fastenmeier (1995). Sie führte durch die Straßen und angrenzende Gebiete der Stadt Magdeburg (Abbildung 3.14). Die Versuchsstrecke war rund 30 km lang; Start- und Zielpunkt bildete der Parkplatz auf dem Campus der OvGU Magdeburg. Die benötigte Fahrzeit betrug ca. eine Stunde, je nach Verkehrsdichte.

Aus der Fülle der zu durchfahrenden Verkehrssituationen wurden für jeden Komplexitätsgrad (gering, mittel, hoch) sechs Verkehrssituationen ausgewählt, um möglichst ein breites Spektrum an Aktivierungen beim Fahrer auszulösen. In Abbildung 3.14 sind die 18 Verkehrssituationen in der Strecke markiert und in Anhang E sind die Kodierung und der Komplexitätsgrad nach Fastenmeier (1995) aufgelistet.

Die Aufgabe des Probanden war es, nach jeder durchfahrenen Situation seine Beanspruchung mit der SEA anzugeben.

Während der Fahrt saß der Versuchsleiter auf der Rückbank des Fahrzeuges, navigierte den Probanden und dokumentierte die Sicht- und Wetterbedingungen sowie die Verkehrsdichte pro Verkehrssituation (Anhang F). Am Ende der Fahrt wurde im parkenden Fahrzeug ein Erholungs-EKG von fünf Minuten gemessen. Daran anschließend wurde ein Postinterview (Anhang G) durchgeführt, in dem der Proband die einzelnen 18 Verkehrssituationen und sein eigenes Fahrverhalten bewertete.

Insgesamt dauerte ein Versuchsdurchgang pro Proband ca. zwei Stunden. Alle Versuchsfahrten wurden werktags von 8 bis 19 Uhr in den Monaten Juli bis September durchgeführt.

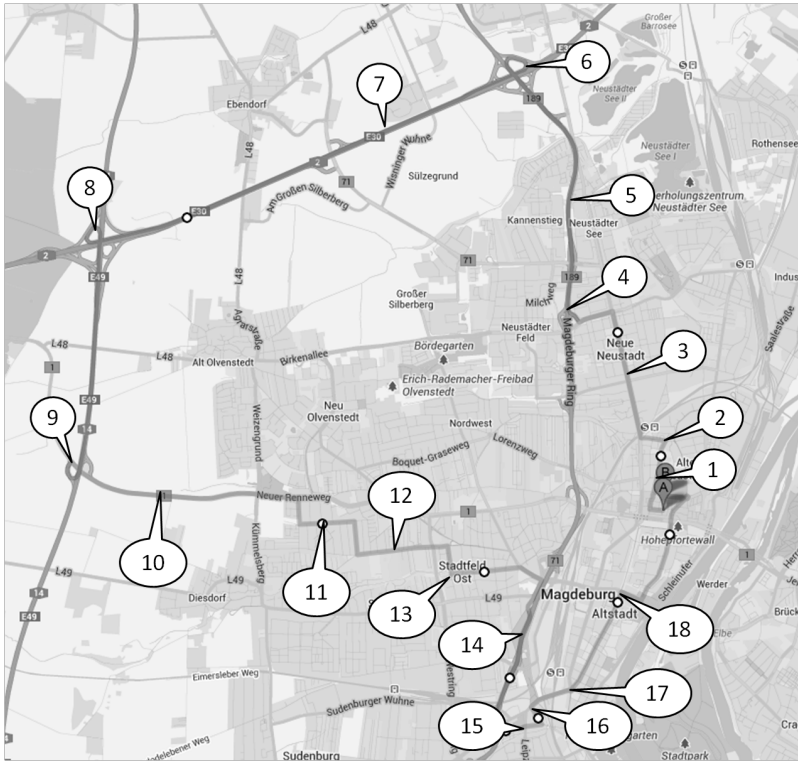


Abb. 3.14: Darstellung der Versuchsstrecke in und um Magdeburg Studie 1; Start und Ziel sind durch die Markierungen A und B und die 18 Verkehrssituationen durch die Nummerierungen definiert (Google Maps; maps.google.de).

#### **D) Versuchsdesign und Variablen**

Die Aktivierung als unabhängige Variable (UV1) kann in dieser Studie nur indirekt durch die verschiedenen komplexen Verkehrssituationen variiert werden. Das Ausmaß an Aktivierungsunterschieden (Ziel: drei Stufen mit niedriger, mittlerer und hoher Aktivierung) zwischen den Situationen innerhalb der Probanden (Innersubjektfaktor, H2.1.1) und innerhalb einer Situation zwischen den Probanden (Zwischensubjektfaktor, H2.1.2) erfolgt nach der Datenerhebung.

Eine weitere unabhängige Variable stellt die Altersgruppe (Zwischensubjektfaktor UV2 mit zwei Stufen) dar.

Als abhängige Variable wird der durchschnittliche prozentuale Anteil der Fixierungen pro Sekunde pro AOI (AV1) betrachtet.

#### **E) Statistische Analyse**

Die statistische Auswertung aller Daten wurde mithilfe der Statistiksoftware SPSS, Version 19 der Firma IBM und Microsoft Excel, Version 2007 durchgeführt. Da der Datenausfall pro Variable, pro Proband und pro Situation unterschiedlich war, basieren die Daten auf jeweils unterschiedlichen Probandenanzahlen. Die Stichprobengrößen werden daher bei jeder Statistik angegeben.

Die statistische Analyse (Bortz, 2005) erstreckt sich von deskriptiven Auswertungen (Mittelwert, Standardabweichung), über inferenzstatistische Analysen (t-Test, Varianzanalyse ANOVA) bis hin zu Zusammenhangsuntersuchungen (Pearson Korrelationskoeffizient  $r$ ).

Die Analyse mittels parametrischer Verfahren (t-Test, ANOVA) bedarf diverser Testvoraussetzungen wie die der Normalverteilung (t-Test, ANOVA), der Varianzhomogenität (t-Test) und der Sphärizität (ANOVA mit Messwiederholung). Sind diese nicht erfüllt, so werden die korrigierten Statistiken aufgeführt und darauf hingewiesen. Mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test wird die Normalverteilung, mit dem Levene-Test die Varianzhomogenität und mit dem Mauchly-Test die Sphärizität überprüft.

Zusammenhänge zwischen zwei Variablen werden durch Korrelationen berechnet. Je nach Skalierung der Variablen werden unterschiedliche Korrelationskoeffizienten eingesetzt. Der Wertebereich erstreckt sich von +1 bis -1, wobei positive Werte einen positiven Zusammenhang und negative Werte einen negativen Zusammenhang verdeutlichen. Je näher die Werte gegen (+/-) 1 gehen, umso größer ist der Zusammenhang.

Das Signifikanzniveau wird auf  $p < 0,05$  festgesetzt. Zur Kontrolle der Alphafehler-Kumulierung wurde die Bonferroni-Korrektur gewählt.

#### 3.3.1.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse gemäß der Reihenfolge der Hypothesen vorgestellt.

##### **A) Erfassung der Blickverteilung mit dem berührungslosen Eye-Tracker**

Gemäß der ersten Hypothese (H1.1) wird zunächst überprüft, inwieweit das fünfteilige berührungslose Blickregistrierungssystem in allen Verkehrssituationen die Blickverteilung erfassen kann. Es zeigt sich, dass es bei der Messung zu Blickdatenausfällen kam, die nicht auf Fixationen, Sakkaden oder Lidschläge, sondern auf die Nichtregistrierung der Augen zurückzuführen waren.

Dieser Fehleranteil an Blickdatenausfällen wurde pro Person und Situation berechnet. Es wurde ein Grenzwert von 5 % festgelegt, wonach alle Personen aus den Berechnungen ausgeschlossen wurden, deren Fehleranteil über diesem Wert lag. Situationen, die dadurch weniger als ein Drittel von zuvor 61 Probanden beinhalteten, wurden ebenfalls ausgeschlossen. Dies betraf Kreuzungssituationen (Nr. 2; 9; 13; 15; 16; 18) und den Kreisverkehr (Nr. 17). Nur die verbleibenden elf Situationen mit den Nummern 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14 (Anhang E) wurden im Weiteren zur Analyse herangezogen.

#### **B) Aktivierungsgrad und visuelle Verengung**

Laut der zweiten Hypothese (H2.1) wird der u-förmige Zusammenhang zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung untersucht. Dieser Zusammenhang wird zum einen in Bezug auf Aktivierungsunterschiede innerhalb einer Person in verschiedenen Situationen (H2.1.1) getestet und zum anderen in Bezug auf Aktivierungsunterschiede zwischen verschiedenen Personen in derselben Situation (H2.1.2).

In Bezug auf die erste Betrachtungsweise (H2.1.1) muss zunächst geprüft werden, ob die ausgewählten gering, mittel und hoch komplexen Verkehrssituationen zu den gewünschten dreistufigen Aktivierungen (niedrig, mittel, hoch) geführt haben.

Da Blickverteilungsunterschiede innerhalb einer Person zwischen verschiedenen aktivierungsauslösenden Verkehrssituationen betrachtet werden, müssen diese in ihrer Streckengeometrie vergleichbar sein. Es werden daher von den elf Verkehrssituationen acht Stück entnommen (Situationsnummern 1, 3, 5, 7, 8, 10, 12 und 14), die sich lediglich auf das geradeaus Fahren beziehen.

Diese acht Verkehrssituationen werden in Hinblick auf ihre aktivierende Wirkung in eine wenig aktivierende, eine mittel aktivierende und eine hoch aktivierende Verkehrssituation gruppiert. Dazu werden auf subjektiver Ebene die SEA und auf physiologischer Ebene die HR gewählt, da die HR als der brauchbarste Indikator angesehen wird (Küting, 1976). Auf der leistungsbezogenen Ebene wird kein Faktor zur Klassifizierung herangezogen, da sich diese zwischen den acht Verkehrssituationen aufgrund unterschiedlicher Richtgeschwindigkeiten, Fahrstreifenbreiten und Streckengeometrien, nicht vergleichen lassen. Um die Situationen nach ihrer Komplexität einzuordnen, wurden pro Person die HR- und die SEA-Differenzwerte (Differenzen zur Kontrollbedingung im parkenden Fahrzeug vor der Fahrt) über alle acht Situationen hinweg zur Vergleichbarkeit z-standardisiert. Da hohe HR- und SEA-Differenzwerte eine hohe Aktivierung und kleine Differenzwerte dagegen eine niedrige Aktivierung angeben, spiegelt sich dies ebenfalls in

den z-Werten wieder. Je höher ein z-Wert im positiven Wertebereich ist, desto aktivierender war diese Situation für die Person. Dabei entsprechen z-Werte von größer/gleich 1 einer hohen Aktivierung. Je kleiner der z-Wert im negativen Wertebereich ist, desto weniger aktivierend war die Situation. Dabei entsprechen z-Werte von kleiner/gleich 1 einer niedrigen Aktivierung. Situationen mit z-Werten gegen Null stellen mittel aktivierende Verkehrssituationen dar.

In Tabelle 3.4 sind pro Situation die gemittelten z-Differenzwerte für die HR und die SEA angegeben, sowie ein Mittelwert beider z-Werte, wonach aufsteigend sortiert wurde. Es zeigt sich, dass im Mittel keine Situation einen z-Wert von größer 1 bzw. kleiner als 1 besitzt, das heißt diese acht Situationen werden als mittelkomplex wahrgenommen.

Situation Nr.	z-Wert von HR-Differenz M (SD)	z-Wert von SEA-Differenz M (SD)	Mittelwert beider z-Werte M (SD)
5	0,34 (0,79)	0,53 (0,64)	0,44 (0,71)
12	0,66 (0,61)	0,09 (0,76)	0,38 (0,68)
10	0,49 (0,69)	0,18 (0,88)	0,34 (0,78)
14	0,42 (0,71)	0,34 (0,86)	0,04 (0,78)
1	0,55 (1,03)	0,35 (1,15)	0,10 (1,09)
3	0,31 (0,79)	0,02 (1,00)	0,15 (0,89)
8	0,44 (0,87)	0,44 (0,73)	0,44 (0,8)
7	0,57 (0,81)	0,39 (0,89)	0,49 (0,85)

Tab. 3.4: Gemittelte z-standardisierte Differenzwerte pro HR und SEA für acht Verkehrssituationen und der Mittelwert aus den beiden Indikatoren.

Obwohl auf dieser Datengrundlage keine Klassifizierung in niedrig bzw. hoch aktivierende Verkehrssituationen vorgenommen werden kann, soll an dieser Stelle die Situation mit dem niedrigsten gemittelten z-Wert (Nr. 5, Ringfahrt), die Situation mit einem mittleren gemittelten z-Wert gegen Null (Nr. 14, Ringfahrt) und die Situation mit dem höchsten gemittelten z-Wert (Nr. 7, Autobahnfahrt A2) in ihrer Blickverteilung verglichen werden. In Abbildung 3.15 ist der relative Anteil an Fixationen pro Sekunde für die Verkehrssituationen Nr. 5, Nr. 7 und Nr. 14 dargestellt.

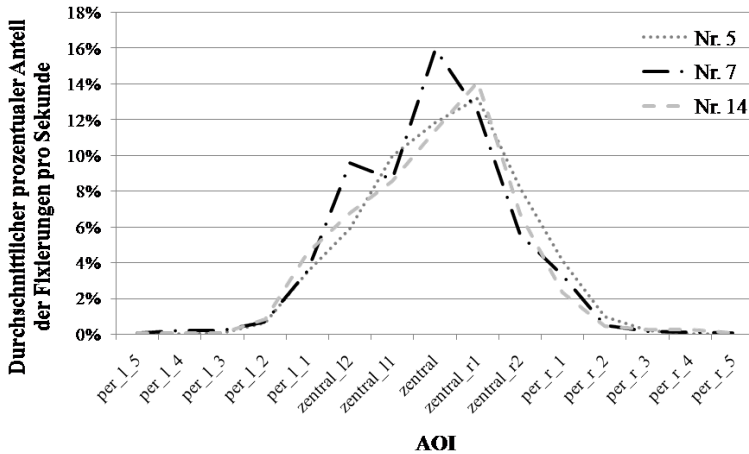


Abb. 3.15: Blickverteilung pro AOI für Verkehrssituationen mit der durchschnittlich niedrigsten (Nr. 5, Ringfahrt), mittleren (Nr. 14, Ringfahrt) und höchsten Aktivierung (Nr. 7, Autobahnfahrt auf der A2) (N = 34).

Es wurde eine einfaktorische ANOVA (Innersubjektfaktor Aktivierungsgrad pro Situation) mit Messwiederholung (N = 34) für die zentralen und peripheren AOI berechnet, um signifikante Unterschiede in den Fixationen zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Innersubjektfaktor einen signifikanten Effekt auf den relativen Anteil an Fixierungen für das AOI zentral hat;  $F(2, 76) = 4,46, p = 0,015$ . Innersubjektkontraste zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen der Situation mit der höchsten Aktivierung (Nr. 7) und der Situation mit der mittleren Aktivierung (Nr. 14) auf;  $F(1, 38) = 6,31, p = 0,016, r = 0,37$ . Das heißt, dass die prozentuale Blickdauer für das AOI zentral der Situation mit der höchsten Aktivierung (Nr. 7) im Vergleich zur Situation mit der mittleren Aktivierung (Nr. 14) signifikant größer ist. Ein signifikanter Kontrast zwischen der Situation mit der mittleren Aktivierung (Nr. 14) und der Verkehrssituationen mit der durchschnittlich

niedrigsten Aktivierung (Nr. 5, Ringfahrt) ist nicht vorhanden ( $p > 0,05$ ). Weitere signifikante Haupteffekte in den anderen AOI sind nicht vorhanden ( $p > 0,05$ ).

In Bezug auf die zweite Betrachtungsweise (H2.1.2) muss zunächst geprüft werden, ob es Situationen gab, die bei Probanden eine niedrige, mittlere und hohe Aktivierung ausgelöst haben. Das heißt, es müssen innerhalb einer Situation die Probanden in niedrig, mittel und hoch aktivierte Personen gruppiert werden. Dies erfolgte anhand der z-Werte aus der vorherigen Analyse (gemittelte z-Werte pro Person über die acht Situationen von HR- und SEA-Differenzwerten).

Da es an dieser Stelle um Analysen innerhalb einer Situation geht, wurde zunächst in Erwägung gezogen, das Leistungsmaß der Geschwindigkeit dazu zu nehmen, da sich dieser in Studien als sensitiver Indikator erwiesen hat (Trick, Toxopeus und Wilson, 2010; Papendick et al., 2012). Jedoch zeigten sich pro Situation keine signifikanten Korrelationen zwischen der Geschwindigkeit und den z-Werten ( $p > 0,05$ ). Aus diesem Grund wurde dieses Leistungsmaß nicht zur Analyse herangezogen.

Probanden mit einer niedrigen Aktivierung (gemittelte z-Werte kleiner als 1), einer mittleren Aktivierung (gemittelte z-Werte  $> 1$  bis  $< +1$ ) und einer hohen Aktivierung (gemittelte z-Werte größer als 1) wurden für jede der acht Situationen in der Tabelle 3.5 dargestellt.

Es zeigt sich, dass keine Situation annähernd gleichviele Probanden mit z-Werten unter 1 und gleichzeitig über +1 enthält. Daher ist ein Vergleich der Blickverteilung zwischen Probanden mit einer niedrigen, mittleren und hohen Aktivierung innerhalb einer Situation nicht durchführbar. Um die H2.1.2 dennoch zu testen, werden die Blickverteilungen zwischen Probanden mit einer hohen und einer mittleren Aktivierung (Situationen Nr. 7 und 8) und zwischen Probanden mit einer niedrigen und einer mittleren Aktivierung (Situation Nr. 5) verglichen. Es wurden diese drei Situationen gewählt, da sie die höchste Anzahl an Probanden mit einer hohen bzw. niedrigen Aktivierung besitzen. Die hoch aktivierten Probanden werden mit Probanden mit



Situation Nr.	durchschnittlicher z-Wert			
	$\leq 1$	$> 1$ bis $< 0$	$0$ bis $< +1$	$\geq +1$
1 (N = 34)	1	19	10	4
3 (N = 35)	1	11	16	6
5 (N = 46)	6	31	9	0
7 (N = 46)	0	12	23	11
8 (N = 42)	0	10	23	9
10 (N = 38)	3	24	10	1
12 (N = 37)	4	23	7	3
14 (N = 38)	1	17	15	5

Tab. 3.5: Häufigkeitszählung von Probanden, deren gemittelter z-Wert (basierend auf den z-Werten der HR- und SEA-Differenzwerte).

z-Werten von unter 0 und die niedrig aktivierten Probanden mit Probanden mit z-Werten von über 0 verglichen, um maximal voneinander abgrenzbare Gruppen zu betrachten. Zunächst folgt die Analyse für die Verkehrssituation Nr. 7 (Abbildung 3.16), in der Probanden mit einer hohen und mittleren Aktivierung verglichen werden.

Da der Zwischensubjektfaktor nur zweistufig ist, werden pro AOI t-Tests berechnet. Im Mittel zeigen die höher aktivierten Probanden eine tendenziell signifikant höhere relative Fixierung pro Sekunde für das AOI zentral\_11 ( $M = 12,84\%$ ,  $SD = 14,37\%$ ) als die mittel aktivierten Probanden ( $M = 4,11\%$ ,  $SD = 4,69\%$ ). Da nach dem Levene-Test die Varianzen der beiden Stichproben signifikant unterschiedlich sind, wurde an dieser Stelle der korrigierte t-Test für den Mittelwertevergleich für unabhängige Stichproben gewählt;  $t(10,35) = 2,13$ ,  $p = 0,057$ . Dieser Unterschied entspricht einer mittleren Effektstärke ( $r = 0,35$ ). Die Unterschiede zwischen den hoch aktivierten und mittel aktivierten Probanden in den restlichen AOI der Situation Nr. 7 sind nicht signifikant unterschiedlich ( $p > 0,05$ ).

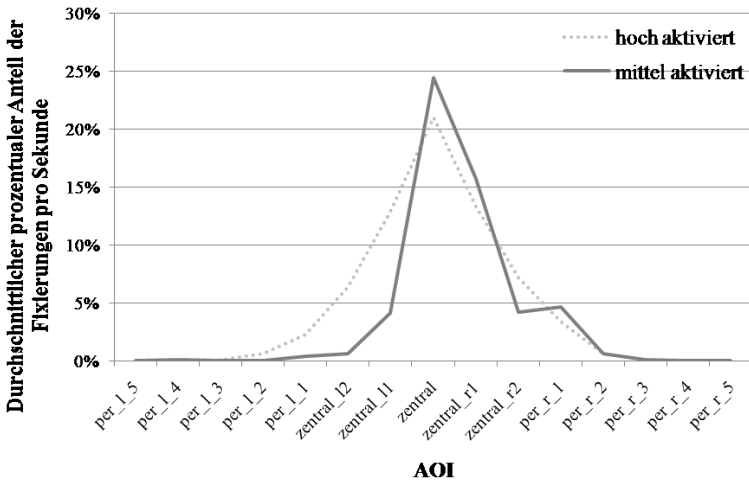


Abb. 3.16: Darstellung der Blickverteilung für die Verkehrssituation Nr. 7 (Autobahnfahrt A2) für Probanden mit einer hohen (N = 11) und mittleren Aktivierung (N = 12).

In der Situation Nr. 8 (Abbildung 3.17) wurden ebenfalls Probanden mit einer hohen und mittleren Aktivierung in ihrer Blickverteilung verglichen. Probanden mit einer mittleren Aktivierung (M = 0,03 %, SD = 0,04 %) fixierten das AOI per\_1\_3 signifikant mehr als Probanden mit einer hohen Aktivierung (M = 0,00 %, SD = 0,00 %). Auch hier wurde der korrigierte t-Test für unabhängige Stichproben aufgrund signifikant unterschiedlicher Varianzen gewählt;  $t(9,0) = 2,36, p = 0,042$ . Dies entspricht einer großen Effektstärke ( $r = 0,61$ ).

Die Unterschiede zwischen den hoch aktivierten und mittel aktivierten Probanden in den restlichen AOI der Situation Nr. 8 sind nicht signifikant unterschiedlich ( $p > 0,05$ ), jedoch sollen aufgrund der Abbildung 18 weitere AOI näher betrachtet werden.

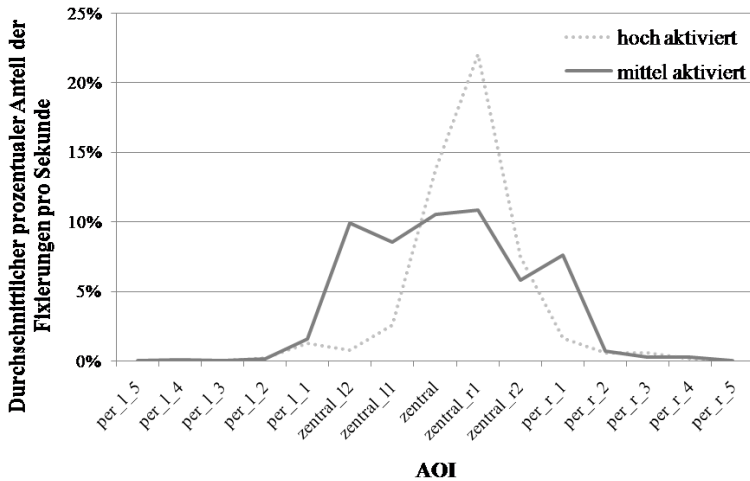


Abb. 3.17: Darstellung der Blickverteilung für die Verkehrssituation Nr. 8 (Autobahnfahrt A14) für Probanden mit einer hohen (N = 9) und mittleren (N = 10) Aktivierung.

Für das periphere AOI per\_r\_1 ist kein signifikanter Unterschied zwischen den hoch (M = 1,63 %, SD = 3,46 %) und mittel (M = 7,62 %, SD = 15,77 %) aktivierten Probanden zu verzeichnen;  $t(9,95) = 1,17, p = 0,269$ . Jedoch liegt hier ein mittelgroßer Effekt vor ( $r = 0,34$ ).

Ein gleicher nicht signifikanter Unterschied zeigt sich für das AOI zentral\_12;  $t(9,13) = 1,69, p = 0,124$ . Auch hier zeigten die mittel aktivierten Probanden (M = 9,94 %, SD = 17,09 %) eine höhere Fixierung als die hoch aktivierten Probanden (M = 0,76 %, SD = 1,42 %) mit einer mittelgroßen Effektstärke ( $r = 0,48$ ).

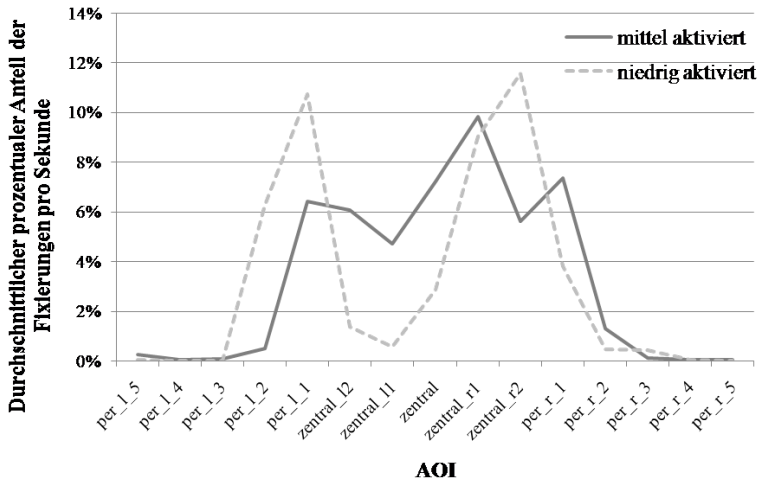


Abb. 3.18: Darstellung der Blickverteilung für die Verkehrssituation Nr. 5 (Ringfahrt) für Probanden mit einer niedrigen (N = 6) und mittleren (N = 9) Aktivierung.

In Situation Nr. 5 (Abbildung 3.18) wird der Vergleich zwischen Probanden mit einer niedrigen und einer mittleren Aktivierung untersucht. Keiner der Mittelwerte unterscheidet sich signifikant zwischen den mittel und niedrig aktivierten Probanden pro AOI (t-Tests,  $p > 0,05$ ). In dieser gering komplexen Situation zeigen sich mehrere Modalwerte in den Fixierhäufigkeiten der peripheren und zentralen AOI. Betrachtet man die zwei Modi der niedrig aktivierten Probanden (per\_1\_1 und zentral\_r\_2), so ist der relative Anteil an Fixationen pro Sekunde für die niedrig aktivierten Probanden ( $M = 10,74 \%$ ,  $SD = 25,36 \%$  und  $M = 11,57 \%$ ,  $SD = 13,30 \%$ ) höher als für die mittel aktivierten Probanden ( $M = 6,41 \%$ ,  $SD = 9,91 \%$  und  $M = 5,61 \%$ ,  $SD = 9,06 \%$ ). Diese nicht signifikanten Unterschiede stellen kleine Effekte dar ( $r = 0,12$  bzw.  $r = 0,27$ ).

#### **C) Alter und visuelle Verengung**

Laut der dritten Hypothese (H3.1) wird untersucht, dass Fahrer im hohen Alter im Vergleich zu jüngeren Fahrern eine größere visuelle Verengung zeigen.

Mittels Unterschiedstests (t-Test für unabhängige Stichproben) wurde pro Situation auf signifikante Unterschiede im relativen Anteil an Fixationen pro Sekunde pro AOI zwischen der mittleren und hohen Altersgruppe getestet. In der Tabelle 3.6 sind alle signifikanten Unterschiede aufgeführt.

Betrachtet man die Mittelwerte der signifikanten Ergebnissen der Unterschiedstests (Tabelle 3.6), so zeigt sich, dass bei den zentralen AOI die relativen Fixierungen pro Sekunde der alten Probandengruppe im Mittel größer sind als die, der Probandengruppe mittleren Alters. Umgekehrt zeigt sich dies bei den peripheren AOI; dort sind die relativen Fixierungen pro Sekunde im Mittel bei den älteren Probandengruppen kleiner als bei den Probandengruppen mittleren Alters. Diese Unterschiede stellen nach Cohen (1988, 1992) mittlere bis große Effekte ( $r$ ) dar.

Es soll nun getestet werden, ob die signifikanten Unterschiede in der Fixierung zentraler und peripherer AOI durch Aktivierungsunterschiede oder durch den Altersfaktor hervorgerufen wurden. Im Folgenden werden daher die Aktivierungsindikatoren auf Unterschiede zwischen den Probandengruppen mittleren und hohen Alters untersucht.

Zunächst werden Unterschiede in der subjektiven Beurteilung (SEA) betrachtet. Ein Proband (mittlere Altersgruppe) wurde aus allen zehn Situationen bei dieser Analyse ausgeschlossen, da dessen Skalenwerte in jeder Situation über zwei Standardabweichungen über dem Mittelwert lagen. Es ergeben sich für keine Situation signifikante Unterschiede in der subjektiven Beanspruchungsbeurteilung zwischen der mittleren und hohen Altersgruppe (t-Tests für unabhängige Stichproben;  $p > 0,05$ ).

In Bezug auf die physiologischen Indikatoren wurden zunächst die Daten des EKG (HR und HRV) ausgewertet. Je nach Situation kann bei bestimmten Probanden, aufgrund von Ausfällen oder Artefakten während der Daten-

Situation Nr. (N mittlere; hohe Altersgruppe)	AOI	Statistik t-Test M (SD) mittlere vs. hohe Altersgruppe
5 (26;23)	zentral	t (30,41) = 2,09; p = 0,04, r = 0,35 <sup>a</sup> 7 % (8,4%) vs. 15,6 % (18 %)
7 (24;21)	zentral_11	t (34,06) = 2,02, p = 0,05, r = 0,31 <sup>a</sup> 4,87 % (8,12 %) vs. 11,23 % (12,2 %)
3 (19;19)	per_1_3	t (18,61) = 2,44, p = 0,02, r = 0,55 <sup>a</sup> 0,41 % (0,65 %) vs. 0,04 % (0,08 %)
	per_1_3	t (19,96) = 2,11, p = 0,04, r = 0,42 <sup>a</sup> 0,10 % (0,14 %) vs. 0,02 % (0,03 %)
5 (26;23)	per_1_3	t (25,15) = 2,25, p = 0,03, r = 0,40 <sup>a</sup> 0,26 % (0,56 %) vs. 0,01 % (0,03 %)
7 (24;21)	per_r_2	t (27,94) = 2,22, p = 0,03, r = 0,38 <sup>a</sup> 0,65 % (1,03 %) vs. 0,16 % (0,32 %)
8 (23;22)	per_r_5	t (27,83) = 2,3, p = 0,02, r = 0,39 <sup>a</sup> 0,05 % (0,09 %) vs. 0,01 % (0,03 %)
10 (22;19)	per_r_2	t (21,51) = 2,69, p = 0,01, r = 0,50 <sup>a</sup> 0,96 % (1,5 %) vs. 0,09 % (0,15 %)
11 (15;16)	per_1_3	t (16,05) = 2,40, p = 0,02, r = 0,51 <sup>a</sup> 2,13 % (2,12 %) vs. 1,46 % (1,53 %)
12 (20;19)	per_r_2	t (28,79) = 2,12, p = 0,04, r = 0,36 <sup>a</sup> 1,41 % (1,73 %) vs. 0,48 % (0,89 %)

Anmerkungen.

<sup>a</sup> korrigierter t-Test, da keine Varianzgleichheit gegeben ist (Levene-Test)

Tab. 3.6: Signifikante Unterschiede zwischen der mittleren und hohen Altersgruppe in ihrem prozentualen Anteil an Fixationen pro Sekunde und AOI (t-Test für unabhängige Stichproben, M und SD, Effektstärke r).

aufnahme, das EKG nicht analysiert werden. Die Probandengröße variiert somit von Situation zu Situation. Um individuelle Unterschiede in der HR und HRV heraus zu rechnen, wurden Differenzwerte in Bezug auf das Ruhe-EKG (Kontrollbedingung) zu Beginn der Fahrt gebildet (EKG-Wert in der Situation minus EKG-Wert in Ruhe). Die Ergebnisse zeigen, dass weder die HR-Differenzwerte, noch die HRV-Differenzwerte zwischen den Probandengruppen signifikant verschieden sind (t-Tests für unabhängige Stichproben;  $p > 0,05$ ).

Ein weiterer physiologischer Parameter, die Lidschlagfrequenz pro Sekunde, wurde zunächst pro Proband über die zehn Situationen hinweg z-

standardisiert, somit lassen sich die individuellen Lidschlagfrequenzen zwischen den Probanden vergleichen. Auch hier zeigen sich keine signifikanten Unterschiede pro Situation zwischen den Altersgruppen (t-Tests für unabhängige Stichproben;  $p > 0,05$ ).

Als dritter Aktivierungsindikator werden die Leistungsmaße der Primäraufgabe, die sich im Fahrverhalten ausdrücken, untersucht. Die folgenden Variablen wurden nach Unterschieden zwischen den Altersgruppen pro Situation geprüft:

- Bremsdruck in bar (Mittelwert),
- Fahrzeuggeschwindigkeit in km/h (Mittelwert),
- Querbeschleunigung in  $m/s^2$  (Mittelwert),
- Längsbeschleunigung in  $m/s^2$  (Mittelwert),
- Lenkradwinkel in  $^\circ$  (Standardabweichung) und
- Lenkradwinkelgeschwindigkeit in  $^\circ/s$  (Standardabweichung).

Keine der hier aufgeführten Fahrverhaltensdaten unterschied sich signifikant zwischen den Altersgruppen pro Situation (t-Tests für unabhängige Stichproben;  $p > 0,05$ ).

#### 3.3.1.3 Diskussion

Diese Studie 1 zur berührungslosen Detektion visueller Verengung untersuchte den Fahrerzustand der visuellen Verengung in Abhängigkeit der Aktivierung, ausgelöst durch verschieden komplexe Verkehrssituationen im Feld. Fahrer aus den mittleren und hohen Altersgruppen nahmen an der Studie teil. Die Blickverteilung wurde auf der Basis eines Weltmodells mittels des berührungslosen Blickregistrierungssystems Smart Eye Pro (Smart Eye Ab, 2010) während einer einstündigen Fahrt in 18 verschiedenen

Verkehrssituationen erfasst. Die Situationen wurden nach einem Verkehrssituationskatalog (Fastenmeier, 1995) so ausgewählt, dass gering, mittel und hoch komplexe Situationen gleichhäufig vertreten waren. Um einen Zusammenhang zwischen der visuellen Verengung und der Aktivierung des Fahrers herzustellen, wurde die Aktivierung mittels physiologischer, subjektiver und leistungsbezogener Indikatoren gemessen.

#### **A) Erfassung der Blickverteilung mit dem berührungslosen Eye-Tracker**

Zunächst wurde untersucht inwieweit das berührungslose fünfteilige Smart Eye Kamerasystem die Blickverteilung und somit die visuelle Verengung in verschiedenen Verkehrssituationen erfassen kann. Die Auswertung der Daten zeigt, dass die Erfassung der Blickverteilung in Situationen mit Abbiege- und Spurwechselmanövern (beispielsweise Kreuzungen, Kreisverkehre) nicht gewährleistet werden konnte. Um diese Situationen ebenfalls erfassen zu können, müssten mindestens zwei Kameras mehr in den äußeren peripheren horizontalen Blickbereichen des Fahrers installiert werden, so dass auch bei großen Kopfdrehungen wenigstens zwei Kameras beide Augen des Fahrers erfassen können.

Inwieweit es, trotz erhöhter Kopfdrehungen in solchen Situationen, zu Effekten visueller Verengung kommt, gilt es in zukünftigen Studien außerhalb dieser Arbeit zu untersuchen.

Diese Studie beschränkt sich daher auf die Erfassung der visuellen Verengung in Situationen mit weitgehend geraden Streckengeometrien. Die erste Hypothese (H1.1) kann somit eingeschränkt bestätigt werden. Das hier eingesetzte fünfteilige Blickregistrierungssystem ermöglicht es, die visuelle Verengung zu erfassen, jedoch nur auf geraden Streckenabschnitten.

