

# **Gestaltung zeit- und sicherheitskritischer Warnungen im Fahrzeug**

vorgelegt von  
Diplom-Psychologin  
Nicola Fricke  
aus Berlin

Von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme  
der Technischen Universität Berlin  
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Ingenieurwissenschaften  
- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss

Vorsitzender: Prof. Dr. phil. Dietrich Manzey

Gutachter: Prof. Dr. phil. Manfred Thüring

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Matthias Rötting

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 03.07.2009

Berlin 2009

D 83



## DANKSAGUNG

Eine Reihe von Personen hat zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen, denen ich auf diese Weise meine Anerkennung ausdrücken möchte.

Zuerst möchte ich mich bei meinen beiden Betreuern, Prof. Dr. Manfred Thüring und Dr. Mónica De Fillippis, bedanken. Sie haben mir stets fachlich kompetent zur Seite gestanden und mit ihren Ideen und Ratschlägen wesentlich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen. Ebenso wertvoll waren die regelmäßigen Doktorandentreffen bei Prof. Dr. Matthias Rötting, die zu hilfreichen Anregungen und Denkanstößen führten.

Alle Beteiligten des Graduiertenkollegs Prometei (Prospektive Gestaltung der Mensch-Technik Interaktion) haben zudem sowohl inhaltlich als auch organisatorisch unterstützend gewirkt. Ganz besonders danken möchte ich hierbei Sascha Mahlke und Anne Klostermann, die in besonderem Ausmaße durch Diskussionen und Verbesserungsvorschläge zum Gedeihen dieser Arbeit beigetragen haben. Cordula Krinner und Jürgen Kiefer danke ich für die vielen Gespräche, Kaffeepausen und Stunden des gemeinsamen Leidens. Jasmin Hannighofer danke ich ganz herzlich für die Unterstützung bei den Laborstudien und das verantwortungsvolle Korrekturlesen dieser Ausarbeitung.

Diese Arbeit ist durch ein Kooperationsprojekt mit der Volkswagen Konzernforschung entstanden. Herzlicher Dank gebührt Dr. Miklós Kiss. Für die unermüdliche technische Unterstützung in der Vorbereitung der Studien möchte ich mich ganz besonders bei Gordon Seitz bedanken.

Schließlich danke ich meiner Familie und meinen Freunden für die treue Begleitung und Unterstützung.

## Zusammenfassung

Heutige Fahrzeuge beinhalten eine Reihe technischer Unterstützungsangebote, die dem Fahrer bei der Ausführung seiner Fahraufgabe und weiteren Nebentätigkeiten assistieren. In der Interaktion mit diesen Systemen können jedoch erhebliche Probleme auftreten, vor allem im Zusammenspiel der verschiedenen Funktionen. Besonders für zeit- und sicherheitskritische Information, wie z. B. bei Kollisionswarnungen, ist es unbedingt erforderlich, dass derartige Meldungen informativ, aber auch einfach und schnell wahrnehmbar sind. Nur so kann ein Fahrer zu einer schnellen und angemessenen Handlung auf ein kritisches Ereignis vorbereitet werden. Das Ziel dieser Arbeit besteht deshalb in der Gestaltung und angemessenen Evaluation von Warnungen, die diesen Kriterien genügen.

Es wurde ein Ansatz gewählt, der sich als „semantische Anreicherung“ beschreiben lässt. Dies bedeutet, dass eine Warnung über die Art und die räumliche Positionierung einer Gefahr informiert. In zwei Fahrsimulatorstudien wurden Warnalternativen untersucht, die diese Informationsaspekte beinhalteten. Der Fokus der ersten Studie lag auf der akustischen Warnungspräsentation mit Hilfe räumlicher Auditory Icons. Diese kontextbezogenen Geräusche sollen durch ihre starken Assoziationsfähigkeiten zum Ereignis, in diesem Falle zur Gefahr, sowie die potentiell möglichen Handlungen sehr schnelle Reaktionen ermöglichen. Die zusätzliche räumliche Information des Präsentationsortes wurde als möglicher Vorteil im Sinne eines Spatial-cueing-Effekts gesehen. Diese Warnvarianten wurden in relevanten Kollisionsszenarien mit einem räumlichen Ton und einem unpositionierten Ton verglichen, eine Bedingung ohne Warnung wurde ebenfalls integriert. Zur angemessenen, d. h. realitätsnäheren Evaluation von zeit- und sicherheitskritischen Warnungen wurde die Instruktion für die Studie so gewählt, dass die Probanden nicht über die Bedeutungen der Warnungen informiert wurden. Dies stellt einen wesentlichen Unterschied zur bisherigen Forschung in diesem Anwendungsbereich dar.

Die Ergebnisse dieser Studie konnten *keinen* Vorteil der räumlichen Auditory Icons in den Bremsreaktionszeiten oder der Anzahl an Kollisionen aufzeigen. Ebenso konnte von den Teilnehmern keine bewusste Wahrnehmung der räumlichen Positionierung der Quellen angegeben werden.

Aus den Resultaten der ersten Studie wurde für eine zweite Untersuchung der Schluss gezogen, nur zwei weitere relevante Untersuchungsszenarien zu verwenden, um Lerneffekte zu verhindern. An der Präsentation von Auditory Icons zur Übermittlung der Identität einer Gefahr wurde weiterhin festgehalten. Allerdings wurde in der zweiten Studie eine LED-Leiste verwendet, die unterhalb der Windschutzscheibe angebracht war und über 5 cm große, rot

aufleuchtende Segmente die Position der Gefahr angab. In der Studie wurden ein Geräusch oder ein Ton entweder alleine oder in Kombination mit der LED-Leiste dargeboten.

Die Ergebnisse dieser Studie konnten einen Vorteil der visuell-akustischen Warnungspräsentation in Form von kürzeren Bremsreaktionszeiten liefern, für ein Frontal-Kollisionsszenario zeigte sich zudem ein Vorteil eines Bremsgeräusches gegenüber der Darbietung eines einfachen Tons.

Diese Arbeit legt nahe, dass eine „semantische Anreicherung“ einer Warnung in Form eines Geräusches und einer visuellen LED-Leiste zu positiven Effekten in zeit- und sicherheitskritischen Situationen führt. Weiterhin wurde deutlich, dass es besonders wichtig ist, sinnvolle Warn-Konfigurationen herauszuarbeiten, die zu der jeweiligen Gefahrensituation und den damit verbundenen Erwartungen eines Fahrers passen. Nur durch eine derartige Warnungsgestaltung kann sichergestellt werden, dass die Warnung alarmiert, informiert und auf eine geeignete Handlung vorbereitet.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>GEGENSTANDSBEREICH</b>	<b>8</b>
1.1	Forschungsziele	10
1.2	Aufbau der Arbeit	10
<b>2</b>	<b>ASSISTENZSYSTEME IM FAHRZEUG</b>	<b>12</b>
	<i>Exkurs: Technologische Voraussetzungen für Fahrerassistenzsysteme</i>	<i>13</i>
2.1	Definitionen	14
2.2	Warntypen im Fahrzeug	15
2.3	Zusammenfassung	17
<b>3</b>	<b>GESTALTUNG SEMANTISCH ANGEREICHERTER WARNUNGEN</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>THEORETISCHER HINTERGRUND</b>	<b>22</b>
4.1	Das C-HIP Modell	22
4.2	Direkte Wahrnehmung und Erfassen von Ereignissen	24
4.3	Everyday Listening	25
4.4	Assoziationen zwischen Signal und Bedeutung	27
4.5	Spatial cueing: visuell, auditiv, taktil und crossmodal	28
	<i>Exkurs: Akustische Lokalisation</i>	<i>29</i>
	<i>    Horizontale und vertikale Lokalisation</i>	<i>30</i>
	<i>    Distanzwahrnehmung</i>	<i>31</i>
4.6	Zusammenfassung	32
<b>5</b>	<b>MODALITÄTSBEZOGENE INFORMATIONSPRÄSENTATION</b>	<b>33</b>
5.1	Visuelle Warnungen	34
5.2	Akustische Warnungen	36
5.2.1	<i>Verbale Warnungen</i>	<i>36</i>
5.2.2	<i>Nonverbale Warnungen</i>	<i>37</i>
5.2.3	<i>Empirische Befunde</i>	<i>39</i>
5.3	Haptische Warnungen	42
5.4	Uni-/Multimodale Warnungen	43
5.5	Zusammenfassung	45
<b>6</b>	<b>FAZIT FÜR EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGEN</b>	<b>46</b>
6.1	Auswahl der Untersuchungsmethoden	47
6.1.1	<i>Laborstudie vs. Fahrimulator vs. Realfahrt</i>	<i>47</i>
6.1.2	<i>Vorgehen</i>	<i>49</i>
6.2	Zusammenfassung	50
<b>7</b>	<b>VORBEREITUNG DER HAUPTSTUDIEN</b>	<b>51</b>
7.1	Laborstudie 1	51
7.1.1	<i>Methodik</i>	<i>51</i>
7.1.2	<i>Ergebnisse</i>	<i>52</i>

<b>7.2</b>	<b>Laborstudie 2</b>	<b>55</b>
7.2.1	Methodik	56
7.2.2	Ergebnisse	57
<b>7.3</b>	<b>Laborstudie 3</b>	<b>61</b>
7.3.1	Methodik	61
7.3.2	Ergebnisse	63
<b>7.4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>HAUPTSTUDIE 1</b>	<b>66</b>
<b>8.1</b>	<b>Methodik</b>	<b>66</b>
8.1.1	Versuchsdesign	66
8.1.2	Unabhängige Variable	67
8.1.3	Abhängige Variablen	67
8.1.4	Szenarioentwicklung	67
8.1.5	Material	69
8.1.6	Versuchsablauf	70
8.1.7	Hypothesen	71
8.1.8	Stichprobe	72
<b>8.2</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>73</b>
8.2.1	Anzahl der Kollisionen	74
8.2.2	Bremsreaktionszeit und Abstand zum Kollisionsobjekt	74
8.2.2.1	Szenario 1: Sichtbehinderung I	74
8.2.2.2	Szenario 2: Stau I	75
8.2.2.3	Szenario 3: Rechts Abbiegen	75
8.2.2.4	Szenario 4: Sichtbehinderung II	76
8.2.2.5	Szenario 5: Geparkte Autos	76
8.2.2.6	Szenario 6: Stau II	77
8.2.2.7	Gesamtübersicht	77
8.2.3	Auswertung von Reaktionsmustern	80
8.2.4	Akzeptanzfragebogen	81
8.2.5	Interview	82
<b>8.3</b>	<b>Diskussion der Hauptstudie 1</b>	<b>83</b>
<b>8.4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>87</b>
<b>9</b>	<b>HAUPTSTUDIE 2</b>	<b>88</b>
<b>9.1</b>	<b>Methodik</b>	<b>88</b>
9.1.1	Versuchsdesign	88
9.1.2	Unabhängige Variablen	88
9.1.3	Abhängige Variablen	89
9.1.4	Szenarioentwicklung	89
9.1.5	Material	91
9.1.6	Versuchsablauf	92
9.1.7	Hypothesen	92
9.1.8	Stichprobe	93
<b>9.2</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>94</b>
9.2.1	Anzahl der Kollisionen	94
9.2.2	Bremsreaktionszeit und Abstand zum Kollisionsobjekt	96
9.2.2.1	Fahrradszenario	96
9.2.2.2	Autoszenario	100
9.2.2.3	Gesamtübersicht	103

9.2.3	Akzeptanzfragebogen	103
9.2.4	<i>Interview</i>	104
<b>9.3</b>	<b>Diskussion der Hauptstudie 2</b>	<b>107</b>
<b>9.4</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>110</b>
<b>10</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>112</b>
<b>10.1</b>	<b>Gestaltungsvarianten für Kollisionswarnungen</b>	<b>112</b>
10.1.1	<i>Ist Information über eine Gefahrenquelle hilfreich für eine angemessene und schnelle Reaktion in einer kritischen Fahrsituation?</i>	112
10.1.2	<i>Wie wird diese Information am besten übermittelt?</i>	115
10.1.3	<i>Kann diese Information wahrgenommen werden?</i>	116
<b>10.2</b>	<b>Beitrag zur Beurteilung von Kollisionswarnungen in frühen Phasen der Systementwicklung</b>	<b>117</b>
10.2.1	<i>Schwächen bisheriger Studien</i>	118
10.2.2	<i>Vorgehen zur angemessenen Evaluation zeit- und sicherheitskritischer Warnungen</i>	119
	<b>LITERATUR</b>	<b>122</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>133</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>135</b>
	<b>ANHANG</b>	<b>137</b>
	<b>Anhang A: Einzelvergleiche der Reaktionszeiten aus Laborstudie 2</b>	<b>138</b>
	<b>Anhang B: Einzelvergleiche der Ratings der Typikalität und der Dringlichkeit aus Laborstudie 2</b>	<b>141</b>
	<b>Anhang C: Bilder aus Hauptstudie 1</b>	<b>147</b>
	<b>Anhang D: Instruktion vor der Simulatorübung aus Hauptstudie 1</b>	<b>152</b>
	<b>Anhang E: Instruktion nach der Simulatorübung aus Hauptstudie 1</b>	<b>153</b>
	<b>Anhang F: Demografie-Fragebogen aus Hauptstudie 1 und 2</b>	<b>154</b>
	<b>Anhang G: Aufgaben aus dem Fahrsimulator-Training vor Hauptstudie 1 und Hauptstudie 2</b>	<b>156</b>
	<b>Anhang H: Akzeptanzfragebogen aus Hauptstudie 1 und 2</b>	<b>157</b>
	<b>Anhang I: Abschlussinterview aus Hauptstudie 1</b>	<b>158</b>
	<b>Anhang J: Abschlussinterview aus Hauptstudie 2</b>	<b>159</b>
	<b>Anhang K: Bilder aus Hauptstudie 2</b>	<b>160</b>
	<b>Anhang L: Korrelationen der Kovariaten im Fahrradszenario</b>	<b>162</b>
	<b>Anhang M: Korrelationen der Kovariaten im Autoszenario</b>	<b>163</b>

# 1 GEGENSTANDSBEREICH

Mit der immer weiter voranschreitenden Technologisierung des Fahrzeugcockpits und der Zunahme an Komfort- und Sicherheitsvorrichtungen werden einerseits Verbesserungen der Mensch-Technik-Interaktion im Fahrzeug erreicht, es treten jedoch auch zusätzliche Probleme und Gefahren auf (Färber, Färber, & Schmitt, 2002). Dies entsteht vor allem durch den massiv gestiegenen Informationsaustausch im Mensch-Maschine-System Fahrer-Fahrzeug. Insbesondere die steigende Anzahl an Unterstützungs- und Assistenzfunktionen, die Information und Hinweise an den Fahrer ausgeben, können irritieren oder sogar ablenken. Dies ist umso problematischer, je mehr unterschiedliche Systeme mit dem Fahrer kommunizieren, da der Fahrer die Systemmeldungen identifizieren und voneinander abgrenzen muss. Besonders bei sicherheitskritischen Unterstützungssystemen ist dies kritisch, da die eigentlich als Hilfe intendierte Mitteilung für den Fahrer zu einer zusätzlichen Belastung werden kann. Die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrzeug und die Entwicklung sinnvoller Bedienkonzepte ist deshalb notwendig, um eine Erhöhung von Komfort und Sicherheit zu erreichen und den Fahrer wirklich zu unterstützen (Wolf, Zöllner, & Bubb, 2005).

Ein großes Problem der Vielzahl von kommunizierenden Systemen wie Fahrerinformations- und Kommunikationssystemen, Fahrerassistenzsystemen und Sicherheitssystemen sind die vielen verschiedenen Meldungen, die an den Fahrer ausgegeben werden. Beispiele dafür sind Navigationshinweise, Fehlermeldungen oder Warnhinweise. Sicheres Fahren wird nur gefördert, wenn der Fahrer zu jeder Zeit in der Lage ist, diese Information zu verstehen und voneinander zu unterscheiden. Dies gilt sowohl bei Fahrten mit niedrigem Belastungslevel, wie z. B. bei eintönigen, monotonen Landstraßenfahrten, aber auch bei höher belastenden Fahrten, wie z. B. Stadtfahrten oder in Situationen, in denen sich der Fahrer mit einer Zweitaufgabe beschäftigt. Vor allem im Bereich der Sicherheits- und Warnsysteme ist es zusätzlich von zentraler Bedeutung, die Interaktion zwischen System und Fahrer zu unterstützen, da jegliche unangemessene oder gar ausbleibende Aktion auf eine Meldung Personen und andere Verkehrsteilnehmer gefährdet und zu Schaden führen kann.

Vor diesem Hintergrund ist es außerordentlich wichtig, bereits in sehr frühen Stadien der Systementwicklung diverse Komponenten von Unterstützungssystemen auf ihre Nützlichkeit in sicherheitskritischen Kontexten zu testen, um zu verhindern, dass Probleme erst in der Nutzungsphase auftreten. Diese vorausschauende Evaluation (Reinhart, Lindemann, & Heinzl, 1996) ist weiterhin von Vorteil, da Änderungen an Systemkomponenten in frühen Phasen der Systementwicklung einfacher und kostengünstiger sind als spätere Eingriffe im

Entwicklungszyklus eines Produkts (Reinhart, et al., 1996; Timpe, Jürgensohn, & Kohlrep, 2002) (siehe Abbildung 1).

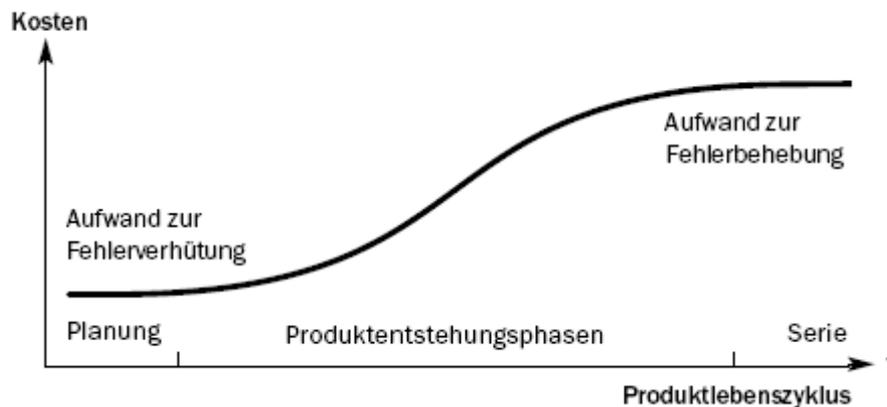


Abbildung 1: Änderungskosten im Produktlebenszyklus (Timpe, et al., 2002)

Neben dem Aspekt der prospektiven Gestaltung ist es weiterhin bedeutsam, dass die Komponenten sicherheitskritischer Systeme in angemessenen Untersuchungsszenarien evaluiert werden. Dies ist besonders wichtig, da kritische Fahrsituationen, in denen eine Warnung auftritt, äußerst seltene Ereignisse darstellen. Dadurch ist ein Fahrer zu einem Zeitpunkt mit einer Warnung konfrontiert, an dem er wahrscheinlich nicht mehr erinnert, in welcher Art das Warnsystem bestimmte Meldungen ausgibt und was diese bedeuten. Deshalb ist es wichtig, Untersuchungsszenarien zu verwenden, in denen der Proband in einer ökologisch validen Art und Weise mit den Warnungen konfrontiert wird. In den meisten Studien, die Warnungen im Fahrzeugkontext untersucht haben, sind die erzeugten Situationen sehr künstlich, da den Versuchsteilnehmern vorgegeben wurde, was bei einem Auftreten der Warnung zu tun ist. Ein Beispiel ist eine Studie, in der vibrotaktile Warnsignale untersucht wurden (Ho, Reed, & Spence, 2006). Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass diese Signale zu schnellerem Entdecken und Reagieren auf eine potentielle Kollision führen. Allerdings wurden die Teilnehmer in dieser Studie direkt über die Art der Darbietung der Information und deren Bedeutung unterrichtet. In diesem Fall wurde die Richtung einer potentiellen Gefahr angegeben und die Probanden sollten beim Auftreten der Warnung den vorderen und hinteren Spiegel überprüfen und eine angemessene Fahrreaktion zeigen. Ein derartiges Vorgehen erzeugt Reaktionen, die nicht natürlich sind und die ohne diese direkte Instruktion ganz anders ausfallen könnten (Tunnel, 1977). Aufgrund solcher vereinfachten Situationen kann man nicht ohne weiteres auf gleiche Effekte in realistischen Situationen schließen. Stattdessen sollte eine Untersuchung in natürlicheren Situationen stattfinden, da dies zu bedeutungshaltigeren Ergebnissen führt (Tunnel, 1977).

## **1.1 Forschungsziele**

Für diese Arbeit lassen sich zwei Forschungsziele ableiten.

### **1. Ableitung von Gestaltungsvarianten für zeit- und sicherheitskritische Warnungen**

Im Bereich der Fahrzeugwarnungen liegen zwar einige Erkenntnisse zum effektiven Warnungsdesign vor, der Bereich der Kollisionswarnungen ist jedoch noch nicht erschöpfend untersucht. Diese Art von Warnung ist außerordentlich wichtig, da sie in besonders zeit- und sicherheitskritischen Situationen auftritt und hier eine äußerst schnelle und angemessene Reaktion des Fahrzeugführers erzeugt werden muss, um das höchste Ziel verkehrspsychologischer Forschung, die Unfallprävention, zu erreichen.

### **2. Beitrag zur Beurteilung von Kollisionswarnungen in frühen Phasen der Systementwicklung**

Es sollen Untersuchungsszenarien generiert werden, die für eine Beurteilung von Kollisionswarnungen in frühen Phasen der Systementwicklung geeignet sind. Dies bezieht sich in besonderem Maße auf die Szenariengestaltung in der Untersuchungsumgebung des Fahrsimulators. Hier hat sich in bisherigen Studien gezeigt, dass es nicht unbedingt ausreicht, möglichst realistische Simulationen zu verwenden, sondern dass auch die einzelnen Szenarien der Untersuchung möglichst realistisch sein sollten. Des Weiteren sollten die Kollisionswarnungen durch eine angemessene Instruktion der Versuchsteilnehmer evaluiert werden, damit eine Abschätzung der Effekte auch für natürlich auftretende Situationen vorgenommen werden kann. Hierdurch soll verhindert werden, dass in einer Untersuchungssituation Verhalten erzeugt wird, das nur durch die Instruktion in der Studie selbst entstanden ist und andernfalls in tatsächlichen Situationen nicht auftreten würde. Prinzipiell soll eine sinnvolle Vorgehensweise entwickelt werden, die die Evaluation derartiger zeit- und sicherheitskritischer Warnungen ermöglicht.

## **1.2 Aufbau der Arbeit**

In Kapitel 2 wird eine Einführung in das Themengebiet sowie die Terminologie und Definitionen im Bereich der Assistenzsysteme und Warnungen gegeben. Im Anschluss wird der Ansatz der semantisch angereicherten Warnungen vorgestellt, der in der vorliegenden Arbeit für die Gestaltung der Warnungen im Fahrzeugkontext gewählt wurde. Das Kapitel 4 liefert theoretische Ausführungen zu Informationsverarbeitungsansätzen und Konzepten, die für die Gestaltung der Warnmeldungen von Bedeutung sind, sowie einen Exkurs zur Lokalisationsfähigkeit des Menschen. Hierauf aufbauend werden in Kapitel 5 alternative

Präsentationsmöglichkeiten und Umsetzungen der Warnungen dargestellt und diskutiert, die zur Ableitung von empirischen Untersuchungsfragen führen. In Kapitel 6 werden die Schlussfolgerungen für die empirischen Studien sowie die verwendete Untersuchungsmethode dargestellt, bevor ab Kapitel 7 die Laborversuche zur Auswahl des Reizmaterials für die Hauptstudien berichtet werden. Kapitel 8 enthält die Darstellung der ersten Hauptstudie, deren Ergebnisse und Schlussfolgerungen als Basis für die zweite Hauptstudie in Kapitel 9 dienen. In Kapitel 10 folgt eine allgemeine Diskussion der Befunde aus den beiden Simulatorstudien und es wird ein Ausblick auf potentiell nachfolgende Forschung gegeben.

## 2 ASSISTENZSYSTEME IM FAHRZEUG

Die Art der Unterstützung, die von Assistenzsystemen ausgeht, kann in verschiedene Bereiche unterteilt werden. In Abbildung 2 ist der Zusammenhang zwischen der Art des Assistenzsystems und dem unterstützten Aspekt in der menschlichen Informationsverarbeitung dargestellt.

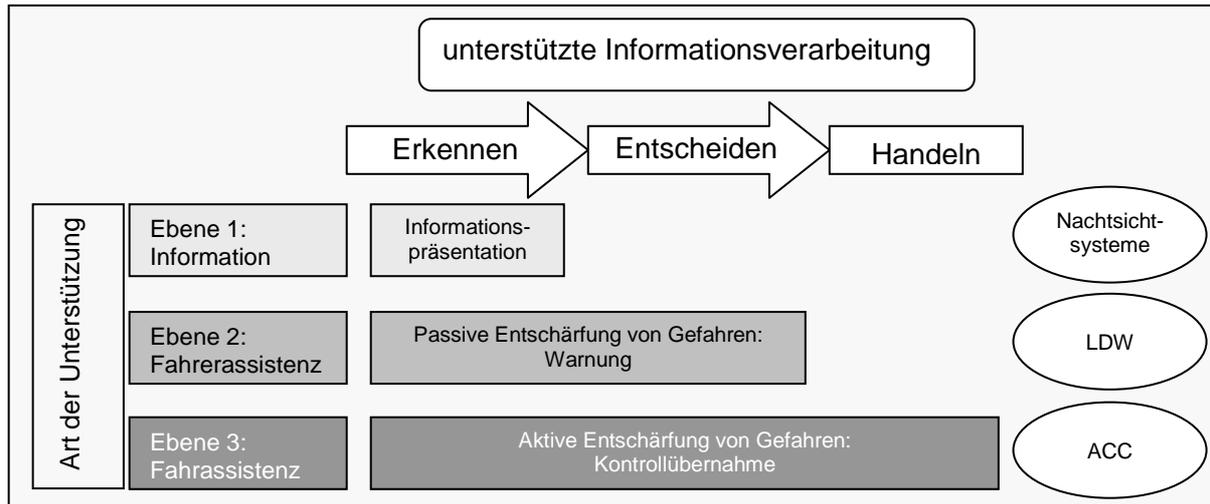


Abbildung 2: Einteilung von Unterstützungssystemen im Fahrzeug (Fricke, De Filippis, & Thüring, 2008).

So kann beispielsweise bei der reinen Informationspräsentation assistiert werden, wie es z. B. bei Nachtsichtsystemen der Fall ist (siehe Abbildung 2, Ebene 1). Eine weitere Möglichkeit wäre, dem Fahrer Hilfe zur Entscheidung über die richtige Reaktion zu geben, wie z. B. bei Lane-Departure-Warnsystemen (LDW). Dieser Bereich lässt sich durch **Fahrerassistenz** charakterisieren, da dem Fahrer in der Ausführung der Tätigkeit des Autofahrens assistiert wird (siehe Abbildung 2, Ebene 2). Letztlich kann auch ein direkter Eingriff in die ausgeführte Handlung durch **Fahrassistenz** vollzogen werden, wie z. B. bei Adaptive-Cruise-Control (ACC) (siehe Abbildung 2, Ebene 3).

Die Begrifflichkeiten betonen hierbei, ob der Schwerpunkt der Unterstützung darin liegt, den Fahrer zu unterstützen, der jedoch die Fahraufgabe selbst ausführt (**passive Fahrerassistenz**), oder ob das System direkt in die Fahrdynamik des Fahrzeugs eingreift (**aktive Fahrassistenz**) (siehe Abbildung 2 sowie Knoll, 2003). Je nach Ausprägung der Assistenz und umgesetzter Automatisierungsstufe des Systems werden somit unterschiedliche Aspekte bei der Aufgabe der Führung eines Kraftfahrzeuges unterstützt. Auf Ebene eins und zwei der Einteilung wird zudem die Art der Information unterschieden, die durch das System übermittelt werden kann: Die Bezeichnung Fahrerassistenzsystem wird verwendet, wenn es sich um fahrrelevante Unterstützung oder Information handelt, die ein

Fahrer für die Erledigung der Aufgaben der Fahrzeugführung, Navigation, Bahnführung und Stabilisation benötigt (Bernotat, 1970; Donges, 1978), wohingegen von Fahrerinformations- und Kommunikationssystemen gesprochen wird, wenn die Unterstützung nicht direkt mit der Fahraufgabe zusammenhängt (Färber, 2005; Niehsen, Garnitz, Weilkes, & Stämpfle, 2005). Fahrrelevante Information wäre z. B. die Anzeige der Geschwindigkeit, im Gegensatz zu der Anzeige des Radiosenders, was eine Anzeige von Fahrerinformation darstellt.

Assistenzsysteme werden zudem noch unterschieden in **Komfortsysteme**, die den Fahrer in speziellen Situationen unterstützen, wie es z. B. bei der Einparkhilfe der Fall ist, und **Sicherheitssysteme**, die in Situationen aktiv werden, in denen eine Gefährdung des Fahrzeugführers vorliegt (Kopf, Farid, & Steinle, 2004). Sicherheitssysteme werden unterteilt in Systeme der **aktiven** Sicherheit, die der Unfallvermeidung dienen, wie z. B. Warnsysteme, und Systeme der **passiven** Sicherheit, deren Fokus auf einer Verringerung der Unfallfolgen liegt, wozu z. B. der Anschnallgurt zählt (Niehsen, et al., 2005; Reichart & Haller, 1995).

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Gestaltung von Warnungen, die in den Bereich der passiven Fahrerassistenz (siehe Ebene 2 in Abbildung 2) von Systemen der aktiven Sicherheit fallen.

### **Exkurs: Technologische Voraussetzungen für Fahrerassistenzsysteme**

Technologische Möglichkeiten und Beschränkungen können die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen beeinflussen. Für die Gestaltung von Kollisionswarnsystemen gibt es einige Technologien, die eine sensorische Umfelderkennung erlauben und die jeweils Vor- und Nachteile mit sich bringen (Wisselmann, Gresser, Spannheimer, & Bengler, 2004):

- Radar-Sensoren: messen Abstände und Relativgeschwindigkeiten direkt, laterale Positionen indirekt und ungenau,
- Lidar-Sensoren (Light Detection and Ranging): Ortsbestimmung mittlerer Genauigkeit ist möglich,
- Videokamera: laterale Positionen mit Kameras genau messbar, Abstände aber nur schätzbar,
- Wärmebildkameras: Vorteile bei Nacht und bei der Erkennung von Lebewesen,
- Ultraschall: hohe Genauigkeit im Ultranahebereich,
- GPS in Verbindung mit digitalen Karten: liefert Hinweise auf den Fahrzeugeigenzustand.

Generell gibt es drei typische Sensorklassen für zukünftige Fahrerassistenzsysteme: Bildverarbeitung, Radar und Laser (Dang, Hoffmann, & Stiller, 2005). Angestrebt wird eine

Sensordatenfusion, um die Vorteile der einzelnen Technologien zu kombinieren und ein optimales Zusammenwirken zu erzielen.

Eine neuerer Ansatz ist die vernetzte Umfeldwahrnehmung (Stiller, 2005): Hier wird der Wahrnehmungsbereich eines Fahrzeugs durch Fahrzeugkommunikation erheblich erweitert. Statische Information wird mit dynamischer Information verbunden, die mit anderen Sensorsystemen ausgetauscht wird. Dadurch erhalten sämtliche Teilnehmer Informationen aus einem erweiterten, telematischen Wahrnehmungsbereich von mehreren hundert Metern. Hierüber lässt sich sogar der „Blick um Kurven“ realisieren.

Durch Sensordatenfusion von Navigationsinformation (Koordinaten, Straßennamen ...), dynamischen Autosensoren (Geschwindigkeit der Räder, Lenkposition ...), Kameras (Objekte, Hindernisse, Spur ...) sowie Radar (Objekte, Geschwindigkeiten, Distanzen ...) sind die folgenden Klassifikationen möglich (Zittlau, 2004):

- Objekt-Klassifikation: Pfosten, Auto, Fußgänger ...,
- Objekt-Eigenschaften: Position, Geschwindigkeit,
- Unfall-Vorhersage: Wahrscheinlichkeit, Zeit bis zu Kollision ...

Durch die genannten Technologien ist es möglich Objekte zu erfassen und zu identifizieren. Hierdurch können Gefahren sichtbar gemacht werden, die ein Fahrer sensorisch noch nicht erfassen kann, da er z. B. nicht um die Kurve schauen kann. Die Ausführungen bilden die technologische Voraussetzung für die Entwicklung von Gestaltungsvarianten für Warnsysteme.

## 2.1 Definitionen

Im Bereich der Human Factors Forschung ist ein maßgebliches Ziel die Reduzierung von Unfällen und die Erhöhung der Sicherheit und Gesundheit von Menschen (Sanders & McCormick, 1993). In diesem Sinne ist das übergeordnete Ziel sowohl eines Alarms als auch einer Warnung die Erhöhung der Sicherheit (Laughery & Hammond, 1999). Im Fahrzeugkontext muss eine weitere Abgrenzung der verschiedenen Warnungstypen vorgenommen werden. Der Unterschied zwischen einem Alarm und einer Warnung liegt im Prinzip in der Komplexität des Signals: Ein Alarm hat nur die grundlegende Aufgabe, die Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen (Haas & Edworthy, 2006), wohingegen eine Warnung so gestaltet ist, dass Personen, die dem Produkt oder der Situation ausgesetzt sind, zusätzliche Information erhalten (Edworthy & Adams, 1996). Das Wort „Alarm“ selbst ist sehr alt und bezeichnete früher ein Signal, das nur in einer bestimmten Situation auftreten konnte (Stanton, 1994). Es gab keine Interpretationsschwierigkeiten, da die Bedeutung sowie die

Handlungskonsequenzen eindeutig waren. Heute sind die Situationen jedoch komplexer und es gibt mehrere Gründe, weshalb ein Signal sowie eine größere Anzahl an möglichen Reaktionen auftreten kann. Die ursprüngliche Funktion eines Alarms ist jedoch eine unspezifische Alarmierung bzw. die Ausrichtung der Aufmerksamkeit einer Person.

Definitionen aus Anwendungsdomänen, wie Flugführung oder auch Fahrzeugführung, betonen zwei Funktionen einer Warnung, nämlich einmal die Alarmierung darüber, dass eine gefährliche Situation aufgetreten ist und dass die Aufmerksamkeit auf dieses Problem gerichtet werden muss (Selcon, 1999). Die zweite Funktion einer effektiven Warnung ist das möglichst schnelle Informieren über die Natur der gefährlichen Situation. Eine Warnung besitzt demnach sowohl eine **Alarmierungsfunktion** als auch eine **Informationsfunktion**.

## 2.2 Warntypen im Fahrzeug

Im Fahrzeug gibt es Meldungen, die eine sofortige Reaktion des Fahrers erfordern, aber auch Hinweise, die nicht so zeitkritisch sind. Zur Abgrenzung zeitrelevanter Warnungen gegenüber sicherheitskritischen Hinweisen und anderen Informationen im Fahrzeug existiert eine Klassifikation von Informationsarten (Baber & Wankling, 1992):

1. Zustandsinformation: Indikatoren, Gefahrenlichter (teilen dem Fahrer den Zustand der vom Fahrer kontrollierten Funktionen mit und sind „an“ oder „aus“),
2. Hinweise/Ratschläge: z. B. Benzin fast leer (teilen dem Fahrer den Zustand des Fahrzeugs mit, welcher in naher Zukunft Aufmerksamkeit benötigt),
3. Warnungen: wie z. B. hohe Motortemperatur, niedriger Öldruck (teilen dem Fahrer Fahrzeugzustände mit, die sofortige Zuwendung benötigen).

Diese Einteilung beschreibt eine Hierarchie der Dringlichkeit einer Handlung, die aufgrund einer Meldung auszuführen ist. Da bei der Zustandsinformation keine direkte Reaktion erforderlich ist, steht diese im Gegensatz zu Hinweisen, die mittelfristig eine Aktion erfordern, und Warnungen, die eine direkte und unmittelbare Aufmerksamkeitsausrichtung und Reaktion notwendig machen. Des Weiteren sollten Warnungen noch einmal unterteilt werden, da hier mehr oder weniger kritische Ereignisse vorliegen, die wiederum eine unterschiedlich schnelle Reaktion erfordern. In der oben dargestellten Klassifikation wurden im Warnungsbeispiel Situationen erwähnt, die sich alle auf interne Fahrzeugzustände beziehen, die behoben werden sollten, damit ein Schaden vermieden wird. Solche Warnungen können prinzipiell mehrfach auftreten, solange, bis das Problem beseitigt ist. Sie betreffen Fälle, die nicht als hoch zeitkritisch anzusehen sind, denn Fahrzeugzustände bedürfen zwar zeitnaher Aufmerksamkeitsausrichtung und baldiger Handlung, jedoch ist hier keine Aktion im Bereich von wenigen Sekunden erforderlich und es treten auch keine

sofortigen negativen Konsequenzen bei Ausbleiben der Handlung auf. Neben diesen **fahrzeugabhängigen** Warnungen gibt es jedoch auch **fahrerbezogene Signale**, die auf eine Gefahr innerhalb der Person hindeuten, wie z. B. bei einem Müdigkeitswarner. Für beide Bereiche gilt, dass solche Signale durch ihr potentiell häufiges Auftreten eine Art „learning-by-doing“ erlauben und die Bedeutung dieser Signale durch Erfahrung erlernt werden kann.

Ein davon abzugrenzender Gesichtspunkt lässt sich durch den Fokus auf **externe Gefahren** beschreiben, dies betrifft z. B. Spurverlassenswarnung, Kollisionswarnung oder Abstandswarnung. Hier lässt sich wiederum zwischen Ereignissen unterscheiden, die häufig (z. B. Spurverlassenswarnung) oder selten (Kollisionswarnung) auftreten. In beiden Fällen betrifft diese Art von Information jedoch Situationen, die einer sofortigen Aufmerksamkeitszuwendung auf die Umgebung außerhalb des Fahrzeugs und äußerst schneller Aktionen seitens des Fahrzeugführers bedürfen.

Einen besonders kritischen Bereich und ein somit wichtiges Forschungsfeld stellen hierbei Kollisionen dar, da diese Art von Unfall zu schweren Schäden bei Personen und Fahrzeug führen kann. Ein Kollisionswarnsystem hat das Ziel, den Fahrer vor einer Kollisionsgefahr zu warnen, um somit die Anzahl von Unfällen zu verringern (Belz, 1997; Dingus, et al., 1997). Ein solches System überwacht mit Hilfe von Sensoren die Fahrbahn. Sobald ein Objekt entdeckt wird, das sich auf Kollisionskurs befindet, wird eine Warnung an den Fahrer ausgegeben (Roetting, Huang, McDevitt, & Melton, 2003). Vor diesem Hintergrund geht es bei diesem Warntypus nicht um die Darbietung kontinuierlicher Statusinformation (Comsis, 1996), wie z. B. die Anzeige des Ölstands, die ein Fahrer überwachen muss, sondern um eine akute Notfallsituation, die einmalig und plötzlich auftritt.

Eine solche Warnung muss bestimmte Kriterien erfüllen, damit sie hilfreich und effektiv im Auslösen passenden Verhaltens ist. Sie muss zu einer schnellen Reaktion führen, da ansonsten eine Kollision nicht verhindert werden kann. Zudem muss die Reaktion adäquat sein. Neben diesen beiden Bedingungen sollte die Warnung auch noch ohne Lernen verstanden werden können und somit eine Art „intuitives Verständnis“ ermöglichen. Dies ist besonders wichtig, da Kollisionssituationen seltene Ereignisse darstellen und deshalb Lernen durch Exposition nicht stattfinden kann (Fricke, Glaser, & De Filippis, 2006). Jegliches Training, wie z. B. fahrzeuginitiierte Lernprogramme, die sich bei erstmaliger Nutzung bzw. in bestimmten zeitlichen Intervallen automatisch aktivieren, würden wahrscheinlich wenig akzeptiert. Die Nutzung eines personeninitiierten Trainings, durch z. B. eigenständiges Lesen des Handbuchs, kann wiederum nicht sichergestellt und kontrolliert werden, weshalb es ungeeignet ist, sich auf derartige Trainings- und Übungsstrategien zu verlassen. Zudem

gibt es Situationen, wie z. B. das Ausleihen eines Mietwagens oder das Benutzen des Fahrzeugs eines Bekannten, die es erforderlich machen, dass Personen ohne langwieriges Einweisen und Training die Funktionen und Unterstützungsangebote eines Autos nutzen können, ohne dass für sie eine Gefährdung entsteht. Aus diesen Gründen muss die Gestaltung einer Kollisionswarnung sorgfältig vorgenommen und ihre Intuitivität und Effektivität überprüft werden.

### **2.3 Zusammenfassung**

In diesem Kapitel wurden Einteilungen von Assistenz- und Unterstützungssystemen im Fahrzeug dargestellt. Es wurde verdeutlicht, dass sowohl eine Unterscheidung in passive und aktive Systeme nach dem Grad des Eingreifens des Systems sinnvoll ist als auch eine Verbindung mit der Art der Unterstützung. Demnach wird unterteilt in Fahrerassistenz, aufgrund der passiven Unterstützung des Fahrers in der Ausführung der Fahrtätigkeit; und Fahrassistenz als aktives Eingreifen in die Fahrdynamik. Zudem ist eine sinnvolle Unterscheidung in komfort- und sicherheitsorientierte Systeme möglich, wobei Letztere Warnsysteme beinhalten, die in kritischen Situationen zum Einsatz kommen.

Es wurde dargestellt, dass Kollisionswarnungen sehr zeitkritisch sind und aufgrund der seltenen Auftretensfrequenz im alltäglichen Fahrzeuggebrauch nicht von einem Erlernen der Bedeutung solcher Warnungen durch Erfahrung ausgegangen werden kann. Diese Tatsache erfordert, dass intuitive und effektive Kollisionswarnungen entwickelt werden. Hierfür wird der Ansatz der semantisch angereicherten Warnungen verfolgt, der im nächsten Abschnitt genau erläutert wird.

### 3 GESTALTUNG SEMANTISCH ANGEREICHERTER WARNUNGEN

Zur Verdeutlichung des Ansatzes der semantischen Anreicherung von Warnungen ist es hilfreich zu überlegen, weshalb eine Person in eine kritische Situation gelangt. Fuller (2002) hat ein deskriptives Modell der Fahraufgabe im Sinne der dynamischen Bewältigung der Aufgabenschwierigkeit eingeführt, das erklärt, wie ein Unfall zustande kommen kann (Abbildung 3). In diesem Task-Capability Interface Modell liegt zum einen die Kapazität des Fahrers (C) und zum anderen die Aufgabenschwierigkeit (D) vor, die miteinander abgeglichen werden müssen.

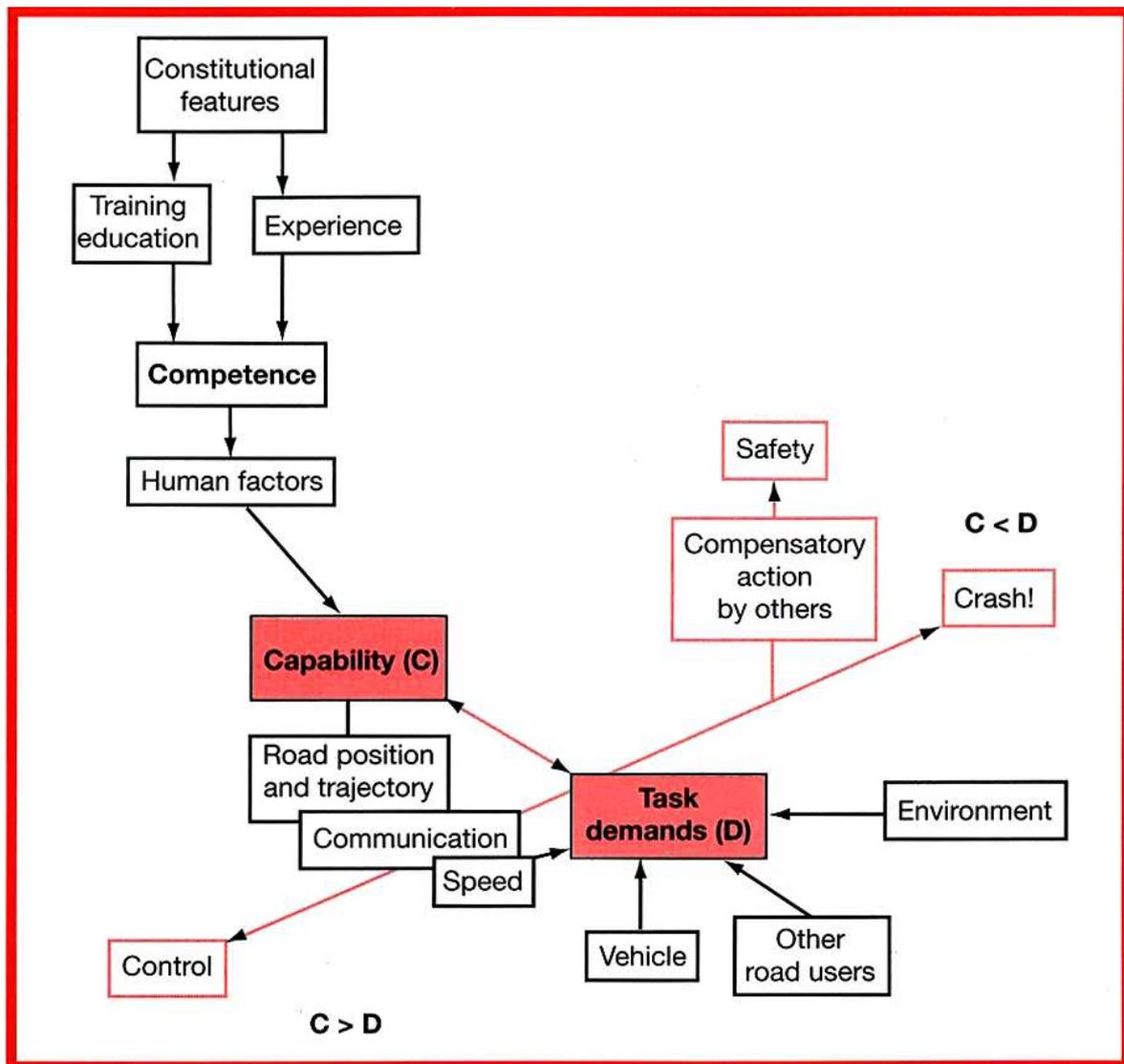


Abbildung 3: Task-Capability Interface Modell (Fuller, 2002)

Ist die Kapazität des Fahrers höher als die Aufgabenschwierigkeit, so liegt die Kontrolle über das Fahrzeug beim Fahrer und sicheres Autofahren ist möglich. Sind jedoch die Aufgabenanforderungen höher als die vorhandene Kapazität des Fahrers und werden keine

kompensatorischen Handlungen von anderen Verkehrsteilnehmern ausgeführt, kommt es zum Unfall. Die Kapazität des Fahrers wird hierbei durch Faktoren wie Training, Erfahrung und momentane Zustände wie Ermüdung beeinflusst. Die Aufgabenschwierigkeit hingegen wird durch Aspekte der Umgebung, andere Verkehrsteilnehmer oder auch Geschwindigkeit und Position des Fahrzeugs bestimmt. Hierbei ist zu beachten, dass ein Fahrer auch die Aufgabenschwierigkeit beeinflussen kann, z. B. durch Anpassung der Geschwindigkeit. Dieses Modell verdeutlicht, dass die Unfallvermeidung an den Punkten ansetzen sollte, an denen die Wahrscheinlichkeit eines Mismatches zwischen Aufgabenanforderungen und Kapazitäten vorliegt. Dies ist einmal durch Maßnahmen möglich, die auf eine Erhöhung der Fähigkeiten des Fahrers fokussieren, wie z. B. Trainingsmaßnahmen. Die andere Möglichkeit liegt in der Verringerung der Aufgabenschwierigkeit durch z. B. aktive Sicherheitssysteme, die den Fahrer in der Bewältigung der Fahraufgabe unterstützen. Eine solche sinnvolle Maßnahme, die an der Schnittstelle zwischen Erhöhung der Kapazität des Fahrers und der Verringerung der Aufgabenschwierigkeit ansetzt, ist die Verwendung von Warnungen, die über die Aspekte der vorliegenden Gefahrensituation informieren.

Nimmt ein Fahrer eine Situation richtig wahr und kann alle relevanten Aspekte einbeziehen, so ist eine Warnung nicht nötig. Oftmals liegt jedoch ein Informationsmangel vor, der eine korrekte Wahrnehmung verhindert. Dies ist z. B. bei einem verdeckten Radfahrer im toten Winkel der Fall oder aber bei einem durch eine Zweitaufgabe abgelenkten Fahrer, der nicht auf die Fahrbahn blickt. Die Gefahrensituation wird nicht als solche eingeschätzt und der Fahrzeugführer kann keine geeignete Konfliktbewältigung initiieren. Wichtige Informationen über das Vorliegen einer Gefahrensituation, das Gefahrenobjekt selbst und seine Position sind dem Fahrer nicht zugänglich (Fricke & Thüning, 2009). Ein möglicher Ansatz zur Unterstützung eines Fahrers in dieser Situation liegt darin, ihm die für ihn nicht wahrnehmbaren Aspekte der Situation durch eine angereicherte Warnung zur Verfügung zu stellen. Durch die Anreicherung mit Information soll eine Warnung entstehen, die automatisch die Aufmerksamkeit des Fahrers auf die Gefahr lenkt und intuitiv richtiges Verhalten auslöst.

Ganz allgemein ist für den Fall einer Kollisionssituation Information darüber notwendig, dass eine kritische Situation vorliegt, was die Gefahr ist und wo sie sich befindet, um einen potentiellen Unfall zu verhindern (Fricke & Thüning, 2009). Dies ist vor allem vor dem Hintergrund zu bedenken, dass verschiedene Kommunikationssysteme des Fahrzeugs ihre Meldungen an den Fahrer ausgeben. Hierbei muss der Fahrer in der Lage sein, eine Entscheidung zur Auswahl der richtigen Handlung zu treffen. Um dies zu tun, muss er wissen, was für eine Gefahr zu der kritischen Situation geführt hat. Zum Beispiel kann ein

Auto als Konfliktpartner andere Reaktionen hervorrufen als ein Kleinkind. Ebenso ist es mehr als relevant, ob eine Meldung z. B. auf einen Missstand des Fahrzeugs hinweist, der in naher Zukunft, jedoch nicht sofort, eine Aufmerksamkeitsausrichtung erfordert, oder ob eine sekundenschnelle Handlung zur Vermeidung einer Kollision ausgeführt werden muss. Dies kann ein Autofahrer nur unterscheiden, indem er eindeutige Informationen darüber erhält, in was für einer Situation er sich derzeit befindet. Für diese Einschätzung ist somit Information über die Gefahrenquelle wesentlich. Ergänzend sollte jedoch räumliche Information, wie die Entfernung und die Richtung, aus der sich eine Gefahrenquelle annähert, von Vorteil sein (Fricke, De Filippis, & Thüring, 2006a). Für eine angemessene Reaktion kann es relevant sein, ob sich eine Gefahr direkt vor dem Fahrzeug oder seitlich zum Fahrzeug befindet. Hierdurch erhält der Fahrer Information darüber, wohin er seine Aufmerksamkeit ausrichten muss, und dies sollte im optimalen Falle automatisch durch die Warnung gelenkt werden. Studien haben in diesem Kontext zudem gezeigt, dass eine Warnung besser Information über die Richtung übermitteln sollte, aus der sich eine Gefahr annähert, anstatt die Richtung einer Vermeidungsreaktion anzugeben (Wang, Pick, Proctor, & Ye, 2007). Dies ist ein kompletter Widerspruch zu den Ergebnissen einer früheren Studie dieses Forschungsteams (Wang & Proctor, 2003). Möglicherweise liegt dies an der Durchführung der Studien in unterschiedlichen Untersuchungskontexten. Die Ergebnisse der zweiten Studie sind im Fahrsimulator entstanden, die erste Studie wurde hingegen im Laborkontext durchgeführt. Die realistischere Untersuchung im Fahrsimulator lässt sich so interpretieren, dass es für eine Person einfacher ist, Information so aufzunehmen, wie sie auch in der Realität dargeboten wird. Dies entspricht eher einem natürlichen Informationsverarbeitungsprozess, anstatt sich zu erinnern, dass die dargebotene Information über die richtige Ausweichrichtung aufklärt.

