

STANDARDREAKTIONEN IN KRITISCHEN FAHRSITUATIONEN:

**STUDIEN MIT DEM VEHICLE IN THE LOOP
ZUR UNTERSUCHUNG DES REAKTIONSVERHALTENS
BEI VORFAHRTSMISSACHTUNG VON RECHTS**

Dipl.-Psych. Stefanie Martina Weber

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik der
Universität der Bundeswehr München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Gudladt
1. Gutachter: Prof. Dr. phil. Berthold Färber
2. Gutachter: Prof. Dr. phil. Martin Baumann

Die Dissertation wurde am 11.06.2015 bei der Universität der Bundeswehr München eingereicht und durch die Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik am 12.08.2015 angenommen. Die mündliche Prüfung fand am 13.08.2015 statt.

KURZFASSUNG

Wie sich Menschen in kritischen Fahrsituationen verhalten, ist die zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit. Ausgangspunkt waren Unfallszenarien, die dadurch aufgefallen waren, dass eine Vielzahl von Unfallbeteiligten jeweils ähnlich reagierte. Dies führte zu der Vermutung, dass es in manchen unfallträchtigen Situationen zu Standardreaktionen kommt: Viele Personen scheinen sich in vergleichbarer Art und Weise zu verhalten, wenn sie mit einer bestimmten kritischen Situation im Straßenverkehr konfrontiert sind. Die systematische Auswertung von Unfalldaten zeigte, dass es vor allem in Kreuzungssituationen, in denen Vorfahrtsberechtigten von rechts die Vorfahrt genommen wurde, zu Standardreaktionen kommen kann. Die Hauptreaktion der Vorfahrtsberechtigten bestand in diesen Situationen in einer Bremsung. Wenn es zu einer Ausweichbewegung kam, dann wurde hauptsächlich in die Bewegungsrichtung des Unfallverursachers gelenkt.

Da nur basierend auf Unfalldaten keine allgemeingültige Aussage zu Reaktionen in kritischen Fahrsituationen getroffen werden kann, wurden insgesamt zwei Studien mit dem Vehicle in the Loop (VIL) durchgeführt. Das VIL ermöglicht durch die Kombination eines Fahrsimulators mit einem realen Fahrzeug ein sowohl standardisiertes als auch sehr realistisches Erleben kritischer Situationen. Als Simulationsumgebung diente eine Landstraßensituation, auf der die Probanden mit 70 km/h auf einer Vorfahrtsstraße Kreuzungssituationen durchfuhren. In der ersten Studie, in der Faktoren gefunden werden sollten, die einen Einfluss auf das Reaktionsverhalten haben, wurde die Bedeutung der Time-to-Arrival (TTA) deutlich. Aus diesem Grund wurde die TTA in der zweiten Studie systematisch variiert. Es zeigte sich, dass der Anteil der reinen Bremsmanöver abnahm, je kürzer die TTA war, während der Anteil der Ausweichmanöver bei geringerer TTA zunahm. Die meisten Probanden wichen dabei gemäß der postulierten Standardreaktion in die Bewegungsrichtung des kreuzenden Fahrzeugs aus. Ein Ausweichmanöver entgegen der Bewegungsrichtung erfolgte nur nach vorheriger Bremsung. Die Werte der durchschnittlichen Verzögerungen verdeutlichten, dass es Personen in zeitlich kritischen Situationen schwer fällt, mit einer Notbremsung zu reagieren. Die Ergebnisse der Studien liefern daher Ansatzpunkte für notwendige Funktionalitäten von Fahrerassistenzsystemen, die Fahrer optimal unterstützen sollen, wenn ihnen in einer Kreuzungssituation die Vorfahrt genommen wird.

ABSTRACT

How persons react in critical driving situations is the main focus of this paper. The work is based on conspicuous accident scenarios with similar reaction patterns of a multitude of accident participants. This led to the assumption that some situations are potentially hazardous situations resulting in standard reactions, i. e. many persons react in a similar way when confronted with a certain critical situation in road traffic. Systematic evaluation of accident data revealed that it were mainly intersection situations in which the right of way was taken from the right side leading to standard reactions. The main reaction of the accident participants who had the right of way was a breaking reaction. If evasive action occurred, it was in most cases into the direction of movement of the crossing vehicle.

Since it is not feasible to provide a general statement pertaining to reactions in critical driving situations merely based on accident data, two studies involving the Vehicle in the Loop (VIL) were conducted. The VIL allows standardized as well as very realistic experience of critical situations by combining a driving simulator with a real vehicle. The simulation environment was a rural road setting with participants passing crossing situations on a priority road at 70 km/h. In the first study, intended to find factors influencing the reaction behavior, the relevance of Time-to-Arrival (TTA) became obvious. Therefore, TTA was systematically varied in the second study. It became obvious that the mere braking reactions decreased with shorter TTA, while evasive reactions increased. Most participants performed evasive reactions into the direction of movement of the crossing vehicle. A steering maneuver opposite to the direction of movement only occurred after prior braking. The values of the average decelerations illustrated that persons in time-sensitive critical situations have a hard time reacting with an emergency braking action. The results of the studies provide insights for important functionalities of driver assistance systems designed to support drivers when their right of way is taken in crossing situations.

DANKSAGUNG

Im Rahmen der Erstellung der vorliegenden Dissertation wurde ihr Entstehungsprozess einmal mit dem Heranwachsen eines Baums verglichen. Dieses Bild möchte ich nutzen, um mich bei den Personen ganz herzlich zu bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit maßgeblich beigetragen haben:

Damit ein Baum überhaupt wachsen kann, braucht es zunächst einmal einen Samen bzw. eine Idee. Dieser Ideengeber war in meinem Fall Dr. Miklós Kiss, der für mich im gesamten Verlauf immer wieder ein wichtiger Diskussionspartner war und der dem Baum dadurch den einen oder anderen Wachstumsschub verpasste.

Dass der Baum auf fruchtbarem Boden wachsen konnte, ist dem Umfeld der AARU Verkehrsunfallforschung zu verdanken. Ich hatte von Anfang an absolute Unterstützung von allen Seiten. Mein Dank geht dabei besonders an Kristin Blum, Annemarie Haider, Martina Guggenberger, Dr. Antonio Ernstberger und Eckart Donner. Ich war immer sehr dankbar, dass ich die nötigen Freiräume und Möglichkeiten hatte, um meine Dissertation voranzutreiben.

Dass der Baum optimale Bedingungen für sein Wachstum hatte, wurde durch das Umfeld am Institut für Arbeitswissenschaft der Universität der Bundeswehr München sichergestellt. Besonders bedanken möchte ich mich bei Jun.-Prof. Dr.-Ing. Verena Nitsch, Fabian Rüger und Markus Sieber, die bei Fragen immer ein offenes Ohr für mich hatten. Karsten Maul und Tilo Fuchs danke ich für die Unterstützung bei der Durchführung der Fahrstudien. Ein ganz herzlicher Dank geht außerdem an Prof. Dr. Berthold Färber für die Begleitung der Dissertation, die wichtigen Impulse in der Diskussion und die Unterstützung, die Dissertation rechtzeitig abschließen zu können. In diesem Zusammenhang bedanke ich mich auch herzlich bei Prof. Dr. Martin Baumann für die Erstellung des Zweitgutachtens sowie beim Vorsitzenden der Promotionskommission Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Gudladt.

Dass der Baum tatsächlich ungehindert wachsen konnte, habe ich nicht zuletzt der Unterstützung meiner Freunde und Familie zu verdanken. Besonders wichtig waren dabei sowohl meine beste Freundin Annette Brück als auch mein Bruder Mathias Klement.

Mein größter Dank gilt allerdings meinem Mann Stefan, der mir in allen Phasen dieser Arbeit eine unglaubliche Stütze war und ohne den der Baum keine Früchte getragen hätte.

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
Symbolverzeichnis	XXI
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation.....	1
1.2 Unfallforschung	3
1.3 Stand der Forschung.....	4
1.4 Zielsetzung und Überblick der Arbeit	8
2 Standardreaktionen im Unfallgeschehen	11
2.1 Vorgehensweise bei der Datenanalyse	11
2.2 Stichprobenbeschreibungen	12
2.3 Reaktionen bei einem Abkommen ins Bankett.....	13
2.3.1 Abkommen ins rechte Bankett.....	14
2.3.2 Abkommen ins linke Bankett	17
2.3.3 Bewertung des Verhaltens bei einem Abkommen ins Bankett.....	19
2.4 Reaktionen auf Tiere an oder auf der Fahrbahn	19
2.4.1 Unfälle aufgrund von Tieren an oder auf der Fahrbahn	19
2.4.2 Bewertung des Verhaltens bei Tieren an oder auf der Fahrbahn	22
2.5 Reaktionen bei Vorfahrtsmissachtungen.....	22
2.5.1 Vorfahrtsmissachtung von rechts	23
2.5.2 Vorfahrtsmissachtung von links	25
2.5.3 Vorfahrtsmissachtung aus dem Gegenverkehr.....	27
2.5.4 Bewertung des Verhaltens bei Vorfahrtsmissachtungen	29
2.6 Abschließende Bewertung zu Standardreaktionen im Unfallgeschehen	29
3 Erklärungsansätze für Standardreaktionen	31
3.1 Wahrnehmung im Straßenverkehr	31
3.1.1 Grundlagen der Wahrnehmung	31
3.1.2 Bewegungswahrnehmung.....	31

3.2	Situationsbewusstsein	32
3.2.1	Rahmenmodell des Situationsbewusstseins	32
3.2.2	Der Einfluss von Erwartung und Erfahrung	34
3.3	Gefahrenkognition	36
3.4	Handlungsumsetzung	37
3.4.1	Ebenen der Fahrzeugführung	37
3.4.2	Gelerntes Verhalten	39
3.4.3	Reflexartiges Verhalten	40
3.5	Abschließende Bewertung der Erklärungsansätze für Standardreaktionen	41
4	Erste Studie:	
	Reaktionsverhalten bei Vorfahrtsmissachtung von rechts	43
4.1	Fragestellung und Hypothesen	43
4.2	Methode	45
4.2.1	Versuchsmaterial	46
4.2.2	Versuchsdesign	48
4.2.3	Versuchsablauf	49
4.2.4	Stichprobe	49
4.3	Ergebnisse	50
4.3.1	Datenaufbereitung	50
4.3.2	Statistische Verfahren	51
4.3.3	Subjektive Kritikalität und Überraschungsintensität	52
4.3.4	Kollisionen	55
4.3.5	Reaktionsmuster	58
4.3.6	Objektive Kritikalität	62
4.3.7	Verzögerungen	64
4.3.8	Reaktionszeiten	65
4.4	Diskussion	67
4.5	Zusammenfassung	73
5	Zweite Studie:	
	Einfluss der Time-to-Arrival auf das Reaktionsverhalten	75
5.1	Fragestellung und Hypothesen	75
5.2	Methode	76
5.2.1	Versuchsmaterial	77
5.2.2	Versuchsdesign	79
5.2.3	Versuchsablauf	80

5.2.4	Stichprobe	80
5.3	Ergebnisse	81
5.3.1	Datenaufbereitung	81
5.3.2	Statistische Verfahren	82
5.3.3	Subjektive Kritikalität und Überraschungsintensität	83
5.3.4	Kollisionen	85
5.3.5	Reaktionsmuster	89
5.3.6	Reaktionszeiten	94
5.3.7	Verzögerungen	97
5.4	Diskussion.....	98
5.5	Zusammenfassung	105
6	Technische Lösungsmöglichkeiten	107
6.1	Optimales System.....	107
6.2	Systemgrenzen und Schwierigkeiten	109
7	Diskussion	113
8	Zusammenfassung und Ausblick	121
9	Literaturverzeichnis	127
10	Anhang	137

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1:	Unfalltypen, bei denen Beteiligte in der AARU Stichprobe ins Bankett abkamen (90 Unfälle)	13
Abbildung 2.2:	Unfalltypen, bei denen Beteiligte in der GIDAS Stichprobe ins Bankett abkamen (497 Unfälle)	13
Abbildung 2.3:	Reaktionsverhalten bei einem Abkommen ins rechte Bankett in der AARU Stichprobe (69 Unfälle)	15
Abbildung 2.4:	Reaktionsverhalten bei einem Abkommen ins rechte Bankett in der GIDAS Stichprobe (374 Unfälle)	16
Abbildung 2.5:	Reaktionsverhalten bei einem Abkommen ins linke Bankett in der AARU Stichprobe (21 Unfälle)	17
Abbildung 2.6:	Reaktionsverhalten bei einem Abkommen ins linke Bankett in der GIDAS Stichprobe (123 Unfälle)	18
Abbildung 2.7:	Reaktionsverhalten bei Tieren an oder auf der Fahrbahn in der AARU Stichprobe (links, 15 Unfälle) und in der GIDAS Stichprobe (rechts, 51 Unfälle).....	21
Abbildung 2.8:	Ausgewertete Unfalltypen bei Vorfahrtsmissachtungen (Grafiken nach: GDV, 1998)	23
Abbildung 2.9:	Reaktionsverhalten der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts in der AARU Stichprobe (95 Unfälle)	23
Abbildung 2.10:	Reaktionsverhalten der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts in der GIDAS Stichprobe (1 180 Unfälle)	24
Abbildung 2.11:	Reaktionsverhalten der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung von links in der AARU Stichprobe (50 Unfälle).....	25
Abbildung 2.12:	Reaktionsverhalten der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung von links in der GIDAS Stichprobe (903 Unfälle)	26
Abbildung 2.13:	Reaktionsverhalten der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung aus dem Gegenverkehr in der AARU Stichprobe (97 Unfälle)	27
Abbildung 2.14:	Reaktionsverhalten der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung aus dem Gegenverkehr in der GIDAS Stichprobe (839 Unfälle)	28
Abbildung 3.1:	Rahmenmodell der Situation Awareness (Endsley, 1995; nach Kluwe, 2006)	33
Abbildung 4.1:	Übersicht der acht kritischen Situationen in Studie 1	47
Abbildung 4.2:	Vergleich der realen und der virtuellen Teststrecke	48
Abbildung 4.3:	Einschätzung der Kritikalität je kritischer Situation ($N = 17$).....	53
Abbildung 4.4:	Überraschungsintensität je kritischer Situation ($N = 17$)	54
Abbildung 4.5:	Anteil der Kollisionen je kritischer Situation ($N = 17$).....	55

Abbildung 4.6:	Kollisionsgeschwindigkeiten (Mittelwerte und Standardabweichungen) des Egofahrzeugs und des kritischen Fahrzeugs je kritischer Situation (alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen)	57
Abbildung 4.7:	Anteil der Reaktionen je kritischer Situation (alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen)	59
Abbildung 4.8:	Vergleich der Reaktionen bei Kollisionen je kritischer Situation (alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen)	60
Abbildung 4.9:	Vergleich der Reaktionen bei Nicht-Kollisionen je kritischer Situation (alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen)	61
Abbildung 4.10:	Darstellung der ersten Reaktion je kritischer Situation, wenn sowohl gelenkt als auch gebremst wurde (alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen)	62
Abbildung 4.11:	Darstellung der Time-to-Arrival (TTA) zum Zeitpunkt des Beschleunigens des kritischen Fahrzeugs je kritischer Situation ($N = 17$)	63
Abbildung 4.12:	Durchschnittliche Verzögerung je kritischer Situation ($N = 17$)	64
Abbildung 4.13:	Vergleichende Darstellung der Reaktionszeiten der Bremsreaktion und der ersten Reaktion je kritischer Situation ($N = 17$)	65
Abbildung 5.1:	Anstoßpunkt auf eigenem Fahrstreifen (links) und auf gegnerischem Fahrstreifen (rechts)	78
Abbildung 5.2:	Übersicht der vier kritischen Situationen in Studie 2	79
Abbildung 5.3:	Einschätzung der Kritikalität je kritischer Situation (auswertbare Versuchspersonen: $n(K1,K2) = 23$, $n(K3,K4) = 22$)	84
Abbildung 5.4:	Überraschungsintensität je kritischer Situation (links; $n(K1,K2) = 23$, $n(K3,K4) = 22$) und je erlebter Situation (rechts; $N = 45$)	85
Abbildung 5.5:	Anteil der Kollisionen je kritischer Situation (auswertbare Versuchspersonen: $n(K1,K2) = 23$, $n(K3,K4) = 22$)	86
Abbildung 5.6:	Kollisionsgeschwindigkeiten (Mittelwerte und Standardabweichungen) des Egofahrzeugs und des kritischen Fahrzeugs je kritischer Situation (auswertbare Versuchspersonen: $n(K1,K2) = 18$, $n(K3,K4) = 22$)	87
Abbildung 5.7:	Anteil des Kollisionsorts je kritischer Situation (auswertbare Versuchspersonen: $n(K1) = 23$, $n(K2) = 18$, $n(K3,K4) = 22$)	89
Abbildung 5.8:	Darstellung der Bremsreaktion (links) und der Ausweichreaktion (rechts) je kritischer Situation ($n(K1,K2) = 23$, $n(K3,K4) = 22$)	90
Abbildung 5.9:	Anteil der Reaktionen je kritischer Situation ($n(K1) = 25$, $n(K2) = 29$, $n(K3) = 25$, $n(K4) = 30$)	92
Abbildung 5.10:	Darstellung der ersten Reaktion je kritischer Situation, wenn sowohl gelenkt als auch gebremst wurde ($n(K1) = 11$, $n(K2) = 9$, $n(K3) = 7$, $n(K4) = 9$)	94
Abbildung 5.11:	Darstellung der Reaktionszeiten der Bremsreaktion (links, $n(K1,K2) = 18$, $n(K3,K4) = 16$) und der Ausweichreaktion (rechts, $n(K1,K2) = 7$, $n(K3,K4) = 6$) je kritischer Situation	95

Abbildung 5.12: Darstellung der Reaktionszeiten der ersten Reaktion je kritischer Situation ($n(K1,K2) = 23$, $n(K3,K4) = 18$)	96
Abbildung 5.13: Durchschnittliche Verzögerung je kritischer Situation ($n(K1,K2) = 18$, $n(K3,K4) = 16$)	98

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1:	Übersicht der Unfalltypen der AARU und der GIDAS Stichprobe.....	12
Tabelle 2.2:	Anteile der Straßenarten bei einem Abkommen ins linke und rechte Bankett in der AARU und in der GIDAS Stichprobe.....	14
Tabelle 4.1:	Darstellung der regelmäßigen Autonutzung und der bisherigen Teilnahme an einem Fahrsicherheitstraining	50
Tabelle 5.1:	Darstellung der regelmäßigen Autonutzung und der bisherigen Teilnahme an einem Fahrsicherheitstraining	81
Tabelle 10.1:	Anteil der Kollisionen je kritischer Situation für die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen	144
Tabelle 10.2:	Anteil der Kollisionen je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen.....	144
Tabelle 10.3:	Anteil der Kollisionen je erlebter Situation für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen	145
Tabelle 10.4:	Anteil der Kollisionen je erlebter Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen.....	145
Tabelle 10.5:	Übersicht des Reaktionsmusters je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen.....	146
Tabelle 10.6:	Übersicht des Reaktionsmusters je kritischer Situation für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen	147
Tabelle 10.7:	Übersicht der ersten Reaktion bei Doppelreaktionen je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen	148
Tabelle 10.8:	Übersicht der ersten Reaktion bei Doppelreaktionen je kritischer Situation für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen....	148
Tabelle 10.9:	Anteil der Kollisionen je kritischer Situation für die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen	149
Tabelle 10.10:	Anteil der Kollisionen je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen.....	149
Tabelle 10.11:	Anteil der Bremsreaktionen vor einer Kollision je kritischer Situation für die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen	150
Tabelle 10.12:	Anteil der Bremsreaktionen vor einer Kollision je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen.....	150
Tabelle 10.13:	Anteil der Ausweichreaktionen vor einer Kollision je kritischer Situation für die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen	151
Tabelle 10.14:	Anteil der Ausweichreaktionen vor einer Kollision je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen	151
Tabelle 10.15:	Übersicht des Reaktionsmusters je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen.....	152

Tabelle 10.16:	Übersicht des Reaktionsmusters je kritischer Situation für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen	153
Tabelle 10.17:	Übersicht der ersten Reaktion bei Doppelreaktionen je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen	154
Tabelle 10.18:	Übersicht der ersten Reaktion bei Doppelreaktionen je kritischer Situation für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen ...	154
Tabelle 10.19:	Übersicht der ersten Reaktion je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen	155
Tabelle 10.20:	Übersicht der ersten Reaktion je kritischer Situation für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen	155

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AARU	Audi Accident Research Unit
ACC	Adaptive Cruise Control
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
ANOVA	Analysis Of Variance
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
dGPS	Differential Global Positioning System
DVR	Deutscher Verkehrssicherheitsrat
ECMT	European Conference of Ministers of Transport
FAS	Fahrerassistenzsystem
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
GIDAS	German In-Depth Accident Study
GPS	Global Positioning System
HMD	Head Mounted Display
IMU	Inertial Measurement Unit
K-Fzg	Kritisches Fahrzeug
Lkw	Lastkraftwagen
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
Pkw	Personenkraftwagen
TTA	Time-to-Arrival
TTC	Time-to-Collision
TÜV	Technischer Überwachungsverein
SBS	Störungsbewertungsskala
UniBw	Universität der Bundeswehr München
VIL	Vehicle in the Loop
VTD	Virtual Test Drive

SYMBOLVERZEICHNIS

Griechische Buchstaben

α	Wahrscheinlichkeit eines Fehlers 1. Art in %
ε	Schätzer für die Sphärizität
η_p^2	Effektstärke bei der ANOVA
χ^2	Prüfgröße des Chi-Quadrat-Tests und des McNemar Tests
ω	Effektstärke bei einem Chi-Quadrat-Test und bei einem McNemar Test

Lateinische Buchstaben

F	Prüfgröße der ANOVA
M	Mittelwert
N	Gesamtstichprobengröße
n	Teilstichprobengröße
p	Beobachtetes Signifikanzniveau
r	Effektstärke bei einem t-Test
SD	Standardabweichung
t	Prüfgröße des t-Tests
t_0	Bezugszeitpunkt für die Bestimmung der Reaktionszeiten

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die Geschichte der Autounfälle ist fast so alt wie die Geschichte des Automobils selbst. Das erste, dampfbetriebene Automobil wurde 1769 von Nicolas-Joseph Cugnot in Paris vorgestellt. Im Jahr 1771 ereignete sich mit der zweiten Version dieses Automobils der allererste Unfall mit einem Kraftfahrzeug, als das Fahrzeug bei einer Probefahrt eine Mauer durchbrach (Rauck, 1969). Der erste dokumentierte tödliche Unfall in der Geschichte des Kraftfahrzeugverkehrs ereignete sich am 31. August 1869, als die Irin Mary Ward von einem dampfbetriebenen Automobil fiel und davon überrollt wurde (Fallon & O'Neill, 2005). Auch in der heutigen Zeit spielen Verkehrsunfälle eine ernstzunehmende Rolle. In Deutschland nahm die Anzahl der polizeilich erfassten Verkehrsunfälle über die Jahre fast kontinuierlich zu (Statistisches Bundesamt, 2014). Im Jahr 2014 wurden rund 2.4 Millionen Unfälle auf deutschen Straßen aufgenommen, wovon knapp 13 % Unfälle mit Personenschaden waren (Statistisches Bundesamt, 2015). Im „besten“ Fall sind mit einem Unfall im Straßenverkehr nur organisatorischer Aufwand und Kosten verbunden. Im schlimmsten Fall ist aufgrund eines Verkehrsunfalls der Verlust von Menschenleben zu beklagen. 2014 starben 3 368 Personen auf deutschen Straßen (Statistisches Bundesamt, 2015). Die Vereinten Nationen haben die Jahre 2011 bis 2020 als Dekade der Verkehrssicherheit ausgerufen. Das Ziel dieser Kampagne ist es, die Zahl der Verkehrstoten weltweit deutlich zu senken (DVR, 2010). Dies zeigt klar, dass die Thematik Verkehrsunfall international große Beachtung findet.