#### **B) Aktivierungsgrad und visuelle Verengung**

Weiterhin wurde der u-förmige Zusammenhang zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung untersucht. Demnach sollten im Vergleich zu einer optimalen Aktivierung, eine hohe sowie eine niedrige Aktivierung



zu einem signifikant höheren Anteil an Fixationen auf zentrale Blickfeldareale und einem signifikant geringerem Anteil an Fixationen auf periphere Blickfeldareale führen.

Dazu wurden zwei Gesichtspunkte untersucht, zum Einen der Vergleich der Blickverteilung auf zentrale und periphere Areale innerhalb einer Person zwischen unterschiedlich aktivierenden Situationen (H2.1.1) und zum Anderen der Vergleich der Blickverteilung zwischen Personen, die innerhalb einer Situation unterschiedlich aktiviert waren (H2.1.2).

In Bezug zur ersten Unterhypothese (H2.1.1) wurden nur Situationen mit geraden Streckengeometrien analysiert (und beispielsweise Auffahrten ausgeschlossen), um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Anhand der physiologischen und subjektiven Indikatoren zeigte sich, dass alle ausgewählten acht Situationen eine mittlere Aktivierung bei den Probanden auslösten, da die z-Werte nicht über eine Standardabweichung hinaus gingen. Dies wird durch Fastenmeiers Situationskatalog (1995) bestätigt, der ebenfalls diesen acht Situationen einen geringen oder mittleren Komplexitätsgrad zuordnet.

Der Vergleich zwischen den Situationen mit dem höchsten, mittleren und niedrigsten Grad an Aktivierung zeigt einen bedeutsamen Effekt im AOI zentral. In der höher aktivierenden Situation zeigten die Probanden eine höhere relative Fixierung pro Sekunde als in der Situation, die eine mittlere Aktivierung auslöste. Eine mittlere Effektstärke spricht für die Bedeutsamkeit dieses Kontrastes. Zwischen der Situation mit dem niedrigsten und mittleren Grad an Aktivierung konnte kein bedeutsamer Unterschied gemessen werden. Für die peripheren AOI waren keine Unterschiede vorhanden.

Die u-förmige Beziehung zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung kann daher in Bezug auf die H2.1.1 für die hohe Aktivierung und zentralen Blickfeldareale bestätigt werden und dies, obwohl die Situation nicht einer sehr hohen Aktivierung und Komplexität entsprach.

In Bezug zur zweiten Unterhypothese (H2.1.2) sollte die Blickverteilung zwischen niedrig, mittel und hoch aktivierten Probanden innerhalb einer Situation verglichen werden. Anhand der ermittelten z-Werte zeigte sich

jedoch, dass keine hoch und niedrig aktivierten Probanden innerhalb einer Situation vorlagen. Aus diesem Grunde wurde innerhalb einer Situation nur zwischen Probanden mit einer hohen und mittleren Aktivierung oder zwischen Probanden mit einer niedrigen und mittleren Aktivierung verglichen.

Der Vergleich zwischen den hoch und mittel aktivierten Probanden (Situation Nr. 7 und 8) zeigte, dass die hoch aktivierten Probanden im Vergleich zu den mittel aktivierten Probanden teilweise signifikant häufiger die zentralen und weniger häufig die peripheren AOI fixierten.

Die mittleren bis großen Effektstärken unterstreichen die Bedeutsamkeit dieser Ergebnisse. Der Vergleich der Blickverteilung zwischen den niedrig aktivierten und mittel aktivierten Probanden innerhalb der Situation Nr. 5 zeigte keine bedeutsamen Effekte.

In Bezug auf die H2.1.2 sprechen die Ergebnisse insgesamt dafür, dass eine hohe Aktivierung eine visuelle Verengung beim Fahrer auslöst. Für die niedrige Aktivierung konnte dieser Zusammenhang nicht bestätigt werden.

Da die 18 Verkehrssituationen nicht alle zur Analyse herangezogen werden konnten, wurden nur mittelkomplexe und dementsprechend mittel aktivierende Situationen analysiert. Sehr hoch bzw. sehr niedrig aktivierte Fahrer, wie sie zum Vergleich modellbasiert gefordert waren, konnten somit nicht provoziert werden. Dennoch zeigte sich, dass die vergleichsweise komplexeren Situationen eine höhere Aktivierung auslösten und dies zur visuellen Verengung im Vergleich zu den mittelaktivierten Probanden führte. Es lässt sich daher vermuten, dass schon geringfügig höhere Aktivierungen zu ersten Ansätzen visueller Verengung führen.

Da geringfügig niedrige Aktivierungen keine visuelle Verengung verursachten, ist daraus zu schließen, dass dies erst in lang andauernden monotonen Situationen auftritt. Der Vergleich zu Studien von Rogé und Kollegen (2002, 2003, 2004), in denen visuelle Verengungseffekte in monotonen Situationen (ca. zweistündige Fahrten) auftraten zeigt, dass die gewählten Situationen dieser Studie zu kurz (wenige Sekunden) und dementsprechend nicht monoton genug waren.

Der postulierte u-förmige Zusammenhang zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung (H2.1) kann in dieser Studie in Bezug auf die hohe Aktivierung, nicht aber für die niedrige Aktivierung bestätigt werden.

#### **C) Alter und visuelle Verengung**

Als letztes wurde der Einfluss der individuellen Eigenschaft des Alters auf die visuelle Verengung untersucht (H3.1).

Um den Einfluss des Alters (UV), unabhängig von der Größe des Gesichtsfeldes, auf die visuelle Verengung zu untersuchen, wurde ein Blickfeld von 140° zur Analyse herangezogen. Es zeigen sich in den einzelnen Situationen signifikante Unterschiede in der relativen Fixierung der zentralen und peripheren AOI zwischen den Altersgruppen. Die hohe Altersgruppe fixierte im Vergleich zu der mittleren Altersgruppe signifikant mehr die zentralen AOI und signifikant weniger die peripheren AOI. Die älteren Probanden zeigten dementsprechend einen Zustand der visuellen Verengung verglichen mit den Blickdaten der jüngeren Probanden.

Die mittleren bis großen Effekte sprechen für die Bedeutsamkeit dieser Ergebnisse.

Es wurde weiterhin analysiert, ob die visuelle Verengung der älteren Probandengruppe durch eine höhere Aktivierung, aufgrund von verkehrssicherheitsrelevanten Leistungseinbußen im höheren Alter (Cerella, 1985; Fastenmeier, 1995; Rist, 1998; Kaiser & Oswald, 2000; Becker & Albrecht, 2003; Schlag, 2008), verursacht wurde. Die Ergebnisse der physiologischen, leistungsbezogenen und subjektiven Indikatoren zeigen keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Altersgruppen in den einzelnen Situationen.

Die visuelle Verengung steht daher in einem Zusammenhang mit dem Alter, wobei dieser unabhängig von der Aktivierung ist. Es wird geschlossen, dass der Sehapparat im Alter eine allgemeine physiologische Veränderung erfährt, wodurch ein erhöhter zentraler und verminderter peripherer Blickpfad resultiert. Dies ist mit den Studienergebnissen gleichzusetzen, die eine Verkleinerung des UFOVs im Alter darlegten (Ball et al., 1993; Sekuler, Bennett, Mamelak, 2000; Green, 2002; Rogé, 2004; Schlag, 2008).

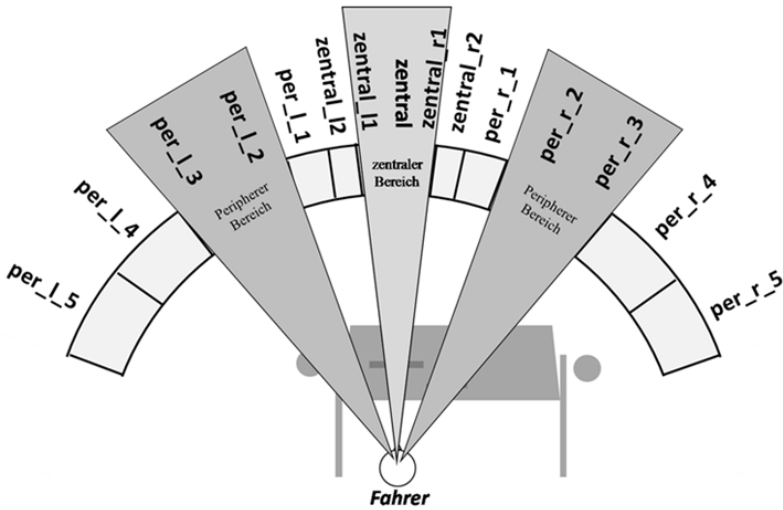


Abb. 3.19: Zentrale und periphere Bereiche, in denen vorwiegend die visuelle Verengung detektiert werden kann.

Zusammenfassend kann die Altershypothese (H3.1) teilweise bestätigt werden. Das Alter hat einen Einfluss auf den Grad der visuellen Verengung; dieser Zustand zeigt sich aber unabhängig von deren Aktivierungsgrad.

Zusammenfassend zeigen sich trotz der kleinen Stichprobengrößen bedeutsame Unterschiede mit mittelgroßen bis großen Effektstärken, die den Zusammenhang zwischen der hohen Aktivierung und der visuellen Verengung aufweisen. Betrachtet man die AOI mit den signifikanten Unterschieden, so ergeben sich diese überwiegend in den zentralen AOI zentral und zentral\_l1/zentral\_r1 und in den peripheren AOI per\_r\_2/per\_r\_3/per\_l\_2/per\_l\_3. Dies deutet daraufhin, dass der Fahrerzustand der visuellen Verengung vorwiegend in diesen Bereichen detektiert werden kann (Abbildung 3.19).

Somit sind in dem zentralen Bereich (ca.  $15^\circ$ ) die relativen Fixierungen pro Sekunde für hoch aktivierte Fahrer signifikant höher und in den peripheren Bereichen (jeweils  $20^\circ$ ) die Fixierungen signifikant kleiner. In den dazwischen liegenden Bereichen ist kein bedeutsamer Unterschied vorhanden, hier findet der Wechsel in der relativen Häufigkeit in den Fixierungen statt.

### **3.3.2 Empirische Studie 2: kopfbasierte Detektion visueller Verengung**

In dieser Studie sollen die methodischen Kritikpunkte der vorhergehenden Studie kontrolliert werden, um den postulierten u-förmigen Zusammenhang zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung ganzheitlich zu betrachten.

Zum einen konnte der Zusammenhang zwischen der niedrigen Aktivierung und der visuellen Verengung nicht geprüft werden, da die gewählten Situationen nicht monoton genug waren. Diese Studie sieht die Erfassung der visuellen Verengung im Fahrsimulator vor, wodurch eine monotone Verkehrssituation erzeugt werden kann, die keinen externen Einflussgrößen (beispielsweise Verkehrskonstellationen oder Wetter) unterliegt und somit eine bessere Grundlage zur Auslösung einer niedrigen Aktivierung schafft.

Zum anderen wird die Methode des kopfbasierten Eye-Trackers eingesetzt und wodurch auch bei vermehrten Kopfbewegungen die Blickverteilung erfasst werden kann.

Aktivierungsunterschiede innerhalb der Probanden werden in dieser Studie nicht durch Verkehrssituationen, sondern durch die Zugabe von Sekundäraufgaben in Form von Rechenaufgaben hervorgebracht. Gleichzeitig stellen die Rechenaufgaben eine Messung der Aktivierung dar, indem die Anzahl richtig gelöster Aufgaben festgehalten wird. Dieser Methode liegt der ressourcentheoretische Ansatz nach Wickens (1991) zu Grunde (Kapitel 3.1.2.3).

Bei den Probanden wird, wie in der ersten empirischen Studie, eine mittlere und hohe Altersgruppe gewählt, um das Ausmaß des Alters auf den Grad der Aktivierung und dementsprechend auf die visuelle Verengung zu untersuchen.

Diese Studie soll die folgenden **Fragen** klären:

1. Kann durch die Methode der Sekundäraufgaben der postulierte Zusammenhang zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung gezeigt werden?
2. Ist die visuelle Verengung für Fahrer hohen Alters stärker ausgeprägt?

Aus den theoretischen Erkenntnissen ergeben sich folgende **Hypothesen**:

- H2.2: Im Vergleich zu einer optimalen Aktivierung, hervorgerufen durch leichte Rechenaufgaben während einer monotonen Fahrt, führen Aufgaben mit einem hohen Schwierigkeitsgrad zu einer hohen Aktivierung und Bedingungen ohne arithmetische Aufgaben zu einer niedrigen Aktivierung und lösen entsprechend des postulierten Zusammenhangs (siehe S. 31) eine visuelle Verengung aus.
- H3.2: Basierend auf den Ergebnissen der ersten empirischen Studie wird angenommen, dass ältere Fahrer eine stärkere visuelle Verengung, unabhängig von deren Aktivierung, zeigen.

#### 3.3.2.1 Methode

##### A) Stichprobe

Es wurden insgesamt 35 Probanden (4 weiblich, 31 männlich) mit 19 Teilnehmern aus einer Altersgruppe von 30- bis 50-Jährigen ( $M = 36,37$  Jahre,  $SD = 8,17$  Jahre) und 16 Teilnehmern aus einer Altersgruppe von über 65-Jährigen ( $M = 71,19$  Jahre,  $SD = 5,82$  Jahre) getestet. In der Tabelle 3.7 sind zudem der Führerscheinbesitz in Jahren und die Jahresfahrleistung beider Altersgruppen aufgeführt.

Die Sehschärfe aller Versuchsteilnehmer war normal beziehungsweise auf normal korrigiert.

Die Rekrutierung erfolgte über Aushänge in der OvGU Magdeburg, über soziale Netzwerke oder direkte Ansprache auf der Straße. Die Voraussetzung für die Teilnahme an dieser Studie war der Besitz des Führerscheins.

Variable	Mittlere Altersgruppe (N=19)	Hohe Altersgruppe (N=16)
Führerscheinbesitz in Jahren M (SD) <sup>a</sup>	16,11 (8,31)	43,56 (9,42)
Jahresfahrleistung in km M (SD)	17.894,74 (11.064,93)	14.000 (8.262,36)

Anmerkungen.  
<sup>a</sup> $t(33) = 9,15, p < 0,001$ .

Tab. 3.7: Fahrverhalten der mittleren und hohen Altersgruppe Studie 2

## B) Geräte, Software und Materialien

### B1) Fahrsimulator:

Die Studie fand im statischen Fahrsimulator der OvGU Magdeburg in einem abgedunkelten, geräuscharmen Raum, statt (Abbildung 3.20). Dieser besteht aus einem an der B-Säule abgeschnittenen, vorderen Teil des VW Golf VI, der in 2,7 m Entfernung (Abstand Frontscheibe und dem Mittelpunkt der Leinwand) vor einer sphärischen Leinwand platziert war. Auf diese Leinwand wurde die Verkehrssimulation mittels eines Beamers mit Fischaugenlinse (Canon XEED WUXIO Mark II) projiziert. Der linke Außenspiegel und der innere Rückspiegel sind durch Monitore ersetzt, welche das rückwärtige Verkehrsgeschehen der Simulationsstrecke darstellen. Zusätzlich werden realitätsnahe Fahrzeuggeräusche durch die Originalboxen in den Seitentüren des Fahrzeuges eingespielt.

Die Fahraufgabe beschränkte sich auf das Lenken sowie die Gas- und Bremspedalbetätigung; es musste nicht geschaltet werden. Aufgrund der Nichtfunktionalität des Cockpits, wurde die Geschwindigkeit in der Simulation, ähnlich wie bei Head-up-Displays (Porstendorfer, 2009), zusätzlich präsentiert. Mithilfe des frei verfügbaren Text-to-Speech-Systems (MARY DFKI) wurden die arithmetischen Aufgaben als zusammenhängende Sprachdatei mit Zeitabständen zwischen den einzelnen Aufgaben gespeichert und über die Originalboxen in den Seitentüren des Golf VI in einer konstanten Lautstärke von ca. 65 dB abgespielt.





Abb. 3.20: Statischer Fahrsimulator vor einer sphärischen Leinwand mit auf dem Armaturenbrett befestigten Markern für das Dikablis Blickregistrierungssystem Studie 2.

#### B2) Simulation:

Mithilfe der Simulationssoftware SILAB Version 3.0 beta 4 des Würzburger Instituts für Verkehrswissenschaften (WIVW GmbH) wurde eine monotone Landstraßenfahrt mit einer Länge von 84 Kilometern programmiert. Insgesamt wurde die Strecke so monoton und gleichzeitig realitätsnah wie möglich gehalten (Hargutt & Krüger, 2001), um die Blicke der Probanden nicht durch die Streckengestaltung zu beeinflussen. Die zweispurige Fahrbahn, inklusive Gegenfahrbahn (Trennung durch Fahrbahnmarkierung) mit insgesamt sieben Metern Breite, führte an einer Landschaft mit geringer Bewaldung, Wiesen und zwei kleinen Dörfern in 150 m Entfernung vorbei. Dadurch sollten Fixationen durch Pop-Out Effekte der simulierten Objekte verhindert werden (Müsseler & Prinz, 2002). Im Hintergrund war eine Berglandschaft zu sehen, wobei die Strecke selbst keine Steigungen beinhaltet. Gelegentlich wurden Verkehrsschilder platziert, die ein Geschwindigkeitsgebot von 100 km/h oder 70 km/h (250 m vor den Dörfern) anzeigten. In die



Abb. 3.21: Simulierte Landstraßenfahrt mit SILAB (WIVW GmbH) Studie 2.

Strecke wurde ein geringer Gegenverkehr eingebaut, um die Realitätsnähe zu bewahren (Abbildung 3.21). Die Streckengeometrie wurde großzügig trassiert (lang gezogene, weite Kurven) um die Blickdaten, aufgrund veränderter Fluchtpunkte in engeren Kurven, vergleichen zu können (Land & Lee, 1994).

#### B3) Eye-Tracker Dikablis:

Die Blickbewegungen wurden mittels kopfbasiertem Eye-Tracker, dem Dikablis V1.1 der Ergoneers GmbH, aufgezeichnet (Abbildung 3.22). Das System besteht aus einem kopfbasierten System, welches eine Kamera zur Verkehrsszenenerfassung und eine Kamera mit Infrarotdiode zur Erfassung der linken Augenbewegungen enthält (Lange et al., 2006). Das Prinzip der Blickregistrierung basiert somit auf der Pupillenregistrierung (Kapitel 3.1.3.2).

Das System D-Lab (Ergoneers GmbH) erlaubt es, nach der Datenerfassung mithilfe von sogenannten Markern AOI zu definieren. Die Marker stellen schwarz-weiße Piktogramme dar, die im Blickfeld der Probanden präsentiert werden müssen (Abbildung 3.20).



Abb. 3.22: Proband mit dem Dikablis Blickregistrierungssystem im Fahr Simulator Studie 2.

Auf dieser Grundlage wurden im Nachhinein neun AOI definiert (Abbildung 3.23):

- zentral ( $2^\circ$ ) als zentraler Blick des Fahrers auf den Fernpunkt der Straße,
- zentral\_l1 ( $2^\circ$ ) und zentral\_r1 ( $2^\circ$ ) als zentrale Bereiche neben dem AOI zentral,
- zentral\_l2 ( $2^\circ$ ), zentral\_l3 ( $2^\circ$ ) und zentral\_r2 ( $2^\circ$ ), zentral\_r3 ( $2^\circ$ ) als äußere zentrale Bereiche und
- per\_l\_1 ( $> 10^\circ$ ) und per\_r\_1 ( $> 10^\circ$ ) als Peripherie.

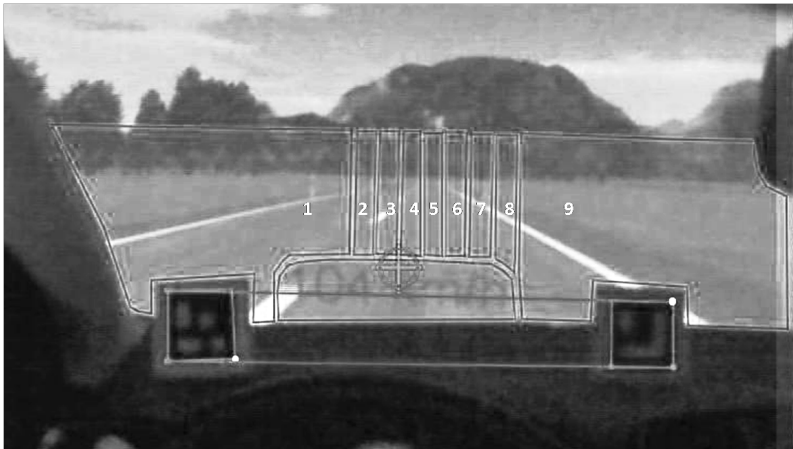


Abb. 3.23: Darstellung der definierten neun AOI (Nr. 1-9) mithilfe von Markern (Piktogramme auf der Instrumententafel) und dem Fixationskreuz (Kreuz im Kreis) des Fahrers (1 per\_l\_1; 2 zentral\_l3; 3 zentral\_l2; 4 zentral\_l1; 5 zentral; 6 zentral\_r1; 7 zentral\_r2; 8 zentral\_r3; 9 per\_r\_1).

Diese feinere Gliederung des Fahrerblickfeldes im Vergleich zur ersten Studie erlaubt eine noch differenziertere Erfassung der visuellen Verengung im zentralen Bereich und kann bei Bedarf in größere Abschnitte zusammengefasst werden. Durch den Einsatz des Blickregistrierungssystems Dikablis und der entsprechenden Software D-Lab können der prozentuale Anteil der Blicke auf das referenzierte AOI im ausgewählten Zeitintervall (Dauer der Versuchsbedingung) ausgegeben werden.

#### B4) Arithmetische Aufgaben:

Die Probanden mussten während der Fahrt vier Versuchsbedingungen, in Form von Rechenaufgaben mit steigender Schwierigkeit, durchlaufen. Dabei war dem Ansatz des Primäraufgabenparadigmas zu folgen, so dass die Fahraufgabe höchste Priorität besaß und übrige Ressourcen zur Lösung der Rechenaufgaben genutzt werden sollten.

- Die Bedingung A1 spiegelt sich in der Primäraufgabe des Fahrens, ohne die Zugabe von Rechenaufgaben, in der simulierten Verkehrsumwelt wider und stellt somit eine monotone Bedingung dar.
- Die Bedingung A2 besteht in der Zugabe einer Sekundäraufgabe in Form von 37 leichten arithmetischen Rechenaufgaben. Diese enthalten die Addition oder Subtraktion von zwei Ziffern (z. B.  $5 + 8$ ).
- Die Bedingung A3 besteht ebenfalls in der Zugabe von Sekundäraufgaben in Form von 35 mittel schweren Rechenaufgaben. Diese enthalten die Addition einstelliger oder zweistelliger Rechenoperationen (z. B.  $5 + 18$ ).
- Die Bedingung A4 stellte die schwierigste Bedingung dar, hierbei wurden zwei Zahlen addiert oder subtrahiert (z. B.  $48 + 92$ ). Diese Art von Rechenaufgaben mussten die Probanden 34 Mal lösen.

Jede Bedingung war sieben Minuten lang und wurde pro Person blockweise in randomisierter Reihenfolge präsentiert, um Übungseffekte über die Probanden hinweg zu kontrollieren. Zwischen den Bedingungen lag eine Pause von zwei Minuten.

#### B5) Aktivierungsmessung:

Zur Erfassung der Aktivierung der Probanden dienten in dieser Studie zwei Ansätze; einerseits die Registrierung der richtig gelösten Aufgaben pro Bedingung und andererseits die subjektive Beurteilung auf Basis der eindimensionalen SEA-Skala (Eilers, Nachreiner & Hänecke, 1986). Im Unterschied zur vorherigen Studie, wurde die Skala nicht von 220 auf 100 transformiert, da die Probanden nach jeder zu beurteilenden Bedingung genügend Zeit erhielten, ihre erlebte Anstrengung mit Vorlage der Skala bei ausgeschalteter Simulation anzugeben. Die Simulation wurde während dessen gestoppt. Die Skala ist in Anhang H enthalten.

#### **C) Ablauf**

Jede Untersuchung dauerte durchschnittlich eine Stunde. Zunächst erhielten alle Versuchsteilnehmer eine schriftliche Instruktion, welche zudem auf die möglichen Nebenwirkungen (Schwindel, Übelkeit) des Fahrsimulators aufmerksam machte (Anhang I). Dann wurden demografische Daten zu der jeweiligen Versuchsperson abgefragt. Diese bezogen sich neben dem Alter, Beruf und Geschlecht des Probanden auf seine Sehkraft, die Länge des Führerscheinbesitzes und die jährliche Fahrleistung. Der Fragebogen ist dem Anhang J zu entnehmen.

Nach dieser Befragung wurde der Proband in den Fahrsimulator eingewiesen und gebeten, sich anzuschnallen, um eine möglichst reale Fahrsituation herzustellen. Danach wurde dem Probanden der Eye-Tracker aufgesetzt, die Pupillendetektion durchgeführt und die Entfernung zur Leinwand kalibriert.

Vor Beginn der Testfahrt hatte jeder Proband ca. fünf Minuten Zeit, sich an das Fahren im Fahrsimulator zu gewöhnen; hierbei wurden keine Blickdaten erhoben. Danach begann die ca. 36-minütige Testfahrt (sieben Minuten pro Bedingung sowie jeweils zwei Minuten Pause zwischen den Bedingungen). Die Aufgabe der Probanden war es, im Fahrsimulator auf der simulierten Landstraße zu fahren und in den Versuchsbedingungen A2, A3 und A4 die vorgegebenen Rechenaufgaben zu lösen sowie die Lösung laut anzusagen. Zur Beantwortung einer Rechenaufgabe blieben den Probanden jeweils zehn Sekunden Zeit, bevor die nächste Aufgabe wiedergegeben wurde.

Nach jeder der vier Bedingungen wurden die Probanden aufgefordert, ihre Aktivierung auf der SEA-Skala anzugeben.

Der Versuchsleiter befand sich während des Versuches direkt hinter dem Fahrsimulator am Rechner zur Aufzeichnung der Blickbewegungen, protokollierte die Lösungen der Rechenaufgaben und verhielt sich während des Versuches passiv.

#### **D) Versuchsdesign und Variablen**

Die Aktivierung als unabhängige Variable (Innersubjektfaktor UV1 mit vier Stufen) wird in dieser Studie indirekt durch die Rechenaufgabenbe-

dingungen variiert. Das Ausmaß an Aktivierungsunterschieden (Ziel: drei Stufen mit niedriger, mittlerer und hoher Aktivierung) erfolgt nach der Datenerhebung anhand der subjektiven Einschätzung auf der SEA-Skala und der Anzahl gelöster Aufgaben pro Bedingung. Eine weitere unabhängige Variable stellt die Altersgruppe (Zwischensubjektfaktor UV2 mit zwei Stufen) dar. Es resultiert daraus ein 4 x 2 faktorielles, gemischtes Design.

Als abhängige Variable wird der prozentuale Anteil der Fixierungen pro AOI (AV) betrachtet.

#### **E) Statistische Analyse**

Die statistische Auswertung aller Daten wurde auch in dieser Studie durch die Statistiksoftware SPSS, Version 19 der Firma IBM und Microsoft Excel, Version 2007, durchgeführt. Der Einsatz statistischer Analysen (Bortz, 2005) orientiert sich an der ersten Studie (Kapitel 3.3.1.1).

### **3.3.2.2 Ergebnisse**

#### **A) Überprüfung der Aktivierung**

Bevor Unterschiede zwischen den UV in der Blickverteilung analysiert werden, soll zunächst geprüft werden, ob die einzelnen Rechenaufgabenbedingungen zu unterschiedlichen Graden an Aktivierung geführt haben und inwieweit sich die Altersgruppen in ihrer Aktivierung unterscheiden. Dazu werden die Indikatoren zur Messung der Aktivierung (SEA-Skala, Rechenaufgabenlösung) betrachtet.

Zuerst wurden die subjektiven Einschätzungen der Aktivierung auf der SEA-Skala analysiert. Eine zweifaktorielle ANOVA, mit den Rechenaufgabenbedingungen als Innersubjektfaktor und der Altersgruppe als Zwischensubjektfaktor (gemischtes Design), zeigt einen signifikanten Haupteffekt der Rechenaufgabenbedingungen;  $F(1,42, 47,02) = 94,12, p = 0,000, r = 0,81$ . Somit nahm die subjektiv eingeschätzte Aktivierung von Bedingung zu Bedingung zu. Hingegen gab es keinen signifikanten Effekt des Alters ( $p > 0,05$ ), das heißt die subjektiven Angaben zwischen den Probanden mitt-

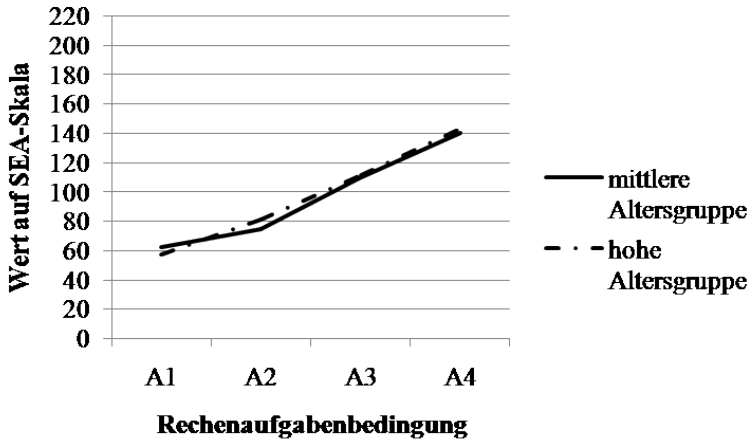


Abb. 3.24: Subjektive Einschätzung der Anstrengung der Probandengruppe mittleren und hohen Alters pro Rechenaufgabenbedingung A1, A2, A3 und A4 (je N = 35) Studie 2.

leren und hohen Alters unterschieden sich nicht. Es lag keine signifikante Interaktion zwischen dem Alter und der Variable Bedingung vor ( $p > 0,05$ ). In Abbildung 3.24 ist der Verlauf der steigenden Aktivierung innerhalb der Rechenaufgabenbedingungen dokumentiert.

Rechenaufgabenbedingung A2, A3 und A4 in einer zweifaktoriellen ANOVA mit dem Innersubjektfaktor Rechenaufgabenbedingung und dem Zwischensubjektfaktor Altersgruppe betrachtet. Es zeigte sich, dass mit der Erhöhung der Schwierigkeit der Aufgaben signifikant weniger Aufgaben gelöst werden konnten;  $F(1,587, 52,36) = 153,73$ ,  $p = 0,000$ ,  $r = 0,86$  (Greenhouse-Geisser Korrektur). Kontraste legen dar, dass die Bedingung A4 signifikant schwieriger als die Bedingung A3,  $F(1, 33) = 111,97$ ,  $p = 0,000$ ,  $r = 0,87$ , und die Bedingung A3 schwieriger als die Bedingung A2 war,  $F(1, 33) = 204,14$ ,  $p = 0,000$ ,  $r = 0,92$ .



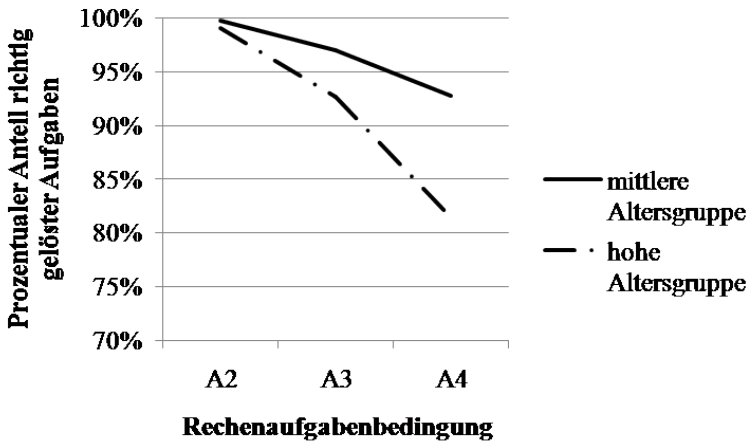


Abb. 3.25: Prozentualer Anteil richtig gelöster Rechenaufgaben der mittleren und hohen Altersgruppe pro Rechenaufgabenbedingung A2, A3 und A4 (je N = 35; A1 enthielt keine Rechenaufgaben) Studie 2.

Auch der Zwischensubjektfaktor Altersgruppe erzielte einen signifikanten Effekt;  $F(1, 33) = 12,37, p = 0,001, r = 0,52$ . Kontraste zeigen, dass die hohe Altersgruppe in der Bedingung A3 und A4 signifikant weniger Aufgaben richtig gelöst haben als die Gruppe mittleren Alters;  $F(1, 33) = 4,27, p = 0,047, r = 0,33$  und  $F(1, 33) = 16,23, p = 0,000, r = 0,32$ .

Es gab ebenfalls einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen der Altersgruppe und der Rechenaufgaben;  $F(1,58, 52,36) = 9,86, p = 0,001, r = 0,39$ . Somit hing die Anzahl an richtig gelösten Aufgaben pro Rechenaufgabe von dem Alter ab (siehe Abbildung 3.25).

### **B) Blickverteilung in Abhängigkeit von den Rechenaufgaben und dem Alter**

Um die H2.2 und die H3.2 zu untersuchen, wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit dem Innersubjektfaktor Rechenaufgabenbedingung und dem

Zwischensubjektfaktor Altersgruppe pro AOI berechnet. In Tabelle 3.8 sind die signifikanten Haupteffekte für jeden Faktor und deren signifikante Kontraste pro AOI angegeben. Es zeigt sich, dass die Rechenaufgabenbedingung überwiegend einen signifikanten Effekt auf die prozentuale Blickverteilung hatte, wohingegen die Altersgruppe größtenteils keinen signifikanten Effekt auf die Blickverteilung (bis auf AOI zentral\_r3 und per\_r\_1) zeigte. Ein signifikanter Interaktionseffekt war in keiner AOI Berechnung vorhanden ( $p > 0,05$ ).

AOI	Haupteffekt Rechenaufgabenbedingung	Haupteffekt Altersgruppe
per_l_1	F (2,41, 62,68) = 4,00, $p = 0,017$ , $r = 0,24^a$ A1 vs. A4; A2 vs. A1	$p > 0,05$
zentral_l3	F (2,29, 66,65) = 7,17, $p = 0,001$ , $r = 0,31^a$ A1 vs. A4; A2 vs. A1	$p > 0,05$
zentral_l2	F (3, 87) = 9,30, $p = 0,000$ , $r =$ 0,31 A1 vs. A4; A2 vs. A1	$p > 0,05$
zentral_l1	F (3, 87) = 3,71, $p = 0,014$ , $r =$ 0,20 A1 vs. A4; A2 vs. A1	$p > 0,05$
zentral	F (2,1, 60,89) = 5,18, $p = 0,007$ , $r = 0,28^a$ A1 vs. A4	$p > 0,05$
zentral_r1	F (2,23, 64,84) = 3,53, $p = 0,03$ , $r = 0,22^a$ A3 vs. A1	$p > 0,05$
zentral_r2	$p > 0,05$	$p > 0,05$
zentral_r3	F (2,25, 65,51) = 4,17, $p = 0,016$ , $r = 0,24^a$	F (1, 29) = 7,66, $p = 0,010$ , $r =$ 0,45
per_r_1	$p > 0,05$	F (1, 29) = 8,26, $p = 0,007$ , $r =$ 0,47

Anmerkungen.

<sup>a</sup> korrigierter F-Test nach Greenhouse-Geisser, da Annahme der Sphärizität verletzt

Tab. 3.8: Signifikante Haupteffekte und Kontraste der zweifaktoriellen ANOVA pro AOI über alle Probanden (N = 35) Studie 2.