Durch den Ansatz der „semantischen Anreicherung“ der Warnung soll der Fahrer befähigt werden, eine passende und reaktionsschnelle Handlung durchzuführen. Dies soll durch eine Anzeige der Kollisionsgefahr durch ein Signal erfolgen, das so gestaltet ist, dass Information über das Gefahrenobjekt und seine Position transportiert wird (Fricke & Thüring, 2009).

Zur detaillierten Entwicklung von Warnalternativen, die dem Ansatz der „semantisch angereicherten“ Warnungen entsprechen, wird auf die Informationsverarbeitungsansätze des CHIP-Modells und des ökologischen Wahrnehmungsansatzes sowie des Everyday Listening zurückgegriffen, da sie für eine Verwendung in diesem Kontext hilfreich erscheinen. Weiterhin müssen Ansätze beachtet werden, die zwischen bestimmten Assoziationen von Signalen und deren Bedeutung unterscheiden, da dies für die Übermittlung des Gefahrenobjekts äußerst wichtig ist. Das Paradigma des spatial cueing ist

relevant für die räumliche Informationsvermittlung. Diese Bereiche werden in Kapitel 4 erörtert und dienen der Ableitung von Gestaltungsoptionen für semantisch angereicherte Warnungen.

## 4 THEORETISCHER HINTERGRUND

Neben einem klassischen Ansatz zum Ablauf der Verarbeitung einer Warnung, der jedoch eher aus dem Bereich der Konsumprodukte stammt, werden weitere Ansätze vorgestellt, die auf die Warnungsforschung übertragen werden können.

### 4.1 Das C-HIP Modell

Im Communication-Human Information Processing Model (C-HIP Modell; siehe Abbildung 4) wird die Verarbeitung einer Warnung als eine Mischung aus Kommunikations- und Informationsverarbeitungsprozess verstanden (Wogalter, Dejoy, & Laughery, 1999).

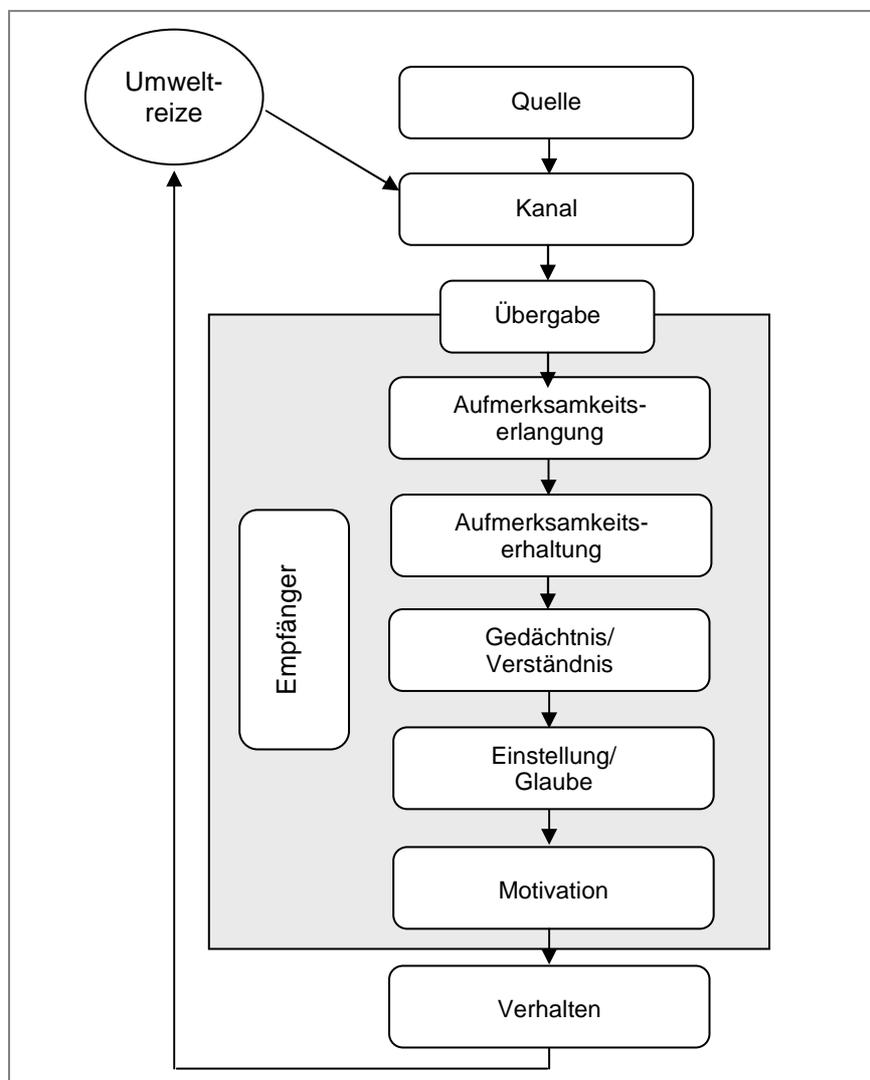


Abbildung 4: C-HIP Modell (Wogalter, et al., 1999)

Aspekte der Kommunikation betreffen die Quelle, d. h. den Sender der Meldung, den Kanal (also das Übermittlungsmedium) und den Empfänger der Warnung. Die Quelle der Nachricht kann eine Person oder auch ein System sein. Ein Personenfaktor, der die Effektivität einer Warnung auf dieser Stufe beeinflusst, ist z. B. die Glaubwürdigkeit der Person. Auf der Seite der Systemfaktoren, die einen nicht minderen Effekt haben können, kann z. B. die Frequenz falscher Alarme die Warnungsverarbeitung beeinflussen. Dieser Punkt im Modell betrifft auch zeitliche Aspekte, z. B. wann eine Warnung ausgegeben wird, nämlich entweder, wenn eine Gefahr bereits existiert (korrektiv), oder bevor eine Gefahr eintritt (präventiv). Des Weiteren sind die Taktung oder Frequenz der Mitteilung relevant, z. B. ob die Wiederholung einer Warnung einen positiven Einfluss auf die Effektivität einer Warnung hat (Reichenbach, 2003).

Der Übermittlungskanal bestimmt, über welche Medien die Information übertragen wird. In diesem speziellen Anwendungsfall der Warnungen im Fahrzeug ist der Kanal das Warnsystem, und die Art und Weise der Ausgestaltung, z. B. über welche Modalität die Information übermittelt wird, kann variieren.

Die Aspekte der menschlichen Informationsverarbeitung des Empfängers werden in diesem Modell gesondert dargestellt. Hier spielen z. B. Eigenschaften der Person, die die Nachricht erhält, eine Rolle, diese sind z. B. das Geschlecht oder Alter (Rogers, 2000). Des Weiteren sind die einzelnen Informationsverarbeitungsprozesse von großer Bedeutung, z. B. ist die Aufmerksamkeitsausrichtung des Empfängers wichtig, da die Warnung zur weiteren Verarbeitung erst bemerkt und erfasst werden muss. Bei Kollisionswarnungen ist dies besonders von Bedeutung, da eine schnelle Reaktion ausgelöst werden soll. Die weitere Verarbeitung über das Gedächtnis zur Bildung eines Verständnisses muss in diesem Anwendungskontext ebenso äußerst schnell erfolgen. Es sollte kein Lernaufwand nötig sein und auch unter Stress muss ein Abruf der entsprechenden Reaktion möglich sein. Einstellungen gegenüber einem Produkt haben im hier betrachteten Fahrzeugkontext keine sonderliche Relevanz, da die Reaktion auf einen Reiz in einer derart kritischen Situation, wie einer potentiellen Kollision, einen äußerst schnellen Prozess darstellt. Auch Aspekte der Motivation scheinen in diesem Bereich eher auf der Metaebene von Bedeutung zu sein, wenn es z. B. um die Frage geht, ob solche Warnsysteme gekauft oder nach dem Kauf möglicherweise abgeschaltet und nicht genutzt werden. Der entscheidende Aspekt für eine erfolgreiche Verarbeitung einer Warnung ist, ob angemessenes Verhalten ausgelöst wird. Dies ist letztlich das wichtigste Beurteilungskriterium dafür, ob eine Warnung erfolgreich ist oder nicht. In dem vorliegenden Fall betrifft dies die Frage danach, ob eine Kollision verhindert werden kann oder nicht.

Das C-HIP Modell wurde vor dem Hintergrund der Konsumprodukte entwickelt und ist in diesem Bereich sehr hilfreich. Für die Fahrzeugforschung allerdings ist es nicht ausreichend, da bestimmte Faktoren hier keine so starke Bedeutung aufweisen, dagegen andere Aspekte durchaus Relevanz besitzen, die das Modell nicht enthält. Außerdem geht es davon aus, dass beim Bestimmen der Bedeutung von Reizen immer ein komplexer und zeitaufwendiger Informationsverarbeitungsprozess stattfindet. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen Reaktionen auf Reize viel schneller und effizienter ablaufen. Genau diese Prozesse sind interessant für die Gestaltung von Warnungen in zeitkritischen Situationen. Es muss versucht werden, angemessene und schnelle Verarbeitungsprozesse zu erzeugen, um eine intuitive Wahrnehmung zu erreichen. Hierzu gibt es wiederum einige theoretische Konzepte, die für die Gestaltung von Warnmeldungen genutzt werden können.

#### **4.2 Direkte Wahrnehmung und Erfassen von Ereignissen**

Der ökologische Wahrnehmungsansatz nach Gibson (1979) geht von einer direkten Wahrnehmung aus, d. h., die Information ist direkt in der Reizeanordnung enthalten und es sind keine weiteren Verarbeitungsschritte zur Bedeutungserfassung notwendig. Eine komplexe Wahrnehmung wird demnach durch komplexe Reize oder Ereignisse verursacht und nicht durch die kognitive Weiterverarbeitung und Zusammensetzung einfacher Reize. Eine Erweiterung dieser Theorie besagt, dass sich Passungen (Affordances/Affordanzen) entwickelt haben, die besondere Assoziationen zwischen Information und bestimmten Handlungsmöglichkeiten darstellen (Malter & Guskı, 2001). Das Konzept der Affordanz bedeutet weiterhin, dass Gegenstände einen bestimmten Aufforderungscharakter haben (Gibson, 1982). Sie zeigen direkt an, welche Handlungsoptionen in der Interaktion mit ihnen möglich sind. Die Passung bezieht sich hierbei immer auf eine Beziehung zwischen einem Objekt und einem Lebewesen (Torenvliet, 2003). Die Umwelt bestimmt dabei, welche Affordanzen relevant sind, die sich nicht in Abhängigkeit der Bedürfnisse des Beobachters verändern (Gibson, 1979; Kebeck, 1997). Ein Briefkasten zum Beispiel enthält immer den Aufforderungscharakter des Briefeinwurfs. Das Bedürfnis jedoch, sich einem Briefkasten zu nähern, hängt davon ab, ob man einen Brief verschicken möchte oder nicht (Gibson, 1979). Die Aufforderungen sind demnach invariant, in Abhängigkeit von der Situation können jedoch jeweils andere Affordanzen im Vordergrund stehen und bestimmte Reaktionen hervorrufen (Borghı, 2005).

Die Art der Assoziation zwischen Wahrnehmung und Handlung, die direkt und ohne vermittelnde Zwischenschritte stattfindet, unterscheidet sich in dieser Theorie deutlich von Annahmen klassischer Wahrnehmungsansätze. Durch die unmittelbare Wahrnehmung der Affordanzen und der Verbindung zu den möglichen Handlungen sind schnelle Reaktionen

möglich. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu Theorien, die einen komplexen und zeitaufwendigen Ablauf von Assoziationen zu intern repräsentierten Inhalten im Langzeitgedächtnis erfordern (Anderson, 1995). Der Ansatz nach Gibson kann zwar nicht jegliche Wahrnehmung erklären und ist sicherlich nicht als alleinige Wahrnehmungstheorie annehmbar, jedoch scheint es Prozesse zu geben, die nicht in Form aufwendiger kognitiver Weiterverarbeitung ablaufen.

Aus diesem Ansatz sind vielfältige Weiterentwicklungen und Übertragungen auf andere Bereiche entstanden, die wiederum für die Warnungsgestaltung interessant sind.

### **4.3 Everyday Listening**

Diese Forschungsrichtung basiert auf dem Grundkonzept des ökologischen Wahrnehmungsansatzes. Normales, alltägliches Hören findet demnach durch eine Erkennung von Ereignissen statt und nicht durch die Wahrnehmung einzelner Attribute eines Geräusches (Gaver, 1986, 1993b). Der Ansatz geht davon aus, dass Menschen das dem Geräusch zugrunde liegende Ereignis direkt bei der Wahrnehmung bestimmen (Buxton, Gaver, & Bly, 1994; Gaver, 1994; Gibson, 1979; Malter & Guski, 2001) und nicht einen Gesamtreiz aus mehreren Reizinputs zusammensetzen. Dies ist äquivalent zu den Annahmen der ökologischen Wahrnehmung, die postuliert, dass eine komplexe Wahrnehmung durch einen komplexen Reiz entsteht und nicht durch eine Zusammensetzung und Weiterverarbeitung verschiedener Reizkomponenten. Ein Anwendungsfall, der später noch genauer erläutert wird, sind die Auditory Icons, denen genau dieses Konzept zugrunde liegt.

Neben dieser Gemeinsamkeit gibt es auch beim Everyday Listening eine Theorie der Auditory Affordances, die besagt, dass Geräusche mit Handlungsoptionen verbunden sind (Stanton & Edworthy, 1999). Dies wiederum spricht wie im visuellen Bereich auch im akustischen Bereich dafür, dass auf bestimmte Reize sehr schnelle Reaktionen gezeigt werden können, da eine direkte Assoziation zwischen Wahrnehmung und Handlung besteht (Stanton & Edworthy 1998; Stanton & Edworthy 1999).

Ein früher Vorreiter der Denkart des Everyday Listening ist Pierre Schaeffer (1974), der postulierte, dass jedes Geräusch eine Assoziation zu einem realen Ereignis hervorrufe. Er unterscheidet Musik in abstrakte und konkrete Musik, wobei Erstere theoretisch hergeleitet ist und Letztere durch bekannte, real existierende Geräusche entsteht. In einer ähnlichen Weise unterscheidet auch Michel Chion (1994) drei Hörarten:

- (1) Kausales Hören: Das Hören dient dem Sammeln von Informationen über die Ursache oder Quelle des Geräuschs.
- (2) Semantisches Hören: Das Hören dient der sprachlichen Interpretation einer Nachricht.
- (3) Reduziertes Hören: Das Hören bezieht sich auf die Geräuscheigenschaften und ist unabhängig von der Quelle und der Bedeutung des Geräuschs.

Das kausale Hören ist hierbei äquivalent zur konkreten Musik oder auch zum Everyday Listening, da es um die Erzeugung bzw. Quelle des Geräusches geht. Sowohl die Forschungsrichtung des Everyday Listening als auch die Konzepte von Schaeffer und Chion treffen eine Unterscheidung, die man als Differenzierung zwischen musikalischen Tönen/Klängen und Alltags-/Umweltgeräuschen bzw. zwischen Everyday Listening und Musical Listening bezeichnen kann (Gaver, 1993a). Die Einteilung bedeutet jedoch nicht, dass es einen Unterschied in den Geräuschen selbst gibt, sondern in der Wahrnehmung, da jedes Geräusch musikalisch oder in Form von Ereignissen wahrgenommen werden kann (Buxton, et al., 1994). Gaver (1986) bezeichnet Everyday Listening als die normale Hörweise des Menschen, der versucht das Ereignis zu bestimmen, das dieses Geräusch hervorgerufen hat. Musical Listening dagegen wird als Wahrnehmung des Geräusches selbst in Form von sensorischen Qualitäten dargestellt (Gaver, 1993a). Im Grunde hängt die Art und Weise, wie ein Geräusch wahrgenommen wird, von der Person im aktuellen situativen Kontext ab und von ihren Erfahrungen, die wiederum durch das Zusammenwirken des Menschen in seiner Umwelt bestimmt werden. So kann z.B. das Geräusch einer Autohupe das Vorhandensein eines Autos bedeuten, da nur Autos dieses Geräusch von sich geben, jedoch kann es auch als „Achtung“ interpretiert werden, weil viele Autofahrer hupen, wenn sie auf etwas aufmerksam machen wollen.

Nach Keller und Stevens (2004) beinhaltet die Wahrnehmung eines Warnsignals zwei Schritte, nämlich einmal die Identifikation des Signals als solches und im Anschluss daran die Bestimmung der Bedeutung des Signals. Die Art der Wahrnehmung wird demnach auch durch die Assoziation bestimmt, die ein Nutzer mit diesem Geräusch verbindet, also die Beziehung zwischen einem Geräusch und seiner Bedeutung. Diverse Forscher haben solche Assoziationen beschrieben und verschiedene Klassifikationen und Einteilungen vorgenommen. Besonders wichtig ist hierbei, dass es zwei Assoziationen gibt, die ein Signal auslösen kann: zum einen die Assoziation zu der möglichen Handlung im Sinne der Affordances nach Gibson, zum anderen im Sinne des Everyday Listening zum Auslöser des Signals.

#### 4.4 Assoziationen zwischen Signal und Bedeutung

Donald Norman verfolgt einen Ansatz, der sich auf Assoziationen zu Ereignissen bezieht, und hat das Konzept des „mapping“ populär gemacht. Er bezeichnet mapping ganz allgemein als die Beziehung zwischen zwei Dingen. Norman (1989) beschreibt im Kontext der Alltagsgegenstände die Nutzung von Analogien und kultureller Konventionen als natürliches mapping, das zu unmittelbarem Verstehen führe. Natürliches mapping bedeutet hierbei, dass eine enge und natürliche Beziehung zwischen einer Sache und seiner Bedeutung besteht. Andere Forscher haben ähnliche Einteilungen vorgenommen (Blattner, Sumikawa, & Greenberg, 1989; Edworthy & Stanton, 1995; Gaver, 1986; Graham, 1999; Malter & Guski, 2001):

- Nomic-mapping: Ein reales Geräusch mit physikalischer Repräsentation (z. B. das Geräusch eines Druckers als Anzeige, dass der Computer druckt) und ohne erforderliches Spezialwissen.
- Symbolic-mapping: Ein Geräusch mit bekannter Assoziation (z.B. Ambulanzsirene für einen medizinischen Notfall). Dies muss speziell erlernt werden und basiert auf sozialen Konventionen.
- Metaphorical-mapping: Das Geräusch bezieht sich auf ein ähnliches, übertragbares Ereignis (z. B. sinkende Tonhöhe als Reduktion einer bestimmten Größe) und muss speziell erlernt werden.

In dieser Einteilung entspricht das nomic-mapping am ehesten dem natürlichen mapping in Normans Sinne. Dieser Ansatz legt nahe, dass durch ein intuitives mapping zwischen einem Signal und der Gefahrensituation auch eine schnelle Reaktion auf diesen Reiz erfolgen kann.

Andere Forscher nehmen noch detailliertere Einteilungen vor und unterscheiden eine direkte oder indirekte Beziehung zwischen einem Signal und einem Ereignis, wobei die direkte Beziehung nur einen Bezugspunkt und die indirekte mindestens zwei hat (Familtant & Detweiler, 1993). Diese Differenzierung stammt aus dem visuellen Bereich und beinhaltet, dass die direkte Assoziation entweder iconic (ikonisch) oder symbolic (symbolisch) sein kann – ikonisch bedeutet, dass das Signal und der Bezugsreferent überlappende Eigenschaften aufweisen, im Vergleich zu symbolischen Assoziationen, bei denen dies zufällig ist (Familtant & Detweiler, 1993).

Ein Beispiel einer direkten Beziehung in der akustischen Domäne wäre ein „Hundebellen“ für das Ereignis „Hund bellt“, da nur ein Hund dieses Geräusch verursacht bzw. in dem speziellen Ereignis auftaucht (Stephan, Smith, Martin, Parker, & McAnally, 2006). Eine

indirekte Verbindung wäre das Geräusch von "Blätterrascheln im Wind", das für den Begriff „Baum“ steht (Dingler, Lindsay, & Walker, 2008). Indirekte mappings werden unterschieden in ecological (ökologisch), d. h., Signal und Bezugspunkt sind in der natürlichen Umgebung korreliert, metaphorical (metaphorisch), d.h. basierend auf Ähnlichkeit, oder random (zufällig) (Gaver, 1986; Keller & Stevens, 2004; Petocz, Keller, & Stevens, 2008).

In einer empirischen Studie konnten Keller und Stevens (2004) zeigen, dass eine direkte Beziehung zwischen einem Signal und seinem Referenten schneller gelernt werden konnte als eine metaphorische oder ökologische Beziehung. Eine direkte Beziehung liegt auch bei Auditory Icons vor. Sie sind natürliche, täglich vorkommende Geräusche, die eine bestehende intuitive Bedeutung tragen (Gaver, 1989; Graham, 1999). Sie stellen die akustische Entsprechung zu visuellen Icons dar (Walker & Kramer, 2004) und sind jede Art von Geräusch, das die Funktion hat, ein Objekt oder eine Aktion zu repräsentieren (Walker & Kramer, 2004).

Alle genannten Klassifikationen zeigen die Gemeinsamkeit, dass ein direktes mapping der einfachste Weg der Informationsvermittlung ist, da das Signal und das zu signalisierende Ereignis viele gleiche Eigenschaften besitzen und dadurch konsistente Information darstellen (Coward & Stevens, 2004).

Zusätzlich existiert das Konzept des Spatial cueing, das ebenso eine schnelle Reizverarbeitung unterstützen kann.

#### **4.5 Spatial cueing: visuell, auditiv, taktil und crossmodal**

Das Paradigma des Spatial cueing beschreibt, wie durch Hinweisreize in unterschiedlichen Modalitäten die visuelle Aufmerksamkeit ausgerichtet werden kann. Es wurde in der visuellen Wahrnehmung entwickelt und es gibt vielfältige Untersuchungen dazu (z. B. Posner 1980). Grundlegender Ablauf des Paradigmas ist, dass ein Hinweisreiz eine Position im Gesichtsfeld angibt, an der ein visueller Zielreiz auftauchen könnte (Styles, 2000). Im Allgemeinen wird die Ansicht vertreten, dass das Spatial cueing positive Effekte in Form einer erleichterten Wahrnehmung der Zielreize bewirkt. Die Aufmerksamkeitsunterstützung der Zielreizverarbeitung wiederum führt zu verbesserter Verhaltensleistung (Ho, Tan, & Spence, 2006). Diese Effekte lassen sich sowohl für unimodale Reize, also z. B. auditiver Hinweis und Zielreiz, als auch für crossmodale Reize, z. B. auditiver Hinweis und visueller Zielreiz, finden. Es liegt ein Konsens vor, dass auditive bzw. taktile Reize effektiver im Ausrichten der visuellen Aufmerksamkeit sind, als dies in umgekehrter Richtung (visuelle Hinweisreize in Verbindung mit auditiven oder taktilen Zielreizen) der Fall ist (Proctor, Tan, Vu, Gray, & Spence, 2005). Laborstudien haben gezeigt, dass räumliche auditive

Hinweisreize die Zeit zur Lokalisierung und Identifizierung eines visuellen Reizes reduzieren können (Proctor, et al., 2005), wobei die Größe des Effekts von einer Reihe von Aspekten, wie z. B. der Größe des Suchfeldes und der Anzahl der Distraktoren, abhängt (Rudmann & Strybel, 1999).

Interessant sind die Ergebnisse von Forschungsarbeiten zum Spatial cueing im Fahrzeugkontext. Eine Arbeit von Wallace und Fisher (1998) hat darauf hingewiesen, dass Geräusche aus unterschiedlichen Richtungen Unsicherheit in die Warnung bringen können und somit längere Reaktionszeiten produzieren könnten als Signale, die keine Ortsinformation liefern. In weiteren Studien zeigten sich jedoch positive Effekte räumlicher Geräusche im Ausrichten der Aufmerksamkeit auf eine spezielle räumliche Region und eine daraus folgende Erleichterung der Reaktion auf dort stattfindende Ereignisse (Ho, 2004; Ho & Spence, 2005; Ho, Tan, et al., 2006). In Fahrsimulatorstudien zeigten sich sowohl negative als auch positive Effekte von räumlichen akustischen Warnungen. Einerseits konnten in einer Studie zwar mehr Kollisionen verhindert werden, andererseits waren die initialen Reaktionen auf Warnungen aus der Richtung der Mittelkonsole angemessener (Bliss & Acton, 2000; Ho, Reed, & Spence, 2007). Studien, in denen ein räumlicher Ton kompatibel mit dem Ort der Gefahr präsentiert wurde, führten im Vergleich zu inkompatiblen räumlichen Tönen zu signifikant kürzeren Reaktionszeiten auf diese Warnungen (Wang, et al., 2007). Die bisherige Forschung hat somit auf die Nützlichkeit räumlicher auditiver und taktiler Reize hingewiesen, da sie zu einem Ausrichten der Aufmerksamkeit und beschleunigten Reaktionen führen können (Fitch, Kiefer, Hankey, & Kleiner, 2007; Ho, Tan, et al., 2006). Für die Beurteilung der Voraussetzungen zur Lokalisation von Hinweisreizen wird ein kurzer Exkurs zu diesem Thema gegeben.

### **Exkurs: Akustische Lokalisation**

Lokalisation ist die Wahrnehmung von Richtung und Distanz einer Schallquelle (Moore, 1989). Hierbei unterscheidet sich die Lokalisation von der Lateralisation dadurch, dass bei Ersterem die Schallquelle extern wiedergegeben wird und sich überall im Raum befinden kann, bei Letzterem erfolgt eine Darbietung über Kopfhörer (Yost & Hafter, 1987). Die Lateralisation bezieht sich deshalb nur auf die seitliche Ausrichtung von Hörereignissen (Blauert, 1974).

Die Lokalisation von Schallquellen lässt sich in drei Bereiche aufteilen, denen verschiedene Mechanismen zugrunde liegen (Loomis, Klatzky, & Golledge, 1999):

1. Horizontale Lokalisation (Azimuth),
2. Vertikale Lokalisation (Elevation/Medianebene),

### 3. Distanzwahrnehmung.

#### *Horizontale und vertikale Lokalisation*

Für die Lokalisation von Hörereignissen in der horizontalen Ebene sind im Wesentlichen Differenzen zwischen den Ohren verantwortlich, diese werden unterschieden in interaurale Zeit- und Intensitätsunterschiede (Blauert, 1974). Diese beiden Mechanismen sind die Bestandteile der Duplex-Theorie (siehe Abbildung 5). Die Theorie besagt, dass die Lokalisation in der horizontalen Ebenen bei tiefen Frequenzen vor allem von interauralen Zeitdifferenzen abhängt, bei hohen Frequenzen wird dies hauptsächlich durch interaurale Intensitätsunterschiede bestimmt (Kebeck, 1997; Kyriakakis, 1998; Reid & Milios, 2003; Wightman, Kistler, & Perkins, 1987).

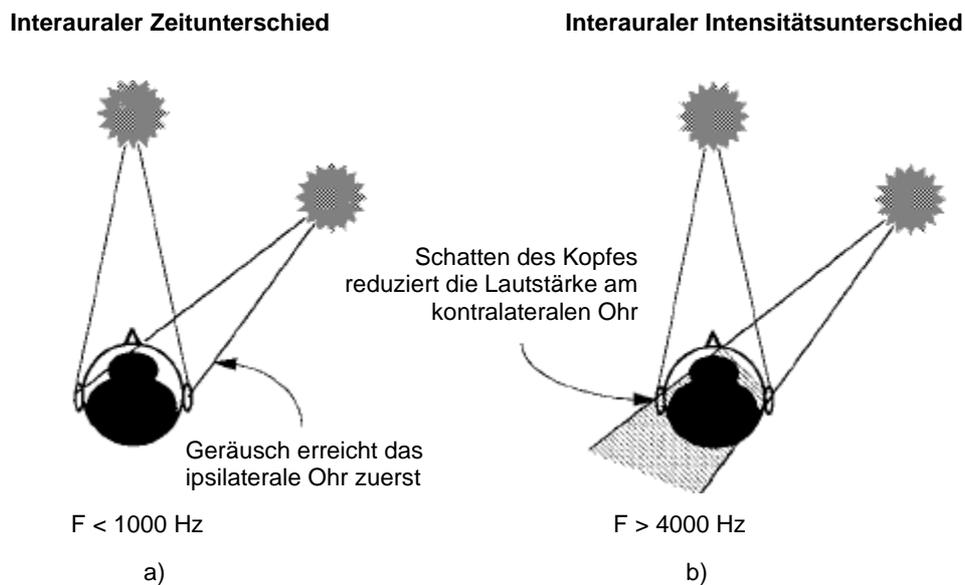


Abbildung 5: Mechanismen der Duplex-Theorie (Kyriakakis, 1998)

Eine niedrig-frequente Geräuschquelle, die sich rechts vom Zuhörer befindet, führt zu einer Laufzeitdifferenz zwischen beiden Ohren, da sie das der Quelle zugewandte Ohr zuerst erreicht, im Vergleich zum anderen Ohr, an dem sie verzögert eintrifft. Befindet sich eine Quelle dagegen direkt vor einer Person, erreicht sie beide Ohren gleichzeitig. Ähnlich ist es bei den Intensitätsunterschieden: Eine hoch-frequente rechts positionierte Geräuschquelle hat eine geringere Lautstärke am gegenüberliegenden, also der Geräuschquelle abgewandten Ohr, weil der Kopf die Intensität durch seinen Schatten verringert. Dies ist bei

einer sich vor der Person befindlichen Quelle nicht gegeben und die Intensität ist für beide Ohren gleich.

Das äußere Ohr, der Kopf und der Körper beeinflussen die spektralen Eigenschaften eines Geräuschs und die daraus resultierenden unterschiedlichen Resonanzmuster dienen als Hinweis zur Bestimmung der Position in der vertikalen Ebene (Reid & Miliotis, 2003; Shinn-Cunningham, 2001).

### *Distanzwahrnehmung*

Die Wahrnehmung der Entfernung einer Schallquelle wird über mehrere Informationsaspekte bestimmt. Die Mechanismen, die dem zugrunde liegen, sind jedoch im Vergleich zum Richtungshören weit weniger gut erforscht (Blauert, 1974). Nach Zahorik (2002b) existieren mindestens vier Hinweisquellen, wenn sowohl Hörer als auch Geräuschquelle stationär sind. Als Erstes können Intensitätsunterschiede genutzt werden. Prinzipiell verringert sich die Intensität, je größer die Distanz zwischen Zuhörer und Geräuschquelle ist, pro Entfernungsverdopplung der Schallquelle um 6 dB (Blauert, 1974; Zahorik, 2002a). Dies gilt vor allem für mittlere Entfernungen (ca. 3 – 15 m; Blauert 1974). Um diesen Entfernungshinweis jedoch zuverlässig nutzen zu können, benötigt ein Hörer Wissen über die allgemeine Lautstärke der Geräuschquelle, um sie als Referenz zu nutzen.

Eine weitere Informationsquelle bildet das Verhältnis von direktem zu reflektiertem Schall (Zahorik, 2002a). Der Anteil direkter Energie nimmt im Vergleich zum reflektierten Schall ab, wenn sich eine Geräuschquelle in einem Laborsetting vom Hörer wegbewegt (Mershon & King, 1975). Das ist vor allem für die Lokalisation in Räumen relevant. Des Weiteren werden auch spektrale Unterschiede zur Distanzwahrnehmung genutzt, da mit zunehmender Distanz hohe Frequenzen stärker gedämpft werden als tiefe Frequenzen (Blauert, 1974). Binaurale Differenzen dienen ebenso als Beurteilungskriterium zur Einschätzung der Entfernung einer Geräuschquelle.

Prinzipiell ist die Genauigkeit der Lokalisation von Geräuschen am besten in der horizontalen Ebene, weiterhin ziemlich gut in der vertikalen Richtung und am schlechtesten für Distanzen (Moore, 1989). Am besten lassen sich akustische Signale orten, die sowohl tiefe als auch hohe Frequenzen besitzen, reine Töne mittlerer Frequenz hingegen lassen sich eher schwer lokalisieren (Kebeck, 1997). Für das Richtungshören ist die Bestimmung umso besser, je größer das Frequenzspektrum eines einfachen Tonsignals ist (Withington, 2000).

Generell scheint es möglich zu sein, Information über die Richtung eines Objektes dadurch zu übermitteln, dass die akustische Warnung selbst aus entsprechender Richtung präsentiert

wird. Eine Person sollte unter normalen Umständen in der Lage sein, die Richtung einer Schallquelle zu identifizieren. Das Erkennen der Distanz einer Schallquelle scheint hingegen schwieriger zu sein.

#### **4.6 Zusammenfassung**

Dieses Kapitel enthielt einen kurzen Abriss über Theorien und Ansätze, die für die Gestaltung effektiver zeit- und sicherheitskritischer Warnungen genutzt werden können. So wurde kurz erläutert, weshalb das CHIP-Modell zwar für Produktwarnungen zu vielfältigen Erkenntnissen geführt hat, jedoch für die Anwendung im Fahrzeug zu kurz greift. Deshalb wurden andere Theorien einbezogen, die eine schnellere und direkte Wahrnehmung postulieren. Der ökologische Wahrnehmungsansatz und die natürlichen mappings unterstützen die Annahme, dass in bestimmten Fällen eine sehr schnelle Reaktion auf einen Reiz gezeigt werden kann, da eine direkte Verbindung zwischen Wahrnehmung und Handlung vorhanden ist. Das Everyday Listening als Weiterentwicklung des Ansatzes nach Gibson betont, dass die Wahrnehmung eines Alltagsgeräusches nicht in Form der musikalischen Komponenten, wie z. B. der Tonhöhe, stattfindet, sondern dass eine Person automatisch die Quelle des Geräusches beim Zuhören identifiziert.

Die bisherigen Erläuterungen lassen sich sehr gut auf den Anwendungsfall der Fahrzeugführung übertragen. Die Möglichkeiten der Ausgestaltung der Warnungen werden im nächsten Kapitel dargestellt und diskutiert.

## 5 MODALITÄTSBEZOGENE INFORMATIONSPRÄSENTATION

Die Möglichkeiten der Übermittlung von Information über die Art einer Gefahr und ihre Position lassen sich hauptsächlich auf die drei Modalitäten der visuellen, akustischen und haptischen Präsentation aufteilen. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Darbietungsformen für kritische Fahrzeugwarnungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst (Pierowicz, Jocoy, Lloyd, Bittner, & Pirson, 2000). Neben diesen allgemeinen Eigenschaften müssen die einzelnen Modalitäten für ihre Verwendbarkeit als kritische Kollisionswarnungen weiter diskutiert werden.

Im Anschluss werden empirische Befunde zu diesen drei alternativen Präsentationsformen dargestellt. Abschließend werden Umsetzungen für die experimentellen Untersuchungen aufgezeigt.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der drei Modalitätstypen (Pierowicz, et al., 2000)

Vorteile	Nachteile
<b>Visuelle Warnungen (Head-Up-Display; HUD)</b>	
Integration eines HUD mit der realen Sicht nach vorne	Augenfixationen sind notwendig
Weniger Augen-Akkommodation nötig und deshalb für Ältere von Vorteil	Schlechtere Displaydarstellung
Integration mit anderen Systemen gut möglich	Kognitive Belastung
Direktionales cueing	Schlechtere Sicht nach vorne
<b>Sprachwarnung</b>	
Omnidirektional; Orientierungsreiz	Schwierigkeiten für hörgeschädigte Fahrer
Schnellere Verarbeitung als bei visuellen Reizen	Sprachabhängig
Kann detaillierte Information übermitteln	Signalentdeckungsproblem bei hohem Grad an Umwelt-/ Nebengeräuschen
Sprache könnte bei hohen Stresssituationen effektiver sein, da Sprachwahrnehmung überlernt ist	Könnte eine unbeabsichtigte Schreckreaktion auslösen
Direktionales cueing	Könnte aufdringlich sein
	Integration mit anderen Fahrerassistenzsystemen könnte zu einer Fülle von Sprachmeldungen führen
	Kann mehr Aufmerksamkeit unter normalen Bedingungen erfordern als Tonwarnungen
	Sprachwarnungen benötigen längere Verarbeitungszeit als non-verbale Warnungen

Vorteile	Nachteile
<b>Warnton/Warngeräusche</b>	
Omnidirektional; Orientierungsreiz	Schwierigkeiten für hörgeschädigte Fahrer
Erfordert weniger Aufmerksamkeit als Sprache unter normalen Bedingungen	Keine Möglichkeit, detaillierte Information zu übermitteln
Direktionales cueing	Signalentdeckungsproblem bei hohem Grad an Umwelt-/ Nebengeräuschen
Schnellere Verarbeitung als bei visuellen Reizen	Könnte eine unbeabsichtigte Schreckreaktion auslösen
Sprachunabhängig	Integration mit anderen Fahrerassistenzsystemen könnte zu einer Überladung an Akustik führen
Auditory Icons, die zum mentalen Modell des Fahrers passen, produzieren schnellere und angemessene Reaktionen	Nervend, wenn unnötig und aufdringlich
<b>Haptische Warnung (pulsierende Bremse)</b>	
Omnidirektional; Orientierungsreiz	Keine Möglichkeit, detaillierte Information zu übermitteln
Niedrige Aufmerksamkeitsbeanspruchung; schnell zu entdecken	Potential der Fehlinterpretation als mechanischer Fehler, kann aber verhindert werden
Kongruentes Stimulus-Reaktions-Mapping	
Reduziert Auffahrunfallpotential	

## 5.1 Visuelle Warnungen

Damit ein Fahrer eine möglichst schnelle Reaktion auf eine Warnung ausführen kann, muss er den Grund der Warnung bzw. die Bedeutung der Warnung verstehen. Dies ist durch eine Textdarbietung einfach zu erreichen. So kann eine unspezifische Alarmierung z. B. durch die Nutzung von Signalwörtern wie „Gefahr“, „Warnung“ oder „Achtung“ umgesetzt werden. Diese Signalwörter sind vom American National Standards Institute (ANSI) entsprechend der Beurteilung des Risikos einer Gefahr von hoch, mittel und niedrig identifiziert worden (Edworthy, Hellier, Walters, & Clift-Mathews, 2003)<sup>1</sup>. Die empirischen Befunde konnten jedoch nicht immer einheitlich diese Rangfolge der Wörter und der eingestuftem Dringlichkeit, d. h. der zeitlichen Unmittelbarkeit der erforderlichen Reaktion, bestätigen (Edworthy, et al., 2003). Sollen allerdings komplexere Informationen übermittelt werden, wie es in den meisten Fällen bei kritischen Situationen sinnvoll ist, so stoßen solche Warnvarianten schnell an ihre Grenzen, da Wortfolgen oder gar Sätze eine lange Lese- und Verarbeitungszeit zur Folge haben. Zudem dauert die Verarbeitung verbaler Information möglicherweise zu lange und es könnte nicht genügend Zeit vorhanden sein, um einen Unfall zu vermeiden.

<sup>1</sup> Dies gilt allerdings nur für die englischen Bezeichnungen „Danger“, „Warning“ und „Notice“.

Deshalb könnte nur eine Einschränkung auf einige wenige Worte erfolgen. Eine andere Möglichkeit wäre, Icons zu verwenden (siehe Abbildung 6).

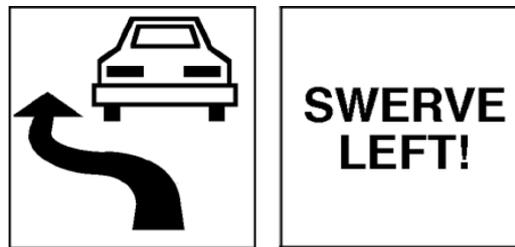


Abbildung 6: Kollisionswarnung (Yoo & Hunter, 1996)

Icons sind begriffliche Abbilder von dem Warnungsobjekt oder der Situation (Blattner, et al., 1989). Der Begriff Icon (dt. Ikon) bezeichnet eine „graphische Repräsentation einer Aktion oder eines Objektes (...)“ (Preim, 1999). Oft synonym verwendet wird der Begriff „Piktogramm“, der eine bildhafte Darstellung von Objekten, Funktionen, Aktionen oder Prozessen darstellt (Wandmacher, 1993). Im Gegensatz dazu sind Symbole abstrakte Darstellungen, deren Bedeutung erst erlernt werden muss. Icons dagegen beruhen auf natürlichen mappings, die eine intuitive Verständlichkeit erzeugen.

Probleme, die bei dieser Art von Warnung entstehen können, liegen zum einen darin, geeignete Icons zu finden, die universell verstanden werden und gleichzeitig zu schnellen, der Situation angepassten Reaktionen führen. Außerdem stellt sich die Frage nach dem Ort der Darbietung, da die Aufmerksamkeit eines Fahrers zuallererst auf das Icon gelenkt werden muss, bevor es verstanden werden kann. Deshalb muss das Icon an einem Ort dargeboten werden, der sich im Blickfeld des Fahrers befindet. Bei bestimmten Darbietungspositionen, wie z. B. der Mittelkonsole, würde nämlich eine Warnmeldung die Aufmerksamkeit des Fahrers von der eigentlichen Gefahrensituation weg und zu der Warnung hinleiten oder könnte verpasst werden. Beides ist im Kontext kritischer Gefahrensituationen mit sofortiger Handlung nicht zielführend. Eine Erweiterungsmöglichkeit wäre der Ansatz der „Augmented reality“, d. h. dass virtuelle Objekte zur realen Welt hinzugefügt werden (Wickens & Hollands, 2000). Dies könnte z. B. über ein durchsichtiges Head-up Display mit eingeblendeten Icons erfolgen. Allerdings können hier Probleme durch schlechte Wahrnehmbarkeit und Konfusion mit der realen Fahrszene auftreten, wie es z. B. in der Luftfahrt der Fall war (Ververs & Wickens, 1998).

Die Verwendung von Head-up Displays ist mit neuartigen Technologien sehr vielversprechend, jedoch auch aufwendig und die möglichen negativen Effekte müssen frühzeitig erkannt und ausgeschlossen werden können.

Eine andere Möglichkeit wäre, die akustische Modalität zur Informationsübermittlung über die Gefahr zu nutzen, da sie durch ihre omnidirektionale Eigenschaft, d. h. dass eine akustische Präsentation aus jeglicher Position wahrnehmbar ist, sehr gut für Warnungen im Fahrzeug geeignet ist. Stanton und Edworthy (1999) sprechen gar von einem „natürlichen Warnungssinn“, da der Mensch den Hörsinn nicht abschalten kann, wie es beim Sehen durch Schließen der Augen möglich ist.

## 5.2 Akustische Warnungen

Prinzipiell lassen sich alle Arten von auditiven Hinweisen in drei Klassen einteilen (Buxton, et al., 1994):

- **Alarmer und Warnungen** haben eine höhere Priorität als andere Informationen und sollen die derzeitige ausgeführte Handlung unterbrechen und die Aufmerksamkeit auf etwas lenken, was sofortige Zuwendung benötigt.
- **Zustands- und Überwachungsinformationen** liefern Auskunft über die derzeit ausgeführte Tätigkeit.
- **Enkodierte Nachrichten** geben numerische Daten in Geräuschemustern wieder.

Nach Stanton und Edworthy (1999) ist akustische Informationspräsentation für zeitnahe Ereignisse geeignet, die eine sofortige Handlung erfordern. Jede auditive Warnung ist entweder sprachlich oder nichtsprachlich, wobei Letzteres noch einmal unterteilt werden kann in einfache Töne, Earcons oder Auditory Icons.

### 5.2.1 Verbale Warnungen

Sprachliche Information hat den Vorteil, dass die Bedeutung ebenso wie bei einer Textwarnung nicht erlernt werden muss (Haas & Edworthy, 2006). Dies kann besonders in stressigen und hoch beanspruchenden Situationen wichtig sein, da erlernte Information hier möglicherweise nicht schnell genug abgerufen werden kann. Ähnlich wie im visuellen Bereich hat sich auch im akustischen Bereich eine Verwendung von Signalwörtern als sinnvoll erwiesen. Das Wort „Gefahr“ wurde im Vergleich zu dem Wort „Achtung“<sup>2</sup> als dringlicher bewertet (Edworthy & Hellier, 2006; Edworthy, et al., 2003). Zusätzlich zeigen Befunde, dass bei synthetischer Sprache über die Parameter der Lautstärke (Lautheit), der

---

<sup>2</sup> für die englischen Wörter: „Danger“ und „Deadly“ sowie „Note“ und „Caution“ (Edworthy & Hellier 2006)

Frequenz (Tonhöhe) und der Schnelligkeit der Äußerungen eine veränderte Wahrnehmung in der Dringlichkeit hervorgerufen werden kann (Edworthy, et al., 2003). Diese Befunde machen deutlich, dass über die Parameter der sprachlichen Warnungen eine Dringlichkeitsvermittlung möglich ist (Hellier, Wright, Edworthy, & Newstead, 2000). Jedoch wird dadurch kein Hinweis auf das zugrunde liegende Problem geliefert, sondern nur eine alleinige Aufmerksamkeitssteigerung erreicht. Sprachmeldungen können natürlich auch konkretere Information übermitteln, dies erfordert jedoch eine längere Abfolge von Wörtern oder gar ganzen Sätzen, wovon jedoch aus den bereits genannten Gründen der längeren Verarbeitungszeit abzuraten ist (Campbell, Richard, Brown, & McCallum, 2007). Es hat sich zudem im Fahrkontext gezeigt, dass die Fahrleistung in kritischen Situationen bei Tonfeedback besser ist, verglichen zu sprachlichen Rückmeldungen (Brown, 2005). Aus diesem Grunde sollten Warnungen in sicherheits- und zeitkritischen Kontexten nicht sprachlich übermittelt werden (Campbell, et al., 2007). Welche alternativen nonverbalen Übermittlungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen, wird im nachfolgenden Abschnitt erläutert.

## 5.2.2 Nonverbale Warnungen

Tabelle 2: Verwendete Adjektive im semantischen Differential

<b>Adjectives</b>	
Loud	Soft
Deep	Shrill
Frightening	Not frightening
Pleasant	Unpleasant
Dangerous	Safe
Hard	Soft
Calm	Exciting
Bright	Dark
Weak	Powerful
Busy	Tranquil
Conspicuous	Inconspicuous
Slow	Fast
Distinct	Vague
Weak	Strong
Tense	Relaxed
Pleasing	Unpleasing

Im Bereich der non-verbalen akustischen Warnungen sind bestimmte Aspekte der Warnsignale bereits gut erforscht. Es gibt beispielsweise die Bestrebung herauszufinden, welche Eigenschaften ein akustisches Signal besitzen muss, damit es als Warnung eingestuft wird. Eine internationale Studie untersuchte anhand eines semantischen Differentials die Angemessenheit eines Warnsignals (Kuwano, et al., 2000). Die verwendeten Dimensionen zeigt Tabelle 2. Nach Fastl (2000) kann ein Signal als Warnung genutzt werden, wenn es hohe Beurteilungen auf Dimensionen wie z. B. gefährlich, erschreckend oder auch unangenehm erhält<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> entspricht dangerous, frightening und unpleasant in Tabelle 2.

Die wahrgenommene Dringlichkeit wird im non-verbalen Bereich durch Veränderungen an bestimmten akustischen Parametern, wie z. B. der Frequenz, der Geschwindigkeit der Wiedergabe oder auch der Lautstärke, beeinflusst. Eine Erhöhung der Werte dieser Parameter vergrößerte in einer Studie die wahrgenommene Dringlichkeit von auditiven Signalen (Haas & Edworthy, 1996). Richtlinien zur Gestaltung von Warnsignalen empfehlen, Signale zu verwenden, die 15 – 30 dB SPL (Comsis, 1996; Patterson, 1982) über den Hintergrundgeräuschen liegen sowie eine Grundfrequenz von mindestens 500 Hz aufweisen und ein Inter-Puls-Intervall von 0 ms besitzen (Haas & Edworthy, 1996). So sollen die Signale eine hohe Dringlichkeitsbeurteilung und eine daraus resultierende schnelle Reaktion ermöglichen. Nach Wogalter & Leonard (1999) sollte eine akustische Warnung:

- ... kurz sein,
- ... ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis aufweisen,
- ... nicht zu laut sein, damit sie nicht als störend empfunden wird,
- ... klar und unterscheidbar von anderen Geräuschen sein,
- ... eine niedrige falsche Alarmrate haben,
- ... Anpassungen in der Entdeckungssensibilität zulassen.

Oftmals werden im Fahrzeugkontext ein einfacher Ton oder auch multiple Töne eingesetzt, dabei kann es sich z. B. um einen simplen „Gong“ handeln, der eine kritische Situation ankündigt. Grundlegend liegen bei nichtsprachlichen Warntypen neben diesen einfachen Tönen drei weitere Methoden vor, wie Information akustisch übermittelt werden kann (Eyster, 1996). Diese werden in der Semiotik den nachfolgenden drei Ebenen zugeordnet:

1. Syntaktisch: über eine Kombination der Zeichen durch Earcons,
2. Semantisch: über die Bedeutung der Zeichen durch Auditory Icons,
3. Lexikalisch: über die Produktion der Zeichen durch Sonification.

Semiotik bedeutet hierbei die Wissenschaft der Zeichen, wobei es eigentlich um den Prozess geht, mit dem bestimmten Zeichen eine Bedeutung zugewiesen wird (Suied, Susini, Langlois, Smith, & McAdams, 2005). Auf der lexikalischen Ebene werden durch Sonification Datendimensionen in akustische Variablen übertragen, wie z. B. eine Datenvariation in einer Differenz der Tonhöhe oder -dauer wiederzugeben (Barrass & Kramer, 1999).

Earcons sind im Gegensatz zu einfachen Tönen komplexere Motive und bestehen aus einer Kombination von synthetischen Tönen oder kurzen rhythmischen Sequenzen mit unterschiedlichen Tonhöhen und Intensitäten (Brewster, Wright, & Edwards, 1993). Die

Motive sind vollständig abstrakt. Das bedeutet, dass keine Beziehung zwischen dem Geräusch und seiner Bedeutung besteht (Lucas, 1994). Sowohl bei einfachen Tönen als auch bei Earcons ist dadurch die Bedeutung der Warnung nicht intuitiv verständlich, sondern muss erlernt werden. Deshalb ist ohne jegliches Lernen nur eine einfache Alarmierung zu erreichen.

Auditory Icons sind Alltagsgeräusche, die schon eine inhärente Bedeutung besitzen, weshalb sie schnell und einfach verstanden werden sollten (Barrass & Kramer, 1999). Sie beruhen entweder auf nomic oder symbolic mappings (siehe auch 4.4). Nomic-mapping als natürliche Entsprechung zwischen dem Geräusch als Warnmeldung und dem Ereignis als Gefahr hat hierbei die intuitivste und direkteste Entsprechung (Graham, 1999).