Auf nationaler Ebene ergriff die deutsche Politik ebenfalls Maßnahmen, um der Zunahme von Verkehrsunfällen entgegenzuwirken. So stellte das deutsche Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) 2011 ein Verkehrssicherheitsprogramm vor, welches das Ziel hat, die Zahl der Verkehrstoten bis zum Jahr 2020 um 40 % zu senken (BMVBS, 2011). Eine Möglichkeit, dieses Ziel zu erreichen, besteht darin, Unfälle und deren Entstehung zu untersuchen. So können Ansatzpunkte geschaffen werden, um Unfälle in Zukunft zu verhindern. Einen wichtigen Beitrag dazu leistet die Unfallforschung, die ausgewählte Verkehrsunfälle detailliert analysiert und so einen Rückschluss auf systematisch auftretende Unfallmechanismen ermöglicht. Um Unfälle zu vermeiden, ist sowohl die Betrachtung von Unfallursachen als auch die Untersuchung des jeweiligen Reaktionsverhaltens aller Beteiligten nötig. In diesem Zusammenhang fallen immer wieder Unfallszenarien

auf, die unabhängig von der Unfallursache in der Unfallentstehung durch ein anderes Reaktionsverhalten der Beteiligten hätten vermieden werden können. Bezogen auf das Verhalten des Unfallverursachers¹ fallen dabei häufig die Unfalltypen² *Fahrerfall* und *Sonstiger Unfall* auf. Betrachtet man die Reaktion von Unfallbeteiligten, wäre eine Vielzahl an *Einbiegen-/Kreuzen-Unfällen* vermeidbar gewesen. Insgesamt handelt es sich hauptsächlich um drei mögliche Szenarien:

- Ein Fahrerfall, ausgelöst durch ein Lenkradverreißen nach einem Abkommen ins Bankett.
- Ein Sonstiger Unfall, verursacht durch unkontrolliertes Ausweichen bei einem Wildwechsel.
- Ein Einbiegen-/Kreuzen-Unfall, bei dem einem Bevorrechtigten von einem anderen Fahrzeug die Vorfahrt genommen wird und sich das Phänomen *Ausweichen in die Gefahr* zeigt. Dieses Phänomen zeichnet sich dadurch aus, dass der Bevorrechtigte genau in die Richtung ausweicht, in die der Wartepflichtige fährt, so dass es oftmals aufgrund dieser Ausweichbewegung zur Kollision kommt. In diesem Szenario wird der Unfall zwar eindeutig durch einen Fehler des Wartepflichtigen verursacht, allerdings könnte auch der Bevorrechtigte durch seine Reaktion entscheidend zur Unfallvermeidung beitragen.

Da sich die Unfallforschung definitionsgemäß nur mit der Analyse von Verkehrsunfällen und nicht mit Beinaheunfällen beschäftigt, bleibt bislang offen, ob es sich in diesen Szenarien bei den Reaktionen der Unfallbeteiligten lediglich um Reaktionsweisen einzelner Personen handelt oder ob von sogenannten Standardreaktionen ausgegangen werden kann. Von Standardreaktionen könnte dann gesprochen werden, wenn die Mehrheit aller Autofahrer in ähnlichen Situationen gleichartig reagieren würde. Bei den oben genannten Szenarien wäre es aber auch möglich, dass die Personen, die verunfallten, nur einen kleinen Anteil der Autofahrer ausmachen, die eine solche Situation erlebten. Es wäre denkbar, dass andere Personen, die einer solchen Situation ausgesetzt sind, anders und ggf. besser reagieren, so dass es nicht zum Unfall kommt.

¹ Wenn Personenbezeichnungen aus Gründen der Klarheit und Verständlichkeit lediglich in der männlichen oder weiblichen Form verwendet werden, so schließt dies das jeweils andere Geschlecht mit ein.

² Ein Unfalltyp bezeichnet eine Konfliktsituation, die zur Entstehung eines Unfalls geführt hat. Die Bezeichnung der Unfalltypen erfolgt gemäß des Unfalltypen-Katalogs des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV, 1998)

Für den Fall, dass es sich hierbei tatsächlich um Standardreaktionen handelt, wäre dies eine wichtige Erkenntnis, um solche Reaktionen in Zukunft möglichst zu verhindern und dadurch die Anzahl der Verkehrsunfälle zu senken. Im Sinne der allgemeinen Verkehrssicherheit wäre es allerdings sinnvoll, selbst dann Gegenmaßnahmen zu entwickeln, wenn nur für einen geringen Anteil an Personen problematische Reaktionsmuster identifiziert werden könnten. Denkbar wäre hier neben einer Integration entsprechender Bausteine in die Fahrausbildung auch die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen, die beim Eintreten solcher Situationen den Fahrer sinnvoll unterstützen oder auch selbständig die richtige Reaktion einleiten könnten.

1.2 Unfallforschung

Grundlage für die deutsche Unfallstatistik sind die Informationen, die von der Polizei bei einer Unfallaufnahme erfasst werden. Die Angaben des Statistischen Bundesamts erstrecken sich daher hauptsächlich auf allgemeine Angaben wie z. B. Ortslage, Tageszeit und Art der Verkehrsbeteiligung. Zwar werden auch detailliertere Angaben zum Unfalltyp oder zu amtlichen Unfallursachen gemacht, eine genaue Beschreibung des jeweiligen Unfallhergangs ist jedoch anhand dieser Klassifizierungen nicht möglich (Weber, Ernstberger, Donner & Kiss, 2014). Die Unfallforschung stellt deshalb eine wichtige Herangehensweise dar, um Verkehrsunfälle, deren Entstehung, Mechanismen und Folgen im Detail zu verstehen. Neben der German In-Depth Accident Study (GIDAS), einem Projekt, das seit Mitte 1999 an den Standorten Dresden und Hannover ca. 2 000 Fälle pro Jahr erhebt (GIDAS, 2012), haben auch manche Automobilhersteller eigene Unfallforschungen. Ein Beispiel dafür ist die Audi Accident Research Unit (AARU), die 1998 gegründet wurde. Die AARU ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt des Universitätsklinikums Regensburg in Zusammenarbeit mit der AUDI AG, das von der bayerischen Polizei unterstützt wird. Ziel der AARU ist es, mithilfe des Wissens wie, warum und mit welchen Folgen ein Unfall passiert ist, die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Dazu werden ca. 90 Verkehrsunfälle pro Jahr nach technischen, medizinischen und psychologischen Aspekten detailliert analysiert. Da 2013 in Deutschland lediglich 9.4 % der Unfälle mit Personenschaden auf allgemeine Umweltursachen wie beispielsweise Glätte zurückgeführt werden konnten und auch technische Ursachen mit einem Anteil von weniger als 1 % nur einen minimalen Einfluss hatten (Statistisches Bundesamt, 2014), liegt der Fokus im Rahmen der Unfallforschung auf den menschlichen Ursachen.

Um die menschlichen Ursachen besser kategorisieren zu können, wurde die 5-Step-Methode von der AARU in Kooperation mit der VW Unfallforschung und GIDAS entwickelt (Graab, Donner, Chiellino & Hoppe, 2008). Die 5-Step-Methode beruht auf dem sequenziellen Fehlermodell von Rasmussen (1982), das von Zimmer (2001) für die Fahrzeugführung adaptiert wurde. Bezogen auf die menschlichen Ursachen werden fünf Kategorien unterschieden, die den Ablauf vom menschlichen Wahrnehmungsprozess bis hin zur Handlungsausführung abbilden: Informationszugang, Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung, Zielsetzung und Handlung. Für jede dieser Kategorien existieren charakteristische Einflusskriterien. Diese bilden die häufigsten Faktoren ab, die zu einem Unfall geführt haben können. Diese Darstellungsart ermöglicht es, die Stelle im menschlichen Informationsverarbeitungsprozess genau zu bestimmen, die zur Unfallentstehung geführt hat. Bei den von der AARU analysierten Verkehrsunfällen zeigte sich, dass die Ursache am häufigsten in der Informationsaufnahme lag (Weber et al., 2014). Dies bedeutet, dass die notwendige Information, die der Unfallverursacher zur Vermeidung des Unfalls benötigt hätte, grundsätzlich zugänglich gewesen wäre, sie aber vom Verursacher nicht wahrgenommen wurde. Bezogen auf das Reaktionsverhalten der Unfallbeteiligten fielen im Rahmen der Fallanalysen der AARU insbesondere die im Kapitel 1.1 beschriebenen Unfallszenarien auf, bei denen möglicherweise Standardreaktionen vorliegen. Diese Szenarien bilden deshalb den Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit.

1.3 Stand der Forschung

Auf der Grundlage von Unfallanalysen beschäftigten sich bereits Malaterre, Ferrandez, Fleury und Lechner (1988) mit der Frage, ob Fahrer in Notsituationen vergleichbar reagieren. Sie stellten dabei fest, dass aufgrund der zeitlichen Kürze von Notsituationen anzunehmen ist, dass Fahrer in solchen Momenten keine Möglichkeit haben, das Fahrmanöver bewusst zu steuern, sondern sich auf Reflexe verlassen müssen. Dies lässt die Vermutung zu, dass sich alle Fahrer gleich verhalten, wenn es um die Vermeidung von Notsituationen geht. Diese Auffassung vertrat auch bereits Kastner (1982), der davon ausging, dass es sich dabei um angeborene Verhaltensweisen handeln kann. Er begründete seine Vermutung anhand der Beobachtung, dass ein vorfahrtsmissachtender Fahrer mit einem Vorfahrtsberechtigten oftmals deshalb zusammenstößt, weil letzterer bremst und nach links ausweicht, anstatt einfach geradeaus weiterzufahren. Malaterre et al. (1988) berichteten von einer französischen Unfallstudie, die zeigte, dass 43 % der untersuchten Unfälle

vermeidbar gewesen wären. In 2/3 dieser vermeidbaren Unfälle hätte ein Lenkmanöver ausgereicht, um den Unfall zu verhindern. Die hauptsächliche Reaktion der Unfallbeteiligten bestand jedoch in einer Bremsung. Die Tendenz, eher zu bremsen, zeigte sich in ihrer Analyse auch in Kreuzungssituationen. Falls die Beteiligten in solchen Situationen trotzdem lenkten, lenkten sie in die Bewegungsrichtung des kreuzenden Fahrzeugs. Die Vorfahrtsberechtigten hatten darauf gehofft, dass das kreuzende Fahrzeug anhalten würde, was jedoch nicht der Fall war. Die Fahrerbefragung, die die Autoren durchführten, ergab außerdem, dass Fahrer als erste Vermeidungsreaktion Bremsen wählten. Lenken wurde dagegen als ein Manöver eingeschätzt, das länger möglich ist und daher erst später, also bei einer kleineren Time-to-Collision (TTC) angewendet wird.

In einer Simulatorstudie untersuchten Lechner und Malaterre (1991) die Reaktion von Bevorrechtigten an einer außerorts mit Stoppschild geregelten Kreuzung. Ein von rechts kommendes Fahrzeug, das bereits am Stoppschild gestanden hatte, fuhr plötzlich in die Kreuzung ein und blieb mitten auf der Fahrbahn stehen. Dabei wurde die TTC variiert. Da die Versuchspersonen gemäß Instruktion 90-100 km/h fahren und sich an das Fahrverhalten des Simulators gewöhnen sollten, wurden sie von der kritischen Situation überrascht. Nur 20 % der Versuchspersonen konnten eine Kollision vermeiden. Es zeigte sich, dass die Versuchspersonen vorzugsweise bremsen, wenn genug Zeit war, und dass die Tendenz, nach links zu lenken, stieg, je kleiner die TTC wurde. Aufbauend auf diesen Ergebnissen führten McGehee et al. (1999) eine Simulatorstudie mit einer ganz ähnlichen Situation durch. Die Autoren kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass erst bei kleinerer TTC gelenkt wurde und dies hauptsächlich nach links erfolgte, also in die Bewegungsrichtung des von rechts kommenden Fahrzeugs.

In einem Literaturüberblick zu Studien, die sich mit dem Thema beschäftigten, wie Fahrer auf Hindernisse reagieren, listete Adams (1994) insgesamt elf Studien auf, die entweder Feld- oder Simulatorstudien oder aber Unfallanalysen waren. Dabei zeigte sich, dass Fahrer eher dazu neigten, zu bremsen als zu lenken, während das optimale Manöver jedoch oftmals ein Lenken oder ein Lenken und Bremsen gewesen wäre. Die Autorin führte hierfür als mögliche Gründe an, dass die Fahrer entweder auf keinen Fall ihren Fahrstreifen verlassen wollten, ihnen das Wissen über alternative Manöver fehlte, sie ihr Fahrzeug grundsätzlich eher schlecht beherrschten oder sie lieber eine drohende Kollision in Kauf genommen hätten, als durch eine Lenkbewegung eine andere Kollision zu riskieren. Sie leitete

daraus ab, dass es für die Zukunft durchaus sinnvoll wäre, wenn ein Fahrzeug in so einer Situation die Kontrolle übernehmen und das optimale Manöver ausführen könnte.

Einen Eingriff bzw. eine Unterstützung durch das Fahrzeug zur Verhinderung kritischer Situationen forderten auch Kramer und Israel (2014). Die Grundlage ihrer Arbeit bildete die systematische Auswertung von über 2 100 Unfallgutachten. Die Autoren postulierten, dass es einen sogenannten *virtuellen Greifreflex* gibt, worunter sie reflexartige Ausweichreaktionen verstehen, die letztendlich zu einer Kollision führen. Der Schwerpunkt ihrer Analyse lag dabei auf tödlichen Unfällen. Es zeigte sich, dass in allen Kreuzungsunfällen, in denen es zu einem virtuellen Greifreflex kam, die Ausweichrichtung in die Bewegungsrichtung des kreuzenden Fahrzeugs ging (Israel, 2011). Wäre statt dieser Lenkbewegung kein Ausweichen erfolgt oder wäre die reflexartige Reaktion durch ein Fahrzeugsystem kompensiert worden, so hätten diese Unfälle vermieden werden können (Kramer & Israel, 2014).

In einer Studie von Hancock und de Ridder (2003), in der je zwei Versuchspersonen im Simulator in jeweils einer unfallträchtigen Kreuzungs- und Gegenverkehrssituationen miteinander interagierten, konnten lediglich 9.5 % der Versuchspersonen im Anschluss an das Fahrexperiment die Seite richtig angeben, auf die sie ausgewichen waren. Möglicherweise erfolgt die Reaktionsauswahl also tatsächlich so schnell und unbewusst, dass man sich die eigentliche Reaktion im Nachhinein rekonstruieren muss. Auch Hastings (2005) ging davon aus, dass es *instinktive Reaktionen* – also in gewisser Weise Standardreaktionen – gibt, die zur Unfallentstehung unmittelbar beitragen. Er bemängelte jedoch, dass in der Literatur nur sehr wenig zu dem Thema zu finden sei, wie sich Fahrer instinktiv verhalten, wenn sie mit einer möglichen Kollision oder einer sonstigen bedrohlichen Situation konfrontiert werden. In einer groß angelegten Studie mit 1 200 Versuchspersonen untersuchte er die Reaktion von Fahrern auf stehende Objekte und fand heraus, dass die Teilnehmer das Hindernis fixierten und daher Probleme hatten, dem Gefahrenobjekt auszuweichen. Da sein Interesse der Wirksamkeit von Fahrertrainings galt, postulierte er, dass sich die richtigen Reaktionen in kritischen Situationen trainieren lassen würden.

Die Motivation von Stańczyk, Lozia, Pieniążek und Jurecki (2010) das Reaktionsverhalten von Fahrern auf von rechts anfahrende Fahrzeuge zu untersuchen, war darin begründet, für Rekonstruktionen von Verkehrsunfällen Wahrscheinlichkeitswerte von bestimmten Fahrmanövern zu erhalten. Zu diesem Zweck führten die Autoren eine Studie durch, in der die Versuchspersonen ein Kreuzungsszenario sowohl im Simulator als auch auf einer Teststrecke durchfuhren. Es handelte sich dabei um eine Situation, bei der das von rechts

kreuzende Fahrzeug aufgrund einer Sichtverdeckung erst sehr spät erkennbar war. Da das kreuzende Fahrzeug jedoch auf dem Fahrstreifen der Probanden stehen blieb und ein Ausweichen nach rechts aufgrund der baulichen Vorgaben sowohl in der Simulation als auch auf der Teststrecke nicht möglich war, konnten die Versuchspersonen lediglich bremsen oder nach links ausweichen. Die Variation der TTC erbrachte, dass umso eher gebremst wurde, je größer die TTC war.

Während in der Literatur also zumindest einige Studien zu Reaktionen auf ein feststehendes Hindernis oder auf ein von einer Seite kreuzendes Objekt existieren, findet sich nur wenig zu den Themen Wildunfall und Abkommen ins Bankett. Gerade Fehlreaktionen in solchen Situationen sind jedoch eine häufige Unfallursache v. a. auf Landstraßen (Eicher, 2012). Die Literatur zu Wildunfällen beschäftigt sich in der Regel mit Möglichkeiten, Wildunfälle grundsätzlich zu verhindern, so dass der Fokus auf infrastrukturellen Maßnahmen liegt (Huijser et al., 2008; Knapp & Yi, 2004; Malo, Suárez & Díez, 2004; Mastro, Conover & Frey, 2008; Mosler-Berger, 2011; Riley & Marcoux, 2006). Auch aktive Systeme im Fahrzeug, wie beispielsweise ein Markierungslicht, werden als Maßnahme gegen Wildunfälle diskutiert (Schneider, 2011), um die Zeitspanne für eine mögliche Reaktion zu verlängern. Wie genau sich Fahrer in Situationen verhalten, wenn ein Tier auf der Fahrbahn steht oder die Straße kreuzt, geht aus diesen Studien jedoch nicht hervor. Wenn menschliches Verhalten mit Bezug auf die Vermeidung von Wildunfällen thematisiert wird, dann werden eine Reduktion der gefahrenen Geschwindigkeit und eine höhere Aufmerksamkeit vom Fahrer gefordert. Auch Åberg (1981), der sich in seiner Arbeit zum Thema Wildunfall mit den menschlichen Einflussfaktoren beschäftigte, fokussierte sich auf die Wahrnehmbarkeit der Gefahrensituation durch den Menschen und nicht auf sein Reaktionsverhalten. Eine Aussage zu Reaktionen bei Wildunfällen findet sich bei Bartl und Hager (2006). Die Autoren untersuchten in einer großen Interviewstudie Unfallursachen bei Pkw-Lenkern in Österreich. Die Analyse ergab für Wildunfälle, dass es mehr Unfälle ohne ein Lenkradverreißen gab als mit. Allerdings waren die Unfallfolgen signifikant schwerer, wenn das Lenkrad verrissen wurde. Eine Angabe, in welche Richtung bezogen auf die Bewegungsrichtung des Tieres gelenkt wurde, ergab die Analyse jedoch nicht. Die Unfallursachen wurden dabei hauptsächlich einem plötzlichen, unvorhersehbaren Wildwechsel zugeschrieben.

Angaben zu Häufigkeiten eines Lenkradverreißens in Folge eines Abkommens ins Bankett finden sich nur in Unfallanalysen, wenn diese aus Befragungsergebnissen resultieren (Gründl, 2005; Staubach, 2010). Dabei zeigte sich, dass Unfälle dieser Art zwar durchaus

passieren, im Vergleich zu der Anzahl an anderen Unfällen aber weniger ins Gewicht fallen. Experimentelle Studien zum Reaktionsverhalten bei einem Abkommen ins Bankett konnten nicht gefunden werden.