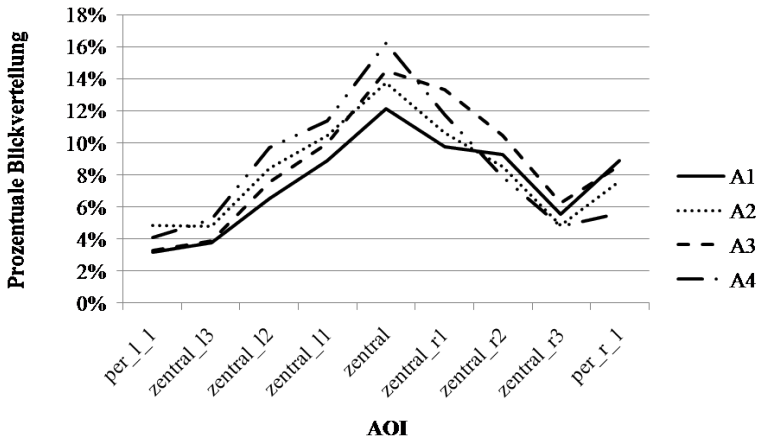


Abb. 3.26: Prozentuale Blickverteilung über die AOI pro Bedingung aller Probanden (N = 35) Studie 2.

In Abbildung 3.26 ist die prozentuale Blickverteilung über die AOI pro Rechenaufgabenbedingung veranschaulicht. Aus der ANOVA und den zugehörigen Kontrasten geht hervor, dass die Bedingung A4 (schwere Rechenaufgaben) im Vergleich zur Bedingung A1 (ohne Rechenaufgaben) eine überwiegend signifikant höhere Blickkonzentration auf die zentralen Blickfeldareale beinhaltet.

### 3.3.2.3 Diskussion

In dieser Studie 2 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung wurde der Fahrerszustand der visuellen Verengung in einem Fahrsimulator unter kontrollierten Bedingungen untersucht. Zur Erfassung Blickverteilung (prozentueller Anteil der Blicke auf das referenzierte AOI) diente hier ein kopfbasierter Eye-Tracker, mit dem zentrale und periphere AOI durch positionierte Marker definiert wurden. Es nahmen 35 Probanden, davon 19 mittleren

Alters (29 bis 51 Jahre) und 16 hohen Alters (64 bis 88 Jahre) an dieser ca. einstündigen Versuchsreihe teil. Um verschiedene Grade an Aktivierung hervorzurufen, wurden den Probanden während der Fahrt Rechenaufgaben in drei unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden und eine monotone Bedingung ohne Rechenaufgaben präsentiert. Die Aufgabe bestand somit in der sicheren Führung des Fahrzeuges auf einer simulierten, eher monotonen Landstraße und dem Lösen der Rechenaufgaben während der Fahrt.

#### **A) Überprüfung der Aktivierung**

Anhand der subjektiven Einschätzung der Versuchsbedingungen und der Lösung der Rechenaufgaben zeigte sich, dass die Versuchsbedingungen in ihrer auslösenden Aktivierung aufeinander aufbauen. Im Vergleich war bei der Bedingung ohne Rechenaufgaben (A1) die niedrigste, bei der Bedingung mit den einfachen Rechenaufgaben (A2) eine niedrige, bei den mittelschweren Aufgaben (A3) eine mittlere und bei den schweren Aufgaben (A4) die höchste Aktivierung gegeben.

#### **B) Blickverteilung in Abhängigkeit von den Rechenaufgaben und dem Alter**

In Bezug auf die H2.2, dass im Vergleich zur Bedingung optimaler Aktivierung (A2), die Bedingung hoher (A4) und niedriger Aktivierung (A1) zu einer visuellen Verengung führen, ist festzuhalten, dass zwar eine visuelle Verengung für die Bedingung hoher Aktivierung (A4) vorlag, aber für die Bedingung niedriger Aktivierung (A1) nicht. Der u-förmige Zusammenhang nach der H2.2 kann demnach nur für den Vergleich einer mittleren zu einer hohen Aktivierung bestätigt werden. Weshalb es in der Bedingung ohne Rechenaufgaben nicht zu einer visuellen Verengung kam, beantwortet der Vergleich zu den Studien von Rogé und Kollegen (2002, 2003, 2004). Die monotonen Situationen in deren Studien dauerten bis zu zwei Stunden an, in dieser Studie wurde die monotone Versuchsbedingung lediglich sieben Minuten lang präsentiert. Die Bedingung zur Auslösung einer niedrigen Aktivierung war dementsprechend nicht monoton genug.

Die Hypothese H3.2 gab vor, dass die visuelle Verengung in der hohen Altersgruppe stärker ausgeprägt ist, wobei keine höhere Aktivierung vorliegt.

Anhand der subjektiven (SEA-Skala) Daten zur Messung der Aktivierung zeigte sich, dass die hohe Altersgruppe ihre Aktivierung im Vergleich zu der mittleren Altersgruppe gleichwertig einschätzte, dies aber im Kontrast zu der objektiven Messung (Anzahl gelöster Aufgaben) stand. Demnach löste die hohe Altersgruppe bedeutsam weniger Rechenaufgaben mittlerer (A3) und hoher (A4) Schwierigkeit und war dementsprechend in diesen zwei Bedingungen aktivierter als die mittlere Altersgruppe. Diese Diskrepanz in der subjektiven Wahrnehmung und der objektiven Leistung der älteren Probanden zeigt sich ebenfalls in den Studien von Vecchi, Albertin und Cornoldi (1999).

In Hinblick auf die prozentuale Blickverteilung zeigte sich kein bedeutsamer Alterseffekt. Eine stärkere visuelle Verengung konnte demnach für die hohe Altersgruppe nicht gezeigt werden. Die H3.2 kann in dieser Studie 2 nicht bestätigt werden.

Ähnliche Ergebnisse erzielten Lavallière und Kollegen (2006), die das postulierte verengte Aufmerksamkeitsfeld älterer Probanden im Vergleich zu jüngeren Probanden ebenfalls nicht belegen konnten. Auch Metker (1997) kam zu ähnlichen Ergebnissen in seiner Studie mit annähernd gleichen Altersgruppen. Es konnten keine signifikanten Unterschiede im Blickverhalten zwischen einer jungen Probandengruppe im Alter von 33 bis 50 Jahren und einer älteren Probandengruppe von über 60 Jahren während der Autofahrt gemessen werden.

Zusammenfassend lässt sich für diese Studie 2 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung sagen, dass der u-förmige Zusammenhang zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung in Hinblick auf die hohe Aktivierung bestätigt werden konnte. Visuelle Verengungseffekte, hervorgerufen durch eine niedrige Aktivierung, konnten aufgrund fehlender sehr monotoner Situationen nicht nachgewiesen werden. Einen Alterseffekt in Bezug auf die visuelle Verengung war nicht vorhanden.

Die Untersuchung der visuellen Verengung in sehr monotonen Bedingungen sollte daher in Studien, die über diese Arbeit hinausgehen, analysiert werden. Der Alterseffekt auf die visuelle Verengung ist ebenfalls zu studieren.

#### 3.4 Diskussion zur Detektion aktivierungsabhängiger visueller Verengung

Im Kapitel 3 dieser Arbeit wurde der kurzfristig veränderliche Fahrerzustand der visuellen Verengung im Zusammenhang mit der Aktivierung des Fahrers untersucht. Die visuelle Verengung ist durch einen Anstieg im geradeaus Blicken und einer verminderten Detektion peripherer Reize gekennzeichnet (Harbluk, Noy & Eizenmann, 2002). Nach dem Yerkes-Dodson-Gesetz (1908) und der Cue-Utilization Theorie (Easterbrook, 1959) wurde ein u-förmiger Zusammenhang postuliert, wonach im Vergleich zu einer optimalen Aktivierung eine hohe und eine niedrige Aktivierung des Fahrers zu einer visuellen Verengung führt. Eine hohe Aktivierung betrifft komplexe Verkehrssituationen, die zu einer erhöhten Beanspruchung führen können, wie beispielsweise unübersichtliche Kreuzungssituationen (Fastenmeier, 1995). Monotone Verkehrssituationen (beispielsweise lange Fahrten bei Nacht auf der Landstraße) führen hingegen zu einer niedrigen Aktivierung (Rogé et al., 2002, 2003, 2004).

Studien haben gezeigt, dass das Blickfeld mittels Reaktionszeiterfassungen zentraler und peripher Reize oder durch Blickregistrierungssysteme gemessen werden kann (Janelle, Singer & Williams, 1999; Martens & van Winsum, 2000; Crundall, Underwood & Chapman, 2002). Insbesondere kopfbasierte Eye-Tracker kamen zur Registrierung visueller Verengung in Studien zum Einsatz (Harbluk & Kollegen, 2006; Nabatilan, 2007), wohingegen berührungslose Systeme nach Wissen des Autors bisher nicht in diesem Zusammenhang genutzt wurden.

Ziel der Untersuchung war es demnach, das postulierte Modell des u-förmigen Zusammenhangs zwischen der visuellen Verengung und der Aktivierung beim Fahrer mit einem berührungslosen Blickregistrierungssystem zu untersuchen.

Es wurden zwei empirische Studien durchgeführt, zum einen im Feld mit dem berührungslosen Eye-Tracker Smart Eye (Smart Eye Ab, 2010)

und zum anderen im Fahrsimulator mit dem kopfbasierten System Dikablis (Lange et al., 2006). Die dreistufige Aktivierung (niedrig, optimal, hoch) wurde im Feld durch die ausgewählten Verkehrssituationen unterschiedlicher Komplexität und im Fahrsimulator durch die Zugabe von unterschiedlich komplexen Rechenaufgaben provoziert. Es nahmen bei beiden Studien Probanden mittleren bis hohen Alters teil, um etwaige Alterseffekte in Bezug auf die visuelle Verengung zu analysieren.

Betrachtet man die Ergebnisse beider Studien, so ließ sich die Hypothese H2 aus dem Kapitel 3.2, ob eine niedrige und hohe Aktivierung den Fahrerzustand der visuellen Verengung verursacht, nur teilweise untersuchen. Es zeigte sich, dass eine hohe Aktivierung, hervorgerufen durch komplexe Verkehrssituationen beziehungsweise Rechenaufgaben, im Vergleich zu einer mittleren Aktivierung zu einem Zustand der visuellen Verengung führte. Hingegen waren die Situationen in beiden Studien nicht monoton genug, um eine sehr niedrige Aktivierung zu erzeugen. Obwohl die Dauer der monotonen Bedingung von Studie 1 zu Studie 2 von ein paar wenigen Sekunden auf sieben Minuten verlängert wurde, konnte der Fahrerzustand der visuellen Verengung nicht gemessen werden. Dies deutet daraufhin, dass sich eine niedrige Aktivierung erst in sehr langen monotonen Situationen einstellt, wie es die zweistündigen Fahrten in den Studien von Rogé und Kollegen (2002, 2003, 2004) nahelegen.

Die Hypothese H2 des u-förmigen Zusammenhangs konnte somit für den hohen Aktivierungsgrad bestätigt werden.

Die Hypothese H3, dass ältere Fahrer in Abhängigkeit von einer höheren Aktivierung eine größere visuelle Verengung als Fahrer mittleren Alters zeigen, konnte im Zusammenhang mit der Aktivierung nicht bestätigt werden. In der Studie 1 zur berührungslosen Detektion visueller Verengung zeigte sich, dass die älteren im Vergleich zu den Fahrern mittleren Alters eine Form der visuellen Verengung zeigten, obwohl sich deren Aktivierungsgrad nicht unterschied. In der Studie 2 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung lagen Unterschiede in der Lösung von Rechenaufgaben zwischen den



Probanden mittleren und hohen Alters und somit in deren Aktivierungen vor, diese spiegelten sich aber nicht in einem Zustand der visuellen Verengung wieder. Der Zustand der höheren visuellen Verengung aus der Studie 1 der hohen Altersgruppe muss dementsprechend auf eine physiologische Veränderung des Sehapparates zurück zu führen sein und steht in keinem Zusammenhang zur Aktivierung.

Es stellt sich die Frage, inwieweit die Teilnehmer der hohen Altersgruppe repräsentativ für ihr Alter waren oder eine selbstselektierte Stichprobe, motiviert durch die Studienanforderungen, teilnahm. Die Teilnahme an Studien nimmt im Alter kontinuierlich ab, da sich ältere Fahrer nicht zutrauen unter Beobachtung zu fahren, aus Angst Fehler zu begehen (Kühn & Porst, 1999). Fahrer, die sich diesen Studienanforderungen stellten, vertraten vermutlich eine selbstselektierte und sehr sichere Fahrergruppe ihrer Kohorte und waren demnach nicht repräsentativ um Alterseffekte zu untersuchen (Schade, 2008).

In der Studie 2 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung zeigte sich des Weiteren eine Diskrepanz zwischen den objektiven Leistungen und den subjektiven Einschätzungen bei der hohen Altersgruppe. Sie schätzten ihre Leistungen besser ein, als diese tatsächlich waren. Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in anderen Studien wieder, in denen die älteren Teilnehmer ein positiveres Selbstbild von sich zeigten (Vecchi, Albertin & Cornoldi, 1999).

Es lässt sich daher zusammenfassen, dass der Zusammenhang zwischen dem Alter und der Aktivierung in den hier vorgestellten Studien nicht hinreichend geklärt werden konnte. Es wird daher empfohlen, weitere Untersuchungen in weiterführenden Arbeiten durchzuführen, die eine repräsentative Altersgruppe untersuchen.

Die Hypothese H1 besagt, dass berührungslose Blickregistrierungssysteme die visuelle Verengung in Verkehrssituationen detektieren können. Die Studie 1 konnte dies anhand mehrerer Verkehrssituationen demonstrieren. Die vordefinierten AOI im Weltmodell waren ausreichend, um die visuelle

Verengung zu erfassen. Es konnten desweiteren Bereiche definiert werden, in denen die visuelle Verengung hauptsächlich auftritt (Kapitel 3.3.1.3). In Kapitel 3.1.3.2 wurden bereits die Vorteile im praktischen Einsatz im Serienfahrzeug des berührungslosen Systems gegenüber dem kopfbasierten Eye-Tracker und der Methode der Reaktionszeiterfassung veranschaulicht.

Nachteilig war jedoch die Blickregistrierung in Verkehrssituationen, die erhöhte Kopfbewegungen (beispielsweise Kreuzungssituationen) erforderten. Hier konnten durch das fünfteilige Kamerasystem zu wenige Blickdaten erfasst werden, wodurch eine Analyse in diesen Situationen nicht möglich war. Die Untersuchung der visuellen Verengung mittels berührungsloser Eye-Tracker setzt demnach eine Erhöhung der Anzahl an Kameras voraus und sollte somit in weiterführenden Studien untersucht werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Fahrerezustand der visuellen Verengung durch eine erhöhte Aktivierung verursacht wird. Die visuelle Verengung stellt demnach einen sinnvollen Selektionsvorgang dar, der das Zielobjekt (die Straße) im Aufmerksamkeitsfokus behält und vorrangig verarbeitet (Miura, 1990; Schlag, 2008; Cohen, 2009). Das periphere Sehen wird somit in hoch aktivierenden Situationen ausgeblendet, wodurch der Informationsverarbeitung von zentral präsentierten Reizen auf der vorausliegenden Straße mehr Verarbeitungsressourcen zur Verfügung stehen (Manzey, 1998).

Dieser Zustand kann durch berührungslose Blickregistrierungssysteme im Feld gemessen werden und stellt somit einen Ansatz zur praktischen Einsetzbarkeit im Serienfahrzeug in Form eines Fahrerassistenzsystems dar.

In dem Kapitel 4 dieser Arbeit wird die Möglichkeit untersucht, den Aktivierungsgrad des Fahrers auf ein mittleres Niveau zu regulieren, um dem Fahrerezustand der visuellen Verengung entgegenzuwirken.



## **4 Regulation visueller Verengung durch Musik**

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, wirkt sich der Fahrerzustand der visuellen Verengung negativ auf die Sicherheit im Verkehr aus. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, diesen Fahrerzustand im Sinne einer Reduzierung zu regulieren. Die naheliegende Art und Weise, um die visuelle Verengung zu reduzieren, stellt sicherlich eine Reduktion der Situationskomplexität oder Monotonie dar. Solch eine Veränderung, beispielsweise im Sinne einer Routenänderung, ist aber nicht immer sinnvoll. Es soll daher an dieser Stelle die Möglichkeit der Regulation durch die Musik untersucht werden. Folgend wird die Bedeutung der Musik und ihr Zusammenhang zur Aktivierung anhand einer Literaturrecherche vorgestellt. Es werden Hypothesen aufgestellt, die wiederum durch zwei empirische Studien untersucht und am Ende diskutiert werden.

### **4.1 Zusammenhang zwischen Musik und visueller Verengung**

In diesem Kapitel wird der Stellenwert der Musik für den Fahrer vorgestellt. Anschließend wird der Zusammenhang zwischen der Musik und der Aktivierung untersucht und davon ausgehend ein Modell aufgestellt, das den Zusammenhang zwischen der Musik und der visuellen Verengung beschreibt.

#### **4.1.1 Die Bedeutung der Musik für den Fahrer**

Laut einer Studie von Dibben und Williamson (2007) hört ein durchschnittlicher deutscher Bundesbürger pro Tag ca. drei Stunden Musik. Das Kraftfahrzeug gehört zu dem dritthäufigsten Ort, nach dem eigenen Heim und dem Arbeitsplatz, an dem Musik gehört wird (Rösing, 1998; Sloboda, O'Neill und Ivaldi, 2001).

Ein ähnlich prägnantes Ergebnis brachte eine Untersuchung von Sloboda, O'Neill und Ivaldi (2001) hervor. Mithilfe der von ihnen eingesetzten Experience Sampling Method wurden die Studienteilnehmer mehrmals am Tag nach ihrer Tätigkeit befragt. 44 % aller Antworten bezogen sich auf einen musikalischen Inhalt und dies fand zu 91 % in Verkehrsmitteln statt.

Anfang der 70er Jahre wurde das Radio als Standardausstattung in den meisten Fahrzeugen eingeführt. Auf diese Weise war es für nahezu alle Kraftfahrzeugführer möglich, während der Fahrt Musik zu hören. Die technischen Weiterentwicklungen führten zu den heutigen Infotainmentsystemen. Der Begriff Infotainmentsystem stellt eine Integration von Informations- und Unterhaltungssystemen dar (Mohs, 2011). Dazu zählen Radio, Audio, Navigation, Telefon und Multimedia (DVD, TV) (Thoone, 2000; Meroth & Tolg, 2007).

In der Studie von Dibben und Williamson (2007) gaben zwei Drittel aller 1.780 Befragten an, dass sie während der Fahrt Musik hören und dies am häufigsten über das Radio tun. Dieses Ergebnis wird durch eine deutsche Befragung noch überboten, in der 98 % aller 412 Befragten angaben, Musik während der Fahrt zu hören (Barby et al., 2013a). Weiterhin zeigte sich, dass das Hören von Musik während der Fahrt sowohl für die jungen, als auch für die älteren Verkehrsteilnehmer von Bedeutung ist. Von den 103 Befragten, die über 65 Jahre alt waren, hörten 92,2 % Musik während der Autofahrt. Diese Motivation des Musikhörens der älteren Kraftfahrer zeigt ebenfalls Reißmann (2009) in seinem Bericht Musik und Hörmedien im höheren Lebensalter auf.

Die Vielzahl an Musikhörern, sowohl beim Führen eines Kraftfahrzeuges, als auch bei anderen Tätigkeiten, lässt vermuten, dass die Musik für den Zuhörer einen Nutzen bringt. Es stellt sich daher die Frage nach den Motivatoren.

Viele Fahrer geben an, Musik zur Entspannung und zur Beruhigung zu hören (Rösing, 1998; de Nora, 1999; Dibben & Williamson, 2007). Im Gegensatz dazu wird Musik auch zur Belebung und zur Aktivierung einge-

setzt, um beispielsweise der Müdigkeit während der Fahrt entgegenzuwirken (Rösing, 1998; de Nora, 1999).

Des Weiteren wird Musik dazu genutzt, um die Fahrt zu genießen, indem Langeweile abgebaut, man unterhalten und in diesem Sinne stimuliert wird. Viele Fahrer singen die Lieder mit oder trommeln dazu auf dem Lenkrad (Dibben, & Williamson, 2007; Eckoldt & Schulz, 2009). Rösing (1998) zieht dazu das Argument des parasozialen Kontaktes, im Sinne einer Einsamkeitsüberbrückung, heran.

Kämpfe (2011) konnte in einer Studie zeigen, dass das Zeitempfinden durch das Hören von Musik verringert wird. Auf diese Weise nutzen Fahrer das Hören von Musik, um lange Fahrten subjektiv abzukürzen.

Auch in einer aktuellen Fragebogenstudie wurde nach dem Grund für das Musikhören beim Fahren gefragt (Barby et al., 2013a). Dazu wurden verschiedene Antwortmöglichkeiten vorgegeben und die Teilnehmer mussten ihren Zustimmungswert angeben. Es zeigte sich, dass vor allem die jungen Fahrer (18 bis 30 Jahre) die Musik zur Entspannung, zum Wachbleiben, zum Mitsingen, zur Unterhaltung oder zur Überbrückung der Einsamkeit nutzen. Die älteren Befragten (ab 65 Jahren) hingegen gaben an, dass sie hauptsächlich Musik zur Unterhaltung hören.

Ein weiterer wichtiger Grund stellt die selbstregulierende Wirkung auf die Stimmung dar. Musikhören wird daher eingesetzt, um in eine bestimmte Stimmung hinein oder heraus zu kommen oder um der aktuellen Stimmung Ausdruck zu verleihen (Rösing, 1998; de Nora, 1999; Sloboda, O'Neill & Ivaldi, 2001; Wollenberg, 2007). In der Studie von Wiesenthal, Hennessy und Totten (2003) konnte demonstriert werden, dass Aggressionen teilweise durch Musik abgebaut werden können.

Die Stimmungsregulierung wurde ebenfalls in einer Fahr Simulatorstudie von Barby und Deml (2011) untersucht. Dort wurden Probanden in entsprechende Stimmungen hineinversetzt, um explorativ zu untersuchen, wie sich die Autofahrer in bestimmten Stimmungen bezüglich ihrer Musikauswahl verhielten. Die Stimmungen unterschieden sich bezüglich ihres

Erregungsgrades sowie der Wertigkeit und sie wurden in hochgestimmt, heiter, zufrieden, entspannt, depressiv, traurig und verärgert, gestresst eingeteilt. Wie auch in den anderen Studien (Rösing, 1998; de Nora, 1999; Dibben & Williamson, 2007) zeigte sich, dass in den einzelnen provozierten Stimmungen, solche Musik ausgewählt wurde, welche die momentane Stimmung unterstrich oder eine positivere Stimmung erzeugte (bei Stimmungen negativer Wertigkeit).

Die Studie von Barby und Deml (2011) demonstrierte zudem, dass eine Stimmungsänderung nur dann einsetzt, wenn die Musik selbst ausgewählt wurde. Nach Rösing (1998) und Sloboda, O'Neill und Ivaldi (2001) ist die Musikauswahl durch einen Autonomie- und Personalisierungsgewinn motiviert. So können Kraftfahrer, wenn sie allein unterwegs sind, die Musik und Lautstärke selbst bestimmen und verstehen dies als Ausdruck ihrer Persönlichkeit.

#### **4.1.2 Aktivierung durch Musik**

Aus dem Kapitel 3 dieser Arbeit geht hervor, dass komplexe Verkehrssituationen zu einer höheren und monotone Situationen zu einer niedrigeren Aktivierung führen. Inwieweit auch Musik zu einer Aktivierungsänderung führt, soll in diesem Kapitel beantwortet werden. Es werden dazu Studien referiert, die Aktivierungsänderungen durch die Musik auf Basis der messtheoretischen Parameter (physiologisch, subjektiv, leistungsbezogen) untersuchten (Kapitel 3.1.2.3).

Gomez und Danuser (2007) erforschten die unterschiedlichen Eigenschaften der Musik (harmonische Komplexität, Rhythmus, Tempo, Akzentuierung, Lautstärke) in Zusammenhang mit der subjektiv erlebten (9-Punkte Self-Assessment Manikin) und physiologisch gemessenen (Atmung, HR, Hautleitwiderstand) Aktivierung. Anhand der physiologischen Parameter zeigte sich, dass insbesondere das Tempo der Musik Aktivierungsunterschie-

de provozieren konnte. Ein schnelles Tempo führte zu einer hohen subjektiv und physiologisch erlebten Aktivierung und umgekehrt.

Dillman Carpentier und Potter (2007) untersuchten ebenfalls den Effekt des Musiktempos auf die Aktivierung. Die Daten des Hautleitwiderstandes legten dar, dass Musik hohen Tempos (136 bpm) eine größere Aktivierung, als Musik geringeren Tempos (76 bpm), verursacht.

Auch in der Studie von Husain, Thompson und Schellenberg (2002) kam heraus, dass sich das Tempo der Musik auf das Aktivierungsniveau auswirkt. Dazu wurde ein langsames (60 bpm) und ein schnelles (165 bpm) Musikstück vorgespielt, wobei die schnellere Variante eine höhere subjektiv erlebte Aktivierung auslöste. Gemessen wurde die Aktivierung auf subjektiver Ebene mittels einer Unterskala des Fragebogens The Profile of Mood States (POMS) (McNair, Lorr & Droppleman, 1992).

Dey und Kollegen (2006) untersuchten den Einfluss entspannender und anregender Musik unter anderem auf die HR. Die Lautstärke wurde pro Proband individuell abgestimmt, so dass sie von jedem Teilnehmer als angenehm empfunden wurde. Die anregenden und entspannenden Musikstücke wurden von den Probanden selbst nach vorgegebenen Kriterien (nicht weiter im Manuskript aufgeführt) ausgewählt. Es konnte ein Effekt von sowohl anregender als auch beruhigender Musik auf die HR nachgewiesen werden. Diese stieg in beiden Bedingungen, im Vergleich zur Kontrollbedingung ohne Musik, an.

In der Studie von Rickard (2004) wurde der Einfluss emotionaler Musik auf die Aktivierung durch physiologische (Hauttemperatur, HR, Hautleitwiderstand und Muskelanspannungen) und subjektive Parameter untersucht. Zum Vergleich wurde entspannende, erregende (aber nicht stark emotionale) und von den Probanden als stark emotional eingestufte Musik gewählt. Die Ergebnisse zeigten, dass sich einzig die stark emotionale Musik auf die physiologische Komponente des Hautleitwiderstandes auswirkte. Die subjektiven Aktivierungseinschätzungen gaben keine Unterschiede an.

Iwanaga, Kobayashi und Kawasaki (2005) untersuchten ebenfalls die



Auswirkung von Musik auf das subjektive (7-Punkte Ratingskala von sehr wenig bis sehr viel) und physiologische (HRV) Erleben. Dazu wurden den Probanden beruhigende und erregende Musikstücke des Genres Klassik vorgespielt. Im Vergleich zur Bedingung ohne Musik konnte festgestellt werden, dass die Aktivierung unter erregender Musik sowohl subjektiv als auch physiologisch zunahm.

Gowensmith und Bloom (1997) untersuchten die Auswirkung von Heavy Metal Musik auf die Aktivierung des Zuhörers mittels subjektiver Befragung mit dem State-Trait Anger Inventory nach Spielberger (1988). Alle Teilnehmer gaben eine subjektiv erhöhte Aktivierung an, wenn sie Heavy Metal Musik hörten.

In einer Studie von Barby und Kollegen (2013b) wurde der Einfluss der Musiklautstärke (0, 55, 70 und 85 dB) auf die HRV untersucht. Das Tempo und Genre der Musik wurde gleich gehalten. Es zeigte sich, dass die HRV mit zunehmender Lautstärke signifikant abnahm. Diese Abnahme wies auf eine erhöhte Aktivierung hin.

Dalton, Behm und Kibele (2007) untersuchten ebenfalls den Einfluss der Lautstärke (53 versus 95 dB). Die HR war unter der höheren Lautstärke erhöht und spiegelte somit eine höhere Aktivierung wieder.

In dem Literaturüberblick von Harrer und Harrer (2008) wurden mehrere physiologische Parameter auf deren Erfassbarkeit der Aktivierung durch Musik untersucht. Die Autoren geben an, dass insbesondere EKG-Daten sensibel auf Aktivierungsänderungen durch Musik reagieren.

Neben den zuvor beschriebenen physiologischen und subjektiven Messungen ist aber auch der Einfluss auf das Fahrverhalten (leistungsbezogen) zu untersuchen. Die Wirkung von Musik auf das Fahrverhalten wird kontrovers diskutiert. Die Metaanalyse von Kämpfe (2011) zeigte, dass sich Musik vorteilhaft, nachteilhaft oder auch neutral auf das Fahrverhalten auswirken kann. Der Effekt ist dabei von der Art der Musik, der Aufgabe sowie von den Persönlichkeitseigenschaften abhängig. Desweiteren wird vermutet, dass sich Musik bei automatisierten Aufgaben positiv auswirkt, indem es den

Organismus zusätzlich stimuliert, aber eher eine negative Auswirkung bei bewussten Entscheidungsaufgaben besitzt, da hier Aufmerksamkeitsressourcen geteilt werden müssen (Kämpfe, 2011).

Erste Untersuchungen wurden bereits 1965 unternommen, indem der Einfluss von Gesellschaftstanzmusik auf das Fahrverhalten in unterschiedlich starken Verkehrsdichten untersucht wurde (Brown, 1965). Es zeigte sich, dass die Musik bei geringer Verkehrsdichte eine niedrigere Aktivität in den Gas- und Bremspedalbetätigungen zur Folge hatte und bei dichtem Verkehr zu einer reduzierten Geschwindigkeit führte. Brown beschrieb diese Effekte als positiv und begründete sie durch den positiven stressregulierenden Einfluss der Musik.

Eher negative Effekte wiesen die folgenden Studien vor:

Brodsky (2002) untersuchte den Einfluss des Musiktempo (56 bis 132 bpm) auf das Fahrverhalten auf der Basis simulierter Fahrten. Die Ergebnisse zeigten, dass die Fahrer die Geschwindigkeit mit steigendem Tempo erhöhten. Ebenfalls schätzten sie die eigene Geschwindigkeit höher ein, wenn das Tempo der Musik erhöht war. Desweiteren übersahen die Fahrer bei schneller Musik häufiger rote Ampeln und beginnen vermehrt Spurhaltefehler oder Kollisionen.

Die Ergebnisse der Studie von Dey und Kollegen (2006) zeigten, dass die Probanden unter anregender Musik schneller fuhren, teilweise auch über den Geschwindigkeitsbeschränkungen. Zudem war die Reaktionszeit auf unerwartete Reize bei entspannender und anregender Musik verlangsamt. Die Verhaltensänderungen unter Musik waren den Probanden dabei nicht bewusst.

Wie sich die Lautstärke auf das Fahrverhalten auswirkt untersuchten Dalton, Behm und Kibele (2007). Den Probanden wurde während einer simulierten Fahrt Rockmusik, klassische Musik und Industrielärm unter 53 und 95 dB präsentiert. In allen drei Bedingungen wirkte sich die hohe Lautstärke nachteilig auf die Reaktionszeiten und das Fahrverhalten aus.

Auch die Auswirkung der emotionalen Komponente der Musik wurde

in Bezug auf das Fahrverhalten untersucht (Pêcher, Lemerrier & Cellier, 2009). Den Probanden wurde im Fahrsimulator fröhliche, traurige, neutrale oder keine Musik präsentiert. Die Ergebnisse legten dar, dass die Fahrleistung unter neutraler Musik der Bedingung ohne Musik entsprach. Unter dem Einfluss der fröhlichen Musik fuhren die Probanden langsamer, wohingegen die Spurhaltequalität schlechter wurde. Bei trauriger Musik gab es keine Veränderungen in der Geschwindigkeit, hingegen wurde auch hier die Spurhaltequalität schlechter. Anhand der Studie zeigt sich, dass der emotionale Grad der Musik sowohl einen Einfluss auf die Geschwindigkeit als auch auf die Querführung hat.

Neben diesen eher nachteiligen Effekten zeigten sich in den folgenden Studien kaum oder keine Auswirkungen auf das Fahrverhalten:

Consiglio und seine Kollegen (2003) verglichen die Bremsreaktion des Fahrers unter den folgenden Bedingungen: Kontrollbedingung ohne Musik, Radiomusik, Unterhaltung mit einem Beifahrer, Unterhaltung via Mobiltelefon in der Hand und Unterhaltung durch die Freisprechanlage im Fahrzeug. Lediglich die Bedingung unter Radiomusik verschlechterte die Bremsreaktion nicht.

Eine ähnliche Studie führten Bellinger und Kollegen (2009) durch. In einer simulierten Fahrbedingung wurde ebenfalls der Einfluss einerseits durch Musik und andererseits durch eine Telefonkonversation auf das Fahrverhalten untersucht. Es zeigte sich, dass das Telefonieren die Bremsreaktionszeit signifikant beeinflusst, wohingegen die zwei Musikbedingungen (66 dB und 78 dB) keine nachteiligen Effekte zeigten.

Auch Cassidy und MacDonald (2009) demonstrierten, dass sich Musik nicht negativ auf das Fahrverhalten auswirkt, sofern diese vom Fahrer selbst ausgewählt wurde. Die Probanden mussten in einem simulierten Rennspiel fahren, wobei keine Musik, selbst ausgewählte Musik oder vom Versuchsleiter ausgewählte Musik präsentiert wurde. In der Bedingung mit vorgegebener Musik war das Fahrverhalten fehleranfälliger im Vergleich zur Kontrollbedingung und zur Bedingung mit selbst ausgewählter Musik.

Dieser Effekt konnte auf den erhöhten Erregungsgrad (in Form von hohen Tempos und Lautstärke) der vom Versuchsleiter vorgegebenen Musik zurückgeführt werden. Diese Studie demonstriert, dass sich Fahrer während der Fahrt unbewusst gegen die nachteilige Wirkung sehr erregender Musik entscheiden.

Löffler und Kollegen (2008) untersuchten die vom deutschen Verkehrssicherheitsrat empfohlene Musik zum Autofahren. Volume 1 Entspannung in ihrer Auswirkung auf die Fahrleistung (beispielsweise Fahrfehler, Geschwindigkeit oder Reaktionszeiten) im Fahrsimulator unter Stresssituationen (überraschende Situationen, wie ein auf die Fahrbahn springendes Reh). Sowohl die Fahrleistung als auch das subjektive Befinden waren unter der Präsentation dieser Musik unverändert.

Zusammenfassend lässt sich aus der Zusammenstellung der vorangegangenen Studien die Frage nach der aktivierungsförderlichen Wirkung von Musik beantworten. Wiederholt konnten Einflüsse von Tempo und Lautstärke nachgewiesen werden, die mit der Aktivierung des Zuhörers positiv korrelieren. Steigen Lautstärke und/oder Tempo an, so steigt auch die Aktivierung des Zuhörers; sinken die Lautstärke und/oder das Tempo, so sinkt auch die Aktivierung. Ähnliche Auswirkungen zeigen sich im Fahrverhalten; dort kann die Musik sowohl einen positiven als auch einen negativen Effekt haben. Sowohl ein schnelles Musiktempo als auch laute Musik können sich nachteilig auf das Fahrverhalten auswirken. Moderate Lautstärke- und Temponiveaus fördern hingegen die Konzentration und Aufmerksamkeit.

Sowohl eine aktivierende als auch deaktivierende Wirkung sprach ebenfalls Hesse (2003) der Musik zu und empfiehlt eine bestimmte Musik, um eine gewünschte Aktivierung zu erzielen (Tabelle 4.1).