Diese „natürlichen“ Geräusche sollen von Kindheit an erlernt werden, auf systematischen Prinzipien beruhen und aus der alltäglichen Interaktion mit der Welt entstanden sein (Lucas, 1994). Hier zeigt sich der Entstehungskontext von Auditory Icons, die aus der Forschungsrichtung des Everyday Listening (siehe 4.3) hervorgegangen sind (siehe auch Abbildung 7). Ihnen sollen akustische Affordanzen (1999) innewohnen, die sehr schnelle Reaktionen auf diese Reize ermöglichen, da sie eine direkte Verbindung von Reiz und Reaktion darstellen.

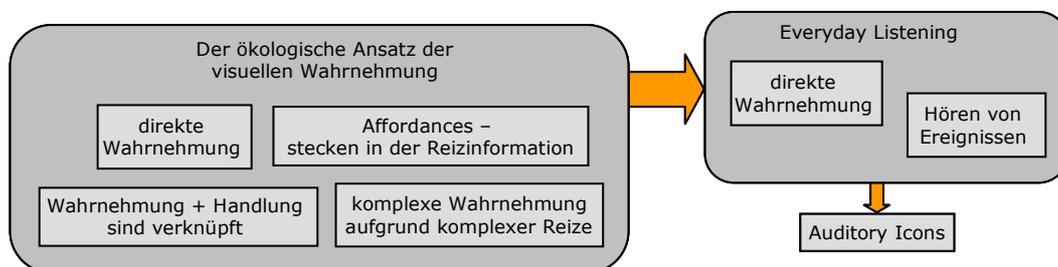


Abbildung 7: Entstehungskontext der Auditory Icons (Fricke, De Filippis, & Thüring, 2006b)

Auditory Icons werden schon eine längere Zeit als Warnungen eingesetzt und haben im Gegensatz zu Tonwarnungen zu hohen Identifizierungsraten, schnellen Reaktionen und geringem Lernaufwand geführt (Belz, Robinson & Casali 1998; Graham 1999; Ulfvengren 2003). Nachfolgend wird eine kurze Diskussion zu empirischen Befunden der Verwendung akustischer Warnungen im Fahrzeug geführt.

### 5.2.3 Empirische Befunde

Es liegen bereits viele Beispiele vor, die im Fahrzeugbereich angewendet wurden. So wurden beispielsweise vier verschiedene Informationsqualitäten über Auditory Icons

übermittelt (Stevens, Brennan, & Parker, 2004), variiert und überprüft, ob diese Information identifiziert werden kann. Insgesamt wurden folgende vier Dimensionen manipuliert:

- Identität eines Objektes: über die Art des Auditory Icons → Fahrradklingel, Autohupe, Hundebellen, Schritte,
- Distanz zu einem Objekt: über den Nachhall der Geräusche,
- Bewegungsrichtung eines Objekts: über Frequenz/Tonhöhe und Lautstärke der Geräusche,
- Größe eines Objekts: über Frequenz/Tonhöhe der Geräusche.

In ihrer Untersuchung fanden sie heraus, dass eine Veränderung der physikalischen Eigenschaften der Auditory Icons, wie z. B. der Tonhöhe dieser vier Geräusche, immer noch zu einer korrekten Identifizierung des jeweiligen Auditory Icons führte. Dies stellt also eine Kombination der eingangs erwähnten Methoden des Sonification und der Auditory Icons dar. Allerdings ist diese Studie nicht direkt in der Anwendung, sondern als reine Laborstudie umgesetzt worden und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale Fahrsituationen ist fraglich.

In einem Lernexperiment wurde untersucht, ob der Typ der Beziehung zwischen einem Signal und einem Ereignis, also die Art der Assoziation (siehe Abschnitt Assoziationen zwischen Signal und Bedeutung), die Leichtigkeit des Erlernens und Behaltens dieser Relationen beeinflusst (Stephan, et al., 2006). Die verwendeten Paarungen, die einen Bezug zum Fahrzeugkontext aufwiesen, sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine direkte Assoziation zwischen dem Geräusch und dem zu signalisierenden Ereignis einfacher erlernt und behalten wurde als eine Assoziation, die vollkommen ohne Bezug zum Kontext war. Allerdings war kein Unterschied zwischen einer indirekten im Vergleich zur direkten Beziehung festzustellen (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Paarungen von Auditory Icons und Ereignissen (Stephan, et al., 2006)

Geräusch	Ereignis		
	Direkter Bezug	Mit Bezug	Ohne Bezug
Unfallgeräusch	Autounfall	Autohupe	Ente
Autohupe	Autohupe	Autounfall	Husten

In einer anderen Studie paarten McKeown & Isherwood (2007) verschiedene Reize mit Situationen. Diejenigen Kombinationen, die sich auf Fahrsituationen bezogen, sind in

Tabelle 4 dargestellt. Die Versuchsteilnehmer hatten die Aufgabe, dem präsentierten akustischen Reiz eine von neun Situationen zuzuordnen. Die Sprachmeldungen und die Auditory Icons resultierten in der besten Identifikation und den schnellsten Reaktionszeiten.

Tabelle 4: Paarungen von Ereignissen und Signalen (McKeown & Isherwood, 2007)

Fahrsituation	Bild des Ereignisses	Abstraktes Signal	Auditory Icons	Unspezifisches Umweltgeräusch	Sprachmeldung
Ein Auto befindet sich im Toten Winkel		Schnelle Frequenz und hohe Tonhöhe	Autohupe	Fabrik Geräusch	„Auto im Toten Winkel“
Das Auto kommt von der Fahrbahn ab		Schnelle Frequenz und hohe Tonhöhe	Nagelbandrattern	Zerbrechendes Glas	„Abkommen von der Fahrbahn“
Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug verringert sich schnell		Schnelle Frequenz, hohe Tonhöhe	Autounfallgeräusch	Geräusch aus Textilfabrik	„Schnelle Verringerung des Abstands zum Vordermann“

In einer realistischeren Studie mit einem einfachen Fahrsimulator wurde ein Geräusch quietschender Reifen für ein Frontalkollisions-Szenario genutzt und eine Autohupe für eine seitliche potentielle Kollision (Belz, Robinson, & Casali, 1999). Es zeigte sich ein Vorteil des Geräusches gegenüber dem einfachen Ton nur für das Geräusch der quietschenden Reifen. Allerdings führte die Kombination aus Autohupe und visuellem Icon ebenso wie die quietschenden Reifen und das visuelle Display zu einem Reaktionszeitvorteil gegenüber der Tonwarnung. Es gab jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den multimodalen Warnungen und den Auditory Icons alleine (Belz, 1997; Belz, Robinson, & Casali, 1998; Belz, et al., 1999).

Eine weitere Studie von Graham (1999) untersuchte quietschende Reifen und eine Autohupe für drei unterschiedliche Szenarien: Zwei Situationen enthielten die seitliche Warnung vor einem Auto und eine Situation beinhaltete die Annäherung an ein stehendes Auto. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten schnellere Reaktionen für das Auditory Icon der Autohupe im Vergleich zu Sprache und Ton und schnellere Reaktionen für das Auditory Icon der quietschende Reifen im Vergleich zu Sprache.

Eine Autohupe wurde in einem Car-Following Szenario<sup>4</sup> verwendet, um die Teilnehmer zu alarmieren und die Aufmerksamkeit auf die Straße auszurichten (Ho, et al., 2007). Die Resultate der Studie sprachen dafür, dass ein Vorteil einer kombinierten Warnung von Auditory Icon und taktiler Komponente im Vergleich zu einer rein akustischen oder rein taktilen Warnung besteht. Zudem zeigte sich in dieser Studie ein Vorteil der Autohupe im Vergleich zur taktilen Warnung.

Der Vorteil von Auditory Icons als Warnung liegt in einer starken Alarmierungsfunktion, die geringe kognitive Ressourcen beansprucht (Belz, et al., 1999). Diese Eigenschaft unterscheidet Auditory Icons von anderen Warnungen und macht sie für die Verwendung in kritischen Fahrsituationen besonders geeignet (Ulfvengren 2003). Durch ihre inhärente Bedeutung benötigen sie weniger Zeit zur kognitiven Verarbeitung und man reagiert schneller auf Auditory Icons als auf Sprache oder Tonwarnungen (Graham, 1999). Die Nutzung von Auditory Icons als Kollisionswarnungen ist zu bevorzugen, da in kritischen Situationen eine schnelle Reaktion erforderlich ist (Sanders & Mc Cormick, 1993). Sie können eine direkte Assoziation zum Konfliktpartner in einer potentiell kritischen Situation hervorrufen und die Wahrnehmung der Gefahr sowie eine schnelle Reaktion erleichtern (siehe auch 4.4).

Als dritte Möglichkeit der Übermittlung einer Warnung kommt die Verwendung der haptischen Modalität in Frage.

### **5.3 Haptische Warnungen**

Der haptische/taktile Sinneskanal wird oft als sehr intuitiv und nützlich bezeichnet, da die Informationsaufnahme zu jeder Zeit und zudem sehr dezent stattfinden kann (Van Erp & Van Veen, 2001). Ein Mitfahrer bemerkt eine solche Warnung nicht und der Fahrer wird dadurch nicht in eine peinliche Situation gebracht, wie es z. B. bei einem akustischen Alarm der Fall sein könnte (Neale & Dingus, 2006). Ein weiterer Vorteil dieses Warntyps besteht in der geringen Überlagerung mit anderen Signalen, da beim Führen eines Fahrzeugs zumeist visuelle und akustische Information aufzunehmen ist, jedoch kaum haptische Information. Generell scheinen haptische Warnungen gut akzeptiert zu sein (Hoffman, Lee, & Hayes, 2003).

Diese Art der Informationsübermittlung wurde bereits in einer Fahrsimulatorstudie von Van Erp und Van Veen (2001) im Fahrzeugkontext zur Präsentation von Navigationsinformation

---

<sup>4</sup> Car-following ist ein sehr oft verwendetes Fahrsimulatorszenario, in dem Versuchspersonen so instruiert werden, dass sie einem vorausfahrenden Fahrzeug mit einer bestimmten Distanz folgen sollen. Den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug sollen sie hierbei möglichst konstant halten.

genutzt. Hierbei wurde die Richtung der Kursveränderung über ein Klopfen auf die rechte oder linke Körperseite umgesetzt. Es zeigten sich schnellere Reaktionen auf die taktilen Hinweise im Vergleich zu visuellen Navigationsangaben. Allerdings sollten diese Effekte auf ihre Gültigkeit außerhalb des Fahrsimulators überprüft werden.

In den letzten Jahren sind auch im Bereich der Kollisionswarnungen haptische Warnungen eingesetzt worden, z. B. ein(e) pulsierende(s) Lenkrad/Bremse, ein aktives Gaspedal, Sitz-Vibration oder Gaspedal-Rückstoß (Brown, 2005). In einer Studie wurde den Teilnehmern ein vibrierender Reiz entweder vorne am Bauch oder hinten am Rücken gegeben und sie sollten auf ein Ereignis, das sich entweder vorne oder hinten ereignete, reagieren. Diese Studie in einem kritischeren Fahrzeugkontext zeigte, dass vibrotaktile Warnsignale die räumliche Aufmerksamkeit in die Richtung eines potentiellen Gefährdungsobjekts ausrichten konnten (Ho, Reed, et al., 2006).

Allerdings kann über diese Modalität nur sehr einfache Information übermittelt werden und sie stößt bei komplexen Sachverhalten, zumindest wenn eine alleinige taktile Warnung verwendet werden soll, an ihre Grenzen. So ist es z. B. schwer denkbar, wie die Identität einer Gefahr haptisch übermittelt werden soll, ohne dass ein aufwendiges Training erforderlich ist. Ein weiteres Problem dieser Warnmodalität besteht im Neuigkeitsgrad des Warntyps, d. h., es ist zurzeit noch sehr selten bis gar nicht der Fall, dass der Fahrer Rückmeldungen in irgendeiner Art auf haptische Weise erhält. Deshalb könnte die Reaktion auf eine solche haptische Warnung nicht wie gewünscht ausfallen und negative Nebenwirkungen aufweisen. Die Empfehlung lautet daher derzeit, Fahrer für die Reaktion auf solche Warnungen am besten zu schulen (Brown, 2005). Da wie bereits erläutert ein Training im Bereich der Kollisionswarnung wenig sinnvoll erscheint, ist es eher fraglich, dass haptische Warnungen hier von Nutzen sein können. Eine endgültige Bewertung dieser Warnungsmodalität steht jedoch noch aus und wird in den nächsten Jahren sicherlich erfolgen müssen.

#### **5.4 Uni-/Multimodale Warnungen**

Die Forschung im Warnungsbereich hat Vorteile von redundanter Informationsübermittlung über mehrere Sinneskanäle als hilfreich aufgezeigt, um z. B. Interpretationen zu erleichtern (Baber & Wankling, 1992). Es weist auch einiges darauf hin, dass Multimodalität eine natürlichere, intuitivere Interaktion zwischen Mensch und Maschine ermöglicht (Akyol, Libuda, & Kraiss, 2001; Bengler, 2001; Hedicke, 2000). Die Präsentation von doppelt-kodierter Information kann nach Liu (2001) dazu führen, dass eine größere Menge an Information aufgenommen wird und so zu Leistungsverbesserungen führen kann (Selcon &

Taylor, 1995). Eine Vergrößerung der Anzahl der Modalitäten, über die eine Warnung präsentiert wird, verringert zudem die Reaktionszeit auf diese Warnung (Edworthy, Stanton, & Hellier, 1995). Multimodale Signale können die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass eine Person das Warnsignal entdeckt (Campbell, et al., 2007). So kann z. B. der Nachteil, dass eine akustische Warnung nur temporär verfügbar ist, durch eine länger andauernde visuelle Ergänzung minimiert werden. Der potentielle Effekt des Übersehens einer visuellen Warnung kann wiederum durch eine zusätzliche akustische Komponente verhindert werden. Eine weitere Möglichkeit der Verwendung von multiplen Modalitäten liegt darin, mit einer Zunahme an Modalitäten die subjektiv wahrgenommene Dringlichkeit zu vergrößern (Brown, 2005). Es ist wahrscheinlich, dass eine Person eine multimodale Warnung im Vergleich z. B. zu einer reinen Tonwarnung als kritischer bewertet. Eine multimodale Warnung könnte somit bisher dargestellte Vorteile bestimmter Modalitäten zur Informationsdarbietung verbinden und einige Nachteile überwinden.

Im Fahrzeugkontext wird entweder eine akustische oder haptische Warnung empfohlen, um die Aufmerksamkeit einer Person zu erregen, sowie eine zusätzliche visuelle Warnung, um spezifische Information zu übermitteln (Brown, 2005). Richtlinien zur Gestaltung von Kollisionswarnungen empfehlen für eine akute Warnung die Kombination aus einer akustischen und zusätzlichen auffälligen visuellen Warnung (Campbell, et al., 2007).

Die Gestaltung einer multimodalen Warnung kann redundant oder nicht redundant erfolgen (Partan & Marler, 1999). Nach Milekic (2002) kann die Präsentation von Information über mehrere Modalitäten in vier Formen eingeteilt werden:

1. Die Information ist **widersprüchlich**: z. B. passen Mundbewegung und sprachliche Äußerungen nicht zusammen.
2. Die Information ist **konkurrierend**: z. B. eine sprachliche Ausgabe von Information, die nicht mit einer visuellen Textausgabe synchronisiert ist.
3. Die Information ist **redundant**: die Darbietung von Information über einen zusätzlichen Kanal, die keinen Informationszuwachs darstellt und aber auch nicht mit der gleichzeitigen Ausgabe in einer anderen Modalität konkurriert.
4. Die Information ist **komplementär**: die Darbietung von Information, die durch einen zusätzlichen Kanal transportiert wird und einen Informationszuwachs darstellt.

Übertragen auf den Anwendungsfall Fahrzeug, sind für die Gestaltung nützlicher Warnungen nur die letzten beiden Fälle in Betracht zu ziehen, da die ersten beiden Varianten keine optimalen Gestaltungsmöglichkeiten darstellen. Ein Beispiel für eine redundante

Informationsübermittlung wäre die Präsentation einer Autohupe und eines visuellen Icons in Form eines Autos, um Information darüber zu geben, was die potentielle Gefahr darstellt. Denkbar ist jedoch in diesem Falle auch eine komplementäre Informationsübermittlung, z. B. die Präsentation eines Tons und eines visuellen Icons in Form eines Autos. Dieser Warntyp stellt keine redundante Kodierung dar, da nicht die gleiche Information über unterschiedliche Modalitäten übermittelt wird. Vielmehr liefert die Tonwarnung eine unspezifische Information darüber, dass etwas Kritisches passiert und eine Aufmerksamkeitsausrichtung erforderlich ist. Das visuelle Icon hingegen informiert über das Gefahrenobjekt und ist ein Informationszuwachs.

In einer Studie wurden beide Arten von multimodalen Warnungen im Vergleich zu unimodalen akustischen Warnungen untersucht (Belz, et al., 1999). Sie konnten für frontale Kollisionswarnungen zeigen, dass sowohl bei der Präsentation des Auditory Icon allein als auch bei der Kombination aus Ton oder Auditory Icon mit einem visuellen Display eines Autos kurze Reaktionszeiten auf diese Signale auftraten. Diese Studie zeigt somit, dass sowohl eine redundante als auch eine komplementäre multimodale Warnung einen Reaktionsvorteil hervorrufen kann.

## **5.5 Zusammenfassung**

Die Darbietung von Information im Fahrzeug lässt sich hauptsächlich auf die Bereiche visuelle, akustische und taktile Modalität beschränken. Sprachliche Darbietung, sei sie visuell oder akustisch, ist in diesem Anwendungskontext nicht zu empfehlen, da die Verarbeitung dieser Information zu viel Zeit in Anspruch nimmt. Die Informationsübermittlung durch Symbole oder Piktogramme ist denkbar, jedoch z. T. schwer umsetzbar. Fragen der Positionierung und mögliche Probleme bei der Integration mit der realen Fahrszene, z. B. im Falle eines Head-up Displays, sind nicht zu unterschätzen. Non-verbale, akustische Darbietungsmöglichkeiten stellen Töne, Earcons oder Auditory Icons dar, wobei Letztere am besten geeignet sind, in weniger häufig auftretenden Situationen intuitiv eine schnelle Reaktion hervorzurufen. Eine taktile Informationsübermittlung scheint auch sehr nützlich zu sein, ist jedoch durch die geringe Verbreitung und die Grenzen der übermittelbaren Information nur eingeschränkt zu empfehlen. Multimodale Umsetzungen hingegen sind sehr hilfreich, da die Chancen steigen, dass Personen die Warnungen wahrnehmen. Außerdem könnte eine erhöhte Wahrnehmung von Dringlichkeit zu positiven Effekten, bezogen auf kurze Reaktionszeiten, führen. Durch eine sinnvolle Kombination von Warnungsmodalitäten kann eine effektive, multimodale Warnung gestaltet werden.

## 6 FAZIT FÜR EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGEN

Da für einen Fahrzeugführer Information über die Gefährdung wichtig ist, soll durch eine Gestaltung von intuitiven, einfach verständlichen Warnungen eine schnelle und angemessene Reaktion des Fahrers hervorgerufen werden. Ein möglicher Ansatz zur Unterstützung eines Fahrers in einer gefährlichen Situation ist die „semantische Anreicherung“ einer Warnung.

Die Theorie des ökologischen Wahrnehmungsansatzes (siehe 4.2) und speziell die Weiterentwicklung des Everyday Listening (siehe 4.3) legen nahe, dass eine Warnung, die eine angemessene Assoziation (siehe 4.4) hervorruft, zu einer schnellen und richtigen Reaktion führt. Dies kann durch die Verwendung von Auditory Icons erreicht werden. Zusätzlich zur Information über die Identität des Konfliktpartners kann die passende Reaktionsauswahl in einer kritischen Gefahrensituation weiter dadurch unterstützt werden, dass Auditory Icons zusätzlich mit Information über die räumliche Position versehen werden. Dies hat sich in diversen Untersuchungen zum Spatial cueing (siehe 4.5) als sinnvoll erwiesen.

Empirische Studien haben darauf hingewiesen, dass einerseits die Nutzung von Auditory Icons im Fahrzeugkontext zu schnellen Reaktionen führen kann (Graham, 1999) sowie räumlich positionierte Reize die Aufmerksamkeit auf visuelle Reize lenken können (Belz, 1997; Ho, 2004; Ho, et al., 2007; Ho & Spence, 2005; Ho, Spence, & Tan, 2005; Ho, Tan, et al., 2006). An diesen Studien ist jedoch zu kritisieren, dass die Untersuchungsszenarien sehr künstlich waren. Entweder wurde durch Laborstudien im Fahrkontext die Komplexität der Fahrsituation stark vereinfacht oder die Warnungen wurden in Fahrsimulatorstudien untersucht, die keine realistischen Kollisionsszenarien beinhalteten. Deshalb sind Schlussfolgerungen aus diesen Studien für derartige Situationen in der Realität schwer zu ziehen. Dies ist aber für eine Evaluation eines sicherheitskritischen Assistenzsystems, wie es bei Kollisionswarnungen im Fahrzeug der Fall ist, essentiell und für eine Beurteilung in frühen Phasen der Systementwicklung entscheidend. Besonders für den Bereich der Verwendung räumlicher Warnungen lautet eine nicht geklärte Forschungsfrage, ob Spatial cueing auch funktioniert, wenn Versuchspersonen nicht direkt über die Bedeutung der Warnung instruiert sind, so wie es in realistischen Situationen im Fahrzeug der Fall ist. Diese Frage gilt es durch diese Arbeit zu klären. Hierzu werden entsprechende Instruktionen verwendet. Ebenso wird eine Erweiterung der Gestaltung durch eine multimodale Warnung angestrebt, da sich Vorteile dieser Präsentationsform gezeigt haben (siehe 5.4). Ob die Gestaltung der multimodalen Warnung redundant oder komplementär erfolgen wird, hängt jedoch von den Ergebnissen der ersten Hauptstudie ab.

Aufgrund der bisherigen Erläuterungen lassen sich für das Forschungsziel 1 drei weitere Forschungsfragen ableiten, die sich mit der Gestaltung von semantisch angereicherten Warnungen ergeben:

1. Ist Information über eine Gefahrenquelle hilfreich für eine angemessene und schnelle Reaktion in einer kritischen Fahrsituation?
2. Wie wird diese Information am besten übermittelt?
3. Kann diese Information wahrgenommen werden?

## **6.1 Auswahl der Untersuchungsmethoden**

Eine Warnung in einem zeit- und sicherheitskritischen Kontext ist nur ökologisch valide zu untersuchen, indem keine direkte Instruktion über die Bedeutung der Warnung erfolgt. Lediglich dadurch kann auf eine intuitive Verständlichkeit in überraschenden bzw. selten auftretenden Situationen geschlossen werden. Ebenso ist es wichtig, in einer Studie möglichst realitätsnahe Szenarien umzusetzen, damit auf ähnliche Effekte (im relativen Vergleich verschiedener Warnvarianten) im realen Umfeld geschlossen werden kann. Zur Auswahl einer geeigneten Untersuchungsmethode können verschiedene Varianten diskutiert werden.

### *6.1.1 Laborstudie vs. Fahrsimulator vs. Realfahrt*

Im Allgemeinen kommen Realfahrten dem tatsächlichen Fahrverhalten am nächsten, da die Realität nicht simuliert und abgebildet werden muss. Trotzdem ist eine solche Feldstudie deutlich von natürlichen Situationen zu unterscheiden, da immer noch eine Untersuchungssituation vorliegt, die durch bestimmte Effekte, wie z. B. Versuchsleitereffekte, beeinflusst wird. Zudem weist eine Realfahrt noch andere Schwierigkeiten auf. Es treten z. B. Störvariablen auf, die schwer kontrolliert werden können (Huber, 1995), und es ist fast unmöglich, exakt gleiche Untersuchungsbedingungen für Versuchspersonen zu erreichen. Deshalb ist ein Vergleich über Untersuchungszeitpunkte hinweg problematisch. Zudem lassen sich in einem Realfahrzeug Kollisionssituationen nicht ohne eine tatsächliche Gefährdung des Fahrzeugführers realisieren.

Eine Laborstudie hingegen ermöglicht eine leichte Kontrolle und Minimierung von Störvariablen und es können exakt gleiche Untersuchungen wiederholt werden. Der eindeutige Nachteil liegt jedoch in der geringen externen Validität, also der fehlenden Übertragbarkeit in die Anwendung.

Eine Art Mittelstellung nimmt eine Studie im Fahrsimulator ein. Es ist sozusagen eine Untersuchung in der simulierten Anwendungsdomäne. Eine solche Studie ist leichter zu planen und durchzuführen als eine Feldstudie. Zudem können gefährliche Situationen nachgeahmt werden, ohne dass eine Gefahr für den Untersuchungsteilnehmer entsteht. Ebenso können Studiendurchläufe exakt repliziert und Störeinflüsse minimiert werden (Knappe, Keinath, & Meinecke, 2006).

Simulatoren lassen sich in sechs Stufen unterteilen (Burmester, Graf, Hellbrück, & Meroth, 2008), wobei eine höhere Stufe auch mit einer angenommenen größeren Realitätsnähe einhergeht:

1. Tracking-Aufgabe am PC; Eingabe z. B. mit Maus,
2. Fahraufgabe am PC; Eingabe mit Spielelenkrad,
3. Sitzkiste mit Fahrzeuginterieur und Projektionssystem (stationär),
4. stationärer Simulator mit Realfahrzeug, Force-Feedback der Lenkung,
5. stationärer Simulator mit Realfahrzeug, Force-Feedback der Lenkung und Fahrgeräuschen sowie Vibrationen,
6. dynamische Fahrsimulatoren mit Bewegungssystem zur Stimulation des vestibulären Eindrucks.

Der Szenariogestaltung kommt eine wichtige Bedeutung zu, denn Aufgaben, weit entfernt von realistischen Fahrsituationen, sind nur bedingt aussagekräftig für tatsächliche Fahrerreaktionen im Konfliktfall. Dies ist eine Forderung, die sich aus methodischen Unzulänglichkeiten bisheriger empirischer Studien ergibt (Ho, Tan, et al., 2006), die oftmals durch unangemessene Instruktionen künstliche Reaktionen erzeugen und dieses wiederum als Hinweis auf die Nützlichkeit der evaluierenden Systemkomponenten ansehen. Das Verhalten kann jedoch nicht ohne weiteres als Beurteilungskriterium für sicherheitskritische Systeme dienen, da es durch starke Kontrolle entstanden ist. In der realen Anwendung ist keine Beeinflussung der Handlungen möglich. Deshalb ist eine Verwendung von natürlicheren Instruktionen und weniger Restriktionen angemessener (Ververs & Wickens, 1998).

Aus diesen Erörterungen wird deutlich, dass es bei der Untersuchung von Kollisionswarnungen wichtig ist, Fahrverhalten zu erzeugen, das in einem möglichst realistischen Setting stattfindet und nicht durch direkte Instruktion der angemessenen Reaktion beeinflusst wird. Hierfür müssen Szenarien im Fahrsimulator entwickelt werden, die eine hohe Ähnlichkeit zu tatsächlichen Fahrten aufweisen. Dies wird mit Forschungsziel 2 verfolgt.

Eine Simulation verlangt, dass mindestens ein Teil des Systems Fahrer-Fahrzeug-Umgebung so repräsentiert ist, dass der Fahrer so handelt, wie er es in der Realität tun würde, allerdings ohne dass seine Aktionen zu gefährlichen Folgen führen (Biehl, 1976). Der Wert eines Simulators – und damit auch der untersuchten Fragestellung – hängt somit davon ab, inwieweit beim Fahrer eine realitätsähnliche Handlung hervorgerufen werden kann (Rolfe, Hammerton-Fraser, Poulter, & Smith, 1970). Es geht also nicht um das direkte Übertragen auf die Realität, sondern um Reaktionen des Nutzers, die möglichst ähnlich zu realen Aktionen sind. Das experimentelle Vorgehen für diese Arbeit wird im folgenden Abschnitt dargestellt.

### 6.1.2 Vorgehen

Um die Ziele dieser Arbeit zu erreichen, müssen verschiedene Methoden miteinander kombiniert werden. Nur durch ein solches Vorgehen kann in Laborstudien sichergestellt werden, dass angemessenes Reizmaterial verwendet wird sowie in nachfolgenden realistischen Simulatorstudien deren Verwendung in der Anwendung überprüft wird. In Abbildung 8 wird der Forschungsplan für diese Arbeit dargestellt.

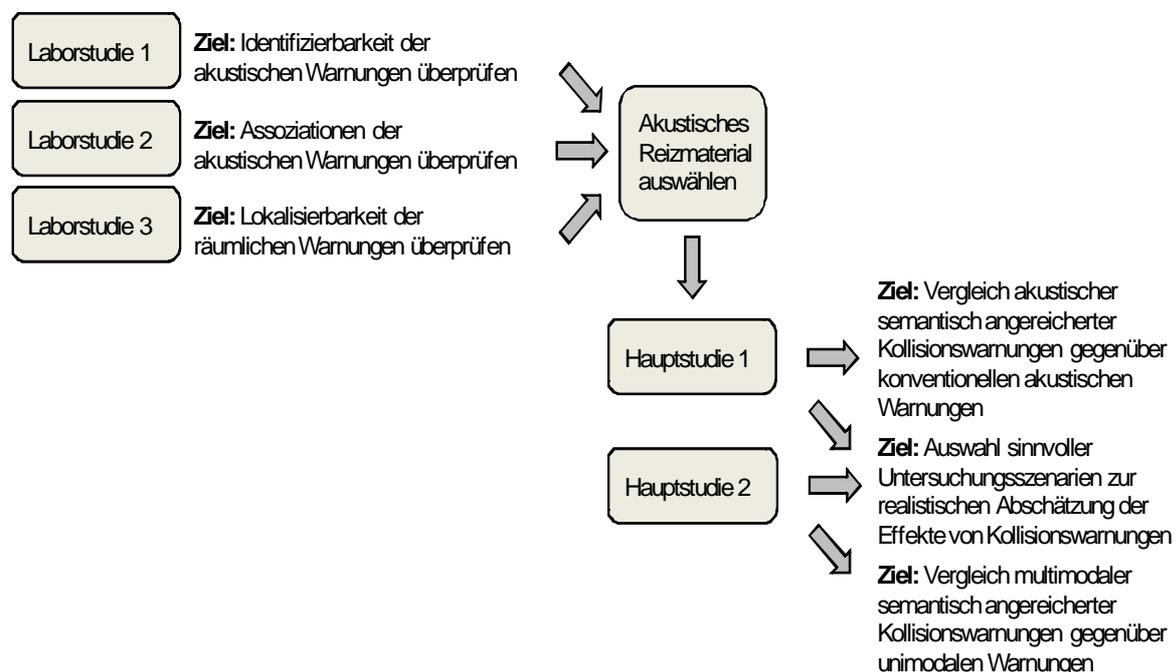


Abbildung 8: Forschungsplan zur Gestaltung und Evaluation der semantisch angereicherten Warnungen

Zur Entwicklung von geeigneten Kollisionswarnungen muss entsprechendes Material gestaltet, getestet und ausgewählt werden. In der ersten Hauptstudie werden rein akustische Warnvarianten verwendet. Die Übermittlung der Information über das Gefahrenobjekt erfolgt

durch Auditory Icons. Um geeignete Kandidaten für die Hauptstudie auszuwählen, sind Laborstudien notwendig, die die Verständlichkeit und Assoziationsfähigkeit und somit die Verwendbarkeit der Auditory Icons überprüfen. In einer ersten Laboruntersuchung wird die Erkennung von Auditory Icons mit Hilfe eines Reaktionszeitexperiments geprüft. In Laborstudie 2 werden für ausgewählte Auditory Icons freie Assoziationen erhoben. Verwendet werden die Auditory Icons, die in Laborstudie 1 zu den besten Identifikationsraten und kürzesten Reaktionszeiten führen (siehe Abbildung 8).

Für die Übermittlung der Information über den Ort einer Gefahr soll in der ersten Hauptstudie eine räumliche Warnung verwendet werden, d. h. das jeweilige Auditory Icon von ungefähr der Richtung wiedergegeben werden, aus der sich die Gefahr auch annähert. Hierfür muss die Wahrnehmbarkeit solcher Warnungen durch die Probanden sichergestellt werden (siehe Abbildung 8). Dies wird im dritten Laborversuch überprüft, indem ein Wellenfeldsynthesystem im Fahrsimulator auf die Tauglichkeit für diese Untersuchung getestet wird.

Im Anschluss an die Laborstudien, die der Materialerstellung dienen, erfolgt die Untersuchung in der realistischeren Umgebung des Fahrsimulators. In der ersten Hauptstudie werden räumliche akustische Warnungen mit einer konventionellen akustischen Warnung verglichen. Weiterhin sollen hier sinnvolle Untersuchungsszenarien entwickelt werden. Die Ergebnisse dieser Studie fließen in die Planung der zweiten Hauptstudie ein. Ziel der zweiten Studie ist die Entwicklung einer multimodalen, speziell visuell-akustischen Warnung und der Vergleich dieses Warntyps zu unimodalen Warnungen. Diese Studie dient ebenso der Weiterentwicklung zweckmäßiger Szenarien zur Untersuchung von Warnungen für Kollisionssituationen (siehe Abbildung 8). Nachfolgend werden die einzelnen Studien dargestellt.

## **6.2 Zusammenfassung**

Für die Gestaltung und Bewertung von intuitiven Warnungen im Fahrzeug in einer realistischen Studie, ohne eine Gefährdung für die Versuchsteilnehmer, ist eine Fahrsimulatorstudie am besten geeignet. Die Probanden können so während einer kontinuierlichen Fahrt in Kollisionssituationen mit den Warnungen konfrontiert werden. Ebenso sollte keine Aufklärung der Probanden über die Bedeutung der Warnungen erfolgen, damit zumindest die erste Situation Hinweise auf die intuitiven Eigenschaften der Warnung liefern kann. Durch eine Kombination von Laborversuchen und Simulatorstudien sollen die Warnungen angemessen evaluiert werden.

## 7 VORBEREITUNG DER HAUPTSTUDIEN

Der erste und der zweite Laborversuch dienten der Auswahl des geeigneten Reizmaterials für die erste Hauptstudie. In einer dritten Laborstudie wurde das System zur Präsentation der räumlichen Warnungen im Fahrsimulator überprüft.

### 7.1 Laborstudie 1

Ziel der ersten Laborstudie war die Untersuchung der Identifizierbarkeit der Auditory Icons (siehe auch Abbildung 8), was in einem Reaktionszeitexperiment getestet wurde. Nachfolgend wird die verwendete Methodik erläutert und die Ergebnisse dieser Laborstudie werden dargestellt.

#### 7.1.1 Methodik

Es wurde die Experimentalsoftware E-prime verwendet (siehe <http://www.pstnet.com/>). Das Material für die Geräusche wurde in diversen Datenbanken im Internet ausgewählt (z. B. <http://www.findsounds.com/>) und 26 Geräusche aus sechs Geräuschklassen (siehe Tabelle 5) auf ihre Erkennbarkeit überprüft.

Tabelle 5: Verwendete Geräuschkategorien und Anzahl der Vertreter pro Kategorie

	Brems- geräusch	Fahrrad- klingel	Auto- hupe	Hunde- bellen	Schritte	Unfall- geräusch
Anzahl der Vertreter pro Geräuschkategorie	3	4	4	5	5	5

Die Erkennbarkeit der Geräusche wurde durch eine Wahlreaktionsaufgabe untersucht, bei der zuerst für 2000 ms in der Mitte des Bildschirms ein Wort präsentiert wurde (z. B. „Fahrradklingel?“) und im Anschluss daran ertönte ein Geräusch über Kopfhörer (siehe Abbildung 9).

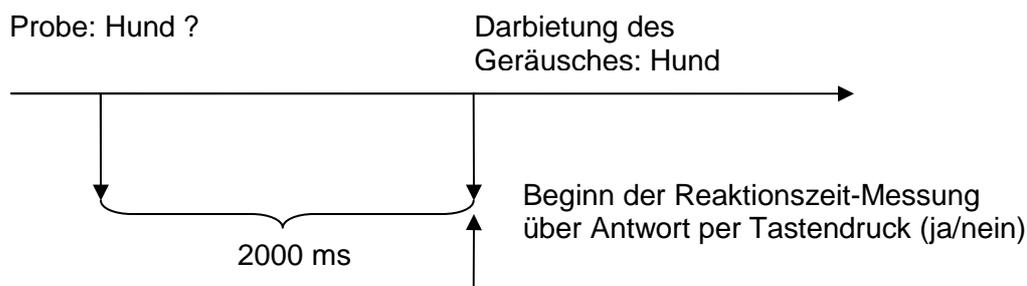


Abbildung 9: Ablauf der Laborstudie 1 für eine Match-Bedingung

Die Geräusche hatten eine Dauer von 1000 ms und waren in der Lautstärke normalisiert. Die Versuchspersonen mussten mit einer von zwei Tasten entscheiden, ob eine „Übereinstimmung“ (Match) oder „Nicht-Übereinstimmung“ (Mismatch) von Wort und Geräusch vorliegt. Das Zeitintervall zwischen zwei Trials lag in einem variablen Intervall von 1000 – 1100 ms. In einem Übungsdurchlauf erhielten die Probanden Feedback über ihre Antworten. Die hier verwendeten Stimuli waren nicht dieselben, die anschließend in der Untersuchung verwendet wurden. Nach dem Übungsdurchlauf erhielten die Probanden keinerlei Feedback über ihre Antworten. Die Versuchspersonen wurden darüber informiert, dass sie an einem Experiment zur Geräuschwahrnehmung teilnehmen.

Neben den 26 interessierenden Geräuschen wurden 26 zusätzliche Geräusche (z. B. das Geräusch eines Weckers) in der Studie dargeboten, um die Aufgabe zu erschweren. Die Stimuli wurden in einem vollständigen within-subjects Design in zwei Bedingungen getestet: Match-Bedingungen (wenn Wort und Geräusch übereinstimmen) oder Mismatch-Bedingungen (wenn Wort und Geräusch nicht übereinstimmen). Die Bedingungen waren in zwei Blöcke mit einer kurzen Pause aufgeteilt. Die Darbietungsreihenfolge der Bedingungen in den Blöcken war vollständig randomisiert. Als abhängige Variablen dienten sowohl die Identifikationsraten als auch die Reaktionszeit auf jedes dieser Geräusche.

An der Studie nahmen 20 Probanden teil (zehn Frauen/zehn Männer), die im Durchschnitt 26 Jahre alt waren, zumeist Studenten und Studentinnen der TU Berlin. Die Teilnehmer erhielten eine Aufwandsentschädigung von fünf Euro. Die Studie umfasste in etwa 15 min.

### *7.1.2 Ergebnisse*

Für die Auswertung der Identifikationsraten wurden lediglich die 26 interessierenden Geräusche betrachtet, da nur diese für die weitere Verwendung relevant waren. Die Erkennungsleistung lag bei der Wahlreaktionsaufgabe allgemein relativ hoch (siehe Tabelle 6). Betrachtet man die Treffer- im Vergleich zur Falsche-Alarm-Rate über alle Geräusche, so sieht man keine generelle Neigung der Versuchsteilnehmer, Ja-Antworten zu geben.

Tabelle 6: Identifikationsraten der 26 Geräusche

		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Fahrradklingel	Treffer	95 %	100 %	100 %	100 %	
	Korrekte Ablehnung	100 %	95 %	85 %	100 %	
	Falscher Alarm	0 %	5 %	15 %	0 %	
	Verpasser	5 %	0 %	0 %	0 %	
Unfallgeräusch	Treffer	50 %	75 %	85 %	95 %	90 %
	Korrekte Ablehnung	100 %	55 %	100 %	65 %	45 %
	Falscher Alarm	0 %	45 %	0 %	35 %	55 %
	Verpasser	50 %	25 %	15 %	5 %	10 %
Hundebellen	Treffer	100 %	100 %	90 %	100 %	95 %
	Korrekte Ablehnung	95 %	100 %	100 %	100 %	100 %
	Falscher Alarm	5 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Verpasser	0 %	0 %	10 %	0 %	5 %
Autohupe	Treffer	95 %	100 %	95 %	100 %	
	Korrekte Ablehnung	90 %	100 %	90 %	100 %	
	Falscher Alarm	10 %	0 %	10 %	0 %	
	Verpasser	5 %	0 %	5 %	0 %	
Bremsgeräusch	Treffer	95 %	95 %	95 %		
	Korrekte Ablehnung	85 %	40 %	100 %		
	Falscher Alarm	15 %	60 %	0 %		
	Verpasser	5 %	5 %	5 %		
Schritte	Treffer	80 %	35 %	40 %	80 %	70 %
	Korrekte Ablehnung	95 %	100 %	95 %	100 %	95 %
	Falscher Alarm	5 %	0 %	5 %	0 %	5 %
	Verpasser	20 %	65 %	60 %	20 %	30 %

Stattdessen zeigte sich in einigen Fällen eine hohe Treffer-Rate zusammen mit einer niedrigen Falsche-Alarm-Rate, wie z. B. bei einigen Varianten der Fahrradklingel. Dies deutet auf eine besonders gute Identifizierbarkeit hin. In der Kategorie der Schritte dagegen erzielte eine Variante eine Treffer-Rate unter 50 % mit einer relativ niedrigen Falsche-Alarm-Rate. Die Kategorie des Unfallgeräuschs erzielte für eine Variante eine Treffer-Rate unter 50 %, jedoch ebenso für eine Variante eine Treffer-Rate von 90 % mit gleichzeitiger Falscher-Alarm-Rate von 55 %. Dies spricht in beiden Fällen für eine schlechte Identifikationsleistung.

Angelehnt an die Vorgaben des ANSI (American National Standardization Institute)<sup>5</sup>, wurde ein cut-off Wert der Treffer Rate von 85 % festgelegt, d. h., alle Geräusche unterhalb dieses Wertes wurden von weiteren Studien ausgeschlossen. Sämtliche Werte der Geräuschkategorie der Schritte lagen unter diesem Wert, ebenso einzelne weitere Geräusche aus den anderen Kategorien.

<sup>5</sup> Das ANSI-Institut hat eine Norm vorgegeben (Z535.3), die besagt, dass mind. 85 % der Antworten von 50 Personen auf ein Symbol richtig sein müssen und dass es nicht mehr als 5 % kritische Konfusionen geben darf, wenn man testen will, dass ein Symbol oder (oder in diesem Fall ein Geräusch) verstanden wird (Wogalter et. al 1999).

Bei den erfassten Reaktionszeiten traten keine signifikanten Unterschiede innerhalb einer Geräuschkategorie auf (siehe Abbildung 10).

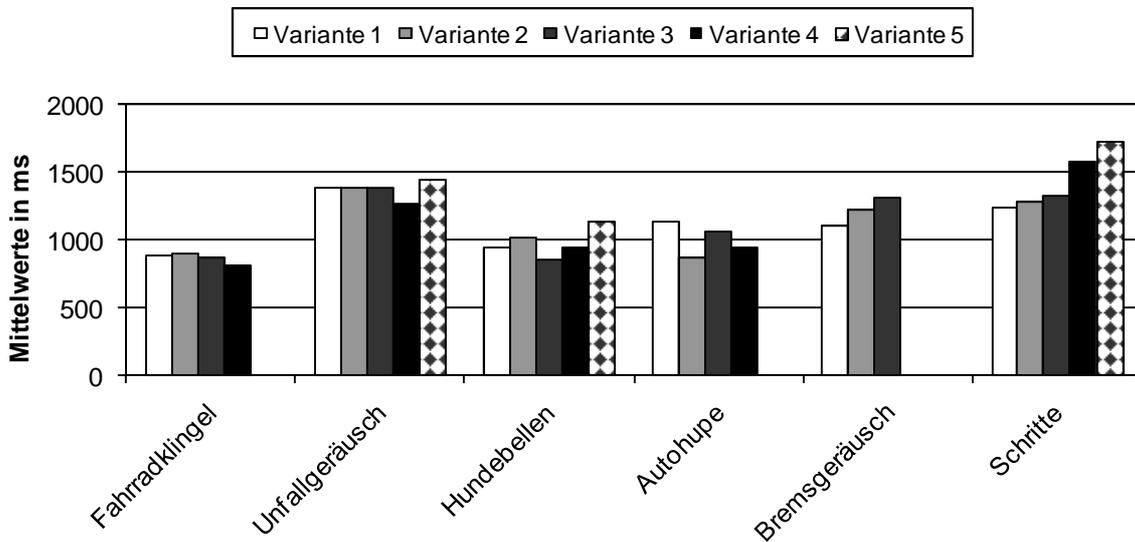


Abbildung 10: Reaktionszeit (in ms) auf die Auditory Icons aus Laborversuch 1

Allerdings ließen sich signifikante Unterschiede zwischen den Auditory Icon Kategorien finden (Multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung; Wilks Lambda  $F[4;16] = 17,8$ ,  $p < .001$ ; (siehe Abbildung 11).

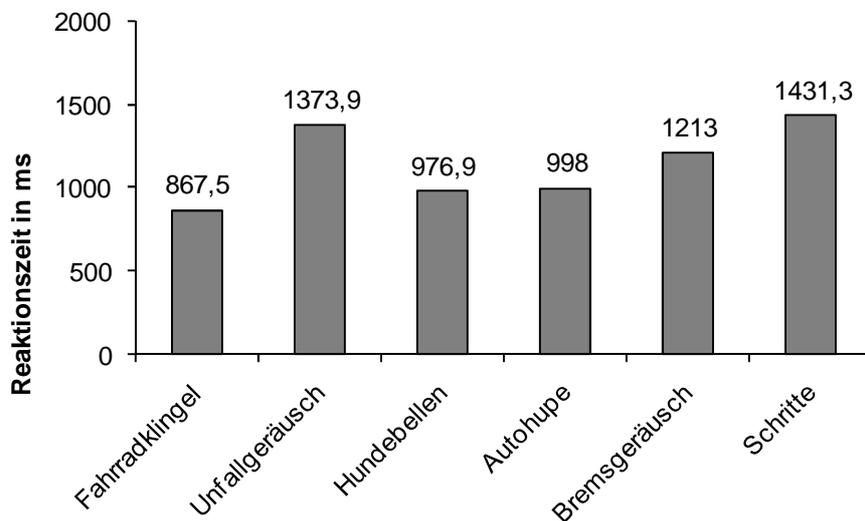


Abbildung 11: Reaktionszeit in ms nach Kategorie der Auditory Icons

Eine genauere Betrachtung durch paarweise Vergleiche (siehe Tabelle 7) zeigte, dass die Versuchsteilnehmer am schnellsten auf die Fahrradklingel reagierten, gefolgt vom Auditory

Icon des Hundebellens. Auf das Unfallgeräusch und die Schritte wurde dagegen am langsamsten reagiert.

Tabelle 7: Paarweise Vergleiche der Kategorien der Auditory Icons

(I) Kategorie	(J) Kategorie	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz (a)
Fahrradklingel	Unfallgeräusch	-506,44	72,94	.00
	Hundebellen	-109,40	35,82	.01
	Autohupe	-13,49	54,04	.03
	Bremsgeräusch	-345,55	57,52	.00
	Schritte	-563,79	72,31	.00
Unfallgeräusch	Hundebellen	397,04	72,41	.00
	Autohupe	375,95	65,27	.00
	Bremsgeräusch	160,88	52,72	.01
	Schritte	-57,35	64,65	.39
Hundebellen	Autohupe	-21,09	59,78	.73
	Bremsgeräusch	-236,16	49,28	.00
	Schritte	-454,39	74,00	.00
Autohupe	Bremsgeräusch	-215,07	58,45	.00
	Schritte	-433,30	56,92	.00
Bremsgeräusch	Schritte	-218,24	54,38	.00

a) Signifikanzniveau angepasst nach Bonferroni; bei  $\alpha = .05 \rightarrow .05/5 = .01$

Dieses Experiment zeigte, dass die Schritte generell zu schlecht erkennbar sind und nicht weiterverwendet werden sollten. Ebenso liegen drei Varianten des Unfallgeräusches unter dem 85%igen cut-off Wert. Aufgrund längerer Reaktionszeiten werden auch eine Variante des Hundebellens und eine Variante des Bremsgeräusches aus der weiteren Analyse ausgeschlossen (jedoch kein signifikanter Unterschied). Somit bleiben für die weitere Verwendung 16 Geräusche übrig.

## 7.2 Laborstudie 2

Im zweiten Laborversuch sollten die bisher ausgewählten Geräusche auf ihre Assoziationsfähigkeit und Verwendbarkeit in Fahrsituationen getestet werden (siehe auch Abbildung 8). Nachfolgend wird die verwendete Methodik erläutert und die Ergebnisse dieser Laborstudie werden dargestellt.

### 7.2.1 Methodik

Es wurde die Experimentalsoftware E-prime verwendet. Per Instruktion wurden die Teilnehmer in einen Fahrkontext versetzt.<sup>6</sup> Die 16 Geräusche sollten identifiziert und daraufhin beurteilt werden, wie typisch sie für das zu repräsentierende Objekt sind und wie stark die wahrgenommene Dringlichkeit ist, auf dieses Geräusch zu reagieren.

Die zu testenden Geräusche wurden in vier Gruppen eingeteilt (siehe Tabelle 8) und zu Versuchsbedingungen kombiniert. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da eine komplette Abfolge aller Geräusche die Versuchsdauer zu stark verlängert hätte.

Tabelle 8: Geräuschgruppen und dazugehörige Geräusche

Gruppe1	Gruppe2	Gruppe3	Gruppe4
Fahrrad 1	Fahrrad 2	Fahrrad 3	Fahrrad 4
Unfall 4	Unfall 5	Bremsgeräusch 1	Bremsgeräusch 2
Hund 1	Hund 2	Hund 3	Hund 6
Hupe 1	Hupe 2	Hupe 3	Hupe 4

Immer zwei Geräuschgruppen wurden miteinander kombiniert, jede Gruppe tauchte somit viermal in den Bedingungen auf (siehe Tabelle 8). Innerhalb einer Gruppe wurden die Geräusche in randomisierter Reihenfolge dargeboten.

Tabelle 9: Zusammenstellung der Gruppen zu Bedingungen

Kombinationen	Bedingung	Anzahl VPs
Gruppe 1 + Gruppe 3	Bedingung 1	2
Gruppe 2 + Gruppe 4	Bedingung 2	2
Gruppe 1 + Gruppe 4	Bedingung 3	2
Gruppe 2 + Gruppe 3	Bedingung 4	2
Gruppe 3 + Gruppe 1	Bedingung 5	2
Gruppe 4 + Gruppe 2	Bedingung 6	2
Gruppe 4 + Gruppe 1	Bedingung 7	2
Gruppe 3 + Gruppe 2	Bedingung 8	2

Es wurde jeweils ein einzelnes Geräusch über Kopfhörer dargeboten und die Probanden sollten die Leertaste drücken, sobald sie das Geräusch identifiziert hatten. Im Anschluss daran beantworteten sie fünf Fragen zu diesem Geräusch:

<sup>6</sup> Instruktion: „Stellen Sie sich vor, Sie haben ein neues Auto gekauft. Sie wissen, dass dieses Auto ein neuartiges Warnsystem besitzt. Nun fahren Sie das erste Mal mit Ihrem neuen Auto. Während Ihrer Fahrt werden Sie mit einer Reihe von Geräuschen konfrontiert. Bitte füllen Sie im Folgenden nach jedem Geräusch den kurzen Fragebogen dazu aus.“

1. Um welches Geräusch handelt es sich?
2. Was assoziieren Sie mit diesem Geräusch? Was fällt Ihnen als Erstes ein, wenn Sie dieses Geräusch hören?
3. Wie typisch ist dieses Geräusch für seine Bedeutung?
  - Rating (5-stufig): nicht typisch bis sehr typisch
4. Wie dringlich würden Sie eine Reaktion ihrerseits ansehen, wenn Sie dieses Geräusch hören?
  - Rating (5-stufig): nicht dringlich bis sehr dringlich
5. In welcher Gefahrensituation könnte dieses Geräusch als adäquate Warnung dienen?