1.4 Zielsetzung und Überblick der Arbeit

Bei der Sichtung der Literatur zeigte sich, dass insbesondere die drei oben dargestellten Szenarien, die im Rahmen der Fallanalysen der AARU immer wieder als kritische Situationen bewertet wurden, noch nicht in ausreichender Intensität untersucht worden sind. Untersuchungen zu Reaktionen auf einen Wildwechsel sowie Studien zum Lenkverhalten nach dem Abkommen ins Bankett wurden nicht gefunden. Bei experimentellen Studien, in denen das Ausweichverhalten auf von rechts kreuzende Objekte untersucht wurde, blieb das kreuzende Objekt auf der Fahrbahn der Versuchsperson stehen (Fuoß, 2011; Lechner & Malaterre, 1991; McGehee et al., 1999; Stańczyk et al., 2010). Diese Situation deckt sich jedoch nicht mit den Fallbeispielen, wie sie in der Unfallforschung zu finden sind, da dort die Unfallverursacher ihren Vorfahrtsverstoß oftmals aufgrund eines Fehlers in der Informationsaufnahme nicht rechtzeitig genug erkennen, um noch abzubremsen (Chiellino et al., 2010; Staubach, 2010; Vollrath, 2010; Weber et al., 2014). Studien, bei denen das Ausweichverhalten auf von links kreuzende Objekte experimentell untersucht wurde, liegen ebenfalls nicht vor. Dahingegen haben die Studien, bei denen auf ein einzelnes, auf der Straße stehendes Objekt reagiert werden musste (Adams, 1994; Adams, Flannagan & Sivak, 1995; Hastings, 2005; Malaterre et al., 1988), nur wenig Aussagekraft für das tatsächliche Unfallgeschehen, da solche Situationen im normalen Straßenverkehr eher selten sind. Eine weitere Einschränkung der meisten Studien, die ein Ausweichmanöver untersuchten, besteht darin, dass in der Regel nur eine Unterscheidung zwischen Bremsen und Lenken, aber keine Unterscheidung hinsichtlich der Lenkrichtung vorgenommen wurde (Adams, 1994; Falkmer & Gregersen, 2003). In einigen Studien zum Verhalten in kritischen Situationen wurde nur die Bremsreaktionszeit berichtet und auf ein Lenkmanöver nicht weiter eingegangen (Naujoks & Neukum, 2012; Ruscio & Balestra, 2012).

Um systematische Ansatzpunkte für die Vermeidung von unfallträchtigen Situationen und von problematischen Reaktionsmustern zu identifizieren, ist es notwendig, kritische Situationen in einem größeren Detaillierungsgrad als bislang zu untersuchen. Dabei ist es wichtig, dass sich die Situationsauswahl an den tatsächlich im Unfallgeschehen beobachtbaren Situationen orientiert, um zum einen nah an der Realität zu bleiben und zum anderen als

Konsequenz der Ergebnisse Empfehlungen für ganz konkrete Szenarien abgeben zu können. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Frage, ob es in diesen Situationen unabhängig von der betroffenen Person zu immer gleichartigen Reaktionen kommt. Ist dies der Fall, kann man davon ausgehen, dass es sich um sogenannte Standardreaktionen handelt.

Um fundierte Aussagen über die Reaktionen im Unfallgeschehen machen zu können, wurden in einem ersten Schritt Unfalldaten genau analysiert. Hierbei sollte die Frage geklärt werden, ob es in den oben dargestellten Szenarien Standardreaktionen im Unfallgeschehen gibt. Die Beobachtungen aus den Fallanalysen der AARU begründeten sich bislang auf Einzelfallbeispielen. Eine systematische Betrachtung der dabei aufgefallenen Unfallszenarien stand noch aus. Auf Grundlage der AARU- sowie der GIDAS-Datenbank sollten daher die Situationen identifiziert werden, die sich durch ein gleichartiges Reaktionsmuster der Unfallbeteiligten auszeichnen. Das Ergebnis dieser Unfallanalyse ist in Kapitel 2 dargestellt. Welche Mechanismen für die Entstehung von Standardreaktionen verantwortlich sein können, wird in Kapitel 3 erläutert. In den Kapiteln 4 und 5 werden zwei Studien beschrieben, die mit dem Vehicle in the Loop (VIL) durchgeführt wurden, um die unfallträchtigen Szenarien näher zu untersuchen, bei denen aufgrund der Unfallanalysen von Standardreaktionen ausgegangen wird. Kapitel 6 widmet sich den technischen Aspekten, die bei einer fahrzeugseitigen Unterstützung des Fahrers berücksichtigt werden müssten, um drohende Kollisionen möglichst zu vermeiden. Eine abschließende Diskussion wird in Kapitel 7 vorgenommen, während Kapitel 8 eine Zusammenfassung und einen Ausblick gibt.

2 Standardreaktionen im Unfallgeschehen

Um zu überprüfen, ob Standardreaktionen im Unfallgeschehen identifiziert werden können, erfolgte eine systematische Auswertung von Unfalldaten. Hierfür wurden die drei Szenarien betrachtet, die in den Fallanalysen der Unfallforschung bereits dadurch aufgefallen waren, dass Unfallbeteiligte gleichartig reagierten. Aus diesem Grund wurde für Kreuzungsunfälle das Reaktionsverhalten der Beteiligten untersucht, denen die Vorfahrt genommen wurde. Darüber hinaus wurde analysiert, wie sich Beteiligte bei einem Abkommen ins Bankett verhalten hatten. Außerdem wurde ausgewertet, wie Beteiligte reagiert hatten, wenn sie aufgrund eines Tieres verunfallten.

2.1 Vorgehensweise bei der Datenanalyse

Als Grundlage für die deskriptive Auswertung der Unfalldaten dienten jeweils ein Datenabzug der AARU- und der GIDAS-Datenbank. Die Abzüge enthielten Variablen zu den Rahmendaten der Unfälle (z. B. Unfalltyp, Ortslage), zu den beteiligten Personen (z. B. Alter, Geschlecht) sowie zum jeweiligen Unfallgeschehen (z. B. Kollisionsgeschwindigkeiten, Unfallursachen). Anhand der Angaben, ob es zu einem unabsichtlichen Spurverlassen gekommen war, sowie der Informationen aus der Rekonstruktion wurde eine Variable erstellt, die ein Abkommen ins Bankett darstellt. Für die Identifikation eines Unfalls mit einem Tier wurden aus der Kategorie der Sonstigen Unfälle die beiden Unfalltypen ausgewertet, bei denen sich ein Wildtier bzw. ein unbeaufsichtigtes Haustier auf der Straße befand (Unfalltypen 751 und 752). Zusätzlich wurden in der Kategorie Fahrurfälle anhand der Unfallbeschreibung die Unfälle identifiziert, bei denen ein Tier zur Unfallentstehung beigetragen hatte.

Um darstellen zu können, wie die verunfallten Personen in der jeweiligen kritischen Situation reagiert hatten, wurde eine Gesamtreaktionsvariable erstellt. Für diese Variable wurden die Informationen aus den Rekonstruktionsvariablen zu Lenkreaktionen sowie zu Verzögerung bzw. Beschleunigung zusammengeführt. Es handelt sich daher um das objektiv durch die Rekonstruktion dokumentierte Reaktionsmuster und nicht um subjektive Angaben der Beteiligten. Für die Analyse, ob es in bestimmten Unfallkonstellationen zu Standardreaktionen kommt, wurde das Reaktionsmuster für die betreffenden Unfalltypen ausgewertet.

2.2 Stichprobenbeschreibungen

Für die Auswertung der AARU Daten wurden die Unfälle aus dem Zeitraum 1999 bis 2012 herangezogen, die bis Ende Mai 2013 in einer interdisziplinären Fallbesprechung diskutiert worden waren und damit auswertbar zur Verfügung standen. Insgesamt konnten 818 Unfälle mit 1 524 Beteiligten analysiert werden. Als Beteiligte werden dabei nur die Personen bezeichnet, die als Fahrer eines Fahrzeugs oder als Fußgänger am Unfall beteiligt waren. Mitfahrende Personen wurden nicht betrachtet. Die Beteiligten waren im Durchschnitt 39.3 Jahre alt ($SD = 15.1$) und 24.4 % der Beteiligten waren weiblich. 69.7 % der Unfälle ereigneten sich außerorts. Die Unfälle passierten meistens tagsüber (66.9 %), während sich etwa ein Viertel (24.1 %) bei Dunkelheit und 9 % bei Dämmerung ereigneten. Eine Übersicht, aus welchen Unfalltypen sich die AARU Stichprobe zusammensetzte, findet sich in Tabelle 2.1.

Tabelle 2.1: Übersicht der Unfalltypen der AARU und der GIDAS Stichprobe

Unfalltyp	AARU		GIDAS	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
Fahrunfall	279	34.1%	1 863	13.9%
Abbiege-Unfall	129	15.8%	2 269	16.9%
Einbiegen-/Kreuzen-Unfall	159	19.4%	4 020	29.9%
Überschreiten-Unfall	21	2.6%	1 085	8.1%
Unfall durch ruhenden Verkehr	10	1.2%	559	4.2%
Unfall im Längsverkehr	184	22.5%	2 812	20.9%
Sonstiger Unfall	36	4.4%	815	6.1%
Gesamtsumme	818	100.0%	13 423	100.0%

Bei den Unfällen der GIDAS-Datenbank handelt es sich um Unfälle aus dem Zeitraum 2003 bis 2012 (Stand des Datenabzugs 12/2012), die zum Zeitpunkt des Abzugs mit vollständiger Rekonstruktion vorlagen. Von der Gesamtstichprobe, die z. B. auch Unfälle zwischen Radfahrern und Fußgängern beinhaltete, wurden nur die Unfälle als relevant ausgewählt, an denen mindestens ein Pkw beteiligt war. Dies ermöglichte einen besseren Vergleich der GIDAS Daten mit den AARU Daten. Die ausgewertete Stichprobe umfasste deshalb 13 423 Unfälle mit 26 398 Beteiligten. Welche Unfalltypen in der GIDAS Stichprobe enthalten waren, kann Tabelle 2.1 entnommen werden. Im Gegensatz zur AARU Stichprobe ereigneten sich nur 22.9 % der Unfälle außerorts, was jedoch dem Umstand geschuldet ist, dass das Erhebungsgebiet für GIDAS hauptsächlich in den Stadtgebieten von Dresden und

Hannover liegt. Der größte Anteil der Unfälle ereignete sich tagsüber (74.9 %). 17.2 % der Unfälle passierten in der Nacht und 7.9 % in der Dämmerung. Die Beteiligten waren durchschnittlich 40.5 Jahre alt ($SD = 17.5$) und 33.5 % der Personen waren weiblich.

2.3 Reaktionen bei einem Abkommen ins Bankett

Als erstes wurden die Reaktionen der Unfallbeteiligten untersucht, die ins Bankett abgekommen waren. Es zeigte sich, dass ein Abkommen ins Bankett in beiden Stichproben relativ selten war. In der AARU Stichprobe gab es 90 Unfälle (11 % aller Unfälle), bei denen Beteiligte ins Bankett abkamen. In den GIDAS Daten waren es 497 Unfälle (4 % aller Unfälle). In beiden Stichproben kamen weitaus mehr Beteiligte ins rechte Bankett als ins linke Bankett. Der häufigste Unfalltyp war jeweils ein Fahrnfall, wie Abbildung 2.1 für die AARU Daten und Abbildung 2.2 für die GIDAS Daten zeigen.

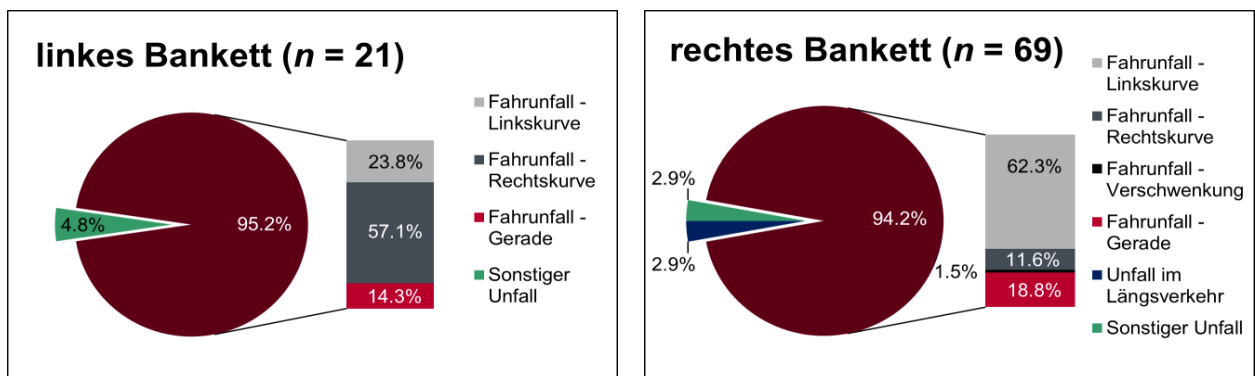


Abbildung 2.1: Unfalltypen, bei denen Beteiligte in der AARU Stichprobe ins Bankett abkamen (90 Unfälle)

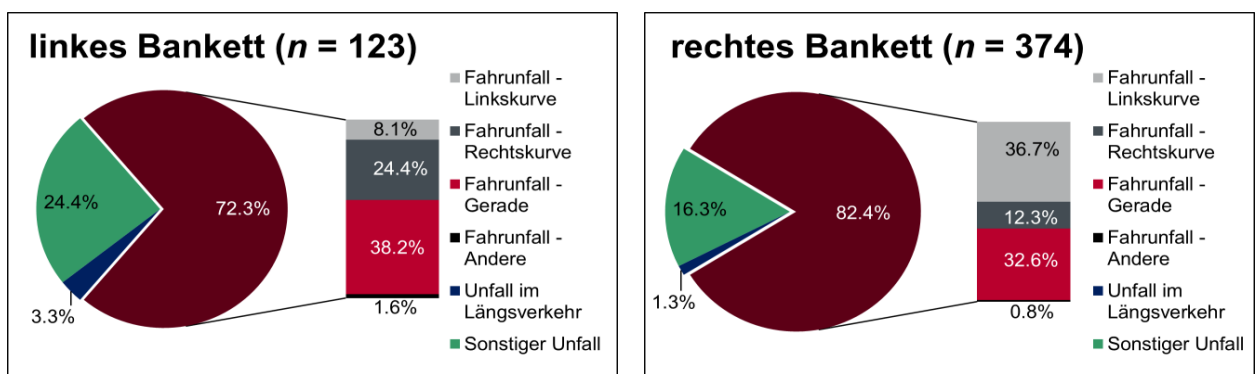


Abbildung 2.2: Unfalltypen, bei denen Beteiligte in der GIDAS Stichprobe ins Bankett abkamen (497 Unfälle)

In der AARU Stichprobe kam es vor allem in Rechtskurven zu einem Abkommen ins linke Bankett, während Beteiligte, die ins rechte Bankett kamen, größtenteils eine Linkskurve

befahren. Bei den Unfällen, die von GIDAS analysiert wurden, zeigte sich dieser Zusammenhang ebenfalls, wenn auch nicht so deutlich, da dort auch ein großer Anteil der Beteiligten auf gerader Strecke ins Bankett kam.

Auf welchen Straßenarten die Beteiligten jeweils abkamen, ist Tabelle 2.2 zu entnehmen. Ein Abkommen ins linke Bankett kam bei den AARU Unfällen hauptsächlich auf Bundesautobahnen vor. Ein Abkommen nach rechts ereignete sich größtenteils auf Landes- und Kreisstraßen. In der GIDAS Stichprobe kamen die meisten Beteiligten auf Landes- und Kreisstraßen sowohl ins rechte als auch ins linke Bankett. Der Unterschied hinsichtlich des linken Banketts ist darauf zurückzuführen, dass im Vergleich zur AARU im Erhebungsgebiet von GIDAS im Verhältnis mehr Landes- und Kreisstraßen und weniger Bundesautobahnen liegen.

Tabelle 2.2: Anteile der Straßenarten bei einem Abkommen ins linke und rechte Bankett in der AARU und in der GIDAS Stichprobe

Straßenart	AARU		GIDAS	
	links <i>n</i> = 21	rechts <i>n</i> = 69	links <i>n</i> = 123	rechts <i>n</i> = 374
Bundesautobahn	47.6%	14.5%	15.4%	8.8%
Bundesstraße	19.0%	20.3%	22.8%	21.7%
Landes-/Kreisstraße	28.6%	46.4%	45.5%	50.8%
Stadtstraße	-	8.7%	14.6%	15.8%
Andere Straße	4.8%	10.1%	1.7%	2.9%

2.3.1 Abkommen ins rechte Bankett

Für ein Abkommen ins rechte Bankett wurde ein Verreißen des Lenkrads nach links als Standardreaktion angenommen, da dies in den Fallanalysen der AARU wiederholt als Reaktion identifiziert wurde. Unter einem Lenkradverreißen wird eine abrupte, übertriebene Richtungskorrektur verstanden. Wie die Beteiligten in der AARU Stichprobe in einer solchen Situation reagierten, ist in Abbildung 2.3 dargestellt. Es zeigte sich, dass ein hoher Anteil der Beteiligten gemäß der postulierten Standardreaktion mit einem Verreißen nach links reagierte, wenn sie ins rechte Bankett kamen (39 %). Viele Beteiligten bremsen dabei zusätzlich zum Verreißen (23 %). Der Anteil der Beteiligten, die nicht lenkten, als sie ins rechte Bankett abkamen war allerdings genauso hoch (39 %) wie der Anteil der Personen, die das Lenkrad verrissen. Während 22 % der Personen zumindest mit einer Bremsung auf das

Abkommen reagierten, auch wenn sie nicht lenkten, reagierten 14 % weder mit einem Lenkversuch noch mit einer Bremsung oder Beschleunigung. Wenige Verunfallte kamen in der Folge des Abkommens in rechte Bankett aufgrund mehrfachen Lenkens ins Schleudern (4 %). Hinsichtlich der Betrachtung der Lenkreaktionen ist zu beachten, dass in 18 % der Unfälle keine Angaben zum Lenken vorlagen. Unabhängig davon, ob auf ein Abkommen ins rechte Bankett mit einem Lenkmanöver reagiert wurde oder nicht, bremsten in Summe 49 % der Beteiligten.

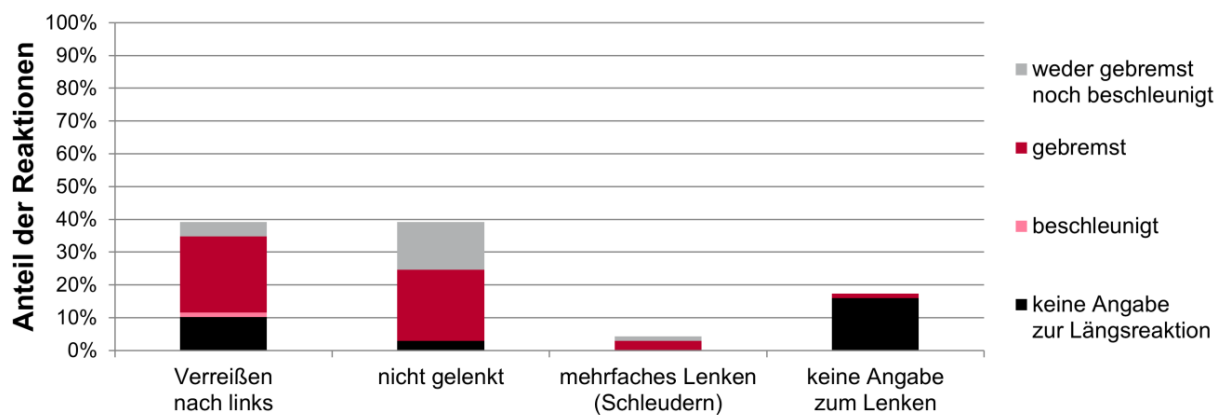


Abbildung 2.3: Reaktionsverhalten bei einem Abkommen ins rechte Bankett in der AARU Stichprobe (69 Unfälle)

Hinsichtlich des Reaktionsverhaltens zeigte sich in den von der AARU analysierten Unfällen, dass auf ein Abkommen ins rechte Bankett hauptsächlich mit einer Bremsung reagiert wurde. Bezüglich eines Lenkmanövers war der Anteil der Personen, die gemäß der postulierten Standardreaktion mit einem Verreißen nach links reagierten, genauso hoch wie der Anteil der Personen, die ohne eine Lenkbewegung verunfallten.

Da für die AARU Daten für jeden Unfallbeteiligten auch die Unfallursachen gemäß der 5-Step-Methode vorlagen, war für diese Unfälle eine detaillierte Aussage hinsichtlich der Unfallentstehung möglich. Dabei zeigte sich, dass sowohl für die Unfälle, bei denen das Lenkrad verrissen wurde, als auch für die Unfälle, bei denen nicht gelenkt wurde, die Ursache für das Abkommen ins Bankett hauptsächlich im Bereich der Informationsaufnahme lag. Von den Personen, die das Lenkrad verrissen, kamen fast zwei Drittel aufgrund eines Fehlers in der Informationsaufnahme ins Bankett. Den größten Anteil daran hatten die Unfälle, die aufgrund einer zu niedrigen Aktivierung der Beteiligten passierten, was oftmals an einer Alkoholisierung der Beteiligten lag. Von den Personen, die bei einem Abkommen nach rechts nicht gelenkt hatten, waren fast drei Viertel von der Fahrbahn abgekommen,

weil es zu einem Fehler in der Informationsaufnahme kam. Davon war ebenfalls der höchste Anteil der Verunfallten nicht aktiviert genug, um zu bemerken, dass sie ins Bankett kamen. Der Hauptgrund für die geringe Aktivierung war in diesen Fällen aber Müdigkeit. Aufgrund der Unfallursachen für die bei der AARU analysierten Unfälle deutet sich an, dass bei einem Abkommen ins rechte Bankett eine Alkoholisierung eher zu einem Verreißen des Lenkrads führt. Müdigkeit hingegen scheint eher dazu zu führen, dass die Personen nicht lenken. Wegen der geringen Fallzahlen kann dieser Trend jedoch nur vermutet werden.

Die Reaktionen der Beteiligten, die in der GIDAS Stichprobe nach einem Abkommen ins rechte Bankett verunfallten, sind in Abbildung 2.4 dargestellt. Es zeigte sich, dass im Vergleich zur AARU Stichprobe weniger Beteiligte mit einem Verreißen nach links reagierten (29 %). 16 % der Beteiligten reagierten sowohl mit Verreißen als auch mit Bremsen auf das Abkommen ins Bankett. Die meisten Beteiligten verunfallten ohne eine Lenkbewegung (71 %). Während viele Beteiligte zumindest bremsen, wenn sie ins Bankett kamen (42 %), reagierte ein Viertel der Beteiligten (25 %) weder mit einem Lenkversuch noch mit einem Bremsen oder Beschleunigen. Unabhängig von einer möglichen Lenkreaktion bremsen somit in Summe 58 % der Beteiligten, wenn sie ins rechte Bankett kamen.