Diese Wirkung von Musik spiegelt sich ebenso in dem Musikwahlverhalten der Fahrer in verschiedenen komplexen Verkehrssituationen wider. Empirische Studien zeigen, dass Fahrer dazu neigen, je nach Gegebenheit die Musikwahl anzupassen: Dibben und Williamson (2007) beobachteten, dass viele Fahrer die Lautstärke in komplexen Verkehrssituationen herabregeln,

<b>Eigenschaften</b>	<b>Aktivierende Wirkung</b>	<b>Deaktivierende Wirkung</b>
Lautstärke	Hohe Lautstärke	Geringe Lautstärke
	Große Lautstärkenänderungen	Geringe Lautstärkenänderung
Tempo	Schnelles Tempo	Tempo in oder unterhalb der Herzfrequenz
	Häufige Tempowechsel	Gleichmäßiges Tempo
Tonhöhe	Großer Tonhöhenumfang	Geringer Tonhöhenumfang
	Weite Intervalle	Enge Intervalle
Klangcharakter	Hell	Weich

Tab. 4.1: Musikalische Eigenschaften und ihre aktivierende Wirkung (nach Hesse, 2003, S. 157)

aber in Stausituationen oder auf langen, wenig komplexen Strecken hochregeln. In der Fragebogenstudie von Barby und Kollegen (2013a) wurde nach Verkehrssituationen gefragt, in denen die Musik leiser gestellt wird. Die Befragten gaben vorwiegend Situationen an, in denen mehr Konzentration erforderlich ist, wie beispielsweise in unübersichtlichen Verkehrssituationen (z. B. auf einer Autobahnauffahrt oder während eines Ampelausfalls), während des Ertönnens eines Martinshorn oder während Niederschlags bei Dunkelheit. Ähnlich verhielten sich die Probanden in der Studie von Cassidy und McDonald (2009). Sie wählten zu ihrer Rennspielaufgabe Musik aus, die weniger aktivierend auf sie einwirkte, wodurch sie die Fahraufgabe schnell und fehlerfrei absolvierten. Im Vergleich dazu kollidierten die Fahrer unter Musikpräsentation hoher Aktivierung häufiger und waren langsamer.

Im Unterschied zu diesem positiven Musikwahlverhalten zeigte sich in einem Verbundprojekt der TU Dortmund und der Daimler AG, dass sich LKW-Fahrer in ihrem Musikwahlverhalten von den anderen Kraftfahrzeugführern unterscheiden (Rothe & Rötter, 2012). Sie passen die Musik unbewusst der jeweiligen Situation an; in monotonen Situationen wird die Musik häufig abgeschaltet und in komplexen Situationen hoch reguliert.

In Bezug auf die Aktivierungsregulation wird in erster Linie der Einsatz von Musik zur Ermüdungssenkung und dementsprechend zur Aktivierungssteigerung diskutiert. Bereits Hacker und Richter (1984) bezeichneten das

Musikhören als eine Verhütungsmaßnahme gegen Monotoniezustände, die mit einer erhöhten Aktivierung einhergeht. Reyner und Horne (1998) überprüften im Fahrsimulator den Einfluss von Radiomusik bei Fahrern, welche die Nacht zuvor nur fünf Stunden geschlafen hatten. Die Ergebnisse unterstützten die aktivierungsfördernde Wirkung von Musik während der Fahrt. Die Aktivierung der Fahrer stieg bei Radiomusikhörern an; dieser Trend war aber nur während der ersten halben Stunde zu verzeichnen. Greschner (2011) erzielte das gleiche Ergebnis. Er untersuchte im Fahrsimulator Fahrer, welche die Nacht zuvor nicht geschlafen hatten. Bei einsetzender Schläfrigkeit, wurden verschiedene Maßnahmen getestet. Das Musikhören durch das Radio bewirkte eine vorübergehende Besserung für ca. 15 Minuten, wohingegen ein Telefongespräch eine länger andauernde Aktivierung zeigte. Nähere Erläuterungen in Bezug auf die Musikeigenschaften sind in beiden Arbeiten nicht gegeben.

Die Studien zeigen, dass Fahrer die Musik bewusst einsetzen, um ihre Aktivierung in Verkehrssituationen zu regulieren. Gembris (2005) begründet das Verhalten mit dem Bedürfnis ein mittleres Aktivierungsniveau zu erhalten, da dieses am angenehmsten empfunden wird. Um die Aktivierung auf diesem optimalen Niveau zu halten, wird die Musik in komplexen Situationen, in denen die Aktivierung schon auf einem hohen Niveau ist, beispielsweise in ihrer Lautstärke reduziert um deaktivierend zu wirken. In monotonen Situationen wird die Musik beispielsweise lauter gestellt, um das abfallende Aktivierungsniveau wieder zu heben.

Ältere Erwachsene favorisieren zudem ein geringeres optimales Aktivierungsniveau im Vergleich zu jüngeren Probanden (Gembris, 2005). Dies zeigt sich in Unterschieden in der Musikwahl. So hören die älteren Befragten (ab 65 Jahre) signifikant leisere und langsamere Musik als jüngere Befragte (18 bis 30 Jahre) (Barby et al., 2013a). Hierzu übereinstimmende Ergebnisse beschreibt auch Gembris (2005), der erklärt, dass laute und schnelle Musik aufgrund ihrer aktivierenden Wirkung in dieser Altersklasse vermieden wird.

Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass der Fahrer bestrebt ist, seine Akti-

vierung auf einem optimalen, mittleren Niveau zu halten. Die Musik wird dazu regulierend eingesetzt, um sich in monotonen Situationen zu aktivieren (Musikwahl höheren Tempos und Lautstärke) und in sehr komplexen Situationen zu deaktivieren (Musikwahl niedrigeren Tempos und Lautstärke).

### 4.1.3 Musik zur Regulation visueller Verengung

Im vorangegangenen Kapitel wurde die aktivierende und deaktivierende Wirkung der Musik beschrieben. In Anbetracht des postulierten Zusammenhangs zwischen dem Grad der Aktivierung und der visuellen Verengung (Kapitel 3.1.2, Abbildung

Nach Kenntnis des Autors sind bisher keine Studien zu verzeichnen, die direkt den Zusammenhang zwischen der Musik und der visuellen Verengung untersucht haben. An dieser Stelle werden daher Studien referenziert, die weitestgehend den Einfluss von Musik auf zentral oder peripher dargebotene Reize untersuchten (Turner, Fernandez & Nelson, 1996; Beh & Hirst, 1999; Consiglio, Driscoll, Witte & Berg, 2003).

Turner, Fernandez und Nelson (1996) untersuchten die Reaktionszeit (Pedalbetätigung) auf einen zentral aufblitzenden, roten Lichtpunkt am Computer unter dem Einfluss der Lautstärke der Musik (60, 70 und 80 dB). Die Reaktionszeiten waren bei der mittleren Lautstärke, die von jedem Probanden individuell als angenehm eingestuft wurde, am geringsten. Die Autoren schlussfolgern aus ihren Ergebnissen, dass Musik in einer angenehmen Lautstärke zu einem optimalen Aktivierungsniveau führt und dadurch eine verbesserte Reaktion auf zentrale Reize gegeben ist. Übertragen auf den Fahrkontext mag das bedeuten, dass Fahrer unter den geschilderten Bedingungen beispielsweise schneller plötzlich aufleuchtende Rückleuchten eines vorausfahrenden Fahrzeuges erkennen könnten.

In der Studie von Beh und Hirst (1999) mussten die Probanden Aufgaben von niedriger und hoher Anforderung am Computer durchführen (Reaktionszeitaufgabe, Vigilanzaufgabe, Trackingaufgabe). Während dessen wurde

keine, leise (55 dB) oder laute (85 dB) Musik präsentiert. Mittels Pedalbetätigung wurde die Reaktionszeit der Probanden auf zentral und peripher dargebotene Reize gemessen. Es zeigte sich, dass die Wirkung der Musik von der Aufgabenart abhing, so hatte sowohl leise als auch laute Musik einen positiven Effekt auf eine Vigilanzaufgabe. Zudem waren die Reaktionszeiten auf zentrale Reize in den leisen und lauten Musikbedingungen im Vergleich zur Bedingung ohne Musik geringer. Darüber hinaus war die Reaktion auf periphere Reize bei einer hohen Aufgabenanforderung und lauter Musik verlangsamt. Beh und Hirst (1999) schlossen daher auf einen Zusammenhang zwischen der aktivierenden Wirkung der Musik und der Aufmerksamkeitsselektivität für zentrale und periphere Reize.

Consiglio, Driscoll, Witte und Berg (2003) untersuchten die Bremsreaktionszeit auf ein zentral dargebotenes rotes Bremslicht unter verschiedenen Bedingungen (Kontrollbedingung, Radiomusik, Konversation mit Beifahrer oder Telefonpartner). Unter der Bedingung Radiomusik war die Reaktionszeit auf das zentral dargebotene Licht im Vergleich zur Kontrollbedingung nicht signifikant verschieden. Die Musikeigenschaften wurden in dieser Studie nicht näher definiert. Es bleibt daher offen, welche Musikeigenschaften zu diesem Ergebnis führten.

Sowohl die Ergebnisse der Studie von Turner und Kollegen (1996) als auch die Ergebnisse von Beh und Hirst (1999) unterstützen die Annahme, dass die Fahrer durch die Musik in ein optimales Aktivierungsniveau versetzt wurden und somit nach dem Yerkes-Dodson-Gesetz (1908) eine höhere Leistung in Hinblick auf die Reaktionszeit auf Bremslichter zeigten. Eine Überaktivierung, hervorgerufen durch sehr laute Musik und hohe Aufgabenanforderungen, bewirkte hingegen eine schlechtere Aufmerksamkeit für die peripheren Reize (Beh & Hirst, 1999). Es könnten sich demnach Rückschlüsse auf eine visuelle Verengung ziehen lassen. Dieser Zusammenhang bedarf weiterer Untersuchungen, die in dem empirischen Teil des Kapitels 4 dieser Arbeit vorgenommen werden.



### 4.1.4 Zusammenfassung

Durch die fortschreitende technische Weiterentwicklung, angefangen beim Radio bis hin zu den heutigen Infotainmentsystemen, ist das Musikhören während der Fahrt zu einer bedeutsamen Nebentätigkeit geworden. Studienergebnisse zeigen, dass bis zu 98 % der Fahrer Musik hören, wobei das Musikhören während der Fahrt sowohl für die jüngeren als auch für die älteren Fahrer gleichermaßen bedeutsam ist. Die zugrundeliegende Motivation liegt in der Unterhaltung, Entspannung, Beruhigung, Aktivierung oder Stimmungsregulierung.

Studienergebnisse haben gezeigt, dass die Musik eine aktivierende Wirkung besitzt. Dies konnte durch physiologische, subjektive und leistungsbezogene Parameteränderungen nachgewiesen werden. Insbesondere die Lautstärke und das Tempo sind in ihrer positiv korrelierenden Aktivierungswirkung ausgiebig untersucht. In Bezug auf die Fahrleistung hat die Musik einen positiven Effekt, wenn sie beim Fahrer ein moderates Niveau an Aktivierung erzeugt.

Es zeigt sich, dass die Fahrer die Musik zur Aktivierungsregulierung in verschiedenen Situationen einsetzen. In monotonen oder sogar schläfrigen Situationen wird die Musik zur steigernden Aktivierung genutzt; in komplexen Situationen wird die Musik so reguliert (langsames Tempo, Lautstärkereduzierung), dass sie eine deaktivierende Wirkung besitzt. Es wird somit versucht, ein mittleres optimales Aktivierungsniveau aufrecht zu erhalten. Überträgt man diesen Zusammenhang auf die Beziehung zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung, so lässt sich eine Regulierung der visuellen Verengung durch die Musik auf Basis der Aktivierung vermuten. Dieser direkte Zusammenhang ist bislang noch nicht explizit untersucht worden. Studienergebnisse, die Reaktionszeiten auf zentral und peripher präsentierte Stimuli unter Musikbedingungen erhoben haben, deuten auf einen Zusammenhang zur visuellen Verengung hin. Dieser Sachverhalt wird daher im empirischen Teil des Kapitels 4 dieser Arbeit untersucht.

## 4.2 Fragen und Hypothesen: Regulation visueller Verengung durch Musik

In dem empirischen Teil des Kapitels 4 dieser Arbeit soll untersucht werden, inwieweit die Musik zur Regulierung der visuellen Verengung genutzt werden kann. Da die Lautstärke und das Tempo in ihrer Wirkung auf die Aktivierung bislang am besten untersucht worden sind, sollen diese zwei Parameter in den folgenden Studien zugrunde gelegt werden.

Folgende **Fragestellungen** sollen beantwortet werden:

1. Liegt ein Zusammenhang zwischen der Musik und der Blickverteilung des Fahrers im Sinne der visuellen Verengung vor?
2. Können sowohl das Tempo als auch die Lautstärke der Musik die Blickverteilung des Fahrers beeinflussen?

Folgende **Hypothesen** lassen sich aufgrund der Ergebnisse der Literaturrecherche aufstellen:

- H4: Die Musik beeinflusst signifikant die Blickverteilung des Fahrers im Sinne einer u-förmigen Beziehung zwischen dem Grad der Lautstärke bzw. des Tempos und dem Grad der visuellen Verengung, wie in Abbildung 4.1 dargestellt.

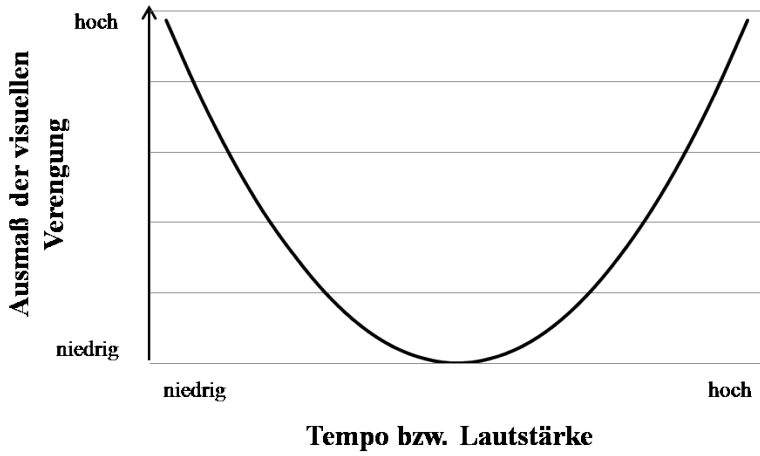


Abb. 4.1: Angenommener u-förmiger Zusammenhang zwischen dem Grad der Lautstärke bzw. des Tempos und der visuellen Verengung beim Fahrer.

### 4.3 Empirische Untersuchungen: Regulation visueller Verengung durch Musik

In diesem Kapitel werden zwei empirische Studien beschrieben, die zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der visuellen Verengung und der Musik durchgeführt worden. Die Studie 3 beschreibt eine Detektion der visuellen Verengung mithilfe der Reaktionszeitmethode in Abhängigkeit von Lautstärke- und Tempovariationen und die Studie 4 untersucht die visuelle Verengung mithilfe eines kopfbasierten Eye-Trackers in Abhängigkeit von Tempovariationen. Beide Studien finden im Fahrsimulator statt.

#### 4.3.1 Empirische Studie 3: reaktionszeitbasierte Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation

In dieser Studie wird die visuelle Verengung hinsichtlich ihres Ausmaßes unter Lautstärke- und Tempovariationen von Musik untersucht. Die Untersuchung findet im Fahrsimulator statt, wobei die simulierte Umgebung monoton gehalten wird.

Desweiteren wird in dieser Studie die Methode der Reaktionszeiterfassung (Kapitel 3.1.3.1) gewählt. Somit wird laut der Definition der visuellen Verengung nach Harbluk, Noy und Eizenmann (2002) der zweiten Bedingung, der reduzierten Detektion peripherer Reize, Rechnung getragen. In diesem Sinne wird die Aufmerksamkeitsverteilung durch die Detektionsrate und Detektionsgeschwindigkeit für zentrale und peripher dargebotene Reize gemessen, worauf auf die visuelle Verengung geschlossen wird.

Diese Studie soll die folgende **Fragestellung** klären:

- Führt eine sehr leise/langsame als auch sehr laute/schnelle Musik im Vergleich zu einer mittleren Lautstärke bzw. einem mittleren Tempo zu einer reduzierten Detektionsrate und höheren Reaktionszeit peripherer Reize im Sinne der visuellen Verengung?

Dazu wird folgende **Hypothese** aufgestellt:

- **H4.1:** Eine sehr leise/langsame als auch sehr laute/schnelle Musik führen im Vergleich zu einer mittleren Lautstärke bzw. einem mittleren Tempo zu einer signifikant reduzierten Detektionsrate und höheren Reaktionszeit peripherer Reize.

#### 4.3.1.1 Methode

##### A) Stichprobe

Die Probanden wurden über Aushänge in der Universität und durch persönliche Ansprache rekrutiert. Um an der Studie teilzunehmen, mussten die Probanden die folgenden Kriterien erfüllen:

- ein Altersrange von 21 bis 30 Jahre um keine Alterseffekte zu untersuchen,
- mindestens zweijähriger Führerscheinbesitz und
- eine Mindestfahrleistung von 2.000 km im Jahr als Kraftfahrzeugführer.

Es nahmen insgesamt 28 Probanden teil. Davon mussten zwei Probanden (männlich, 30 Jahre alt; weiblich, 30 Jahre alt) das Experiment aufgrund von Schwindel und Übelkeit nach kurzer Zeit abbrechen. Diese sogenannte Simulatorkrankheit tritt je nach Simulatorart mehr oder weniger häufig auf und entsteht dadurch, dass visuell wahrgenommene Bewegungen ohne physische Rückmeldungen erlebt werden (Kolasinski, 1995). Ein weiterer Proband wurde aufgrund seines Fahrverhaltens ausgeschlossen, da er beide Füße zur Betätigung des Gas- und Bremspedales nutzte und somit eine Verzerrung der Reaktionszeiten nicht ausgeschlossen werden konnte.

Die verbliebenen 25 Probanden (12 weiblich, 13 männlich) waren durchschnittlich 24,48 Jahre (SD = 2,88 Jahre) alt. Den Führerschein besaßen die Probanden seit durchschnittlich 83,60 Monaten, was rund sieben Jahren

entspricht ( $SD = 36,25$  Monate;  $Min = 48$  Monate;  $Max = 183$  Monate). Die durchschnittliche Fahrleistung betrug  $6.668$  km/Jahr ( $SD = 5848,91$  km/Jahr;  $Min = 2.000$  km/Jahr;  $Max = 20.000$  km/Jahr). 21 Probanden studierten zum Zeitpunkt der Datenerhebung, die restlichen vier Probanden waren Angestellte. Die Sehschärfe war bei allen Probanden normal oder auf normal korrigiert.

Alle Versuchspersonen berichteten, dass sie beim Autofahren regelmäßig Musik hören würden.

Die Probanden nahmen freiwillig an der Studie (ohne Vergütung) teil; Studierende der Psychologie erhielten allerdings zwei Versuchspersonenstunden für ihre Teilnahme.

### **B) Geräte, Software und Materialien**

#### B1) Fahrsimulator

Das Experiment fand in einem statischen Fahrsimulator statt, der in Kapitel 3.3.2.1 beschrieben ist.

#### B2) Simulation

Zur Verkehrssimulation wurde ebenfalls, wie in der Studie 2 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung (Kapitel 3.3.2.1) beschrieben, die Software SILAB Version 3.0 beta 4 des Würzburger Instituts für Verkehrswissenschaften genutzt.

Im Vergleich zur Studie 2 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung (Kapitel 3.3.2) handelte es sich bei dieser Studie um eine einstreifige Landstraße. Eine Gegenfahrbahn mit Gegenverkehr war nicht vorhanden (Abbildung 4.2A). Die Streckengeometrie wurde großzügig trassiert (lang gezogene, weite Kurven) um die Reaktionszeiten, aufgrund verlagertener Fluchtpunkte in engeren Kurven, nicht zu beeinflussen (Land & Lee, 1994). Die Strecke wurde daher ebenfalls sehr monoton gehalten.

Aufgabe während der Fahrt war es, auf einen in der Simulation präsentierten visuellen Stimulus mittels Bremspedalbetätigung zu reagieren. Diese

Reaktionszeit wurde mithilfe der Simulationssoftware aufgenommen und entsprach der Zeit ab Präsentation des Reizes bis zur Betätigung der Bremse.

Der Zielreiz bestand aus einem braunen Quadrat (Farbmodell *RGB* : 70,40,10), das in einer Größe von  $4 \times 4\text{cm}$  ( $0,6^\circ$  Sehwinkel) projiziert wurde. Die Farbe Braun wurde gewählt, da diese in der Simulation einen guten, aber nicht zu auffälligen Kontrast zum Hintergrund bot. Der Zielreiz wurde an acht verschiedenen Positionen innerhalb der Simulation präsentiert, die sich auf zentrale und periphere Blickbereiche aufteilten. Der zentrale Bereich wurde nach Land & Lee (1994) als ellipsenförmiger Bereich um den Fernpunkt mittig auf der Spur festgelegt. Der periphere Bereich erstreckte sich vom zentralen Bereich in gleicher Höhe nach links und rechts (Abbildung 4.2B).

Die Koordinaten innerhalb einer Auflösung von 1680 x 1050 Bildpunkten wurden wie folgt programmiert:

- vier zentrale Positionen mit (1)  $X = 860$ ,  $Y = 620$ , (2)  $X = 940$ ,  $Y = 580$ , (3)  $X = 970$ ,  $Y = 660$  und (4)  $X = 1000$ ,  $Y = 560$ ,
- zwei linke periphere Positionen mit (5)  $X = 590$ ,  $Y = 560$  und (6)  $X = 700$ ,  $Y = 650$  und
- zwei rechte periphere Positionen mit (7)  $X = 1200$ ,  $Y = 570$  und (8)  $X = 1300$ ,  $Y = 640$ .

### B3) Musik

Als Musik wurden instrumentale Versionen von Pop-Songs gewählt, um Textinhaltseffekte und Spracheffekte zu kontrollieren. Um den Einfluss des Tempos auf die Blickverteilung zu bestimmen, sollten drei Kategorien an Tempi von Liedern ausgewählt werden. Nach Brodsky (2002) wurde der Bereich von 40 bis 70 bpm als niedriges Tempo (nT), 85 bis 110 bpm als mittleres Tempo (mT) und 120 bis 140 bpm als hohes Tempo (hT) definiert. Das Tempo einer Vorauswahl an Liedern wurde mithilfe von drei bpm-Zählern (Software: MixMeister BPM Analyzer, BPM Counter, Tap

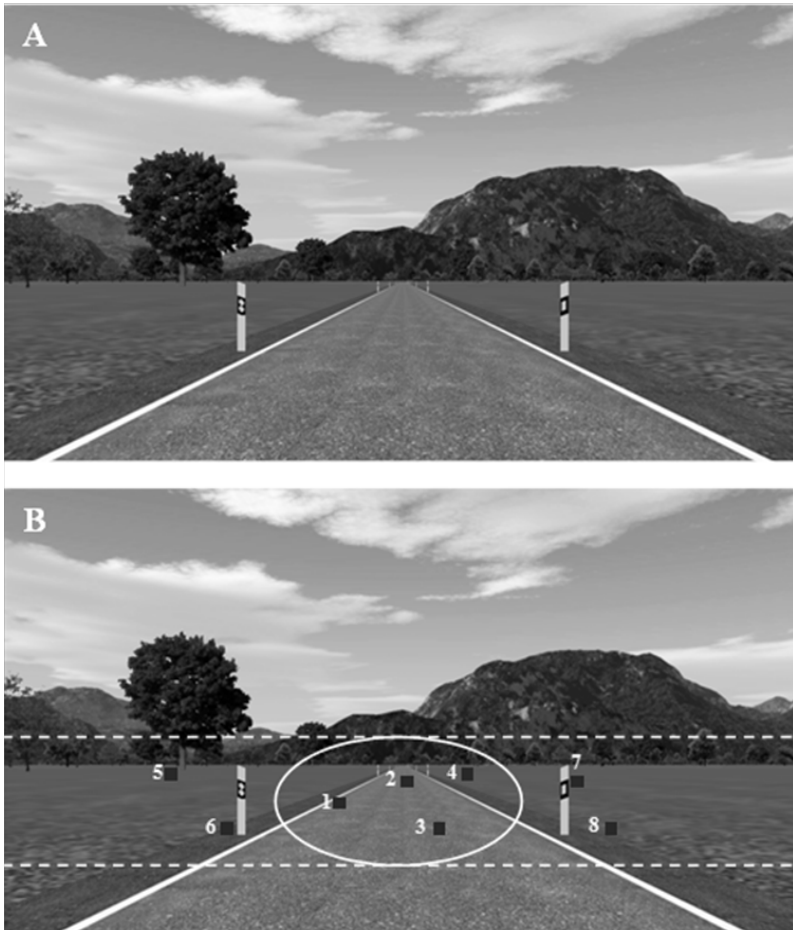


Abb. 4.2: A Darstellung der simulierten Landstraße; B Anordnung der Zielreize im zentralen (Ellipse) und peripheren (Areale horizontal neben der Ellipse) Bereich.



for Beats Per Minute) bestimmt. Unterschieden sich die errechneten Tempi der drei Zähler nicht und entsprach das Lied einer Tempokategorie, wurde das Lied für diese Studie ausgewählt. Pro Kategorie wurden drei Lieder ausgewählt. Abschnitte der Lieder, welche keine Schläge enthielten, wurden herausgeschnitten. Die finale Auswahl der neun Lieder ist in Anhang K aufgelistet.

Um auch den Einfluss der Lautstärke zu untersuchen, wurden drei Lautstärkekategorien nach Turner und Kollegen (1996) gewählt: eine niedrige Lautstärke von 60 dB (nL), eine mittlere Lautstärke von 70 dB (mL) und eine hohe Lautstärke von 80 dB (hL). Jeder Titel wurde im Vorfeld mithilfe eines dB-Messgerätes (Brüel & Kjaer Typ 2233) pro Lautstärkekategorie eingestellt und die entsprechende Lautstärkeeinstellung im Windows Media Player vermerkt. Dadurch wurde sichergestellt, dass jeder Titel in der korrekten Lautstärke gespielt wurde.

Die Lieder aller Tempokategorien wurden bei einer mittleren Lautstärke präsentiert; die Lieder der mittleren Tempokategorie wurden dazu bei niedriger und hoher Lautstärke präsentiert. Es sind daher insgesamt fünf verschiedene Musikbedingungen und eine Kontrollbedingung (K) vorhanden:

1. niedriges Tempo nT und mittlere Lautstärke mL,
2. mittleres Tempo mT und niedrige Lautstärke nL,
3. mittleres Tempo mT und mittlere Lautstärke mL,
4. mittleres Tempo mT und hohe Lautstärke hL,
5. mittleres Tempo mT und hohe Lautstärke hL,
6. hohes Tempo hT und mittlere Lautstärke mL und
7. Kontrollbedingung K.

### **C) Ablauf**

Ein Durchlauf pro Teilnehmer dauerte insgesamt ca. eineinhalb Stunden. Zunächst füllte jeder Teilnehmer einen Fragebogen aus, worin demographische Daten (Alter, Geschlecht, Beruf), der Führerscheinbesitz, die Fahrleistung und die Sehkorrektur abgefragt wurden (Anhang L).

Anschließend wurden die Teilnehmer über die Aufgabe und den Ablauf der Studie informiert (Anhang M). Die Aufgabe für die Teilnehmer bestand darin, auf der simulierten Landstraße zu fahren und bei Entdecken des Zielreizes so schnell wie möglich das Bremspedal zu betätigen und auf unter 50 km/h ab zu bremsen. Die 50 km/h Marke galt als Kontrolle, damit zufällige Bremspedalbetätigungen nicht als Zielreizreaktion gewertet wurden. Weiterhin wurden sie instruiert, die präsentierten instrumentalen Versionen von Pop-Songs nicht mitzusingen, um eine aktivierende Wirkung durch das Singen zu vermeiden.

Zunächst wurden die Probanden in den Fahrsimulator und dessen Bedienung eingewiesen. Danach begann eine Einfahrzeit von ca. zehn Minuten ohne Musik, um sich an den Fahrsimulator, den Zielreiz und die Reaktionszeitaufgabe zu gewöhnen. Die drei verschiedenen Positionen der Übungsreize waren dabei ungleich den Positionen der Reize im Hauptexperiment (links peripher  $X = 580$ ,  $Y = 610$ ; zentral  $X = 950$ ,  $Y = 610$ ; rechts peripher  $X = 1350$ ,  $Y = 590$ ; Angabe in Bildpunkten). Während der Fahrt mussten sich die Probanden anschnallen, um ein möglichst authentisches Erlebnis zu gewährleisten.

Zeigten die Versuchspersonen keine Unsicherheiten im Umgang mit dem Fahrsimulator und in der Reaktionsaufgabe mehr, wurde das Hauptexperiment gestartet. Der Zielreiz wurde in jeder der sechs Musikbedingungen 24 Mal an einer der acht Positionen für zwei Sekunden präsentiert. Dadurch ergab sich eine Gesamtzahl von 144 präsentierten Reizen. Die sechs Bedingungen wurden pro Teilnehmer dreimal durchlaufen. Sowohl die Reihenfolge der Musikbedingungen als auch der Reizpositionen und der zeitliche Abstand zwischen den präsentierten Reizen wurden für jeden Durchgang

randomisiert. Die gesamte Fahrt dauerte je nach gefahrener Geschwindigkeit zwischen 47 und 53 Minuten.

Nach der Fahrt wurden die Teilnehmer gebeten, noch einen Fragebogen auszufüllen. Darin wurde nach der subjektiven Meinung der Teilnehmer in Bezug auf den Einfluss des Tempos und der Lautstärke der Musik auf das Fahrverhalten gefragt sowie die verwendeten Lautstärken in der Studie mit den eigenen Hörgewohnheiten abgeglichen. Zudem mussten die Probanden angeben, ob ihnen die Lieder gefielen (Anhang N). Der Fragebogen diente dazu, etwaige subjektive Einflüsse, wie Einstellungen zur Musik, Musikgeschmack und Fahrverhalten zu untersuchen.

#### **D) Statistische Analyse**

Die statistische Analyse wurde auch in dieser Studie durch die Statistiksoftware SPSS, Version 19 der Firma IBM und Microsoft Excel, Version 2007, durchgeführt.

Das Experimentaldesign enthält den Lautstärkefaktor (UV1 mit vier Stufen), den Tempofaktor (UV2 mit vier Stufen) und den Faktor der Reizposition (UV2 mit zwei Stufen); somit ergibt sich ein  $4 \times 4 \times 2$  faktorielles Messwiederholungsdesign. Die Bremsreaktionszeit als Detektionsvariable stellt die AV dar.

Die statistische Analyse (Bortz, 2005) enthält deskriptive Auswertungen (Mittelwert, Standardabweichung, Häufigkeiten) und inferenzstatistische Analysen (t-Tests, ANOVA).

Wie in den vorangegangenen Studien bereits erläutert, bedarf die Analyse mittels parametrischer Verfahren (Varianzanalyse) diverser Testvoraussetzungen (Normalverteilung, Varianzgleichheit, Sphärizität). Mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test wird die Normalverteilung, mit dem Levene-Test die Varianzhomogenität und mit dem Mauchly-Test die Sphärizität überprüft. Sind diese nicht erfüllt, so werden die korrigierten Statistiken aufgeführt und darauf hingewiesen.

Das Signifikanzniveau wird auf  $p < 0,05$  festgesetzt.

### 4.3.1.2 Ergebnisse

Es wird zunächst untersucht, wie viele der 144 präsentierten Reize in welcher Bedingung detektiert wurden (A). Danach wird die Wirkung der Lautstärkevariation auf die Detektionszeit unter mittlerem Tempo analysiert (B), anschließend wird die Detektionszeit der Tempovariation unter mittlerer Lautstärke ausgewertet (C). An dieser Stelle werden getrennte Varianzanalysen betrachtet, da es nicht für jede Lautstärke-Tempo-Interaktion eine entsprechende Bedingung gab. Zum Ende wird zudem der Posttestfragebogen ausgewertet (D).

#### A) Detektionsrate

Insgesamt wurden pro Proband durchschnittlich 6,16 von 144 Reizen nicht detektiert ( $SD = 4,67$  Reize,  $Min = 0$ ,  $Max = 21$ ). In Bezug auf die zentralen und peripheren Reize wurden von den zentralen Reizen 0,08 % und von den peripheren Reizen 4,19 % nicht detektiert. Dabei handelt es sich um einen signifikanten Unterschied,  $t(24) = 6,85$ ,  $p = 0,000$ . Um den Einfluss der Lautstärkebedingung und der Reizposition auf die Anzahl an nicht detektierten Reizen zu untersuchen wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung gerechnet. Der Mauchly-Test auf Sphärizität ist für beide Faktoren (Reizposition und Lautstärkebedingung) nicht signifikant. Es kann daher von Varianzgleichheit ausgegangen werden.

In Abbildung 4.3 sind die Anzahlen nicht detektierter Reize pro Lautstärkebedingung angegeben. Der Haupteffekt der Reizposition ist hoch signifikant, das heißt, die Anzahl nicht detektierter Reize ist abhängig von der Reizposition;  $F(1, 24) = 52,74$ ,  $p = 0,000$ ,  $r = 0,82$ . Die Lautstärkestufen hingegen zeigen keinen signifikanten Haupteffekt, das heißt die Anzahl nicht detektierter Reize ist nicht signifikant von den Lautstärkebedingungen abhängig;  $F(3, 72) = 1,25$ ,  $p = 0,296$ . Einzelne Kontraste zeigen ebenfalls keinen signifikanten Unterschied. Der Interaktionseffekt beider Faktoren ist ebenfalls nicht signifikant;  $F(3, 72) = 1,77$ ,  $p = 0,160$ .

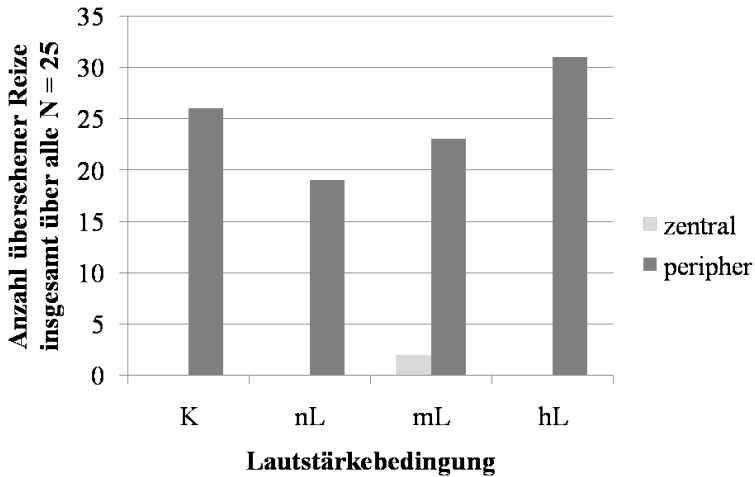


Abb. 4.3: Anzahl nicht detektierter Reize über alle 25 Teilnehmer für die einzelnen Lautstärkestufen (K-Kontrollbedingung, nL-niedrige Lautstärke, mL-mittlere Lautstärke und hL-hohe Lautstärke).

Neben dem Einfluss der Lautstärke auf die übersehenen Reize wurden auch die Tempovariationen untersucht (siehe Abbildung 4.4). Dazu wurde ebenfalls eine zweifaktorielle ANOVA mit den Faktoren Reizposition und Tempovariation gerechnet. Der Mauchly-Test wurde auch hier nicht signifikant ( $p > 0,05$ ), die Voraussetzung der Varianzgleichheit wird daher angenommen. Lediglich für die Reizposition konnte ein signifikanter Haupteffekt berechnet werden, das heißt, auch hier wirkt sich die Reizposition auf die Anzahl der nicht detektierten Reize aus;  $F(1, 24) = 34,94$ ,  $p = 0,000$ . In Bezug auf den Faktor Tempo ist kein signifikanter Haupteffekt zu beobachten;  $F(3, 72) = 0,419$ ,  $p = 0,74$ . Einzelne Kontraste sind ebenfalls nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Der Interaktionseffekt ist ebenfalls nicht signifikant;  $F(3, 72) = 0,652$ ,  $p = 0,584$ .

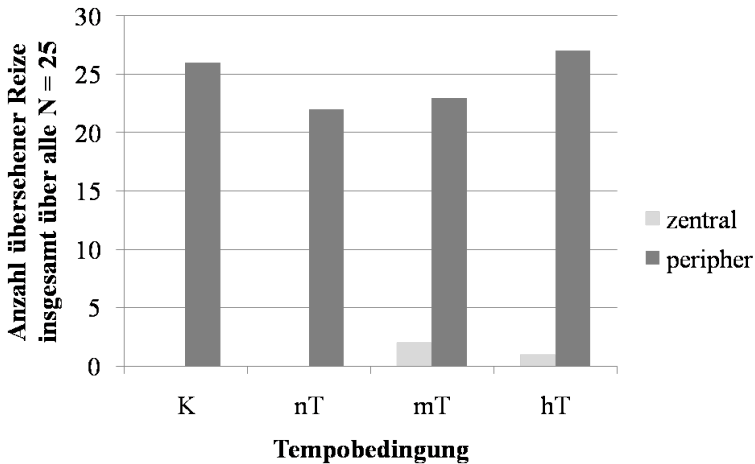


Abb. 4.4: Anzahl nicht detektierter Reize über alle 25 Teilnehmer für die einzelnen Tempostufen (K-Kontrollbedingung, nT-niedriges Tempo, mT-mittleres Tempo und hT-hohes Tempo).