Die freien Angaben der Probanden wurden inhaltlich kategorisiert und daraufhin wurden Häufigkeiten der Identifikation berechnet. Zudem wurden auch in diesem Laborversuch Reaktionszeiten erfasst, die angaben, zu welchem Zeitpunkt die Personen das Geräusch in freier Assoziation erkannt hatten. Es nahmen 16 Versuchspersonen teil (acht Frauen/acht Männer), die im Mittel 27 Jahre alt waren, überwiegend Studenten und Studentinnen der TU Berlin.

### 7.2.2 Ergebnisse

Wie im vorherigen Laborversuch wurden auch hier recht hohe Identifikationsraten erreicht (Abbildung 12). Der cut-off von 85%iger Identifizierung führte zum Ausschluss einzelner Geräusche.

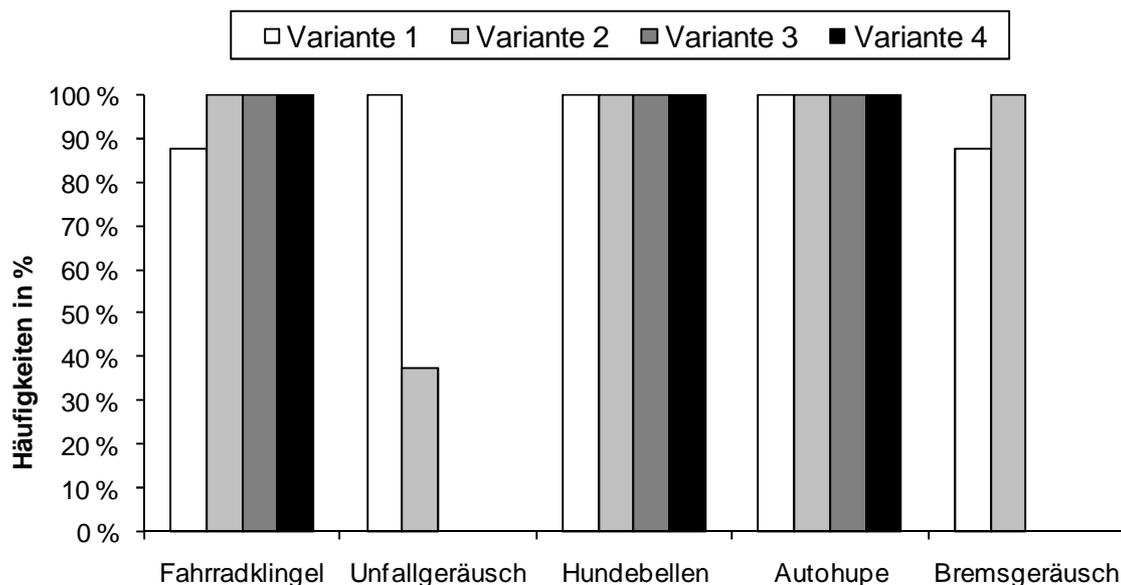


Abbildung 12: Identifikationsrate in % der Auditory Icons

Es zeigte sich ein signifikanter Effekt der Reaktionszeiten ( $F[15;109] = 3,36, p < .001$ ; siehe Abbildung 13).

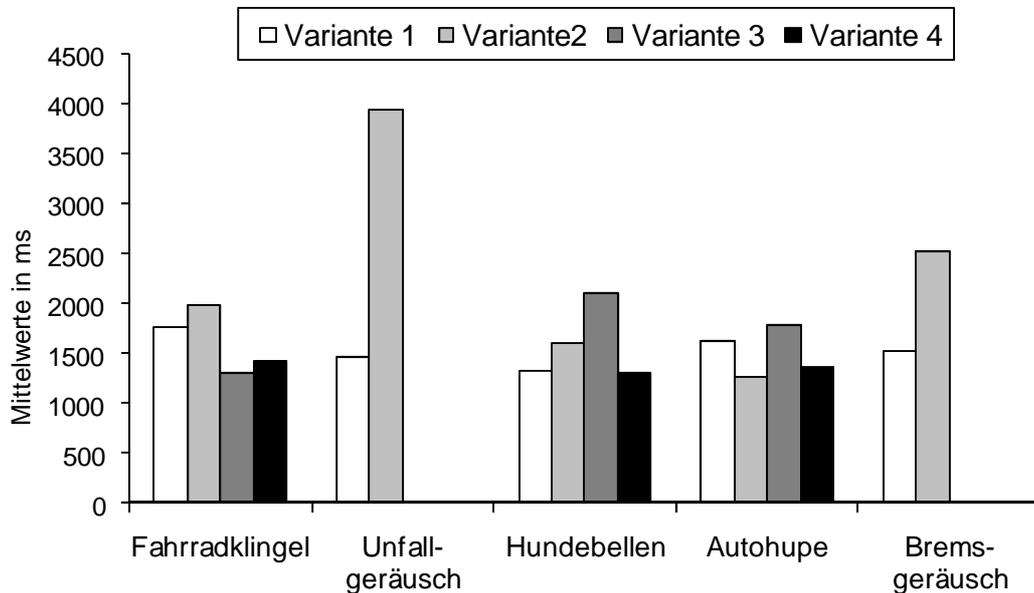


Abbildung 13: Reaktionszeit in ms auf die Auditory Icons

Einzelvergleiche zeigten jedoch nur vereinzelt signifikante Unterschiede (z. B. Unfallgeräusch Variante 2 zu allen anderen, Bremsgeräusch Variante 2 zu z. B. Hundebellen Variante 1 und Variante 4; Details siehe Anhang A).

Die Beurteilung der Typikalität und der Dringlichkeit der Geräusche ergab einen signifikanten Haupteffekt (Multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung; Wilks Lambda  $F[30;208] = 2,95, p < .001$ ), jedoch zeigten Einzelvergleiche wenige Unterschiede (siehe Abbildung 14). Hundebellen wurde als am wenigsten dringlich empfunden, Fahrradklingel und Bremsgeräusch als am dringlichsten, aber auch einige Vertreter der Kategorien Autohupe und Unfallgeräusch wurden als sehr dringlich beurteilt (Details siehe Anhang B).

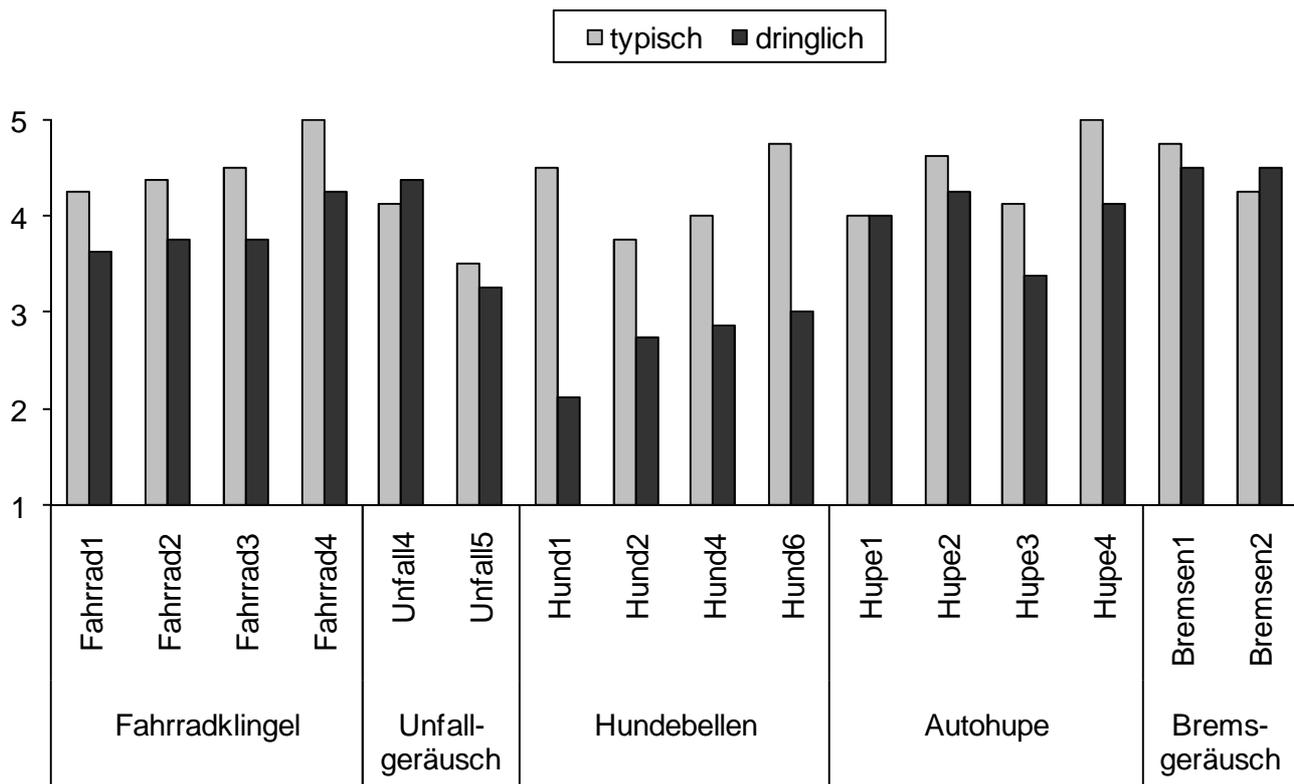


Abbildung 14: Mittelwerte der Ratings der Auditory Icons bezüglich Typikalität und Dringlichkeit (1= nicht typisch/dringlich; 5 = sehr typisch/dringlich)

Bezüglich der letzten Frage, welche Gefahrensituation für das Geräusch passend wäre, gibt Tabelle 10 einen Überblick über die Angaben der Probanden. Die Aussagen liefern einen Eindruck darüber, was für Assoziationen die Warnungen in den Probanden auslösten und welche Szenarien im Fahrsimulator sinnvoll wären.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Laborstudie wurden die insgesamt besten Auditory Icons ausgewählt. Es wurden die Geräusche aus der weiteren Verwendung ausgeschlossen, die die schlechtesten Identifikationsraten und Ratings für Typikalität aufwiesen. Die folgenden vier besten Geräusche wurden zur weiteren Verwendung ausgewählt: eine Variante der Fahrradklingel, eine Variante des Bremsgeräusches, eine Variante des Hundebellens und eine Variante der Autohupe.

Tabelle 10: Matching von Geräusch und passender Gefahrensituation

Unfallgeräusch	Autohupe	Fahrradklingel	Hundebellen	Bremsgeräusch
Auffahren auf ein Stauende	Ich habe einen Fehler gemacht	Fahrrad ist zu nah an meinem Auto	Ein Hund befindet sich auf der Straße oder ist kurz davor	Jemand bremst zu spät
Ich habe einen Unfall verursacht	Ein Auto ist hinter mir	Habe ein Fahrrad übersehen	Habe einen Hund übersehen	Warnung vor einem potentiellen Unfall → mach' eine sofortige Notbremsung
Pass auf!	Ich bremse zu stark	Abbiegevorgang und muss auf Fahrrad Acht geben		Ein anderes Auto hat mich nicht gesehen
Glatteis	Ich habe eine rote Ampel übersehen	Fahrrad befindet sich im Toten Winkel		Kollision
Potentielle Unfallgefahr	Ich habe etwas übersehen	Ein Kinderfahrrad ist in der Nähe		Da ist ein Stau vor mir
	Ich bin jemandem im Weg	Kinder, die am Straßenverkehr teilnehmen		Das Auto vor mir macht eine Notbremsung
	Pass auf!	Ein Fahrrad auf dem Fahrradweg		Kind ist auf der Straße
	Unangemessener Spurwechsel			Vorsicht Glatteis oder schlechte Straßenverhältnisse
	Ich habe ein Auto übersehen			
	Ich habe jemandem die Vorfahrt genommen			
	Wenn ich ausparke und ein Auto kommt			
	Potentielle Unfallgefahr			
	Ein anderes Auto wechselt plötzlich in meine Spur			

### 7.3 Laborstudie 3

Für eine Verwendung räumlicher Warnungen sollte sichergestellt werden, dass die Probanden die räumliche Positionierung der Geräusche wahrnehmen können. Dies war das Ziel des dritten Laborversuchs (siehe auch Abbildung 8). Nachfolgend wird die verwendete Methodik erläutert und die Ergebnisse dieser Laborstudie werden dargestellt.

#### 7.3.1 Methodik

Es liegen für die akustische räumliche Wiedergabe von Informationen im Prinzip drei Möglichkeiten vor (Theile, Wittek, & Reisinger, 2002):

1. Lautsprecher-Stereofonie: Es sind mindestens zwei Lautsprecher für einen räumlichen Eindruck nötig. Durch Pegel- und Laufzeitunterschiede (siehe Exkurs: Akustische Lokalisation) ist eine Positionierung zwischen den Lautsprechern durch Phantomschallquellen möglich (Huber 2002).<sup>7</sup> Nachteile liegen in einer begrenzten Hörzone und geringer Richtungsstabilität der Phantomschallquelle.
2. Reproduktion der Ohrsignale (HRTF-Funktionen): Über einen Kunstkopf werden Ohrsignale aufgenommen und über Kopfhörer wiedergegeben. Im Idealfall stimmen die reproduzierten Signale mit denen überein, die der Hörer tatsächlich empfangen würde. Nachteile bestehen in großen individuellen Unterschieden zwischen Personen. Das lässt die Verwendung allgemeiner HRTF-Funktionen ohne eine intraindividuelle Anpassung an jede Person problematisch werden. Zudem ist die Kopfhörer-Wiedergabe im Fahrzeug unpraktisch.
3. Synthese des umgebenden Schallfeldes (Wellenfeldsynthese): Anstelle einzelner Lautsprecher werden Lautsprecherreihen verwendet und es wird ein virtuelles Schallfeld erzeugt, das mit einem realistisch erzeugten Schallereignis identisch ist. Der große Vorteil im Vergleich zu anderen Verfahren liegt darin, dass sich die Person in der gesamten Hörzone frei bewegen kann, während die virtuellen Schallquellen stabil lokalisierbar bleiben. Dies wird auch in Anlehnung zur optischen Holographie als „Holophonie“ bezeichnet (de Bruijn & Boone, 2003; Theile, 2005).

---

<sup>7</sup> Zwicker, E. & Fastl, H. (1999): In einem traditionellen Stereo-Arrangement sind die Lautsprecher vorne positioniert, mit ca. 30°-Abweichung von der 0°-Position (geradeaus). Wenn von beiden Lautsprechern die gleiche Lautstärke kommt, dann wird die Geräuschquelle als in der Mitte von beiden Lautsprechern wahrgenommen. Wenn der rechte Lautsprecher 30 dB höhere Lautstärke wiedergibt, wird das Geräusch so wahrgenommen, als ob es vom rechten Lautsprecher kommt. Ebenso mit interauraler Zeitverschiebung: Wenn ein Geräusch mit einer niedrigen Frequenz aus einem Lautsprecher einem anderen um 1 ms vorausgeht, ist die wahrgenommene Lokalisierung die des ersten Lautsprechers.

Der Vorteil eines Wellenfeldsynthesystems liegt im Vergleich zu Lautsprechern darin, dass man eine Geräuschquelle beliebig im Raum positionieren kann und nicht an die Positionen von fest installierten Lautsprechern oder an eine Verwendung von Kopfhörern gebunden ist. Aus diesem Grunde wurde in einem Fahrsimulator ein Wellenfeldsynthesystem zur Wiedergabe räumlicher Warnungen verwendet.

Das Geräusch des Hundebellens wurde für die Laborstudie gewählt und die Darbietung von insgesamt acht Positionen auf ihre Wahrnehmbarkeit durch die Probanden untersucht (siehe Abbildung 15).

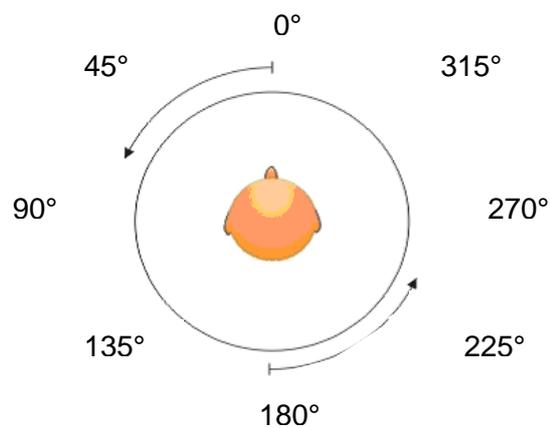


Abbildung 15: Wiedergabepositionen im Laborversuch 3

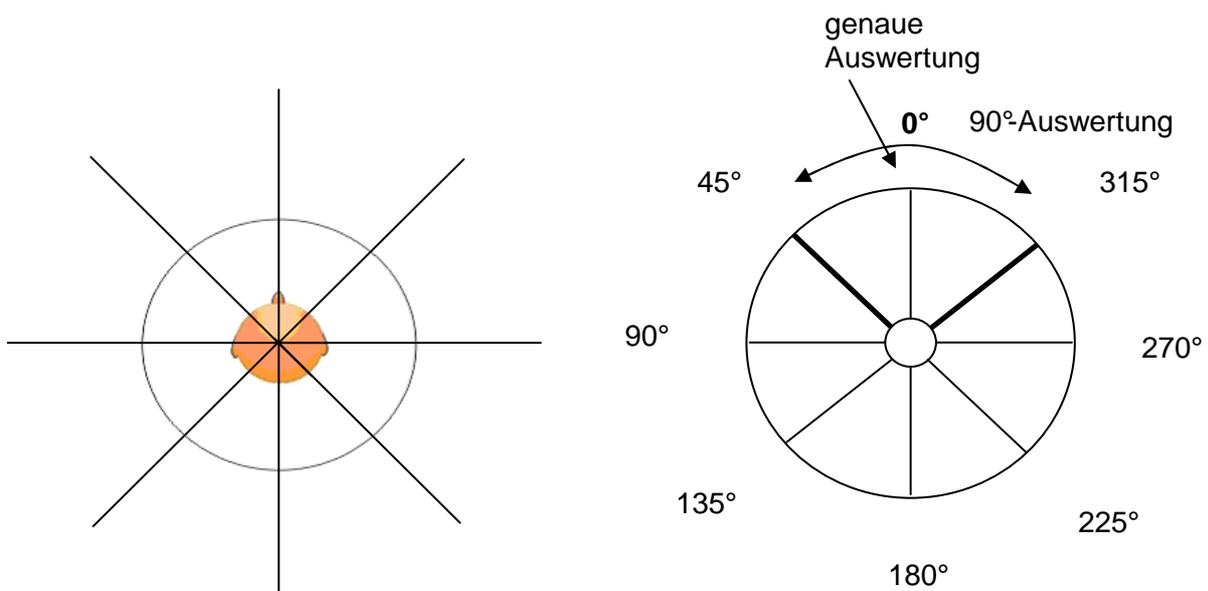


Abbildung 16: Angabe der wahrgenommenen Richtung und Beispielauswertung für 0°

Jeder Person wurde das Geräusch (Hundebellen) von jeder der acht Positionen sechsmal dargeboten. Die insgesamt 48 Darbietungen erfolgten in zufälliger Reihenfolge. Die Probanden hörten jeweils ein Geräusch und waren dann aufgefordert, auf einem Blatt die Position frei zu markieren, aus der sie das Geräusch wahrgenommen hatten (siehe linke Seite in Abbildung 16). Die Linien sollten nur als Hilfslinien dienen, die Eintragungen konnten an jeglicher Position erfolgen.

### 7.3.2 Ergebnisse

Die Auswertung erfolgte zum einen danach, ob die genaue Gradzahl identifiziert wurde (genaue Erkennung), und zum anderen durch acht Richtungskategorien mit einem jeweiligen Radius von +/- 45° um die tatsächliche Position. Benachbarte Kategorien überlappten sich jeweils um 45°. In diesen 90°-Radius musste die Angabe einer Versuchsperson fallen, um als richtig erkannt eingestuft zu werden (Erkennung im 90°-Radius; siehe auch Tan & Lerner 1996). So wurden z. B. für die Position 0° nur Probandenangaben zwischen 45° und 315° als richtige Erkennung gewertet (siehe rechte Seite in Abbildung 16). Abbildung 17 zeigt die Ergebnisse dieser beiden Auswertungen.

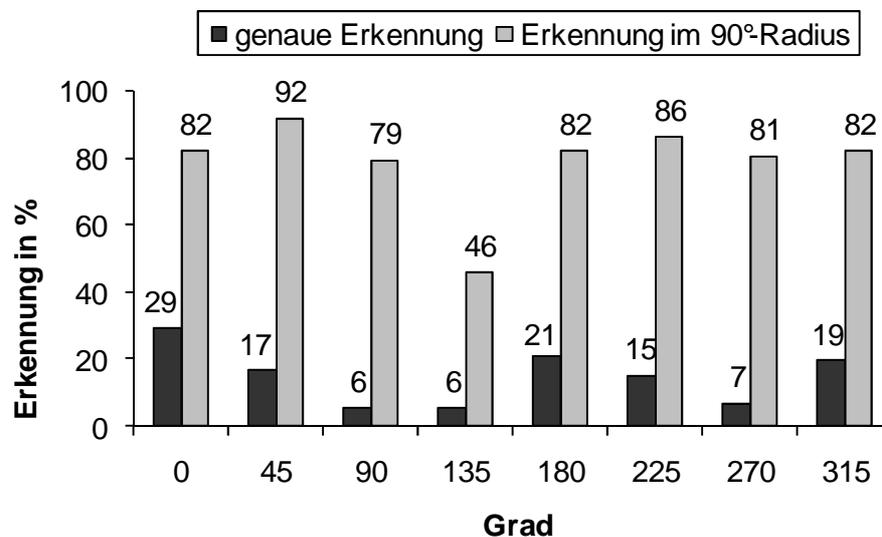


Abbildung 17: Erkennungsleistung in %, genaue Erkennung = genaue Position; Erkennung im 90°-Radius = Gradangabe liegt in einem Radius von +/- 45°

Wie man in Abbildung 17 sehen kann, ist die genaue Erkennungsleistung sehr gering. Geht man jedoch davon aus, dass bereits das Erkennen der groben Richtung, aus der sich eine Gefahr annähert, hilfreich zur Vorbereitung ist, so sollte eine richtige Erkennung im 90°-Radius ausreichend sein. In diesem Bereich sind die Erkennungsleistungen bis auf die

Ausnahme der 135°-Position ziemlich gut und vergleichbar mit Ergebnissen anderer Studien (Tan & Lerner, 1996).<sup>8</sup>

In Tabelle 11 sind die Abweichungen der Gradangaben, das jeweilige Minimum und Maximum sowie die Standardabweichungen von den jeweiligen Positionen angegeben. Die Angaben der räumlich positionierten Quellen ergaben durchschnittliche mittlere Abweichungen zwischen 22 – 50°. Diese Differenzen zu den tatsächlichen räumlichen Quellen liegen höher als die bekannten Werte<sup>9</sup> aus der Literatur (Tan & Lerner, 1996), jedoch muss berücksichtigt werden, dass die hier durchgeführte freie Einstufung ohne visuellen Ankerreiz auskommen musste, der in anderen Studien durch die sichtbaren Lautsprecher gegeben war.

Tabelle 11: Gradabweichungen der Angaben der Probanden

Dargebotene Gradzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
0	0	180	35,17	35,87
45	0	180	50,00	30,54
90	0	180	38,50	43,3
135	0	143	22,92	20,14
180	0	120	37,22	8,76
225	0	80	22,06	12,00
270	0	85	24,19	9,61
315	0	90	35,58	15,2

Damit spiegelt die gezeigte Leistung eher als die Ergebnisse bisheriger Lautsprecheruntersuchungen die Lokalisierungsleistung des Fahrers im Fahrzeugumfeld wider. Da die Erkennungsleistung des Geräusches an den relevanten<sup>10</sup> Positionen im 90°-Radius um die tatsächliche Position mit einer Ausnahme sehr gut war, wird dies als ausreichend beurteilt, da eine solche Einstufung für die vorgesehenen Zwecke relevant ist.

#### 7.4 Zusammenfassung

Das Ziel der Laborversuche lag darin, geeignete Auditory Icons für eine Untersuchung im Fahrsimulator auszuwählen. Die Ergebnisse der ersten Laborstudie legten nahe, die Geräuschkategorie der Schritte generell von der weiteren Verwendung auszuschließen, da

<sup>8</sup> Identifikationsleistung lag bei 80 – 95 % im 90°-Radius um die tatsächliche Position (Tan & Lerner 1996).

<sup>9</sup> Unter Nicht-Laborbedingungen konnte eine Studie im Fahrzeug zeigen, dass Personen die ungefähre Richtung einer akustischen Warnung mit Lokalisationsfehlern in mittleren Abweichungen zwischen 10° und 20° angeben können (Tan & Lerner 1996).

<sup>10</sup> Dies sind Positionen wie „vorne“ und „von rechts“, da dies eher Richtungen darstellen, die für potentielle Kollisionsobjekte relevant sind, als z. B. „von links“, da Objekte aus dieser Richtung in den meisten Fällen besser zu sehen sind.

sie zu schlecht erkennbar war (weniger als 85%ige Identifizierung). Weitere Varianten der einzelnen Kategorien wurden ebenso ausgeschlossen, wenn sie im Vergleich schlechter waren als die anderen Varianten. Insgesamt blieben dadurch 16 Geräusche übrig, die in der zweiten Laborstudie daraufhin getestet wurden, ob sie die intendierte Assoziation hervorrufen und wie schnell diese Auditory Icons identifiziert werden. Ebenso wurden Dringlichkeitseinstufungen und Typikalitätsratings erhoben. Basierend auf diesem zweiten Laborversuch, wurden die vier besten Geräusche ausgewählt: eine Variante der Fahrradklingel, eine Variante des Bremsgeräuschs, eine Variante des Hundebellens und eine Variante der Autohupe.

Damit diese Auditory Icons durch die räumliche Präsentation positive Effekte hervorrufen können, musste die Identifizierbarkeit der entsprechenden Wiedergabeposition überprüft werden. Dies wurde in einer dritten Laborstudie untersucht und es zeigten sich ausreichende Lokalisierungsleistungen. Somit konnten zum einen Auditory Icons identifiziert werden, die Information über ein potentiell Gefahrenelement übermitteln können. Zum anderen ist die ungefähre Position eines Geräusches, das durch ein Wellenfeldsynthese-System präsentiert wird, lokalisierbar.

## 8 HAUPTSTUDIE 1

Die in den Laborstudien ausgewählten Auditory Icons, die jeweils über ein anderes Gefahrenobjekt informieren, sollen nun mit zusätzlicher Information über die Position der Gefahrenquelle versehen werden, indem sie von unterschiedlichen Positionen im Fahrzeug wiedergegeben werden. Diese akustischen „semantisch angereicherten“ Warnungen können somit in sinnvollen Szenarien im Fahrsimulator im Vergleich zu konventionellen akustischen Warnungen getestet werden (siehe auch Abbildung 8). Nachfolgend werden die Fahrsimulatoruntersuchung samt Ablauf sowie das verwendete Material dargestellt. Anschließend erfolgt eine Darstellung und Diskussion der Ergebnisse dieser Untersuchung.

### 8.1 Methodik

Der in dieser Arbeit verwendete Fahrsimulator befindet sich auf Stufe 5 der Einstufung von Fahrsimulatoren (siehe 6.1) – ein stationärer Simulator mit Realfahrzeug inklusive Simulation von Fahrgeräuschen, allerdings ohne eine Verwendung von Vibrationen. Das heißt, die Probanden saßen in einem ehemals normalen Automatik-Fahrzeug und nutzten das Fahrzeuglenkrad, das Gaspedal sowie die Bremse. Die Simulation selbst wurde durch eine Software der Firma KMW (siehe <http://www.kmweg.com/gb/index.php>) umgesetzt. Das Sichtfeld war eine Leinwand mit einer Höhe von 1,72 m und einer Breite von 2,35 m. Diese war in einem Abstand von 1,50 m zum Fahrzeug aufgestellt.

#### 8.1.1 Versuchsdesign

Das Versuchsdesign bestand aus einem between-subjects Design, d. h., jeder Teilnehmer erlebte nur eine Gestaltungsvariante der Warnungen. Dies wurde in der Art umgesetzt, da das Systemverhalten möglichst konsistent sein sollte, um Verwirrungen und Unsicherheit zu verringern.

Die Warnvarianten wurden in sechs unterschiedlichen Szenarien untersucht, die in fixer Reihenfolge von den Probanden durchlaufen wurden. Das ermöglichte eine einfachere Durchführung der Simulatorstudie, da eine ausbalancierte Abfolge der Szenarien mit dem Interface des Simulators nicht umzusetzen war. Stattdessen hätten die Szenarien ad hoc durchpermutiert, d. h. die fixe Reihenfolge durch unterschiedliches Anwählen der Szenarien umgangen werden müssen. Dies hätte bei einer derart großen Anzahl an Szenarien leicht zu Fehlern führen können. Allerdings hat dieses Vorgehen zur Folge, dass Reihenfolgeeffekte der einzelnen Szenarien nicht ausgeschlossen werden können.

### *8.1.2 Unabhängige Variable*

Die unabhängige Variable war der Warntyp, der aus vier Stufen bestand: Räumliches Auditory Icon, Räumlicher Ton, Ton ohne weitere Information und eine Bedingung ohne Warnung. Diese Abstufung wurde gewählt, da die Warnungen einen unterschiedlichen Grad an Information enthalten. Das räumliche Auditory Icon übermittelt die meiste Information, nämlich sowohl über die Art der Gefahr als auch über die Position der Gefährdung. Die räumliche Tonwarnung liefert nur Information über die Position. Der einfache Ton liefert gar keine spezifische Information und ruft nur eine allgemeine Alarmierung hervor<sup>11</sup>. Hiermit sollte die Forschungsfrage untersucht werden, ob eine semantisch angereicherte Warnung in diesem Kontext einen Vorteil im Vergleich zu weniger informativen Warnungen bringt.

### *8.1.3 Abhängige Variablen*

Die abhängigen Variablen waren auf der Seite der Fahrparameter die Bremsreaktionszeit, der Abstand zum Kollisionsobjekt und die Anzahl der Kollisionen. Die Bremsreaktionszeit wurde gemessen ab dem Zeitpunkt der Warnung bis zur ersten Betätigung der Bremse.<sup>12</sup> Der Abstand zum Kollisionsobjekt wurde zu dem Zeitpunkt des geringsten Abstandes bei Stillstand des Fahrzeugs berechnet. Im Fall einer Ausweichaktion wurde der minimale Abstand vor der erneuten Zunahme des Abstandes verwendet. Neben diesen Parametern wurde ein Fragebogen zu demografischen Daten und ein Akzeptanzfragebogen zu Warnsystemen (Weiler, 2003) verwendet (Fragebögen siehe Anhang F und H). Ein kurzes Interview bildete den Abschluss der Studie (siehe Anhang I).

### *8.1.4 Szenarioentwicklung*

Für die Gestaltung der Szenarien wurde teilweise auf Ergebnisse aus der zweiten Laborstudie zurückgegriffen, in der die Probanden dazu befragt wurden, in welchen kritischen Situationen die jeweiligen Geräusche sinnvoll eingesetzt werden könnten. Hierbei wurden z. B. Stauszenarien und Auffahrtszenarien für das Bremsgeräusch genannt sowie ein übersehenes Auto für das Geräusch der Autohupe (siehe Laborstudie 2). Es wurden aber auch Abbiegeszenarien und ein Fahrrad im toten Winkel für das Geräusch der Fahrradklingel als kritische Situationen angegeben. Neben diesen Befragungsdaten wurde aufgrund von Daten zu Unfallhäufigkeiten der Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug als höchst relevant für ein kritisches Szenario eingeschätzt (Abbildung 18).

---

<sup>11</sup> Der Ton wird als Warnung erkannt, da die Versuchsteilnehmer die Information bekommen, dass sie ein Warnsystem testen. Allerdings erhalten sie keine Hinweise über die Art des Systems (siehe genaue Instruktion).

<sup>12</sup> In der Bedingung ohne Warnung wurde der Zeitpunkt zur Berechnung der Reaktionszeit verwendet, an dem in den anderen Bedingungen die Warnung präsentiert wurde.

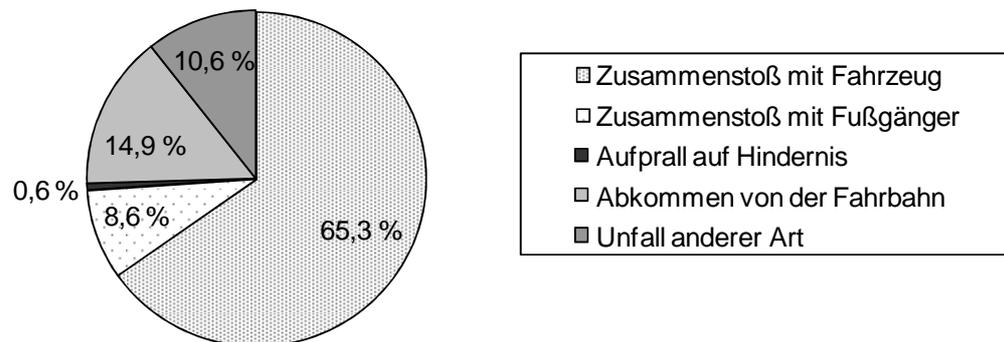


Abbildung 18: Unfallstatistik nach Unfalltyp für 2006 (modifiziert nach Statistisches Bundesamt, 2006)

Dies – in Verbindung mit technischen Begrenzungen der Szenario-Programmierung der Simulations-Software – führte zu sechs verschiedenen Kollisionsszenarien, die sich in den Kollisionsobjekten und den Konfliktauslösern unterschieden (siehe Tabelle 12). Die Konfliktauslöser waren notwendig, damit kritische Situationen im Fahrsimulator in so kurzer Zeit hervorgerufen werden konnten. Eine alternative Vorgehensweise zur Erzeugung kritischer Situationen wäre eine Ablenkung der Probanden, um sie dann in Momenten der Abwendung vom Verkehrsgeschehen mit einer kritischen Situation, z. B. einem plötzlich bremsenden vorausfahrenden Fahrzeug, zu konfrontieren. Dies hätte möglicherweise zu wenig vergleichbaren Situationen geführt, da nicht alle Personen zur gleichen Zeit abgelenkt wären. Dadurch würden kaum valide und vergleichbare Aussagen zu erreichen sein. Deshalb wurden durch Verdeckung und schlechte Sicht erschwerte Bedingungen eingeführt, wodurch Kollisionssituationen erzeugt werden können.

Tabelle 12: Verwendete Szenarien mit Warnung in Untersuchung 1

Szenario	Kollisions-objekt	Konflikt-auslöser	Bedingung: Auditory Icons	Bedingung: Räumlicher Ton	Bedingung: Ton ohne Info
Sicht-behinderung I	Fahrrad	Verdeckung: Mauer	Fahrradklingel von rechts	600-Hz-Ton von rechts	600-Hz-Ton über Fahrzeug-lautsprecher
Stau I	Auto	Verdeckung: Kurve im Tunnel	Autohupe mittig von vorne	600-Hz-Ton von vorne mittig	600-Hz-Ton über Fahrzeug-lautsprecher
Rechts Abbiegen	Fahrrad	Verdeckung: LKW	Fahrradklingel von rechts	600-Hz-Ton von rechts	600-Hz-Ton über Fahrzeug-lautsprecher
Sicht-behinderung II	Hund	Verdeckung: Haus	Hundebellen von rechts	600-Hz-Ton von rechts	600-Hz-Ton über Fahrzeug-lautsprecher
Geparkte Autos	Hund	Verdeckung: LKW parkt in Reihe	Hundebellen von rechts	600-Hz-Ton von rechts	600-Hz-Ton über Fahrzeug-lautsprecher
Stau II	Auto	Schlechtes Wetter: Regen	Autohupe mittig von vorne	600-Hz-Ton von vorne mittig	600-Hz-Ton über Fahrzeug-lautsprecher

### 8.1.5 Material

Der Stimulus in der Bedingung der einfachen Tonwarnung und der räumlichen Tonwarnung war identisch und bestand aus einem 600-Hz-Rechteck-Wellenform-Ton. Dieser wurde gewählt, weil er in anderen Studien als konventionelle akustische Warnung Verwendung fand (siehe Graham 1999) und weil das Ohr für Frequenzen zwischen 500 – 3000 Hz am sensitivsten ist (Deatherage, 1972). Die akustischen Stimuli waren alle in der Lautheit auf 54 Sone angepasst, das entspricht in etwa einem dB SPL von 86 – 90. In der Simulation wurden die Reize mit ca. 71 – 75 dB wiedergegeben. In Abhängigkeit von der Wiedergabetechnik wurden entweder Mono- oder Stereo-Geräusche/-Töne verwendet. Für die Wellenfeldsynthese waren Mono-Reize erforderlich, für die Wiedergabe der nichträumlichen Bedingung binaurale Stereo-Stimuli. Alle hatten eine Abtastrate von 48 kHz und waren 1 s lang. Die Auditory Icons stammten aus den Laborversuchen.



Abbildung 19: Annäherung des Kollisionsobjektes Fahrradfahrer in Szenario 1

Die Kollisionssituationen innerhalb der Szenarien bestimmten nun die spezifische Information, die in den jeweiligen Bedingungen übermittelt werden sollte: Im Szenario „Sichtbehinderung I“ beispielsweise wurde in der Bedingung des räumlichen Auditory Icons eine Fahrradklingel verwendet, die in etwa aus der Richtung präsentiert wurde, aus der sich der Fahrradfahrer näherte (siehe Tabelle 12 und Abbildung 19). Dies entsprach einer räumlichen Positionierung im Kreis von der 315°Position (siehe 7.3). In den Szenarien „Sichtbehinderung I“, „Sichtbehinderung II“, „Geparkte Autos“ und „Rechts Abbiegen“ kreuzten die Objekte jeweils von rechts die Straße, weshalb die räumlichen Warnungen von dieser Position präsentiert wurden (siehe Tabelle 12). Die wiedergegebenen Auditory Icons richteten sich nach dem jeweiligen Konfliktobjekt, dessen Identität sie übermitteln sollten: Basierend auf den empirischen Befunden in 5.2.3 wurde die Autohupe zur Signalisierung des Autos im potentiellen Frontal-Kollisionsszenario ausgewählt. Des Weiteren wurde ein Fahrrad durch die Fahrradklingel sowie ein die Straße kreuzender Hund durch das Hundebellen signalisiert (siehe auch Tabelle 12). Das Bremsgeräusch wurde in dieser Studie nicht verwendet.

Die Stau-Szenarien beinhalteten jeweils ein Auto als Kollisionsobjekt, das sich vor dem Probanden auf der Straße befand – weshalb die Präsentation der räumlichen Warnung mittig (von der 0°Position, siehe 7.3) erfolgte (siehe Tabelle 12). Alle nichträumlichen Warnungen wurden gleichzeitig aus den beiden links und rechts positionierten Fahrzeuglautsprechern wiedergegeben.

#### 8.1.6 Versuchsaufbau

Die Versuchsteilnehmer wurden darüber informiert, dass sie fünf abgeschlossene Fahrten absolvieren, mit einer Gesamtfahrzeit von ca. 30 min. Sie sollten sich vorstellen, dass sie sich ein neues Auto gekauft haben, welches ein neuartiges Warnsystem besitzt, das sie jetzt

zum ersten Mal testen. Allerdings erhielten sie keine Information über die Art der Warnung und auch nicht über den Warnsystem-Typ. Dies sollte eine Situation hervorrufen, in der die Personen per se nicht wissen, welches Warnsystem ihnen gerade eine Meldung ausgibt, ähnlich wie es in der Nutzung eines Fahrzeugs in der Realität der Fall ist (genaue Instruktion siehe Anhang E).

Zu Beginn der Untersuchung füllten die Versuchspersonen einen Fragebogen zu demografischen Aspekten aus, wie z. B. Anzahl der gefahrenen Kilometer pro Jahr, Anzahl der durchschnittlichen Fahrten pro Woche etc. (genauer Fragebogen siehe Anhang F). Als Nächstes wurden die Probanden in die Grundfunktionen des Fahrsimulators eingewiesen (Instruktion siehe Anhang D) und absolvierten eine Trainingsfahrt von etwa fünf Minuten, in der sie unterschiedliche Geschwindigkeiten halten sollten und sich mit Beschleunigung und Verzögerung vertraut machen konnten (genaue Trainingsaufgaben siehe Anhang G). Dann begann der Hauptteil der Untersuchung, bestehend aus fünf abgeschlossenen Fahrten, deren jeweilige Dauer zwischen ca. zwei und acht Minuten lag. Bis auf die zweite Fahrt, in der die Probanden zwei kritische Situationen erlebten, wurden sie in jeder Fahrt mit jeweils einer Kollisionssituation konfrontiert. Die Versuchsteilnehmer folgten hierbei akustischen Navigationsansagen. Nach leicht variierenden Zeitabständen folgte dann das kritische Ereignis. In den Bedingungen mit einer Warnung wurden die Probanden ca. 1 s vor Sichtbarwerden des Kollisionsobjektes gewarnt, das in etwa einer time-to-collision von 3 – 4 s entsprach.

Die Probanden hatten die Möglichkeit, zwischen den Fahrten Pausen einzulegen. Diese Entscheidung oblag alleine den Versuchsteilnehmern. Die Abfolge von kurzen Streckenfahrten wurde einer kontinuierlichen Fahrt vorgezogen, da sich durch die Möglichkeit kurzer Pausen das Vorhandensein von „Simulator Sickness“ verringern lassen sollte und das Auftreten von verschiedenen Kollisionssituationen auf nacheinander folgende, abgeschlossene Fahrten glaubhafter erschien. Im Anschluss an die Fahrten füllten die Teilnehmer einen Akzeptanzfragebogen aus und beantworteten einige Interview-Fragen (Anhang H und J).

### *8.1.7 Hypothesen*

1. Eine semantisch angereicherte Warnmeldung führt zu einer schnelleren Reaktion auf eine Gefahrensituation im Vergleich zu einer weniger informativen Warnung.
  - 1.1 Auditory Icons zeigen einen Reaktionszeitvorteil im Vergleich zur einfachen Tonwarnung.

- 1.2 Auditory Icons zeigen zudem einen Reaktionszeitvorteil zu den räumlichen Tonwarnungen.
- 1.3 Alle Warntypen führen zu einem Reaktionszeitvorteil im Vergleich zur Bedingung ohne Warnung.
- 2 Eine semantisch angereicherte Warnmeldung führt zu einem größeren Abstand zum Konfliktobjekt im Vergleich zu einer weniger informativen Warnung.
  - 2.1 Auditory Icons führen zu einem größeren Abstand zum Kollisionsobjekt im Vergleich zur einfachen Tonwarnung.
  - 2.2 Auditory Icons führen zu einem größeren Abstand zum Kollisionsobjekt im Vergleich zu den räumlichen Tonwarnungen.
  - 2.3 Alle Warntypen führen zu einem größeren Abstand zum Kollisionsobjekt im Vergleich zur Bedingung ohne Warnung.
- 3 Eine semantisch angereicherte Warnmeldung führt zu weniger Kollisionen im Vergleich zu einer weniger informativen Warnung.
  - 3.1 Auditory Icons führen zu weniger Kollisionen im Vergleich zur einfachen Tonwarnung.
  - 3.2 Auditory Icons führen zu weniger Kollisionen im Vergleich zu den räumlichen Tonwarnungen.
  - 3.3 Alle Warntypen führen zu weniger Kollisionen im Vergleich zur Bedingung ohne Warnung.

### 8.1.8 Stichprobe

An der Studie nahmen insgesamt 98 Probanden teil, die jeweils Mitarbeiter im Volkswagenkonzern-Werk in Wolfsburg sind. Die Teilnehmer erhielten Präsente als Aufwandsentschädigung im Wert von ca. 15 – 50 € (je nach gewähltem Präsent). Von diesen 98 Probanden mussten leider 25 Personen aufgrund von „Simulator Sickness“ den Versuch abbrechen. Die Geschlechts- und Altersverteilung der ausgefallenen Personen ist in Tabelle 13 dargestellt. Die Prozentangaben wurden durch Relativierung an der Einbeziehung aller Datensätze in der Alters- und Geschlechtskategorie berechnet (also relativiert an den Teilnehmern und Abbrechern; siehe Tabelle 13 und Tabelle 14).

Tabelle 13: Anzahl der Versuchsabbrecher in Abhängigkeit des Alters und Geschlechts

	Alter					in % (relativiert an allen Teilnehmern der Kategorie)				
	absolute Häufigkeiten					18-25	26-30	31-35	36-40	gesamt
Geschlecht	18-25	26-30	31-35	36-40	gesamt	18-25	26-30	31-35	36-40	gesamt
M	0	0	4	6	10	0	0	29,4	20	17,9
W	0	4	8	3	15	0	22,2	61,5	27,3	35,7

Die verbleibenden Versuchspersonen wurden den Versuchsbedingungen nach Geschlecht und Alter ausbalanciert zugeteilt. Tabelle 14 enthält die den Bedingungen zugeordneten Teilnehmer, die letztlich den gesamten Versuch durchgeführt haben.

Tabelle 14: Anzahl der Versuchsteilnehmer in den Bedingungen (ohne Abbrecher)

	W				M				Gesamt
	18-25	26-30	31-35	36-40	18-25	26-30	31-35	36-40	
Auditory Icons	0	3	2	1	2	1	2	6	17
räumlicher Ton	0	4	1	2	1	1	4	6	19
Ton	0	4	1	3	0	2	4	4	18
ohne Warnung	0	3	1	2	0	2	3	8	19
Gesamt	0	14	5	8	3	6	13	24	<b>73</b>
	27				46				

Das durchschnittliche Alter lag bei 34 Jahren (Minimum: 24; Maximum: 40). Alle Teilnehmer waren im Besitz eines Führerscheins und mehr als 80 % nutzten ihr Auto täglich und für mehr als 10.000 km pro Jahr.

## 8.2 Ergebnisse

Die Datenaufzeichnung der Simulatorfahrt erfolgte in Logfiles in 40-Hz-Abständen. Die Daten wurden aggregiert und es wurden für die einzelnen Szenarien getrennte Analysen durchgeführt, da diese abgeschlossene kleine Experimente mit unterschiedlichen Stimuli darstellen und keine Messwiederholung derselben unabhängigen Variable bilden. Hierbei ist besonders das erste Szenario, „Sichtbehinderung I“, für die Fragestellung der intuitiven Reaktion wichtig, da es die erste Konfrontation mit einer Warnung in dieser Untersuchung darstellte. Dies ist vergleichbar mit dem überraschenden Auftreten einer Kollisionssituation in einer Realfahrt.

Ein wichtiger Parameter für die Auswertung der Untersuchung stellt die Anzahl der Kollisionen dar, da es für Warnungen natürlich essentiell ist, ob sie Unfälle vermeiden helfen. Da nach dem ersten Szenario kaum noch Kollisionen auftraten, lag die Konzentration auf den weiteren Variablen der Bremsreaktionszeit und dem Abstand zum Kollisionsobjekt. Neben der Auswertung dieser Parameter wurde eine explorative Analyse der Reaktionsmuster vorgenommen, d. h., es wurde betrachtet, welche Anzahl an Personen eine Bremsreaktion zeigte, bevor sie den Grund für die Warnung erkennen konnten. Hier lassen sich Tendenzen in den Reaktionen auf die verschiedenen Warntypen erkennen.

### 8.2.1 Anzahl der Kollisionen

Für die Anzahl der Kollisionen wurden Häufigkeiten ermittelt. Nur in drei der sechs Szenarien traten Kollisionen auf (siehe Tabelle 15). Ein  $\chi^2$ -Test führte zu keinem signifikanten Ergebnis und somit zu keinen signifikanten Unterschieden in der Anzahl der Kollisionen zwischen den Warntypen und der Bedingung ohne Warnung. Insgesamt führte das erste Szenario zu den meisten Kollisionen, besonders in der Bedingung ohne Warnung.

Tabelle 15: Häufigkeiten der Kollisionen pro Szenario (in %)

	Szenario 1	Szenario 3	Szenario 4
Keine Warnung	78,9	11,8	37,5
Ton	50,0	0,0	5,6
räumlicher Ton	57,9	0,0	10,5
Auditory Icons	64,7	0,0	0,0
alle Warnungen	57,4	-	5,6
Tonwarnungen	54,1	-	8,1

Bei der Bedingung ohne Warnung traten 20 % mehr Kollisionen auf als bei den anderen Warnungen zusammengenommen („alle Warnungen“). Der Ton ist fast 30 % besser als die Bedingung ohne Warnung.

### 8.2.2 Bremsreaktionszeit und Abstand zum Kollisionsobjekt

Für die Variablen Bremsreaktionszeit und Abstand zum Kollisionsobjekt wurden multivariate Varianzanalysen getrennt für jedes Szenario berechnet, da aufgrund der unterschiedlichen Stimuli in der Bedingung Auditory Icon keine gemeinsame Analyse erfolgen konnte. Nachfolgend wird eine Darstellung der Ergebnisse pro Szenario angegeben und anschließend erfolgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse über alle Szenarien.

#### 8.2.2.1 Szenario 1: Sichtbehinderung I

Das erste Szenario „Sichtbehinderung I“ führte zu keinem signifikanten Haupteffekt, alle Werte lagen sehr nah beieinander (siehe Tabelle 16). Allenfalls ein tendenzieller Effekt der Bedingung des Warntyps war zu erkennen (Wilks-Lambda:  $F[6,122] = 1.93, p = .08$ ). Es lagen demzufolge auch keine signifikanten Einzelvergleiche vor.

Tabelle 16: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel in Szenario 1 – Sichtbehinderung I

Abhängige Variable	Bedingung	Mittelwert	Standardfehler
Bremsreaktionszeit in ms	Auditory Icons	1474,53	107,79
	räumlicher Ton	1636,82	107,79
	Ton	1483,75	111,11
	ohne Warnung	1570,75	111,11
Minimaler Abstand in cm	Auditory Icons	297,40	71,34
	räumlicher Ton	390,61	71,34
	Ton	464,28	73,53
	ohne Warnung	290,35	73,53

### 8.2.2.2 Szenario 2: Stau I

Im zweiten Szenario „Stau I“ fand sich ein Haupteffekt der Bedingung des Warntyps (Wilks-Lambda:  $F[6,98] = 2.497, p < .05$ ). Tabelle 17 gibt die Mittelwerte und Standardfehler wieder. Einzelvergleiche zeigten jedoch, dass nur der räumliche Ton zu einem Vorteil im Vergleich zur Bedingung ohne Warnung führte (Tabelle 22).