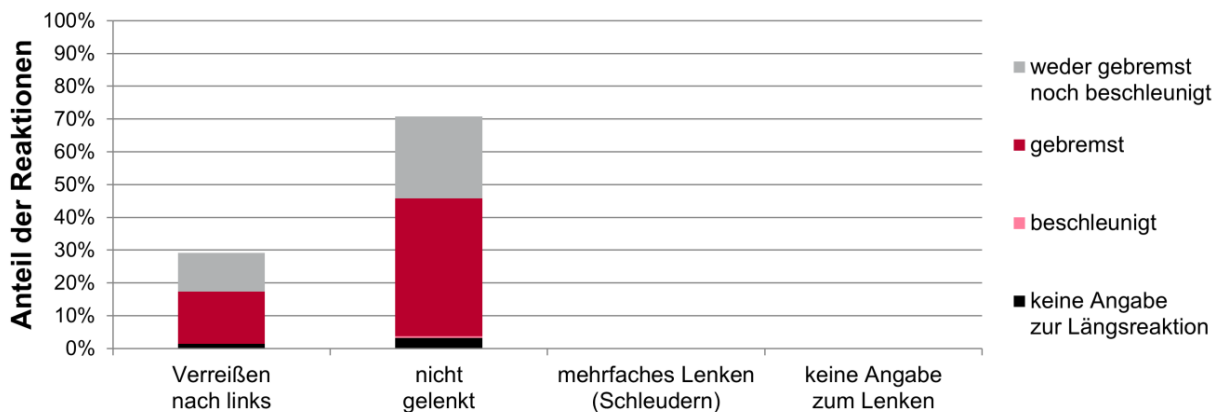


Abbildung 2.4: Reaktionsverhalten bei einem Abkommen ins rechte Bankett in der GIDAS Stichprobe (374 Unfälle)

Insgesamt zeigte sich, dass bei den von GIDAS analysierten Unfällen die Beteiligten ebenfalls hauptsächlich mit einer Bremsung auf ein Abkommen ins rechte Bankett reagierten. Bezüglich eines Lenkmanövers reagierte der größte Anteil der Beteiligten nicht gemäß der postulierten Standardreaktion mit einem Verreißen des Lenkrads nach links.

2.3.2 Abkommen ins linke Bankett

Bei einem Abkommen ins linke Bankett wurde als Standardreaktion ein Verreißen des Lenkrads nach rechts postuliert. Die Reaktionen der Beteiligten aus der AARU Stichprobe auf ein Abkommen nach links sind in Abbildung 2.5 dargestellt. Es zeigte sich, dass fast die Hälfte der Beteiligten gemäß der angenommenen Standardreaktion reagierte und das Lenkrad nach rechts verriss (48 %). Einige Personen bremsten zusätzlich zum Verreißen (19 %). Für 29 % der Personen lag allerdings keine Angabe zur Längsreaktion vor. Der Anteil der Personen, die nicht lenkten, als sie ins linke Bankett kamen, war etwas niedriger (42 %) als der Anteil der Personen, die das Lenkrad verrissen. Dabei reagierten 19 % der Beteiligten zumindest mit einer Bremsung, während genauso viele Beteiligte verunfallten, ohne gelenkt und ohne gebremst oder beschleunigt zu haben (19 %). Mit einem mehrfachen Lenken reagierten nur wenige Personen auf ein Abkommen ins linke Bankett (5 %). Für ebenso viele Personen lag weder eine Angabe hinsichtlich eines Lenkmanövers vor noch hinsichtlich einer Längsreaktion vor (5 %). Unabhängig von einer möglichen Lenkbewegung bremsten in Summe 38 % der Beteiligten. Für die Bewertung der Längsreaktion ist allerdings zu beachten, dass der Anteil der Personen, für die aufgrund der Rekonstruktion keine Angabe zur Längsreaktion gemacht werden konnte, genauso hoch war (38 %).

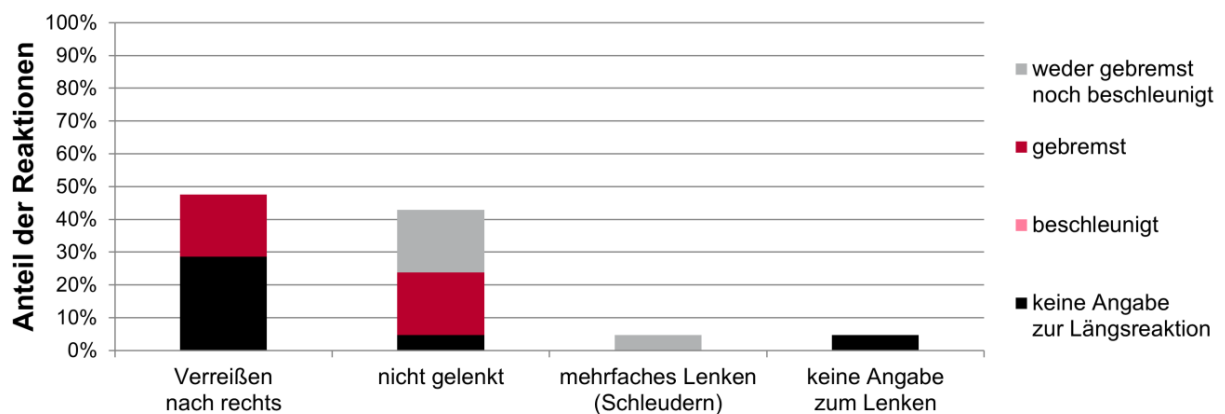


Abbildung 2.5: Reaktionsverhalten bei einem Abkommen ins linke Bankett in der AARU Stichprobe (21 Unfälle)

Insgesamt zeigte sich bei den von der AARU analysierten Unfällen hinsichtlich des Reaktionsverhaltens bei einem Abkommen ins linke Bankett, dass häufig gebremst wurde. Da bei diesen Unfällen der Anteil der fehlenden Angaben zu einer Längsreaktion ungewöhnlich hoch war, kann Bremsen allerdings nicht als Hauptreaktion bezeichnet werden. Den höchsten Anteil machten die Personen aus, die gemäß der postulierten Standardreaktion

auf ein Abkommen ins linke Bankett mit einem Verreißen des Lenkrads nach rechts reagierten.

Die Unfallursachen gemäß der 5-Step-Methode lagen auch bei einem Abkommen nach links für jeweils etwa drei Viertel der Beteiligten bei einem Fehler in der Informationsaufnahme. Für die Beteiligten, die verrissen, konnte allerdings in den meisten Fällen nicht im Detail geklärt werden, warum die Informationsaufnahme nicht geklappt hatte. Bei den Personen ohne Lenkreaktion lag der Grund für die fehlerhafte Informationsaufnahme hauptsächlich in einer zu niedrigen Aktivierung, wobei diese zu gleichem Anteil aufgrund von Müdigkeit und Alkoholisierung zustande kam. Aufgrund dieser Angaben zu den Unfallursachen und aufgrund der geringen Fallzahlen für die einzelnen Einflussfaktoren lässt sich keine Aussage hinsichtlich eines möglichen Zusammenhangs zwischen der Unfallursache und der Reaktionsweise treffen.

Wie die Beteiligten in der GIDAS Stichprobe reagierten, wenn sie ins linke Bankett abkamen, ist in Abbildung 2.6 dargestellt. Mit einem gemäß Standardreaktion postulierten Verreißen des Lenkrads nach rechts reagierte nur knapp ein Drittel der Beteiligten (32 %), so dass dieser Anteil niedriger war als in der AARU Stichprobe. Die meisten Beteiligten reagierten dabei zusätzlich mit einer Bremsung (21 %). Der größte Anteil der Verunfallten lenkte nicht, wenn sie ins linke Bankett kamen (68 %). Während 36 % der Beteiligten bremsten, auch wenn sie nicht lenkten, reagierten 27 % der Beteiligten weder mit Lenken noch mit Bremsen oder Beschleunigen. Unabhängig von einer möglichen Lenkreaktion bremste in Summe über die Hälfte der Personen (57 %) bei einem Abkommen ins linke Bankett.

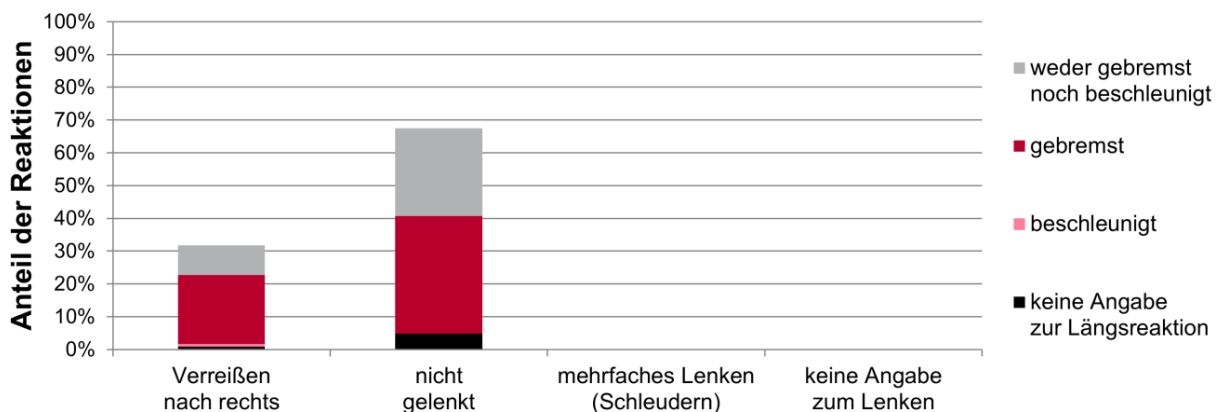


Abbildung 2.6: Reaktionsverhalten bei einem Abkommen ins linke Bankett in der GIDAS Stichprobe (123 Unfälle)

Insgesamt zeigte sich in der GIDAS Stichprobe, dass die Hauptreaktion auf ein Abkommen ins linke Bankett in einer Bremsung bestand. Bezüglich des Lenkverhaltens kam es bei den meisten Beteiligten nicht zu einer gemäß Standardreaktion postulierten Lenkradverreißen nach rechts.

2.3.3 Bewertung des Verhaltens bei einem Abkommen ins Bankett

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein Abkommen ins Bankett in den Unfalldaten relativ selten war. Ein Abkommen resultierte in der Folge dann nicht konsequent in einem Verreißen des Lenkrads. Es gab einen hohen Anteil an Personen, die keine Lenkbewegung ausführten, wenn sie in eine solche Situation kamen. Vor allem in der GIDAS Stichprobe war der Anteil dieser Personen deutlich höher als der Anteil der Personen, die mit einer unkontrollierten Lenkbewegung reagierten. In den AARU Daten zeigte sich, dass mindestens genauso häufig das Lenkrad verrissen wurde, wie es keine Lenkreaktion gab. Es war aber kein eindeutiges Reaktionsmuster zu erkennen. Die landläufige Meinung, die auch bei Unfallforschern vorkommt, dass auf ein Abkommen ins Bankett überwiegend mit einem Lenkradverreißen reagiert werden würde, konnte bei der systematischen Analyse der Unfälle nicht bestätigt werden. Die Betrachtung der Unfallursachen bei den AARU Daten lieferte keinen klaren Rückschluss darauf, wann das Lenkrad verrissen wurde und wann nicht. Daher konnten in den Unfalldaten keine Standardreaktionen bei einem Abkommen ins Bankett festgestellt werden.

2.4 Reaktionen auf Tiere an oder auf der Fahrbahn

2.4.1 Unfälle aufgrund von Tieren an oder auf der Fahrbahn

Unfälle mit einem Tier oder aufgrund eines Tieres waren in den analysierten Unfalldaten sehr selten. In der AARU Stichprobe gab es 15 derartige Unfälle, bei GIDAS waren es 51 Unfälle. Auf der Grundlage der Einzelfallbeispiele aus den AARU Fallbesprechungen wurde vermutet, dass es als Standardreaktion zu einem Ausweichversuch kommt, wenn eine Kollision mit einem Tier droht, obwohl es besser wäre, keine Lenkbewegung auszuführen, um das Fahrzeug stabil zu halten. Außerdem wurde angenommen, dass bei einer Bewegung des Tieres in die Richtung gelenkt wird, in die sich das Tier bewegt. Um das Reaktionsverhalten der Verunfallten bei einem möglichen Ausweichversuch deshalb zusätzlich hinsichtlich der gewählten Ausweichrichtung beurteilen zu können, sollte die Bewegungsrichtung

des Tieres bekannt sein. Es musste allerdings festgestellt werden, dass Informationen zur Bewegungsrichtung der Tiere nicht in jedem analysiertem Unfall dokumentiert waren. In manchen Fällen war nicht einmal bekannt, ob das Tier sich überhaupt bewegt hatte. Deshalb werden in Abbildung 2.7 fünf verschiedene Unfallkonstellationen unterschieden. Die Unfälle aus der AARU Stichprobe sind dabei auf der linken Seite angeordnet und stehen den gleichartigen Unfällen aus der GIDAS Stichprobe gegenüber.

In den Unfällen, bei denen sich ein Tier von rechts nach links bewegte, reagierten die meisten Beteiligten gemäß der postulierten Standardreaktion mit einem Ausweichversuch nach links. In der AARU Stichprobe reagierten alle Beteiligten so, wobei es sich dabei nur um zwei Beteiligte handelte. In der GIDAS Stichprobe, in der es 16 derartige Unfällen gab, lenkten zehn Beteiligte (63 %) nach links, also in die Bewegungsrichtung des Tieres. Neun dieser Beteiligten reagierten mit einer Kombination aus Lenken und Bremsen. 25 % der Beteiligten (4 Personen) unternahmen keinen Ausweichversuch, wobei drei von ihnen weder lenkten noch bremsten oder beschleunigten, wenn sich ein Tier von rechts nach links über die Fahrbahn bewegte.

Dass ein Unfall passierte, weil ein Tier von links nach rechts über die Fahrbahn lief, war in der AARU Stichprobe zweimal der Fall, während bei GIDAS vier Beteiligte deshalb verunfallten. In der AARU Stichprobe reagierten beide Beteiligte mit einer Bremsung. Während der eine gemäß der postulierten Standardreaktion nach rechts auswich, machte der andere keinen Ausweichversuch. In der GIDAS Stichprobe wichen drei Beteiligte nach rechts aus, während der vierte keinen Ausweichversuch unternahm.

Bei den Unfällen, in denen sich das Tier bewegte, aber keine Information zur Bewegungsrichtung des Tieres vorhanden war, wurde in der AARU Stichprobe gemäß der postulierten Standardreaktion immer ausgewichen. Vier der insgesamt fünf Beteiligten bremsten zusätzlich. Drei Personen (60 %) lenkten nach links und zwei Personen nach rechts. In der GIDAS Stichprobe wurde auch häufig ausgewichen. Insgesamt lenkten sieben der elf Beteiligten, die eine solche Situation erlebten. Vier Personen (36 %) wichen nach links aus und drei Personen nach rechts. Allerdings gab es in drei Fällen keine Angabe zum Ausweichverhalten. In Summe reagierten fast drei Viertel der Beteiligten bei GIDAS mit einer Bremsung, wenn sich ein Tier über die Straße bewegte, aber nicht bekannt war, in welche Richtung sich das Tier bewegte.

Dass sich ein Tier auf der Fahrbahn befand, das sich nicht bewegte, und es deshalb zum Unfall kam, war in der AARU Stichprobe dreimal und in der GIDAS Stichprobe zweimal der

Fall. Während bei der AARU zwei Personen mit einer Ausweichbewegung nach rechts in Kombination mit einer Bremsung reagierten, unternahm die dritte Person weder einen Ausweichversuch noch bremste oder beschleunigte sie. In der GIDAS Stichprobe bremste die eine Person ohne zu lenken, während die andere Person einen Ausweichversuch nach links machte, aber nicht bremste oder beschleunigte.

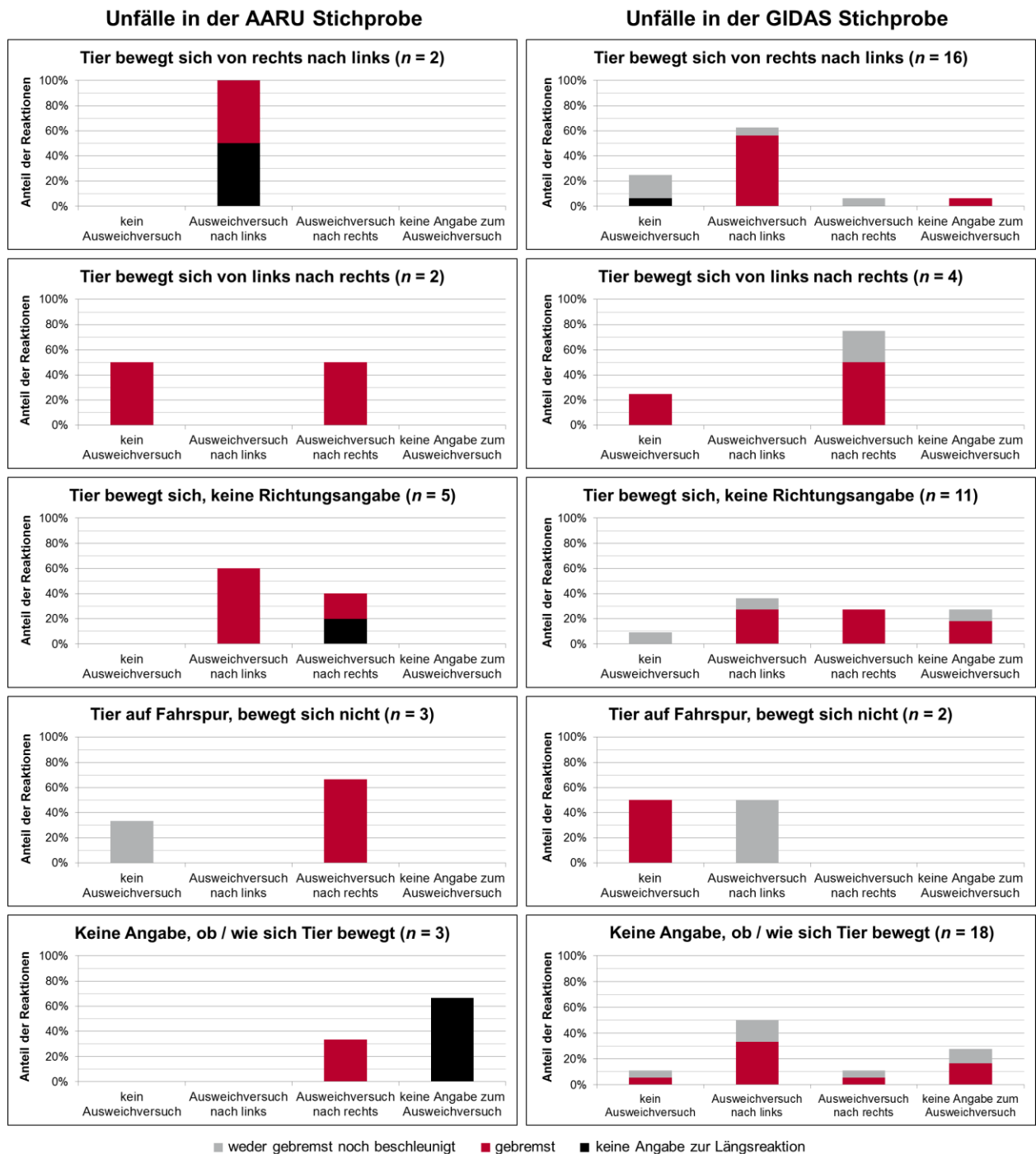


Abbildung 2.7: Reaktionsverhalten bei Tieren an oder auf der Fahrbahn in der AARU Stichprobe (links, 15 Unfälle) und in der GIDAS Stichprobe (rechts, 51 Unfälle)

In der AARU Stichprobe war bei drei Unfällen nicht klar, ob bzw. wie sich das Tier bewegte. In der GIDAS Stichprobe war dies bei 18 Unfällen der Fall. Bei der AARU gab es in zwei Fällen weder Angaben zur Ausweichbewegung noch zur Längsreaktion. Im dritten Unfall kam es zu einer Ausweichbewegung nach rechts in Kombination mit einer Bremsung. Bei GIDAS kam es bei der Hälfte der Unfälle zu einer Ausweichbewegung nach links. Für über ein Viertel der Beteiligten (28 %) lagen jedoch keine Angaben zu einer Ausweichbewegung vor. Unabhängig von einer möglichen Ausweichreaktion bremsten insgesamt elf Beteiligte (61 %).

2.4.2 Bewertung des Verhaltens bei Tieren an oder auf der Fahrbahn

Eine allgemeine Aussage, wie sich Beteiligte verhalten, wenn sich ein Tier an oder auf der Fahrbahn befindet, ist aufgrund der geringen Unfallzahlen nicht möglich. Außerdem waren die dokumentierten Unfälle bezüglich der Bewegungsrichtung des Tieres sehr inhomogen. Es zeigte sich jedoch, dass sehr oft gemäß der postulierten Standardreaktion mit einem Ausweichmanöver reagiert wurde, häufig in Kombination mit einer Bremsung. Hinsichtlich der Lenkrichtung lässt sich die Tendenz erkennen, dass bei einer Bewegung des Tieres tatsächlich in dessen Bewegungsrichtung gelenkt wird. Die Vermutung, dass bei Unfällen mit bzw. wegen Tieren standardmäßig mit einem Ausweichversuch reagiert wird, konnte nicht widerlegt, aber aufgrund der niedrigen Fallzahlen auch nicht bestätigt werden.

2.5 Reaktionen bei Vorfahrtsmissachtungen

Abschließend wurden die Reaktionen der Unfallbeteiligten untersucht, denen in einer Kreuzungssituation die Vorfahrt genommen wurde. Es können dabei drei Arten von Vorfahrtsmissachtungen unterschieden werden: Aus Sicht des Bevorrechtigten kann die Vorfahrt von rechts, von links oder aus dem Gegenverkehr kommend missachtet werden. Diese Sichtweise resultiert in verschiedenen Unfalltypen, die für die Auswertung herangezogen wurden und die in Abbildung 2.8 dargestellt sind. Für die Auswertung wurde jeweils das Reaktionsverhalten des Bevorrechtigten betrachtet. Bezüglich der möglichen Standardreaktionen wurde angenommen, dass die Bevorrechtigten bei einem Ausweichversuch in die Bewegungsrichtung des Vorfahrtnehmenden lenkten.