### B) Detektionszeit und Lautstärke

Es wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren Lautstärke (K, nL, mL, hL) und Reizposition (zentral, peripher) auf der Grundlage von 25 Probandendaten berechnet.

Der Kolmogorov-Smirnov-Test wurde sowohl für die Reaktionszeiten auf zentrale Reize als auch für die Reaktionszeiten auf periphere Reize unter allen vier Lautstärkebedingungen nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Somit kann die Voraussetzung auf Normalverteilung als erfüllt betrachtet werden. Die Testvoraussetzung der Sphärizität ist ebenfalls sowohl für den Faktor Reizposition als auch für den Faktor Lautstärke erfüllt (Mauchly-Test ist nicht signifikant). Es kann somit von Varianzgleichheit ausgegangen werden.

Die zwei Reizpositionen, zentral und peripher, unterschieden sich in ihrer Reaktionszeit hoch signifikant voneinander;  $F(1, 24) = 67,12$ ,  $p = 0,00$ ,

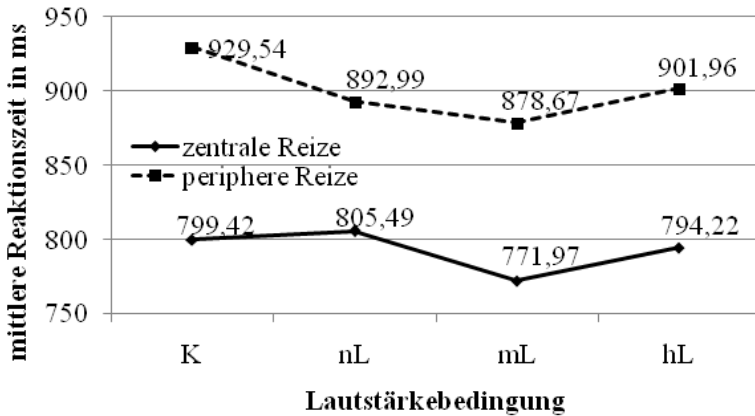


Abb. 4.5: Mittlere Reaktionszeiten für die zentralen und peripheren Zielreizpositionen unter vier Lautstärkebedingungen (K-Kontrollbedingung, nL-niedrige Lautstärke, mL-mittlere Lautstärke und hL-hohe Lautstärke) (N =25).

$r = 0,85$ . Die Reaktionszeit auf zentrale Reize war unter allen Lautstärkebedingungen signifikant geringer. In Abbildung 4.5 sind die mittleren Reaktionszeiten sowohl für die zentralen als auch für die peripheren Reize unter den verschiedenen Lautstärkebedingungen dargestellt.

Der Haupteffekt Lautstärke hingegen wurde nicht signifikant;  $F(3, 72) = 2,07, p = 0,111$ . Kontraste innerhalb dieses Faktors zeigen jedoch einen tendenziell signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollbedingung ohne Musik und dem mittleren Lautstärkeniveau (bei mittlerem Tempo);  $F(1, 24) = 4,01, p = 0,057, r = 0,37$ . Für periphere Reize war die mittlere Reaktionszeit unter der mittleren Lautstärkestufe tendenziell signifikant geringer ( $M = 878,67 \text{ ms}; SD = 114,58 \text{ ms}$ ) als unter der Kontrollbedingung ohne Musik ( $M = 929,54 \text{ ms}; SD = 184,26 \text{ ms}$ ).

Der Interaktionseffekt zwischen Reizposition und Lautstärke ist nicht signifikant;  $F(3, 72) = 0,65, p = 0,59$ .

### **C) Detektionszeit und Tempo**

Es wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Faktoren Tempo (K, nT, mT, hT) und Reizposition (zentral, peripher) auf der Grundlage von 25 Probandendaten berechnet.

Der Kolmogorov-Smirnov-Test wurde sowohl für die Reaktionszeiten auf zentrale Reize als auch für die Reaktionszeiten auf periphere Reize unter allen vier Lautstärkebedingungen nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Somit kann die Voraussetzung auf Normalverteilung als erfüllt betrachtet werden. Die Testvoraussetzung der Sphärizität ist sowohl für den Faktor Reizposition als auch für den Faktor Tempo erfüllt (Mauchly-Test ist nicht signifikant).

Es liegt ebenfalls ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Reizposition vor;  $F(1, 24) = 68,72$ ,  $p = 0,000$ ,  $r = 0,86$ . Die zentralen Reize sind auch hier signifikant schneller detektiert worden (Abbildung 4.6).

Der Haupteffekt für den Faktor Tempo ist tendenziell signifikant;  $F(3, 72) = 2,72$ ,  $p = 0,051$ . Kontraste zeigen denselben tendenziellen Unterschied zwischen der Bedingung keine Musik und der Bedingung mittleres Tempo (bei mittlerer Lautstärke), da die Datengrundlage bei diesen beiden Bedingungen dieselbe wie bei der Lautstärkeberechnung ist. Der Interaktionseffekt zwischen Reizposition und Lautstärke ist nicht signifikant;  $F(3, 72) = 0,46$ ,  $p = 0,70$ .

### **D) Posttestfragebogen**

Die Frage, ob die Lautstärke oder das Tempo einen Einfluss auf das Fahrverhalten haben, wurde von drei Teilnehmern verneint, die restlichen 22 Teilnehmer bejahten die Frage. Die Begründungen, welche die 22 Teilnehmer in Bezug auf die Lautstärke oder das Tempo gaben, entsprachen nicht der in dieser Studie aufgestellten Hypothese. Zum Beispiel wurde angegeben, dass man bei schneller Musik schneller fährt. Eine andere Überlegung verwies auf die Konzentration, so würde bei langsamer Musik die Konzentration schlechter sein als bei schneller Musik.

Auf die Frage, ob die präsentierten drei Lautstärkestufen (niedrig, mittel, hoch) dem eigenen Lautstärkeniveau entspricht, wenn man im Auto leise,



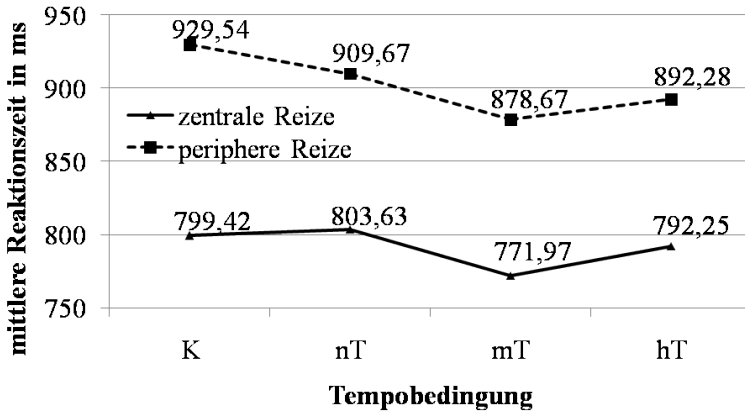


Abb. 4.6: Mittlere Reaktionszeiten für die zentralen und peripheren Zielreizpositionen unter vier Tempobedingungen (K-Kontrollbedingung, nT-niedriges Tempo, mT-mittleres Tempo und hT-hohes Tempo) (N = 25).

mittellaute und laute Musik hört, bejahten 20 Teilnehmer. Vier Teilnehmer dagegen hören im eigenen Auto lauter Musik und ein Teilnehmer gab an, leiser Musik zu hören.

Um den Einfluss der eigenen Lautstärke-Hörgewohnheiten auf die Reaktionszeiten zu untersuchen, wurden die Probanden in zwei Gruppen geteilt; die eine Gruppe, welche die gleichen Lautstärken hört (N = 20) und die andere Gruppe, die andere Lautstärkepräferenzen hat (N = 5). Die vorherigen Varianzanalysen wurden dann erneut, mit der Gruppenvariable als Zwischensubjektfaktor, berechnet.

In Bezug auf die Lautstärkevariationen stellte sich der Zwischensubjektfaktor Lautstärke-Hörgewohnheiten als signifikant heraus;  $F(1, 23) = 10,25$ ,  $p = 0,004$ . Die Reaktionszeiten der Teilnehmer, deren Lautstärke-Gewohnheiten getroffen wurden, waren daher von den Reaktionszeiten der Teilnehmer, die andere Lautstärke-Gewohnheiten besaßen, signifikant unter-

schiedlich. Der Haupteffekt Lautstärkestufen wurde daraufhin signifikant;  $F(3, 69) = 3,042$ ,  $p = 0,035$ . Die Reaktionszeiten waren somit signifikant abhängig von den Lautstärkestufen, wenn der Zwischensubjektfaktor Lautstärke-Hörgewohnheiten einbezogen wird. Kontraste zeigen einen tendenziell signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollbedingung ohne Musik und der mittleren Lautstärkestufe;  $F(1, 23) = 4,03$ ,  $p = 0,057$ . Der Haupteffekt Reizposition blieb signifikant ( $p = 0,000$ ), der Interaktionseffekt blieb nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

Weiterhin wurde dieser Zwischensubjektfaktor Lautstärke-Hörgewohnheiten in der Varianzanalyse in Bezug auf die Tempovariationen einbezogen. Auch hier stellt sich der Zwischensubjektfaktor als signifikant heraus;  $F(1, 23) = 10,99$ ,  $p = 0,003$ . Zudem sind die Reaktionszeiten zwischen den Tempostufen signifikant unterschiedlich, wenn der Zwischensubjektfaktor mit einbezogen wird;  $F(3, 69) = 3,31$ ,  $p = 0,025$ . Der Haupteffekt Reizposition blieb signifikant ( $p = 0,000$ ), der Interaktionseffekt blieb nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).

Weiterhin wurde im Fragebogen gefragt, inwieweit die in der Studie verwendete Musik gefallen hat. 64 % (24 % Antwort ja/40 % Antwort eher ja) der Teilnehmer gaben an, dass ihnen die Musik gefallen hat, den restlichen 36 % (24 % Antwort eher nein/12% Antwort nein) hat sie eher nicht gefallen.

Um die Auswirkung des Gefallens der Musik auf die Reaktionszeit zu untersuchen, wurden die Probanden in zwei Gruppen (gefallen Antworten ja und eher ja; nicht gefallen Antworten nein und eher nein) aufgeteilt und als Zwischensubjektfaktor in die vorherigen Varianzanalysen einbezogen. Sowohl in Bezug auf die Tempovariationen als auch auf die Lautstärkevariationen wurde der Zwischensubjektfaktor nicht signifikant;  $F(1, 23) = 0,144$ ,  $p = 0,708$  und  $F(1, 23) = 0,197$ ,  $p = 0,661$ . Die Haupteffekte änderten sich in beiden Fällen nicht.

### 4.3.1.3 Diskussion

In dieser Studie 3 zur reaktionszeitbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation wurde der Einfluss der Musik auf die Aufmerksamkeitsverteilung des Fahrers im Fahrsimulator untersucht. Es stellte sich die Frage, inwieweit die visuelle Verengung von Lautstärke- und Tempovariationen abhängig ist. In Anlehnung an das Modell der visuellen Verengung dieser Arbeit wurde davon ausgegangen, dass eine mittlere Lautstärke und ein mittleres Tempo zu einer optimalen mittleren Aktivierung des Fahrers führen und die visuelle Verengung unter dieser Bedingung nicht vorhanden ist. Hingegen würde die visuelle Verengung auftreten, wenn eine hohe oder niedrige Lautstärke bzw. ein hohes oder niedriges Tempo vorliegen. Unter diesen Bedingungen wäre die Detektionsrate und Detektionszeit für peripher liegende Reize im Vergleich zur mittleren Aktivierung geringer (H4.1).

Um diesen Ansatz zu untersuchen, wurde eine Reaktionszeitaufgabe gewählt. 25 Probanden wurden sowohl im zentralen als auch im peripheren Blickbereich Zielreize in Form eines braunen Quadrates in der Simulationsumgebung während der Fahrt randomisiert präsentiert. Die Aufgabe bestand darin, so schnell wie möglich per Bremspedalbetätigung darauf zu reagieren. Diese Aufgabe wurde unter sechs verschiedenen Musikbedingungen absolviert. Die Lautstärkevariationen (niedrig, mittel, hoch) wurden unter einem mittleren Tempo präsentiert; eine Kontrollbedingung ohne Musik war ebenfalls vorgesehen.

#### A) Detektionsrate

In Bezug auf die Detektionsrate zeigen die Ergebnisse, dass der Fokus der Aufmerksamkeit während der Fahrt wie anzunehmen primär auf der Straße, also auf den zentralen Blickbereichen lag, da zentrale Reize kaum und periphere Reize bedeutsam nicht detektiert wurden. In Hinblick auf die Musikbedingungen wurden unter der niedrigen und mittleren Lautstärke- und Tempobedingung weniger und unter der hohen Bedingung sowie ohne

Musik mehr periphere Reize nicht detektiert. Wenn zentrale Reize nicht detektiert wurden, dann unter der mittleren Tempo- und Lautstärkebedingung. Diese Unterschiede spiegeln das Prinzip der visuellen Verengung nach der aufgestellten Hypothese H4.1 wider, auch wenn die Unterschiede statistisch nicht signifikant waren. Bei einer mittleren Lautstärke und einem mittleren Tempo war die Aufmerksamkeit über beide Blickbereiche ausgeglichen, so dass im Vergleich zu den anderen Bedingungen die peripheren Reize häufiger detektiert wurden. Durch den Ausgleich der Aufmerksamkeit wurden zudem eher auch zentrale Reize nicht detektiert, die in den anderen Bedingungen sonst mehr Aufmerksamkeit erhielten.

Die generell höhere Detektionsrate des Fahrers für zentrale Reize spiegelt sich auch in der bedeutsam schnelleren Bremsreaktionszeit für zentrale Reize wider, sowohl bei Lautstärke- als auch Tempovariationen.

### **B) Detektionszeit und Lautstärke**

In Hinblick auf die Lautstärkevariationen konnte zwar durch die Varianzanalyse kein signifikanter Haupteffekt nachgewiesen werden, dennoch zeigten die Kontrasteffekte, dass die Reaktionszeit unter der mittleren Lautstärke um ca. 50 ms tendenziell signifikant geringer war als unter der Kontrollbedingung ohne Musik. Nachdem der Zwischensubjektfaktor Lautstärke-Hörgewohnheiten in die Varianzanalyse einbezogen wurde, konnte auch ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor Lautstärke aufgezeigt werden. Das heißt, dass die Lautstärkevariation einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten hatte, wenn die individuelle Lautstärkehörgewohnheit berücksichtigt wird. Die Reaktionszeiten unter der mittleren Lautstärke (bei mittlerem Tempo) waren unter den vier Lautstärkebedingungen am geringsten. Dieser Effekt entspricht der Hypothese H4.1, so ist die Detektionszeit für die peripheren Reize bei einem mittleren Lautstärke- und Temponiveau am geringsten. Dies entspricht dem mittleren Aktivierungsniveau im Modell der visuellen Verengung, wodurch die visuelle Verengung minimal ist.

### **C) Detektionszeit und Tempo**

In Bezug auf das Tempo konnte die Hypothese H4.1 ebenfalls bestätigt werden. Das Tempo beeinflusste die Reaktionszeiten für die zentralen und peripheren Reize tendenziell signifikant, wobei insbesondere der Unterschied zwischen der Kontrollbedingung ohne Musik und der Bedingung mit mittlerer Lautstärke und Tempo (gleiche Datengrundlage) ins Gewicht fiel. Nachdem auch hier die Lautstärkegewohnheiten in die Analysen einbezogen wurden, konnte ein signifikanter Haupteffekt des Tempos gezeigt werden. Die Reaktionszeiten waren somit auch von den Tempovariationen abhängig, wobei die geringste Reaktionszeit unter der Bedingung der mittleren Lautstärke und mittlerem Tempo vorlag. Auch diese Ergebnisse unterstützen den angenommenen Einfluss der Musik auf die visuelle Verengung (H4.1).

Sowohl für die Tempo- als auch für die Lautstärkeanalysen gilt, dass die Probanden, die andere Lautstärken präferierten, sich in ihrer Reaktionszeit von denen, deren Lautstärkegewohnheiten der Studie entsprachen, unterschieden. Ob die Musik dabei den Teilnehmern gefiel oder nicht, hatte keinen Einfluss auf die Reaktionszeit.

Da aus der Nachbefragung hervorging, dass die von den Teilnehmern aufgestellten Hypothesen bezüglich des Musikeinflusses nicht denen der Studie 3 entsprachen, wird davon ausgegangen, dass die Reaktionszeiten der Teilnehmer keinem systematischen Einfluss seitens der Teilnehmer unterlagen.

Zusammenfassend hat diese Studie 3 zur reaktionszeitbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation gezeigt, dass die Musik eine aktivierende Wirkung auf den Fahrer in monotonen Situationen besitzt. Nach dem in dieser Arbeit aufgestellten Modell der visuellen Verengung wird davon ausgegangen, dass das mittlere Tempo und die mittlere Lautstärke der Musik den Fahrer auf der monotonen Strecke in einem optimalen mittleren Aktivierungszustand versetzen. Dadurch werden insbesondere periphere Reize besser wahrgenommen; eine visuelle Verengung liegt in diesem Zustand nicht vor. Die zu Beginn aufgestellte

Hypothese (H4.1) konnte somit in dieser Studie 3 bestätigt werden.

Methodisch zu kritisieren ist an dieser Studie 3 die Simulation der Zielreize, welche aus technischen Gründen gelegentlich an der zuletzt präsentierten Position kurz aufflackerten, bevor der neue Zielreiz präsentiert wurde. Dies könnte zu einem unerwünschten Priming der Teilnehmer und somit zu verzerrten Reaktionszeiten geführt haben. Unter Priming wird die Erleichterung einer Reaktion auf einen Zielreiz, aufgrund der vorherigen Präsentation eines Bahnungsreizes, verstanden (Müsseler & Prinz, 2002, S. 196). Jedoch trat das Aufflackern unabhängig von der Zielreizposition und der Bedingung auf, wodurch sich ein eventueller Primingeffekt über alle Reaktionszeiten wieder gemittelt haben könnte.

Die Methode der Reaktionszeiterfassung bewies sich als geeignet zur Untersuchung, wobei diese, wie schon in Kapitel 3.1.3 beschrieben, nicht praktikabel für den Einsatz in Serienfahrzeugen ist. Es sollten daher an dieser Stelle auch Blickregistrierungssysteme im Zusammenhang mit Musikuntersuchungen getestet werden.

In dieser Studie 3 wurden die Musikeigenschaften Lautstärke und Tempo untersucht. Weitere Musikvariablen, wie beispielsweise die Tonhöhe oder die Klangfarbe (Hesse, 2003) sollten in Hinblick auf die aktivierende Wirkung in Zusammenhang mit der visuellen Verengung zukünftig auch untersucht werden. Zudem wurden in dieser Studie 3 Instrumentalversionen von Pop-Songs getestet. Da dies nur einen sehr eingeschränkten Bereich an Musikgenres abdeckt, sollten auch andere Musikkategorien in ihrer aktivierenden bzw. deaktivierenden Wirkung in weiterführenden Arbeiten untersucht werden. Dazu zählt ebenfalls der Vergleich zwischen Musik mit und ohne Text.

Es hat sich gezeigt, dass individuelle Hörgewohnheiten, beispielsweise die Lautstärke, einen Einfluss auf die Reaktionszeiten haben. Es stellt sich daher die Frage, welche weiteren individuellen Eigenschaften das Modell der Aktivierung und visuellen Verengung beeinflussen. Das subjektive Gefallen der Musikstücke wurde in dieser Studie 3 erfasst, jedoch nicht pro

Musikstück, sondern allgemein. Diese und weitere Eigenschaften sollten daher in zukünftigen Studien ebenfalls näher untersucht werden.

Da das Tempo in der Varianzanalyse auch ohne Berücksichtigung der individuellen Lautstärkehörgewohnheiten in dieser Studie 3 einen nahezu signifikanten Haupteffekt bewies, soll diese Eigenschaft in einer weiteren Studie dieser Arbeit unter der Anwendung von Blickregistrierungsmethoden untersucht werden.

### 4.3.2 Empirische Studie 4: kopfbasierte Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariationen

In dieser Studie 4 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariationen wird die visuelle Verengung wiederholt unter Musikbedingungen untersucht, wobei hier der Fokus auf dem Tempo einfluss liegt, da dieser in der vorherigen Studie 3, auch ohne Kontrolle des Zwischensubjektfaktors, einen tendenziell signifikanten Haupteffekt unter Beweis stellte.

In dieser Studie 4 soll zudem der Aspekt der stimmungsregulierenden Wirkung der Musik auf die Aktivierung kontrolliert werden, um Tempoeffekte von stimmungsregulierenden Wirkungen auf die Aktivierung und somit auf die visuelle Verengung zu unterscheiden (Rösing, 1998; de Nora, 1999; Sloboda, O'Neill & Ivaldi, 2001; Wollenberg, 2007).

Desweiteren wird in dieser Studie 4 die kopfbasierte Blickregistrierungsmethode (Kapitel 3.1.3.1) eingesetzt, um nach der Definition der visuellen Verengung die erste Bedingung, den Anstieg der Dauer im geradeaus Blicken, zu untersuchen (Harbluk, Noy & Eizenmann, 2002).

Auch diesmal sollen äußere Einflüsse weitestgehend kontrolliert werden, die Studie 4 findet daher im Fahrsimulator statt.

Diese Studie 4 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariationen soll die folgende **Fragestellung** klären: Führt ein mittleres Musiktempo, im Vergleich zu keiner, langsamer oder schneller Musik, zu einem niedrigeren prozentualen Anteil der Blicke in den zentralen Blickfeldern?

Dazu wird die folgende **Hypothese** aufgestellt:

- **H4.2:** Der prozentuale Blickanteil auf die zentralen Blickfelder ist bei einem mittleren Tempo, im Vergleich zu den Bedingungen ohne Musik bzw. Musik niedrigen oder hohen Tempos, signifikant niedriger.



### 4.3.2.1 Methode

#### A) Stichprobe

Die Rekrutierung der Teilnehmer erfolgte gemäß der Vorgehensweise aus der Studie 3 zur reaktionszeitbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation, wobei die Altersbreite bei 19 bis 30 Jahren lag.

Es nahmen insgesamt 45 Probanden teil, wobei vier Teilnehmer aufgrund von Übelkeit den Versuch vorzeitig abbrechen mussten. Die verbliebenen 41 Teilnehmer (23 männlich, 18 weiblich) waren durchschnittlich 23,20 Jahre alt ( $SD = 2,43$  Jahre). Die Teilnehmer hatten im Mittel eine Fahrleistung von 8.707,31 km/Jahr ( $SD = 7.101,70$  km/Jahr) und besaßen ihren Führerschein seit durchschnittlich 66,43 Monaten, dies entspricht rund fünfeinhalb Jahren ( $SD = 25,67$  Monate).

Die Sehschärfe aller Versuchsteilnehmer war normal beziehungsweise auf normal korrigiert.

Die Probanden nahmen freiwillig an der Studie 4 teil, eine Vergütung gab es nicht. Studierende der Psychologie erhielten für ihre Teilnahme 1,5 Versuchspersonenstunden.

#### B) Geräte, Software und Materialien

##### B1) Fahrsimulator

Die Studie 4 fand in demselben statischen Fahrsimulator statt, der in den Studie 2 und 3 zum Einsatz kam (Kapitel 3.3.2.1). Auf eine weitere Beschreibung wird daher an dieser Stelle verzichtet.

##### B2) Simulation

Es wurde eine Landstraße mit 105 km Länge mithilfe der Simulationssoftware SILAB Version 3.0 beta 4 des Würzburger Instituts für Verkehrswissenschaften (WIVW GmbH) programmiert. Die Straße war zweistreifig (Gegenfahrbahn mit geringem Gegenverkehr) und insgesamt sieben Meter breit. Die Kurvenführung war weitläufig angelegt, so dass eine Verzerrung zwischen den definierten zentralen und peripheren Blickbereichen in en-

gen Kurven, wie in der empirischen Studie 2 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung, kontrolliert werden konnte (Land & Lee, 1994).

Die Landschaftssimulation entsprach der Simulation der Studie 2 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung (Kapitel 3.3.2.1).

### B3) Eye-Tracker Dikablis

Die Blickbewegungen wurden, wie in Studie 2 auch, mit dem kopfbasierten Eye-Tracker Dikablis V1.1 der Ergoneers GmbH aufgezeichnet (Kapitel 3.3.2.1, Abbildung 3.22).

Mit D-Lab (Ergoneers GmbH) wurden nach der Datenerfassung, mithilfe von Markern, dieselben neun AOI wie in der Studie 2 (Kapitel 3.3.2.1, Abbildung 3.23) definiert:

- zentral ( $2^\circ$ ) als zentrales AOI mit Blick des Fahrers auf den Fernpunkt der Straße bei gerader Straßenführung,
- zentral\_l1 ( $2^\circ$ ) und zentral\_r1 ( $2^\circ$ ) als zentrale AOI links und rechts von dem AOI zentral,
- zentral\_l2 ( $2^\circ$ ), zentral\_l3 ( $2^\circ$ ) und zentral\_r2 ( $2^\circ$ ), zentral\_r3 ( $2^\circ$ ) als äußere zentrale Bereiche und
- per\_l\_1 ( $> 10^\circ$ ) und per\_r\_1 ( $> 10^\circ$ ) als AOI in der Peripherie.

### B4) Musik

Zunächst wurden Musiktitel unterschiedlicher Tempokategorien ausgewählt, die durch eine zufriedene Grundstimmung charakterisiert waren. Dadurch sollte gewährleistet werden, dass die Musiktitel in der Hauptuntersuchung von anderen Stimmungen unabhängig sind:

In einer Vorauswahl wurden pro Tempokategorie (niedrig, mittel, hoch) zehn Instrumentalstücke ausgewählt, die zuvor mit einem bpm-Zähler (BPM Counter Widget 1.0.2) und einem elektronischen Metronom (Casio Digital-Piano AP-60R) kategorisiert worden sind. Musikstücke mit bis zu 70 bpm entsprachen einem niedrigen Tempo (nT), 85 bis 115 bpm entsprachen einem mittleren Tempo (mT) und über 130 bpm entsprachen hohen Tempi

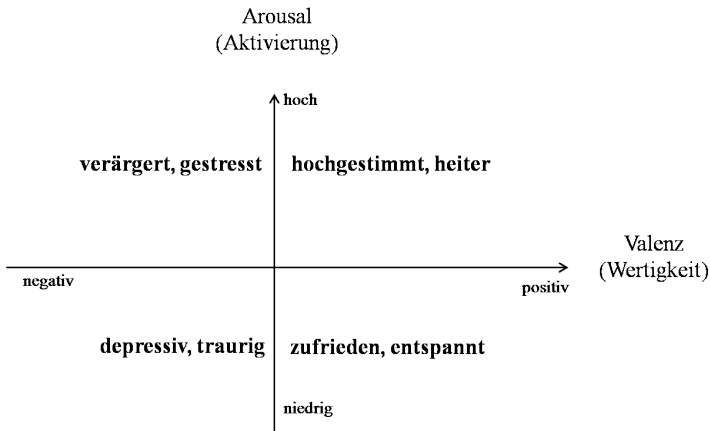


Abb. 4.7: Thayers zweidimensionales Stimmungsmodell (1989)

(hT) (Brodsky, 2002). Bei der Auswahl der Musik wurde auf eine relative Gleichartigkeit und Einfachheit der Melodik und Dynamik geachtet. Die Titel stammten zum größten Teil aus dem Genre der Tanzmusik für Standard- und Lateintänze.

Auf der Grundlage von Thayers zweidimensionalen Stimmungsmodell (1989) sollten die 30 Musikstücke den vier Stimmungen zufrieden, fröhlich, aggressiv und traurig zugeordnet werden. Thayer definiert eine Stimmung durch zwei Dimensionen: Wertigkeit (ob etwas positiv oder negativ ist) und Arousal (dem Aktivierungsniveau durch die Musik) (Abbildung 4.7).

22 Probanden (17 Frauen, 5 Männer) im Alter von 21 bis 28 Jahren (MW = 23,32 Jahren; SD = 2,10 Jahre) nahmen an der Vorauswahl der Lieder teil, aber nicht am Experiment im Fahrsimulator. Die 30 Musiktitel wurden in randomisierter Reihenfolge präsentiert. Nach jedem einzelnen Musikstück mussten die Probanden das Lied einer Stimmung zuordnen.

Für die Grundstimmung zufrieden sollten pro Tempokategorie drei Musik-

stücke ausgewählt werden, die von den meisten Probanden dieser Stimmung zugeordnet wurden. Aus der hohen Tempokategorie wurde kein Musikstück der Grundstimmung zufrieden zugeordnet. Dies begründet sich durch den positiven Zusammenhang zwischen der bpm-Zahl und der erlebten Aktivierung (Thayer, 1989; Hesse, 2003). Das heißt je höher das Tempo, desto eher wird es einer hohen Aktivierungsdimension zugeordnet und fällt somit nicht in die Kategorie zufrieden.

Um dennoch die hohe Tempokategorie zu testen, wurde die Dimension der positiven Wertigkeit vereinheitlicht. Das heißt, für die hohe Tempokategorie wurden die drei Musiktitel ausgewählt, die am häufigsten der Kategorie fröhlich zugeordnet wurden. Die finale Auswahl der neun Musikstücke für die Hauptstudie ist in Tabelle 4.2 dargestellt.

<b>Tempo</b>	<b>Titel</b>	<b>Interpret</b>	<b>bpm</b>
niedrig (nT)	After Rain	Thors	70
	Eternity	Thors	60
	Mein Traumland	Thors	60
mittel (mT)	Clear like Ice	Vanessa Mae	85
	El choclo	Enrique Ugarte	103
	Riverboat Blues	Dirk Schweppe	87
hoch (hT)	8-Ball Boogie	Thomas Pfann	163
	Rhythm Woogie	Jürg Bärtschi	197
	Noche De Primavera	Malando and his Orchestra	130

Tab. 4.2: Musiktitel und deren Tempokategorie der Hauptstudie der Studie 4

### C) Ablauf

Zu Beginn des Versuches erhielten die Probanden eine schriftliche Instruktion, die sie über den Versuchsablauf, ihre Aufgabe während der Fahrt und die Verarbeitung der Daten informierte; der Hinweis auf die Fahr Simulatorübelkeit war ebenfalls enthalten (Anhang O).

Danach füllten die Teilnehmer einen Fragebogen mit demographischen Fragen zu ihrer Person und ihrer Fahrleistung aus (Anhang P).

Im Anschluss wies der Versuchsleiter den Probanden in den Fahr Simulator ein, woraufhin der Teilnehmer dann Platz nahm, den Sitz einstellte und sich

anschnallte. Das Dikablis Blickregistrierungsgerät wurde den Probanden aufgesetzt und kalibriert.

Bevor die Testfahrt begann, hatten die Teilnehmer zehn Minuten Zeit, sich an den Fahrsimulator zu gewöhnen. Sie fuhren dazu eine simulierte Landstraße ab, die nicht der Route entsprach, aber die gleichen Merkmale besaß. Dabei wurde keine Musik gespielt.

Während der Einfahrzeit und der Testfahrt war es die Aufgabe der Probanden, die simulierte Strecke bei durchgehend 100 km/h zu fahren. Die Testfahrt dauerte rund 40 Minuten. Während der Testfahrt wurden den Probanden alle neun Musikstücke und drei Kontrolldurchläufe ohne Musik in randomisierter Reihenfolge für jeweils 3 min präsentiert. Der Titelwechsel, der manuell vom Versuchsleiter durchgeführt wurde, dauerte 10 s.

Die einzelnen Lieder wurden immer in einer mittleren Lautstärke von 70 dB (Turner et al., 1996) wiedergegeben, wobei die einzelnen Lautstärkeinstellungen für jeden Musiktitel im Vorfeld mit einem Dezibel-Messgerät (Brüel & Kjaer Typ 2233) im Fahrsimulator bei Fahrt ermittelt wurden.

Die Fahrt war beendet, wenn der Versuchsleiter den Probanden darüber informierte und dieser daraufhin anhielt.

Am Ende mussten die Teilnehmer noch einen letzten Fragebogen ausfüllen, der wie in der Studie 3 zur reaktionszeitbasierte Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation die subjektive Meinung über den Einfluss des Tempos auf das Fahr- und Blickverhalten, Auffälligkeiten im Experiment und das Gefallen der Musik abfragte (Anhang Q).

#### **D) Statistische Analyse**

Für die statistische Analyse wurde auch in dieser Studie SPSS Version 19 der Firma IBM und Microsoft Excel Version 2009 genutzt.

Das Experimentaldesign enthält den Faktor Tempobedingung (UV1 mit vier Stufen) und den Faktor AOI (UV2 mit neun Stufen); somit resultiert ein 4 x 9 faktorielles Messwiederholungsdesign. Als abhängige Variable

wird die Blickverteilung auf die einzelnen AOI durch das D-Lab System gemessen.

Neben den deskriptiven Analysen (Mittelwert, Standardabweichung, Häufigkeiten) werden ebenfalls inferenzstatistische Analysen (ANOVA) im Ergebnisteil herangezogen (Bortz, 2005). Dabei werden die Testvoraussetzungen geprüft und ggf. Korrekturen vorgenommen.

Das Signifikanzniveau wird auf  $p < 0,05$  festgesetzt. Zur Kontrolle der Alphafehler-Kumulierung wurde die Bonferroni-Korrektur gewählt.

#### 4.3.2.2 Ergebnisse

##### A) Prozentuale Blickverteilung

Im Folgenden werden die Blickdaten hinsichtlich des prozentualen Anteils der Blicke auf die zentralen und peripheren AOI gemäß der H4.2 analysiert.

Von den 41 Teilnehmern konnten die Blickdaten von 13 Teilnehmern, aufgrund von Fehlern in der Auswertesoftware D-Lab, nicht ausgewertet werden. Die folgende Varianzanalyse beruht daher auf einer Gesamtstichprobe von 28 Teilnehmern.

Mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests wurde der Datensatz der prozentualen Blickzuwendungen auf Normalverteilung geprüft. Der Test wurde für alle Datensätze pro Bedingung und AOI nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Es kann daher von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden.

Es wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung ( $N = 28$ ) auf Basis der Faktoren Tempobedingung (K, nT, mT, hT) und AOI (per\_l\_1, zentral\_l3, zentral\_l2, zentral\_l1, zentral, zentral\_r1, zentral\_r2, zentral\_r3, per\_r\_1) berechnet. Der Mauchly-Test beider Faktoren wurde signifikant, es ist daher von einer Varianzungleichheit auszugehen, so dass im Folgenden die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Ergebnisse der ANOVA betrachtet werden.

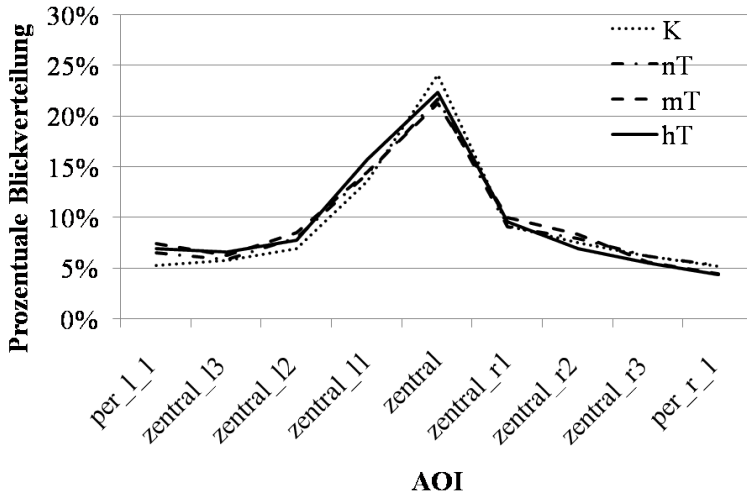


Abb. 4.8: Prozentualer Anteil der Blicke unter den einzelnen Tempobedingungen (K, nT, mT, hT) und pro AOI (N =28) Studie 4.