Tabelle 17: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel in Szenario 2 – Stau I

Abhängige Variable	Bedingung	Mittelwert	Standardfehler
Bremsreaktionszeit in ms	Auditory Icons	2571,31	193,69
	räumlicher Ton	2101,29	169,37
	Ton	2509,64	186,64
	ohne Warnung	2871,00	220,84
Minimaler Abstand in cm	Auditory Icons	3772,95	355,69
	räumlicher Ton	4825,31	311,04
	Ton	4020,84	342,75
	ohne Warnung	2889,84	405,55

### 8.2.2.3 Szenario 3: Rechts Abbiegen

Das dritte Szenario „Rechts Abbiegen“ führte zu einem hochsignifikanten Haupteffekt (Wilks-Lambda:  $F[6,92] = 6.254, p < .01$ ). Einzelvergleiche zeigten, dass alle Warntypen besser waren als die Bedingung ohne Warnung (Tabelle 22). Der Mittelwert der Bedingung ohne Warnung unterschied sich deutlich von den anderen Mittelwerten (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel in Szenario 3 – Rechts Abbiegen

Abhängige Variable	Bedingung	Mittelwert	Standardfehler
Bremsreaktionszeit in ms	Auditory Icons	622,40	158,75
	räumlicher Ton	1054,00	153,71
	Ton	620,27	158,75
	ohne Warnung	2372,00	274,96
Minimaler Abstand in cm	Auditory Icons	1947,02	117,08
	räumlicher Ton	1551,94	113,36
	Ton	1981,99	117,08
	ohne Warnung	810,84	202,78

#### 8.2.2.4 Szenario 4: Sichtbehinderung II

Im vierten Szenario „Sichtbehinderung II“ trat ein hochsignifikanter Haupteffekt auf (Wilks-Lambda:  $F[6,130] = 8.971, p < .01$ ). Einzelvergleiche zeigten, dass alle Warntypen besser waren als die Bedingung „ohne Warnung“ (Tabelle 22). Die einzelnen Mittelwerte sind der Tabelle 19 zu entnehmen).

Tabelle 19: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel in Szenario 4 – Sichtbehinderung II

Abhängige Variable	Bedingung	Mittelwert	Standardfehler
Bremsreaktionszeit in ms	Auditory Icons	1101,65	80,31
	räumlicher Ton	1198,89	75,97
	Ton	1096,94	80,31
	ohne Warnung	1857,06	80,31
Minimater Abstand in cm	Auditory Icons	1166,51	111,85
	räumlicher Ton	1129,36	105,80
	Ton	1293,39	111,85
	ohne Warnung	452,88	111,85

#### 8.2.2.5 Szenario 5: Geparkte Autos

Auch im fünften Szenario „Geparkte Autos“ gab es einen hochsignifikanten Haupteffekt (Wilks-Lambda:  $F[6,132] = 10.739, p < .01$ ). Einzelvergleiche zeigten, dass alle Warntypen besser waren als die Bedingung „ohne Warnung“ (Tabelle 22). Die Mittelwerte und Standardfehler sind Tabelle 20 zu entnehmen.

Tabelle 20: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel in Szenario 5 – Geparkte Autos

Abhängige Variable	Bedingung	Mittelwert	Standardfehler
Bremsreaktionszeit in ms	Auditory Icons	1231,41	59,25
	räumlicher Ton	1211,05	56,05
	Ton	1207,06	57,58
	ohne Warnung	1815,29	59,25
Minimaler Abstand in cm	Auditory Icons	1690,78	83,00
	räumlicher Ton	1730,22	78,51
	Ton	1691,18	80,66
	ohne Warnung	927,50	83,00

#### 8.2.2.6 Szenario 6: Stau II

Das letzte Szenario „Stau II“ führte auch zu einem hochsignifikanten Haupteffekt (Wilks-Lambda:  $F[6, 120] = 5.83, p < .01$ ). Einzelvergleiche zeigten, dass nur das Auditory Icon zu **keinem** Vorteil im Vergleich zur Bedingung „ohne Warnung“ führte (Tabelle 22). In diesem Szenario zeigte sich ein Vorteil des räumlichen Tons und des einfachen Tons gegenüber den Auditory Icons. Dieses Ergebnis kann man auch an den unterschiedlichen Mittelwerten ablesen (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel in Szenario 6 – Stau II

Abhängige Variable	Bedingung	Mittelwert	Standardfehler
Bremsreaktionszeit in ms	Auditory Icons	2065,47	200,06
	räumlicher Ton	1636,36	233,61
	Ton	1709,69	193,70
	ohne Warnung	3003,33	182,62
Minimaler Abstand in cm	Auditory Icons	5751,62	416,81
	räumlicher Ton	7471,02	486,73
	Ton	7043,76	403,57
	ohne Warnung	4904,58	380,49

#### 8.2.2.7 Gesamtübersicht

Tabelle 22 liefert eine Übersicht über die ermittelten Effekte in den Varianzanalysen. Ab dem dritten Szenario „Rechts Abbiegen“ gab es einen generellen Lerneffekt, d. h., alle Warntypen

waren besser als die Bedingung ohne Warnung. Dies gilt allerdings nicht für das Szenario „Stau II“, hier konnte das Auditory Icon keinen Vorteil im Vergleich zur Bedingung ohne Warnung zeigen.

Tabelle 22: Übersicht aller Effekte aus den Varianzanalysen pro Szenario (AI = Auditory Icon, rT = räumlicher Ton, T = Ton, B = Baseline/ohne Warnung) (A = Bonferroni-Korrektur; B = Tamhane-Korrektur bei Varianzungleichheit)

Szenario	Haupteffekt (Wilks-Lambda)	Partielles Eta-Quadrat	Signifikante Einzelvergleiche	
			Abstand	Reaktionszeit
Sichtbehinderung I	$F = 1.93$ ( $p = .08$ )	.09	-	-
Stau I	$F = 2.50$ ( $p < .05$ )	.13	rT > B ( $p < .01$ ) (A)	rT < B ( $p < .05$ ) (A)
Rechts Abbiegen	$F = 6.25$ ( $p < .01$ )	.29	T > B ( $p < .05$ ) (B) AI > B ( $p < .01$ ) (B) rT > B ( $p = .07$ ) (B)	AI < B ( $p < .01$ ) (A) rT < B ( $p < .01$ ) (A) T < B ( $p < .01$ ) (A)
Sichtbehinderung II	$F = 8.97$ ( $p < .01$ )	.29	AI > B ( $p < .01$ ) (B) rT > B ( $p < .01$ ) (B) T > B ( $p < .01$ ) (B)	AI < B ( $p < .01$ ) (B) rT < B ( $p < .01$ ) (B) T < B ( $p < .01$ ) (B)
Geparkte Autos	$F = 10.74$ ( $p < .01$ )	.33	AI > B ( $p < .01$ ) (B) rT > B ( $p < .01$ ) (B) T > B ( $p < .01$ ) (B)	AI < B ( $p < .01$ ) (B) rT < B ( $p < .01$ ) (B) T < B ( $p < .01$ ) (B)
Stau II	$F = 5.83$ ( $p < .01$ )	.24	rT > AI ( $p = .010$ ) (A) T > AI ( $p < .05$ ) (A) rT > B ( $p < .01$ ) (A) T > B ( $p < .01$ ) (A)	AI < B ( $p < .01$ ) (A) rT < B ( $p < .01$ ) (A) T < B ( $p < .01$ ) (A)

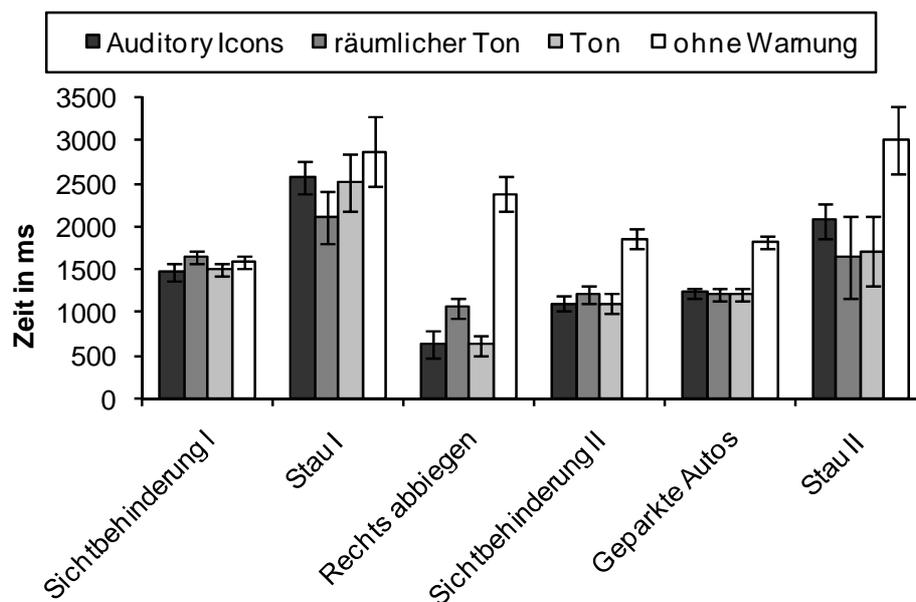


Abbildung 20: Mittelwerte und Standardfehler der Bremsreaktionszeiten

In Abbildung 20 und Abbildung 21 wird erkennbar, dass die Reaktionszeiten der Warntypen im Szenario „Sichtbehinderung I“ sehr nahe beieinander lagen.

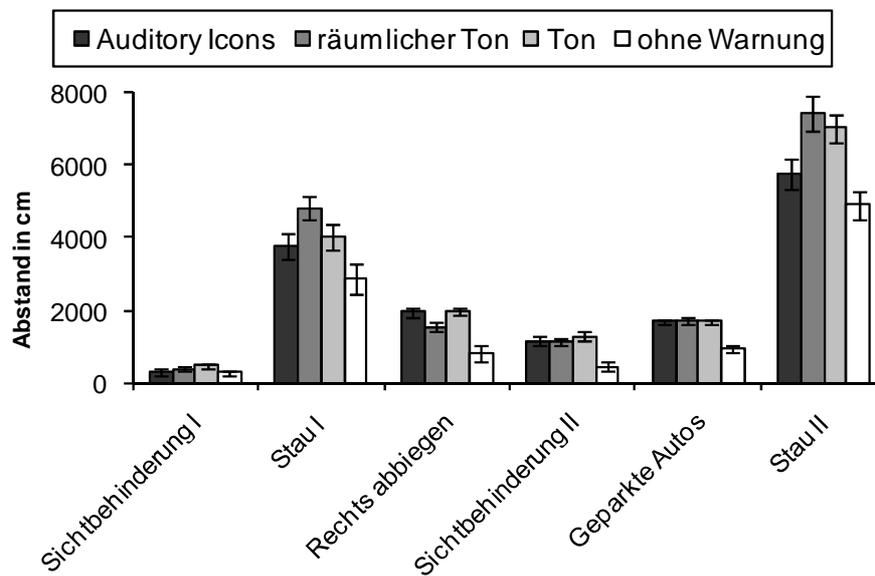


Abbildung 21: Mittelwerte und Standardfehler des Abstands zum Kollisionsobjekt

Die Unterschiede zwischen den Szenarien sind größtenteils durch die Szenariotypen selbst zu erklären, die Stauszenarien I und II waren nicht genauso zeitkritisch wie die anderen Szenarien, die durch die Straße kreuzende Objekte (Fahrrad oder Hund) gekennzeichnet waren.

Die bisherige Auswertung zeigte kaum Unterschiede zwischen den Warntypen. Deshalb wurde eine Post-hoc-Analyse der Reaktionsmuster durchgeführt. Da ab dem zweiten Szenario eine größere Anzahl an Versuchsteilnehmern bereits eine Reaktion zeigte, bevor das Kollisionsobjekt sichtbar war, wurden sie in zwei Gruppen eingeteilt. Dies erscheint sinnvoll, da ab dem zweiten Szenario davon auszugehen ist, dass ein Lerneffekt eingetreten ist, der zu unangemessenen Handlungen in Form von Überreaktionen geführt haben könnte. Tatsächlich zeigten sich hier einige Unterschiede, die im Folgenden dargestellt werden.

### 8.2.3 Auswertung von Reaktionsmustern

Die Warnung wurde in jedem Szenario ausgegeben, bevor der Proband das Gefahrenobjekt sehen konnte. Aus diesem Grund gab es zwei Zeitpunkte, zu denen eine Person mit einer Bremsreaktion reagieren konnte: Direkt nach der Warnung, bevor das Objekt zu sehen war oder nachdem das Objekt sichtbar wurde (Abbildung 22). Für jedes Szenario wurde nun eine solche Einteilung der Reaktionen vorgenommen. Im ersten Szenario der „Sichtbehinderung I“ wurden alle Reaktionen erst ausgeführt, nachdem das Objekt sichtbar war. Im Abbiege-Szenario war eine solche Einteilung aufgrund von Problemen in der Logfile-Aufzeichnung nicht möglich. Abbildung 23 zeigt die Häufigkeiten der initiierten Bremsreaktionszeiten, die nach dieser Einteilung vor der Sichtbarkeit des Objekts initiiert wurden.<sup>13</sup>

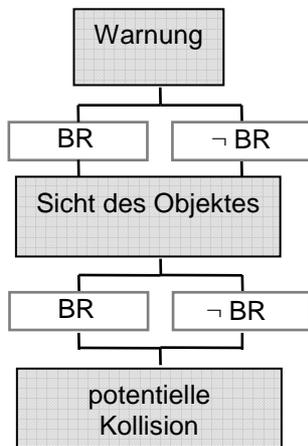


Abbildung 22: Szenarienablauf  
(BR = Bremsreaktion; ¬ BR = keine Bremsreaktion)

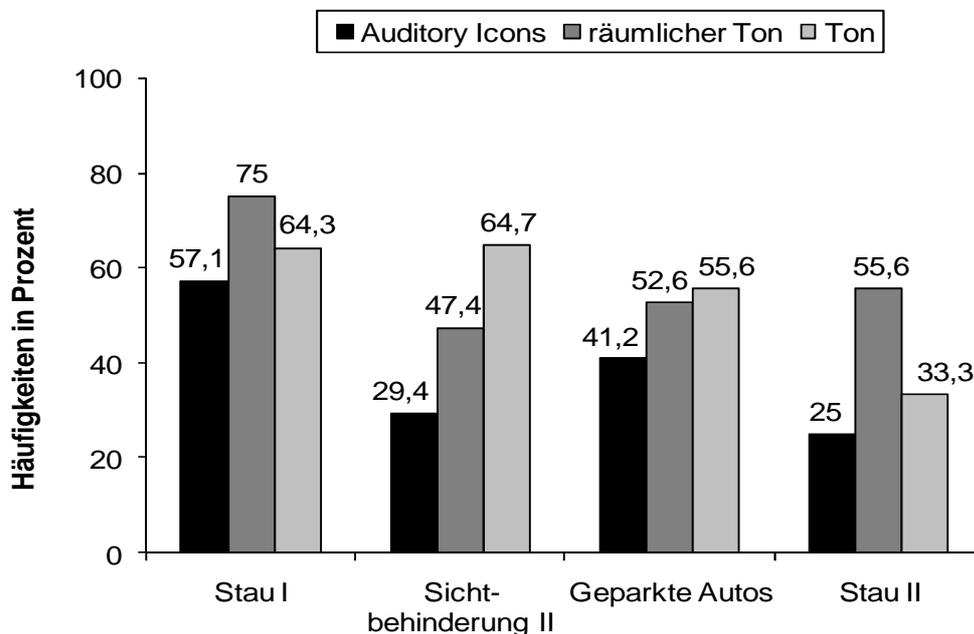


Abbildung 23: Anzahl der Bremsreaktionen, bevor Kollisionsobjekt sichtbar war (Häufigkeiten in %)

<sup>13</sup> Über alle Szenarien gab es in den Bedingungen mit Warnung einen Fall, in dem keine Bremsreaktion ausgeführt wurde.

Die Bedingung räumliches Auditory Icon wies über alle Szenarien hinweg die wenigsten Reaktionen vor dem Erscheinen des Objektes auf. Die Werte der Ton-Bedingungen, sowohl die räumliche Tonwarnung als auch die einfache Tonwarnung, unterschieden sich untereinander in der Rangfolge über die Szenarien und führten immer zu einer höheren Anzahl an Reaktionen vor Sichtung des Objektes im Vergleich zu den räumlichen Auditory Icons. Ein  $\chi^2$ -Test führte jedoch zu keinem signifikanten Ergebnis.

#### 8.2.4 Akzeptanzfragebogen

Die Versuchsteilnehmer füllten nach der Untersuchung einen Akzeptanzfragebogen aus. Die Probanden mussten die Aussagen aus Tabelle 23 beurteilen. Die Einstufung erfolgte anhand einer fünfstufigen Ratingskala mit den Endpunkten „trifft nicht zu“ bis „trifft völlig zu“. Der Fragebogen umfasst insgesamt vier Dimensionen, die sich mit Sicherheit, Störung, Kontrolle und Spaß bezeichnen lassen und auf die sich die Items aufteilen.<sup>14</sup> Für diese vier Dimensionen können Summenwerte der Antwortratings berechnet werden. Der höchste zu erreichende Summenwert liegt bei 15 Punkten (da es jeweils 3 Items pro Kategorie mit einer höchstmöglichen Zahl von 5 gibt).

Tabelle 23: Items aus dem Akzeptanzfragebogen (modifiziert nach Weiler, 2003)

Nr.	Items: „Durch die Nutzung des Warnsystems würde ich ...“	Median	Minimum	Maximum
1	... mich sicherer fühlen.	4	2	5
2	... sicherer fahren.	3	1	5
3	... noch lieber Autofahren.	2	1	5
4	... mich in meiner persönlichen Freiheit eingeschränkt fühlen.	1	1	5
5	... verantwortungsvoller fahren.	2	1	5
6	... durch die Warnungen genervt werden.	3	1	4
7	... bei der Anwesenheit von Mitfahrern peinlich berührt sein.	1	1	4
8	... mehr Spaß am Fahren haben.	2	1	5
9	... mich kontrolliert fühlen.	1	1	5
10	... durch die Warnungen abgelenkt werden.	2	1	5
11	... mich bevormundet fühlen.	1	1	4
12	... das Fahren unterhaltsamer finden.	1	1	4

Abbildung 24 gibt die erreichten Mittelwerte und Standardfehler der Summenwerte pro Dimension wieder. Zwischen den Bedingungen zeigen sich kaum Differenzen, eine Multivariate Varianzanalyse erbrachte keine signifikanten Unterschiede der Bedingungen in den vier Dimensionen.

<sup>14</sup> Sicherheit: Item 1,2,5; Störung: Item 6,7,10; Kontrolle: Item 4,9, 11; Spaß: Item 3,8,12

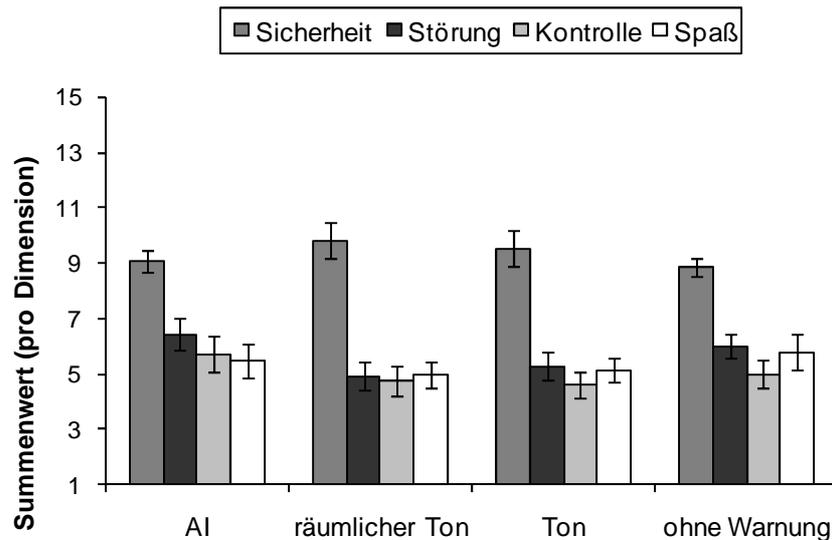


Abbildung 24: Mittelwerte und Standardfehler der Summenwerte pro Dimension

### 8.2.5 Interview

In einem abschließenden Interview wurden die Probanden gefragt, ob sie die räumliche Positionierung der Warnungen (natürlich nur in den entsprechenden Bedingungen) bemerkt hatten. Nur vier von 30 Probanden berichteten eine bewusste Wahrnehmung der räumlichen Positionierung der Warnungen, die alle aus der Auditory Icon Bedingung stammten.

Des Weiteren gaben die Probanden freie Äußerungen darüber ab, was ihnen zu der Studie einfiel – dies wurde inhaltlich nach Aussagen kategorisiert und ist in Abbildung 25 für die einzelnen Bedingungen wiedergegeben. Hier wurde von einigen Personen aus den Tonbedingungen erwähnt, dass sie oft vor der Sicht des Kollisionsobjektes reagiert hatten („Bremsung vor Sicht“). Einige Teilnehmer der Tonbedingungen erwähnten, dass sie beim Auftreten der ersten Warnung dachten, es läge eine Gefahr im Fahrzeuginnenraum vor, auf die sie reagieren müssten, und nicht außerhalb des Fahrzeugs („zu Anfang unklar“, „Gefahr im Fahrzeug“). Fast in allen Bedingungen wurde geäußert, dass es zu Beginn unklar war, was die Warnung zu bedeuten hatte („unsicher“, „irritiert“, „beim ersten Auftreten der Warnung erschrocken“). Neben diesen kategorisierten Äußerungen erfolgten noch einige weitere interessante Bemerkungen der Versuchsteilnehmer. So äußerten einige Personen, dass sie sehr starke Bremsreaktionen ausgeführt hätten und sie daraufhin Bedenken hatten, dass dies möglicherweise in der Realität mit dem Nachfolgeverkehr schwierig sein könnte („zu starke Reaktion“). Eine andere Anmerkung, die in der Bedingung der Auditory Icons

auftrat, war, dass einige Probanden beim Ertönen der Autohupe zuerst in den Rückspiegel schauten, da sie annahmen, dass sich etwas von hinten bemerkbar machte.

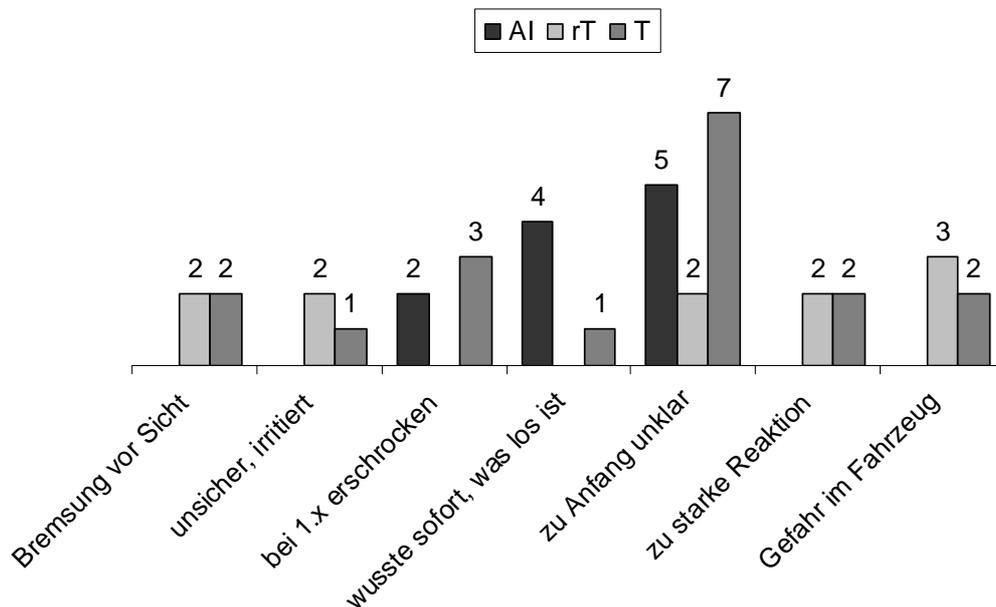


Abbildung 25: Freie Aussagen der Versuchsteilnehmer (absolute Häufigkeiten)

### 8.3 Diskussion der Hauptstudie 1

In dieser Studie sollte untersucht werden, ob eine semantisch angereicherte Warnung zu einer schnelleren Reaktion, einem größeren Abstand zum Kollisionsobjekt und zu weniger Kollisionen in einer Gefahrensituation im Vergleich zu einer weniger informativen Warnung führt. Dies beinhaltete, dass aufgrund der Abstufungen im Informationsgehalt das räumliche Auditory Icon die meiste Information über die Gefahrensituation übermittelt und deshalb den Fahrer am besten unterstützt. Diese Warnung sollte zu einem Reaktionszeitvorteil und zu einem größeren Abstand im Vergleich zur einfachen Tonwarnung führen, die keine Information außer einer reinen zeitlichen Alarmierung darüber, dass bald etwas passieren könnte, enthält (Hypothese 1.1 und Hypothese 2.1). Ebenso sollte ein Vorteil im Vergleich zur räumlichen Tonwarnung bestehen, die nur Information über die örtlichen Gegebenheiten und den zeitlichen Aspekt transportiert (Hypothese 1.2 und Hypothese 2.2). Diese Hypothesen werden durch die Ergebnisse der Studie nicht gestützt. Hypothese 1.3 und Hypothese 2.3 können nur teilweise beibehalten werden, da ab dem dritten Szenario alle Warntypen zu einem Reaktionszeitvorteil und einem größeren Abstand im Vergleich zur Bedingung ohne Warnung führen.

Für die Variable der Anzahl der Kollisionen ließen sich keine signifikanten Effekte finden, es traten auch nur sehr wenige Kollisionen auf. Deshalb kann an den Hypothesen, dass die räumlichen Auditory Icons im Vergleich zu den anderen Warntypen zu weniger Kollisionen führen, nicht festgehalten werden (Hypothesen 3.1 – 3.3). Tendenziell scheint es so zu sein, dass weniger Kollisionen erfolgen als ohne eine Warnung. Im ersten Szenario traten weit über 50 % Kollisionen auf, sowohl in den Bedingungen mit als auch ohne Warnung. Ob dieses Szenario nun besonders schwierig war oder ob es an der ersten Konfrontation mit einer Warnung gelegen hat, kann im Nachhinein nicht eindeutig geklärt werden, da aus versuchsökonomischen Gründen auf eine permutierte Darbietung der Szenarien verzichtet wurde. Aus diesem Grund sind auch Reihenfolgeeffekte von vorherigen auf nachfolgende Szenarien nicht auszuschließen. Der Aspekt, dass nach dem ersten Szenario nur noch wenige bis gar keine Kollisionen auftraten, liegt jedoch wahrscheinlich darin begründet, dass sich nach der Präsentation eines Szenarios eine gewisse Erwartungshaltung der Probanden einstellte, die dazu führte, dass nach dem Ertönen einer Warnung bzw. auch in der Bedingung ohne Warnung schnellere Reaktionen zur Vermeidung einer Kollision gezeigt wurden.

Neben der hypothesengeleiteten Auswertung wurde eine Analyse der Reaktionsmuster durchgeführt, da durch diese Betrachtungsweise zusätzliche Informationsaspekte gewonnen werden konnten. Zu Beginn der Studie waren die Teilnehmer darüber informiert, dass sie ein neuartiges Warnsystem testen, hatten jedoch keine Information über die Art des Systems und die Bedeutung der Warnung. Deshalb konnten die Tonwarnungen bei ihrem ersten Auftreten alleine einen zeitlichen Hinweis über eine bevorstehende Gefährdung unbekannter Art liefern. Nach den anfänglichen Irritationen wussten die Versuchsteilnehmer jedoch in allen Bedingungen mit Warnung ab dem zweiten Szenario, dass es sich um Kollisionssituationen handelt, und konnten bereits vor der Objekterkennung reagieren. Dies trat vermehrt in der Bedingung der Tonwarnungen auf. Zu klären bleibt, ob dies eine sinnvolle Reaktion darstellt, da es sich auch um eine vorschnelle Reaktion handeln könnte. Möglicherweise bereitet das räumliche Auditory Icon besser auf eine Gefahr vor, wie es der Befund einer Studie unterstützt (Wang, et al., 2007). In der Studie fanden sie heraus, dass ihre Probanden die Reaktionen zurückhielten, bis sie das sich annähernde Fahrzeug sehen konnten, und schlussfolgerten, dass das Warnsignal möglicherweise die Aufmerksamkeit in die richtige Richtung ausrichtet und dadurch auf die Gefahr vorbereitet. Ob dieses Muster für diese Studie zutrifft, kann jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht geklärt werden.

Die räumliche Positionierung der akustischen Warnungen wurde kaum bemerkt, was sich im Interview nach der Untersuchung zeigte. Dies kann möglicherweise dadurch erklärt werden,

dass die Probanden durch die fehlenden Hinweise, dass die Warnung derartige Information enthält, dies nicht bewusst wahrnehmen konnten. Jedoch könnte es der Fall gewesen sein, dass eine unterschwellige Wahrnehmung stattfand, ohne dass sie bewusst darüber berichten konnten (Nisbett & Wilson, 1977). Da sich jedoch kein positiver Effekt in der Reaktion zeigte, wie z. B. schnellere Reaktionen, scheint die Verwendung von räumlichen akustischen Warnungen wenig hilfreich zu sein.

Stattdessen sollte die räumliche Information besser über die visuelle Modalität übermittelt werden, die dann möglicherweise bewusst wahrgenommen wird und zu einem positiven Ausrichten der Aufmerksamkeit führen könnte. Dies wird für die zweite Studie in Betracht gezogen. Eine mögliche Umsetzung wäre z. B. das Aufleuchten einer Lichtquelle, die sich in etwa in der Richtung der Gefahr befindet. Das hätte den Vorteil gegenüber der akustischen räumlichen Information, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers direkt in die Richtung der Gefahr gelenkt wird und kaum übersehen werden kann. Eine in einem anderen Kontext verwendete visuelle Darbietung von örtlicher Information über eine Gefahrenquelle stammt aus einer Studie, in der im Rahmen von Nachtsichtsystemen eine LED-Leiste unterhalb einer Windschutzscheibe positioniert wurde (Mahlke, Roesler, Seifert, Krems, & Thuring, 2007). Dieser Ansatz wird als sehr sinnvoll erachtet und hat sich im Kontext der Nachtsichtsysteme als gut geeignet erwiesen.

Generell wird am Ansatz der Verwendung von Auditory Icons zur Übermittlung der Information über die Art der Gefahr festgehalten, da möglicherweise Aspekte der Untersuchung bzw. Spezifika der einzelnen Szenarien dazu geführt haben, dass sich keine positiven Effekte zeigen konnten. Zudem wurde keine reine Bedingung der Auditory Icons ohne zusätzliche Information untersucht, was in der zweiten Hauptstudie erfolgen soll.

Der kritische Aspekt bleibt jedoch die Auswahl geeigneter Auditory Icons für bestimmte Gefahrensituationen. Wie im Beginn dieser Arbeit ausgeführt wurde, ist es sehr schwierig, geeignete Varianten zu finden. Prinzipiell ist jedoch ein nomic oder iconic mapping (siehe 4.4) am besten geeignet, eine bestimmte Information zu übermitteln, da hier das Signal und das zu signalisierende Ereignis konsistent sind (Coward & Stevens, 2004). Für das Vorhandensein eines Autos gibt es jedoch kein iconic mapping im Sinne eines Geräusches, das durch ein Auto in einer Gefahrensituation ausgelöst wird. In dieser Studie wurde das Auditory Icon einer Autohupe verwendet, um zu signalisieren, dass sich ein Auto auf Kollisionskurs befindet. Einige Probanden äußerten im Interview nach der Studie, dass sie nach dem Ertönen der Warnung in den Rückspiegel geschaut hätten. Das stand im Gegensatz zu der erwünschten Reaktion, nämlich der Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf die Straße, und könnte zu negativen Effekten in Form von längeren Reaktionszeiten geführt

haben. Erklärbar ist dies dadurch, dass die Assoziation, die das Auditory Icon bei einigen Probanden auslöste, nicht zu der visuellen Information in der Situation passte und somit nicht kongruent war. Nach Bussemaker und De Haan (2000) wird eine Reaktion jedoch nur beschleunigt, wenn die visuelle und akustische Information kongruente Handlungen impliziert. Dies war jedoch zumindest bei einigen Teilnehmern, die in den Rückspiegel blickten, nicht gegeben. Deshalb heißt dies, dass in diesen Fällen unangemessene Auditory Icons verwendet wurden. So sollte z. B. anstelle der Autohupe als Auditory Icon für das Vorhandensein eines Autos vor dem Fahrzeug stattdessen eine Variante des Bremsgeräusches für die zweite Studie genutzt werden. Ein derartiges Auditory Icon wurde bereits erfolgreich in Fahrzeugkontexten eingesetzt (siehe Belz et al. 1999 und Graham 1999), allerdings muss getestet werden, ob die Verwendung in realistischeren Szenarien weiterhin zu den positiven Effekten führt.

Vor dem Hintergrund des zweiten Forschungsziels und des Beitrags zur Beurteilung von Kollisionswarnungen in frühen Phasen der Systementwicklung lassen sich einige Erkenntnisse aus dieser Untersuchung ableiten, die in die Umsetzung der zweiten Hauptstudie einfließen. Zum Ersten sollten Untersuchungsszenarien generiert werden, die für eine Beurteilung von Kollisionswarnungen in frühen Phasen der Systementwicklung geeignet sind. In dieser Studie war besonders das erste Szenario, „Sichtbehinderung I“, für eine Evaluation geeignet, da dieses Szenario aufgrund der aufgetretenen Kollisionen eine Beurteilung auf allen drei abhängigen Variablen ermöglichte. Zum Zweiten sollte sichergestellt werden, dass eine geeignete Instruktion der Versuchsteilnehmer erfolgt, damit die Effekte unter einigermaßen realistischen Bedingungen erzeugt werden und übertragbar sind. Dies wurde in dieser Studie lediglich für das erste Szenario tatsächlich umgesetzt, da nur hier die Probanden die Gefahrensituation völlig unvorbereitet erlebten. Im Anschluss an dieses Szenario waren die Probanden in einem gewissen Sinne darauf vorbereitet, was für eine Art von Gefahrensituation sie erleben werden. Deshalb ist die Beurteilung einer „intuitiven“ Reaktion nur für dieses erste Szenario vollkommen valide.

Für die nachfolgende Studie bleibt deshalb festzuhalten, dass es sinnvoller zu sein scheint, Versuchspersonen nur einige wenige (1 – 2) Szenarien darzubieten, da eine Untersuchung mittels vieler aufeinander folgender kritischer Situationen eine Erwartungshaltung und Lerneffekte auslöst. Außerdem sollten bei mehreren Szenarien diese ausbalanciert dargeboten werden, damit Effekte eindeutig den Manipulationen zugeordnet und Reihenfolgeeffekte ausgeschlossen werden können. Dies ist ebenso leichter umsetzbar, wenn nur einige wenige Szenarien verwendet werden.

## 8.4 Zusammenfassung

Das erste Szenario der Simulatoruntersuchung führte zu keinen signifikanten Ergebnissen. Im zweiten Szenario gab es einen Vorteil der räumlichen Tonwarnung in den abhängigen Variablen Bremsreaktionszeit und Abstand zum Kollisionsobjekt. Später kam es wahrscheinlich zu Lerneffekten, da alle Warntypen zu einem Vorteil gegenüber der Bedingung „ohne Warnung“ führten. Es traten hauptsächlich im ersten Szenario Kollisionen auf und die meisten erfolgten in der Bedingung „ohne Warnung“, allerdings zeigten sich keine signifikanten Effekte. Die Evaluation der Reaktionsmuster lieferte ab dem zweiten Szenario eine erhöhte Anzahl an Reaktionen vor dem Erblicken des Objektes für die Tonwarnungen im Vergleich zu der Bedingung räumliche Auditory Icons. Dieser Effekt blieb dann über alle Szenarien stabil. Die Akzeptanzdaten unterschieden sich kaum, die Einstufung der Sicherheit war relativ hoch, die Werte auf den anderen Dimensionen waren niedrig. Das Interview zeigte, dass keine bewusste Wahrnehmung der räumlichen Positionierung der Warnungen stattfand.

Bezogen auf die aufgestellten Hypothesen lässt sich kein Vorteil in Bezug auf schnellere Reaktionen und größere Abstände der räumlichen Auditory Icons im Vergleich zu den anderen Warntypen aufweisen. Allein die Hypothese über den Vorteil aller Warnungen im Vergleich zur Bedingung „ohne Warnung“ im Sinne schnellerer Reaktionen und größerer Abstände zum Kollisionsobjekt kann aufrechterhalten werden, allerdings auch erst ab dem dritten Szenario. Die Hypothese, dass räumliche Auditory Icons zu weniger Kollisionen im Vergleich zur einfachen Tonwarnung führen, kann nicht beibehalten werden. Die Hypothese, dass alle Warntypen zu weniger Kollisionen führen als keine Warnung, bleibt höchstens tendenziell bestehen, jedoch trat kein signifikanter Effekt auf.

## 9 HAUPTSTUDIE 2

In Hauptstudie 2 werden Auditory Icons, die jeweils über ein anderes Gefahrenobjekt informieren, mit zusätzlicher Information über die Position der Gefahrenquelle versehen. Basierend auf den Ergebnissen von Hauptstudie 1 wird die räumliche Position der Gefahr allerdings visuell übermittelt. Durch die Aufteilung der Information auf unterschiedliche Modalitäten entstehen multimodale Warnungen, was einen zusätzlichen positiven Effekt hervorrufen könnte. Diese „semantisch angereicherten“ Warnungen werden in relevanten Szenarien im Fahrsimulator im Vergleich zu unimodalen akustischen Warnungen getestet (siehe auch Abbildung 8). Erkenntnisse für das zweite Forschungsziel sind die Verwendung von nur zwei Simulatorszenarien und deren Ausbalancierung, damit Reihenfolgeeffekte und Erwartungshaltungen der Probanden minimiert werden können. Nachfolgend werden die Fahrsimulatoruntersuchung samt Ablauf sowie das verwendete Material dargestellt. Anschließend erfolgt eine Darstellung und Diskussion der Ergebnisse dieser Untersuchung.

### 9.1 Methodik

Die Untersuchungsmethode war wie in der ersten Studie der statische Fahrsimulator (siehe 8.1). Auch dieses Mal waren Motorengeräusche zur möglichst realistischen Simulation der Fahrsituation vorhanden, jedoch keine Vibrationen.

#### 9.1.1 *Versuchsdesign*

Das Versuchsdesign bestand aus einem dreifaktoriellen 2 x 2 x 2 between-subjects Design mit den Faktoren akustischer Warntyp, visuelle Komponente und Szenario-Sequenz. Die Warnvarianten wurden in zwei unterschiedlichen Szenarien untersucht.

#### 9.1.2 *Unabhängige Variablen*

Die unabhängigen Variablen waren der akustische Warntyp, der aus den zwei Stufen Auditory Icon und Ton bestand, sowie der Faktor der visuellen Komponente, die entweder vorhanden oder nicht vorhanden war („ohne LED“/„mit LED“). Die dritte unabhängige Variable war die Szenario-Sequenz, also die Reihenfolge der Darbietung der Szenarien („Auto-Fahrrad“ oder „Fahrrad-Auto“). Hierbei bedeutet die Sequenz Auto-Fahrrad, dass eine Versuchspersonen zuerst das Autoszenario erlebte und anschließend das Fahrradszenario.

Diese Warnvarianten wurden gewählt, da sie einen unterschiedlichen Grad an Information enthalten sowie uni- bzw. multimodal umgesetzt werden sollten. Auf unterster Ebene liegt wieder der einfache Ton, der außer einer allgemeinen Alarmierung keine Information enthält.

Auf der nächsthöheren Stufe befinden sich sowohl das Auditory Icon, da es Information über die Art der Gefährdung übermittelt, als auch die Kombination aus Ton und LED, das eine Übermittlung von Information über den Ort der Gefahr darstellt. Die informationshaltigste Warnung auf der obersten Stufe ist die Kombination aus Auditory Icon und LED, da sowohl Information über die Gefahr als auch deren Ort dargeboten wird. Die Untersuchung beinhaltet somit vier verschiedene Warntypen mit Variationen im Informationsgehalt, die sich auf 2 x 2 Faktoren (akustischer Warntyp und visuelle Komponente) aufteilen. Hiermit sollte die Forschungsfrage untersucht werden, ob eine multimodale semantisch angereicherte Warnung in diesem Kontext zu einem Vorteil im Vergleich zu weniger informativen und unimodalen Warnungen führt.

### *9.1.3 Abhängige Variablen*

Die abhängigen Variablen waren auf der Seite der Fahrparameter die Bremsreaktionszeit, der Abstand zum Kollisionsobjekt und die Anzahl der Kollisionen. Die Bremsreaktionszeit wurde gemessen vom Zeitpunkt der Warnung bis zur Betätigung der Bremse. Der Abstand zum Kollisionsobjekt wurde bei Halt des Fahrzeugs errechnet. Bei einer Ausweichaktion wurde der minimalste Abstand, bevor wieder eine Zunahme zu verzeichnen war, verwendet.

Neben diesen Fahrdaten wurden noch ein Fragebogen zu demografischen Daten und ein Akzeptanzfragebogen zu Warnsystemen (Weiler, 2003) verwendet. Zum Abschluss der Untersuchung wurden die Teilnehmer interviewt.<sup>15</sup>

### *9.1.4 Szenarioentwicklung*

Es wurden zwei Kollisionssituationen umgesetzt. Die Szenarien waren nicht äquivalent zu denen aus der ersten Studie, da es wünschenswert war, noch kritischere Szenarien zu erzeugen, damit mehr Kollisionen auftreten können. Als sinnvolle Umsetzungen wurden ein potentieller Auffahrunfall und ein verdecktes Fahrrad angesehen. Das Autoszenario war so gestaltet, dass der Proband hinter einem roten LKW fuhr, der plötzlich die Geschwindigkeit verringerte. Das akute Bremsen konnte erst sehr spät erkannt werden, da die Bremsleuchten nicht funktionierten (Abbildung 26). Im Fahrradszenario fuhr plötzlich ein Radfahrer hinter einem braunen Kleintransporter von der rechten Seite auf die Fahrbahn (Abbildung 26).

---

<sup>15</sup> Die Items aus diesen lassen sich im genauen Wortlaut im Anhang finden, eine auszugsweise Wiedergabe erfolgt im Ergebnisteil.



Abbildung 26: Autoszenario (obere Reihe) und Fahrradszenario (untere Reihe)

Welches Auditory Icon präsentiert wurde, richtete sich auch in dieser Studie nach dem jeweiligen Konfliktobjekt, das entweder ein Auto oder ein Fahrrad war. Somit wurde für das Auto das Bremsgeräusch verwendet, für das Fahrrad das Geräusch der Fahrradklingel (siehe Tabelle 24). Die Probanden wurden den Versuchsbedingungen nach dem Alter ausbalanciert zugeteilt.

Tabelle 24: Szenarien und Bedingungen aus Studie 2

Szenario (Kollisionsobjekt)	Konflikt-auslöser	Bedingung: Auditory Icons (AI)	Bedingung: Ton	Bedingung: AI mit LED	Bedingung: Ton mit LED
Auto	Bremsleuchten ausgefallen	Bremsgeräusch	600-Hz-Ton	Bremsgeräusch + Leuchten der Dioden mittig	600-Hz-Ton + Leuchten der Dioden mittig
Fahrrad	Verdeckung: parkende Autos	Fahrradklingel	600-Hz-Ton	Fahrradklingel + Leuchten der Dioden rechts	600-Hz-Ton + Leuchten der Dioden rechts

### 9.1.5 Material

Das Reizmaterial bestand aus dem 600-Hz-Rechteck-Wellenform-Ton aus der ersten Studie sowie der Fahrradklingel und dem Bremsgeräusch als Warnungen in der Bedingung Auditory Icon (siehe Tabelle 24). Alle Stimuli waren Stereo-Dateien und wurden über die Fahrzeuglautsprecher mit ca. 73 – 77 dB wiedergegeben. In der Lautheit waren sie auf ca. 24 sone angepasst.

Zur Darstellung der Information über die räumliche Positionierung der Gefahr wurde eine LED-Leiste verwendet. Diese wurde im Sichtfeld des Fahrers unterhalb der Fensterscheibe auf dem Armaturenbrett angebracht. Eine ähnliche Anordnung lag in einer Studie zum Vergleich von Nachtsicht-Systemen vor (siehe Abbildung 27).



Abbildung 27: LED-Leiste (aus Mahlke, et al., 2007)

Im Autoszenario lag die Gefahr auf der Fahrbahn vor dem eigenen Fahrzeug, deshalb leuchtete die LED-Leiste vorne mittig rot auf. Das Fahrrad hingegen kreuzte im zweiten Szenario die Fahrbahn von rechts, deshalb begann das Aufleuchten der LED-Leiste rechts und verfolgte die Position des Radfahrers so lange, bis dieser sich wieder vom eigenen Fahrzeug entfernte oder das Versuchspersonenfahrzeug zu einem kompletten Stillstand gekommen war.

Die LEDs waren vom Typ LS E67B – T2V1 mit einem Lichtfluss von 2950 mlm (Milli-Lumen). Da die Leinwand sehr begrenzt war (1,72 x 2,35 m) wurde die LED-Leiste so angebracht, dass sie den Bereich der Leinwand abdeckte, den ein Fahrer sehen konnte. Dies entsprach einer Länge von 80 cm (die komplette Windschutzscheibe hatte eine Länge von 120 cm). Auf dieser Länge waren in 16 Segmenten in einem Abstand von 1 cm jeweils fünf Leuchtdioden angebracht. Beim Aufleuchten an den genannten Positionen leuchtete jeweils eines der Segmente rot auf. Beim Auto betraf dies den Bereich vor dem Fahrer, beim Fahrrad wechselte das Aufleuchten von weiter rechts nach eher mittig und verfolgte die Position des Fahrrads.

Der Ablauf eines Szenarios bestand darin, dass die Versuchsteilnehmer – zuerst eine Weile den Anweisungen einer akustischen Navigationsansage durch eine weibliche Stimme folgend – eine Strecke entlangfuhren. Nach leicht variierenden Zeitabständen (ca. 3 – 5 min) folgte dann ein kritisches Ereignis. Im Fahrradszenario wurden die Probanden ca. 1 s vor Sichtbarwerden des Kollisionsobjektes gewarnt, das in etwa einer time-to-collision von 3 – 4 s entsprach. Die Warnung im Autoszenario erfolgte hingegen, sobald das vorausfahrende Auto den Bremsvorgang einleitete, da dies zum Zeitpunkt der Warnung vergleichbar mit einem realen Warnsystem ist.

#### 9.1.6 *Versuchsablauf*

Die Versuchsteilnehmer wurden darüber informiert, dass sie zwei abgeschlossene Fahrten, mit einer Gesamtfahrtzeit von ca. 10 min absolvieren. Sie erhielten die gleiche Instruktion wie in der ersten Studie, die nur um die verkürzte Dauer der zwei Fahrten verändert war. Zu Beginn der Untersuchung füllten die Versuchspersonen den demografischen Fragebogen aus (siehe Anhang F). Aufgrund der aufgetretenen großen Zahl an Abbrechern in der ersten Studie wurde ein Simulator-Sickness-Questionnaire eingeführt (Kennedy & Graybiel, 1965; Mehlitz, 2004), den die Probanden sowohl vor als auch nach der Studie ausfüllten. Als Nächstes wurden die Grundfunktionen des Fahrsimulators erläutert und die Probanden absolvierten die in der ersten Untersuchung beschriebene Trainingsfahrt (siehe Anhang G). Im Anschluss daran führten sie die zwei Hauptfahrten aus.

#### 9.1.7 *Hypothesen*

1. Eine visuell/akustische Informationsdarbietung führt zu schnelleren Reaktionen im Vergleich zu einer rein akustischen Warnung, zu einem größeren Abstand zum Kollisionsobjekt und zu weniger Kollisionen.

Das bedeutet, dass sowohl eine Darbietung mit viel spezifischer Information (Auditory Icon und LED) als auch eine Warnung mit weniger spezifischer Information (Ton und LED) eine schnellere Reaktion hervorrufen, zu einem größeren Abstand zum Kollisionsobjekt führen und weniger Kollisionen produzieren sollten als eine rein akustische Warnung, die gar keine (Ton) oder weniger spezifische Information (Auditory Icon) liefert.

2. Eine Darbietung mit mehr spezifischer Information führt zu einer schnelleren Reaktion, zu einem größeren Abstand zum Kollisionsobjekt und zu weniger Kollisionen im Vergleich zu einer Darbietung mit weniger spezifischer Information

Dies bedeutet, dass sowohl die Darbietung von visuell/akustischer spezifischer Information (Auditory Icon und LED) zu schnelleren Reaktionen, zu einem größeren Abstand zum Kollisionsobjekt und zu weniger Kollisionen im Vergleich zur Darbietung von weniger spezifischer visuell akustischer Information (Ton und LED) führt als auch, dass die spezifische akustische Warnung (Auditory Icon) zu schnelleren Reaktionen, zu einem größeren Abstand zum Kollisionsobjekt und weniger Kollisionen führt als eine unspezifische akustische Darbietung (Ton).

3. Die Darbietung des jeweiligen Szenarios (Auto oder Fahrrad) zum ersten Zeitpunkt führt zu langsameren Reaktionen, zu geringeren Abständen zum Kollisionsobjekt und zu mehr Kollisionen im Vergleich zur Darbietung als zweites Szenario.

### 9.1.8 Stichprobe

Aufgrund der Erfahrungen in der ersten Simulatoruntersuchung wurden nur männliche Teilnehmer des Volkswagenkonzern-Werks in Wolfsburg in die Studie miteinbezogen, um so das Auftreten von „Simulator Sickness“ zu verringern. Dies erwies sich als erfolgreich, denn es gab nur vier Teilnehmer, die den Versuch abbrechen mussten. Zwei Probanden wurden aus der Analyse ausgeschlossen, da sie eine Hörbeeinträchtigung aufwiesen und die akustischen Warnungen nicht wahrgenommen hatten. Die Teilnehmer erhielten Präsente als Aufwandsentschädigung im Wert von ca. 15 – 50 € (je nach gewähltem Präsent).

Die Probanden wurden nach dem Alter ausbalanciert und randomisiert den Bedingungen zugeteilt (siehe Tabelle 25). Für diese Studie konnte das Alter der Probanden leider nur in Kategorien erhoben werden (keine genauere Altersinformation aufgrund von Datenschutzbestimmungen). Das Alter der Probanden lag zwischen 18 – 56 Jahren, der Median der Verteilung war die Kategorie 3 (= 31 – 35 Jahre).

Tabelle 25: Alterszuweisung der Probanden zu jeder Bedingung

Altersgruppe	ohne LED		mit LED		Gesamt
	AI	Ton	AI	Ton	
<b>18 – 25</b>	3	0	0	1	4
<b>26 – 30</b>	4	8	7	6	25
<b>31 – 35</b>	13	13	15	14	55
<b>36 – 40</b>	17	16	15	16	64
<b>41- – 45</b>	2	2	1	2	7
<b>46- – 50</b>	1	1	0	0	2
<b>&gt; 50</b>	0	0	2	1	3
<b>Gesamt</b>	40	40	40	40	160

Alle Teilnehmer waren im Besitz eines Führerscheins und mehr als 85 % nutzten ihr Auto täglich und für mehr als 10.000 km pro Jahr.