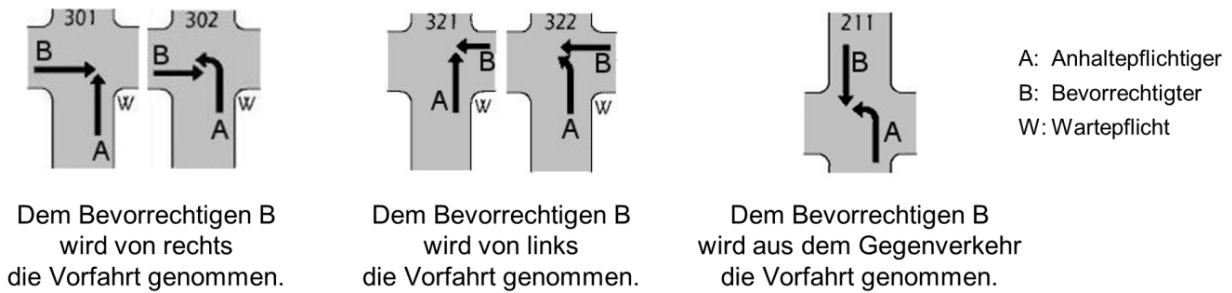


Abbildung 2.8: Ausgewertete Unfalltypen bei Vorfahrtsmissachtungen (Grafiken nach: GDV, 1998)

2.5.1 Vorfahrtsmissachtung von rechts

Bei einer Vorfahrtsmissachtung von rechts (Unfalltypen 301 und 302) wurde als Standardreaktion für den Bevorrechtigten ein Ausweichen nach links angenommen. In der AARU Stichprobe gab es 95 Unfälle, bei denen einem Bevorrechtigten von rechts die Vorfahrt genommen wurde. In Abbildung 2.9 sind die Reaktionen der Bevorrechtigten dargestellt.

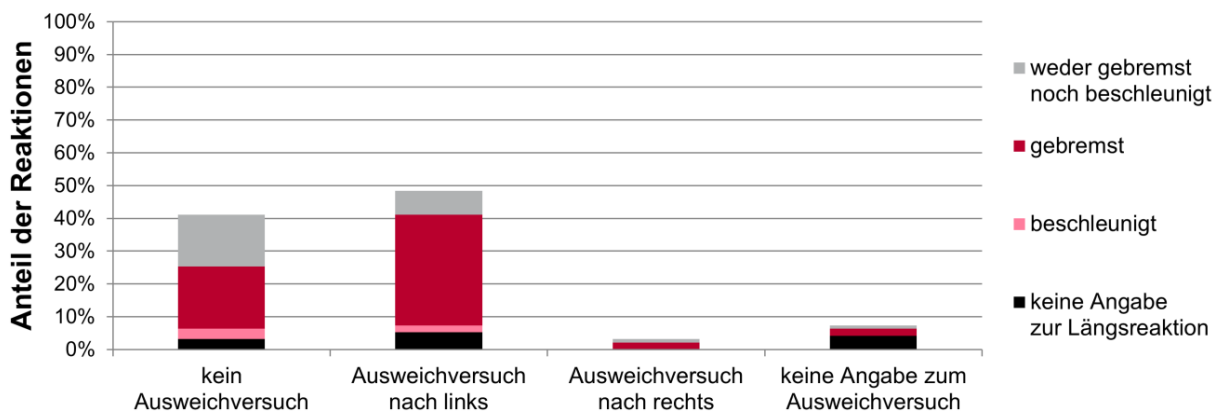


Abbildung 2.9: Reaktionsverhalten der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts in der AARU Stichprobe (95 Unfälle)

Es zeigte sich, dass ein hoher Anteil der Unfallbeteiligten im Sinne der postulierten Standardreaktion nach links lenkte (48 %). Dies erfolgte meist in Kombination mit einer Bremsung (34 %). Einige Personen wichen nur nach links aus, ohne zusätzlich zu bremsen oder zu beschleunigen (7 %). Einen Ausweichversuch nach rechts, also entgegen der Bewegungsrichtung des Vorfahrtnehmers, unternahmen nur sehr wenige Bevorrechtigte (3 %). Darüber hinaus gab es einen hohen Anteil an Bevorrechtigten, die keinen Ausweichversuch unternahmen (41 %). Dabei reagierten 19 % der Beteiligten mit einer Bremsung. Etwas weniger Personen kollidierten mit dem Unfallverursacher, ohne ausgewichen zu sein und ohne

gebremst oder beschleunigt zu haben (16 %). In 8 % der Fälle konnte in der Rekonstruktion keine Angabe zum Ausweichversuch gemacht werden. Unabhängig davon, ob ausgewichen wurde oder nicht, reagierte in Summe mehr als die Hälfte der Beteiligten mit einer Bremsung (57 %).

Insgesamt stellte Bremsen bei den von der AARU analysierten Unfällen die Hauptreaktion dar, wenn einem Bevorrechtigten an einer Kreuzung von rechts die Vorfahrt genommen wurde. Wenn die Bevorrechtigten eine Ausweichbewegung machten, lenkten sie gemäß der postulierten Standardreaktion tatsächlich überwiegend nach links.

In den GIDAS Daten lagen 1 180 Unfälle aufgrund einer Vorfahrtsmissachtung von rechts vor. Die Reaktionen der Bevorrechtigten sind Abbildung 2.10 zu entnehmen.

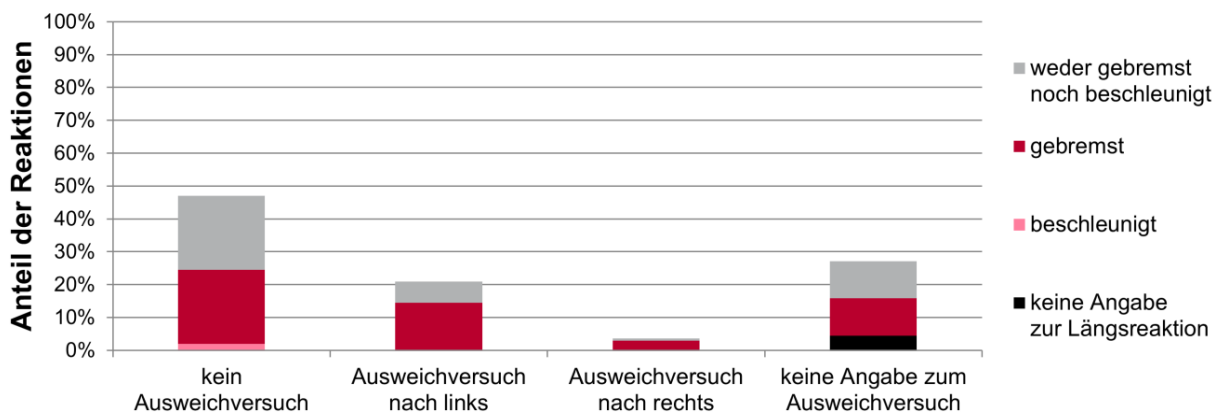


Abbildung 2.10: Reaktionsverhalten der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts in der GIDAS Stichprobe (1 180 Unfälle)

Im Vergleich zur Stichprobe der AARU war der Anteil der Personen, die gemäß der vermuteten Standardreaktion ein Ausweichverhalten nach links zeigten, deutlich geringer (21 %). Die meisten Personen reagierten dabei zusätzlich mit einer Bremsung (14 %), während 7 % nur nach links lenkten und nicht zusätzlich bremsten oder beschleunigten. Eine Lenkbewegung nach rechts machten nur sehr wenige Personen (4 %). Fast die Hälfte der Bevorrechtigten (48 %) unternahm keinen Ausweichversuch, wobei von 23 % der Beteiligten zumindest gebremst wurde. Allerdings kollidierte ein ebenso großer Anteil, ohne einen Ausweichversuch und ohne eine Bremsung oder eine Beschleunigung vorgenommen zu haben (23 %). Bei der Betrachtung der möglichen Ausweichreaktionen muss allerdings beachtet werden, dass in mehr als einem Viertel der Fälle (27 %) aus der Rekonstruktion keine Angabe zum Ausweichversuch vorlag. Es wäre denkbar, dass einige dieser Beteiligten mit einem Ausweichversuch nach links reagiert hatten, obwohl dies von der Rekonstruktion

nicht abgebildet werden konnte. Unabhängig von einer möglichen Ausweichbewegung zeigte sich, dass in Summe über die Hälfte der Beteiligten bremste (51 %).

Auch in den GIDAS Daten war Bremsen insgesamt die Hauptreaktion der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts. Ebenso zeigte sich, dass gemäß der postulierten Standardreaktion hauptsächlich nach links gelenkt wurde, wenn es zu einer Ausweichbewegung kam.

2.5.2 Vorfahrtsmissachtung von links

Wenn einem Beteiligten bei einem Unfall die Vorfahrt von links genommen wurde (Unfalltypen 321 und 322), wurde eine Ausweichbewegung nach rechts als Standardreaktion angenommen. In der AARU Stichprobe gab es 50 Unfälle aufgrund einer Vorfahrtsmissachtung von links. Wie die Bevorrechtigten in diesen Situationen reagierten, ist Abbildung 2.11 zu entnehmen.

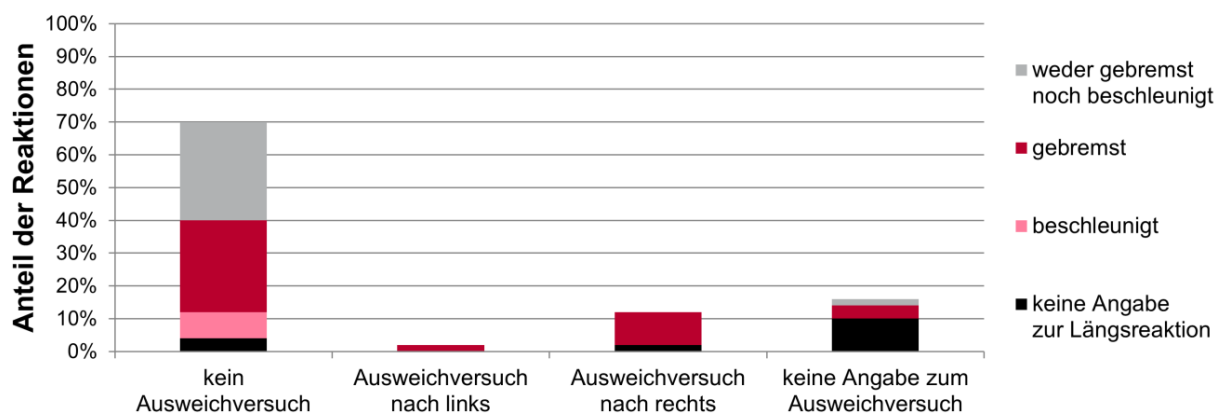


Abbildung 2.11: Reaktionsverhalten der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung von links in der AARU Stichprobe (50 Unfälle)

Es zeigte sich, dass nur selten gemäß der postulierten Standardreaktion nach rechts ausgewichen wurde (12 %). Wenn die Beteiligten nach rechts lenkten, dann meistens in Kombination mit einer Bremsung (10 %). Ein Ausweichversuch nach links, entgegen der Bewegungsrichtung des Unfallverursachers, war sehr selten (2 %). Der größte Anteil der Bevorrechtigten unternahm keinen Ausweichversuch (70 %). Fast jeder dritte Beteiligte wich weder aus noch bremste oder beschleunigte er (30 %). Beinahe ebenso viele Personen bremsten zumindest, auch wenn sie keine Ausweichbewegung machten (28 %). In 16 % der Unfälle lag aus der Rekonstruktion keine Information hinsichtlich eines möglichen

Ausweichversuchs vor. Unabhängig davon, ob es einen Ausweichversuch gab oder nicht, lag der Anteil der Bevorrechtigten, die bremsen, in Summe bei 44 %.

Insgesamt war Bremsen auch bei den von der AARU analysierten Unfällen mit einer Vorfahrtsmissachtung von links die Hauptreaktion der Bevorrechtigten. Wenn es zu einer Ausweichbewegung kam, wurde gemäß der postulierten Standardreaktion hauptsächlich nach rechts gelenkt.

In der GIDAS Stichprobe kam es in 903 Unfällen zu einer Vorfahrtsmissachtung von links. Wie die Bevorrechtigten in diesen Fällen reagierten, zeigt Abbildung 2.12.

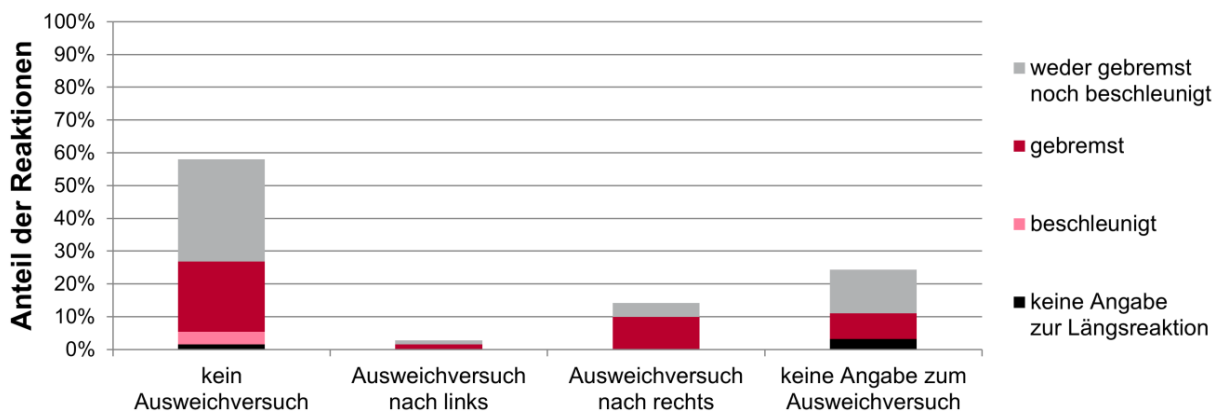


Abbildung 2.12: Reaktionsverhalten der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung von links in der GIDAS Stichprobe (903 Unfälle)

Der Anteil der Personen, die gemäß der vermuteten Standardreaktion nach rechts lenkten, lag mit 15 % höher als in der AARU Stichprobe. Oftmals erfolgte ein solcher Ausweichversuch nach rechts in Kombination mit einer Bremsung (10 %), während 5 % nur nach rechts auswichen, ohne zusätzlich zu bremsen oder zu beschleunigen. Ein Ausweichversuch nach links wurde nur von sehr wenigen Personen vorgenommen (3 %). Den größten Anteil machten die Bevorrechtigten aus, die keinen Ausweichversuch unternahmen (58 %). Dabei reagierten zumindest 21 % der Beteiligten mit einer Bremsung, während mehr Personen weder mit einem Ausweichen noch mit einer Bremsung oder Beschleunigung reagierten (31 %). In knapp einem Viertel der Unfälle (24 %) war auf Grundlage der Rekonstruktion keine Angabe zum Ausweichversuch möglich. Hinsichtlich einer Längsreaktion, unabhängig von einer möglichen Ausweichreaktion, zeigte sich, dass in Summe 41 % der Bevorrechtigten bremsen, wenn ihnen von links die Vorfahrt genommen wurde.

Insgesamt stellte Bremsen bei den von GIDAS analysierten Unfällen ebenfalls die Hauptreaktion der Bevorrechtigten dar. Wenn die Bevorrechtigten bei einer Vorfahrtsmissachtung

von links mit einer Ausweichbewegung reagierten, lenkten sie gemäß der angenommenen Standardreaktion überwiegend nach rechts.

2.5.3 Vorfahrtsmissachtung aus dem Gegenverkehr

Für den Fall, dass einem Bevorrechtigten von einem entgegenkommenden Linksabbieger die Vorfahrt genommen wurde (Unfalltyp 211), wurde als Standardreaktion ein Ausweichversuch nach rechts postuliert. In der AARU Stichprobe gab es 97 Unfälle aufgrund einer derartigen Vorfahrtsmissachtung aus dem Gegenverkehr. Wie die Bevorrechtigten jeweils reagierten, ist in Abbildung 2.13 dargestellt.

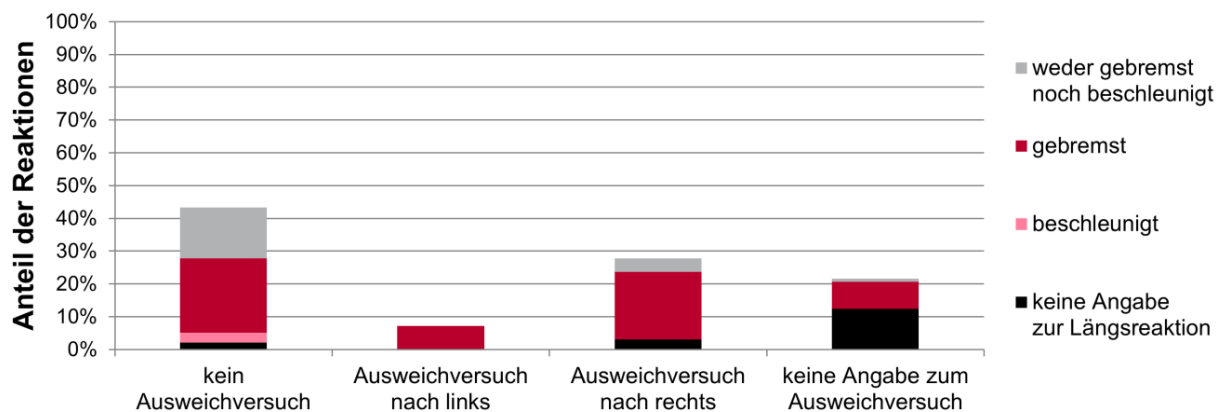


Abbildung 2.13: Reaktionsverhalten der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung aus dem Gegenverkehr in der AARU Stichprobe (97 Unfälle)

Es zeigte sich, dass über ein Viertel der Bevorrechtigten gemäß der angenommenen Standardreaktion nach rechts auswich (28 %). Die meisten Personen bremsten dabei zusätzlich (21 %), während 4 % der Bevorrechtigten nur nach rechts auswichen, ohne zu bremsen oder zu beschleunigen. Einen Ausweichversuch nach links unternahmen nur wenige Beteiligte (7 %). Den größten Anteil machten die Bevorrechtigten aus, die keinen Ausweichversuch vornahmen, als ihnen aus dem Gegenverkehr die Vorfahrt genommen wurde (43 %). Während 23 % der Bevorrechtigten zumindest bremsten, kollidierten 15 % ohne einen Ausweichversuch und ohne eine Bremsung oder Beschleunigung vorgenommen zu haben. Bei der Betrachtung der Ausweichreaktionen muss berücksichtigt werden, dass in etwas über einem Fünftel der Unfälle (22 %) auf Grundlage der Rekonstruktion keine Angabe hinsichtlich einer möglichen Ausweichbewegung vorlag. Unabhängig davon, ob ausgewichen wurde oder nicht, reagierte in Summe deutlich über die Hälfte der Beteiligten mit einer Bremsung (59 %).

Auch bei einer Vorfahrtsmissachtung aus dem Gegenverkehr kam es bei den von der AARU analysierten Unfällen als Hauptreaktion zu einer Bremsung. Wenn es zu einer Ausweichbewegung kam, lenkten die Bevorrechtigten gemäß der postulierten Standardreaktion hauptsächlich nach rechts.

In der GIDAS Stichprobe lagen 839 Unfälle aufgrund einer Vorfahrtsmissachtung aus dem Gegenverkehr vor. Die Verteilung der Reaktionen der Bevorrechtigten in diesen Unfällen ist in Abbildung 2.14 dargestellt. Im Vergleich zur AARU Stichprobe reagierten weniger Bevorrechtigte gemäß der postulierten Standardreaktion mit einem Ausweichversuch nach rechts (20 %). Die meisten Personen reagierten dabei mit einer Kombination aus Lenken und Bremsen (16 %), während 4 % nur nach rechts lenkten, ohne zu bremsen oder zu beschleunigen. Ein Ausweichversuch nach links wurde sehr selten vorgenommen (5 %). Fast die Hälfte der Beteiligten unternahm keinen Ausweichversuch, wenn ihnen aus dem Gegenverkehr die Vorfahrt genommen wurde (48 %). Dabei bremsten zumindest 26 % der Beteiligten, während etwas weniger Personen weder auswichen noch bremsten oder beschleunigten (20 %). Bezüglich einer möglichen Ausweichreaktion lag allerdings in über einem Viertel der Unfälle (27 %) keine Angabe vor. Unabhängig von einer möglichen Ausweichreaktion zeigte sich hinsichtlich der Längsreaktion, dass in Summe über die Hälfte der Beteiligten bremste (56 %), wenn ihnen aus dem Gegenverkehr die Vorfahrt genommen wurde.

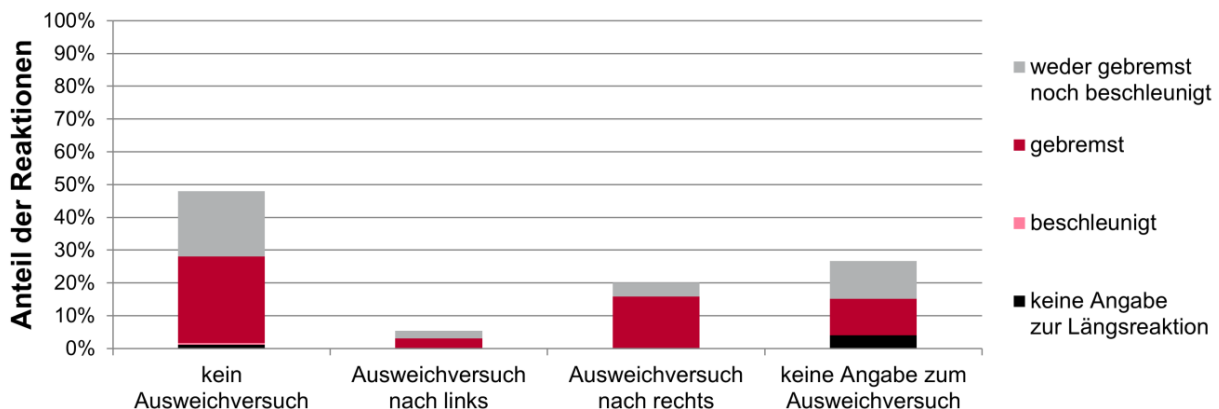


Abbildung 2.14: Reaktionsverhalten der Bevorrechtigten auf eine Vorfahrtsmissachtung aus dem Gegenverkehr in der GIDAS Stichprobe (839 Unfälle)

Auch bei den Unfällen der GIDAS Stichprobe, die aufgrund einer Vorfahrtsmissachtung aus dem Gegenverkehr passiert waren, stellte sich Bremsen als Hauptreaktion heraus. Wenn

Bevorrechtigte mit einem Ausweichversuch auf die Vorfahrtsmissachtung reagierten, lenkten sie gemäß der postulierten Standardreaktion hauptsächlich nach rechts.