Der Haupteffekt der Tempobedingung wurde nicht signifikant;  $F(2,2,59,5) = 0,78, p = 0,47$ . Auch einzelne Kontraste wurden nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Somit sind die prozentualen Anteile der Blicke zwischen den Tempobedingungen nicht verschieden. Einen signifikanten Haupteffekt zeigte der Faktor AOI, so dass die prozentuale Blickverteilung signifikant von den AOI abhängig war;  $F(2,66,71,98) = 41,99, p = 0,000$ . Der Interaktionseffekt wurde nicht signifikant;  $F(8,84,238,79) = 1,15, p = 0,327$ . In Abbildung 4.8 ist die prozentuale Blickverteilung für die einzelnen Tempobedingungen veranschaulicht.

## **B) Mittlere Blickdauer**

Da im vorherigen Analyseschritt auf Grundlage der prozentualen Blickverteilung keine bedeutsamen Ergebnisse vorlagen, wurde an dieser Stelle ein weiterer Aspekt des Blickverhaltens, die mittlere Blickdauer auf ein AOI in Sekunden, explorativ untersucht.

Von den 41 Teilnehmern konnten die Blickdaten von 15 Teilnehmern nicht ausgewertet werden. Die folgenden Varianzanalysen beruhen daher auf einer Gesamtstichprobe von 26 Teilnehmern.

Die Kolmogorov-Smirnov-Tests wurden nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Es kann daher wiederum von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen werden.

Es wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung auf Basis der Faktoren Tempobedingung (K, nT, mT, hT) und AOI (per\_1\_1, zentral\_13, zentral\_12, zentral\_11, zentral, zentral\_r1, zentral\_r2, zentral\_r3, per\_r\_1) berechnet. Der Mauchly-Test für den Faktor Tempobedingung wurde nicht signifikant, es ist daher von einer Varianzgleichheit auszugehen. Der Mauchly-Test für den Faktor AOI wurde hingegen signifikant; es werden demnach die nach Greenhouse-Geisser korrigierten Ergebnisse der ANOVA für diesen Faktor betrachtet.

Der Haupteffekt der Tempobedingung wurde signifikant;  $F(3, 75) = 4,98$ ,  $p = 0,003$ . Somit hatten die Tempobedingungen einen signifikanten Einfluss auf die mittlere Blickdauer pro AOI. Einzelne Kontrastberechnungen wurden nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Paarweise Vergleiche auf Grundlage der Bonferroni-Korrektur zeigten signifikante Unterschiede in der mittleren Blickdauer zwischen der Tempobedingung nT ( $M = 0,166$  s,  $SD = 0,007$  s) und den zwei Bedingungen mT ( $M = 0,188$  s,  $SD = 0,008$  s;  $p = 0,022$ ) und hT ( $M = 0,181$  s,  $SD = 0,007$  s;  $p = 0,015$ ).

Auch der Faktor AOI zeigte einen signifikanten Haupteffekt auf, so dass die mittlere Blickdauer signifikant von den zentralen und peripheren AOI abhängig war;  $F(3,15, 78,89) = 13,7$ ,  $p = 0,000$ .



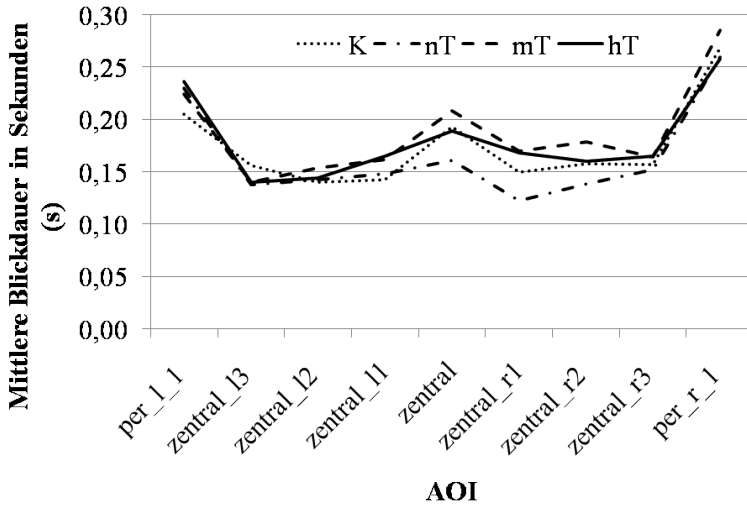


Abb. 4.9: Mittlere Blickdauer pro AOI unter den einzelnen Tempobedingungen (K, nT, mT, hT) (N =26) Studie 4.

Der Interaktionseffekt wurde nicht signifikant;  $F(8, 4, 210,21) = 1,19, p = 0,299$ .

In Abbildung 4.9 ist die mittlere Blickdauer pro AOI für die einzelnen Tempobedingungen veranschaulicht.

### C) Postfragebogen

Im Postfragebogen wurde gefragt, inwieweit die in der Studie 4 verwendete Musik gefallen hat (Anhang Q). 60,5 % der Teilnehmer hat die Musik gefallen (Antwortkategorie ja und eher ja), den restlichen Teilnehmern (39,4 %) hat sie eher nicht gefallen (Antwortkategorie eher nein und nein).

Auf dieser Grundlage wurden, wie in der Studie 3 auch, die vorherigen Varianzanalysen zur prozentualen Blickverteilung und mittleren Blickdauer mit dem Zwischensubjektfaktor Musikgefallen erneut berechnet. Der

Zwischensubjektfaktor Musikgefallen ist sowohl in der Analyse zur prozentualen Blickverteilung [ $F(1, 26) = 0,04, p = 0,840$ ] als auch in der Analyse zur mittleren Blickdauer [ $F(1, 24) = 0,101, p = 0,753$ ] nicht signifikant. Die Faktoren der Tempobedingung und AOI zeigten die gleichen (Nicht-)Signifikanzen wie in den Analysen zuvor.

Zudem wurde im Postfragebogen nach der subjektiven Meinung des Tempoeinflusses auf das Fahrverhalten gefragt (Mehrfachantworten erlaubt). Sieben von 41 Teilnehmern vermuteten keinen Zusammenhang (17,07 %). 20 Teilnehmer (48,78 %) gaben einen positiven Zusammenhang zwischen dem Tempo der Musik und der gefahrenen Geschwindigkeit an, dass man bei hohem Tempo auch schneller fährt. Zwölf Probanden (29,26 %) gaben an, dass sie bei langsamer Musik müde und unaufmerksam werden würden.

Die zweite Frage zielte direkt auf den Einfluss des Musiktempos auf das Blickverhalten. 17 Teilnehmer (41,46 %) vermuteten keinen Zusammenhang, 17 weitere Teilnehmer (41,46 %) deuteten auf eine erhöhte Aufmerksamkeit bei langsamer Musik, hingegen fünf der Probanden (12,19 %) bei schneller Musik. Zwei Teilnehmerantworten konnten nicht ausgewertet werden.

Keiner der Teilnehmer hatte eine Vermutung über die Hypothese der Studie 4, wodurch von keinem systematischen Einfluss auf das Blickverhalten ausgegangen werden kann.

### 4.3.2.3 Diskussion

Das Ziel der Studie 4 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariation dieser Arbeit war es, den Einfluss des Tempos auf die visuelle Verengung des Fahrers zu untersuchen. Insbesondere die Fragestellung nach dem Anstieg der Dauer im geradeaus Blicken auf zentrale Blickfeldareale (Harbluk, Noy & Eizenmann, 2002) sollte mithilfe eines Eye-Trackers methodisch untersucht werden.

Nach der H4.2 wurde unter monotonen Bedingungen untersucht, ob der prozentuale Anteil der Blicke auf die zentralen visuellen Felder unter einem

mittleren Tempo niedriger ist als bei Fehlen bzw. Vorhandensein von Musik mit einem niedrigen oder sehr hohen Tempo.

Die Untersuchung fand im Fahrsimulator statt; die simulierte Strecke bildete eine monotone Landstraßenfahrt ab. Insgesamt haben 41 Teilnehmer (studentische Stichprobe) das Experiment vollständig absolviert. Die Aufgabe bestand darin, das Fahrzeug in der Simulation zu führen. Während der Fahrt wurden den Probanden Musikstücke präsentiert, die im Tempo variierten (niedrig, mittel, hoch); die Fahrten ohne Musik waren ebenfalls Bestandteil der Untersuchung. Die Musik zeichnete sich zudem durch eine positive Wertigkeit in der Stimmungscharakterisierung aus und beinhaltete nur Instrumentalstücke ohne Gesang.

### **A) Prozentuale Blickverteilung**

Zunächst wurden die Blickdaten hinsichtlich des prozentualen Anteils der Blicke pro AOI in Abhängigkeit der Tempobedingungen analysiert. Es zeigte sich, dass das Tempo keinen signifikanten Einfluss auf den prozentualen Anteil der Blicke auf die zentralen und peripheren AOI hatte. Der prozentuale Anteil der Blickverteilung war daher zwischen den Tempobedingungen gleich.

Die Tatsache, ob die Musik den Probanden gefallen oder nicht gefallen hat, wirkte sich nicht auf die Blickverteilung oder den Einfluss des Tempos aus.

Die Hypothese H4.2, dass die mittlere Tempobedingung im Vergleich zu den anderen Bedingungen zu einem niedrigeren prozentualen Anteil der Blicke auf die zentralen AOI führt, kann somit in dieser Studie 4 nicht bestätigt werden.

### **B) Mittlere Blickdauer**

Eine weiterführende explorative Untersuchung der Blickdaten erwies sich allerdings als interessant. Für die mittlere Blickdauer pro AOI zeigte sich ein signifikanter Einfluss des Tempos. Die mittlere Blickdauer der mittleren und hohen Tempobedingung war durchschnittlich um 20 ms länger als die der

niedrigen Tempobedingung. Da der größte Anteil der Blicke in den zentralen AOI liegt und dies über alle Tempobedingungen gleich ist, spiegelt dieser Befund für das mittlere und hohe Musiktempo eine geringere Anzahl an Fixationen wider, die dafür aber länger andauerten. Im Gegensatz dazu fand für das niedrige Musiktempo eine häufigere, aber dafür kürzere Fixierung der zentralen Bereiche statt.

Nach Kenntnissen des Autors liegen zu diesem Ergebnis bislang noch keine Studien vor. Recarte und Nunes (2000) konnten aber zeigen, dass die Dauer der Fixationen umso länger war, je komplexer die Situationen wurden. Lavallière und Kollegen (2006) konnten ebenfalls demonstrieren, dass die Häufigkeit an Fixationen abnimmt, je komplexer die Situationen werden. Solch eine längere, aber dafür weniger häufige Fixierung mit Zunahme der Komplexität kann mit den Ergebnissen der Musik mittleren und hohen Tempos verglichen werden. Die Zugabe von Musik mittleren und hohen Tempos scheint daher die Aktivierung zu fördern, im Sinne einer komplexeren Situation, wohingegen ein niedriges Musiktempo die ohnehin schon geringe Komplexität der monotonen Landstraßenfahrt noch weiter senken dürfte.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass eine visuelle Verengung bzw. deren Regulierung in dieser Studie 4 durch Tempovariationen der Musik nicht nachgewiesen werden konnte. Es zeigte sich aber ein Zusammenhang zwischen der Tempovariation und der mittleren Blickdauer. Ein niedrigeres Musiktempo führte zu einer längeren Blickdauer im Vergleich zur mittleren und hohen Tempobedingung, wobei die prozentualen Anteile zwischen den Tempobedingungen nicht unterschiedlich waren. Im Vergleich zu anderen Studien lässt sich daraus auf eine aktivierende Wirkung der mittleren und hohen Tempobedingung schließen, die aber nicht zu einer Regulierung der Blickverteilung führte.

Das Ausbleiben eines Regulierungseffektes könnte durch die methodische Herangehensweise erklärt werden, die an dieser Stelle noch einmal kritisch betrachtet werden soll:

Eventuell war die Präsentationsdauer einer Bedingung zu kurz, um eine ausreichende Aktivierung hervorzurufen. Da die Titel alle in randomisierter Reihenfolge präsentiert wurden, dauerte eine Bedingung lediglich drei Minuten an. Da die Teilnehmer während der Fahrt keine weitere Nebenaufgabe zu absolvieren hatten, war die Fahrt sehr monoton und ermüdend, wie auch einige Teilnehmer dem Versuchsleiter nach der Fahrt berichteten. Um somit dieser sehr niedrigen Aktivierung entgegen zu wirken, bedurfte es eventuell einer länger andauernden Präsentation von Musik mittleren oder hohen Tempos.

Wie sich in der Studie 3 zur reaktionszeitbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation zeigte, hatten die individuellen Lautstärkehörgewohnheiten einen Einfluss auf die Blickverteilung. In dieser Studie 4 wurde hingegen nicht abgefragt, ob die Lautstärke von 70 dB der optimalen favorisierten Lautstärke entsprach. Somit konnte hier kein Effekt berechnet werden.

Auf der Grundlage dieser Kritik sollte daher in zukünftigen Studien die einzelnen Tempobedingungen als Block über eine längere Zeit abgespielt, aber dennoch pro Teilnehmer in einer randomisierten Reihenfolge präsentiert werden. Zudem sollte jeder Teilnehmer vor oder während der Fahrt seine optimale Lautstärke der Musik bestimmen können, wie es Dey und Kollegen (2009) in ihrer Studie umgesetzt haben.

#### 4.4 Diskussion zur Regulation visueller Verengung durch Musik

Das Kapitels 4 dieser Arbeit untersuchte den Zusammenhang zwischen der visuellen Verengung und der Musik (H4) und stellte die Frage nach der regulierenden Wirkung der Musik auf die visuelle Verengung.

Dass die Musik in den Fokus dieser Arbeit tritt, ist nicht verwunderlich, da bis zu 98 % der Fahrer während der Fahrt Musik hören (Dibben & Williamson, 2007; Barby et al., 2013a). Durch Musik werden die Fahrer unterhalten, können sich entspannen oder regulieren ihre Stimmung (Rösing, 1998; de Nora, 1999; Sloboda, O'Neill & Ivaldi, 2001; Wollenberg, 2007).

Ein weiterer Effekt besteht in der aktivierenden oder deaktivierenden Wirkung durch Musik, welche in verschiedenen Studien auf physiologischer, subjektiver und leistungsbezogener Ebene festgestellt wurde. Insbesondere die Lautstärke und das Tempo konnten in ihrer Aktivierungswirkung belegt werden (u. a. Kämpfe, 2011; Barby et al., 2013b).

In sehr monotonen Situationen ist die Aktivierung herabgesetzt, durch aktivierende Musik kann diese (kurzfristig) gesteigert werden. In sehr komplexen Situationen ist die Aktivierung auf einem hohen Niveau. Wenn dazu eine sehr aktivierende Musik (beispielsweise sehr laute und schnelle Musik) gespielt wird, kann das Aktivierungsniveau zusätzlich ansteigen. Die Wahl einer leiseren und langsameren oder gar keiner Musik würde das Aktivierungsniveau hingegen senken (u. a. Dibben & Williamson, 2007; Cassidy & McDonald, 2009; Barby et al., 2013a).

Ziel ist es, in jeder Situation ein mittleres optimales Aktivierungsniveau zu haben, da dann auch die Fahrleistung am höchsten ist (Gembris, 2005).

Da Musik eine aktivierende Wirkung besitzt und Aktivierung die visuelle Verengung beeinflusst, wird in dieser Arbeit die Schlussfolgerung gezogen, dass die Musik indirekt auch die visuelle Verengung beeinflusst.

Bislang gibt es keine Studien, die diesen Zusammenhang unmittelbar erforscht haben. Es war daher das Ziel des zweiten empirischen Teils dieser Arbeit, den Zusammenhang zu untersuchen. Als musikalische Variablen

wurden die Lautstärke und das Tempo gewählt, da diese bislang am besten in ihrer aktivierenden Wirkung untersucht sind.

Es stellte sich die Frage, ob die Musik und die visuelle Verengung in Abhängigkeit von der Situation in einem u-förmigen Zusammenhang zueinander stehen. Das heißt, dass sowohl in einer Situation mit sehr niedrig aktivierender Musik (langsam, leise) als auch in einer Situation mit sehr hoch aktivierender Musik (schnell, laut) eher eine visuelle Verengung vorliegt, als bei einer mittel aktivierenden Musik (mittleres Tempo, mittlere Lautstärke). Je nach Situation (monoton, ausgewogen, komplex) könnten sich die aktivierenden Effekte der Musik und der Situation summieren oder ausgleichen. Auf diese Weise könnte der Fahrzustand der visuellen Verengung reguliert werden.

Dieser Zusammenhang wurde in zwei Studien untersucht, die unterschiedliche methodische Ansätze verfolgten, um der Definition der visuellen Verengung nach Harbluk, Noy und Eizenmann (2002) gerecht zu werden.

Die Studie 3 zur reaktionszeitbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation (Kapitel 3.3.1) diente der Detektionsfähigkeit zentraler und peripherer Reize, indem die Studienteilnehmer während der Fahrt in einem Fahrsimulator eine Reaktionszeitaufgabe absolvierten. Dazu mussten die Fahrer auf zentral oder peripher präsentierte visuelle Reize so schnell wie möglich reagieren. Während der Fahrt auf der simulierten monotonen Landstraße wurden das Tempo und die Lautstärke der präsentierten Musik variiert.

In der Studie 4 zur kopfbasierte Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariation (Kapitel 4.3.1) wurde die Methode der Blickregistrierung eingesetzt, wodurch die Blickdauer auf zentrale und periphere Blickfeldareale gemessen werden konnte. Hierbei fuhren die Probanden ebenfalls im Fahrsimulator eine monotone Landstraße ab, wobei die Musik nur im Tempo variiert wurde. Eine weitere Aufgabe war nicht vorhanden.

Aus der Studie 3 ging hervor, dass sowohl die Lautstärke, als auch das Tempo einen Einfluss auf die Reaktionszeit haben. Bei einer mittleren Laut-

stärke und einem mittleren Tempo war die Reaktionszeit für die zentralen als auch für die peripheren Reize am schnellsten. Dabei zeigte sich, dass die Lautstärke-Hörgewohnheiten, das heißt, die individuellen Vorlieben für leise, mittlere und laute Musik, den Effekt positiv beeinflussten.

Die visuelle Verengung war somit unter der mittleren Lautstärkebedingung am geringsten ausgeprägt, da die Detektion peripherer Reize unter dieser Bedingung am schnellsten war. Die Hypothese konnte somit bestätigt werden.

Aus der Studie 4 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariation ging hingegen kein Einfluss des Tempos auf die Blickverteilung hervor. Hingegen resultierte ein Effekt auf die mittlere Blickdauer, welche unter Zugabe von mittlerschneller und schneller Musik höher war als bei einem langsamen Tempo.

Beiden Studien war gemeinsam, dass sich die individuellen Vorlieben für die Musik nicht auf die Reaktionszeit oder Blickverteilung auswirkten. Da sich in der Studie 4 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariation keine bedeutsamen Effekte zeigten und die Hypothesen nicht bestätigt werden konnten, soll an dieser Stelle ein methodischer Vergleich beider Studien angeführt werden.

Gemeinsamkeiten zwischen beiden Studien bestanden in der simulierten monotonen Landstraßenfahrt, in den Tempovariationen (langsam, mittel, schnell) unter 70 dB Lautstärke, in dem Altersrange der Stichprobe und der Dauer der Fahrt.

Die Studie 3 zur reaktionszeitbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation war jedoch durch die zusätzliche Nebenaufgabe nicht so monoton wie die Studie 4 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariation, in der die Teilnehmer lediglich die monotone Strecke abfuhren. Folglich war das Aktivierungsniveau der Teilnehmer in der Studie 3 zur reaktionszeitbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation vermutlich auf einem höheren Niveau, da die Teilneh-



mer in einer ständigen Leistungsbereitschaft standen, um auf den Zielreiz schnellstmöglich zu reagieren. Dies wird wie in Kapitel 3.1.2.1 durch die tonische Aktivierung im Sinne der Vigilanz beschrieben (Borgaes, 2007; Arolt, 2004). Das Aktivierungsniveau der Teilnehmer aus der Studie 4 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariation war dagegen wahrscheinlich niedriger, da sie sich nur auf die Längs- und Querführung des simulierten Fahrzeuges konzentrieren mussten.

Man kann daher schlussfolgern, dass in der Studie 4 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariation ein Lied von drei Minuten mit dem gleichen mittleren oder schnellen Tempo, wie in der Studie 3 zur reaktionszeitbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation, nicht genug ist, um eine ausreichende Aktivierungsänderung zu bewirken, welche die Blickverteilung, im Sinne einer Regulierung der visuellen Verengung, beeinflusst. Es bleibt daher offen, ob eine länger andauernde Präsentation eines mittleren oder schnellen Tempos eine größere Aktivierungsänderung bewirkt und somit die Blickverteilung im Sinne der visuellen Verengung reguliert hätte.

In Bezug auf den angenommenen Zusammenhang zwischen dem Grad der Lautstärke bzw. des Tempos und der visuellen Verengung (Abbildung 4.1) lässt sich zusammenfassend sagen, dass die Musik einen indirekten Einfluss auf die visuelle Verengung besitzt, wie in der Studie 3 zur reaktionszeitbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation gezeigt werden konnte. So zeigen eine mittlere Lautstärke und ein mittleres Tempo eine positive Wirkung in Bezug auf die Detektion peripherer Zielreize. Eine visuelle Verengung ist in diesen Situationen kaum gegeben.

In Anbetracht der Studie 4 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariation bleiben aber dennoch Fragen offen, inwieweit das Ergebnis verallgemeinert werden kann. Zukünftige Arbeiten sollten daher die Lautstärke- und Tempoeffekte unter verschiedenen Aktivierungsvoraussetzungen, die durch die Situation an sich gegeben sind,

analysieren. Zudem sollten neben der Lautstärke und dem Tempo weitere Musikeigenschaften in ihrer Wirkung auf die Aktivierung und infolgedessen auf die visuelle Verengung getestet werden. Auch eine Untersuchung der Musikeffekte im Realverkehr wäre sinnvoll.



## 5 Gesamtdiskussion

Ziel der gesamten Arbeit war es, den Fahrerzustand der visuellen Verengung in Abhängigkeit von der Aktivierung des Fahrers zu definieren sowie Ansätze zur Detektion und Regulation dieses kurzfristig veränderlichen Fahrerzustandes zu untersuchen.

Zunächst fokussierte die Arbeit auf die Fragestellung nach dem u-förmigen Zusammenhang zwischen dem Aktivierungsgrad des Fahrers und der visuellen Verengung (Kapitel 3). In dem Sinne wurde untersucht, ob die visuelle Verengung bei optimaler mittlerer Aktivierung, im Vergleich zu einer Unter- bzw. Überaktivierung, am geringsten ausgeprägt ist. Neben dieser psychologischen Fragestellung stand die technische Frage nach der methodischen Umsetzung der Detektion dieses visuellen Fahrerzustandes.

Danach knüpfte die Arbeit an dem Zusammenhang zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung an und bezog die aktivierende Wirkung der Musik beim Fahren ein (Kapitel 4). Laute und schnelle Musik steigert die Aktivierung eines Fahrers, hingegen kann die Aktivierung durch die Reduzierung der Lautstärke und des Tempos gesenkt werden. Auf dieser Grundlage wurde geprüft, wie die Musik indirekt die visuelle Verengung reguliert und der gleiche u-förmige Zusammenhang, der im Kapitel 3 zur Detektion aktivierungsabhängiger visueller Verengung aufgestellt wurde, besteht. Es wurde daher die Hypothese aufgestellt, dass Musik mit einer geringen oder hohen Lautstärke bzw. Tempo im Vergleich zu einer mittleren Lautstärke bzw. Tempo zu einer visuellen Verengung führt.

Sowohl Kapitel 3 als auch Kapitel 4 basieren auf empirischen Datenerhebungen mittels Probandenstudien, die sowohl im Realverkehr (Studie 1), als auch in einem Fahrsimulator (Studien 2, 3 und 4) stattfanden. Um den Aktivierungszusammenhang zur visuellen Verengung zu untersuchen, wurden in Studie 1 subjektive, physiologische und leistungsbezogene Aktivierungsdaten erhoben.

Auf methodischer Seite wurden verschiedene Techniken zur Detektion der visuellen Verengung, angefangen bei einem berührungslosen Blickregistrierungssystem (Studie 1), über ein kopfbasiertes System (Studien 2 und 4), bis zu einer Reaktionszeitaufgabe (Studie 3) genutzt. In Bezug zur Musik wurden die Variablen Lautstärke und Tempo in ihrer regulierenden Wirkung auf die visuelle Verengung untersucht.

Auf der Grundlage der empirischen Ergebnisse konnte ein u-förmiger Zusammenhang zwischen der Aktivierung und der visuellen Verengung bestätigt werden. Es zeigte sich, dass bei einer mittleren Aktivierung, sei es durch die Verkehrssituation, durch Rechenaufgaben oder durch mittellaut und mittelschnelle Musik hervorgerufen, die visuelle Verengung im Vergleich zu den anderen Bedingungen am geringsten ausgeprägt war. Die Methode der berührungslosen Blickregistrierung konnte, beschränkt auf geraden Strecken, erfolgreich eingesetzt werden.

Dieser Zusammenhang war jedoch nicht immer vorhanden (Empirische Studie 4: kopfbasierte Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Tempovariation) und in jeder Situation gleichermaßen ausgeprägt (Empirische Studie 1: berührungslose Detektion visueller Verengung). Es stellt sich daher die Frage, welche weiteren Faktoren auf die visuelle Verengung einwirken. Folgeuntersuchungen sollten daher an dieser Arbeit anschließen, um Situationen und individuelle Umstände zu analysieren, auf welche die Effekte verallgemeinerbar sind.

Das in dieser Arbeit genutzte eindimensionale Kontinuum der Aktiviertheit wurde zudem von Fahrenberg (1983) sowie von Pribram und McGuinness (1975) kritisiert, die eine Mehrdimensionalität des Konstrukts der Aktivierung annehmen (Manzey, 1998). Die Untersuchung der visuellen Verengung auf Basis eines mehrdimensionalen Konstrukts der Aktivierung stellt daher ebenfalls eine Möglichkeit für Folgeuntersuchungen dar.

In dieser Arbeit wurde der Zustand der visuellen Verengung auf den Kraftfahrzeugführer fokussiert. Die Auslegung auf verwandte verkehrspsychologische Disziplinen, wie dem Schienen- und Luftverkehr, sollte ebenfalls in

weiterführenden Arbeiten untersucht werden.

Anhand der Erkenntnisse dieser Arbeit soll im Kapitel 6 eine Empfehlung gegeben werden, wie die Detektion und Regulierung visueller Verengung in einem Serienfahrzeug Anwendung finden könnte.



## 6 Gestaltungsempfehlungen

In Anlehnung an den Untersuchungsgegenstand aus Abbildung 3.8 (Kapitel 3.2) sollen in diesem letzten Kapitel der Arbeit praktische Handlungsempfehlungen zur Gestaltung eines FAS gegeben werden, das den kurzfristig veränderlichen Fahrerzustand der visuellen Verengung detektiert, um weitere FAS rechtzeitig zu parametrieren, die visuelle Verengung zu regulieren und/oder den Fahrer zu informieren bzw. zu warnen. Diese vier Aspekte werden im Folgenden nacheinander betrachtet.

### **I. Detektion:**

In dieser Arbeit wurde die berührungslose Blickregistrierungsmethode zur Detektion der visuellen Verengung eingesetzt. Es zeigte sich, dass die visuelle Verengung am besten in Situationen mit gerader Streckenführung detektiert werden kann. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, solch ein Sensorsystem mit den Daten eines GPS zu kombinieren. Dadurch werden nur Blickdaten in geraden Streckenverläufen in Hinblick auf die visuelle Verengung analysiert, wodurch die Detektionsgüte verbessert wird. Auf diese Weise reduziert sich zudem der Kameraeinsatz, welche lediglich im Cockpit verbaut sein müssen.

Neben den Streckenmerkmalsdaten vom GPS können weitere Informationen zur Messung der aktuellen Unter- bzw. Überaktivierung und somit der visuellen Verengung genutzt werden. Dazu zählen Informationen wie die aktuelle Verkehrsdichte, das Fahrverhalten (beispielsweise Quer- und Längsbeschleunigung), die Wetter- und Straßenverhältnisse oder aktuelle Nebentätigkeiten (beispielsweise ein Gespräch mit dem Mitfahrer), die durch fahrzeugeigene Sensoren erfasst werden können (Reif, 2010).

Zudem kann ein Algorithmus zur Ablenkungsdetektion integriert werden, um die Vorhersage der visuellen Verengung weiterhin auf geraden Streckenverläufen zu optimieren (Papendick et al., 2012).



## **II. Parametrierung:**

Wenn bei einem Fahrer die visuelle Verengung detektiert wird, ist ein Übersehen sicherheitsrelevanter, peripherer Reize wahrscheinlicher und das Unfallrisiko somit erhöht.

Es besteht daher die Möglichkeit, aktive sicherheitsrelevante FAS, wie den Brems-, Abstands- oder Spurhalteassistent, rechtzeitig zu parametrieren.

## **III. Regulierung:**

Neben der Parametrierung der FAS sollte zudem die Aktivierung des Fahrers reguliert werden. Es sollte das Ziel sein, ein optimales mittleres Aktivierungsniveau zu bewahren, um dem Fahrerezustand der visuellen Verengung entgegenzuwirken.

In dieser Arbeit wurde der Ansatz der Regulierung durch Musik untersucht. Demnach sollte sich ein intelligentes Musikwiedergabesystem adaptiv an die Situation anpassen. Wenn eine Überaktivierung des Fahrers vorliegt, sollte das Tempo und die Lautstärke der aktuellen Musik auf ein mittleres Niveau gesenkt werden. Wenn eine Unteraktivierung gegeben ist, so sollte das System die Lautstärke und das Tempo der Musik erhöhen. Ein mittleres Tempo von 85 bis 110 bpm und eine mittlere Lautstärke von 70 dB gelten dabei nur als Ausgangswerte für ein optimales mittleres Niveau, da aus der Studie 3 zur reaktionszeitbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation hervorging, dass die individuellen Lautstärkehörgewohnheiten einen bedeutsamen Einfluss auf den Effekt haben. Intelligente Systeme müssen somit auch in der Lage sein, die Lautstärke- und Tempovorlieben für jeden Fahrer individuell zu bestimmen.

Rothe und Rötter (2012) geben zudem an, dass im Falle einer Unter- bzw. Überaktivierung des Fahrers die Lautstärke und das Tempo vom Ausgangsniveau allmählich gesteigert bzw. gesenkt werden müssen, um die Fahrer von ihrer aktuellen Aktivierung abzuholen.

Die Ergebnisse der Studie 3 zur reaktionszeitbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit der Lautstärke- und Tempovariation und Studie 4 zur kopfbasierten Detektion visueller Verengung in Abhängigkeit

der Tempovariation zeigten, dass die Musikpräferenzen des Fahrers keinen bedeutsamen Einfluss auf die aktivierende Wirkung der Musik haben. Dennoch sollten diese bei der automatischen Musikwahl berücksichtigt werden, um die Akzeptanz des Fahrers für das System zu erhöhen (Rothe & Rötter, 2012). In Folge dessen ist ein System mit einer intelligenten Musikauswahl notwendig, das zudem die Vorlieben des Fahrers erlernt (siehe hierzu Lu et al., 2006; Klausning & Seifert, 2008; Kim et al., 2011).

Neben der Präsentation von Musikvorlieben des Fahrers sollte es zudem ein weiteres Anliegen sein, die Musikauswahl an die aktuelle Stimmung des Fahrers anzupassen, um dessen Wohlbefinden zu erhöhen oder um die aktuelle Stimmung intendiert zu beeinflussen (Barby & Deml, 2011).

Neben dem Konzept der Musikadaptation gibt es weitere Strategien, welche die Aktivierung und somit die visuelle Verengung regulieren könnten. Dazu zählen beispielsweise eine priorisierte oder modalitätsspezifische Informationsausgabe in Situationen hoher Aktivierung oder eine Deaktivierung von FAS in Situationen einer Unteraktivierung (Hargutt & Krüger, 2001; Young & Stanton, 2002; Vollrath & Schießl, 2004; Maurer & Stiller, 2005; Schneider, 2009). Auch eine gezielte Anzeige von Inhalten in peripheren Blickfeldern des Fahrers im Fahrzeug wäre denkbar, um das Blickfeld des Fahrers wieder zu weiten.

#### **IV. Information und Warnung:**

Desweiteren kann die Detektion der visuellen Verengung zur Information und Warnung des Fahrers genutzt werden. FAS sollten einen Fahrer nur in solchen Situationen warnen oder informieren, die der Fahrer selbst nicht erfassen oder beherrschen kann (Reif, 2010). Der Fahrerzustand der visuellen Verengung kann zu solch einer Situation führen.

Eine Informationsrückmeldung könnte der des Schläfrigkeitwarners ähneln (Kapitel 2.3), so dass der Fahrer über seinen visuellen Verengungszustand visuell (Icon im Cockpit) und/oder akustisch (Piepton) informiert wird. Dabei ist kritisch zu sehen, dass der Zustand der visuellen Verengung unbewusst und nicht gut verständlich ist, wie beispielsweise der Zustand

der Schläfrigkeit. Eine Informationsrückmeldung soll daher den Fahrer motivieren, im Falle einer Überaktivierung zusätzlich belastende Ereignisse auszuschalten oder im Falle einer Unteraktivierung für zusätzliche Aktivierung zu sorgen.

Wird der Zustand der visuellen Verengung detektiert und erfassen die fahrzeuginternen Sensoren eine Gefahrensituation, so sollte der Fahrer durch das System gewarnt werden. Auf diese Weise kann der Fahrer rechtzeitig eingreifen. Kopf, Farid und Doisl (2004) beschreiben, dass Warnungen bei einer detektierten Unaufmerksamkeit des Fahrers früher als im Normalfall ausgegeben werden müssen, um beispielsweise Kollisionen rechtzeitig zu verhindern.

Bei der Gestaltung von Informations- oder Warnmeldungen ist darauf zu achten, dass der Fahrer nicht zusätzlich abgelenkt oder belastet wird (Reif, 2010). Die Rückmeldung kann durch verschiedene Modalitäten erfolgen: visuell, akustisch oder haptisch. Sollte eine visuelle Meldung erfolgen, so ist diese nach der ISO 15008:2009 entsprechend zu platzieren und zu gestalten, so dass sie schnell genug vom Fahrer abgelesen werden kann. Wiederholte und lang andauernde Blickabwendungen von der Straße müssen ausgeschlossen werden können (Reif, 2010). Die ISO 15006:2011 fordert in Bezug auf akustische Meldungen, dass die Lautstärke und spektrale Zusammensetzung der Situation entsprechend gestaltet sein muss (Reif, 2010). Haptische Rückmeldungen sind neben visuellen und akustischen Meldungen schnell wahrnehmbar (Maier et al., 2011). Welche Rückmeldung in welcher Situation am sinnvollsten ist, wurde vielfach untersucht (Kopf, Farid & Doisl, 2004; Maier et al., 2011). Rhede, Wäller und Oel (2011) stellten beispielsweise einen FAS-Warnbaukasten zusammen, der Gestaltungsempfehlungen zu Informations- und Warnmeldungen für den Fahrer in bestimmten Situationen ausgibt.

Die zuvor beschriebenen vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten, die sich auf Basis der Untersuchung der visuellen Verengung in dieser Arbeit ergeben, zeigen ihren Einfluss auf aktive und passive Sicherheitsmaßnahmen im

Fahrzeug auf.