## 9.2 Ergebnisse

Die Datenaufzeichnung der Simulatorfahrt erfolgte in Logfiles in 40-Hz-Abständen. Die Daten wurden erneut aggregiert und für die beiden Szenarien getrennte Berechnungen durchgeführt, da unterschiedliche Stimuli in der Bedingung Auditory Icon verwendet wurden und dies deshalb nicht in einer Analyse ausgewertet werden kann. Die Szenarienreihenfolge bildete allerdings im Unterschied zu der ersten Studie eine weitere unabhängige Variable, die in beide Analysen einbezogen wurde.

Ein wichtiger Parameter für die Auswertung der Untersuchung stellt die Anzahl der Kollisionen dar, da es für Kollisionswarnungen natürlich essentiell ist, ob sie Kollisionen vermeiden helfen. Da jedoch nur im Autoszenario Kollisionen auftraten, werden die Ergebnisse dieser Variable lediglich hierfür berichtet. Anschließend erfolgt die Darstellung der Analysen der Variablen Bremsreaktionszeit und des Abstands zum Kollisionsobjekt getrennt für beide Szenarien. Hierauf folgt die Darstellung der Akzeptanz- und Interviewdaten.

### 9.2.1 Anzahl der Kollisionen

Nur im Autoszenario traten Kollisionsfälle auf, das Fahrradszenario lieferte keine Kollisionen. Im Autoszenario bestanden Unterschiede dahingehend, wie nah die Probanden mit ihrem Auto dem vorausfahrenden Fahrzeug auffuhren. Deshalb wurde berechnet, ob ein Proband überhaupt die Möglichkeit hatte, die Kollision zu vermeiden oder ob der Sicherheitsabstand zu gering war. Hierfür wurde durch bekannte Formeln zur Berechnung des Reaktions- und Bremsweges der allgemeine Anhalteweg berechnet (siehe Tabelle 26).

Der errechnete Anhalteweg wurde mit dem tatsächlich vorhandenen Abstand verglichen, der zum Zeitpunkt der Ausgabe der Warnung zum vorausfahrenden LKW gemessen wurde. Bei negativer Ausgangslage (der Anhalteweg ist länger als der verbleibende Abstand zum Objekt beim Zeitpunkt der Warnung) wurde dieser Fall für die Analyse der Kollisionen ausgeschlossen.

Tabelle 26: Formeln für die Berechnung des Anhaltewegs (Quelle: wikipedia)

	Formel	Enthaltene Variablen
Reaktionsweg	$s = \frac{v * t_R}{3.6}$	s = Reaktionsweg in m v = Geschwindigkeit in km/h t <sub>R</sub> = Reaktionszeit → Annahme für diese Studie: t <sub>R</sub> = .1s (angenommene schnellste maximale Reaktionszeit, die praktisch gar nicht mehr ausgeführt werden kann)
Bremsweg	$s = \frac{v^2}{2a}$	s = Bremsweg in m v = Geschwindigkeit in m/s a = Bremsverzögerung in m/s <sup>2</sup> → allgemeine Annahme: a = 7,72 m/s <sup>2</sup> (→ ist in der Formel konstant)
Anhalteweg		Bremsweg + Reaktionsweg

Bei sechs Versuchsteilnehmern zeigte sich, dass sie trotz einer negativen Ausgangslage die Kollision vermeiden konnten. Eine genaue Betrachtung dieser Fälle ergab, dass sie sowohl sehr schnelle Bremsreaktionszeiten zeigten als auch sehr schnell die volle Bremskraft ausübten. Diesem Fakt kann in der Berechnung durch die konstante Bremsverzögerung in der Formel in Tabelle 26 des Bremswegs nicht Rechnung getragen werden. Da diese schnellen Reaktionszeiten sowie das starke Einwirken auf die Bremse darauf hindeuten, dass die Warnungen hier einen Einfluss hatten, wurden diese sechs Fälle wieder in die Analyse aufgenommen.

Mit den verbleibenden Datensätzen wurden  $\chi^2$ -Tests für die einzelnen unabhängigen Variablen berechnet. Diese zeigten nur für den Warntyp eine Signifikanz (Pearson  $\chi^2 = 4,43$ ;  $p < .05$ ). Es traten somit in der Bedingung Ton signifikant mehr Kollisionen auf als in der Bedingung Auditory Icon (siehe Tabelle 27). Alle anderen Analysen führten zu keinen signifikanten  $\chi^2$ -Tests.

Tabelle 27: Anzahl der Kollisionen für die Bedingung Warntyp im Autoszenario

Warnung	Kollision		Gesamt
	keine Kollision	Kollision	
Auditory Icon	58	10	68
Ton	50	21	71
Gesamt	108	31	139

### 9.2.2 Bremsreaktionszeit und Abstand zum Kollisionsobjekt

Für das Fahrradszenario erfolgte eine Analyse der Bremsreaktionszeiten sowie des Abstands zum Kollisionsobjekt. Weiterhin wurden zwei Kovariaten in die Analyse mit aufgenommen, die wahrscheinlich einen Einfluss auf die abhängigen Variablen der Bremsreaktionszeit und den Abstand zum Kollisionsobjekt haben. Dies waren die Geschwindigkeit des Fahrzeugs zum Zeitpunkt der Ausgabe der Warnung sowie der Abstand zum Kollisionsobjekt beim Zeitpunkt der Ausgabe der Warnung, da diese Variablen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit des Versuchspersonenfahrzeugs und des gewählten Sicherheitsabstandes für die Probanden unterschiedlich sein konnten.

Für das Autoszenario war der Abstand zum Kollisionsobjekt stark damit konfundiert, wie nah die Probanden dem vorausfahrenden Fahrzeug aufgefahren waren. Deshalb wurde eine Varianzanalyse mit den zwei Kovariaten Geschwindigkeit und Abstand zum Kollisionsobjekt beim Zeitpunkt der Ausgabe der Warnung allein für die Bremsreaktionszeiten berechnet und nicht für den Abstand zum Kollisionsobjekt wie im Fahrradszenario.

#### 9.2.2.1 Fahrradszenario

Es fanden sich signifikante Effekte für die Kovariaten Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Warnungsausgabe (Wilks-Lambda:  $F[2, 121] = 8.17, p < .01$ ) und Abstand zum Zeitpunkt der Warnungsausgabe (Wilks-Lambda:  $F[2, 121] = 9.90, p < .01$ )<sup>16</sup> sowie signifikante Haupteffekte für die visuelle Komponente (Wilks-Lambda:  $F[2, 121] = 4.80, p < .05$ ) und die Szenario-Sequenz (Wilks-Lambda:  $F[2, 121] = 22.88, p < .01$ ). Es gab keine signifikanten Interaktionseffekte. Die Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel sind in Tabelle 28 dargestellt.

Für die Beurteilung, welche abhängigen Variablen zu signifikanten Effekten führten, sind in Tabelle 29 die between-subjects Effekte aufgelistet. Man sieht hier, dass für den Haupteffekt der visuellen Komponente sowohl die Bremsreaktionszeit als auch der Abstand zum Kollisionsobjekt einen signifikanten Effekt produzierten. Gleiches gilt für den Haupteffekt der Szenario-Sequenz. Es gab hier einen tendenziellen Interaktionseffekt der visuellen Komponente mit der Szenario-Sequenz für die Bremsreaktionszeit und den Abstand zum Kollisionsobjekt (siehe Tabelle 29).

---

<sup>16</sup> Eine Berechnung von Korrelationen zeigte jedoch keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Kovariaten und den abhängigen Variablen. Alleine ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen dem Abstand zum Zeitpunkt der Warnung und der Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Warnung ließ sich ausweisen (siehe Anhang J).

Tabelle 28: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel des Szenarios Fahrrad

Abhängige Variable	Warnung	Visuelle Komponente	Szenario-Sequenz	Mittelwert	Standardfehler
Minimaler Abstand in cm	AI	ohne LED	Fahrrad-Auto	1294,87	73,78
			Auto-Fahrrad	1505,97	71,15
		mit LED	Fahrrad-Auto	1312,91	66,48
			Auto-Fahrrad	1690,07	63,35
	Ton	ohne LED	Fahrrad-Auto	1208,57	83,09
			Auto-Fahrrad	1472,10	65,56
		mit LED	Fahrrad-Auto	1301,76	66,87
			Auto-Fahrrad	1769,18	61,88
Bremsreaktionszeit in ms	AI	ohne LED	Fahrrad-Auto	1343,63	64,92
			Auto-Fahrrad	1158,40	62,61
		mit LED	Fahrrad-Auto	1316,61	58,50
			Auto-Fahrrad	997,14	55,74
	Ton	ohne LED	Fahrrad-Auto	1449,92	73,12
			Auto-Fahrrad	1210,91	57,68
		mit LED	Fahrrad-Auto	1361,36	58,84
			Auto-Fahrrad	949,30	54,45

Tabelle 29: Between-subjects Effekte der einzelnen abhängigen Variablen

Quelle	Abhängige Variable	df	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Kovariate Geschwindigkeit bei Warnung	Minimaler Abstand	1	11,62	< .01	,09
	Bremsreaktionszeit	1	6,24	.01	,05
Kovariate Abstand bei Warnung	Minimaler Abstand	1	12,95	< .01	,10
	Bremsreaktionszeit	1	6,40	< .05	,05
Warnung	Minimaler Abstand	1	,070	.79	,00
	Bremsreaktionszeit	1	,81	.37	,01
Visuelle Komponente	Minimaler Abstand	1	9,03	< .01	,07
	Bremsreaktionszeit	1	9,64	< .01	,07
Szenario-Sequenz	Minimaler Abstand	1	45,05	< .01	,27
	Bremsreaktionszeit	1	44,66	< .01	,27
Warnung * Vis. Komp.	Minimaler Abstand	1	,92	.34	,01
	Bremsreaktionszeit	1	,88	.35	,01
Warnung * Szenario-Sequenz	Minimaler Abstand	1	,53	.47	,00
	Bremsreaktionszeit	1	,73	.40	,01
Visuelle Komponente * Szenario-Sequenz	Minimaler Abstand	1	3,58	.06	,03
	Bremsreaktionszeit	1	3,19	.08	,03
Warnung * Vis. Komp. * Szenario-Sequenz	Minimaler Abstand	1	,04	.85	,00
	Bremsreaktionszeit	1	,05	.82	,00

Die signifikanten Haupteffekte der Multivariaten Varianzanalyse werden in Grafiken mit Darstellung der Mittelwerte und Standardfehler abgebildet (siehe Abbildung 28, Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 31).

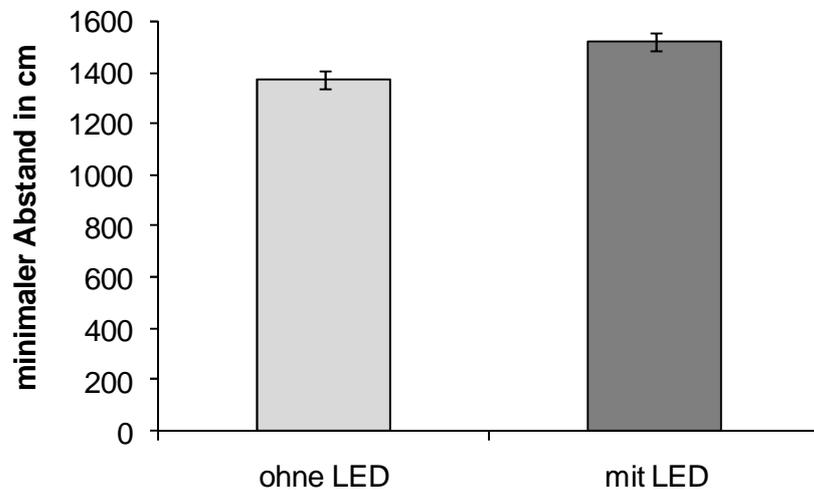


Abbildung 28: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts der visuellen Komponente (ohne LED/mit LED) für die Variable Abstand zum Kollisionsobjekt

In Abbildung 28 kann man erkennen, dass die Warnungen ohne LED-Leiste zu einem geringeren Abstand zum Kollisionsobjekt führten im Vergleich zu den Warnungen mit LED. Bei den Bremsreaktionszeiten führten Warnungen mit LED zu kürzeren Zeiten als Warnungen ohne LED (Abbildung 29).

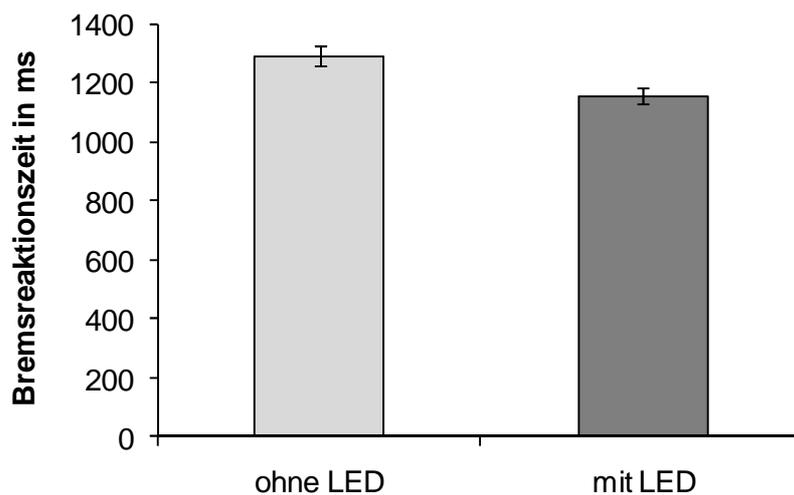


Abbildung 29: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts der visuellen Komponente (ohne LED/mit LED) für die Variable Bremsreaktionszeit

Der Haupteffekt Szenario-Sequenz zeigt, dass eine Präsentation des entsprechenden Szenarios zum ersten Zeitpunkt zu einem geringeren Abstand führte verglichen mit einer

Darbietung des Szenarios zum zweiten Zeitpunkt (siehe Abbildung 30). Der hierzu passende Effekt der Bremsreaktionszeiten besagt, dass eine Präsentation des Szenarios Fahrrad zum ersten Zeitpunkt längere Bremsreaktionszeiten produzierte als eine Darbietung zum zweiten Zeitpunkt (siehe Abbildung 31).

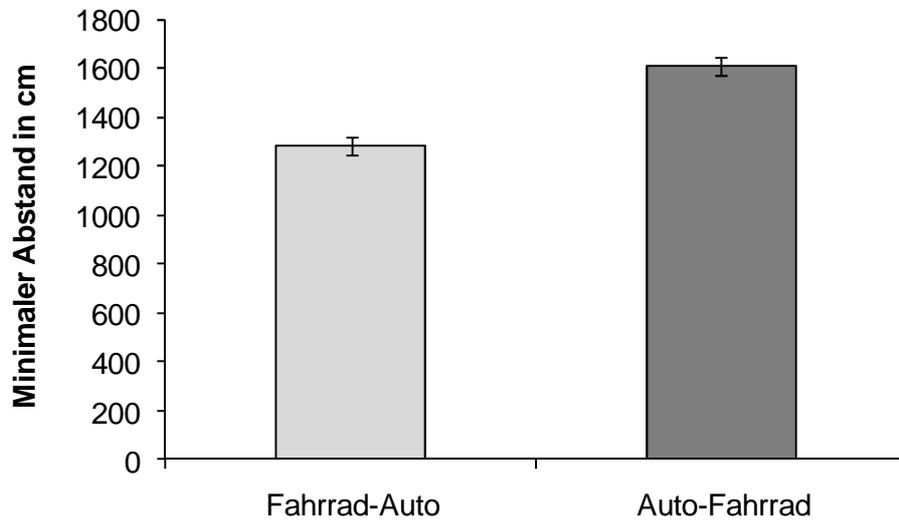


Abbildung 30: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts Szenario-Sequenz für die Variable Abstand zum Kollisionsobjekt

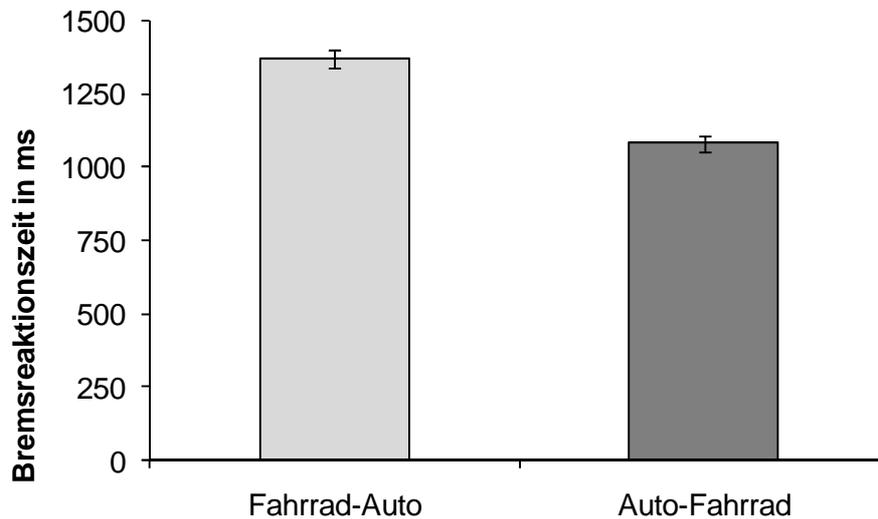


Abbildung 31: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts Zeitpunkt für die Variable Bremsreaktionszeit

### 9.2.2.2 Autoszenario

Es fand sich ein signifikanter Einfluss für die Kovariate Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Warnungsausgabe (Wilks-Lambda:  $F[1,149] = 142.87$ ,  $p < .01$ )<sup>17</sup> sowie signifikante Haupteffekte für die visuelle Komponente (Wilks-Lambda:  $F[1,149] = 19.03$ ,  $p < .01$ ), den Warntyp (Wilks-Lambda:  $F[1,149] = 6.06$ ,  $p < .05$ ) und die Szenario-Sequenz (Wilks-Lambda:  $F[1,149] = 38.84$ ,  $p < .01$ ) (siehe Tabelle 31). Die Kovariate Abstand zum Kollisionsobjekt war nur tendenziell signifikant ( $p = .08$ ).<sup>18</sup> Es gab keine signifikanten Interaktionseffekte. Die Höhe der Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel sind in Tabelle 30 ersichtlich. Die signifikanten between-subjects Effekte sind in Tabelle 31 aufgelistet.

Tabelle 30: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel des Szenarios Auto (in ms)

Warnung	Visuelle Komponente	Zeitpunkt	Mittelwert	Standardfehler
AI	ohne LED	Auto-Fahrrad	2214,34	118,88
		Fahrrad-Auto	1892,91	120,22
	mit LED	Auto-Fahrrad	1998,98	120,00
		Fahrrad-Auto	1420,00	119,13
Ton	ohne LED	Auto-Fahrrad	2600,06	126,72
		Fahrrad-Auto	1982,74	120,00
	mit LED	Auto-Fahrrad	2247,49	118,92
		Fahrrad-Auto	1540,28	122,02

Tabelle 31: Between-subjects Effekte der Bremsreaktionszeit des Szenarios Auto

Quelle	df	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Kovariate Geschwindigkeit bei Warnung	1	142,87	< .01	,49
Kovariate Abstand bei Warnung	1	3,07	.08	,02
Warnung	1	6,06	< .05	,04
Visuelle Komponente	1	19,03	< .01	,11
Szenario-Sequenz	1	38,84	< .01	,21
Warnung * Vis. Komponente	1	,10	.75	,00
Warnung * Szenario-Sequenz	1	1,62	.20	,01
Vis. Komponente * Szenario-Sequenz	1	1,03	.31	,01
Warnung * Vis. Komponente * Szenario-Sequenz	1	,24	.63	,00

<sup>17</sup> Es zeigte sich eine eher geringe, jedoch signifikante positive Korrelation zwischen der Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Warnung und der Bremsreaktionszeit (siehe Anhang).

<sup>18</sup> Die Korrelation zwischen Abstand zum Zeitpunkt der Warnung und der Bremsreaktionszeit ist jedoch signifikant positiv. Zudem zeigte sich eine signifikante positive Korrelation zwischen Abstand und Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Warnung. Details siehe Anhang.

Man sieht hier, dass sowohl für den Haupteffekt der Warnung als auch für die Visuelle Komponente und die Szenario-Sequenz signifikante Effekte der Bremsreaktionszeit auftraten. Es gab hier ebenso einen signifikanten Effekt der Kovariate Geschwindigkeit beim Zeitpunkt der Warnung und einen tendenziellen Effekt der Kovariate Abstand zum Zeitpunkt der Warnung. Es lagen keine signifikanten Interaktionseffekte vor (siehe Tabelle 31). Die signifikanten Effekte werden nachfolgend in Diagrammen dargestellt. Die Abbildung 32 verdeutlicht, dass die Auditory Icons als Warnung zu signifikant kürzeren Bremsreaktionszeiten führen als die Tonwarnung.

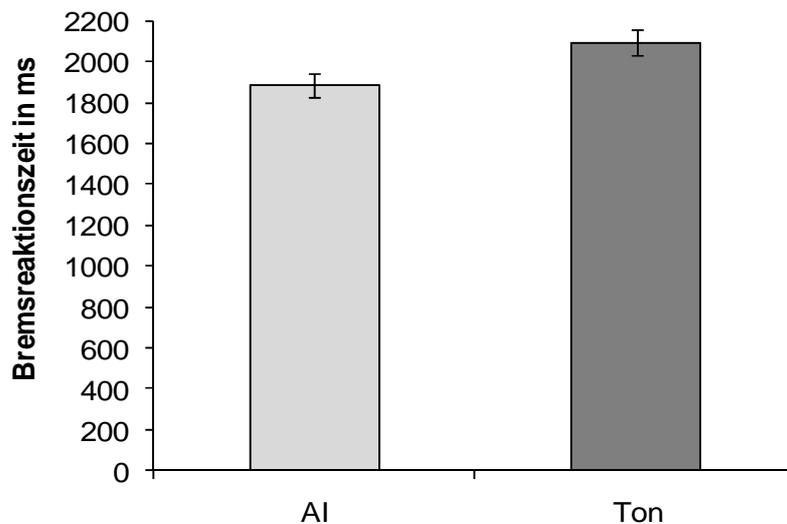


Abbildung 32: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts Warnungstyp (Auditory Icon (AI)/Ton) für die Variable Bremsreaktionszeit im Autoszenario

Der Haupteffekt der visuellen Komponente zeigt in Abbildung 33, dass die Warnungen ohne LED längere Reaktionszeiten produzieren als die Warnungen mit LED-Komponente. Die Szenario-Sequenz beeinflusste die Bremsreaktionszeiten und dies bedeutet, dass die erste Konfrontation mit dem Szenario längere Bremsreaktionszeiten hervorruft im Vergleich zur Darbietung des Szenarios zum zweiten Zeitpunkt (siehe Abbildung 34).

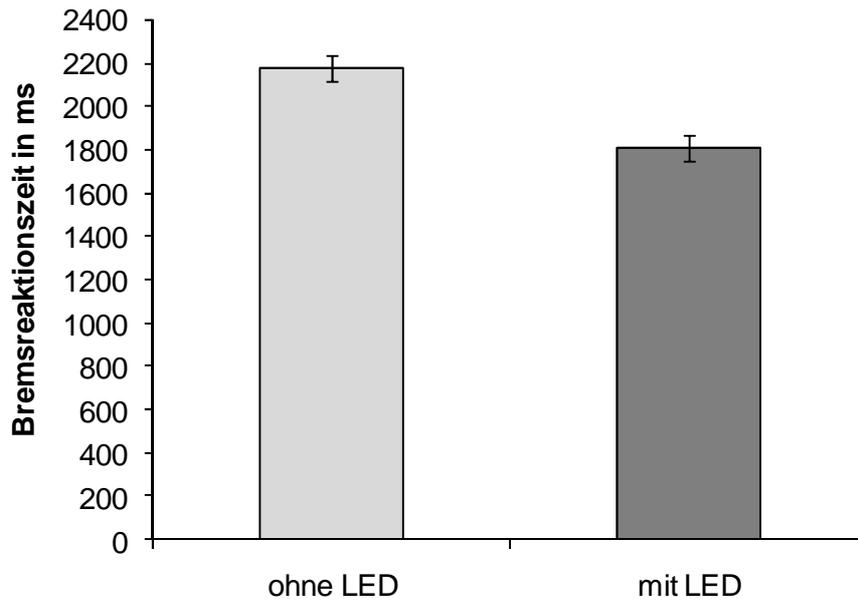


Abbildung 33: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts Visuelle Komponente (ohne LED/mit LED) für die Variable Bremsreaktionszeit im Autoszenario

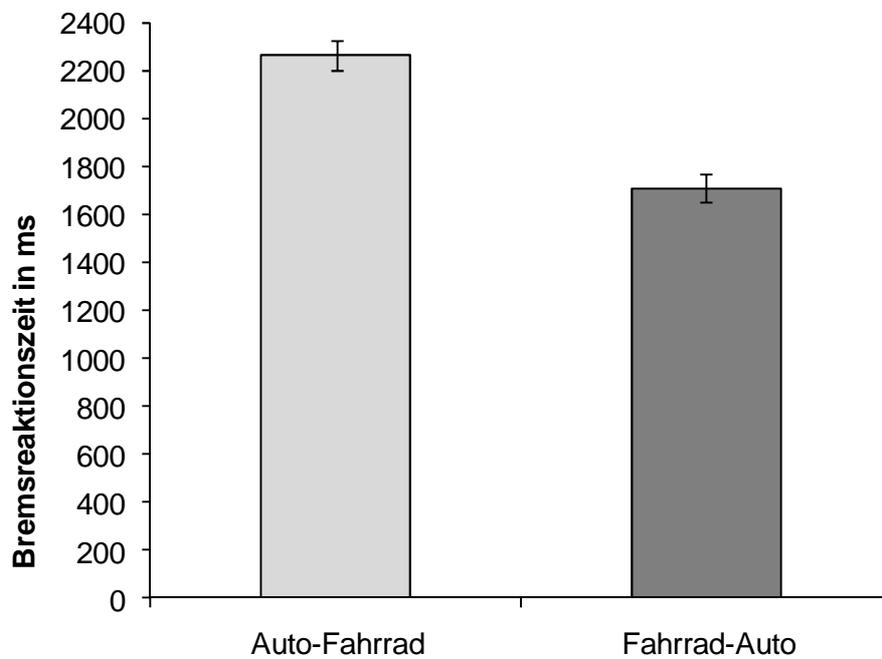


Abbildung 34: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts Szenario-Sequenz für die Variable Bremsreaktionszeit im Autoszenario

### 9.2.2.3 Gesamtübersicht

Tabelle 32 gibt noch einmal eine Übersicht über alle signifikanten Effekte der Varianzanalysen der beiden Szenarien in Hauptstudie 2. Die Haupteffekte wiesen alle in die gleiche Richtung: Die Präsentation des Szenarios an erster Stelle führte für beide Szenarien zu längeren Bremsreaktionszeiten, Warnungen mit LED produzierten in beiden Szenarien schnellere Reaktionen, die Warnung der Auditory Icons förderte allerdings nur im Autoszenario kürzere Bremsreaktionszeiten als die Tonwarnung und verhinderte zudem mehr Kollisionen.

Tabelle 32: Übersicht aller Effekte aus den Varianzanalysen pro Szenario

Szenario	Haupteffekt Warnung	Haupteffekt Visuelle Komponente	Haupteffekt Szenario-Sequenz
Fahrradszenario	-	F = 4.80 (p < .05)	F = 22.88 (p < .01)
Autoszenario	F = 6,06 (p < .05)	F = 19,03 (p < .01)	F = 38,84 (p < .01)

### 9.2.3 Akzeptanzfragebogen

Die Versuchsteilnehmer füllten nach der Untersuchung einen Akzeptanzfragebogen aus, der die Beurteilung des Warnsystems erfasste. Die Probanden mussten folgende Aussage in zwölf Sätzen (siehe Tabelle 33) einstufen: „Durch die Nutzung des Warnsystems würde ich ...“

Tabelle 33: Items aus dem Akzeptanzfragebogen (Weiler, 2003)

Nr.	Items	Median	Minimum	Maximum
1	... mich sicherer fühlen.	3	1	5
2	... sicherer fahren.	3	1	5
3	... noch lieber Autofahren	2	1	5
4	... mich in meiner persönlichen Freiheit eingeschränkt fühlen.	2	1	4
5	... verantwortungsvoller fahren.	2	1	5
6	... durch die Warnungen genervt werden.	3	1	5
7	... bei der Anwesenheit von Mitfahrern peinlich berührt sein.	1	1	5
8	... mehr Spaß am Fahren haben.	2	1	5
9	... mich kontrolliert fühlen.	2	1	4
10	... durch die Warnungen abgelenkt werden.	2	1	5
11	... mich bevormundet fühlen.	1	1	4
12	... das Fahren unterhaltsamer finden.	1	1	5

Die Einstufung erfolgte anhand einer fünfstufigen Ratingskala mit den Endpunkten „trifft nicht zu“ bis „trifft völlig zu“. Der Fragebogen weist insgesamt vier Dimensionen auf, die sich die Items teilen.<sup>19</sup> Für diese vier Dimensionen können Summenwerte der Antwortratings berechnet werden. Der höchste zu erreichende Summenwert liegt bei 15 Punkten (da es jeweils 3 Items pro Kategorie mit einer höchstmöglichen Zahl von 5 gibt). Abbildung 35 zeigt die erreichten Mittelwerte und Standardfehler der Summenwerte pro Dimension. Zwischen den Bedingungen treten kaum Unterschiede auf, eine Multivariate Varianzanalyse brachte keine signifikanten Unterschiede der Variablen in den vier Dimensionen.

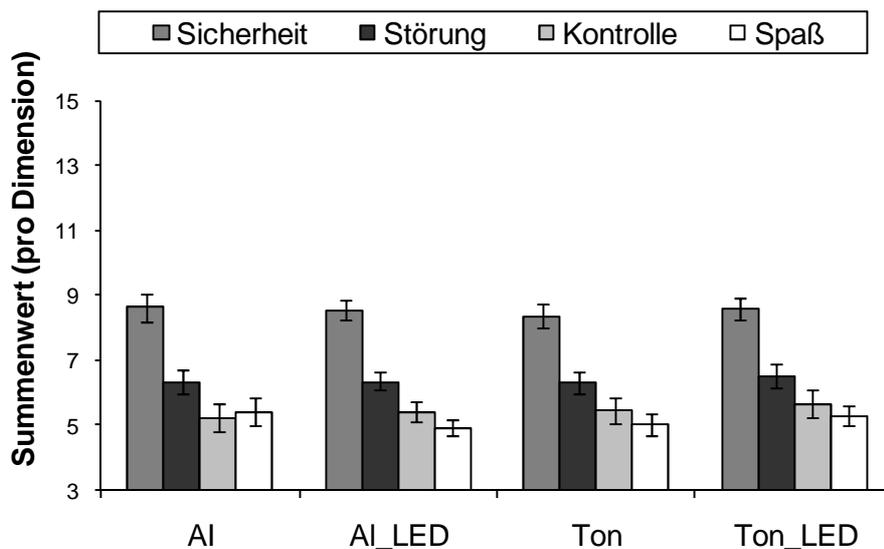


Abbildung 35: Mittelwerte und Standardfehler des Summenwertes pro Dimension

#### 9.2.4 Interview

Im abschließenden Interview nach der Untersuchung wurden die Probanden gefragt, ob sie in den Bedingungen mit LED-Leiste diese visuelle Komponente wahrgenommen hatten, und zudem, ob die räumliche Information der LED-Leiste bewusst erkannt wurde. Es zeigte sich, dass alle Probanden die visuelle Komponente wahrnahmen, jedoch nur 13,8 % der Probanden die räumliche Information erkannten, die integriert war.

Zudem wurden alle Versuchsteilnehmer, auch wenn sie nur eine der Varianten erlebt hatten, befragt, was für eine Warnung sie bevorzugen würden. Dies wurde danach kategorisiert, welche Darbietung sie in der Studie erlebt hatten. Hier zeigte sich ein signifikanter Effekt (Pearson  $\chi^2 = 34,64$ ;  $p < .01$ ) für die visuelle Komponente: Personen, die eine Präsentation

<sup>19</sup> Sicherheit: Item 1,2,5; Störung: Item 6,7,10; Kontrolle: Item 4,9, 11; Spaß: Item 3,8,12

mit LED-Leiste erlebt hatten, bevorzugten vermehrt eine multimodale Warnung, wohingegen Probanden, die nur eine rein akustische Warnung erlebten, auch genauso oft eine unimodale Warnung präferierten (siehe Tabelle 34). Die Variable akustischer Warntyp zeigte keinen signifikanten Effekt und war unabhängig davon, ob ein Ton oder ein Auditory Icon erlebt wurde.

Tabelle 34: Absolute Häufigkeiten der Präferenzen der Darbietung in Abhängigkeit der erlebten Bedingung

Erfahrene Bedingung	Präferierte Darbietung			Gesamt
	akustisch	visuell	visuell/akustisch	
ohne LEDs	37	6	37	80
mit LEDs	5	18	57	80
Gesamt	42	24	94	160

Die geäußerten Präferenzen wurden noch einmal genauer kategorisiert und deskriptiv in einer Abbildung zusammengefasst (Abbildung 36). Hierbei waren mehrfache Aussagen möglich.

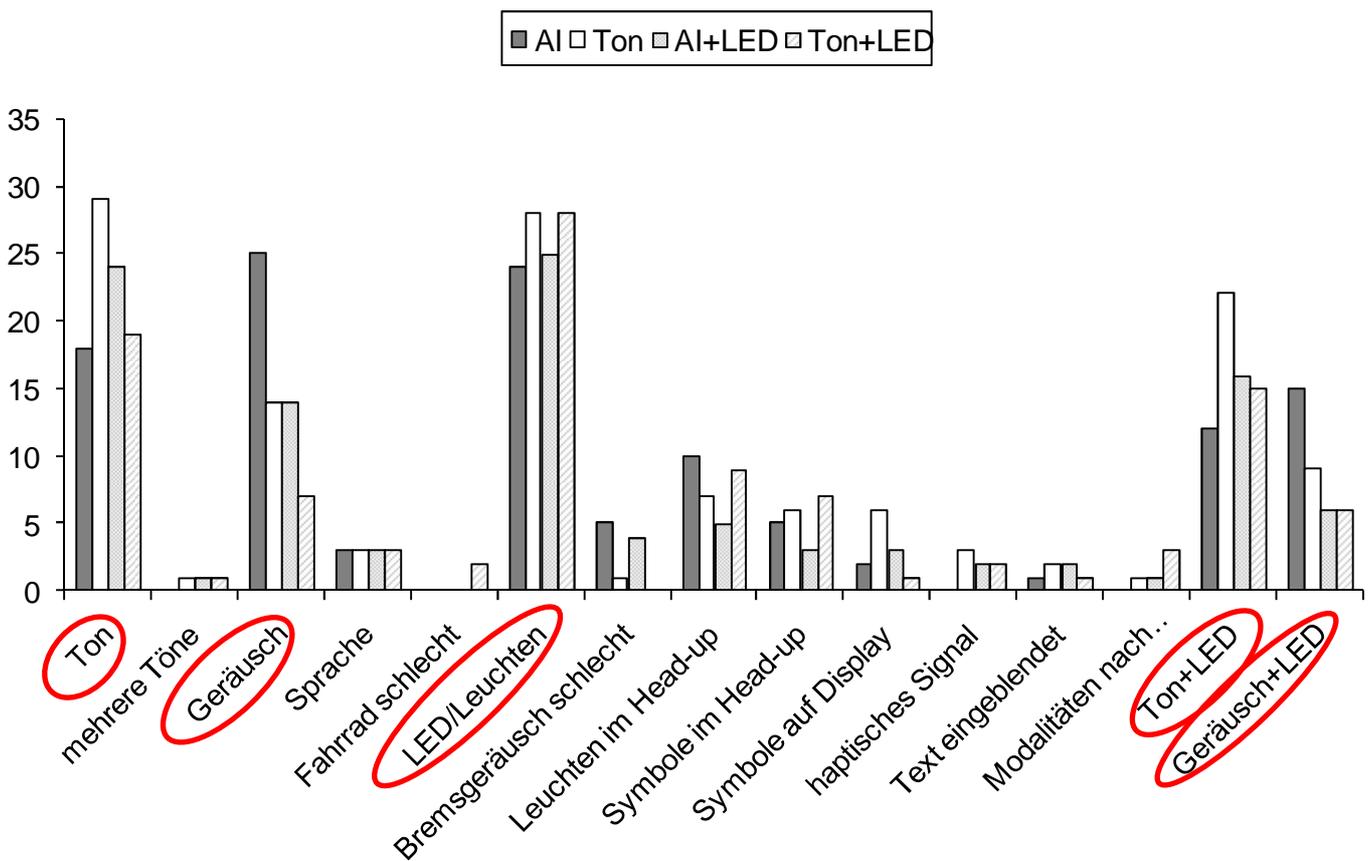


Abbildung 36: Darbietungs-Präferenzen in Abhängigkeit der erlebten Darbietung (absolute Häufigkeiten)

Man kann anhand der absoluten Häufigkeiten in Abbildung 36 erkennen, dass sowohl der Ton als auch die Geräusche eher als Präferenz geäußert wurden, wenn diese Darbietungsform auch erlebt wurde. Die LED-Darbietung sowie eine Kombination von Ton oder Geräusch mit LEDs wurde hingegen von allen Teilnehmern gut akzeptiert.

Die Probanden wurden zudem nach ihrem Eindruck befragt. Dies wurde wiederum inhaltlich kategorisiert und ist für die einzelnen Bedingungen in Abbildung 37 dargestellt. Die absoluten Häufigkeiten sind relativ niedrig, dies liegt allerdings daran, dass es sich um freie Äußerungen der Teilnehmer handelte. Man sieht, dass die Probanden besonders bei der Tonwarnung bei der ersten Konfrontation nicht wussten, was dies zu bedeuten hatte, und oftmals mit einer internen Fahrzeug-Fehlermeldung rechneten („mit Fehlermeldung gerechnet“). Hierzu passend äußerten einige Probanden aus den Auditory Icon Bedingungen, dass sie beim Ertönen der Warnung wussten, was dies zu bedeuten hatte („war klar was los ist“). Angaben über Irritationen und Überraschung finden sich in allen Bedingungen (siehe Abbildung 37).

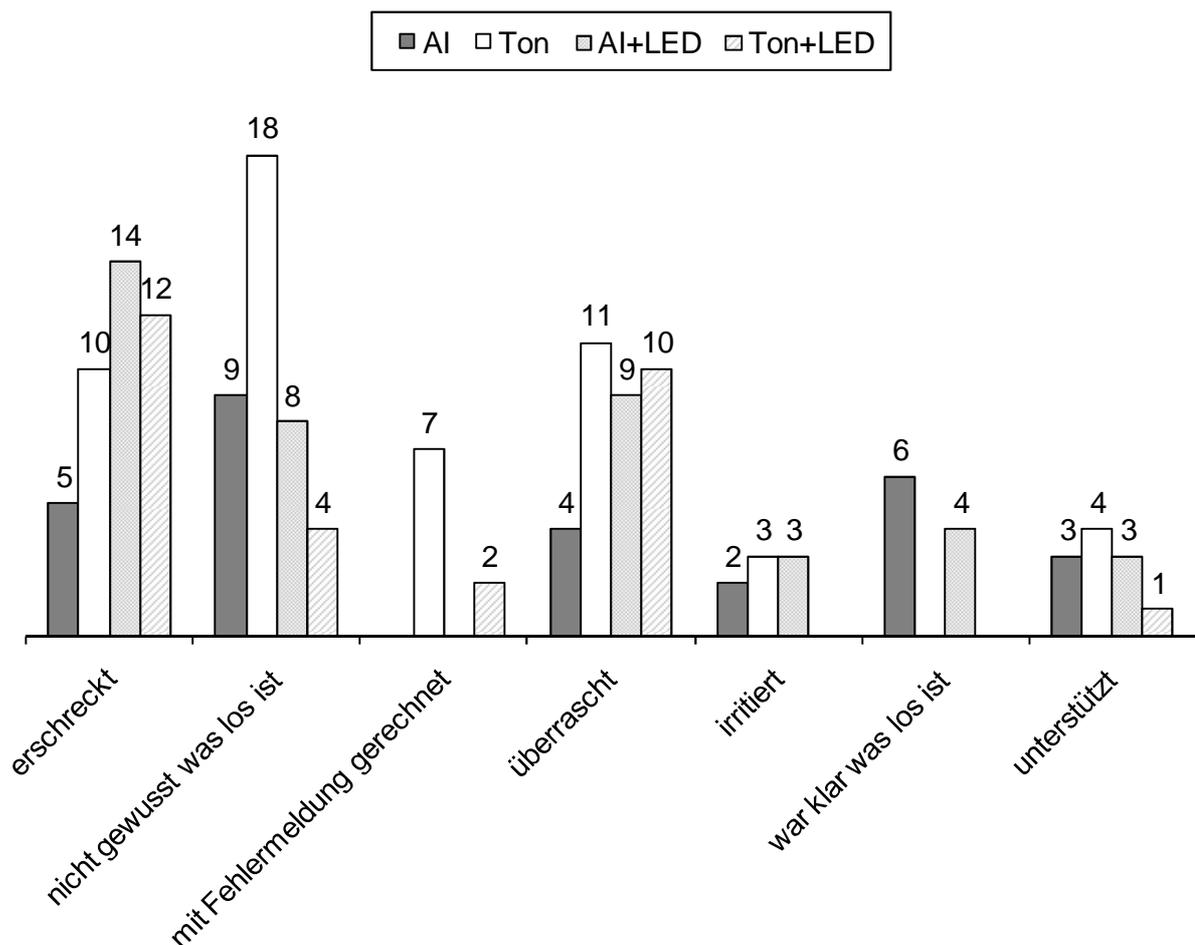


Abbildung 37: Aussagen der Teilnehmer (absolute Häufigkeiten)

### 9.3 Diskussion der Hauptstudie 2

In der zweiten Hauptstudie sollten verschiedene Hypothesen bezüglich einer semantisch angereicherten Warnung untersucht werden. Die erste Hypothese besagte, dass eine visuell/akustische Informationsdarbietung zu schnelleren Reaktionen sowie zu einem größeren Abstand zum Kollisionsobjekt und zu weniger Kollisionen im Vergleich zu einer rein akustischen Warnung führt. Diese Hypothese kann für beide Szenarien in Bezug auf die Bremsreaktionszeiten aufrechterhalten werden, da sich in beiden Szenarien ein Haupteffekt der visuellen Komponente zeigte. Auch für den Abstand zum Kollisionsobjekt gilt dies, allerdings wurde diese Variable nur im Fahrradszenario ausgewertet. Für die Anzahl der Kollisionen trifft diese Hypothese nicht zu, da kein signifikanter Effekt der visuellen Komponente auftrat.

In der zweiten Hypothese wurde angenommen, dass eine Darbietung mit mehr spezifischer Information zu einer schnelleren Reaktion, zu einem größeren Abstand zum Kollisionsobjekt und zu weniger Kollisionen im Vergleich zu einer Darbietung mit weniger spezifischer Information führt. Diese Hypothese kann nur für das Autoszenario beibehalten werden, da sich hier ein Effekt des akustischen Warntyps zeigte. Sowohl die Kombination Auditory Icon und LED führte zu kürzeren Bremsreaktionszeiten im Vergleich zur Kombination Ton und LED als auch das Auditory Icon allein verglichen mit dem Ton. Für die Anzahl der Kollisionen fand sich ein signifikanter Effekt im Autoszenario nur für den akustischen Warntyp, d. h. weniger Kollisionen in der Bedingung Auditory Icon im Vergleich zum Ton, jedoch kein Effekt für die visuelle Komponente. Dieser Effekt zeigte sich jedoch nicht im Fahrradszenario, hier gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen Auditory Icon und LED sowie Auditory Icon und Ton für die Bremsreaktionszeiten, den Abstand zum Kollisionsobjekt und die Anzahl der Kollisionen.

An der dritten Hypothese lässt sich für beide Szenarien festhalten, dass eine Präsentation des entsprechenden Szenarios zum ersten Zeitpunkt im Vergleich zur Präsentation zum zweiten Zeitpunkt immer zu längeren Bremsreaktionszeiten führt. Im Fahrradszenario lässt sich dieser Effekt auch für den Abstand zum Kollisionsobjekt finden, d. h., eine Darbietung des Szenarios zum zweiten Zeitpunkt ist immer mit einem größeren Abstand zum Kollisionsobjekt verbunden. Allerdings gibt es für die Szenario-Sequenz keinen signifikanten Effekt im Sinne einer Verringerung der Anzahl an Kollisionen.

Allgemein lässt sich aus der zweiten Hauptstudie schlussfolgern, dass eine Warnung mit LED-Leiste generell gut funktioniert, d. h. zu kurzen Bremsreaktionszeiten führt. Ob nun eine

Kombination aus Ton und LED oder eher Auditory Icon und LED geeigneter ist, kann nicht zweifelsfrei beantwortet werden, da sich nur in einem Szenario ein Vorteil des Auditory Icons Bremsgeräusch zeigte. Allerdings hat sich im Autoszenario sowohl in den Bremsreaktionszeiten als auch in der Anzahl an verhinderten Kollisionen ein positiver Effekt für das Auditory Icon ablesen lassen, was wiederum einen wichtigen Befund darstellt. So lässt sich zumindest für Situationen potentieller Auffahrunfälle sagen, dass eine Kombination von Auditory Icon und LEDs die beste Alternative darstellt, da sie sowohl zu schnellen Reaktionen als auch zu den wenigsten Kollisionen im Vergleich zu der Verwendung des Tons führt.

Eine weitere offene Frage bleibt, warum im Fahrradszenario die Fahrradklingel als Auditory Icon nicht ebenso gut funktioniert hat wie das Bremsgeräusch im Autoszenario. Einige Probanden hatten in dem Interview geäußert, dass sie die LED-Leiste an Bremsleuchten erinnert. Dies in Kombination mit dem Bremsgeräusch hat wahrscheinlich ein stimmiges Bild abgegeben, wohingegen die Kombination von einer „Fahradklingel“ zusammen mit Bremsleuchten nicht solch ein passendes Bild lieferte. Dies könnte dazu beigetragen haben, dass zumindest die Kombination von Fahrradklingel und LED-Leiste nicht positiv wirken konnte. Es könnte sein, dass das Auditory Icon Fahrradklingel als Warnsignal in dieser Situation einfach nicht gut geeignet ist. Eventuell ruft es eine zu geringe Gefahreinschätzung hervor bzw. wird nicht mit einem die Straße kreuzenden Fahrrad als Gefährdungsobjekt assoziiert. Das stellt möglicherweise einen ähnlichen Effekt zur Autohupe aus der ersten Hauptstudie dar und es könnte sein, dass die akustische und visuelle Information nicht als kongruent wahrgenommen wurde (Bussemaker & De Haan, 2000). Eine andere Interpretation wäre, dass das verwendete Szenario nicht genauso kritisch war wie das Autoszenario, d. h., möglicherweise konnten die Probanden unabhängig von der Warnung im Fahrradszenario besser antizipieren, was das Problem ist und welche Gefahr auftreten wird, und daraufhin eine schnelle Reaktion zeigen. Im Autoszenario hingegen war erst sehr spät erkennbar, was wirklich die Gefahrensituation darstellte, deshalb konnte sich hier eventuell der Vorteil des Auditory Icons gegenüber der einfachen Tonwarnung besser zeigen.

Es bleiben jedoch noch weitere Aspekte ungeklärt. So ist es zum einen verwunderlich, warum die Variable der visuellen Komponente zwar zu schnellen Reaktionen führte, aber keinen Effekt in einer Verhinderung einer höheren Anzahl an Kollisionen hervorrufen konnte. Gleiches gilt für die Szenario-Sequenz, da auch hier kein Effekt in der Anzahl der Kollisionen auftrat. Zur Klärung dieses Sachverhaltes wurde eine Post-hoc-Analyse der Bremsstärken durchgeführt. Hier war kein Unterschied in der Stärke der Bremsreaktion (also wie fest die

Teilnehmer die Bremse betätigten), jedoch ein Effekt in der Schnelligkeit der Ausführung einer maximalen Bremsreaktion erkennbar. Es zeigte sich für die Szenario-Sequenz und die visuelle Komponente, dass bei Warnungen ohne LED und erstem Darbietungszeitpunkt schneller eine maximale Bremskraft ausgeübt wurde als bei einer Warnung mit LED und zum zweiten Darbietungszeitpunkt. Dieser Effekt zeigt in die entgegengesetzte Richtung im Vergleich zu den Ergebnissen der Bremsreaktionszeiten und könnte erklären, warum kein Vorteil in der Verhinderung von Kollisionen auftrat. Warum es jedoch diese Unterschiede in der Schnelligkeit der Ausübung der maximalen Bremsstärke gab, lässt sich im Nachhinein nicht beantworten.

Kaum ein Teilnehmer hatte die örtliche Information, die durch die LED-Leiste übermittelt wurde, wahrgenommen. Deshalb ist davon auszugehen, dass der Vorteil der Warnung mit LEDs in beiden Szenarien nicht durch die enthaltene Ortsinformation zustande gekommen ist. Stattdessen fand wahrscheinlich eher eine allgemeine Aufmerksamkeitsausrichtung nach vorne auf die Straße statt, da die LED-Leiste unter der Windschutzscheibe angebracht war und durch das rote Blinken die Aufmerksamkeit in die richtige Richtung gelenkt wurde. Insofern hat möglicherweise nicht die genaue örtliche Information weitergeholfen, aber eventuell das Blinken im vorderen Bereich eine Information darüber dargestellt, dass auf der Straße gleich etwas passieren wird. Man kann schlussfolgern, dass spezifische Ortsinformation nicht in die LED-Leiste integriert werden muss und dass eine Aufmerksamkeitsausrichtung nach vorne durch die vordere LED-Leiste ausreichend ist. Dies lässt sich jedoch nur als neue Hypothese aufstellen, da keine visuelle Variante ohne räumliche Information verwendet wurde. Zudem ist es möglich, dass eine sublimale Beeinflussung ohne bewusste Wahrnehmung durch die räumliche Information stattgefunden hat (Nisbett & Wilson, 1977).

Eine Frage ergibt sich weiterhin aus dem Vergleich der Szenarien „Fahrrad“ und „Auto“, nämlich warum die Bremsreaktionszeiten für das Autoszenario im Mittel langsamer sind als die Bremsreaktionszeiten des Fahrradszenarios. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass die Probanden nicht sofort auf die Warnung reagierten, sondern erst eine motorische Handlung ausführten, wenn sie den Grund für die Warnung erkannt hatten. Dies wäre ähnlich zu den Ergebnissen einer Studie, in der die Probanden ihre Reaktion zurückhielten, bis sie das sich annähernde Fahrzeug sehen konnten (Wang, et al., 2007). Da der Grund für die kritische Situation in dem hier verwendeten Autoszenario erst sehr spät deutlich wurde, könnte dies zu den längeren Reaktionszeiten im Autoszenario im Vergleich zum Fahrradszenario geführt haben. Im Fahrradszenario war die Gefahr schneller offensichtlich. Dies schließt sich auch wieder an die Diskussion zu den Bremsstärken an, denn dadurch,

dass die Personen langsamer reagierten, war vermutlich meist eine sehr starke Bremsreaktion zur Verhinderung der Kollision nötig, was jedoch oftmals nicht erfolgte. Trotzdem kann der Vorteil in den Reaktionszeiten der Auditory Icons gegenüber dem Ton und der Warnung mit LED gegenüber denen ohne LED als positiv eingeschätzt werden, auch wenn für die visuelle Komponente keine Verringerung der Anzahl an Kollisionen erreicht werden konnte. Möglicherweise führen die Warnungen zu einem Ausrichten der Aufmerksamkeit und nach einem Abgleich mit den Umweltbedingungen erfolgt eine angemessene und schnelle Reaktion (Wang, et al., 2007).