2.5.4 Bewertung des Verhaltens bei Vorfahrtsmissachtungen

Die postulierten Standardreaktionen, dass die Bevorrechtigten bei einem Ausweichversuch in die Bewegungsrichtung des Vorfahrtnehmers und somit in die Gefahr lenken, zeigten sich im Unfallgeschehen in Kreuzungsszenarien sowohl in den AARU Daten als auch in den GIDAS Daten. Bei allen betrachteten Unfalltypen war der Anteil der Personen, die nicht ausgewichen waren, zwar sehr hoch, aber wenn ausgewichen wurde, dann hauptsächlich in die Bewegungsrichtung des Unfallverursachers. Hinsichtlich der Ausweichmanöver ist für die GIDAS Daten jedoch zu beachten, dass in allen Kreuzungsszenarien in jeweils ca. einem Viertel der Fälle keine Angaben zu einem möglichen Ausweichmanöver vorlagen. In den AARU Daten trat ein Ausweichen in die Bewegungsrichtung des Unfallverursachers vor allem dann auf, wenn die Vorfahrtsmissachtung von rechts erfolgte (Unfalltypen 301 und 302). Dies lässt vermuten, dass es umso eher zu einer Ausweichbewegung in die Gefahr kommt, je mehr vermeintlicher Platz zum Ausweichen vorhanden ist. Bei einer Vorfahrtsmissachtung von rechts steht links aufgrund der Gegenspur optisch viel freie Manövrierfläche zur Verfügung. Dies ist in den Situationen, in denen der Unfallgegner von links oder aus dem Gegenverkehr kommt, für ein mögliches Ausweichen auf die rechte Straßenseite nicht in der Art der Fall. Insgesamt betrachtet bestand die Hauptreaktion in allen Szenarien unabhängig von einer möglichen Ausweichbewegung jedoch immer in einer Bremsung.

2.6 Abschließende Bewertung zu Standardreaktionen im Unfallgeschehen

Die systematische Analyse der Unfalldaten diente dazu, Standardreaktionen im Unfallgeschehen zu identifizieren. Die Vermutung, dass ein Abkommen ins Bankett standardmäßig ein Verreißen des Lenkrads zur Folge hat, konnte nicht bestätigt werden. Es zeigte sich kein Zusammenhang zwischen Unfallursache und einer bestimmten Reaktionsweise. Dies deckt sich mit den Befragungsergebnissen von Gründl (2005) und Staubach (2010). Sie berichteten von einzelnen Unfällen aufgrund einer heftigen Lenkreaktion, konnten aber keinen systematischen Zusammenhang beschreiben. Daher kann nicht von einer Standardreaktion ausgegangen werden, wenn Personen mit ihrem Fahrzeug ins Bankett kommen.

Für Unfälle, die sich aufgrund eines Tieres ereignen, wurde postuliert, dass die Beteiligten anstatt das Lenkrad gerade zu halten eher mit einem Ausweichmanöver reagieren. Es zeigte sich in der Analyse, dass tatsächlich sehr viele Beteiligte mit einem Lenkmanöver auf ein Tier reagierten, was für eine Standardreaktion sprechen würde. Aufgrund der geringen Fallzahlen und der Inhomogenität der möglichen Unfallkonstellationen kann aber keine allgemeingültige Aussage abgeleitet werden. In der Interviewstudie von Bartl und Hager (2006) gab die Mehrheit der Verunfallten an, nicht gelenkt zu haben. Möglicherweise zeigte sich dabei ein Effekt der Kampagnen zur Vermeidung von Wildunfällen, wie sie beispielsweise immer wieder vom ADAC oder vom TÜV initiiert werden. In einem Informationsblatt vom TÜV SÜD (2007) wurde beispielsweise als beste Reaktionsweise eine Vollbremsung ohne ein Ausweichen empfohlen, da ein Ausweichmanöver häufig schlimme Folgen nach sich ziehen würde.

Im Gegensatz zu den Unfällen, die sich wegen eines Abkommens ins Bankett oder aufgrund eines Tieres ereigneten, deuteten die analysierten Kreuzungsunfälle auf Standardreaktionen im Unfallgeschehen hin. Besonders deutlich wurde das Ausweichen in die Gefahr, wenn einem Bevorrechtigten von rechts die Vorfahrt genommen wurde. In diesem Fall lenkte ein großer Anteil der Betroffenen in die Bewegungsrichtung des kreuzenden Fahrzeugs. Dies deckt sich mit bisherigen Studien (Kramer & Israel, 2014; Lechner & Malaterre, 1991; McGehee et al., 1999). Allerdings ermöglichen die Unfalldaten keine exakte Aussage über die Unfallentstehung, die sogenannte Pre-Crash-Phase. Es werden in der Rekonstruktion auf Grundlage der Kollisionsgeschwindigkeit nur Annahmen getroffen, wie sich das kreuzende Fahrzeug kurz vor der Kollision verhielt, z. B. mit welcher Beschleunigung es in den Kreuzungsbereich einfuhr. Anhand der Informationen aus den Unfallursachen gemäß der 5-Step-Methode zeigte sich, dass über zwei Drittel der Unfallverursacher den Querverkehr nicht wahrnahmen und deshalb ohne weitere Reaktion in die Kreuzung einfuhren. In diesen Fällen wäre aus Sicht der Bevorrechtigten ein Ausweichen nach rechts sinnvoll gewesen, weil sich die Unfallverursacher nach links weiterbewegten. Ein unfallvermeidendes Lenken in diese Richtung wurde aber nur sehr selten umgesetzt. Darüber hinaus war der Anteil der Personen beachtlich, die keinen Ausweichversuch unternahmen. Deshalb stellt sich die Frage, ab wann es zu einem Ausweichen in die Gefahr kommt und ob es Konstellationen gibt, in denen erkannt wird, dass die Kollision durch ein Ausweichen entgegen der Bewegungsrichtung des kreuzenden Fahrzeugs vermeidbar ist.

3 Erklärungsansätze für Standardreaktionen

Welche Mechanismen für die Entstehung von Standardreaktionen in Kreuzungssituationen verantwortlich sein können, wird im Folgenden dargestellt. Ausgehend von der notwendigen Informationsverarbeitung als Grundlage für das Verhalten im normalen Straßenverkehr liegt der Fokus auf der Gefahrenkognition und der daraus resultierenden Handlungsumsetzung.

3.1 Wahrnehmung im Straßenverkehr

3.1.1 Grundlagen der Wahrnehmung

Unter Wahrnehmung versteht man „die psychische Funktion, die es dem Organismus ermöglicht, mithilfe seiner Sinnesorgane Informationen aus der Innen- und Außenwelt aufzunehmen und zu verarbeiten“ (Schaub, 2012, S. 61). Die menschliche Wahrnehmung bezieht sich dabei primär auf die klassischen fünf Sinnesmodalitäten.

Der größte Anteil der verkehrsrelevanten Informationen wird visuell wahrgenommen (Johannsen, 2006). Schlag, Petermann, Weller und Schulze (2009) gingen davon aus, dass dies bis zu 90 % sind. Möhler (2008) betonte dabei den hohen Bedarf an kognitiver Leistung, da der gesamte visuelle Wahrnehmungsprozess bis zur Reizinterpretation und der Umsetzung einer Handlung über 60 % der kognitiven Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns beansprucht. Dieser bewussten Verarbeitung steht der unbewusste visuelle Reflex gegenüber, der zum einen die Blickzuwendung steuert und zum anderen das Auslösen von Schutzreflexen ermöglicht (Möhler, 2008).

3.1.2 Bewegungswahrnehmung

Das Sichtfeld eines Menschen deckt bis zu 180° ab. Dabei beschränkt sich der Bereich des scharfen Sehens auf ca. 2° (Kluwe, 2006). Die Elemente, die in diesem zentralen Bereich wahrgenommen werden, führen zu einer bewussten Verarbeitung des Gesehenen (Schroiff, 1983). Informationen aus dem peripheren Gesichtsfeld dienen vor allem der Orientierung im Raum und der Bewegungswahrnehmung (Abendroth & Bruder, 2015; Johansson, 1976; Johansson, von Hofsten & Jansson, 1980; Möhler, 2008; Schlag et al., 2009). Mit steigender Eigengeschwindigkeit wird allerdings das nutzbare Sichtfeld für die periphere Wahrnehmung kleiner. Bei 70 km/h beträgt es beispielsweise nur noch 75° (OECD/ECMT, 2006). Neben der Eigenbewegung werden auch Fremdbewegungen wahrgenommen. Kreuzen

sich die eigenen Bewegungsbahnen mit denen der Fremdbewegung, so kann es zu Schutzreflexen kommen, beispielsweise einem unwillkürlichen Ausweichversuch. Darüber hinaus kommt es zu einer Blickzuwendung auf das auslösende Objekt (Möhler, 2008; Schlag et al., 2009).

Johansson (1973) konnte zeigen, dass bereits sehr wenige Referenzpunkte ausreichen, um selbst komplexe Bewegungsmuster zu erkennen. Für die Bewegungswahrnehmung eines Objekts ist die Zeit ein entscheidender Faktor (Johansson, 1978; Johansson et al., 1980), da durch die Bewegung über die Zeit ein optischer Fluss entsteht (Beusmans, 1998). Im peripheren Sichtfeld genügen Positionsveränderungen von 10°/s bis 20°/s, um Geschwindigkeit wahrzunehmen (Aubert, 1886, zitiert nach Johansson, 1978). Eine Geschwindigkeitsveränderung um 2.5 % ist bereits ausreichend, um vom Menschen als Beschleunigung oder Verzögerung wahrgenommen zu werden (Hick, 1950, zitiert nach Johansson, 1978). Die Relativgeschwindigkeit des kreuzenden Objekts wirkt sich dabei auf die Wahrnehmbarkeit aus: schnelle Bewegungen erzeugen einen höheren Kontrast und sind dadurch besser wahrnehmbar als langsame (Schlag et al., 2009).

Durch den Wahrnehmungsprozess ist es dem Fahrer möglich, Informationen aus der Umwelt zu erfassen und mit dieser zu interagieren. Neben den Informationen, die objektiv in der Umwelt zur Verfügung stehen, ist auch die subjektive Repräsentation der Umwelt von Bedeutung, die von verschiedenen Faktoren abhängen kann (Schlag et al., 2009). Da eine Vielzahl an objektiven Informationen vorhanden ist und die Kapazität der menschlichen Informationsverarbeitung beschränkt ist, muss die Aufmerksamkeit über sinnvolle Selektion auf die relevanten Inhalte gelenkt werden.

3.2 Situationsbewusstsein

3.2.1 Rahmenmodell des Situationsbewusstseins

Mit dem Begriff der Aufmerksamkeit ist das Konzept des Situationsbewusstseins verbunden, das 1995 von Endsley vorgestellt wurde. Kernpunkte des Konzepts, das in Abbildung 3.1 dargestellt ist, sind die drei Stufen *Wahrnehmung der aktuellen Situationselemente*, *Verständnis der aktuellen Situation* und *Prognose der Situationsentwicklung*. Diese sind die Grundlage für die Entscheidung für eine Handlung und deren Umsetzung. Sie werden kontinuierlich durchlaufen und ermöglichen so eine ständige Situationsbewertung.

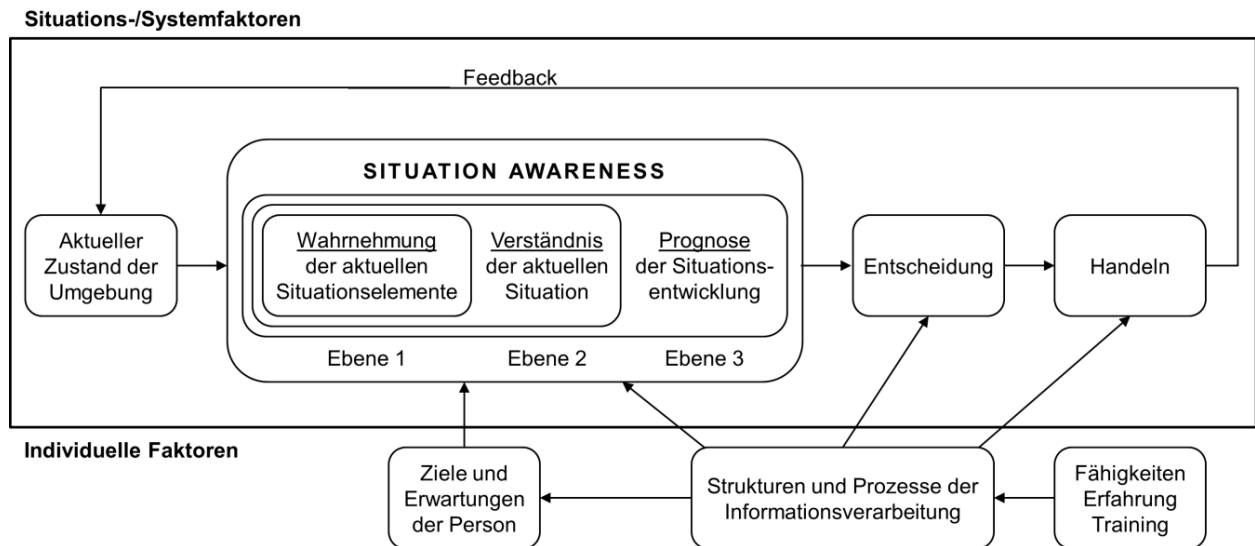


Abbildung 3.1: Rahmenmodell der Situation Awareness (Endsley, 1995; nach Kluwe, 2006)

Bezogen auf die Fahraufgabe bedeutet das Modell, dass ein Autofahrer auf der ersten Ebene wahrnehmen muss, wo sich andere Fahrzeuge in Relation zu seinem eigenen Fahrzeug befinden, er aber noch keine Bewegungsprognose in Form von Trajektorien vornimmt. Auf der zweiten Ebene entwickelt er ein Verständnis dafür, wie sich die anderen Verkehrsteilnehmer bewegen und integriert dies in den eigenen Bewegungsablauf. Auf der dritten Ebene ist der Fahrer in der Lage, die Entwicklung möglicher Szenarien vorherzusagen und mögliche Kollisionsgefahren zu erkennen, um dann effektiv handeln bzw. reagieren zu können und so einen sicheren Weg durch den Verkehr zu planen (Endsley, 1995; Underwood, 2007).

An dem Modell von Endsley wird kritisiert, dass die beschriebenen Prozesse zu abstrakt sind. Baumann und Krems (2007) ergänzten das Modell von Endsley deshalb durch kognitionspsychologische Theorien zu einem verstehensbasierten Modell von Situationsbewusstsein. Die Grundlage bildete die *Construction-Integration Theory* des Verstehens von Kintsch (1998). Nach Baumann und Krems (2007) ermöglicht die Wahrnehmung der aktuellen Situation, entsprechend der ersten Ebene des Modells von Endsley, den Aufbau einer mentalen Repräsentation der spezifischen Situation. Die wahrgenommenen Informationen werden in bereits bestehende Wissensstrukturen aus dem Langzeitgedächtnis integriert, die kontextabhängig aktiviert werden können. Durch diese Verknüpfung entsteht ein Situationsmodell, das auf den im Langzeitgedächtnis abgespeicherten Erfahrungen in ähnlichen Situationen beruht und deshalb Vorhersagen für den weiteren Situationsverlauf ermöglicht. Dieser Prozess ist demnach vergleichbar mit den Ebenen zwei und drei bei Endsley. Bei

der Aktivierung verschiedener, möglicherweise inkompatibler Wissensstrukturen werden diejenigen ausgewählt, die am besten zur aktuellen mentalen Repräsentation passen. Erkennt ein Fahrer beispielsweise, dass er sich auf einer Vorfahrtstraße befindet, ist die Wahrnehmung eines kreuzenden Fahrzeugs auf der untergeordneten Straße, das seine Geschwindigkeit nicht verringert, zunächst nicht kompatibel mit der eigentlichen Erwartungshaltung. Deshalb wird die Interpretation der Situation erschwert, dass dem Fahrer möglicherweise die Vorfahrt genommen werden wird. Baumann und Krems (2007) postulierten somit hinsichtlich des Aufbaus von Situationsbewusstsein, dass die verschiedenen Phasen viel stärker miteinander verknüpft sind, als dies Endsley (1995) in ihrem Modell vorsah. Das Situationsbewusstsein der aktuellen Situation stellt wiederum die Grundlage für die Auswahl der entsprechenden Handlung dar, da gerade die Prognose, wie sich andere Verkehrsteilnehmer wahrscheinlich verhalten werden, einen direkten Einfluss auf die Handlungsauswahl hat. Für den Prozess der Handlungsauswahl griffen Baumann und Krems (2007) in ihrem Modell auf die *Theorie der Handlungsauswahl und -kontrolle* von Norman und Shallice (1986) zurück, die davon ausgeht, dass eine Handlung aufgrund der Aktivierung bestimmter Handlungsschemata ausgeführt wird. Die Ausführung der Handlung hat dann wiederum einen Einfluss auf die Situation als Ganzes, so dass eine fortlaufende Aktualisierung des Situationsmodells notwendig ist.

3.2.2 Der Einfluss von Erwartung und Erfahrung

Die Wahrnehmung einer Situation wird wie oben gezeigt nicht nur durch die objektiven Reize bestimmt, sondern auch durch die subjektive Erwartung. Kognitive Prozesse steuern top-down in Form von Erwartungen und Hypothesen, was wahrgenommen wird (Davis, 1958; Schaub, 2012). Dörner (1989, 1999) prägte in diesem Zusammenhang den Begriff der *hypothesengeleiteten Wahrnehmung*. Er postulierte, dass Menschen kontinuierlich bestehende Hypothesen, wie sich eine Situation entwickeln wird, mit der aktuellen Situation abgleichen. Es wird demnach ein Abgleich der Ist-Situation mit dem Erwartungshorizont vorgenommen. Dieser Erwartungshorizont beinhaltet verschiedene Entwicklungsmöglichkeiten, die mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten auftreten können. Grundsätzlich sollte für jede Entwicklungsmöglichkeit eine Handlungsalternative existieren, so dass entsprechend reagiert werden kann. Wird etwas wahrgenommen, was zu bereits Bekanntem oder Erwartetem passt, so kann die Information schnell verarbeitet und eine entsprechende Handlung umgesetzt werden (Houtenbos, 2008; Posner & Snyder, 1975). Dabei spielen

vorhandene mentale Modelle und Schemata eine wichtige Rolle (Baumann & Krems, 2007; Endsley, 1995; Kluwe, 2006). Je komplexer eine Situation ist und je weniger Erfahrungen ein Mensch damit hat, umso länger dauert es, bis eine Handlung eingeleitet wird, da nicht auf bereits Bekanntes zurückgegriffen werden kann (Houtenbos, 2008; Möhler, 2008).

Houtenbos (2008) beschäftigte sich mit den Erwartungen hinsichtlich des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer in Kreuzungssituationen, da unerwartete Situationen zu längeren Reaktionszeiten, zu falschen Reaktionen und in der Folge zu Unfällen führen können. Sie entwickelte dafür ein Modell, das aufbauend auf dem Modell von Endsley (1995) die Interaktionen zwischen Verkehrsteilnehmern berücksichtigt. Dabei unterschied sie zwei Arten von Erwartungen: langfristige Erwartungen, die durch Erfahrungen in der Vergangenheit geprägt sind und dadurch Situationswahrnehmung und Interpretation beeinflussen, und kurzfristige Erwartungen darüber, was als nächstes passiert, worauf aufbauend die Entscheidung getroffen wird, wie man sich verhält. Übertragen auf Kreuzungssituationen bedeutet eine langfristige Erwartung, dass sich andere Verkehrsteilnehmer an die Verkehrsregeln halten und beispielsweise Vorfahrt gewähren. Nimmt ein Fahrer ein Fahrzeug wahr, das sich einer Kreuzung nähert, an der er selbst Vorfahrt hat, geht er grundsätzlich davon aus, dass das andere Fahrzeug anhalten wird. Sein Aufmerksamkeitsfokus wird deshalb zunächst nur kurz auf dem Heranfahrenden liegen. Bei der Annäherung an die Kreuzung wirkt sich dann die kurzfristige Erwartung in der speziellen Situation aus, ob bzw. dass das andere Fahrzeug tatsächlich anhält. Verhält sich der Fahrer des anderen Fahrzeugs regelkonform und bremst ab, wird die Erwartung bestätigt und der vorfahrtsberechtigte Fahrer wird seine Aufmerksamkeit wieder der eigenen Streckenführung widmen. Wenn sich die kurzfristige Erwartung nicht mit der langfristigen Erwartung deckt, entsteht Unsicherheit darüber, wie sich die Situation entwickeln wird. Dass Unsicherheit einen negativen Einfluss auf Fahrerreaktionen in plötzlichen, kritischen Situationen hat, schilderten Dilich, Kopernik und Goebelbecker (2002).

Auch Lueningfeld und Alexander (1990, zitiert nach Dilich et al., 2002) und Schlag et al. (2009) betonten, wie wichtig Erwartungen dafür sind, was der Fahrer wahrnimmt und wie er sich bei geringer Entscheidungszeit verhält. Die Erwartung, wie wahrscheinlich ein bestimmtes, verkehrsrelevantes Ereignis auftritt, beeinflusst die Erkennungszeit des Ereignisses und damit die Reaktionsschnelligkeit des Fahrers.