Die darauf basierende Entwicklung eines FAS, von der Idee zum Konzept, zur Simulation, über den Prototypen bis hin zum Endprodukt, bezieht immer auch die Bewertung des Systems aus Nutzersicht ein (Reif, 2010). Dabei ist auf die unterschiedlichen Nutzertypen zu achten, die unterschiedliche Anforderungen an ein FAS stellen. Die Kundenakzeptanz ist entscheidend, wenn ein FAS auf dem Markt erfolgreich sein soll. Eine hohe Verlässlichkeit und Nutzerfreundlichkeit des Systems, das die visuelle Verengung detektiert und daraufhin reagiert, ist daher unerlässlich (Kopf, Farid & Doisl, 2004).

Weiterhin wäre das FAS zur visuellen Verengungsdetektion empirisch auf den Nutzen zu prüfen. Dazu könnten die von Pataki und Kollegen (2005) entwickelten Leistungs- und Beurteilungsmaße genutzt werden, die es ermöglichen, innovative Fahrassistenzsysteme zu bewerten. Auch Fastenmeier und Gstalter (2004) entwickelten eine Prozedur (SAFE Situative Anforderungsanalyse von Fahraufgaben), bei der der Nutzen eines FAS anhand der Absolvierung von Teilaufgaben mit und ohne das FAS bewertet wird. Ein weiterer Ansatz misst die höhere Verkehrssicherheit von FAS; so werden das Zustandekommen bzw. die Vermeidung von Fahrfehlern beurteilt (Nirschl et al., 2004).

Es zeigt sich also, dass die Gestaltungs- und Entwicklungsmöglichkeiten solch eines FAS zur Erfassung der visuellen Verengung einen interessanten Gegenstand für weiterführende Untersuchungen darstellt. Diese Arbeit zielte darauf ab, die visuelle Verengung in ihrem Zusammenhang zur Aktivierung zu untersuchen und Optionen zur Detektion und Regulierung zu analysieren. Viele Fragen in Bezug auf den Zusammenhang zwischen der visuellen Verengung und der Aktivierung sind noch unbeantwortet (Kapitel 3). Zudem steht die Forschung zur Wirkung der Musik in all ihren Facetten erst am Anfang (Kapitel 4). Weiterhin ist die Regulierung und Einflussnahme auf die visuelle Verengung im Sinne der hier aufgeführten Ideen zu analysieren und zu erweitern.



## 7 Literaturverzeichnis

Abendroth, B., Bruder, R., Fuchs, K., & Schramm, T. (2009). Beurteilung von Systemen im Fahrzeug - welche Messmethoden sind geeignet? *Zeitung für Arbeitswissenschaft*, 3, 223-231.

Alm, H., & Nilsson, L. (1994). Changes in driver behaviour as a function of handsfree mobile phones - A simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 26(4), 441-451. doi:10.1016/0001-4575(94)90035-3

Arolt, V. (Hrsg.). (2004). *Psychiatrie in der klinischen Medizin*. Darmstadt: Steinkopff-Verlag.

Backs, R. W., Lenneman, J. K., Wetzel, J. M., & Green, P. (2003). Cardiac Measures of Driver Workload during Simulated Driving with and without Visual Occlusion. *Human Factors*, 45(4), 525-538. doi:10.1518/hfes.45.4.525.27089

Baldauf, D., Burgarda, E., & Wittmann, M. (2009). Time perception as a workload measure in simulated car driving. *Applied Ergonomics*, 40(5), 929-935. doi:10.1016/j.apergo.2009.01.004

Ball, K. K., Owsley, C., Sloane, M. E., Roenker, D. L., & Bruni, J. R. (1993). Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 34(11), 3110-3123.

Bao, S., & Boyle, L. N. (2009). Age-related differences in visual scanning at median-divided highway intersections in rural areas. *Accident Analysis & Prevention*, 41(1), 146-152. doi: 10.1016/j.aap.2008.10.007

Barby, K., & Deml, B. (2011). Music-related mood regulation of car drivers. (Unveröffentlichter interner Forschungsbericht). Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Barby, K., Dorow, F., Gronemann-Habenicht, A. C., Kubasch, T., Rohde, T., Ströber, F., & Werner, I. (2013b). Aktivierungsgrad durch die Musik beim Fahrer. (Unveröffentlichter interner Forschungsbericht). Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Barby, K., Knabe, T., Kremp, S., Lindemann, M., Lotz, T., Marben, P., & Wadewitz, T. (2013a). Musikauswahl älterer Fahrer. (Unveröffentlichter interner Forschungsbericht). Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Bartenwerfer, H. (1969). Einige praktische Konsequenzen aus der Aktivierungstheorie. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 16, 195-222.

Bauch, C. V. (2010). *Minimalsensorisches Konzept zur multimodalen Fahrerzustandsüberwachung auf Basis physiologischer Daten - Validierung einer neuen Methode* (Dissertation). Universität Paderborn.

Becker, S., & Albrecht, M. (2003). Verkehrsmedizinische Aspekte im Alter. *Zeitschrift für Gerontopsychologie und -psychiatrie*, 16(3), 101-115. doi:10.1024/1011-6877.16.3.101

Bee, N., André, E., & Tober, S. (2009). Breaking the ice in human-agent communication: Eye-gaze based initiation of contact with an embodied conversational agent. In Ruttkay, Z., Kipp, M., Nijholt, A., & Vilhjálmsson, H. H. (Eds.), *Intelligent Virtual Agents* (pp. 229-242). Berlin: Springer.

Beh, H. C., & Hirst, R. (1999). Performance on driving-related tasks during music. *Ergonomics*, 42(8), 1087-1098. doi:10.1080/001401399185153

Bellinger, D. B., Budde, B. M., Machida, M., Richardson, G. B., & Berg, W. P. (2009). The effect of cellular telephone conversation and music listening on response time in braking. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(6), 441-451. doi:10.1016/j.trf.2009.08.007

Blaschke, C. (2011). Fahrerzustandserkennung zur Optimierung von Spurhalteassistenzsystemen. Dissertation, München, Univ. der Bundeswehr.

Borgaes, A. (2007). Fachgebärdenlexikon Psychologie. Verfügbar unter: WWW: <http://www.sign-lang.uni-hamburg.de/Projekte/PLEX/PLex/lemmata/A-Lemma/Aktivier.htm>. (07-10-21).

Bortz, J. (2005). Statistik für Human-und Sozialwissenschaftler. Berlin: Springer.

Brodsky, W. (2002). The effects of music tempo on simulated driving performance and vehicular control. *Transportation research part F: traffic psychology and behavior*, 4(4), 219-241. doi:10.1016/S1369-8478(01)00025-0

Brookhuis, K. A., & Dicke, M. (2009). The effects of travel information presentation through nomadic systems on driver behaviour. *European transport research review*, 1(2), 67-74. doi:10.1007/s12544-009-0007-4

Brown, I. D. (1965). Effect of a car radio on driving in traffic. *Ergonomics*, 8(4), 475-479. doi:10.1080/00140136508930828

Bundele, M. M., & Banerjee, R. (2010). ROC analysis of a fatigue classifier for vehicular drivers. In *Intelligent Systems (IS), 2010 5th IEEE International Conference* (pp. 296-301). doi:10.1109/IS.2010.5548362

Cassidy, G., & MacDonald, R. (2009). The effects of music choice on task performance: A study of the impact of self-selected and experimenter-selected music on driving game performance and experience. *Musicae Scientiae*, 13(2), 357-386. doi:10.1177/102986490901300207

Cao, Y., Mahr, A., Castronovo, S., Theune, M., Stahl, C., & Müller, C. (2010). Local danger warnings for drivers: The effect of modality and level of assistance on driver reaction. In *Proceedings of the International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI 2010)* (pp. 239-248). New York: ACM.

Ceci, R., Hogman, L., & Patten, C. (2001). Measures of driving behavior and cognitive workload in a driving simulator and in real traffic environment.



Proceedings of the First International Driving Symposium on Human Factors in Driving Assessment, Training and Vehicle Design, Aspen, CO, 137-142. Abgerufen unter [http://drivingassessment.uiowa.edu/DA2001/25\\_ ceci\\_ruggero.pdf](http://drivingassessment.uiowa.edu/DA2001/25_ ceci_ruggero.pdf)

Chin, E., Nathan, F., Pauzié, A., Manzano, J., Nodari, E., Cherri, C., Rambaldini, A., Toffetti, A., & Marchitto, M. (2006). Subjective Assessment methods for workload. Projektbericht, Information society technologies (IST), adaptive integrated driver-vehicle interface (AIDE, IST-1-507674-IP).

Cerella, J. (1985). Information processing rates in the elderly. *Psychological Bulletin*, 98(1), 67-83. doi:10.1037/0033-2909.98.1.67

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. London: Routledge Academic.

Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155-159. doi:10.1037/0033-2909.112.1.155

Cohen, A. S. (2009). Informationsaufnahme beim Kraftfahrer. In H. Burg, & M. Moser, (Hrsg.), *Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion* (S. 217-250). Wiesbaden: Vieweg+ Teubner.

Consiglio, W., Driscoll, P., Witte, M., & Berg, W. P. (2003). Effect of cellular telephone conversations and other potential interference on reaction time in a braking response. *Accident analysis and prevention*, 35(4), 495-500. doi:10.1016/S0001-4575(02)00027-1

Crundall, D., Underwood, G., & Chapman, P. (2002). Attending to the peripheral world while driving. *Applied Cognitive Psychology*, 16(4), 459-475. doi:10.1002/acp.806

Dalton, B. H., Behm, D. G., & Kibele, A. (2007). Effects of sound types and volumes on simulated driving, vigilance tasks and heart rate. *Occupational Ergonomics*, 7(3), 153-168.

Deffenbacher, J. L., Lynch, R. S., Filetti, L. B., Dahlen, E. R., & Oetting, E. R. (2003). Anger, aggression, risky behavior, and crash-related outcomes in three groups of drivers. *Behaviour research and therapy*, 41(3), 333-349. doi:10.1016/S0005-7967(02)00014-1

De Nora, T. (1999). Music as a technology of the self. *Poetics*, 27(1), 31-56.

Deutscher Verkehrssicherheitsrat (2013). Straßenverkehrsunfälle auf deutschen Autobahnen Verfügbar unter [http://www.dvr.de/betriebe\\_bg/daten/unfallstatistik-ab.htm](http://www.dvr.de/betriebe_bg/daten/unfallstatistik-ab.htm) [29.07.2013].

De Waard, D. (1996). *The Measurement of Drivers' Mental Workload* (Unveröffentlichte Dissertationsarbeit). Groningen, Netherlands: Traffic Research Centre, University of Groningen.

De Waard, D., & Brookhuis, K. A. (1997). On The Measurement Of Driver Mental Workload. In T. Rothengatter & E. C. Vaya (Hrsg.), *Traffic and Transport Psychology: Theory and Application* (pp. 161-171). Amsterdam: Pergamon.

Dey, M., Gschwend, B., Baumgartner, T., Jäncke, P., & Jäncke, L. (2006). Effekte von Musik auf das Fahrverhalten. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 52(1), 32-36.

Dibben, N., & Williamson, V. J. (2007). An exploratory survey of in-vehicle music listening. *Psychology of Music*, 35(4), 571-589. doi:10.1177/0305735607079725

Dietz, F. (2006). *Psychologie 1 - Methodische Grundlagen und biopsychologische Modelle*. Marburg: MEDI-LEARN Verlag.

Diller, H. W. (1994). *Vahlens großes Marketing-Lexikon*. München: Dt. Taschenbuch-Verlag.

Dillman Carpentier, F. R., & Potter, R. F. (2007). Effects of music on physiological arousal: Explorations into tempo and genre. *Media Psychology*, 10(3), 339-363.

Dingus, T. A. et al. (2006). The 100-car naturalistic driving study, Phase II-results of the 100-car field experiment (No. HS-810 593). Washington: NHTSA

Dirkin, G. R., & Hancock, P. A. (1985). An attentional view of narrowing: The effect of noise and signal bias on discrimination in the peripheral visual field. In I. D. Brown, R. Goldsmith, K. Coombes & M. A. Sinclair (Eds.), *Ergonomics International 85: Proceedings of the Ninth Congress of the International Ergonomics Association* (pp. 751-753). London: Taylor & Francis.

Dorsch, F. (1976). *Psychologisches Wörterbuch* (9. Aufl.). Bern: Verlag Hans-Huber.

Easterbrook, J. A. (1959). The effect of emotion on cue utilization and the organization of behaviour. *Psychological Review*, 66(3), 183-201. doi:10.1037/h0047707

Eckoldt, K., & Schulz, B. N. (2009). Das Auto als Musikinstrument: gemeinsames Trommeln als positives Erlebnis. *i-com*, 8(1), 83-85. doi:10.1524/icom.2009.0014

Eichinger, A. (2011). Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Fahrzeugtechnik*, Heft F80. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

Eilers, K., Nachreiner, F., & Hänecke, K. (1986). Entwicklung und Überprüfung einer Skala zur Erfassung subjektiv erlebter Anstrengung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 40(4), 215-224.

Fahrenberg, J., Walschburger, P., Foerster, F., Myrtek, M., & Müller, W. (1979). *Psychophysiologische Aktivierungsforschung: Ein Beitrag zu*

den Grundlagen der multivariaten Emotions- und Stress-Theorie. München: Minerva.

Fahrenberg, J. (1983). Psychophysiologische Methodik. In K. J. Groffmann, & L. Michel (Hrsg.), *Verhaltensdiagnostik. Enzyklopädie der Psychologie* (Bd. B II 4) (S. 1-192). Göttingen: Hogrefe.

Fastenmeier, W. (1995). Die Verkehrssituation als Analyseeinheit im Verkehrssystem. In W. Fastenmeier (Hrsg.), *Autofahrer und Verkehrssituation: neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme* (S. 27-78). Köln: Verl. TÜV Rheinland.

Fastenmeier, W., & Gstalter, H. (2004). Abschätzung des Nutzens von Fahrerassistenzsystemen mithilfe der Prozedur SAFE/Benefit analysis of driver assistance systems using the SAFE technique. VDI-Bericht Nr. 1864 (S. 397-420). Düsseldorf: VDI-Verlag.

Foscht, T., & Swoboda, B. (2004). Psychische Erklärungsstrukture des Konsumentenverhaltens. In *Käuferverhalten* (S. 37-118). Wiesbaden: Gabler Verlag.

Frank, P., & Reichelt, W. (2001). Fahrerassistenzsysteme im Entwicklungsprozess. In *Kraftfahrzeugführung* (S. 71-78). Berlin: Springer.

Frijda, N. H. (1993). Moods, emotion episodes, and emotions. In M. Lewis & J. M. Haviland (Eds.), *Handbook of emotions* (pp. 381-403). New York: Guilford Press.

Gelau, C. (2004). Fahrerablenkung durch Informations- und Kommunikationssysteme im Fahrzeug: Auswirkungen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit. In B. Schlag (Hrsg.), *Verkehrspsychologie. Mobilität - Sicherheit - Fahrerassistenz*. Lengerich: Pabst Science Publishers.

Gembris, H. (2005). Musikalische Präferenzen. In T. H. Stoffer, & R. Oerter (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Spezielle Musikpsychologie* (Bd. 2, S.279-342). Göttingen: Hogrefe.

Gomez, P., & Danuser, B. (2007). Relationships between musical structure and psychophysiological measures of emotion. *Emotion*, 7(2), 377-387. doi:10.1037/1528-3542.7.2.377

Gottlieb, W., Scherbarth, S., & Guse, K. (1996). A new scientific instrument for vision in vehicle research. In A. G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave, & S. P. Taylor (Eds.), *Vision in vehicles V. Fifth International Conference, 1993* (pp. 203-210). Amsterdam: Elsevier.

Gowensmith, W. N., & Bloom, L. J. (1997). The effects of heavy metal music on arousal and anger. *Journal of Music Therapy*, 34(1), 33-45.

Green, P. (2002). Where do drivers look while driving (and for how long)? In R. E. Dewar, & P. Olson (Eds.), *Human Factors in Traffic Safety* (pp. 77-110). Tucson, AZ: Lawyers & Judges Publishing Company.

Greschner, U. (2011). Experimentelle Untersuchung von Maßnahmen gegen Schläfrigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen (Dissertation). Universität Stuttgart und Fraunhofer Institut.

Grimm, M., Kroschel, K., Harris, H., Nass, C., Schuller, B., Rigoll, G., & Moosmayr, T. (2007). On the necessity and feasibility of detecting a drivers emotional state while driving. In A. C. R. Paiva, R. Prada & R. W. Picard (Eds.), *Affective computing and intelligent interaction* (pp. 126-138). Berlin: Springer.

Gründl, M. (2005). Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen (Dissertation). Universität Regensburg.

Gulian, E., Matthews, G., Glendon, A. I., Davies, D. R., & Debney, L. M. (1989). Dimensions of driver stress. *Ergonomics*, 32(6), 585-602. doi:10.1080/00140138908966134

Hacker, W., & Richter, P. (1984). *Psychische Fehlbeanspruchung: Psychische Ermüdung, Monotonie, Sättigung und Streß*. Berlin: Springer.

Harbluk, J. L., Noy, Y. I., & Eizenman, M. (2002). *The Impact of Cognitive Distraction on Driver Behaviour and Vehicle Control*. Ottawa, Ontario: Transport Canada.

Harbluk, J. L., Noy, Y. I., Trbovich, P. L., & Eizenman, M. (2006). An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers visual behaviour and braking performance. *Accident Analysis & Prevention*, 39(2), 372-379. doi:10.1016/j.aap.2006.08.013

Hargutt, V. & Krüger, H. (2001). Die Gefahr der Unterforderung? Selbstregulation der Aktivierung in der Fahrsimulation. VDI-Bericht Nr. 1613 (S. 33-48). Düsseldorf: VDI-Verlag.

Harms, L. (1991). Variation in drivers cognitive load. Effects of driving through village areas and rural junctions. *Ergonomics*, 34(2), 151-160. doi:10.1080/00140139108967303

Harrer, G., & Harrer, M. E. (2008). Emotionale Vorgänge beim Hören von Musik und ihre Resonanz im Vegetativum. *Neurologie und Rehabilitation* 14 (5): 238 246. Bad Honnef: Hippocampus Verlag.

Heger, R. (1998). Driving Behavior and Driver Mental Workload as Criteria of Highway Geometric Design Quality. *Transportation Research Circular: Proceedings of the International Symposium on Highway Geometric Design Practices*, Boston, Massachusetts, (p43, 1-10). Abgerufen unter <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec003/toc.pdf>

Heinzmann, J., & Zelinsky, A. (1998). 3-D facial pose and gaze point estimation using a robust real-time tracking paradigm. In *Proceedings of the Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, 1998 (pp. 142-147). doi: 10.1109/AFGR.1998.670939

Hering, K. (1999). *Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr* (Dissertation). Universität Köln.

Hesse, H. P. (2003). *Musik und Emotion: Wissenschaftliche Grundlagen des Musikerlebens*. Berlin: Springer.

Husain, G., Thompson, W. F., & Schellenberg, E. G. (2002). Effects of musical tempo and mode on arousal, mood, and spatial abilities. *Music Perception*, 20(2), 151-171. doi:10.1525/mp.2002.20.2.151

Isler, R. B., Parsonson, B. S., & Hansson, G. J. (1997). Age-Related Effects of Restricted Head Movements on the Useful Field of View of Drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 29(6), 793-801. doi:10.1016/S0001-4575(97)00048-1

International Organization for Standardization (ISO) (2002). *Road vehicles - Measurement of driver visual behaviour with respect to transport information and control systems - Part 1: Definitions and parameters* (Tech. Rep. No. ISO 15007-1:2002).

International Organization for Standardization (ISO) (2009). *Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems - Specifications and test procedures for in-vehicle visual presentation* (Tech. Rep. No. ISO 15008:2009).

International Organization for Standardization (ISO) (2011). *Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems - Specifications for in-vehicle auditory presentation* (Tech. Rep. No. ISO 15006:2011).

Iwanaga, M., Kobayashi, A., & Kawasaki, C. (2005). Heart rate variability with repetitive exposure to music. *Biological Psychology*, 70(1), 61-66. doi:10.1016/j.biopsycho.2004.11.015

Jahn, G., Oehme, A., Krems, J.F., & Gelau C. (2005). Peripheral detection as a workload measure in driving: effects of traffic complexity and route guidance system use in a driving study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(3), 255-275. doi:10.1016/j.trf.2005.04.009

Janelle, C. M., Singer, R. N., & Williams, A. M. (1999). External distraction and attentional narrowing: Visual search evidence. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 21(1), 7091.

Ji, Q., & Yang, X. (2002). Real-time eye, gaze, and face pose tracking for monitoring driver vigilance. *Real-Time Imaging*, 8(5), 357-377. doi:10.1006/rtim.2002.0279

Jorna, P. G. A. M. (1992). Spectral analysis of heart rate and psychological state: A review of its validity as a workload index. *Biological Psychology*, 34(2), 237-257. doi:10.1016/0301-0511(92)90017-O Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87(4), 329-354. doi:10.1037/0033-295X.87.4.329

Kaiser, H. J., & Oswald, W. D. (2000). Autofahren im Alter - eine Literaturanalyse. *Zeitschrift für Gerontopsychologie & -psychiatrie*, 13(3-4), 131-170. doi:10.1024//1011-6877.13.34.131

Kämpfe, J. (2011). Wirkungen von Hintergrundmusik (Dissertation). Technische Universität Chemnitz.

Kaneda, M., Iizuka, H., Ueno, H., Hiramatsu, M., Taguchi, M., & Tsukino, M. (1995). Development of a drowsiness warning system. In proceedings of the fourteenth international technical conference on enhanced safety of vehicles (pp. 469-476). doi:10.1109/VNIS.1994.396873

Kim, J., Lee, S., Kim, S., & Yoo, W. Y. (2011). Music mood classification model based on arousal-valence values. 13th Int. Conf. in Advanced Communication Technology, Seoul, 13-16. Feb., 292-295.

Klausing, T., & Seifert, F. (2008). Robuste Genre-Klassifikation. Techn. Univ. Chemnitz, Fakultät für Informatik.

Kolasinski, E. M. (1995). Simulator sickness in virtual environments (Technical Report 1027). Alexandria, VA: U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences



Kopf, M.; Farid, M.; Doisl, C. (2004a): Methoden zur Erhöhung der Akzeptanz und Effizienz eines Systems der aktiven Fahrsicherheit. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Bericht Nr. 1864 (S. 543-560). Düsseldorf: VDI-Verlag.

Kopf, M. (2005). Was nützt es dem Fahrer, wenn Fahrerinformations- und -assistenzsysteme etwas über ihn wissen?. In M. Maurer & C. Stiller (Hrsg.): Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung (S. 117-139). Berlin: Springer.

Kraftfahrtbundesamt (2013). Fahrerlaubnisbestand im Zentralen Fahrerlaubnisregister. Verfügbar unter [http://www.kba.de/cIn\\_030/nn\\_125346/DE/Statistik/Kraftfahrer/Fahrerlaubnisse/Fahrerlaubnisbestand/fahrerlaubnisbestand\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=true](http://www.kba.de/cIn_030/nn_125346/DE/Statistik/Kraftfahrer/Fahrerlaubnisse/Fahrerlaubnisbestand/fahrerlaubnisbestand__node.html?__nnn=true) [29.07.2013].

Kramer, A. F. (1991). Physiological metrics of mental workload: A review of recent progress. In: D. L. Damos (Ed.), Multiple-task performance (pp. 279-328). London: Taylor & Francis.

Kuhmann, W. (1994). Leistungsgüte und Beanspruchung bei mentalen Tätigkeiten. Bern: Verlag Hans Huber.

Kühn, K., & Porst, R. (1999). Befragung alter und sehr alter Menschen: Besonderheiten, Schwierigkeiten und methodische Konsequenzen; ein Literaturbericht. ZUMAArbeitsbericht 99/03.

Kütting, H. (1976). Belastung und Beanspruchung des Kraftfahrers - Literaturübersicht. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unfallforschung. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

Lal, S. K., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological psychology*, 55(3), 173-194.

Land, M. F., & Lee, D. N. (1994). Where we look when we steer. *Nature*, 369(6483), 742-744. doi:10.1038/369742a0

Lange, C., Yoo, J. W., Wohlfarter, M., & Bubb, H. (2006). Dikablis - Operation mode and evaluation of the human-machine interaction. Spring Conference of Ergonomics Society of Korea, Seoul.

Lavallière, M., Tremblay, M., Cantin, V., Simoneau, M., & Teasdale, N. (2006). Aging yields a smaller number of fixations and a reduced gaze amplitude when driving in a simulator. *Advances in Transportation Studies: An international Journal* 2006 Special Issue, 21-30.

Lavallière, M., Ngán, N., Tremblay, M., Laurendeau, D., Scialfa, C. T., Simoneau, M. & Teasdale, N. (2007). Age-related deficits in the frequency of gaze responses to the mirrors and blind-spot during lane change maneuvers of various complexity. *Proceedings of the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* Stevenson, WA, 373-380.

Lazarus, R. S. (1966). *Psychological stress and the coping process*. New York: McGraw-Hill.

Lefrancois, G. R., Leppmann, P. K., & Angermeier, W. F. (1994). *Psychologie des Lernens*. Berlin: Springer.

Liu, Y. C., & Wu, T. J. (2009). Fatigued drivers driving behavior and cognitive task performance: Effects of road environments and road environment changes. *Safety Science*, 47(8), 1083-1089. doi:10.1016/j.ssci.2008.11.009

Löffler, K. I., Fella, K., Mentel, A., Husemann, B., Rossbach, B., Hecht, H., & Letzel, S. (2008). Beeinflusst Musik die Fahrleistung beim Autofahren?. *ErgoMed*, 32(5), 142-151.

Lu, L., Liu, D., & Zhang, H.-J. (2006). Automatic mood detection and tracking of music audio signals. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 14(1), 5-18. doi:10.1109/TSA.2005.860344

Mai, R., Pfeffer, F., Woche, C., Hudi, R., & Leemann, C. (2007). Patent Nr. DE 19954001 Verfahren und Einrichtung zur elektronischen Verkehrszeichenerkennung. München: Deutsches Patent- und Markenamt.

Maier, K., Hellbrück, J., Sacher, H., Meurie, J., & Widmann, U. (2011). Multimodaler Warnbaukasten-eine neue Warnphilosophie für Fahrerassistenzsysteme. VDI-Bericht Nr. 2134 (S. 75-91). Düsseldorf: VDI-Verlag.

Maltz, M. & Shinar, D. (1999). Eye movements of younger and older drivers. *Human Factors*, 41, 15-25.

Manzey, D. (1998). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In F. Rösler (Hrsg.): *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie. Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich C, Theorie und Forschung: Serie 1, Biologische Psychologie Band 5* (S. 799-864). Göttingen: Hogrefe.

Martens, M. H., & Winsum, W.v. (2000). *Measuring distraction: The peripheral detection task*. Soesterberg, Netherlands: TNO Human Factors Research Institute.

Matthews, G., Dorn, L., Hoyes, T. W., Davies, D. R., Glendon, A. I., & Taylor, R. G. (1998). Driver stress and performance on a driving simulator. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 40(1), 136-149.

Maurer, M., & Stiller, C. (Hrsg.). (2005). *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung*. Berlin: Springer.

McNair, D. M., Lorr, M., & Droppleman, L. F. (1992). *POMS: profile of mood states*. North Tonawanda, NY: Multi-Health Systems Inc.

Mees, U. (2006). Zum Forschungsstand der Emotionspsychologie - eine Skizze. In R. Schützeichel (Hrsg.), *Emotionen und Sozialtheorie: Disziplinäre Ansätze* (S. 104-123). Frankfurt: Campus.

Mehler, B., Reimer, B., Coughlin, J. F., & Dusek, J. A. (2009). Impact of incremental increases in cognitive workload on physiological arousal and performance in young adult drivers. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2138(1), 6-12. doi:10.3141/2138-02

Meroth, A., & Tolg, B. (2007). *Infotainmentsysteme im Kraftfahrzeug: Grundlagen, Komponenten, Systeme und Anwendungen*. Berlin: Springer.

Metker, T. (1997). *Visuelle Informationsaufnahme älterer Autofahrerinnen und Autofahrer*. Münster: Lit.

Miura, T. (1986). Coping with situational demands: a study of eye movements and peripheral vision performance. In A. Gale, M. H. Freeman, C. M. Haslegrove, P. Smith & S. P. Taylor (Eds.), *Vision in Vehicles* (pp. 205-216). Amsterdam: North Holland.

Miura, T. (1990). Active function of eye movement and useful field of view in a realistic setting. In R. Groner, G. d'Ydewalle, & R. Parnham (Eds.), *From eye to mind: Information acquisition in perception, search, and reading* (pp. 119-127). Amsterdam: North Holland.

Moruzzi, G., & Magoun, H. W. (1949). Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 1(1), 455-473. doi:10.1016/0013-4694(49)90219-9

Mulder, G., & Mulder, L. J. M. (1981). Information processing and cardiovascular Control. *Psychophysiology*, 18(4), 392-402. doi:10.1111/j.1469-8986.1981.tb02470.x

Mohs, C. (2011). *Gestaltung intuitiver Schnittstellen für Infotainmentsysteme*. München: GRIN.

Nabatalan, L. B. (2007). *Factors that influence visual attention and their effects on safety in driving: An eye movement tracking approach* (Unveröffentlichte Dissertationsarbeit). Louisiana State University, USA.

Nass, C., Jonsson, I. M., Harris, H., Reaves, B., Endo, J., Brave, S., & Takayama, L. (2005). Improving automotive safety by pairing driver emotion and car voice emotion. In *Proceedings CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems, 1973-1976*. doi:10.1145/1056808.1057070

Nickel, P. (2002). Sensitivität und Diagnostizität der 0,1 Hz-Komponente der Herzfrequenzvariabilität zur Erfassung psychischer Beanspruchung. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH.

Nickel, P., Eilers, K., Seehase, L., & Nachreiner, F. (2002). Zur Reliabilität, Validität, Sensitivität und Diagnostizität von Herzfrequenz- und Herzfrequenzvariabilitäts-Maßen als Indikatoren psychischer Beanspruchung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 56, 22-36. doi:10.3239/9783640689170

Nirschl, F., Böttcher, S., Schlag, B., & Weller, G. (2004). Verfahren zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Fahrerassistenzsystemen durch objektive Erfassung von Fahrfehlerrisiken/Procedure for traffic safety evaluation of driver assistance systems by objective measurement of driving error risks. VDI-Bericht Nr. 1864 (S. 397-420). Düsseldorf: VDI-Verlag.

O'Donnel, R., & Eggemeier, F.T. (1986). Workload assessment methodology. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance*, Vol. II: Cognitive processes and performance (pp. 1 - 49). New York: Wiley.

Oron-Gilad, T., & Hancock, P. A. (2005). Road environment and driver fatigue. *Proceedings of the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 318-324. Abgerufen von [http://drivingassessment.uiowa.edu/DA2005/PDF/47\\_Oron-Giladformat.pdf](http://drivingassessment.uiowa.edu/DA2005/PDF/47_Oron-Giladformat.pdf)

Papendick, K., Deml, B., Kotzyba, C. M., & Kleen, A. (2012). Detektion visueller Fahrerablenkung Überprüfung eines Algorithmus zur Detektion visueller Ablenkung. In 28. VDI/VW-Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit, VDI-Bericht Nr. 2166 (S. 3251-262). Düsseldorf: VDI-Verlag.

Pataki, K., Schulze-Kissing, D., Mahlke, S., & Thüring, M. (2005). Anwendung von Usability-Maßen zur Nutzeneinschätzung von Fahrerassis-

tenzsystemen. In K. Karrer, B. Gauss & C. Steffens (Eds.), *Beiträge zur Mensch-Maschine-Systemtechnik aus Forschung und Praxis* (S. 211-228). Düsseldorf: Symposion.

Patten, C. J., Kircher, A., Östlund, J., & Nilsson, L. (2004). Using mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation. *Accident analysis & prevention*, 36(3), 341-350. doi:10.1016/S0001-4575(03)00014-9

Pauzié, A., & Manzano, J. (2007). Evaluation of driver mental workload facing new in-vehicle information and communication technology. *Enhanced Safety in Vehicles conference (ESV20)*, Lyon, France.

Pêcher, C., Lemercier, C., & Cellier, J. M. (2009). Emotions drive attention: Effects on drivers behaviour. *Safety Science*, 47(9), 1254-1259. doi:10.1016/j.ssci.2009.03.011

Piechulla, W., Peißner, M., Werse, J., & Zimmer, A. (2001). Diagnose von Fahrerzuständen mittels Fahrverhalten. In F. Lehner & K. J. Schäfer (Hrsg.), *Dokumentation zum Informationstag 2001 Mobile Computing*. Bericht Nr. 56, Universität Regensburg, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik III.

Piechulla, W. (2004). *Ambulantes Psychophysiologisches Monitoring im Straßenverkehr*. Symposium Ambulantes Psychophysiologisches Monitoring, Gruppenbeitrag auf dem 44. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie (DGPs). Göttingen, 26.-30. September 2004.

Petzoldt, T., Bär, N., & Krems, J. F. (2009). Gender effects on Lane Change Test (LCT) performance. *Proceedings of the 5th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*. Big Sky, Montana, USA, 90-96. Abgerufen von [http://drivingassessment.uiowa.edu/DA2009/013\\_PetzoldtBar.pdf](http://drivingassessment.uiowa.edu/DA2009/013_PetzoldtBar.pdf)

Praxenthaler, M. (2003). *Experimentelle Untersuchung zur Ablenkungswirkung von Sekundäraufgaben während zeitkritischer Fahrsituationen* (Dissertation). Universität Regensburg.

Pribram, K. H., & McGuinness, D. (1975). Arousal, activation, and effort in the control of attention. *Psychological Review*, 82(2), 116. Prieler, J. (2009). *Manual PP Periphere Wahrnehmung Version 24*. Mödling: Schuhfried GmbH.

Prinz, W. (2002). *Allgemeine Psychologie*. J. Müsseler (Ed.). Spektrum, Akad. Verlag.

Poitschke, T., Laquai, F., Stamboliev, S., & Rigoll, G. (2011). Gaze-based interaction on multiple displays in an automotive environment. In 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) (pp. 543-548). Doi:10.1109/ICSMC.2011.6083740

Porstendorfer, J. (2009). European Patent No. EP 2045647. Munich, Germany: European Patent Office.

Rakauskas, M. E., Gugerty, L. J., & Ward, N. J. (2004). Effects of naturalistic cell phone conversation on driving performance. *Journal of Safety Research*, 35(4), 453-464. doi:10.1016/j.jsr.2004.06.003

Rasmussen, J. (1982). Human errors: A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4(2), 311-333. doi:10.1016/0376-6349(82)90041-4

Rantanen, E. M., & Goldberg, J. H. (1999). The effect of mental workload on the visual field size and shape. *Ergonomics*, 42(6), 816-834.

Recarte, M. A., & Nunes, L. M. (2000). Effects of verbal and spatial-imagery task on eye fixations while driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6(1), 31-43.

Recarte, M. A., & Nunes, L. (2003). Mental workload while driving: Effects on visual search, discrimination and decision making. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9(2), 119-137. doi:10.1037/1076-898X.9.2.119

Reif, K. (Hrsg.). (2010). Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme. Berlin: Springer.

Reimer, B., Mehler, B. L., Pohlmeier, A. E., Coughlin, J. F., & Dusek, J. A. (2006). The Use of Heart Rate in a Driving Simulator as an Indicator of Age-Related Differences in Driver Workload. *Advances in Transportation Studies an International Journal*, 2006 Special Issue, 920.

Reimer, B., Coughlin, J. F., & Mehler, B. (2009). Development of a Driver Aware Vehicle for Monitoring, Managing & Motivating Older Operator Behavior. *Proceedings of the ITS - America*, Washington, DC. Abgerufen von <http://web.mit.edu/coughlin/Public/Publications/Reimer,%20Coughlin,%20Mehler-ITS%20America%20final.pdf>

Reimer, B. (2009). Cognitive task complexity and the impact on drivers visual tunneling. *Transportation Research Record*, 2138(1), 13-19. doi:10.3141/2138-03

Reinisch, P., & Zahn, P. (2011). Patent Nr. DE102010006214. Notbremssystem zum automatischen Abbremsen eines Fahrzeugs zur Kollisionsvermeidung oder Kollisionsfolgenminderung. München: Deutsches Patent- und Markenamt.