#### **9.4 Zusammenfassung**

Für die beiden Szenarien ergaben sich unterschiedliche Effekte. Im Fahrradszenario zeigte sich nur bei den Faktoren visuelle Komponente und Szenario-Sequenz ein signifikanter Effekt. Eine Darbietung ohne LEDs führte zu einer längeren Reaktionszeit und zu einem geringeren Abstand zum Objekt. Außerdem produzierte die Präsentation dieses Szenarios zum ersten Zeitpunkt langsamere Reaktionen und geringere Abstände zum Kollisionsobjekt. In diesem Szenario traten keine Kollisionen auf.

Im Autoszenario gab es signifikante Effekte für die akustische Warnung, die visuelle Komponente und die Szenario-Sequenz. Die Bedingung Auditory Icon sowie eine Darbietung „mit LED“ und die Präsentation des Autoszenarios zum zweiten Zeitpunkt führten zu kürzeren Reaktionszeiten. Da in diesem Szenario der Abstand zum Kollisionsobjekt auch davon abhing, wie nah die Versuchspersonen dem vorausfahrenden Fahrzeug aufgefahren waren, wurde nur die Bremsreaktionszeit als abhängige Variable verwendet. In diesem Szenario traten auch Kollisionen auf. Für die Anzahl der Kollisionen wurden Fälle, in denen die Versuchspersonen beim Zeitpunkt der Warnung nicht genug Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug hatten, um eine Kollision zu verhindern, ausgeschlossen. Bei der Berechnung von  $\chi^2$ -Tests zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Ton und Auditory Icons. In der Ton-Bedingung traten somit deutlich mehr Kollisionen auf. Die visuelle Komponente und die Szenario-Sequenz führten zu keinem signifikanten  $\chi^2$ -Test-Wert.

Die Interviewdaten zeigten, dass kaum ein Teilnehmer die örtliche Information, die durch die LED-Leiste übermittelt wurde, wahrgenommen hatte.

Bezogen auf die aufgestellten Hypothesen lässt sich die erste Hypothese, die besagt, dass die visuell/akustische Darbietung schnellere Bremsreaktionen und größeren Abstand hervorruft als Warnungen ohne LED, beibehalten. Allerdings lässt sich das nicht in gleichem Maße für die Anzahl der Kollisionen sagen, da hier nur in einem Szenario Kollisionen

auftraten und sich eine signifikant größere Zahl an Kollisionen lediglich bei der einfachen Tonwarnung zeigte. An der zweiten Hypothese, dass eine visuell/akustische Darbietung mit mehr spezifischer Information zu dem gleichen Vorteil führt, kann nur für ein Szenario festgehalten werden. Im Fahrradszenario zeigte sich nämlich kein Vorteil der Auditory Icons im Vergleich zu der Tonwarnung, sondern nur ein Effekt der visuellen Komponente. Im Autoszenario dagegen gab es beide Haupteffekte, was bedeutet, dass sowohl Auditory Icons als auch eine Kombination von Auditory Icon und LEDs einen Vorteil im Vergleich zu der Tonwarnung aufweisen. Die dritte Hypothese, dass eine spezifische akustische Warnung (Auditory Icon) zu schnelleren Reaktionen, zu einem größeren Abstand und zu weniger Kollisionen führt als eine unspezifische akustische Darbietung (Ton), lässt sich nur für das Autoszenario aufrechterhalten.

## 10 DISKUSSION

In dieser Arbeit wurden zwei Forschungsziele definiert, auf die nun gesondert eingegangen werden soll. Die beiden durchgeführten Hauptstudien werden noch einmal diskutiert und die Schlussfolgerungen für die Gestaltungsvarianten für Kollisionswarnungen dargestellt. Anschließend erfolgt die Diskussion der Erkenntnisse für die Beurteilung von Kollisionswarnungen in frühen Phasen der Systementwicklung.

### 10.1 Gestaltungsvarianten für Kollisionswarnungen

In Kapitel 6 wurden drei grundlegende Forschungsfragen formuliert, die für das erste Forschungsziel, die Gestaltung von semantisch angereicherten Kollisionswarnungen, relevant sind. Auf Basis der Ergebnisse der empirischen Studien dieser Arbeit lassen sich einige Antworten auf die eingangs gestellten Fragen formulieren:

#### *10.1.1 Ist Information über eine Gefahrenquelle hilfreich für eine angemessene und schnelle Reaktion in einer kritischen Fahrsituation?*

In der ersten Hauptstudie wurde der Versuch unternommen, über eine akustische Darbietung Information über die Art einer Gefahr und deren Position zu übermitteln. Die Ansätze des Ökologischen Wahrnehmungsansatzes (siehe 4.2) und des Everyday Listeners (siehe 4.3) legten eine Verwendung von Auditory Icons als Übermittlung der Identität der Gefahrenquelle nahe, da sie bei angemessener Auswahl einfach und schnell verstanden werden und zu schnellen Reaktionen führen sollen (Barrass & Kramer, 1999; Graham, 1999).

Der Ort der Gefahr wurde durch eine Präsentation der Warnung aus der entsprechenden Richtung übermittelt. Studien zur räumlichen Lokalisierung und zum Spatial cueing (siehe 4.5) hatten gezeigt, dass in bestimmten Settings durch eine räumliche Positionierung der Audio-Quellen Erleichterungseffekte in Form von Reaktionszeitvorteilen auftraten (Ho, Tan, et al., 2006; Wallace & Fisher, 1998). Durch die Kombination dieser Ansätze entstanden die räumlichen Auditory Icons, die mit einer räumlichen Tonwarnung und einer einfachen Tonwarnung verglichen wurden. Die Hypothese war, dass eine möglichst informationshaltige Warnung zu den positivsten Effekten führt. Die Ergebnisse der Studie konnten keinen Vorteil der informationshaltigsten Warnung, der räumlichen Auditory Icons, zeigen.

Für die Gestaltung der Warnungen der zweiten Studie wurden die Erkenntnisse über die akustischen Warnungen aus der ersten Studie genutzt. Da Richtlinien darauf hinweisen, dass ein visuelles Display für Information über räumliche Orte geeignet sein könnte und sich

die akustische Darbietung aus der ersten Studie nicht bewährt hatte, wurde in der zweiten Hauptstudie diese Art von Information über eine visuelle Komponente übermittelt. Es wurde entweder eine Kombination von Auditory Icon oder Tonwarnung mit einer LED-Leiste bzw. ohne LED-Leiste dargeboten. Die LED-Leiste lieferte hierbei die räumliche Information über die Gefahr.

Die Ergebnisse zeigten einen Vorteil der Kombination aus Akustik und LED in den Bremsreaktionszeiten für beide Szenarien. Auch die Auditory Icons allein führten zu einem Vorteil im Vergleich zu der reinen Tonwarnung, dies allerdings nur in dem Autoszenario mit dem Bremsgeräusch als Warnung.

Aus den Studien lässt sich schlussfolgern, dass Information über eine Gefahrenquelle in einer kritischen Situation hilfreich zu sein scheint und dies zu positiven Effekten führt, wenn eine Situation schwer erkannt werden kann, d. h. eine hohe Aufgabenschwierigkeit im Sinne von Fullers (2000) Task-Capability-Interface Modell vorliegt. Anhand der zweiten Studie lässt sich für Auffahrsituationen folgende Rangfolge der effektivsten Warntypen aufstellen:

1. Auditory Icon mit LED
2. Ton mit LED
3. Auditory Icon
4. Ton

Auf das Fahrradszenario angewendet sieht die Reihenfolge folgendermaßen aus:

1. Auditory Icon mit LED oder Ton mit LED
2. Auditory Icon oder Ton

Diese Reihenfolgen zeigen deutlich, dass eine Abnahme an Informationsgehalt auch die Effektivität der Warnung beeinflusst. Aufgrund bestimmter Einschränkungen, z. B. dass die Autohupe als Warnung vor einem in der Fahrbahn befindlichen Auto z. T. kontraproduktive Effekte in Form von Rückspiegelblicken erzeugte, lag nach diesen Studien der Schluss nahe, dass bestimmte Auditory Icons nicht zu den erwünschten Effekten führen. So scheint das Geräusch einer Autohupe zur Repräsentation eines Autos als kritisches Gefahrenobjekt nicht zu der intendierten Assoziation geführt zu haben. Im Sinne des ökologischen Wahrnehmungsansatzes nach Gibson (1979) bedeutet dies, dass die im Vordergrund stehenden Affordanzen eines Geräusches genauer beachtet werden müssen. Für einen Fahrer im Fahrzeug hatte das Geräusch die Aufforderung, in den Rückspiegel zu schauen. Dies unterstützt Annahmen, dass in Abhängigkeit des situativen Kontextes andere

Assoziationen im Vordergrund stehen, die jeweils andere Reaktionen hervorrufen (Borghi, 2005). Nach dem Ansatz des Everyday Listening identifizieren Personen, was ein Geräusch verursacht hat (Mynatt, 1994). Es besteht jedoch kein direktes Mapping zwischen dem Ereignis eines sich annähernden Fahrzeugs und einem Geräusch (Gaver, 1993b).<sup>20</sup> In diesem Fall hatte das Geräusch somit für die Probanden den Ursprung, dass es durch ein Auto produziert wurde, was sich hinter dem eigenen Auto befand und nicht davor. Aus diesem Grund hat dieses Auditory Icon vermutlich keine positiven Effekte erzielen können.

Das Bremsgeräusch scheint hingegen zumindest für die Situation einer potentiellen Frontal-Kollision geeignete Assoziationen hervorgerufen zu haben. Die Probanden konnten es vermutlich schnell dem vorausfahrenden Fahrzeug zuordnen. Die Theorie der Affordanzen (Gibson, 1982; Malter & Guski, 2001) unterstützt zudem, dass dieses Bremsgeräusch direkt mit der Aufforderung einhergeht, selbst zu bremsen. Diese Assoziationen könnten den Grund darstellen, weshalb auf dieses Auditory Icon schnelle Reaktionen gezeigt wurden.

Neben der Autohupe ist auch die Fahrradklingel möglicherweise kein geeignetes Auditory Icon, da sie keine positiven Effekte in der zweiten Studie erzielen konnte (verglichen mit dem Bremsgeräusch). Hier ist denkbar, dass dieses Auditory Icon zwar eine starke Signal-Referenz-Verbindung hatte, jedoch nicht genug Dringlichkeit übermittelte (Petocz, et al., 2008). Die Ergebnisse zeigen, dass die Auswahl geeigneter Auditory Icons eine schwierige und komplexe Aufgabe ist, bei der sowohl die Person im aktuellen situativen Kontext, aber auch die Erfahrungen und Erwartungen, die durch das Zusammenwirken des Menschen in seiner Umwelt entstanden sind, beachtet werden müssen (Gibson 1979; Kebeck 1997; Borghi 2005).

In dieser Arbeit wurden nur bestimmte Kombinationen untersucht, da diese als sinnvoll für die Übermittlung der Identität der Gefahrenquelle beurteilt wurden. So hat sich eine Verwendung des Bremsgeräusches als Warnung vor einem bremsenden Auto als sehr hilfreich erwiesen, andere Auditory Icons, wie die Autohupe oder die Fahrradklingel, konnten jedoch keine Vorteile zeigen, obwohl sie in Laborstudien gute Assoziationsfähigkeiten und schnelle Reaktionen förderten. Dies verdeutlicht zum einen, dass eine Untersuchung in Form einer Laborstudie allein nicht ausreicht, sondern dass eine Simulatorstudie im relevanten Kontext wichtige weitere Erkenntnisse liefern kann. Zum anderen können aber auch Effekte, wie z. B. besonders alarmierende Eigenschaften der Auditory Icons, die zu positiven Effekten oder eben auch negativen Effekten führen, einen Einfluss gehabt haben. Dies ist aufgrund

---

<sup>20</sup> abgesehen vom Motorengeräusch

der nicht gegebenen vollständigen Kreuzung der Auditory Icons mit den Situationen nicht zu beantworten. Deshalb wären weitere Studien in diesem Bereich sehr sinnvoll.

#### *10.1.2 Wie wird diese Information am besten übermittelt?*

Eine semantisch angereicherte Warnung, die Information über die Art und Position einer Gefahr nur akustisch übermittelt, führt zu keinem Vorteil im Vergleich zu konventionellen akustischen Warnungen. Das zeigte sich in der ersten Hauptstudie dadurch, dass weder ein objektiver Vorteil dieser Präsentationsform noch eine subjektive Wahrnehmung dieser Information auftrat. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu Studien, die unter instruierten Aufgabenbedingungen positive Effekte von räumlichen Auditory Icons zeigen konnten (Ho, 2004; Ho & Spence, 2005; Ho, Tan, et al., 2006; Wallace & Fisher, 1998).

Wird diese räumliche Information jedoch auf die akustische und visuelle Modalität verteilt und zu einer komplementären multimodalen Warnung kombiniert (siehe 5.4), so führen informationshaltige spezifische Warnungen zu einem deutlichen Vorteil. Das steht im Einklang mit einem anderen Befund, der die Nützlichkeit einer Kombination von komplementärer auditiver und visueller Warnung gezeigt hat (Belz, et al., 1999). Besonders interessant bei den jetzigen Befunden ist jedoch die hier verwendete visuelle Warnung. Bisherige Studien nutzten detaillierte Symbole, deren Verwendung in tatsächlichen Gefahrensituationen nicht zu empfehlen ist, und kombinierten diese mit einem Ton oder einem Auditory Icon (Belz, et al., 1999; Lee, McGehee, Brown, & Marshall, 2006). Insofern stellen die Ergebnisse dieser Arbeit eine Erweiterung bezüglich der Nützlichkeit multimodaler komplementärer Warnungen dar.

Allerdings verdeutlicht diese Arbeit auch, dass es konsistente visuell-auditive Kombinationen sein müssen. So könnte es der Fall sein, dass die einzelnen Warnkomponenten zu einem multisensorischen Reiz integriert werden und deshalb die einzelnen Elemente der Warnungen semantisch kongruent sein müssen (Laurienti, Kraft, Maldjian, Burdette, & Wallace, 2004). Dies bedeutet, dass z. B. die Kombination aus Bremsgeräusch und LED zur Warnung vor einem bremsenden Auto semantisch Sinn macht, da diese Kombination dem natürlichen multisensorischen Reiz, der in einer tatsächlichen Auffahrsituation auftritt, entspricht (Bremsleuchten und quietschende Reifen). In einer Kollisionssituation mit einem Fahrrad hingegen tritt in der Realität jedoch kein visueller Reiz in Kombination mit einer Fahrradklingel auf, d. h., hier existiert nicht dieses enge mapping zur natürlichen Situation. Aus diesem Grunde war die Kombination aus Fahrradklingel und LED wahrscheinlich semantisch gesehen nicht sinnvoll und nicht nützlicher als die Kombination aus Ton und LED. Der entscheidende Aspekt ist demnach nicht eine Kombination vieler verschiedener

Modalitäten, die einzeln betrachtet hilfreich erscheinen, sondern die Verbindung zu sinnvollen Mustern.

Diese Erkenntnis ist ganz ähnlich zu einer Studie, in der z. B. alle möglichen Kombinationen von Modalitäten untersucht wurden, d. h. Vibration, Ton, visuelles Icon und Bremsenpulsieren (Lee, et al., 2006). Es wurde vor der Untersuchung angenommen, dass eine Kombination aller Modalitäten zusammen zu den schnellsten Reaktionen führt. Dies trat jedoch nicht ein, was zeigt, dass nicht immer ein „je mehr, desto besser“ zutrifft. So muss vielmehr die Spezifik der Situation beachtet werden und hierfür sollten sinnvolle Kombinationen gefunden werden, die sowohl den Assoziationen im Sinne des Everyday Listening Ansatzes als auch den Auditory Affordances (siehe 4.3) und in einer multimodalen Kombination den Erwartungen der Nutzer entsprechen.

Eine Kombination von Ton und LEDs bietet im Vergleich zur Verwendung der Auditory Icons in Kombination mit der LED-Leiste einige als pragmatisch einzustufende Vorteile. Die Vorzüge sind, dass diese Warnkombination für viele unterschiedliche Situationen verwendbar, einfach umzusetzen und effektiv im Hervorrufen schneller Reaktionen ist. Auditory Icons hingegen müssen für jede Situation spezifisch ausgesucht werden, da sie eben möglicherweise falsche Assoziationen und hinderliche Reaktionen auslösen. Die Befunde deuten darauf hin, dass durch die Kombination von Ton und LEDs die Aufmerksamkeit durch die visuelle Komponente auf die Straße ausgerichtet wird und eine allgemeine Aktivierung durch die Tonwarnung erfolgt.

### *10.1.3 Kann diese Information wahrgenommen werden?*

Es hat sich in der ersten Studie gezeigt, dass die räumliche Information in den hier untersuchten zeitkritischen und beanspruchenden Situationen nicht akustisch wahrgenommen werden konnte. Für die visuelle Wahrnehmung der räumlichen Information in der zweiten Studie zeigte sich ebenso kein bewusster Entdeckungsprozess, jedoch vermutlich eine Orientierungsreaktion (Posner, 1980). Dieser Prozess des Ausrichtens der Aufmerksamkeit durch die LED-Leiste lässt sich dadurch erklären, dass die Aufmerksamkeit automatisch durch diesen Reiz gelenkt wird. Nach Posner (1980) betrifft dies das exogene Aufmerksamkeitssystem und es stellt eine Art reflexartige visuelle Orientierung dar. Aus diesem Grund scheint Spatial cueing (siehe 4.5) visuell zu funktionieren, auch wenn Personen nicht über das Vorhandensein eines Reizes aufgeklärt werden. Dies ist bei der akustischen Präsentation der räumlichen Information jedoch nicht genauso der Fall und es zeigte sich deshalb kein Vorteil im Sinne von kürzeren Reaktionszeiten (siehe Hauptstudie 1, Kapitel 8). Das könnte bedeuten, dass durch eine LED-Leiste, die unterhalb der

Windschutzscheibe angebracht ist, eine „attention facilitation“ stattfindet, was wiederum schnellere Reaktionen begünstigt (Spence & Ho, 2008).

Eine genaue Informationsdarbietung, wie es die Übermittlung der räumlichen Information durch die LED-Leiste darstellte, ist wahrscheinlich nicht notwendig, da dies nicht bewusst wahrgenommen werden kann. Diese Annahme ist jedoch empirisch durch diese Arbeit nicht validiert, da keine Bedingung untersucht wurde, die **ohne** die konkrete visuelle räumliche Information (sondern stattdessen mit einem allgemeinen Leuchten) umgesetzt wurde. Deshalb könnte es unbewusste Effekte gegeben haben, die doch mit der genauen räumlichen Information zusammenhängen, auch wenn die Teilnehmer dies nicht berichten konnten (Nisbett & Wilson, 1977; Posner, 1980). Deshalb kann an dieser Stelle nur der Hinweis erfolgen, dass es wahrscheinlich ausreicht, eine grobe Aufmerksamkeitsausrichtung auf die Straße durch eine visuelle, leuchtende Komponente im Sichtfeld des Fahrers umzusetzen. Dies sollte jedoch in empirischen Studien genau untersucht werden. Ebenso ist es interessant zu untersuchen, ob anstatt einer blinkenden LED-Leiste auch andere Formen der visuellen Warnung die Aufmerksamkeit in der Art auf die Straße und somit auf die Gefahr lenken können. So wäre z. B. ein Aufleuchten der gesamten Frontscheibe oder aber ein Aufleuchten von auf der Windschutzscheibe eingeblendeten Objekten denkbar.

Neben diesem Aspekt sollte zudem in sehr realistischen Fahrsimulatorstudien eine genaue Evaluierung einer großen Anzahl an Auditory Icons für verschiedene kritische Verkehrssituationen erfolgen, damit man genaue Erkenntnisse über die Effekte dieses Warntyps erhält. Das große ungelöste Problem der Verwendung von Auditory Icons als Warnungen liegt darin, dass sie zwar eine gute Alternative zu einfachen Tonwarnungen darstellen, dass es jedoch darauf ankommt, welche Assoziation dieses Geräusch beim Zuhörer auslöst und wie stark diese ist.

Zusammenfassend ist eine semantisch angereicherte Warnung einer wenig informativen Warnung vorzuziehen und dies sollte am besten in einer komplementären, semantisch kongruenten multimodalen Warnung umgesetzt werden.

## **10.2 Beitrag zur Beurteilung von Kollisionswarnungen in frühen Phasen der Systementwicklung**

Kollisionswarnsysteme werden derzeit zumeist noch als Zusatz zu ACC-Funktionen<sup>21</sup> angeboten und es existieren erst wenige selbstständige Systeme, wie z. B. der

---

<sup>21</sup> [http://ec.europa.eu/information\\_society/activities/intelligentcar/technologies/tech\\_16/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/information_society/activities/intelligentcar/technologies/tech_16/index_de.htm)

„Bremsassistent Pro“ von Volvo,<sup>22</sup> der sowohl Warnungen präsentiert als auch einen Bremseneingriff vornehmen kann. Die verwendeten Kollisionswarnungen sind bei den meisten eingesetzten Systemen kaum bis wenig erforscht. Deshalb ist es umso wichtiger, für zukünftige Kollisionswarnsysteme frühestmöglich die Gestaltungsoptionen der Warnungen zu evaluieren. Diese Arbeit leistet einen Beitrag zur Entwicklung neuer Kollisionswarnungen und stellt ein Vorgehen vor, das eine sinnvolle Bewertung von Warnungen in zeit- und sicherheitskritischen Situationen ermöglicht.

### *10.2.1 Schwächen bisheriger Studien*

Bisherige Befunde empirischer Studien, die sich mit der Untersuchung von Warnungen im Fahrzeug befassten, haben eine Nützlichkeit von räumlichen akustischen Warnungen gezeigt (Belz, 1997; Bliss & Acton, 2000; Ho, et al., 2007). Diese Studien weisen jedoch einige methodische Schwächen auf. So wurden z. B. die Teilnehmer vor der Untersuchung direkt über die Bedeutung der Warnungen aufgeklärt (Belz, 1997; Graham, 1999; Ho & Spence, 2005).<sup>23</sup> Dies stellt eine sehr künstliche Untersuchungssituation dar, da diese Vorgehensweise nicht mit der realen Nutzung eines Fahrzeugs vergleichbar ist. In der Realität wird man höchstwahrscheinlich nach jahrelanger Nutzung zu einem zufälligen Zeitpunkt mit einer Warnung konfrontiert und weiß nicht genau, welches System gerade diese Meldung ausgibt und was sie zu bedeuten hat. Des Weiteren werden in den meisten Studien sehr artifizielle Szenarien verwendet. In einer Studie von Ho & Spence (2005) z. B. hatten die Probanden die Aufgabe, schnell präsentierte Buchstaben zu überwachen, um von Zeit zu Zeit auf bestimmte Zielreize (Zahlen) zu reagieren. In einer anderen Studie wurde ein Car-following-Szenario verwendet (Ho, et al., 2007). Beide Untersuchungsszenarien stellen im Vergleich zum alltäglichen Autofahren sehr künstliche Bedingungen dar, die nicht ohne weiteres vergleichbar mit tatsächlichem Autofahren sind. Dies in Verbindung mit der direkten Instruktion über die Bedeutung der Warnungen und der erwünschten Reaktion führt dazu, dass das zu evaluierende Verhalten in den berichteten Studien deutlich beeinflusst wurde. Aus diesem Grund müssen diese Studien bzw. deren Ergebnisse als sehr künstlich eingestuft werden und sind nur beschränkt aussagekräftig (Tunnel, 1977).

---

<sup>22</sup> <http://www.neuwagen.de/content/view/2448/106/>

<sup>23</sup> Verwendete Instruktion in der Studie von z. B. Belz (1997): "Auditory messages will come from the two small loudspeakers mounted behind your head. Listen closely to the auditory messages; some sounds come from only one loud speaker, others come from both speakers. When you hear a warning coming from only one loudspeaker, the impending collision is on the same side of the vehicle from which you heard the message. For instance, if the message is presented to the right ear, then the impending collision is on the right side of the vehicle; messages presented to the left ear signal an impending collision on the left side of the vehicle. Messages presented to both ears will signal that the impending collision is in front of the vehicle."

### *10.2.2 Vorgehen zur angemessenen Evaluation zeit- und sicherheitskritischer Warnungen*

Aufgrund der methodischen Schwächen bisheriger Studien wurde in dieser Arbeit ein Vorgehen angewendet, das eine angemessene Evaluation von sicherheitskritischen Fahrerassistenz-Systemen durch die Verwendung realitätsnaher Untersuchungsszenarien ermöglicht. Durch eine Kombination von Laboruntersuchungen (Laborstudien 1 – 3) wurde Reizmaterial entwickelt, das anschließend in Simulatorstudien mithilfe von realistischen Kollisionsszenarien und Konfrontation mit kritischen Ereignissen sowie ohne eine direkte Instruktion der Versuchsteilnehmer untersucht wurde. So stellt zumindest die erste Konfrontation in den berichteten Studien eine Situation dar, die vergleichbar mit einer realen Gefahrensituation ist.

Vor diesem Hintergrund sind die Ergebnisse dieser Studien besonders interessant. So hat sich in der ersten Studie gezeigt, dass die Probanden die räumliche Komponente der Warnungen nicht bewusst wahrnehmen konnten. Zudem trat kein objektiver Vorteil in den abhängigen Variablen auf. Auch in der zweiten Studie wurde die räumliche Information der LED-Leiste nicht bewusst wahrgenommen.

Die Anwendung dieses Ansatzes in zwei Fahrsimulatorstudien hat für zukünftige Untersuchungen weitere hilfreiche Aspekte zu Tage gebracht. Für die Szenarienauswahl im Fahrsimulator lässt sich festhalten, dass das Autoszenario in der zweiten Hauptstudie zur Evaluation von zeit- und sicherheitskritischen Warnungen gut geeignet ist, da hier Bremsreaktionszeiten und Anzahl der Kollisionen zur Beurteilung herangezogen werden können. Eine Verbesserung dieses Szenarios könnte durch eine Aufhebung von Restriktionen in der Software des Fahrsimulators erreicht werden, indem der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug dadurch konstant gehalten wird, dass das vorausfahrende Fahrzeug seinen Abstand dem Versuchspersonenfahrzeug anpasst. Somit hätte man keine Konfundierung des Abstands zum Zeitpunkt der Ausgabe der Warnung mit der abhängigen Variable Abstand zum Kollisionsobjekt, wie es in dieser Studie der Fall war und weshalb diese Variable für dieses Szenario nicht ausgewertet wurde. Wäre dieses Problem behoben, könnte eine Beurteilung über Bremsreaktionszeiten, Abstand zum Kollisionsobjekt und Anzahl der Kollisionen erfolgen.

Weiterhin hat sich im Rahmen dieser Arbeit gezeigt, dass eine Kombination von Laborstudien und sinnvollen Szenarien in Fahrsimulatorstudien wichtig für eine angemessene Warnungsgestaltung ist. Die hier berichteten Studien haben gezeigt, dass eine alleinige Entwicklung von Warnungen durch eine Testung in Laborsituationen nicht ausreicht (siehe Vergleich des Abschneidens der Autohupe in den Laborstudien in Abschnitt

7.4 und in der Hauptstudie 1 in Abschnitt 8.3). Stattdessen muss, wie hier geschehen, ein Geräusch erst auf seine Identifizierbarkeit überprüft werden, um es anschließend in realistischeren Settings, wie z. B. einem Fahrsimulator, ohne Instruktion der Probanden über die Bedeutung der Warnung zu untersuchen. Dieser Schritt ist besonders wichtig, da ein komplexes Zusammenspiel von Faktoren, wie z. B. die Instruktion der Probanden, die Gestaltung der Szenarien, aber auch die Assoziationen, die eine Warnung in einer realistischeren Situation auslöst, das Verhalten von Personen und somit die Effektivität von Kollisionswarnungen und letztendlich die Beurteilung dieser beeinflusst. Die diskutierten Aspekte sind in Abbildung 38 dargestellt.

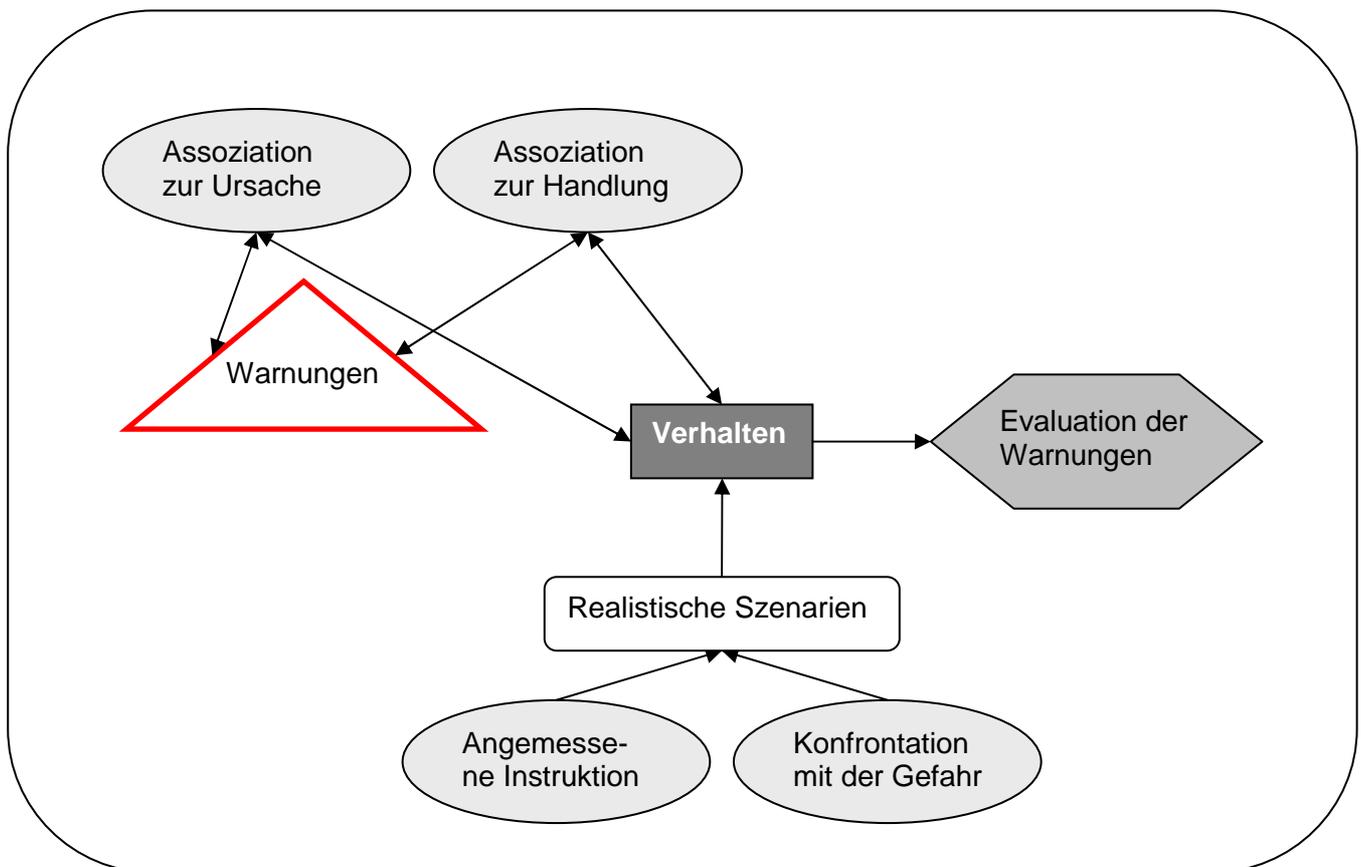


Abbildung 38: Komplexes Zusammenspiel der Faktoren, die zur Evaluation der Warnungen führen

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Untersuchung sicherheitskritischer Aspekte durch eine Studie im Fahrsimulator gut geeignet ist, um sehr früh im Produktentwicklungszyklus Abschätzungen über die Effekte von Systemeigenschaften vornehmen zu können. Dies hat sich auch in anderen Studien erwiesen, die z. B. durch eine Simulation des Systemverhaltens sicherheitskritische Verhaltensanpassungen zeigen konnten (Polkehn, Preuschhof, & Kussmann, 2002).

Die kritische Frage, die jedoch gleichsam bei einer Fahrsimulation bestehen bleibt, ist die nach der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Realität. Zur Diskussion steht, ob die Ergebnisse dieser Studie relevante Effekte im Sinne von bedeutsamen Unterschieden in den abhängigen Variablen produziert haben. Hierzu lässt sich anmerken, dass Schätzungen vorliegen, die besagen, dass eine Verringerung von Latenzen in den Reaktionen der Fahrer um ca. 500 ms einer Reduzierung der realen Unfallrate von ca. 60 % entspricht (Suetomi & Kido 1997; zitiert nach Spence & Ho 2008). In diesem Sinne sind die ermittelten Reaktionszeitvorteile von z. B. im Mittel 370 ms für den Vergleich von der Bedingung „ohne LEDs“ zu der Bedingung „mit LEDs“ im Autoszenario der zweiten Studie immer noch als ein positiver Effekt zur Reduktion von Unfällen zu betrachten. Dies scheint vor allem zusätzlich der Fall zu sein, wenn man dieses Ergebnis im Vergleich zu anderen Fahrsimulatorstudien betrachtet (z. B. Ho, et al., 2007), die verschiedene Warntypen miteinander verglichen und Unterschiede von maximal 200 ms fanden. In diesem Zusammenhang muss jedoch angemerkt werden, dass man nicht aufgrund der Ergebnisse einer Fahrsimulatorstudie auf das reale Verhalten einer Person im eigenen Fahrzeug schließen kann (Biehl, 1976), da auch eine Studie im Fahrsimulator eine künstliche Untersuchung darstellt. Eine genaue Abbildung der Realität ist nicht möglich und somit dürfen keine absoluten Werte von Fahrsimulatorstudien auf normales Autofahren übertragen werden. Jedoch ist mit ähnlichen Effekten, d. h. relativen Unterschieden, die sich im Fahrsimulator gezeigt haben, in der Realität zu rechnen.

Letztendlich muss jedoch auch hier weiterhin beachtet werden, dass der Einsatz des Fahrsimulators natürlich nicht die letzte Stufe der Realfahrt im Entwicklungsprozess ersetzt (Burmester, et al., 2008). Dies bedeutet, dass der letzte Schritt zur Evaluation und Beurteilung semantisch angereicherter Warnungen die Untersuchung durch eine Implementation im Fahrzeug umfassen sollte.

## LITERATUR

- Akyol, S., Libuda, L., & Kraiss, K.-F. (2001). Multimodale Benutzung adaptiver Kfz-Bordsysteme. In T. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Eds.), *Kraftfahrzeugführung* (pp. 137-152). Berlin: Springer.
- Anderson, J. R. (1995). *Learning and memory. An integrated approach*. New York: Wiley.
- Baber, C., & Wankling, J. (1992). An experimental comparison of text and symbols for in-car reconfigurable displays. *Applied Ergonomics*, 23(4), 255-262.
- Barrass, S., & Kramer, G. (1999). Using sonification. *Multimedia Systems*, 7(1), 23-31.
- Belz, S. M. (1997). *A simulator-based investigation of visual, auditory, and mixed-modality display of vehicle dynamic state information to commercial motor vehicle operators.*, Unveröffentlichte Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
- Belz, S. M., Robinson, G. S., & Casali, J. G. (1998). Auditory icons as impending collision system warning signals in commercial motor vehicles. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting* (pp. 1848-1852).
- Belz, S. M., Robinson, G. S., & Casali, J. G. (1999). A new class of auditory warning signals for complex systems: Auditory icons. *Human Factors*, 41(4), 608-618.
- Bengler, K. (2001). Aspekte der multimodalen Bedienung und Anzeige im Automobil. In T. J. K.-P. Timpe (Ed.), *Kraftfahrzeugführung* (pp. 195-203): Berlin: Springer.
- Bernotat, R. (1970). Operation functions in vehicle control. *Ergonomics*, 13(3), 353-377.
- Biehl, B. (1976). Simulatoren - Ein Fortschritt für die Erforschung des Verkehrsverhaltens? *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 22, 3-5.
- Blattner, M. M., Sumikawa, D. A., & Greenberg, R. M. (1989). Earcons and icons: Their structure and common design principles. *Human-Computer-Interaction*, 4(1), 11-44.
- Blauert, J. (1974). *Räumliches Hören*. Stuttgart: S. Hirzel.
- Bliss, J. P., & Acton, S. A. (2000). *An evaluation of the safety, utility, and reliability of three-dimensional alarm systems for automotive use (UTCA Report No. 99-324)*. Tuscaloosa: The University of Alabama in Huntsville, University Transportation Center for Alabama.
- Borghi, A. M. (2005). Object concepts and action. In D. Pecher & R. A. Zwaan (Eds.), *Grounding cognition* (pp. 8-34). Cambridge: University Press.
- Brewster, S. A., Wright, P. C., & Edwards, A. D. N. (1993). An evaluation of earcons for use in auditory human-computer interfaces. In S. Ashlund, K. Mullet, A. Henderson, E. Hollnagel & T. White (Eds.), *Proceedings of InterCHI'93* (pp. 222-227). Amsterdam: ACM Press.

- Brown, S. B. (2005). *Effects of haptic and auditory warnings on driver intersection behavior and perception*. Unveröffentlichte Master Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Bundesamt, S. (2006). Verkehr. Verkehrsunfälle. *Fachserie 8, Reihe 7(12)*.
- Burmester, M., Graf, R., Hellbrück, J., & Meroth, A. (2008). Usability – Der Mensch im Fahrzeug. In A. Meroth & B. Tölg (Eds.), *Infotainmentsysteme im Kraftfahrzeug. Grundlagen, Komponenten, Systeme und Anwendungen* (pp. 321-355). Wiesbaden: Vieweg.
- Bussemaker, M. P., & De Haan, A. (2000). When it sounds like a duck and it looks like a dog... auditory icons vs. earcons in multimedia environments. In P. R. Cook (Ed.), *Online Proceedings of the International Conference on Auditory Display: International Community for Auditory Display*.
- Buxton, B., Gaver, W., & Bly, S. (1994). *Auditory interfaces: the Use of non-speech audio at the interface*. Unpublished manuscript.
- Campbell, J. L., Richard, C. M., Brown, J. L., & McCallum, M. (2007). *Crash warning system interfaces: Human factors insights and lessons learned (Report No. DOT HS 810 697)*. Seattle: Battelle Center for Human Performance and Safety.
- Chion, M. (1994). *Audio-Vision. Sound on screen*. New York: Columbia University Press.
- Comsis (1996). *Preliminary human factors guidelines for crash avoidance warning devices (NHTSA Project DTNH22-91-C-07004)*. Silver Spring, MD: Comsis.
- Coward, S. W., & Stevens, C. J. (2004). Extracting meaning from sound: Nomic mappings, everyday listening, and perceiving object size from frequency. *The Psychological Record, 54(3)*, 349-364.
- Dang, T., Hoffmann, C., & Stiller, C. (2005). Visuelle mobile Wahrnehmung durch Fusion von Disparität und Verschiebung. In M. Maurer & C. Stiller (Eds.), *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* (pp. 21-42). Berlin: Springer.
- de Bruijn, W. P. J., & Boone, M. M. (2003). *Application of Wave Field Synthesis in life-size videoconferencing*. Paper presented at the 114th Audio Engineering Society Convention.
- Deatherage, B. H. (1972). Auditory and other sensory forms of information presentation. In H. V. Cott & R. Kinkade (Eds.), *Human engineering guide to equipment design (revised)* (pp. 123-160). Washington, DC: Government Printing Office.
- Dingler, T., Lindsay, J., & Walker, B. (2008). Learnability of sound cues for environmental features: Auditory icons, earcons, spearcons, and speech. *Proceedings of the 14th International Conference on Auditory Display, Paris, France, June 24-27, 2008*.

- Dingus, T. A., McGehee, D. V., Manakkal, N., Jahns, S. K., Carney, C., & Hankey, J. (1997). Human factors field evaluation of automotive headway maintenance/collision warning devices. *Human Factors*, 39(2), 216-229.
- Donges, E. (1978). Ein regelungstechnisches Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens im Kraftfahrzeug. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 24(3), 98-112.
- Edworthy, J., & Adams, A. S. (1996). *Warning Design: A Research Prospective*. London: Taylor & Francis.
- Edworthy, J., & Hellier, E. (2006). Alarms and human behaviour: Implications for medical alarms. *British Journal of Anaesthesia*, 97(1), 12-17.
- Edworthy, J., Hellier, E., Walters, K., & Clift-Mathews, W. C., M. (2003). Acoustic, semantic and phonetic influences in spoken warning signal words. *Applied Cognitive Psychology*, 17, 915-933.
- Edworthy, J., & Stanton, N. (1995). A user-centred approach to the design and evaluation of auditory warning signals: 1. Methodology. *Ergonomics*, 38(11), 2262-2280.
- Edworthy, J., Stanton, N., & Hellier, E. (1995). Warnings in research and practice. *Ergonomics*, 38(11), 2145-2154.
- Eyster, B. J. (1996). *Extending the interface with non-speech audio*. Retrieved May 23, 2006, from: <http://www.cs.indiana.edu/usr/local/www/hyplan/beyster/Adspace.htm>.
- Familant, M. E., & Detweiler, M. C. (1993). Iconic Reference: Evolving Perspectives and an Organizing Framework. *International Journal of Man-Machine Studies*, 39(5), 705-728.
- Fastl, H. (2000). Psychoacoustics and sound quality. In U. Jekosch (Ed.), *Tagungsband Fortschritte der Akustik - DAGA 2002* (pp. 765–766). Oldenburg: Deutsche Gesellschaft für Akustik.
- Fitch, G. M., Kiefer, R. J., Hankey, J. M., & Kleiner, B. M. (2007). Toward developing an approach for alerting drivers to the direction of a crash threat. *Human Factors*, 49(4), 710-720.
- Fricke, N., De Filippis, M., & Thüring, M. (2006a). Zur Gestaltung der Semantik von Warnmeldungen. *Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme* (pp. 133-148). Düsseldorf: VDI.
- Fricke, N., De Filippis, M., & Thüring, M. (2006b). Zur Gestaltung der Semantik von Warnmeldungen. Retrieved February 6, 2008, from [http://www.vdi.de/fileadmin/media/content/k/vdi-vw-tagung2006/Poster\\_Fricke.pdf](http://www.vdi.de/fileadmin/media/content/k/vdi-vw-tagung2006/Poster_Fricke.pdf).
- Fricke, N., De Filippis, M., & Thüring, M. (2008). Wie beurteilt man sicherheitskritische Fahrerassistenzsysteme? - Darstellung einer Fahrsimulatorstudie. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 62(1), 25-35.

- Fricke, N., Glaser, C., & De Filippis, M. (2006). Passive und Aktive Sicherheitsmaßnahmen im Kraftfahrzeug. *MMI-Interaktiv*, 10, 39-47.
- Fricke, N., & Thüring, M. (2009). Verbesserung des Situationsbewusstseins in zeit- und sicherheitskritischen Verkehrssituationen durch semantische Anreicherung von Warnsignalen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 63(1), 55-65.
- Fuller, R. (2002). The task-capability interface model of the driving process. *Recherche Transports Sécurité*, 66, 47-57.
- Färber, B. (2005). Erhöhter Fahrernutzen durch Integration von Fahrerassistenz- und Fahrerinformationssystemen. In M. M. C. Stiller (Ed.), *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* (pp. 141-160). Berlin: Springer.
- Färber, B., Färber, B., & Schmitt, J. (2002). Informationsmanagement für Fahrerassistenz-Systeme mittels Prädiktion der Fahrerbelastung. In R. Marzi, V. Karavezyris, H.-H. Erbe & K.-P. Timpe (Eds.), *Bedienen und Verstehen. 4. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme 10.-12.10.2001 (ZMMS Spektrum Band 13)* (Vol. 22, pp. 109-118). Düsseldorf: VDI.
- Gaver, W. W. (1986). Auditory icons: Using sound in computer interfaces. *Human-Computer Interaction*, 2, 167-177.
- Gaver, W. W. (1989). The sonic finder: An interface that uses auditory icons. *Human-Computer Interaction*, 4, 67-94.
- Gaver, W. W. (1993a). What in the world do we hear?: An ecological approach to auditory event perception. *Ecological Psychology*, 5(1), 1-29.
- Gaver, W. W. (1993b). How do we hear in the world?: Explorations in ecological acoustics. *Ecological Psychology*, 5(4), 285-313.
- Gaver, W. W. (1994). Using and creating auditory icons. In G. Kramer (Ed.), *Auditory Display* (pp. 417-446). Reading, MA: Addison-Wesley.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1982). *Wahrnehmung und Umwelt. Der ökologische Ansatz in der visuellen Wahrnehmung*. München: Urban & Schwarzenberg.
- Graham, R. (1999). Use of auditory icons as emergency warnings: Evaluation within a vehicle collision avoidance application. *Ergonomics*, 42(9), 1233-1248.
- Haas, E., & Edworthy, J. (1996). Designing urgency into auditory warnings using pitch, speed and loudness. *Computing & Control Engineering Journal*, 7(4), 193-198.
- Haas, E., & Edworthy, J. (2006). An introduction to auditory warnings and alarms. In M. S. Wogalter (Ed.), *Handbook of Warnings* (pp. 189-198). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

- Hedicke, V. (2000). Multimodalität in Mensch-Maschine-Schnittstellen. In T. K.-P., T. Jürgensohn & H. Kolrep (Eds.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik* (pp. 203-232). Düsseldorf: Symposion.
- Hellier, E., Wright, D. B., Edworthy, J., & Newstead, S. (2000). On the stability of the arousal strength of warning signal words. *Applied Cognitive Psychology*, 14(6), 577-592.
- Ho, C. (2004). Using spatial warning signals to capture a driver's visual attention. *Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces* (pp. 350). New York: ACM.
- Ho, C., Reed, N., & Spence, C. (2006). Assessing the effectiveness of "intuitive" vibrotactile warning signals in preventing front-to-rear-end collisions in a driving simulator. *Accident Analysis & Prevention*, 38, 988-996.
- Ho, C., Reed, N., & Spence, C. (2007). Multisensory in-car warning signals for collision avoidance. *Human Factors*, 49(6), 1107-1114.
- Ho, C., & Spence, C. (2005). Assessing the effectiveness of various auditory cues in capturing a driver's visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 11, 157-174.
- Ho, C., Spence, C., & Tan, H. Z. (2005). Warning signals go multisensory. *Proceedings of HCI International, 2005* (Paper No. 2284, pp. 2001–2010).
- Ho, C., Tan, H. Z., & Spence, C. (2006). The differential effect of vibrotactile and auditory cues on visual spatial attention. *Ergonomics*, 49(7), 724-738.
- Hoffman, J., Lee, J. D., & Hayes, E. M. (2003). Driver preference of collision warning strategy and modality [Abstract]. *Proceedings of the Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*.
- Huber, O. (1995). *Das psychologische Experiment: Eine Einführung*. Bern: Huber.
- Huber, T. (2002). *Zur Lokalisation akustischer Objekte bei Wellenfeldsynthese*. Entwurf zur Diplomarbeit. München: Institut für Rundfunktechnik GmbH.
- Kebeck, G. (1997). *Wahrnehmung. Theorien, Methoden und Forschungsergebnisse der Wahrnehmungspsychologie*. Weinheim: Juventa.
- Keller, P. E., & Stevens, C. (2004). Meaning from environmental sounds: Types of signal-referent relations and their effect on recognizing auditory icons. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 10(1), 3-12.
- Kennedy, R. S., & Graybiel, A. (1965). *The dial test: A standardized procedure for the experimental production of canal sickness symptomatology in a rotating environment (Report No. 113)*. Pensacola, Florida: Naval School of Aviation Medicine.
- Knappe, G., Keinath, A., & Meinecke, C. (2006). Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhaltequalität im Kontext der Fahrsimulation. *MMI Interaktiv*, 11, 3-13.

- Knoll, P. (2003). In H. Kirschner (Ed.), *Neue Aspekte der Fahrzeugsicherheit. BAIS-Tagungsband*. (pp. 22-33). Norderstedt: Books on Demand.
- Kopf, M., Farid, M. N., & Steinle, J. (2004). *Bausteine zur Entwicklung eines Systems der aktiven Sicherheit*. Paper presented at the Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenzsysteme, 11.-12.03.2004.
- Kuwano, S., Namba, S., Schick, A., Hoege, H., Fastl, H., Filippou, T., et al. (2000). The timbre and annoyance of auditory warning signals in different countries. *Proceedings of the International Congress on Noise Control Engineering* (pp. 3201–3206).
- Kyriakakis, C. (1998). Fundamental and technological limitations of immersive audio systems. *Proceedings of the IEEE*, 86, 941-951.
- Laughery, K. R., & Hammond, A. (1999). Overview. In M. S. Wogalter, D. M. Dejoy & K. R. Laughery (Eds.), *Warnings and risk communication* (pp. 3-14). London: Taylor & Francis.
- Laurienti, P. J., Kraft, R. A., Maldjian, J. A., Burdette, J. H., & Wallace, M. T. (2004). Semantic congruence is a critical factor in multisensory behavioral performance. *Experimental Brain Research*, 158, 405-414.
- Lee, J. D., McGehee, D. V., Brown, T. L., & Marshall, D. (2006). Effects of adaptive cruise control and alert modality on driver performance. *Transportation Research Record*, 1980, 49-56.
- Liu, Y. C. (2001). Comparative study of the effects of auditory, visual and multimodality displays on drivers' performance in advanced traveller information systems. *Ergonomics*, 44(4), 425-442.
- Loomis, J. M., Klatzky, R. L., & Golledge, R. G. (1999). Auditory distance perception in real, virtual, and mixed environments. In Y. Ohta & H. Tamura (Eds.), *Mixed reality: Merging real and virtual worlds* (pp. 201-214). Tokyo: Ohmsha.
- Lucas, P. A. (1994). An evaluation of the communicative ability of auditory icons and earcons. *Proceedings of the Second International Conference on Auditory Display ICAD '94*.
- Mahlke, S., Roesler, D., Seifert, K., Krems, J. F., & Thuring, M. (2007). Evaluation of six night vision enhancement systems: Qualitative and quantitative support for intelligent image processing. *Human Factors*, 49(3), 518-531.
- Malter, R., & Guski, B. (2001). *Gestaltung von Gefahrensignalen*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH.
- McKeown, D., & Isherwood, S. (2007). Mapping candidate within-vehicle auditory displays to their referents. *Human Factors*, 49(4), 417-428.