3.3 Gefahrenkognition

Erfahrung spielt auch für das Wahrnehmen und Erkennen von Gefahren eine wichtige Rolle. Horswill und McKenna (2004) definierten Gefahrenwahrnehmung als Situationsbewusstsein für gefährliche Situationen im Straßenverkehr. Die Gefährlichkeit einer Situation ergibt sich dabei aus dem Zusammenspiel verschiedener Faktoren wie z. B. der eigenen Geschwindigkeit und dem Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer. Eine der Hauptaufgaben des Fahrers ist es, die Gefährlichkeit der aktuellen Fahrsituation zu beurteilen, um ggf. korrigierende Manöver einleiten zu können und dabei das Fahrzeug immer sicher und stabil zu halten (von Benda & Hoyos, 1983). Musahl (1997) unterschied dabei objektive und subjektive Gefahren, die nicht immer übereinstimmen müssen. Gerade die subjektive Risikobewertung durch eine Person kann dazu führen, dass eine Person eine objektive Gefahr, wie beispielsweise einen heftigen Regenschauer, zwar wahrnimmt, dies für sich subjektiv aber, aufgrund der bisherigen Erfahrung in derartigen Situationen, nicht als Gefahr bewertet (von Benda & Hoyos, 1983).

Neben der subjektiven Risikobewertung hat die Fahrerfahrung einen Einfluss auf die Gefahrenwahrnehmung. Ein Hinweis darauf ergibt sich aus der Studie von Jackson, Chapman und Crundall (2009). Die Autoren konnten zeigen, dass erfahrene Fahrer bildlich dargestellte Gefahren im Straßenverkehr signifikant schneller identifizierten als Fahranfänger. Sie folgerten daraus, dass Fahranfänger Verkehrssituationen im Vergleich zu erfahrenen Fahrern langsamer verarbeiten. Aus diesem Grund seien Fahranfänger im Nachteil, wenn es sich um gefährliche Situationen handle, in denen eine schnelle Reaktion notwendig wäre. Huestegge, Skottke, Anders, Müsseler und Debus (2010) stellten fest, dass sich erfahrene und unerfahrene Fahrer nicht darin unterscheiden, wie schnell ein Gefahrenobjekt an sich wahrgenommen wird, sondern darin, wie schnell das Objekt als Gefahr identifiziert wird. Dies zeigte sich in der Studie in den kürzeren Reaktionszeiten der erfahrenen Fahrer auf die Gefahrenobjekte, während die Zeit bis zur Gefahrenfixation für beide Gruppen gleich war.

Vor dem Hintergrund, dass das Wahrnehmen und Erkennen einer Gefahr in der Regel in einer Reaktion resultiert, entwickelte Schlag 2008 ein sechsstufiges Modell der Gefahrenkognition (zitiert nach Schlag et al., 2009): aufbauend auf der Wahrnehmung, Lokalisation und Identifikation einer möglichen Gefahr wird die Relevanz für das eigene Handeln beurteilt, die Gefahr sowie die eigenen Möglichkeiten zur Bewältigung bewertet und ggf. eine

Verhaltensanpassung vorgenommen. Gefahrenkognition setzt demnach Situationsbewusstsein voraus. Im besten Fall werden die Stufen vorausschauend und mit genügend Zeit durchlaufen, so dass eine rechtzeitige, angemessene Reaktion möglich ist.

Je öfter eine potenziell kritische Situation erlebt wurde und sich ein entsprechendes Reaktionsmuster als sinnvoll herausgestellt hat, um die Gefahr abzuwenden, desto eher wird in einer ähnlichen, kritischen Situation auf dieses Reaktionsmuster zurückgegriffen werden. Summala (1985) gab allerdings zu bedenken, dass echte Konfliktsituationen, die schnelle und zielgerichtete Reaktionen erfordern, so selten vorkommen, dass Fahrer gar keine Möglichkeit haben, sich die entsprechenden, richtigen Verhaltensweisen anzueignen. Seiner Meinung nach wäre es für das normale Verhalten im Straßenverkehr auch überhaupt nicht zielführend, mögliche Unfallsituationen zu antizipieren, da diese viel zu selten vorkommen.

Im Fall der kritischen Kreuzungssituationen, die in der vorliegenden Arbeit näher untersucht werden, stellt sich die Frage, ab wann das Verhalten des vorfahrtnehmenden Fahrzeugs als Gefahr erkannt werden kann. Es kann davon ausgegangen werden, dass in einer Kreuzungssituation eine Abwehrreaktion ausgelöst wird, wenn die Front des querenden Fahrzeugs etwa 0.5 - 1.0 m in den eigenen Fahrstreifen hereinragt (Morawski, 2007). Diese Werte beziehen sich auf ein Fahrzeug, das vorher an der Kreuzung stand und dann anfährt. Wird die Vorfahrtsmissachtung aus der Fahrt heraus eingeleitet, wird die Gefahr bereits früher erkannt, so dass es schneller zu einer Abwehrreaktion kommen kann.

3.4 Handlungsumsetzung

Bei der Handlungsumsetzung wird zwischen einer kontrolliert-intentionalen und einer automatisierten Handlungssteuerung unterschieden (Posner & Snyder, 1975; Shiffrin & Schneider, 1977). Kontrollierte Handlungen werden bewusst gesteuert, benötigen deshalb entsprechende kognitive Kapazität und ermöglichen ein situationsangepasstes Handeln v. a. in neuartigen Situationen. Automatisierte Handlungen entwickeln sich aufgrund eines Lernprozesses über die Zeit, laufen ohne bewusste Steuerung ab und sind daher nur sehr schwer zu verändern (Shiffrin & Schneider, 1977).

3.4.1 Ebenen der Fahrzeugführung

Aufbauend auf den Überlegungen von Bernotat (1970) und Janssen (1979, zitiert nach Michon, 1985) unterschied Donges (1982) drei hierarchische Ebenen der Fahrzeugführung:

Navigationsebene, Führungsebene und Stabilisierungsebene. Auf der obersten Ebene nimmt der Fahrer die grundsätzliche Routenplanung vor und kann diese, falls nötig, während der Fahrt flexibel anpassen. Auf der Führungsebene muss diese Planung unter der Berücksichtigung der aktuellen Verkehrssituation in konkrete Manöver (z. B. Überholen, Abbiegen) umgesetzt werden. Auf der untersten Ebene liegt der Fokus auf der Stabilisierung des Fahrzeugs, also auf der Längs- und Querregelung. Die zur Verfügung stehende Zeit für die Bewältigung der einzelnen Aufgaben nimmt über die einzelnen Ebenen ab. Während für die Navigationsaufgabe ein Zeitrahmen von mehreren Stunden bis hin zu Minuten besteht, spielt sich die Führungsaufgabe im Minuten- bis Sekundenbereich ab und die Stabilisierungsaufgabe muss innerhalb von Millisekunden erfolgen (Braess & Donges, 2006). Aus diesem Grund stellen diese Ebenen auch unterschiedliche Anforderungen an den Fahrer. Die Navigation verlangt ein hohes Maß an kognitiver Verarbeitung, da das Festlegen einer bestimmten Fahrtstrecke ganz bewusst erfolgt. Auch die Durchführung der Führungsaufgabe erfolgt bewusst, da die gewählten Manöver an die aktuelle Verkehrssituation angepasst sein müssen. Im Gegensatz dazu laufen Handlungen auf der Stabilisierungsebene weitestgehend automatisiert ab und sind dem Fahrer somit meist gar nicht mehr bewusst (Gründl, 2005).

Zur Erfüllung dieser Anforderungen kann der Fahrer nach dem Handlungsmodell von Rasmussen (1983) auf *wissensbasiertes, regelbasiertes* und *fertigkeitsbasiertes Verhalten* zurückgreifen. Je nachdem, wie oft ein Fahrer bereits mit einer Situation konfrontiert war, kann er unterschiedliches Verhalten anwenden (Donges, 2015). In komplexen, neuen Situationen müssen zunächst auf der Grundlage vorhandenen Wissens verschiedene Handlungsalternativen geprüft werden, bevor die als beste Variante bewertete Alternative umgesetzt wird. Diese kann dann ggf. als Regel für zukünftiges Verhalten abgespeichert werden. Auf solche Regeln kann bei regelbasiertem Verhalten zurückgegriffen werden. Wenn der Fahrer mit einer Situation konfrontiert wird, die er bereits mehrfach erlebt hat und für die somit bereits verschiedene Verhaltensmuster abgespeichert sind, kann das Verhalten abgerufen werden, das subjektiv die effektivste Variante darstellt. Reaktionen, die durch sehr häufiges Erleben antrainiert sind, charakterisieren fertigkeitsbasiertes Verhalten. Es handelt sich dabei um stark automatisierte Verhaltensweisen, die keine bewusste Steuerung mehr benötigen.

Donges (1999) kombinierte die Ebenen der Fahrzeugführung (Donges, 1982) mit dem Handlungsmodell von Rasmussen (1983). Demnach benötigen Prozesse auf der

Navigationsebene wissensbasiertes Verhalten, zumindest wenn sich der Fahrer in einem ihm unbekanntem Verkehrsraum befindet. In welchem Bereich sich die Führungs- und Stabilisierungsaufgaben abspielen, hängt stark von der Fahrerfahrung ab. Während Fahranfänger zunächst auf wissensbasiertes Verhalten zurückgreifen müssen, entwickelt sich mit der Zeit ein Repertoire, das regelbasiertes Verhalten ermöglicht. Mit steigender Routine etablieren sich immer mehr Automatismen, so dass in der normalen Teilnahme am Straßenverkehr fertigkeitbasiertes Verhalten wirksam wird. Wenn dann jedoch eine plötzliche, kritische Situation eintritt, kann der Fahrer nicht mehr auf fertigkeitbasiertes Verhalten zurückgreifen, sondern müsste regelbasiertes oder sogar wissensbasiertes Verhalten aktivieren (Donges, 2015). Dafür reicht aber oftmals aufgrund der Notwendigkeit einer schnellen Reaktion die Zeit nicht aus. Darüber hinaus konnte de Keyser (1986) zeigen, dass Reaktionsverhalten in komplexen, zeitkritischen Situationen häufig auf die unterste Ebene, also auf fertigkeitbasiertes Verhalten, zurückfällt, was bedeutet, dass das Verhalten stereotyp und nicht auf die Situation angepasst erfolgt.

3.4.2 Gelerntes Verhalten

Fuller (1990) betonte, wie wichtig die Erfahrung für das Ausbilden bestimmter Reaktionsmuster ist. Er ging davon aus, dass über die Zeit Verhaltensweisen für verschiedene Situationen erlernt werden, die in der Vergangenheit in diesen Situationen gut funktioniert haben. Das Fahren an sich betrachtete er als eine Aneinanderreihung von Verhaltensweisen, um mögliche Gefahren zu vermeiden, die sich in der Regel durch bestimmte Vorzeichen ankündigen. Allerdings können manche Gefahren nicht mit Bestimmtheit vorhergesagt werden (z. B. ein Hindernis im Nebel) oder treten nur selten auf. Dies kann zur Folge haben, dass der Fahrer lernt, dass in solchen Situationen keine Gefahr droht. Somit entwickelt er auch kein gefahrvermeidendes Verhalten. Grundsätzlich lassen sich in kritischen Situationen zwei Reaktionsarten unterscheiden: *proaktives* und *reaktives Verhalten* (Fuller, 1984; Hollnagel, 1993; Houtenbos, 2008). Fahrer können in Erwartung einer kritischen Situation ihr Verhalten proaktiv anpassen. Je seltener es jedoch zu einer tatsächlichen, kritischen Situation kommt, desto unwahrscheinlicher wird proaktives und desto wahrscheinlicher wird reaktives Verhalten. Reaktives Verhalten erfolgt erst, wenn die kritische Situation bereits eingetreten ist und eine schnelle Reaktion notwendig wird. Aufgrund der Zeiteinschränkung kann es dann eher zu fehlerhaftem Verhalten kommen (Fuller, 2005).

Obwohl erlernte Verhaltensweisen das Teilnehmen am normalen Straßenverkehr erleichtern und vereinfachen, ergeben sich daraus auch Nachteile. Einen negativen Effekt beschrieben beispielsweise Dilich et al. (2002) in Bezug auf Bremsmanöver. Da im täglichen Fahren in der Regel nur Angleichsbremungen durchgeführt werden, beherrschen die wenigsten Autofahrer eine richtige Notbremsung. Den meisten Fahrern fehlt es schlichtweg an Erfahrung, ihr Fahrzeug kontrolliert und sicher zu führen, wenn sie mit einer kritischen Situation konfrontiert sind, die ein starkes Bremsen und/oder Ausweichen erfordert.

3.4.3 Reflexartiges Verhalten

Bislang wurde noch nicht untersucht, wie sich evolutionsbiologische Mechanismen, also die Reaktion auf eine gefährliche Situation mit Kampf, Flucht oder Erstarren, im Fahrzeugkontext darstellen (Hastings, 2005). Grundsätzlich kann allerdings davon ausgegangen werden, dass ein Mensch in gefährlichen Situationen durchaus einen Abwehr- oder Fluchtreflex besitzt (Kramer & Israel, 2014; Morschitzky, 2009). Hommel (2000) bezeichnete dies als *vorbereiteten Reflex*, da auf gewisse Reize hin ein automatisierter Mechanismus gestartet wird, auf den zwar kein bewusster Einfluss mehr genommen werden kann, eine Handlungsintention die Reaktion jedoch begünstigt. Manche Fahrer sind in extremen Stresssituationen zu überhaupt keiner Reaktion mehr fähig oder greifen auf Reaktionsweisen zurück, die bereits oft ausgeführt wurden (Prynne & Martin, 1995, zitiert nach Dilich et al., 2002). Auch intensive Emotionen wie z. B. Panik oder Angst können dazu führen, dass Handlungen verspätet ausgeführt werden (Davis, 1958; Deetjen, Speckmann & Hescheler, 2005; Dilich et al., 2002).

Davis (1958), der menschliches Verhalten im Kontext der Flugzeugführung betrachtete, postulierte, dass jeder Mensch mit *Notfallreaktionen* ausgestattet ist. Wenn eine Gefahr droht, so greifen diese wie eine Art Notprogramm und verändern das Verhalten: Reaktionen werden dann leichter ausgelöst, sind intensiver und unbeherrschter, gleichzeitig jedoch weniger geplant und organisiert. Dies führt vor allem deswegen zu Problemen, da in Gefahrensituationen beherrschte, überlegte und sorgfältige Reaktionen notwendig wären. Kastner (1982) nahm an, dass angeborene Verhaltensweisen Reaktionen beeinflussen. Bleibt in einer kritischen Situation keine Zeit für eine ausreichende Situationsanalyse, so kommt es zu automatischen, reflexhaften Reaktionen. Seiner Einschätzung nach besteht die erste reflexartige Reaktion auf eine Gefahrensituation im Straßenverkehr in einer Bremsung.

Kramer und Israel (2014) vertreten die Ansicht, dass jedes Manöver im Straßenverkehr entweder auf einer bewussten Entscheidung oder auf einem Reflex basiert. Wird reflexhaft reagiert, so schließt dies eine gezielte, wohlüberlegte Entscheidung aus. Bei dieser Art des Reflexes handelt es sich laut der Autoren jedoch nicht um einen angeborenen, sondern um einen erlernten bzw. erworbenen Reflex. In einer gefährlichen Kreuzungssituation äußert sich dies in einem Fluchtreflex, da die Fahrer der Gefahr entkommen wollen. Die Autoren schrieben das Ausweichen in die Bewegungsrichtung des kreuzenden Fahrzeugs der Blickfixierung auf den „scheinbar kollisionsfreien Verkehrsraum weg von der Gefährdungsstelle“ (Kramer & Israel, 2014, S. 390) zu und bezeichneten dieses Phänomen als virtuellen Greifreflex. Im Gegensatz dazu konnte Hastings (2005) allerdings zeigen, dass es zur Blickfixierung auf ein Hindernis kommt, was zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit führt, mit dem Hindernis zu kollidieren.

Oftmals reagiert ein Fahrer in einer unbewussten reflexartigen Reaktion, so dass es ihm im Nachhinein schwer fällt, genau anzugeben, wie er reagiert hat (Fricke, 1990, zitiert nach Dilich et al., 2002; Hancock & de Ridder, 2003). Auch Malaterre et al. (1988) gingen davon aus, dass Fahrer aufgrund der kurzen Zeit, in der sich die kritische Situation ereignet, keine Möglichkeit haben, ihr Handeln bewusst zu steuern, sondern dass sie sich auf einfache Reflexe verlassen müssen. Daraus folgerten sie, dass sich alle Fahrer gleich verhalten, wenn es um die Vermeidung einer kritischen Situation geht.

3.5 Abschließende Bewertung der Erklärungsansätze für Standardreaktionen

Zusammenfassend ergeben sich aus der Literatur durchaus Erklärungsansätze für die Entstehung von Standardreaktionen. Wie in einer kritischen Situation reagiert wird, hängt nicht nur von der Fahrfähigkeit der jeweiligen Person ab, sondern auch von Faktoren wie Situationsbewusstsein, Erwartung, Erfahrung, Emotion, Unsicherheit bezüglich des Verhaltens anderer und Unsicherheit hinsichtlich der Konsequenzen des eigenen Handelns. Ein Unfall zeichnet sich in der Regel zudem dadurch aus, dass das kritische Ereignis sehr plötzlich passiert. Dies erfordert dann ein hohes Maß an Wahrnehmungs-, Beurteilungs- und Reaktionsvermögen. Diese Anforderungen an die erfolgreiche Bewältigung der kritischen Situation, also der Vermeidung des Unfalls, liegen dabei jedoch zumeist weit höher, als es die normale Erfahrung von Fahrern mit sich bringt (Dilich et al., 2002). Aufgrund der Plötzlichkeit eines kritischen Ereignisses ist es in der Regel nicht möglich, eine überlegte Handlung vorzunehmen, so dass es zu reflexartigem Verhalten kommt. Dies lässt vermuten, dass ein

Großteil von Personen gleichartig reagiert, wenn sie einer kritischen Situation ausgesetzt sind.

Um beurteilen zu können, ob eine Kollision vermeidbar gewesen wäre, genügt es deshalb nicht, optimale Reaktionswerte als Referenzmaß zu verwenden. Neben der reinen technischen Vermeidbarkeit eines Unfalls muss das Reaktionsverhalten des Menschen berücksichtigt werden. Deshalb sollte für die Beurteilung einer gezeigten Reaktion überprüft werden, ob die Kollision von anderen Fahrern unter den gleichen Bedingungen überhaupt hätte vermieden werden können.

4 Erste Studie: Reaktionsverhalten bei Vorfahrtsmissachtung von rechts

Es zeigte sich in der Literatur, dass individuelle Faktoren wie die Beurteilung einer Situation und die damit verbundene Erwartung eines Fahrers einen Einfluss auf das Reaktionsverhalten in kritischen Situationen haben können. Darüber hinaus wurde deutlich, dass auch Faktoren eine Rolle spielen, die in der Situation selbst begründet sind, z. B. wie viel Zeit einem Beteiligten überhaupt für eine Reaktion bleibt. Es wurde dargestellt, dass es unter bestimmten Voraussetzungen durchaus dazu kommen kann, dass Personen reflexartig reagieren und deshalb in diesem Zusammenhang von Standardreaktionen gesprochen werden kann. Einen Hinweis darauf, in welchen konkreten Situationen es zu Standardreaktionen kommen kann, lieferten die Daten aus der Unfallforschung. Die Auswertung der Unfälle ergab, dass es in Kreuzungssituationen vor allem bei einer Vorfahrtsmissachtung von rechts zu Standardreaktionen der Bevorrechtigten kam. Im Vergleich zu anderen Kreuzungssituationen war das Phänomen des Ausweichens in die Gefahr in dieser Konstellation besonders stark ausgeprägt.

Das Ergebnis der Unfalldatenanalyse sollte experimentell überprüft werden, da auf der Grundlage der verfügbaren Daten, also einer Kollision in Folge einer kritischen Situation, keine Aussage darüber getroffen werden kann, wie sich Personen in Situationen verhalten, bei denen eine Kollision gerade noch vermieden werden kann. Das Ziel der ersten Studie war es daher, Fahrer gezielt in kritische Vorfahrtssituationen zu bringen und dabei das Reaktionsverhalten auf diese kritischen Situationen zu erfassen.

4.1 Fragestellung und Hypothesen

Da es in den Unfalldaten vor allem in den Situationen zu Standardreaktionen kam, in denen einem Beteiligten von rechts die Vorfahrt genommen wurde (Unfalltypen 301 und 302), sollte das Verhalten von Personen in diesen Szenarien näher untersucht werden. Die beiden Unfalltypen, bei denen der Wartepflichtige jeweils den kompletten Fahrstreifen des Bevorrechtigten überquert, unterscheiden sich in der Bewegungsrichtung des Unfallverursachers, also ob der Wartepflichtige geradeaus über die Kreuzung fahren (Unfalltyp 301) oder nach links abbiegen (Unfalltyp 302) möchte. Um herauszufinden, ob die Bewegungsrichtung einen Einfluss auf das Reaktionsverhalten hat, wurde dieses Merkmal variiert. Neben der Bewegungsrichtung des kritischen Fahrzeugs wurden außerdem sowohl die Ausgangsposition als auch die Beschleunigung als mögliche Einflussgrößen systematisch variiert, da

diese Parameter aus der Pre-Crash-Phase der Unfalldaten nicht sicher abgeleitet werden können. Die erste Studie diente daher der Exploration möglicher Einflussparameter, die ein Ausweichen in die Gefahr als Standardreaktion begünstigen.