Reitter, C. (2000). Beanspruchung des Autofahrers durch Monotonie (Dissertation). Technische Universität Berlin.

Reißmann, W. (2009). Musik und Hörmedien im höheren Lebensalter. In B. Schorb, A. Hartung, & W. Reißmann (Hrsg.), *Medien und höheres Lebensalter* (S. 243-258). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Reyner, L. A., & Horne, J. A. (1998). Evaluation in-car countermeasures to sleepiness: cold air and radio. *Sleep*, 21(1), 46-50.

Rhede, J., Wäller, C., & Oel, P. (2011). Der FAS Warnbalken. Strategie für die systematische Entwicklung und Ausgabe von HMI-Warnungen. VDI-Bericht Nr. 2134 (S. 63-74). Düsseldorf: VDI-Verlag.



Richter, P., Wagner, T., Heger, R., & Weise, G. (1998). Psychophysiological analysis of mental load during driving on rural roads - a quasi-experimental field study. *Ergonomics*, 41(5) 593-609. doi:10.1080/001401398186775

Rickard, N. S. (2004). Intense emotional responses to music: A test of the physiological arousal hypothesis. *Psychology of Music*, 32(4), 371-388. doi:10.1177/0305735604046096

Rist, F. (1998). Psychophysiologische Erforschung des Alters. In F. Rösler (Hrsg.), *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie. Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich C, Theorie und Forschung: Serie 1, Biologische Psychologie Band 5* (S. 403-426). Göttingen: Hogrefe.

Rogé, J., Pébayle, T., Kiehn, L., & Muzet, A. (2002). Alteration of the useful visual field as a function of state of vigilance in simulated car driving. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 5(3), 189-200. doi:10.1016/S1369-8478(02)00017-7

Rogé, J., Pébayle, T., Hannachi, S. E., & Muzet, A. (2003). Effect of sleep deprivation and driving duration on the useful visual field in younger and older subjects during simulator driving. *Vision Research*, 43(13), 1465-1472. doi:10.1016/S0042-6989(03)00143-3

Rogé, J., Pébayle, T., Lambilliotte, E., Spitzenstetter, F., Giselbrecht, D., & Muzet, A. (2004). Influence of age, speed and duration of monotonous driving task in traffic on the driver's useful visual field. *Vision Research*, 44(23), 2737-2744. doi:10.1016/j.visres.2004.05.026

Rohmert, W., & Rutenfranz, J. (1975). *Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen*. Bonn: Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Rohmert, W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 38(4), 193-200.

Rothe, S., & Rötter, G. (2012). Die musikalischen Präferenzen von LKW-Fahrern. Verbundprojekt TU Darmstadt und Daimler AG.

Rösing, H. (1998). Musikgebrauch im täglichen Leben. In H. Bruhn, & H. Rösing (Hrsg.), Grundkurs Musikwissenschaft 2. Teil: Musikalische Lebenswelten (S. 107-129). Reinbek: Rowohlt.

Rötting, M. (2001). Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen. Aachen: Shaker.

Sanpeng, D., Xiaoli, X., Xuecui, Y., & Dehua, M. (2010, May). Research on the driver fatigue monitoring method based on the Dempster-Shafer theory. In Control and Decision Conference (CCDC), 2010 Chinese (pp. 4176-4179). IEEE.

Schandry, R. (1981). Psychophysiologie. Körperliche Indikatoren menschlichen Verhaltens. München: Urban & Schwarzenberg.

Schade, F. D. (2008). Der Kraftfahrer in der zweiten Lebenshälfte: Verkehrsteilnahme und Verkehrsauffälligkeit. In J. Schade & A. Engeln (Hrsg.), Fortschritte der Verkehrspsychologie (S. 51-79). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Scheufler, I. (2006). Qualitative Bestimmung der situativen Fahrerbelastung . 38. BDP-Kongress für Verkehrspsychologie Universität Regensburg, Arbeitsgruppe 7: Verkehr und Information: Die Optimierung des Mobilitätssystems.

Schlag, B. (Hrsg.). (2008). Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter. Köln: TÜV Media GmbH.

Schmitz, C. (2004). Adaptiver Spurverlassenswarner mit fahrerabsichts- und fahrerzustandsabhängiger Warnstrategie. Herzogenrath, Deutschland: Shaker.

Schneider, J. H. (2009). Modellierung und Erkennung von Fahrsituationen und Fahrmanövern für sicherheitsrelevante Fahrerassistenzsysteme (Dissertation). Technische Universität Chemnitz.

Schweizer, G. (2004). Handy weg vom Steuer. *FREIE FAHRT*, 5/6, 62-3.

Seifert, K. (2002). Evaluation multimodaler Computer-Systeme in frühen Entwicklungsphasen (Dissertation). Technische Universität Berlin.

Seifert, K., Rötting, M., & Jung, R. (2001). Registrierung von Blickbewegungen im Kraftfahrzeug. In T. Jürgensohn & K.P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung* (207-228). Berlin: Springer.

Sekuler, R., Bennett, P., & Mamelak, M. (2000) Effects of aging on the useful field of view. *Experimental Aging Research* ,26, 103-120. doi:10.1080/036107300243588

Selye, H. (1956). *The stress of life* (Vol. 5). New York: McGraw-Hill  
Shen, J., Barbera, J., & Shapiro, C. M. (2006). Distinguishing sleepiness and fatigue: focus on definition and measurement. *Sleep medicine reviews*, 10(1), 63-76.

Sloboda, J. A., O'Neill, S. A., & Ivaldi, A. (2001). Functions of music in everyday life: An exploratory study using the Experience Sampling Method. *Musicae scientiae*, 5(1), 9-32. doi:10.1177/102986490100500102

Smart Eye AB (2010). *Smart Eye Pro 5.6 User Manual, Revision 503*. Schweden: Smart Eye AB

Smith, P., Shah, M., & da Vitoria Lobo, N. (2000). Monitoring head/eye motion for driver alertness with one camera. In *Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition, 2000*. (Vol. 4, pp. 636-642). doi:10.1109/ICPR.2000.902999

Sonnleitner, A. (2012). Die physiologische Erfassung des Fahrerzustandes: Der Einfluss von Unaufmerksamkeit des Fahrers auf EEG Parameter und Verhaltensdaten (Dissertation). Universität Düsseldorf.

Spielberger, C. D. (1988). State-Trait Anger Expression Inventory. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, Inc.

Spiessl, W., & Mangold, M. (2010). ALCT - A Methodical Approach Toward Evaluating the Influence of Secondary Tasks during Automated Driving. Proceedings of the European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems. Abgerufen von [http://conference2010.humanist-vice.eu/document/Proceedings/5a\\_Spiessl.pdf](http://conference2010.humanist-vice.eu/document/Proceedings/5a_Spiessl.pdf)

Sprenger, R. (2009). Empirische Forschungsmethoden für die Evaluation visueller Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug (Unveröffentlichte Dissertation). Universität Paderborn, Deutschland.

Strayer, D. L., Drews, F. A., & Crouch, D. J. (2006). A comparison of the cell phone driver and the drunk driver. *Human factors: The journal of the human factors and ergonomics society*, 48(2), 381-391.

Tewes, U. (1992). *Psychologie-Lexikon*. München: R. Oldenbourg Verlag.  
Thayer, R. E. (1978). Toward a psychological theory of multidimensional activation (arousal). *Motivation and Emotion*, 2(1), 1-34.

Thayer, R. E. (1989). *The biopsychology of mood and arousal*. New York: Oxford University Press.

Thoone, M. (2000). Ergonomie als Kernanforderung an Man-Machine-Interfaces im Car Infotainment. *Automotive electronics. Sonderausgabe der Automobiltechnischen Zeitschrift (ATZ) und der motortechnischen Zeitschrift (MTZ)*, 102(Special), 43-7.

Trick, L.M., Toxopeus, R., & Wilson, D. (2010). The effects of visibility conditions, traffic density, and navigational challenge on speed compensation and driving performance in older adults. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1661-1671. doi:10.1016/j.aap.2010.04.005

Turner, M. L., Fernandez, J. E., & Nelson, K. (1996). The effect of music amplitude on the reaction to unexpected visual events. *The Journal of General Psychology*, 123(1), 51-62. doi:10.1080/00221309.1996.9921259

Van Erp, J. B. F., & Van Veen, H. A. H. C. (2004). Vibrotactile in-vehicle navigation system. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 7(4), 247-256. doi:10.1016/j.trf.2004.09.003

Vecchi, T., Albertin, L., & Cornoldi, C. (1999). Self-assessment of everyday spatial memory and performance on memory tasks in old age. *Clinical gerontologist*, 20(3), 57-66. doi:10.1300/J018v20n03\_06

Veltman, J. A., & Gaillard, A. W. K. (1996). Physiological indices of workload in a simulated flight task. *Biological Psychology*, 42(3), 323-342. doi:10.1016/0301-0511(95)05165-1

Verwey, W. B. (2000). On-line driver workload estimation. Effects of road situation and age on secondary task measures. *Ergonomics*, 43(2), 187-209. doi:10.1080/001401300184558

Verwey, W. B., & Veltman, H. A. (1996). Detecting Short Periods of Elevated Workload: A Comparison of Nine Workload Assessment Techniques. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2(3), 270-285. doi:10.1037/1076-898X.2.3.270

Verwey, W. B., & Zaidel, D. M. (1999). Preventing drowsiness accidents by an alertness maintenance device. *Accident Analysis & Prevention*, 31(3), 199-211. doi:10.1016/S0001-4575(98)00062-1

Vollrath, M., & Schießl, C. (2004). Belastung und Beanspruchung im Fahrzeug-Anforderungen an Fahrerassistenz / Stress and strain while driving - demands for driver assistance. VDI-Bericht Nr. 1864 (S. 343-360). Düsseldorf: VDI-Verlag.

Vollrath, M., Briest, S., Schießl, C., Drewes, K., & Becker, U. (2006). Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft F 60, 86. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

Vollrath, M., & Krems, J. (2011). *Verkehrspsychologie. Ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker*. Stuttgart: Kohlhammer.

Warm, J. S., Parasuraman, R., & Matthews, G. (2008). Vigilance requires hard mental work and is stressful. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3), 433-441. doi:10.1518/001872008X312152

Wendel, J. (2007). *Integrierte Navigationssysteme: Sensordaten, GPS und Inertiale Navigation*. München: Oldenbourg Verlag.

Wickens, C. D. (1991). Processing resources and attention. In D. Damos (Ed.), *Multiple task performance* (pp. 3-34). London: Taylor & Francis.

WÜ-StV (1968). *Wiener Übereinkommen: Übereinkommen über den Straßenverkehr*.

Wiesenthal, D. L., Hennessy, D. A., & Totten, B. (2003). The influence of music on mild driver aggression. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 6(2), 125-134. doi: 10.1016/S1369-8478(03)00020-2

Williams, L. J. (1995). Peripheral target recognition and visual field narrowing in aviators and non-aviators. *International journal of aviation psychology*, 5(2), 215-232. doi:10.1207/s15327108ijap0502\_6

Wilson, G.F., & Eggemeier, F.T. (2000). *Mental Workload Measurement*. In *International Encyclopedia of Human Factors and Ergonomics*, Vol. 1 (pp. 504-506). London: Taylor and Francis.

Winner, H., Hakuli, S., & Wolf, G. (Hrsg.) (2009). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (2.Aufl.). Wiesbaden: Vieweg+ Teubner.

Wollenberg, A. (2007). *Musikpsychologie-Die Emotionale Wirkung von Musik*. München: GRIN Verlag.

Wood, J., Chaparro, A., Hickson, L., Thyer, N., Carter, P., Hancock, J., Hoe, A., Le, I., Sahetapy, L. & Ybarzabal, F. (2006). The effect of auditory and visual distracters on the useful field of view: Implications for the driving

task. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 47(10), 4646-4650. doi:10.1167/iov.06-0306

World Health Organization (o.J.). Definition of an older or elderly person. Proposed Working Definition of an Older Person in Africa for the MDS Project. Verfügbar unter <http://www.who.int/healthinfo/survey/ageingdefnolder/en/index.html> [20.09.11].

Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of comparative neurology and psychology*, 18(5), 459-482. doi:10.1002/cne.920180503

Young, M. S., & Stanton, N. A. (2002). Malleable attentional resources theory: a new explanation for the effects of mental underload on performance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 44(3), 365-375. doi:10.1518/0018720024497709

Zeier, H. (1979). Concurrent Physiological Activity of Driver and Passenger when Driving with and without Automatic Transmission in Heavy City Traffic. *Ergonomics*, 22(7), 799-810. doi:10.1080/00140137908924658

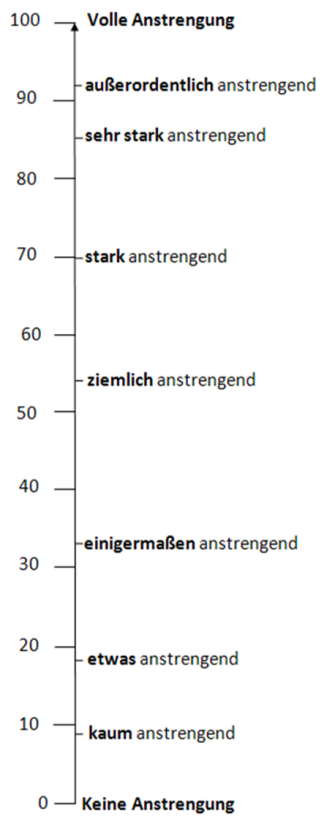
Zhu, Z., & Ji, Q. (2004). Real time and non-intrusive driver fatigue monitoring. In *Proceedings of the 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems* (pp. 657-662). doi:10.1109/ITSC.2004.1398979

Zijlstra, F. R. H. (1993). Efficiency in work behavior. A design approach for modern tools (Dissertation). Delft, Netherlands: Delft University Press.

# 8 Anhang

## 8.1 Anhang A

SEA Anstrengungsskala (Eilers, Nachreiner & Hänecke, 1986) der Studie 1 (transformiert auf 100):





## 8.2 Anhang B

Einverständniserklärung der Studie 1:

**Bezeichnung des Experiments:** Beanspruchungsunterschiede im Verkehr

**Experiment geleitet von:** Dipl. Psych. Katharina Barby; Sebastian Schwerdfeger

**Vertraulichkeit:** Mir wird völlige Anonymität zugesichert. Alle Informationen, die sich auf meine Person beziehen, werden nur den am Experiment mitwirkenden wissenschaftlichen Mitarbeitern zugänglich sein. Nach Auswertung des Experiments werden die Daten (Herzfrequenzdaten, Testsystemdaten, Fragebogen- und Interviewdaten, etc.) so gespeichert und aufbewahrt, dass kein Rückschluss auf meine Person möglich ist. Jederzeit während des Experiments und auch unmittelbar danach kann ich verlangen, dass meine Daten gelöscht bzw. vernichtet werden- auch ohne Angabe von Gründen.

**Freiwilligkeit/ das Experiment abbrechen:** Mit meiner Unterschrift bestätige ich, dass ich freiwillig am oben genannten Experiment als Versuchsperson teilnehmen möchte. Mir ist mitgeteilt worden, dass das Experiment ca. 2,5 Stunden dauern wird. Ich weiß, dass ich jederzeit frei bin, das Experiment abzubrechen.

**Aufklärung:** Nach Beendigung des Experiments bin ich berechtigt, den Hintergrund des Experiments, den Verwendungszweck der Daten und auch die Ergebnisse zu erfahren. Ich weiß auch, dass ich die mir gegebenen Informationen über den Verlauf des Experiments vertraulich behandeln muss und nicht an andere potentielle Versuchspersonen weitergeben darf.

Datum:

Name, Vorname:

Unterschrift:

### 8.3 Anhang C

Schriftliche Instruktion für die Versuchsteilnehmer der Studie 1:

**Liebe/-r Studienteilnehmer/-in,**

vielen Dank für Ihre Teilnahme an dieser verkehrspsychologischen Studie. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, ein System zur Unterstützung des Fahrers zu entwickeln. Mit Ihrer Teilnahme leisten Sie einen aktiven Beitrag zum aktuellen Forschungsgeschehen und helfen, Fahrzeuge noch sicherer zu machen.

**Ablauf der Studie:**

Zunächst bitten wir Sie einen kurzen Fragebogen zu beantworten und einen Test zur Wahrnehmung durchzuführen.

Danach wird Ihnen der Versuchsleiter das EKG- Gerät anlegen. Dazu werden 4 Elektroden an Ihrer Haut angeklebt, die mit einem kleinen tragbaren Gerät verbunden sind.

Im Anschluss gehen Sie gemeinsam mit dem Versuchsleiter zum Fahrzeug. Er wird Sie mit dem Fahrzeug vertraut machen und Sie fahren sich auf dem Universitätsgelände ein.

Dann beginnt die Versuchsfahrt. Der Versuchsleiter sagt Ihnen, wo Sie langfahren sollen. Die Fahrt beträgt ca. eine Stunde, je nach Verkehrsdichte. Zwischendurch wird Sie der Versuchsleiter nach Ihrer Beanspruchung für die zuletzt durchgefahrene Verkehrssituation fragen. Dazu geben dient eine Skala, die Ihnen der Versuchsleiter im Fahrzeug vor der Fahrt erklärt. Fahren Sie so, wie Sie sonst auch immer fahren. Es geht nicht darum, wie gut Sie fahren bzw. wie viele Fahrfehler Sie machen. Nach der Fahrt interviewt Sie der Versuchsleiter noch kurz zu der Fahrt.

**Bitte wenden Sie sich jetzt an den Versuchsleiter.**

## 8.4 Anhang D

Pretestfragebogen für die Versuchsteilnehmer der Studie 1:

Vpn. Nr.

Datum:

### **Sehr geehrter Versuchsteilnehmer,**

vielen Dank, dass Sie sich bereit erklärt haben, an unserer Studie teilzunehmen. Bevor wir beginnen, brauchen wir aus statistischen Gründen einige Angaben zu Ihrer Person. Die Auswertung Ihrer Daten erfolgt selbstverständlich anonym und wird nicht an Dritte weitergegeben.

### **Demographische Angaben:**

- Geburtsdatum: (tt.mm.jjjj)
- Geschlecht: o weiblich o männlich
- Wohnsitz: o Magdeburg o Umgebungsort o anderer Ort
- Wie beanspruchend war ihr heutiger Tag bisher: o Wenig beanspruchend o Mittelmäßig beanspruchend o Sehr beanspruchend

### **Fahrerspezifische Angaben:**

- Wie lange sind Sie bereits im Besitz Ihres Führerscheins? (in Jahre)
- Welchen Fahrzeugtyp fahren Sie privat (z. Bsp. VW Golf, Nissan X-Trail)? o Schaltung o Automatik
- Wie lange fahren Sie üblicherweise auf einer von Ihnen häufig befahrenen Strecke? o bis 30 min o 30-60 min o über 60 min
- Wie viel Kilometer sind Sie in der letzten Woche gefahren? (in km)
- Entspricht dies dem Durchschnitt? o ja o nein, ich fahre ca. km mehr in der Woche o nein, ich fahre ca. km weniger in der Woche

- Wie viel Kilometer sind Sie in diesem Jahr bei längeren Fahrten (Bsp. Urlaub) gefahren? km
- Wie viele Punkte haben Sie in Flensburg? Punkte
- Wie lange fahren Sie schon unfallfrei (im Sinne von selbstverschuldet)? Jahre/ Monate

**Folgende Fragen beziehen sich auf Ihren Gesundheitszustand. Mit Ihren Antworten helfen Sie uns Ihre EKG-Daten besser auswerten zu können.**

- Treiben Sie regelmäßig Sport (mindestens 2x pro Woche)? o ja o nein
- Konsumieren Sie Medikamente, die für Ihr Herz sind? o ja o nein
- Wenn ja, welche?
- Sind Sie Diabetiker? o ja o nein
- Leiden Sie an Stoffwechselerkrankungen? o ja o nein
- Leiden Sie an Herzrhythmusstörungen? o ja o nein
- Tragen Sie einen Herzschrittmacher? o ja o nein
- Tragen Sie eine Brille oder Kontaktlinsen? o Brille o Kontaktlinsen o keines von beiden
- Leiden Sie unter der Lidkrampf Krankheit (Blepharospasmus)? o ja o nein

**Wie sind Sie auf die Studie aufmerksam geworden?**

- Zeitungsartikel Aushänge
- persönliche Ansprache durch die OvGU
- durch Bekannte
- sonstiges

## 8.5 Anhang E

Im Folgenden sind die **18 Verkehrssituationen** mit deren **Kodierung** und deren zugehöriger **Komplexitätsgrad (1-gering, 2-mittel, 3-hoch)** nach Fastenmeier (1995) der Versuchsstrecke der Studie 1 aufgeführt:

1. C6 H0 V0 K2 E0 F0; Vorfahrtsberechtigt, 30-Zone; 1
2. C6 H0 V0 K4 E0 F2; Links Abbiegen an beschilderter Kreuzung, wartepflichtig; 3
3. C5 H0 V0 K1 E1 F0; Zweispurige Hauptstraße, Ampeln, Straßenbahnschienen; 2
4. C1 H1 V1 K4 E0 F0; Ringauffahrt; 3
5. C1 H0 V0 K0 E0 F0; Ringfahrt; 1
6. A1 H1 V1 K4 E0 F0; Autobahnauffahrt; 3
7. A1 H0 V0 K0 E0 F0; Autobahnfahrt A2; 1
8. A2 H0 V0 K0 E0 F0; Autobahnfahrt A14; 1
9. L1 H1 V1 K1 E0 F1; Abfahrt auf B1; 2
10. L1 H0 V1 K0 E0 F0; Fahrt auf B1; 1
11. C6 H0 V0 K2 E0 F0; 30-Zone, rechts-vor-links; 2
12. C6 H0 V0 K3 E0 F0; Hauptstraße 30-Zone; 2
13. C6 H0 V0 K2 E0 F2; Links Abbiegen, 30-Zone; 3
14. C1 H0 V0 K0 E0 F0; Ringfahrt; 1
15. C6 H0 V0 K4 E0 F0; Kreuzung, wartepflichtig; 3

16. C5 H0 V0 K1 E1 F1; Ampelgeregelte Kreuzung, rechts abbiegen, grüner Pfeil; 2
17. C6 H1 V0 K4 E0 F1; Kreisverkehr; 3
18. C6 H0 V0 K1 E0 F1; Ampelgeregelte Kreuzung, rechts abbiegen; 2

## 8.6 Anhang F

Beobachtungsbogen während der Versuchsfahrt für den Versuchsleiter der Studie 1:

Vpn. Nr.

Datum:

Wochentag:

Uhrzeit:

### **Wiener Testsystem:**

- Gesichtsfeld: °
- PR:
- T:
- Rechts: °
- Links: °

### **Sicht:**

- gut (sonnig)
- eher gut (klar)
- mittel (diesig)
- eher schlecht (neblig, regnerisch)
- schlecht (stark neblig)

### **Wetter:**

- trocken
- stürmisch

- nass
- regnerisch
- glatt
- Schnee/Schneefall

**Baseline Anstrengungsskala:**

**Baseline-EKG Messung-Startzeit:** (vor der Fahrt im Fzg. 5min)

**Ruhe-EKG Messung-Startzeit:** (nach der Fahrt im Fzg. 5min)

**Dateiname(n):**

**Zu jeder der 18 Verkehrssituationen wurden folgende Informationen protokolliert:**

- Markierung:
- Startzeit:
- Verkehrsdichte:
- Besonderheiten:
- Beanspruchung:



## 8.7 Anhang G

Postinterview für die Versuchsteilnehmer der Studie 1:

Vpn.Nr.

Datum:

**Wie beansprucht fühlen Sie sich jetzt nach der Fahrt?**

- Nicht beansprucht
- Eher nicht beansprucht
- Teils-teils
- Eher beansprucht
- beansprucht

**Wie beanspruchend fanden Sie die Fahrt insgesamt?** (Skala vorlegen)

**Wie schnell konnten Sie sich an die Bedienung des Autos gewöhnen?**

- sofort
- nach 15 min
- nach 30 min
- nach 45 min
- nach 60 min

**Bitte ordnen Sie die durchfahrenen Verkehrssituationen nach Ihrem subjektiven Empfinden den folgenden Komplexitätsgraden zu.**

- gering komplex:
- mittel komplex:
- stark komplex:

**Welche Verkehrsabschnitte fahren Sie sonst auch häufig?**

**Welche Verkehrsabschnitte fahren Sie sonst eher selten bzw. sind Sie noch nie gefahren?**

**Bei den folgenden Verkehrssituationen fühle ich mich am meisten beansprucht. Bitte zutreffende Verkehrssituationen ankreuzen:**

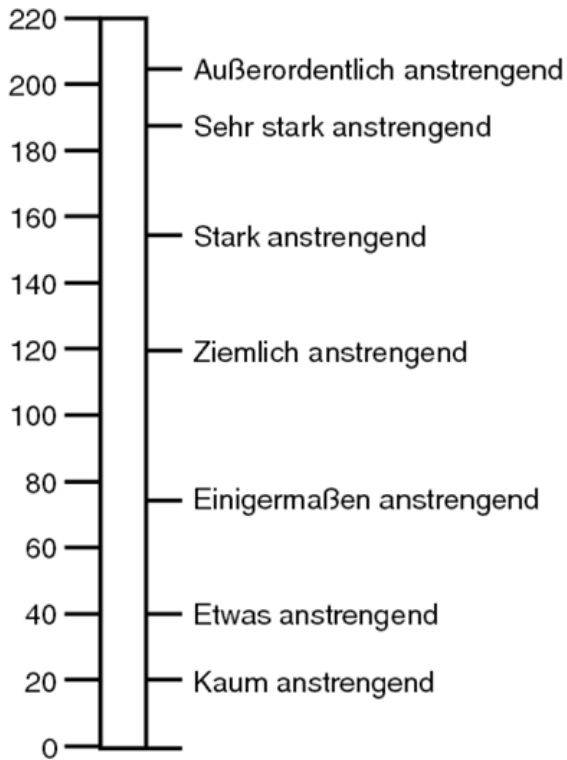
- Beschilderte Kreuzungen ohne Vorrang
- Beschilderte Kreuzungen mit Vorrang
- Autobahnfahrt
- Autobahnauffahrten
- Tangentenfahrt
- Tangentenauffahrten
- Ampelgeregelte Kreuzungen
- Landstraßenfahrt
- breite Beschilderte/ ampelgeregelte Hauptstraße in der Stadt
- Kreisverkehr Einfahrt
- enge Straßen in der Stadt mit Rechts vor Links
- enge Straßen in der Stadt mit Vorrang

**Bitte beantworten Sie ehrlich noch diese letzten Fragen auf einer Skala von "Trifft nicht zu"(1) bis "Trifft zu"(5):**

- Ich halte mich für einen sicheren Fahrer.
- Mit steigendem Alter fühle ich mich zunehmend unsicherer als Autofahrer im Verkehr.

- Ich bleibe auch in beanspruchenden Verkehrssituationen ruhig und entspannt.
- Ich vermeide stark frequentierte Tageszeiten und Verkehrssituationen zum Autofahren.
- Es gibt Verkehrssituationen, die mich mehr beanspruchen als andere.
- Mit zunehmendem Alter werde ich im Autofahren immer geübter und sicherer.

Haben Sie noch Anmerkungen zu dieser Studie?



## 8.8 Anhang H

SEA-Skala der Studie 2 (Eilers, Nachreiner & Hänecke, 1986):

## 8.9 Anhang I

Instruktion der Studie 2:

### **Willkommen zum Experiment im Fahrsimulator**

#### **Instruktion**

Im Folgenden durchlaufen Sie ein Experiment im Fahrsimulator. Sie fahren dabei eine simulierte Landstraße mit einer Geschwindigkeit von etwa 100 km/h ab. Sie werden diese Strecke vier Mal für jeweils ca. sieben Minuten fahren.

Zwischen den Fahrten erhalten Sie einen Fragebogen, welchen Sie bitte zu jedem gefahrenen Abschnitt nach Ihrem subjektiven Empfinden ausfüllen. Ihre Blickbewegungen werden während der gesamten Untersuchung mit einem Blickerfassungsgerät aufgezeichnet. Zusätzlich müssen Sie in drei der vier Fahrten Rechenaufgaben lösen, welche über die Boxen des Fahrsimulators eingespielt werden. Bitte teilen Sie mir das jeweilige Ergebnis verbal mit. Bevor das Experiment beginnt, haben Sie ein paar Minuten Zeit, um sich mit dem Simulator vertraut zu machen.

Ihre Daten werden anonym behandelt.

Einige Personen leiden im Fahrsimulator unter Schwindel oder Übelkeit. Sollte eines dieser Symptome bei Ihnen auftreten, können Sie das Experiment natürlich jederzeit abbrechen.

## 8.10 Anhang J

Fragebogen der Studie 2:

### **Experiment im Fahrsimulator**

Proband:

Datum:

Uhrzeit:

- Bisherige Anstrengung an diesem Tag: o wenig o mittel o stark
- Geschlecht: o männlich o weiblich
- Alter:
- Beruf (Studienrichtung):
- Bildungsgrad (Abschluss):
- Durchschnittliche jährliche Fahrleistung (km/Jahr):
- Führerschein seit (Monat/ Jahr):
- Sehkorrektur: o ja o nein

## 8.11 Anhang K

Finale Musikauswahl der Studie 3:

<b>Titel</b>	<b>Interpret</b>	<b>bpm</b>	<b>Tempokategorie</b>
Un-Break My Heart	Toni Braxton	56	niedrig
Hero	Mariah Carey	60	niedrig
Trouble	Coldplay	69	niedrig
California King Bed	Rihanna	85	mittel
Set Fire To The Rain	Adele	108	mittel
Grenade	Bruno Mars	110	mittel
S&M	Rihanna	128	hoch
You And Me (In My Pocket)	Milow	134	hoch
Hollywood Hills	Sunrise Avenue	138	hoch

## 8.12 Anhang L

Demographischer Fragebogen der Studie 3:

### **Experiment im Fahrsimulator**

- Proband:
- Datum:
- Uhrzeit:

### **Demographische Fragen:**

- Geschlecht: o weiblich o männlich
- Alter:
- Beruf (Studienrichtung):
- Durchschnittliche jährliche Fahrleistung (km/Jahr):
- Führerschein seit (Monat/ Jahr):
- Sehkorrektur: o ja o nein



### 8.13 Anhang M

Instruktion der Teilnehmer aus Studie 3:

#### **Instruktion**

##### **Aufgabe**

Wir führen heute ein Experiment mit Musik durch. Sie werden dabei unter Beachtung der Geschwindigkeitsregeln eine simulierte Landstraße bei Tageslicht befahren. Die Landstraße ist einspurig und hat keine Verzweigungen. Ihre Aufgabe ist es, auf unregelmäßig präsentierte Reize in Form eines kleinen braunen Quadrates zu reagieren. Erscheint ein solcher Reiz in Ihrem Blickfeld, sollen Sie so schnell wie möglich das Bremspedal betätigen und auf unter 50 km/h abbremsen. Anschließend beschleunigen Sie wieder auf eine für die Landstraße angemessene Geschwindigkeit.

##### **Musik**

Während der Fahrt auf der Landstraße werden instrumentale Versionen von Pop-Songs gespielt. Die Lieder bitte nicht mitsingen. Gelegentlich wird auch keine Musik gespielt.

##### **Ablauf**

Zunächst steht Ihnen eine zehnminütige Einfahrzeit zur Verfügung, um den Fahrsimulator kennenzulernen und sich mit der Aufgabe vertraut zu machen. Im Anschluss daran wird das etwa einstündige Experiment stattfinden.

##### **Hinweis**

Manche Menschen leiden im Fahrsimulator an Schwindel und Übelkeit. Sollten diese Symptome bei Ihnen auftreten, können Sie das Experiment jederzeit abbrechen.

## 8.14 Anhang N

Posttestfragebogen der Studie 3:

**In dieser Studie wird der Einfluss der Lautstärke und des Tempos von Musik auf das Fahrverhalten untersucht.**

- Hat Ihrer Meinung nach die Lautstärke von Musik einen Einfluss auf das Fahrverhalten? o ja / o nein
- Wenn ja, welchen?
- Hat Ihrer Meinung nach das Tempo von Musik einen Einfluss auf das Fahrverhalten? o ja / o nein
- Wenn ja, welchen?
- Die Musik wurde in drei verschiedenen Lautstärken präsentiert (leise, mittel/angenehm, laut). Entsprachen diese Lautstärken in etwa denen, wenn Sie im Auto leise, mittel oder laute Musik hören? o ja / o nein
- Wenn nein, beschreiben Sie bitte den Unterschied.
- Hat Ihnen die präsentierte Musik gefallen? o ja o eher ja o eher nein o nein
- Ist Ihnen etwas an dem Experiment aufgefallen? o ja / o nein
- Wenn ja, was war es?

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

## 8.15 Anhang O

Instruktion der Studie 4:

### **Instruktion**

Sie nehmen heute an einem Experiment im Fahrsimulator teil. Ihre Aufgabe wird es sein, die simulierte Strecke nach der geltenden StVO zu befahren. Dabei wird mehrmals für einige Minuten Musik eingespielt werden. Während des Experiments wird Ihnen ein Gerät aufgesetzt, das Ihre Blicke aufzeichnet (Eye-Tracker). Im Allgemeinen stört dieses aber nicht beim Sehen, sodass Sie sich vollkommen auf das Fahren konzentrieren können.

### **Ablauf**

Zunächst füllen Sie bitte einen kurzen Fragebogen aus, der nach der Bekanntheit der Musiktitel fragt. Danach werden wir den Eye-Tracker aufsetzen und auf Ihr Auge einstellen. Dazu werden Sie genauere Anweisungen erhalten. Wenn alles sitzt und Ihre Blicke aufgezeichnet werden können, wird eine zehnmütige Teststrecke angestellt, damit Sie sich an den Fahrsimulator gewöhnen können.

Danach findet das etwa 45-minütige Experiment statt. Über die gesamte Strecke werden Ihre Blicke aufgezeichnet. Am Ende des Experiments, das Ihnen der Versuchsleiter mitteilen wird, können Sie das Fahrzeug abbremsen und stehen lassen. Der Eye-Tracker wird abgenommen und Sie werden noch gebeten, einen letzten Fragebogen auszufüllen.

Ihre Daten werden anonymisiert und nur zu Forschungszwecken ausgewertet. Rückschlüsse auf Ihre Person können also nicht gezogen werden. Ihnen steht frei, das Experiment jederzeit, ohne Angabe von Gründen, abbrechen.

### **Hinweis**

Bei manchen Teilnehmern kommt es während des Fahrens im Fahrsimulator zu Schwindel und Übelkeit. Bitte sagen Sie in diesem Fall sofort Bescheid. Wir werden das Experiment dann abbrechen.

## 8.16 Anhang P

Fragebogen mit Angaben zur Person der Studie 4:

### **Experiment im Fahrsimulator**

Proband:

Datum:

### **Demographische Fragen:**

- Geschlecht: o männlich o weiblich
- Alter:
- Beruf (Studienrichtung):
- Durchschnittliche jährliche Fahrleistung (km/Jahr):
- Führerschein seit (Monat/ Jahr):
- Sehkorrektur: o ja o nein

## 8.17 Anhang Q

Postfragebogen der Studie 4:

**In dieser Studie wird der Einfluss des Tempos von Musik auf die Blickverteilung im Straßenverkehr gemessen.**

- Hat Ihrer Meinung nach das Tempo von Musik einen Einfluss auf das Fahrverhalten? o ja o nein
- Wenn ja, welchen?
- Meinen Sie, dass sich Ihr Blickverhalten (wie viel Landschaft Sie betrachten, wie weit Sie vorausschauen etc.) mit dem Tempo der Musik verändert? o ja o nein
- Wenn ja, wie?
- Hat Ihnen die präsentierte Musik gefallen? o ja o eher ja o eher nein o nein
- Ist Ihnen etwas an dem Experiment aufgefallen? o ja o nein
- Wenn ja, was?

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!