- Mehlitz, M. A. (2004). *Aufbau eines medizinischen Virtual-Reality-Labors und Entwicklung eines VR-gestützten neuropsychologischen Testsystems mit einer präklinischen und klinischen Evaluationsstudie*. Universität Göttingen , Unveröffentlichte Dissertation.
- Mershon, D. H., & King, L. E. (1975). Intensity and reverberation as factors in the auditory perception of egocentric distance. *Perception & Psychophysics*, 18(6), 409-415.
- Milekic, S. (2002). *Towards tangible virtualities: Tangialities*. Retrieved November 17, 2008, from <http://www.archimuse.com/mw2002/papers/milekic/milekic.html>.
- Moore, B. C. J. (1989). *An introduction to the psychology of hearing (3rd ed.)*. London: Academic Press.
- Mynatt, E. (1994). Designing with auditory icons. In G. Kramer & S. Smith (Eds.), *Proceedings of the Second International Conference on Auditory Display, ICAD '94* (pp. 109-120). New Mexico: Santa Fe Institute.
- Neale, V. L., & Dingus, T. A. (2006). Motor vehicle warnings. In M. S. Wogalter (Ed.), *Handbook of warnings* (pp. 687-700). New Jersey: Erlbaum.
- Nielsen, W., Garnitz, R., Weilkes, M., & Stämpfle, M. (2005). Informationsfusion für Fahrerassistenzsysteme. In M. Mauerer & C. Stiller (Eds.), *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* (pp. 43-58). Berlin: Springer.
- Nisbett, R. E., & Wilson, T. D. (1977). Telling more than we can know - verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84(3), 231-259.
- Norman, D. A. (1989). *Dinge des Alltags. Gutes Design und Psychologie für Gebrauchsgegenstände*. Frankfurt: Campus.
- Partan, S., & Marler, P. (1999). Communication goes multimodal. *Science*, 283(5406), 1272-1273.
- Patterson, R. D. (1982). *Guidelines for auditory warning systems on civil aircraft (Report No. 82017)*. London, UK: Civil Aviation Authority.
- Petocz, A., Keller, P. E., & Stevens, C. (2008). Auditory warnings, signal-referent relations and natural indicators: Re-thinking theory and application. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14, 165-178.
- Pierowicz, J., Jocoy, E., Lloyd, M., Bittner, A., & Pirson, B. (2000). *Intersection collision avoidance using ITS countermeasures*. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- Polkehn, K., Preuschhof, C., & Kussmann, H. (2002). Assistenz und Automatisierung im KFZ - Simulationsstudien zur Unterstützung der Abstandshaltung. In M. Grandt & K.-P. Gärtner (Eds.), *44. Fachausschusssitzung Anthropotecnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V.* (DGLR-Bericht 2002-04 ed., pp. 227-238). Langen: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt.

- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Preim, B. (1999). *Entwicklung interaktiver Systeme*. Berlin: Springer.
- Proctor, R. W., Tan, H. Z., Vu, K.-P. L., Gray, R., & Spence, C. (2005). *Implications of compatibility and cuing effects for multimodal interfaces*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Reichart, G., & Haller, R. (1995). Mehr aktive Sicherheit durch neue Systeme für Fahrzeuge und Straßenverkehr. In W. Fastenmeier (Ed.), *Autofahrer und Verkehrssituation. Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme* (pp. 199-215). Köln: TÜV Rheinland.
- Reichenbach, J. (2003). *Können physikalische Parameter synthetischer Sprache Dringlichkeit und Wichtigkeit vermitteln?* Universität Regensburg, Unveröffentlichte Diplomarbeit.
- Reid, G. L., & Milios, E. (2003). Active stereo sound localization. *Journal of Acoustics Society of America*, 113(1), 185-193.
- Reinhart, G., Lindemann, U., & Heinzl, J. (1996). *Qualitätsmanagement: Ein Kurs für Studium und Praxis*. Berlin: Springer.
- Roetting, M., Huang, Y. H., McDevitt, J. R., & Melton, D. (2003). When technology tells you how you drive - Truck drivers' attitudes towards feedback by technology. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6(4), 275-287.
- Rogers, W. A. (2000). Warning research: An integrative perspective. *Human Factors*, 42(1), 102-139.
- Rolfe, J. M., Hammerton-Fraser, A. M., Poulter, R. F., & Smith, E. M. B. (1970). Pilot response in flight and simulated flight. *Ergonomics*, 13(6), 761-768.
- Rudmann, D. S., & Strybel, T. Z. (1999). Auditory spatial facilitation of visual search performance: Effect of cue precision and distracter density. *Human Factors*, 41(1), 146-160.
- Sanders, M. S., & Mc Cormick, E. J. (1993). *Human factors in engineering and design*. New York: Mc Graw-Hill.
- Schaeffer, P. (1974). *Musique concrète. Von den Pariser Anfängen um 1948 bis zur elektroakustischen Musik heute*. Stuttgart: Klett.
- Selcon, S. J. (1999). Using redundancy in the design of time-critical warnings: A theory-driven approach. In N. A. Stanton & J. Edworthy (Eds.), *Human factors in auditory warnings* (pp. 201-224). Aldershot: Ashgate.
- Selcon, S. J., & Taylor, R. M. (1995). Integrating multiple information sources: Using redundancy in the design of warnings. *Ergonomics*, 38(11), 2362-2370.

- Shinn-Cunningham, B. (2001). Creating three dimensions in virtual auditory displays. In M. J. Smith, G. Salvendy, D. Harris & R. J. Koubek (Eds.), *Usability evaluation and interface design: Cognitive engineering, intelligent agents and virtual reality. (Proceedings of the 9th International Conference on Human-Computer Interaction, New Orleans, 5-10 August)* (pp. 604-608). New Jersey: Erlbaum.
- Spence, C., & Ho, C. (2008). Multisensory interface design for drivers: Past, present and future. *Ergonomics*, 50(1), 65-70.
- Stanton, N. (1994). A human factors approach. In N. Stanton (Ed.), *Human factors in alarm design* (pp. 1-10). London: Taylor & Francis.
- Stanton, N., & Edworthy, J. (1998). Auditory affordances in the intensive treatment unit. *Applied Ergonomics*, 29(5), 389-394.
- Stanton, N., & Edworthy, J. (1999). Auditory warning affordances. In N. Stanton & J. Edworthy (Eds.), *Human factors in auditory warnings* (pp. 113-128). Aldershot: Ashgate.
- Stephan, K. L., Smith, S. E., Martin, R. L., Parker, S. P. A., & McAnally, K. I. (2006). Learning and retention of associations between auditory icons and denotative referents: Implications for the design of auditory warnings. *Human Factors*, 48(2), 288-299.
- Stevens, C., Brennan, D., & Parker, S. (2004). Simultaneous manipulation of parameters of auditory icons to convey direction, size, and distance: Effects on recognition and interpretation. *Proceedings of the tenth Meeting of the International Conference on Auditory Display*.
- Stiller, C. (2005). Fahrerassistenzsysteme - Von realisierten Funktionen zum vernetzt wahrnehmenden, selbstorganisierenden Verkehr. In M. Maurer & C. Stiller (Eds.), *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* (pp. 1 - 20). Berlin: Springer.
- Styles, E. A. (2000). *The psychology of attention*. Hove: Psychology Press.
- Suied, C., Susini, P., Langlois, S., Smith, B. K., & McAdams, S. (2005). Toward a sound design methodology: Application to electronic automotive sounds. *Proceedings of ICAD 05-Eleventh Meeting of the International Conference on Auditory Display, Limerick, Ireland, July 6-9*.
- Tan, A. K., & Lerner, N. D. (1996). *Acoustic localization of in-vehicle crash avoidance as a cue to hazard direction*. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- Theile, G. (2005). Räumliche Tondarstellung mit Wellenfeldsynthese. *VDT-Magazin*, 2.
- Theile, G., Wittek, H., & Reisinger, M. (2002). *Wellenfeldsynthese-Verfahren: Ein Weg für neue Möglichkeiten der räumlichen Tongestaltung*. Tonmeistertagung 2002,

Retrieved May 21, 2007, from

[http://www.hauptmikrofon.de/theile/TMT\\_WFS\\_TheileWittekReisinger.pdf](http://www.hauptmikrofon.de/theile/TMT_WFS_TheileWittekReisinger.pdf).

- Timpe, K. P., Jürgensohn, T., & Kohlrep, H. (2002). *Mensch-Maschine- Systemtechnik. Konzepte, Modellierung, Gestaltung, Evaluation*. Düsseldorf: Symposion.
- Torenvliet, G. (2003). We can't afford it! The devaluation of a usability term. *Interactions*, 10(4), 12-17.
- Tunnel, G. B. (1977). Three dimensions of naturalness: An expanded definition of field research. *Psychological Bulletin*, 84(3), 426-437.
- Van Erp, J. B. F., & Van Veen, H. A. H. C. (2001). Vibro-tactile information presentation in automobiles. *Proceedings of Eurohaptics 2001* (pp. 99–104).
- Ververs, P. M., & Wickens, C. D. (1998). Head-up displays: Effects of clutter, display intensity, and display location on pilot performance. *International Journal of Aviation Psychology*, 8(4), 377-403.
- Walker, B. N., & Kramer, G. (2004). Ecological psychoacoustics and auditory displays: Hearing, grouping, and meaning making. In J. Neuhoff (Ed.), *Ecological psychoacoustics* (pp. 150-175). New York: Academic Press.
- Wallace, J. S., & Fisher, D. L. (1998). Sound localization: Information theory analysis. *Human Factors*, 40(1), 50-68.
- Wandmacher, J. (1993). *Software-Ergonomie*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Wang, D.-Y. D., Pick, D. F., Proctor, R. W., & Ye, Y. (2007). Effect of a side collision-avoidance signal on simulated driving with a navigation system. *Proceedings of the fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (pp. 206-211). Washington, USA.
- Wang, D.-Y. D., & Proctor, R. W. (2003). Stimulus-response compatibility effects for warning signals and steering responses. *Proceedings of the Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design* (pp. 226-230).
- Weiler, U. (2003). *Untersuchung zur Akzeptanz verschieden gestalteter Warnsysteme für ermüdete Autofahrer*. TU Berlin, Unveröffentlichte Diplomarbeit.
- Wickens, C. D., & Hollands, J. G. (2000). *Engineering psychology and human performance (3rd Edition)*. New Jersey: Prentice Hall.
- Wightman, F. L., Kistler, D. J., & Perkins, M. E. (1987). A new approach to the study of human sound localization. In W. A. Yost (Ed.), *Directional hearing* (pp. 26-49). New York: Springer.
- Wisselmann, D., Gresser, K., Spannheimer, K., & Bengler, K., Huesmann, A. (2004). *ConnectedDrive - ein methodischer Ansatz für die Entwicklung zukünftiger*

- Fahrerassistenzsysteme*. Paper presented at the Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenzsysteme, 11.-12.03.
- Withington, D. (2000). The use of directional sound to improve the safety of auditory warnings. *Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress* (Vol. 3, pp. 726-729).
- Wogalter, M. S., Dejoy, D. M., & Laughery, K. R. (1999). Organizing theoretical framework: A consolidated communication-human information processing (C-HIP) model. In M. S. Wogalter & K. R. L. D. M. Dejoy (Eds.), *Warnings and risk communication* (pp. 15-23). London: Taylor & Francis.
- Wogalter, M. S., & Leonard, S. D. (1999). Attention capture and maintenance. In M. S. Wogalter (Ed.), *Handbook of warnings* (pp. 123-148). Philadelphia: Taylor & Francis.
- Wolf, H., Zöllner, R., & Bubb, H. (2005). Ergonomische Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion bei gleichzeitig agierenden Fahrerassistenzsystemen. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 3, 119-124.
- Yoo, H., & Hunter, D. G., P. (1996). *Automotive collision warning effectiveness: A simulator comparison of text vs. icons*. Ann Arbor, MI: The University of Michigan Transportation Research Institute.
- Yost, W. A., & Hafter, E. R. (1987). Lateralization. In W. A. Yost & G. Gourevitch (Eds.), *Directional hearing* (pp. 49-84). New York: Springer.
- Zahorik, P. (2002a). Assessing auditory distance perception using virtual acoustics. *Journal of the Acoustical Society of America*, 111(4), 1832-1846.
- Zahorik, P. (2002b). Auditory display of sound source distance. *Proceedings of the eighth International Conference on Auditory Display*.
- Zittlau, D. (2004). *Advanced driver assistance: Modular image sensor concept*. Paper presented at the Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenzsysteme, 11.-12.03.2004.
- Zwicker, E., & Fastl, H. (1999). *Psychoacoustics*. Berlin: Springer.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Änderungskosten im Produktlebenszyklus (Timpe, et al., 2002)	9
Abbildung 2: Einteilung von Unterstützungssystemen im Fahrzeug (Fricke, De Filippis, & Thüring, 2008).	12
Abbildung 3: Task-Capability Interface Modell (Fuller, 2002)	18
Abbildung 4: C-HIP Modell (Wogalter, et al., 1999)	22
Abbildung 5: Mechanismen der Duplex-Theorie (Kyriakakis, 1998)	30
Abbildung 6: Kollisionswarnung (Yoo & Hunter, 1996)	35
Abbildung 7: Entstehungskontext der Auditory Icons (Fricke, De Filippis, & Thüring, 2006b)	39
Abbildung 8: Forschungsplan zur Gestaltung und Evaluation der semantisch angereicherten Warnungen	49
Abbildung 9: Ablauf der Laborstudie 1 für eine Match-Bedingung	51
Abbildung 10: Reaktionszeit (in ms) auf die Auditory Icons aus Laborversuch 1	54
Abbildung 11: Reaktionszeit in ms nach Kategorie der Auditory Icons	54
Abbildung 12: Identifikationsrate in % der Auditory Icons	57
Abbildung 13: Reaktionszeit in ms auf die Auditory Icons	58
Abbildung 14: Mittelwerte der Ratings der Auditory Icons bezüglich Typikalität und Dringlichkeit	59
Abbildung 15: Wiedergabepositionen im Laborversuch 3	62
Abbildung 16: Angabe der wahrgenommenen Richtung und Beispielauswertung für 0°	62
Abbildung 17: Erkennungsleistung in %, genaue Erkennung = genaue Position;	63
Abbildung 18: Unfallstatistik nach Unfalltyp für 2006 (modifiziert nach Statistisches Bundesamt, 2006)	68
Abbildung 19: Annäherung des Kollisionsobjektes Fahrradfahrer in Szenario 1	70
Abbildung 20: Mittelwerte und Standardfehler der Bremsreaktionszeiten	78
Abbildung 21: Mittelwerte und Standardfehler des Abstands zum Kollisionsobjekt	79
Abbildung 22: Szenarienablauf (BR = Bremsreaktion; ¬ BR = keine Bremsreaktion)	80
Abbildung 23: Anzahl der Bremsreaktionen, bevor Kollisionsobjekt sichtbar war (Häufigkeiten in %)	80
Abbildung 24: Mittelwerte und Standardfehler der Summenwerte pro Dimension	82
Abbildung 25: Freie Aussagen der Versuchsteilnehmer (absolute Häufigkeiten)	83
Abbildung 26: Autoszenario (obere Reihe) und Fahrradszenario (untere Reihe)	90
Abbildung 27: LED-Leiste (aus Mahlke, et al., 2007)	91
Abbildung 28: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts der visuellen Komponente (ohne LED/mit LED) für die Variable Abstand zum Kollisionsobjekt	98
Abbildung 29: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts der visuellen Komponente (ohne LED/mit LED) für die Variable Bremsreaktionszeit	98
Abbildung 30: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts Szenario-Sequenz für die Variable Abstand zum Kollisionsobjekt	99
Abbildung 31: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts Zeitpunkt für die Variable Bremsreaktionszeit	99
Abbildung 32: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts Warntyp (Auditory Icon (AI)/Ton) für die Variable Bremsreaktionszeit im Autoszenario	101

<i>Abbildung 33: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts Visuelle Komponente (ohne LED/mit LED) für die Variable Bremsreaktionszeit im Autoszenario</i>	102
<i>Abbildung 34: Mittelwerte und Standardfehler des Haupteffekts Szenario-Sequenz für die Variable Bremsreaktionszeit im Autoszenario</i>	102
<i>Abbildung 35: Mittelwerte und Standardfehler des Summenwertes pro Dimension</i>	104
<i>Abbildung 36: Darbietungs-Präferenzen in Abhängigkeit der erlebten Darbietung (absolute Häufigkeiten)</i>	105
<i>Abbildung 37: Aussagen der Teilnehmer (absolute Häufigkeiten)</i>	106
<i>Abbildung 38: Komplexes Zusammenspiel der Faktoren, die zur Evaluation der Warnungen führen</i>	120

## TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 1: Vor- und Nachteile der drei Modalitätstypen (Pierowicz, et al., 2000)</i>	33
<i>Tabelle 2: Verwendete Adjektive im semantischen Differential</i>	37
<i>Tabelle 3: Paarungen von Auditory Icons und Ereignissen (Stephan, et al., 2006)</i>	40
<i>Tabelle 4: Paarungen von Ereignissen und Signalen (McKeown &amp; Isherwood, 2007)</i>	41
<i>Tabelle 5: Verwendete Geräuschkategorien und Anzahl der Vertreter pro Kategorie</i>	51
<i>Tabelle 6: Identifikationsraten der 26 Geräusche</i>	53
<i>Tabelle 7: Paarweise Vergleiche der Kategorien der Auditory Icons</i>	55
<i>Tabelle 8: Geräuschgruppen und dazugehörige Geräusche</i>	56
<i>Tabelle 9: Zusammenstellung der Gruppen zu Bedingungen</i>	56
<i>Tabelle 10: Matching von Geräusch und passender Gefahrensituation</i>	60
<i>Tabelle 11: Gradabweichungen der Angaben der Probanden</i>	64
<i>Tabelle 12: Verwendete Szenarien mit Warnung in Untersuchung 1</i>	69
<i>Tabelle 13: Anzahl der Versuchsabbrecher in Abhängigkeit des Alters und Geschlechts</i>	72
<i>Tabelle 14: Anzahl der Versuchsteilnehmer in den Bedingungen (ohne Abbrecher)</i>	73
<i>Tabelle 15: Häufigkeiten der Kollisionen pro Szenario (in %)</i>	74
<i>Tabelle 16: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel in Szenario 1 – Sichtbehinderung I</i>	75
<i>Tabelle 17: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel in Szenario 2 – Stau I</i>	75
<i>Tabelle 18: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel in Szenario 3 – Rechts Abbiegen</i>	76
<i>Tabelle 19: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel in Szenario 4 – Sichtbehinderung II</i>	76
<i>Tabelle 20: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel in Szenario 5 – Geparkte Autos</i>	77
<i>Tabelle 21: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel in Szenario 6 – Stau II</i>	77
<i>Tabelle 22: Übersicht aller Effekte aus den Varianzanalysen pro Szenario (AI = Auditory Icon, rT = räumlicher Ton, T = Ton, B = Baseline/ohne Warnung) (A = Bonferroni-Korrektur; B = Tamhane-Korrektur bei Varianzungleichheit)</i>	78
<i>Tabelle 23: Items aus dem Akzeptanzfragebogen (modifiziert nach Weiler, 2003)</i>	81
<i>Tabelle 24: Szenarien und Bedingungen aus Studie 2</i>	90
<i>Tabelle 25: Alterszuweisung der Probanden zu jeder Bedingung</i>	93
<i>Tabelle 26: Formeln für die Berechnung des Anhaltewegs (Quelle: wikipedia)</i>	95
<i>Tabelle 27: Anzahl der Kollisionen für die Bedingung Warntyp im Autoszenario</i>	95
<i>Tabelle 28: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel des Szenarios Fahrrad</i>	97
<i>Tabelle 29: Between-subjects Effekte der einzelnen abhängigen Variablen</i>	97
<i>Tabelle 30: Mittelwerte und Standardfehler der geschätzten Randmittel des Szenarios Auto (in ms)</i>	100
<i>Tabelle 31: Between-subjects Effekte der Bremsreaktionszeit des Szenarios Auto</i>	100
<i>Tabelle 32: Übersicht aller Effekte aus den Varianzanalysen pro Szenario</i>	103
<i>Tabelle 33: Items aus dem Akzeptanzfragebogen (Weiler, 2003)</i>	103



## **ANHANG**

Anhang A: Einzelvergleiche Auditory Icons aus Laborstudie 2

Anhang B: Einzelvergleiche der Ratings der Typikalität und der Dringlichkeit der Auditory Icons aus Laborstudie 2

Anhang C: Bilder aus Hauptstudie 1

Anhang D: Instruktion vor der Simulatorübung aus Hauptstudie 1

Anhang E: Instruktion nach der Simulatorübung aus Hauptstudie 1

Anhang F: Demografie-Fragebogen aus Hauptstudie 1 und 2

Anhang G: Aufgaben aus dem Fahrsimulator-Training vor Hauptstudie 1 und 2

Anhang H: Akzeptanzfragebogen aus Hauptstudie 1 und 2

Anhang I: Abschlussinterview aus Hauptstudie 1

Anhang J: Abschlussinterview aus Hauptstudie 2

Anhang K: Bilder aus Hauptstudie 2

Anhang L: Korrelationen der Kovariaten im Fahrradszenario

Anhang M: Korrelationen der Kovariaten im Autoszenario

## Anhang A: Einzelvergleiche der Reaktionszeiten aus Laborstudie 2

Paarweise Vergleiche: dargestellt sind die positiven mittleren Differenzen

(I) Stimulus	(J) Stimulus	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz (a)
Fahrradklingel_1	Fahrradklingel_3	449,57	535,03	.40
	Fahrradklingel_4	343,88	516,89	.51
	Unfallgeräusch_1	298,75	516,89	.56
	Hundebellen_1	433,63	516,89	.40
	Hundebellen_2	163,50	516,89	.75
	Hundebellen_4	464,38	516,89	.37
	Autohupe_1	137,13	516,89	.79
	Autohupe_2	498,75	516,89	.34
	Autohupe_4	394,63	516,89	.45
	Bremsgeräusch_1	234,13	516,89	.65
Fahrradklingel_2	Fahrradklingel_1	221,75	516,89	.67
	Fahrradklingel_3	671,32	535,03	.21
	Fahrradklingel_4	565,63	516,89	.28
	Unfallgeräusch_1	520,50	516,89	.32
	Hundebellen_1	655,38	516,89	.21
	Hundebellen_2	385,25	516,89	.46
	Hundebellen_4	686,13	516,89	.19
	Autohupe_1	358,88	516,89	.49
	Autohupe_2	720,50	516,89	.17
	Autohupe_3	206,38	516,89	.69
	Autohupe_4	616,38	516,89	.24
Bremsgeräusch_1	455,88	516,89	.38	
Fahrradklingel_3	Hundebellen_4	14,80	535,03	.98
	Autohupe_2	49,18	535,03	.93
Fahrradklingel_4	Fahrradklingel_3	105,70	535,03	.84
	Hundebellen_1	89,75	516,89	.86
	Hundebellen_4	120,50	516,89	.82
	Autohupe_2	154,88	516,89	.77
Unfallgeräusch_1	Autohupe_4	50,75	516,89	.92
	Fahrradklingel_3	150,82	535,03	.78
	Fahrradklingel_4	45,13	516,89	.93
	Hundebellen_1	134,88	516,89	.80
	Hundebellen_4	165,63	516,89	.75
	Autohupe_2	200,00	516,89	.70
Unfallgeräusch_2	Autohupe_4	95,88	516,89	.85
	Fahrradklingel_1	2187,625(*)	516,89	.00
	Fahrradklingel_2	1965,875(*)	516,89	.00
	Fahrradklingel_3	2637,196(*)	535,03	.00
	Fahrradklingel_4	2531,500(*)	516,89	.00
	Unfallgeräusch_1	2486,375(*)	516,89	.00
	Hundebellen_1	2621,250(*)	516,89	.00
	Hundebellen_2	2351,125(*)	516,89	.00
Hundebellen_3	1846,768(*)	535,03	.00	

	Hundebellen_4	2652,000(*)	516,89	.00
	Autohupe_1	2324,750(*)	516,89	.00
	Autohupe_2	2686,375(*)	516,89	.00
	Autohupe_3	2172,250(*)	516,89	.00
	Autohupe_4	2582,250(*)	516,89	.00
	Bremsgeräusch_1	2421,750(*)	516,89	.00
	Bremsgeräusch_2	1428,054(*)	535,03	.01
Hundebellen_1	Fahrradklingel_3	15,95	535,03	.98
	Hundebellen_4	30,75	516,89	.95
	Autohupe_2	65,13	516,89	.90
Hundebellen_2	Fahrradklingel_3	286,07	535,03	.59
	Fahrradklingel_4	180,38	516,89	.73
	Unfallgeräusch_1	135,25	516,89	.79
	Hundebellen_1	270,13	516,89	.60
	Hundebellen_4	300,88	516,89	.56
	Autohupe_2	335,25	516,89	.52
	Autohupe_4	231,13	516,89	.66
Hundebellen_3	Bremsgeräusch_1	70,63	516,89	.89
	Fahrradklingel_1	340,86	535,03	.53
	Fahrradklingel_2	119,11	535,03	.82
	Fahrradklingel_3	790,43	552,58	.16
	Fahrradklingel_4	684,73	535,03	.20
	Unfallgeräusch_1	639,61	535,03	.24
	Hundebellen_1	774,48	535,03	.15
	Hundebellen_2	504,36	535,03	.35
	Hundebellen_4	805,23	535,03	.14
	Autohupe_1	477,98	535,03	.37
	Autohupe_2	839,61	535,03	.12
	Autohupe_3	325,48	535,03	.54
	Autohupe_4	735,48	535,03	.17
Bremsgeräusch_1	574,98	535,03	.29	
Hundebellen_4	Autohupe_2	34,38	516,89	.95
Autohupe_1	Fahrradklingel_3	312,45	535,03	.56
	Fahrradklingel_4	206,75	516,89	.69
	Unfallgeräusch_1	161,63	516,89	.76
	Hundebellen_1	296,50	516,89	.57
	Hundebellen_2	26,38	516,89	.96
	Hundebellen_4	327,25	516,89	.53
	Autohupe_2	361,63	516,89	.49
	Autohupe_4	257,50	516,89	.62
	Bremsgeräusch_1	97,00	516,89	.85
Autohupe_3	Fahrradklingel_1	15,38	516,89	.98
	Fahrradklingel_3	464,95	535,03	.39
	Fahrradklingel_4	359,25	516,89	.49
	Unfallgeräusch_1	314,13	516,89	.55
	Hundebellen_1	449,00	516,89	.39
	Hundebellen_2	178,88	516,89	.73
	Hundebellen_4	479,75	516,89	.36

	Autohupe_1	152,50	516,89	.77
	Autohupe_2	514,13	516,89	.32
	Autohupe_4	410,00	516,89	.43
	Bremsgeräusch_1	249,50	516,89	.63
Autohupe_4	Fahrradklingel_3	54,95	535,03	.92
	Hundebellen_1	39,00	516,89	.94
	Hundebellen_4	69,75	516,89	.89
	Autohupe_2	104,13	516,89	.84
Bremsgeräusch_1	Fahrradklingel_3	215,45	535,03	.69
	Fahrradklingel_4	109,75	516,89	.83
	Unfallgeräusch_1	64,63	516,89	.90
	Hundebellen_1	199,50	516,89	.70
	Hundebellen_4	230,25	516,89	.66
	Autohupe_2	264,63	516,89	.61
	Autohupe_4	160,50	516,89	.76
Bremsgeräusch_2	Fahrradklingel_1	759,57	535,03	.16
	Fahrradklingel_2	537,82	535,03	.32
	Fahrradklingel_3	1209,143(*)	552,58	.03
	Fahrradklingel_4	1103,446(*)	535,03	.04
	Unfallgeräusch_1	1058,32	535,03	.05
	Hundebellen_1	1193,196(*)	535,03	.03
	Hundebellen_2	923,07	535,03	.09
	Hundebellen_3	418,71	552,58	.45
	Hundebellen_4	1223,946(*)	535,03	.02
	Autohupe_1	896,70	535,03	.10
	Autohupe_2	1258,321(*)	535,03	.02
	Autohupe_3	744,20	535,03	.17
	Autohupe_4	1154,196(*)	535,03	.03
	Bremsgeräusch_1	993,70	535,03	.07

Basiert auf den geschätzten Randmitteln

\* Die mittlere Differenz ist auf dem Niveau ,05 signifikant

a Anpassung für Mehrfachvergleiche: Geringste signifikante Differenz (entspricht keinen Anpassungen).

**Anhang B: Einzelvergleiche der Ratings der Typikalität und der Dringlichkeit aus  
Laborstudie 2**

Paarweise Vergleiche: dargestellt sind die positiven mittleren Differenzen

Maß	(I) Stimulus	(J) Stimulus	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz(a)
Typikalität	Fahrradklingel_1	Unfallgeräusch_1	0,13	0,48	.80
		Unfallgeräusch_2	0,75	0,53	.20
		Hundebellen_2	0,50	0,63	.45
		Hundebellen_3	0,25	0,59	.68
		Autohupe_1	0,25	0,65	.71
		Autohupe_3	0,13	0,30	.68
		Bremsgeräusch_2	0,00	0,42	1,00
	Fahrradklingel_2	Fahrradklingel_1	0,13	0,35	.73
		Unfallgeräusch_1	0,25	0,45	.60
		Unfallgeräusch_2	0,88	0,40	.06
		Hundebellen_2	0,63	0,46	.22
		Hundebellen_3	0,38	0,42	.40
		Autohupe_1	0,38	0,42	.40
		Autohupe_3	0,25	0,25	.35
	Fahrradklingel_3	Bremsgeräusch_2	0,13	0,13	.35
		Fahrradklingel_1	0,25	0,31	.45
		Fahrradklingel_2	0,13	0,30	.68
		Unfallgeräusch_1	0,38	0,42	0,40
		Unfallgeräusch_2	1,00	0,38	0,03
		Hundebellen_1	0,00	0,33	1,00
		Hundebellen_2	0,75	0,59	.24
	Fahrradklingel_4	Hundebellen_3	0,50	0,42	.28
		Autohupe_1	0,50	0,42	.28
		Autohupe_3	0,38	0,26	.20
		Bremsgeräusch_2	0,25	0,37	.52
		Fahrradklingel_1	0,75	0,37	.08
		Fahrradklingel_2	0,63	0,26	.05
		Fahrradklingel_3	0,50	0,19	.03
	Fahrradklingel_4	Unfallgeräusch_1	0,88	0,35	.04
		Unfallgeräusch_2	1,50	0,38	.01
		Hundebellen_1	0,50	0,27	.10
		Hundebellen_2	1,25	0,49	.04
		Hundebellen_3	1,00	0,33	.02
		Hundebellen_4	0,25	0,16	.17
		Autohupe_1	1,00	0,42	.05
	Autohupe_2	0,38	0,18	.08	
	Autohupe_3	0,88	0,23	.01	

	Autohupe_4	0,00	0,00	.
	Bremsgeräusch_1	0,25	0,25	.35
	Bremsgeräusch_2	0,75	0,37	.08
Unfallgeräusch_1	Unfallgeräusch_2	0,63	0,53	.28
	Hundebellen_2	0,38	0,65	.58
	Hundebellen_3	0,13	0,40	.76
	Autohupe_1	0,13	0,48	.80
	Autohupe_3	0,00	0,38	1,00
Hundebellen_1	Fahrradklingel_1	0,25	0,45	.60
	Fahrradklingel_2	0,13	0,44	.78
	Fahrradklingel_3	0,00	0,33	1,00
	Unfallgeräusch_1	0,38	0,32	.28
	Unfallgeräusch_2	1,00	0,46	.07
	Hundebellen_2	0,75	0,53	.20
	Hundebellen_3	0,50	0,46	.32
	Autohupe_1	0,50	0,57	.41
	Autohupe_3	0,38	0,42	.40
	Bremsgeräusch_2	0,25	0,53	.65
Hundebellen_2	Unfallgeräusch_2	0,25	0,53	.65
Hundebellen_3	Unfallgeräusch_2	0,50	0,50	.35
	Hundebellen_2	0,25	0,53	.65
	Autohupe_1	0,00	0,38	1,00
Hundebellen_4	Fahrradklingel_1	0,50	0,42	.28
	Fahrradklingel_2	0,38	0,32	.28
	Fahrradklingel_3	0,25	0,25	.35
	Unfallgeräusch_1	0,63	0,42	.18
	Unfallgeräusch_2	1,25	0,45	.03
	Hundebellen_1	0,25	0,25	.35
	Hundebellen_2	1,00	0,53	.10
	Hundebellen_3	0,75	0,45	.14
	Autohupe_1	0,75	0,49	.17
	Autohupe_2	0,13	0,30	.68
	Autohupe_3	0,63	0,32	.09
	Bremsgeräusch_1	0,00	0,33	1,00
	Bremsgeräusch_2	0,50	0,42	.28
Autohupe_1	Unfallgeräusch_2	0,50	0,46	.32
	Hundebellen_2	0,25	0,73	.74
	Hundebellen_3	0,00	0,38	1,00
Autohupe_2	Fahrradklingel_1	0,38	0,26	.20
	Fahrradklingel_2	0,25	0,16	.17
	Fahrradklingel_3	0,13	0,23	.60
	Unfallgeräusch_1	0,50	0,38	.23
	Unfallgeräusch_2	1,13	0,35	.01
	Hundebellen_1	0,13	0,35	.73

	Hundebellen_2	0,88	0,44	.09
	Hundebellen_3	0,63	0,38	.14
	Autohupe_1	0,63	0,46	.22
	Autohupe_3	0,50	0,19	.03
	Bremsgeräusch_2	0,38	0,26	.20
	Unfallgeräusch_1	0,00	0,38	1,00
	Unfallgeräusch_2	0,63	0,38	.14
Autohupe_3	Hundebellen_2	0,38	0,60	.55
	Hundebellen_3	0,13	0,44	.78
	Autohupe_1	0,13	0,44	.78
	Fahrradklingel_1	0,75	0,37	.08
	Fahrradklingel_2	0,63	0,26	.05
	Fahrradklingel_3	0,50	0,19	.03
	Fahrradklingel_4	0,00	0,00	.
	Unfallgeräusch_1	0,88	0,35	.04
	Unfallgeräusch_2	1,50	0,38	.01
	Hundebellen_1	0,50	0,27	.10
Autohupe_4	Hundebellen_2	1,25	0,49	.04
	Hundebellen_3	1,00	0,33	.02
	Hundebellen_4	0,25	0,16	.17
	Autohupe_1	1,00	0,42	.05
	Autohupe_2	0,38	0,18	.08
	Autohupe_3	0,88	0,23	.01
	Bremsgeräusch_1	0,25	0,25	.35
	Bremsgeräusch_2	0,75	0,37	.08
	Fahrradklingel_1	0,50	0,19	.03
	Fahrradklingel_2	0,38	0,32	.28
	Fahrradklingel_3	0,25	0,25	.35
	Unfallgeräusch_1	0,63	0,42	.18
	Unfallgeräusch_2	1,25	0,49	.04
	Hundebellen_1	0,25	0,41	.56
Bremsgeräusch_1	Hundebellen_2	1,00	0,63	.15
	Hundebellen_3	0,75	0,49	.17
	Hundebellen_4	0,00	0,33	1,00
	Autohupe_1	0,75	0,56	.22
	Autohupe_2	0,13	0,23	.60
	Autohupe_3	0,63	0,18	.01
	Bremsgeräusch_2	0,50	0,42	.28
	Fahrradklingel_1	0,00	0,42	1,00
	Unfallgeräusch_1	0,13	0,52	.82
Bremsgeräusch_2	Unfallgeräusch_2	0,75	0,45	.14
	Hundebellen_2	0,50	0,50	.35
	Hundebellen_3	0,25	0,45	.60
	Autohupe_1	0,25	0,41	.56

	Autohupe_3	0,13	0,35	.73
Dringlichkeit	Unfallgeräusch_2	0,38	0,82	.66
	Hundebellen_1	1,50	0,33	.00
	Hundebellen_2	0,88	0,35	.04
Fahrradklingel_1	Hundebellen_3	0,75	0,37	.08
	Hundebellen_4	0,63	0,32	.09
	Autohupe_3	0,25	0,37	.52
	Fahrradklingel_1	0,13	0,55	.83
	Fahrradklingel_3	0,00	0,50	1,00
	Unfallgeräusch_2	0,50	0,63	.45
Fahrradklingel_2	Hundebellen_1	1,63	0,38	.00
	Hundebellen_2	1,00	0,46	.07
	Hundebellen_3	0,88	0,44	.09
	Hundebellen_4	0,75	0,65	.28
	Autohupe_3	0,38	0,32	.28
	Fahrradklingel_1	0,13	0,44	.78
	Fahrradklingel_2	0,00	0,50	1,00
	Unfallgeräusch_2	0,50	0,65	.47
Fahrradklingel_3	Hundebellen_1	1,63	0,42	.01
	Hundebellen_2	1,00	0,53	.10
	Hundebellen_3	0,88	0,35	.04
	Hundebellen_4	0,75	0,67	.30
	Autohupe_3	0,38	0,32	.28
	Fahrradklingel_1	0,63	0,63	.35
	Fahrradklingel_2	0,50	0,46	.32
	Fahrradklingel_3	0,50	0,68	.49
	Unfallgeräusch_2	1,00	0,80	.25
	Hundebellen_1	2,13	0,40	.00
Fahrradklingel_4	Hundebellen_2	1,50	0,57	.03
	Hundebellen_3	1,38	0,60	.05
	Hundebellen_4	1,25	0,59	.07
	Autohupe_1	0,25	0,59	.68
	Autohupe_2	0,00	0,46	1,00
	Autohupe_3	0,88	0,40	.06
	Autohupe_4	0,13	0,40	.76
	Fahrradklingel_1	0,75	0,53	.20
	Fahrradklingel_2	0,63	0,46	.22
	Fahrradklingel_3	0,63	0,65	.37
	Fahrradklingel_4	0,13	0,55	.83
Unfallgeräusch_1	Unfallgeräusch_2	1,13	0,69	.15
	Hundebellen_1	2,25	0,37	.00
	Hundebellen_2	1,63	0,32	.00
	Hundebellen_3	1,50	0,42	.01
	Hundebellen_4	1,38	0,42	.01

	Autohupe_1	0,38	0,32	.28
	Autohupe_2	0,13	0,44	.78
	Autohupe_3	1,00	0,53	.10
	Autohupe_4	0,25	0,53	.65
Unfallgeräusch_2	Hundebellen_1	1,13	0,74	.17
	Hundebellen_2	0,50	0,68	.49
	Hundebellen_3	0,38	0,71	.61
	Hundebellen_4	0,25	0,90	.79
Hundebellen_2	Hundebellen_1	0,63	0,38	.14
Hundebellen_3	Hundebellen_1	0,75	0,31	.05
	Hundebellen_2	0,13	0,30	.68
Hundebellen_4	Hundebellen_1	0,88	0,40	.06
	Hundebellen_2	0,25	0,31	.45
	Hundebellen_3	0,13	0,48	.80
Autohupe_1	Fahrradklingel_1	0,38	0,46	.44
	Fahrradklingel_2	0,25	0,31	.45
	Fahrradklingel_3	0,25	0,45	.60
	Unfallgeräusch_2	0,75	0,53	.20
	Hundebellen_1	1,88	0,35	.00
	Hundebellen_2	1,25	0,37	.01
	Hundebellen_3	1,13	0,40	.03
	Hundebellen_4	1,00	0,53	.10
Autohupe_3	0,63	0,42	.18	
Autohupe_2	Fahrradklingel_1	0,63	0,46	.22
	Fahrradklingel_2	0,50	0,53	.38
	Fahrradklingel_3	0,50	0,53	.38
	Fahrradklingel_4	0,00	0,46	1,00
	Unfallgeräusch_2	1,00	0,60	.14
	Hundebellen_1	2,13	0,40	.00
	Hundebellen_2	1,50	0,33	.00
	Hundebellen_3	1,38	0,38	.01
	Hundebellen_4	1,25	0,45	.03
	Autohupe_1	0,25	0,49	.63
Autohupe_3	0,88	0,40	.06	
Autohupe_4	0,13	0,23	.60	
Autohupe_3	Unfallgeräusch_2	0,13	0,69	.86
	Hundebellen_1	1,25	0,25	.00
	Hundebellen_2	0,63	0,42	.18
	Hundebellen_3	0,50	0,33	.17
Hundebellen_4	0,38	0,53	.50	
Autohupe_4	Fahrradklingel_1	0,50	0,57	.41
	Fahrradklingel_2	0,38	0,63	.57
	Fahrradklingel_3	0,38	0,68	.60
	Unfallgeräusch_2	0,88	0,69	.25

	Hundebellen_1	2,00	0,46	.00
	Hundebellen_2	1,38	0,50	.03
	Hundebellen_3	1,25	0,56	.06
	Hundebellen_4	1,13	0,52	.07
	Autohupe_1	0,13	0,61	.84
	Autohupe_3	0,75	0,49	.17
	Fahrradklingel_1	0,88	0,23	.01
	Fahrradklingel_2	0,75	0,41	.11
	Fahrradklingel_3	0,75	0,45	.14
	Fahrradklingel_4	0,25	0,45	.60
	Unfallgeräusch_1	0,13	0,35	.73
	Unfallgeräusch_2	1,25	0,73	.13
Bremsgeräusch_1	Hundebellen_1	2,38	0,18	.00
	Hundebellen_2	1,75	0,25	.00
	Hundebellen_3	1,63	0,32	.00
	Hundebellen_4	1,50	0,27	.00
	Autohupe_1	0,50	0,33	.17
	Autohupe_2	0,25	0,37	.52
	Autohupe_3	1,13	0,30	.01
	Autohupe_4	0,38	0,46	.44
	Bremsgeräusch_2	0,00	0,33	1,00
	Fahrradklingel_1	0,88	0,23	.01
	Fahrradklingel_2	0,75	0,62	.27
	Fahrradklingel_3	0,75	0,45	.14
	Fahrradklingel_4	0,25	0,59	.68
	Unfallgeräusch_1	0,13	0,67	.86
	Unfallgeräusch_2	1,25	0,92	.22
Bremsgeräusch_2	Hundebellen_1	2,38	0,38	.00
	Hundebellen_2	1,75	0,49	.01
	Hundebellen_3	1,63	0,46	.01
	Hundebellen_4	1,50	0,42	.01
	Autohupe_1	0,50	0,60	.43
	Autohupe_2	0,25	0,53	.65
	Autohupe_3	1,13	0,35	.01
	Autohupe_4	0,38	0,60	.55
	Bremsgeräusch_1	0,00	0,33	1,00
Basiert auf den geschätzten Randmitteln				
a Anpassung für Mehrfachvergleiche: Geringste signifikante Differenz (entspricht keinen Anpassungen).				

## Anhang C: Bilder aus Hauptstudie 1



Szenario 1 aus Hauptstudie 1: Fahrrad



Szenario 2 aus Hauptstudie 1: Stau im Tunnel



Szenario 4 aus Hauptstudie 1: Hund hinter Haus



Szenario 5 aus Hauptstudie 1: Hund hinter LKW



Szenario 6 aus Hauptstudie 1: Stau bei schlechter Sicht

## Anhang D: Instruktion vor der Simulatorübung aus Hauptstudie 1

### Instruktion I

Herzlich Willkommen zu unserer Untersuchung,

Sie nehmen heute an einer Studie zur Erprobung neuartiger Warnsysteme teil.

Bitte machen Sie es sich bequem und stellen Sie sich den Sitz so ein, wie Sie es bei einer bevorstehenden Fahrt in einem realen Fahrzeug tun würden. Dieses Auto funktioniert wie ein Fahrzeug mit Automatik, d.h. sie müssen nicht schalten oder die Kupplung bedienen. Um fahren zu können muss das Automatikgetriebe in der D-Position sein, um diese Stellung zu erreichen betätigen Sie bitte die Bremse und schalten in D.

Wenn Sie geradeaus schauen, sehen Sie dort eine große Leinwand, die gleich die Fahrtstrecke anzeigen wird. Auf der rechten Seite der Leinwand wird ein Rückspiegel projiziert, auf der linken unteren Seite ein Seitenspiegel. Der Simulator hat auch einen Geschwindigkeitsmesser und einen Blinker. Bitte stellen Sie sich die Lüftung so ein, dass eine komfortable Luftzufuhr für die nächsten 45 Minuten garantiert ist.

Sie werden nun einen Übungsdurchlauf absolvieren, der Sie mit den Grundeigenschaften des Fahrsimulators vertraut macht. Wenn Sie zum normalen Autofahren eine Brille tragen, setzen Sie diese bitte jetzt auf!

Sollten Sie zu irgendeinem Zeitpunkt Übelkeit, Schwindel oder Orientierungslosigkeit empfinden, so können Sie jederzeit die Studie abbrechen. Bitte sagen Sie sofort Bescheid!

Haben Sie Fragen?

## **Anhang E: Instruktion nach der Simulatorübung aus Hauptstudie 1**

### Instruktion II

Stellen Sie sich vor, Sie haben ein neues Auto gekauft. Sie wissen, dass dieses Auto ein neuartiges Warnsystem besitzt. Nun fahren Sie das erste Mal mit ihrem neuen Auto.

Während der simulierten Fahrt über die nächsten 30 Minuten fahren sie durch unterschiedliche Streckenabschnitte. Bitte versuchen Sie sich möglichst genau an die Verkehrsvorschriften zu halten, besonders an Geschwindigkeitsvorgaben. Versuchen Sie aber bitte ebenfalls möglichst nahe an die Geschwindigkeitsbegrenzung heran zu kommen. Allgemein gilt: in der Stadt 50 km/h, im Tunnel 80km/h (wird auch angezeigt), auf der Landstraße 100 km/h. Der zu fahrende Weg wird Ihnen per Navigationsansagen vorgegeben, bitte halten Sie sich daran. Sollten keine Vorgaben erfolgen, fahren Sie bitte geradeaus. Wenn Sie eine Kreuzung nicht einsehen können, fahren Sie bitte trotzdem weiter. An einigen Stellen während der Fahrt werden Sie mit ihrem Fahrzeug an eine andere Position gesetzt.

Versuchen Sie möglichst so zu fahren, wie Sie es in realer Umwelt auch tun würden – denken Sie an Ihnen nachfolgende Fahrzeuge, Gegenverkehr und andere Verkehrsteilnehmer.

## Anhang F: Demografie-Fragebogen aus Hauptstudie 1 und 2

VP.-Nr.

Datum:

Alter, bitte ankreuzen:

- 18-25     26-30     31-35     36-40     41-45

Beruf:

weiblich     männlich

Linkshänder     Rechtshänder

8. *Ich besitze seit \_\_\_\_\_ Jahren den Führerschein.*

Klasse(n): \_\_\_\_\_

9. *Wie viele Kilometer fahren Sie durchschnittlich im Jahr?*

- weniger als 5000 km
- 5000 - 10.000 km
- 10.000 - 50.000 km
- 50.000 - 100.000 km
- mehr als 100.000 km

10. *Wie häufig fahren Sie?*

- täglich
- mehrmals pro Woche
- ca. 1 mal pro Woche
- mehrmals pro Monat
- ca. 1 mal pro Monat
- weniger als 1 mal pro Monat

11. Sind Sie beim Fahren schon einmal durch ein Warnsystem unterstützt worden? Wenn ja, durch welche:

- Spurverlassens-Warner
- Abstandswarnsystem
- Kollisionswarnsystem
- anderes \_\_\_\_\_

12. Wie schätzen Sie ihren Fahrstil ein?

sehr ruhig sehr sportlich

13. Wie gut fahren Sie Auto?

sehr gut nicht gut

14. Ich habe bisher schon einmal an einem Fahrversuch teilgenommen

- ja, im Simulator
- ja, in einem Versuchsfahrzeug
- ja, beides (Simulator und Fahrzeug)
- nein, noch nie

15. In Bezug auf meine Hörleistung bin ich

- normal
- beeinträchtigt

Wenn beeinträchtigt, bitte Art der Hörstörung angeben (z.B. Tinnitus): \_\_\_\_\_

## Anhang G: Aufgaben aus dem Fahrsimulator-Training vor Hauptstudie 1 und Hauptstudie 2

### Autobahnfahrt



A) Beschleunigungsübung

#### **Aufgabe:**

Bleiben Sie am rechten Fahrstreifen und beschleunigen Sie auf 50km/h, halten Sie diese Geschwindigkeit.

Nach 1 Kilometer (siehe Kilometeranzeige „trip“ Tachofeld) beschleunigen Sie auf 100km/h und halten diese Geschwindigkeit für 1 Kilometer.

Im Anschluss daran bremsen Sie bitte langsam bis in den Stand.

*Wenn Sie bereit sind, melden Sie sich über das Mikrofon.*

### Landstraßenfahrt



Die nächste Übung wird nun auf der Landstraße durchgeführt. Ziel der Übung ist es für die unterschiedlichen Kurvenradien ein Gespür zu bekommen.

#### **Aufgabe:**

Fahren Sie auf der Landstraße mit der von Ihnen bevorzugten Geschwindigkeit, aber nicht schneller als 100 km/h. Versuchen Sie möglichst genau in der Fahrspur zu bleiben.

*Wenn Sie bereit sind, melden Sie sich über das Mikrofon.*

## Anhang H: Akzeptanzfragebogen aus Hauptstudie 1 und 2

<b>VP.-Nr.</b> <b>Datum:</b>
---------------------------------

Die Nutzung dieses Kollisionswarnsystems kann verschiedene Vor- und Nachteile haben. Jeder der genannten Vor- und Nachteile kann auf Sie persönlich mehr oder weniger zutreffen. Bitte beurteilen Sie jetzt, inwieweit die einzelnen Auswirkungen bei Ihnen selbst eintreffen könnten.

<b>Durch die Nutzung des Warnsystems würde ich ...</b>	Trifft nicht zu	Trifft wenig zu	Teils/teils	Trifft überwiegend zu	Trifft völlig zu
1. ... mich sicherer fühlen.					
2. ... sicherer fahren.					
3. ... noch lieber Autofahren.					
4. ... mich in meiner persönlichen Freiheit eingeschränkt fühlen.					
5. ... verantwortungsvoller fahren.					
6. ... durch die Warnungen genervt werden.					
7. ... bei der Anwesenheit von Mitfahrern peinlich berührt sein.					
8. ... mehr Spaß am Fahren haben.					
9. ... mich kontrolliert fühlen.					
10. ... durch die Warnungen abgelenkt werden.					
11. ... mich bevormundet fühlen.					
12. ... das Fahren unterhaltsamer finden.					

Aus: Weiler, Ulrike (2003). <i>Untersuchung zur Akzeptanz verschieden gestalteter Warnsysteme für ermüdete Autofahrer</i> . Unveröffentlichte Diplomarbeit, TU Berlin.
--



## Anhang J: Abschlussinterview aus Hauptstudie 2

<b>VP.-Nr.</b> <b>Datum:</b>
---------------------------------

### Abschluss-Interview

1. Was ist die Bedeutung der Warnung?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
2. (nur bei akustisch+visuell) Haben Sie die akustische + die visuelle Komponente der Warnung beachtet?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
3. Welche Darbietung finden sie am besten:
  - a. Visuell – welche Form?:
  - b. Akustisch – welche Form?:
  - c. Visuell/Akustisch – welche Form?:
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
4. Haben Sie Kritik, Anregungen oder Anmerkungen zu der Untersuchung?

**Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!**

## Anhang K: Bilder aus Hauptstudie 2



Szenario 1 aus Hauptstudie 2: Auto



Szenario 2 aus Hauptstudie 2: Fahrrad

## Anhang L: Korrelationen der Kovariaten im Fahrradszenario

		Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Warnung	Abstand zum Zeitpunkt der Warnung	Minimal gemessener Abstand	Bremsreaktionszeit
Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Warnung	Korrelation nach Pearson	1	,583(**)	,114	,093
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,193	,258
	N	157	157	132	151
Abstand zum Zeitpunkt der Warnung	Korrelation nach Pearson		1	,134	-,040
	Signifikanz (2-seitig)			,125	,624
	N			132	151

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von .01 (2-seitig) signifikant.

### Anhang M: Korrelationen der Kovariaten im Autoszenario

		Abstand zum Zeitpunkt der Warnung	Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Warnung	Bremsreaktionszeit
Abstand zum Zeitpunkt der Warnung	Korrelation nach Pearson	1	,467(**)	,733(**)
	Signifikanz (2-seitig)		,000	,000
	N	159	159	159
Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Warnung	Korrelation nach Pearson			,290(**)
	Signifikanz (2-seitig)			,000
	N			159

\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von .01 (2-seitig) signifikant.