Hieraus ergaben sich folgende Hypothesen:

- H 1a: Die Bewegungsrichtung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die wahrgenommene Kritikalität.
- H 1b: Die Ausgangsposition des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die wahrgenommene Kritikalität.
- H 1c: Die Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die wahrgenommene Kritikalität.
- H 2: Die wahrgenommene Kritikalität sinkt ab, je mehr kritische Situationen erlebt wurden.
- H 3a: Die Bewegungsrichtung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die Überraschungsintensität.
- H 3b: Die Ausgangsposition des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die Überraschungsintensität.
- H 3c: Die Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die Überraschungsintensität.
- H 4: Die Überraschungsintensität sinkt ab, je mehr kritische Situationen erlebt wurden.
- H 5a: Die Bewegungsrichtung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf den Anteil der Kollisionen.
- H 5b: Die Ausgangsposition des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf den Anteil der Kollisionen.
- H 5c: Die Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf den Anteil der Kollisionen.
- H 6: Der Anteil der Kollisionen sinkt ab, je mehr kritische Situationen erlebt wurden.
- H 7a: Die Bewegungsrichtung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die Kollisionsgeschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs.
- H 7b: Die Ausgangsposition des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die Kollisionsgeschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs.
- H 7c: Die Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die Kollisionsgeschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs.

- H 8a: Die Bewegungsrichtung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss darauf, ob gebremst wird.
- H 8b: Die Ausgangsposition des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss darauf, ob gebremst wird.
- H 8c: Die Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss darauf, ob gebremst wird.
- H 9: Die Hauptreaktion auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts ist Bremsen.
- H 10a: Die Bewegungsrichtung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss darauf, ob ausgewichen wird.
- H 10b: Die Ausgangsposition des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss darauf, ob ausgewichen wird.
- H 10c: Die Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss darauf, ob ausgewichen wird.
- H 11: Wenn auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts mit Ausweichen reagiert wird, erfolgt eine Ausweichbewegung nach links.
- H 12a: Die Bewegungsrichtung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die durchschnittliche Verzögerung.
- H 12b: Die Ausgangsposition des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die durchschnittliche Verzögerung.
- H 12c: Die Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die durchschnittliche Verzögerung.
- H 13a: Die Bewegungsrichtung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die Reaktionszeit.
- H 13b: Die Ausgangsposition des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die Reaktionszeit.
- H 13c: Die Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs hat einen Einfluss auf die Reaktionszeit.

4.2 Methode

Die Studie wurde mit dem Vehicle in the Loop (VIL) (Berg, 2015; Berg & Färber, 2015) durchgeführt und fand auf dem abgesperrten Testgelände der Universität der Bundeswehr München (UniBw) statt. Das VIL wurde im Rahmen einer Dissertation bei der AUDI AG entwickelt (Bock, Maurer, van Meel & Müller, 2008) und wird seit einiger Zeit in Zusammenarbeit von der Carmeq GmbH und dem Institut für Arbeitswissenschaft der UniBw

weiterentwickelt. Das VIL ist ein Fahrsimulator, der mit der Simulationssoftware Virtual Test Drive (VTD) (Dupuis & Wunibald, 2012) in einem realen Fahrzeug betrieben wird. Der Einbau des Simulators in ein reales Fahrzeug, in diesem Fall einem Audi A6 Avant, hat den Vorteil, dass die Fahrdynamik der jeweiligen Situation direkt erlebt wird und nicht simuliert werden muss. Dadurch wird das Reaktionsverhalten realistischer als in einem normalen, dynamischen Fahrsimulator und ist auch gut mit dem Verhalten im Realverkehr vergleichbar (Berg, 2015).

Für die Nutzung des VIL muss die virtuelle Welt an die Gegebenheiten der tatsächlichen Fahrfläche angepasst sein, so dass sich die Strecke, die der Fahrer in der Simulation befährt, auf der real vorhandenen Teerfläche befindet. Mittels einer Inertial Measurement Unit (IMU) wird über dGPS die Position des Fahrzeugs zentimetergenau erfasst, so dass die virtuelle Welt genau an der entsprechenden Stelle dargestellt wird. Mithilfe eines Headtrackers wird außerdem die genaue Lage und Ausrichtung des Fahrerkopfs ermittelt, damit der Fahrer, der die virtuelle Welt über ein Head Mounted Display (HMD) sieht, zu jeder Zeit den richtigen Blickwinkel hat.

4.2.1 Versuchsmaterial

Als Testszenario für die kritischen Situationen diente ein Landstraßensetting, da in der AA-RU Stichprobe mehr Unfälle außerorts vorlagen. Um die Probanden mit dem VIL keine allzu hohe Geschwindigkeit fahren zu lassen, wurde in Anlehnung an die in Deutschland oftmals vorliegende Geschwindigkeitsbeschränkung im Bereich von Einmündungen und Kreuzungen das Geschwindigkeitsniveau auf 70 km/h festgelegt. Die Probanden fuhren demnach mit 70 km/h auf einer vorfahrtsberechtigten Landstraße und erlebten Situationen, in denen ihnen von rechts die Vorfahrt genommen wurde.

Insgesamt wurden acht kritische Situationen definiert, die sich aus der Kombination der drei, je zweifach gestuften Faktoren Bewegungsrichtung (geradeaus / links abbiegend), Ausgangsposition (stehend / rollend) und Beschleunigung (niedrig / hoch) zusammensetzten. Die Situationen wurden mithilfe des Simulationsprogramms PC-Crash Version 10.1 konzipiert (Steffan & Moser, 1996). Zu Beginn jeder kritischen Situation fuhr ein Fahrzeug von rechts an eine einsehbare Kreuzung heran. In der Anfahrt an die Kreuzung verzögerte das Fahrzeug und stand dann entweder für zwei Sekunden an der Haltelinie (stehende Ausgangsposition) oder rollte für zwei Sekunden mit 10 km/h an die Kreuzung heran (rollende Ausgangsposition). Im Anschluss fuhr das Fahrzeug entweder geradeaus über die

Kreuzung oder bog links ab. Das Anfahren des kritischen Fahrzeugs variierte leicht je Ausgangsposition und erfolgte entweder mit einer sehr niedrigen Beschleunigung (0.8 m/s^2 für stehende bzw. 0.3 m/s^2 für rollende Ausgangsposition) oder mit einer hohen Beschleunigung (3.0 m/s^2 für stehende bzw. 3.1 m/s^2 für rollende Ausgangsposition) (Burg & Moser, 2009). Eine Übersicht der acht Situationen ist Abbildung 4.1 zu entnehmen.







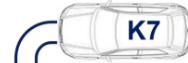

	Fahrzeug steht an Kreuzung		Fahrzeug rollt an Kreuzung heran	
	fährt mit niedriger Beschleunigung los	fährt mit hoher Beschleunigung los	fährt mit niedriger Beschleunigung weiter	fährt mit hoher Beschleunigung weiter
von rechts, fährt geradeaus				
von rechts, biegt nach links ab				

Abbildung 4.1: Übersicht der acht kritischen Situationen in Studie 1

Jede kritische Situation war so konzipiert, dass die potenzielle Kollisionskonstellation einen Treffer der linken Front des Egofahrzeugs mit dem linken Heck des kreuzenden Fahrzeugs vorsah. Dabei wurde davon ausgegangen, dass der Fahrer des Egofahrzeugs bei Erkennen der kritischen Situation mit einer Vollbremsung reagiert, jedoch keine Lenkbewegung macht. Somit wären alle Situationen durch Bremsen und Ausweichen nach rechts ohne Kollision beherrschbar gewesen. Ein Ausweichen nach links sollte demnach in einer Kollision resultieren.

Als reales Grundgerüst für die Erstellung der virtuellen Welt diente die 1.4 km lange Gerade des Testgeländes der UniBw. Die virtuelle Welt wurde mit dem Road Designer ROD® Version 4.3.3 der Firma VIRES Simulationstechnologie GmbH programmiert und bestand aus einer Landstraße, die für den Fahrer an einem Stoppschild endete und auf der zwei Kreuzungssituationen zu durchfahren waren. Der Fahrer befand sich dabei immer auf der Vorfahrtsstraße. Die kritischen Szenarien wurden in VTD mithilfe des Szenario Editors auf der Grundlage der Bewegungsparameter aus PC-Crash erstellt.

Insgesamt erlebten die Versuchspersonen 20 Kreuzungssituationen, von denen acht kritische Situationen waren. Die unkritischen Situationen dienten zur Ablenkung und bestanden aus Fahrzeugen, die ebenfalls die Vorfahrt beachten mussten und dies auch vorschriftsmäßig taten. Die Fahrzeuge näherten sich dabei sowohl von rechts, wie in den kritischen Szenarien, als auch von links oder aus der Gegenrichtung. Um normales Verkehrsgeschehen darzustellen, befanden sich auf der Strecke auch andere Verkehrsteilnehmer. Alle Fahrzeuge, die in der Simulation dargestellt wurden, waren blaue Audi A3 Sportback, um keine Störgröße durch Farbe oder Typ der Fahrzeuge in der Simulation zu generieren. Abbildung 4.2 zeigt den Vergleich der realen und der virtuellen Teststrecke.



Abbildung 4.2: Vergleich der realen und der virtuellen Teststrecke

4.2.2 Versuchsdesign

Die Studie wurde als 2 x 2 x 2 Within-Subjects-Design durchgeführt. Jede Versuchsperson erlebte jede kritische Situation einmal. Die Reihenfolge der Situationen wurde mithilfe des lateinischen Quadrats (Wagenaar, 1969) ausbalanciert und mithilfe des Runs Test (Mogull, 1994) randomisiert. Dadurch ergaben sich acht verschiedene Abfolgen.

Das Reaktionsverhalten wurde mittels objektiver Fahrdaten operationalisiert, die durch VTD mit einer Rate von 60 Hz direkt vom Fahrzeug während der Fahrten aufgezeichnet wurden. Erfasst wurden dabei für das Egofahrzeug die Position (X- und Y-Koordinate), die gefahrene Geschwindigkeit (in m/s), Längs- und Querbewegung (in m/s²), Bremsdruck (in bar), Lenkradwinkel (in °) sowie die Lenkradwinkelgeschwindigkeit (in °/s). Vom jeweiligen kritischen Fahrzeug wurden aus der Simulation heraus die Position (X- und Y-Koordinate), die gefahrene Geschwindigkeit (in m/s) sowie Längs- und Querbewegung (in m/s²) dokumentiert.

Zur subjektiven Bewertung der Situationen beurteilten die Probanden nach jeder kritischen Situation die jeweilige Kritikalität mittels der Störungsbewertungsskala (SBS) (Neukum, Lübbecke, Krüger, Mayser & Steinle, 2008). Außerdem gaben sie eine Bewertung ab, wie überraschend die Situation für sie gewesen war (vgl. Anhang D). Die Angaben der Probanden je Situation wurden von der Versuchsleitung auf einem separaten Bogen gesammelt erfasst (vgl. Anhang E).

4.2.3 Versuchsaufbau

Vor Beginn der Versuchsfahrt erhielten die Probanden einen Begrüßungsbogen (vgl. Anhang A) und füllten die Probandenerklärung (vgl. Anhang B) sowie einen kurzen Fragebogen zur Erfassung demographischer Angaben (vgl. Anhang C) aus. Anschließend wurden die Probanden in das Versuchsfahrzeug eingewiesen und fuhren auf das Testgelände. Auf dem Weg zum Startpunkt hatten die Probanden die Möglichkeit, das Fahrzeug durch Lenk- und Bremsmanöver kennenzulernen.

Um sicherzugehen, dass die Probanden die kritischen Situationen jeweils vergleichbar erlebten, musste eine konstante Geschwindigkeit von 70 km/h gefahren werden. Um Geschwindigkeitsschwankungen vorzubeugen, sollten die Probanden diese Geschwindigkeit mithilfe des Adaptive Cruise Control (ACC) halten. Daher wurde den Probanden zunächst die Funktionsweise des ACC erklärt und es wurde zur Eingewöhnung die Versuchsstrecke einmal ohne HMD mit Sicht nach außen unter Nutzung des ACC befahren. Im Anschluss wurde die Funktionsweise des VIL erklärt und die Probanden bekamen das HMD. Ab diesem Zeitpunkt begann das eigentliche Experiment, in dem die Probanden insgesamt zehnmal die Versuchsstrecke befuhren und sich dabei in der virtuellen Welt auf der Landstraße befanden.

Nach dem Durchfahren der letzten kritischen Situation wurden die Probanden über den genauen Hintergrund der Studie aufgeklärt und erhielten eine Aufwandsentschädigung. Insgesamt dauerte ein Durchgang ca. 40 Minuten.

4.2.4 Stichprobe

An der Studie nahmen 40 Personen im Alter von 23 bis 58 Jahren ($M = 32.2$, $SD = 9.0$) teil. Die Stichprobe bestand aus 16 Frauen und 24 Männern, die über eine Fahrpraxis von 4 bis 40 Jahren ($M = 14.0$, $SD = 8.6$) verfügten. Die Probanden waren im vergangenen Jahr

durchschnittlich 17 694 km ($SD = 11\,353$ km) gefahren. Die Angaben, wie regelmäßig die Probanden ein Auto nutzten und wie häufig sie bislang an einem Fahrsicherheitstraining teilgenommen hatten, sind in Tabelle 4.1 dargestellt.

Tabelle 4.1: Darstellung der regelmäßigen Autonutzung und der bisherigen Teilnahme an einem Fahrsicherheitstraining

Autonutzung		Fahrsicherheitstraining	
Regelmäßigkeit	Prozent	Bisherige Teilnahme	Prozent
(Fast) täglich	40.0%	Keine Teilnahme	62.5%
3-5 mal pro Woche	22.5%	Einmalige Teilnahme	32.5%
1-2 mal pro Woche	17.5%	Mehrmalige Teilnahme	5.0%
< 1 mal pro Woche	20.0%		

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Datenaufbereitung

Um einen Überblick über die Fahrzeugpositionen in der Anfahrt und beim Durchfahren der Kreuzungssituationen zu bekommen, wurden anhand der aufgezeichneten Fahrdaten für jede Situation bei jeder Versuchsperson Verlaufsgrafiken erstellt, die die Positionen der Fahrzeuge in zeitlichen Schritten von 50 ms darstellten. Anhand dieser Grafiken wurde bestimmt, ob und wann eine Kollision stattgefunden hatte.

Im Zuge der Grafikerstellung wurde festgestellt, dass die Ausgangsgeschwindigkeit des Egofahrzeugs nicht wie konzipiert bei 70 km/h lag, sondern lediglich bei 67 km/h. Dies lässt sich durch die Tacho- bzw. ACC-Ungenauigkeit erklären, da die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit, die aufgezeichnet wurde, etwas unterhalb der im Tacho angezeigten und vom ACC gehaltenen Geschwindigkeit liegt. Dies hatte zur Folge, dass die Szenarien nicht ganz so kritisch waren, wie sie mithilfe von PC-Crash konzipiert worden waren, aber dennoch zu kritischen Situationen in der Simulation führten.

Zur Bestimmung der Reaktionszeiten wurde der Zeitpunkt des Beschleunigens des kritischen Fahrzeugs als t_0 festgelegt. Bei Personen, die vor dem Beschleunigen des kritischen Fahrzeugs bereits gebremst hatten und deren Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Beschleunigens geringer als 64 km/h war, wurde die jeweilige Situation als nicht nutzbar markiert.

Der Beginn einer Bremsreaktion wurde anhand des Überschreitens des Schwellwerts von 7 bar Bremsdruck festgelegt. Für das Vorhandensein einer Ausweichreaktion musste die Lenkradwinkelgeschwindigkeit einen Schwellwert von 30 °/s überschreiten, wobei die Werte je Einzelfall anhand des weiteren Fahrverlaufs plausibilisiert wurden.

4.3.2 Statistische Verfahren

Aufgrund der Versuchsdurchführung als Within-Subjects-Design konnten für inferenzstatistische Berechnungen zu Unterschieden der einzelnen Situationen jeweils nur die Personen verwendet werden, für die vollständige Datensätze bei allen Situationen vorlagen. Es konnten also nur die Probanden für diese Auswertungen herangezogen werden, bei denen alle acht kritischen Situationen nutzbar waren. Dies war bei 17 Personen der Fall. Wenn aufgrund des Skalenniveaus der Daten keine inferenzstatistischen Berechnungen möglich waren, wurden die Ergebnisse deskriptiv ausgewertet. In diesem Fall wurden je Situation alle Personen in die Auswertung einbezogen, bei denen die jeweilige Situation nutzbar war. Somit kommt es bei den Darstellungen der jeweiligen Parameter zu einer wechselnden Stichprobengröße je Situation.

Die Kombination der drei Faktoren Bewegungsrichtung, Ausgangsposition und Beschleunigung des kreuzenden Fahrzeugs resultierte in acht kritischen Situationen (vgl. Abbildung 4.1). Da für die Gesamtanalyse hauptsächlich die Unterschiede hinsichtlich der einzelnen Situationen von Interesse waren, wurde für die inferenzstatistische Analyse die Situation als unabhängige Variable angesehen. Unterschiede hinsichtlich der Einzelfaktoren wurden dann durch gerichtete Paarvergleiche der Situationen überprüft, die sich durch jeweils einen Faktor unterschieden. Es ergaben sich insgesamt zwölf gerichtete Paarvergleiche. Die Prüfung des Einflusses der Bewegungsrichtung erfolgte durch den Vergleich der Situationen, die sich nur darin unterschieden, ob das kritische Fahrzeug geradeaus über die Kreuzung fuhr oder ob es nach links abbog (K1 vs. K5; K2 vs. K6; K3 vs. K7; K4 vs. K8). Für den Vergleich hinsichtlich der Ausgangsposition wurden die Situationen, in denen das kritische Fahrzeug stand, jeweils mit den Situationen verglichen, in denen das kritische Fahrzeug an die Kreuzung heran rollte (K1 vs. K3; K2 vs. K4; K5 vs. K7; K6 vs. K8). Unterschiede aufgrund der Beschleunigung wurden durch die Vergleiche der Situationen dargestellt, die sich jeweils nur in der Beschleunigung unterschieden (K1 vs. K2; K3 vs. K4; K5 vs. K6; K7 vs. K8).

Als parametrisches Verfahren zur Prüfung von Unterschieden hinsichtlich der Verteilung der abhängigen Variablen diente jeweils eine einfaktorielle Varianzanalyse (englisch: Analysis Of Variance (ANOVA)) mit Messwiederholung mit der kritischen Situation als Faktor. Das α -Fehler-Niveau lag bei $p = .05$. Als Maß für die Effektstärke wurde η_p^2 verwendet³. Ergab sich ein signifikanter Unterschied, wurden Post-hoc t-Tests bei verbundenen Stichproben für die paarweise zu vergleichenden Situationen berechnet. Um eine Inflation des α -Fehlers zu vermeiden, wurde bei den t-Tests eine Bonferroni-Signifikanzanpassung vorgenommen, so dass das α -Fehler-Niveau für die Post-hoc-Vergleiche bei $p = .004$ lag. Die Effektstärke wurde dabei mit r dargestellt⁴. Um zu überprüfen, ob sich im Verlauf des Experiments Veränderungen hinsichtlich der abhängigen Variablen ergaben, wurde jeweils eine einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung mit der Reihenfolge als Faktor berechnet. Das α -Fehler-Niveau lag bei $p = .05$ und als Maß für die Effektstärke wurde η_p^2 berichtet.

Unterschiede zwischen den kritischen Situationen in Bezug auf dichotome Variablen wurden anhand des Cochran's Q Test⁵ für verbundene Stichproben bestimmt. Falls sich dabei ein signifikanter Unterschied zeigte, wurden im Nachgang für die einzelnen Gruppenvergleiche McNemar Tests⁶ mit entsprechend angepasstem α -Fehler-Niveau berechnet. Die Effektstärke wurde mit ω angegeben⁷.

4.3.3 Subjektive Kritikalität und Überraschungsintensität

4.3.3.1 Einschätzung der Kritikalität

Da sich in der Literatur gezeigt hatte, dass die Kritikalität einer Situation einen Einfluss auf das Reaktionsverhalten haben kann, wurde zunächst überprüft, ob die unabhängigen Variablen Bewegungsrichtung (H 1a), Ausgangsposition (H 1b) und Beschleunigung (H 1c) des kritischen Fahrzeugs die subjektive Einschätzung der Kritikalität beeinflussen. Abbildung 4.3 zeigt das Ausmaß der eingeschätzten Kritikalität der einzelnen kritischen Situationen. Inwieweit sich die subjektiven Einschätzungen der jeweiligen Situationen voneinander unterscheiden, wurde mittels einer einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung berechnet.

³ Kleiner Effekt: $\eta_p^2 > .01$; Mittlerer Effekt: $\eta_p^2 > .06$; Großer Effekt: $\eta_p^2 > .14$ (Bühner & Ziegler, 2009)

⁴ Kleiner Effekt: $r = .1$; Mittlerer Effekt: $r = .3$; Großer Effekt: $r = .5$ (Field, 2013)

⁵ Der Cochran's Q Test wird verwendet, wenn überprüft werden soll, ob sich die Häufigkeit eines dichotomen Merkmals bei mehr als zwei verbundenen Stichproben für mindestens zwei der verbundenen Stichproben signifikant unterscheidet (Bortz, Lienert & Boehnke, 2008).

⁶ Der McNemar Test wird verwendet, wenn überprüft werden soll, ob sich die Häufigkeit eines dichotomen Merkmals bei zwei verbundenen Stichproben signifikant unterscheidet (Bortz et al., 2008).

⁷ Kleiner Effekt: $\omega = .1$; Mittlerer Effekt: $\omega = .3$; Großer Effekt: $\omega = .5$ (Bühner & Ziegler, 2009)

Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied ($F(7, 112) = 13.91, p < .001, \eta_p^2 = .47$). Post-hoc-Vergleiche, die mit t-Tests bei verbundenen Stichproben durchgeführt wurden, ergaben nur signifikante Unterschiede zwischen K1 und K2 ($t(16) = -4.67, p < .001, r = .76$), K3 und K4 ($t(16) = -6.65, p < .001, r = .86$) sowie K5 und K6 ($t(16) = -5.35, p < .001, r = .80$). Alle übrigen Paarvergleiche wurden nicht signifikant. Die Hypothesen, dass die Bewegungsrichtung (H 1a) und die Ausgangsposition (H 1b) einen Einfluss auf die wahrgenommene Kritikalität haben, mussten deshalb abgelehnt werden. Die Hypothese, dass die Beschleunigung (H 1c) einen Einfluss auf die subjektive Kritikalität hat, konnte bestätigt werden.

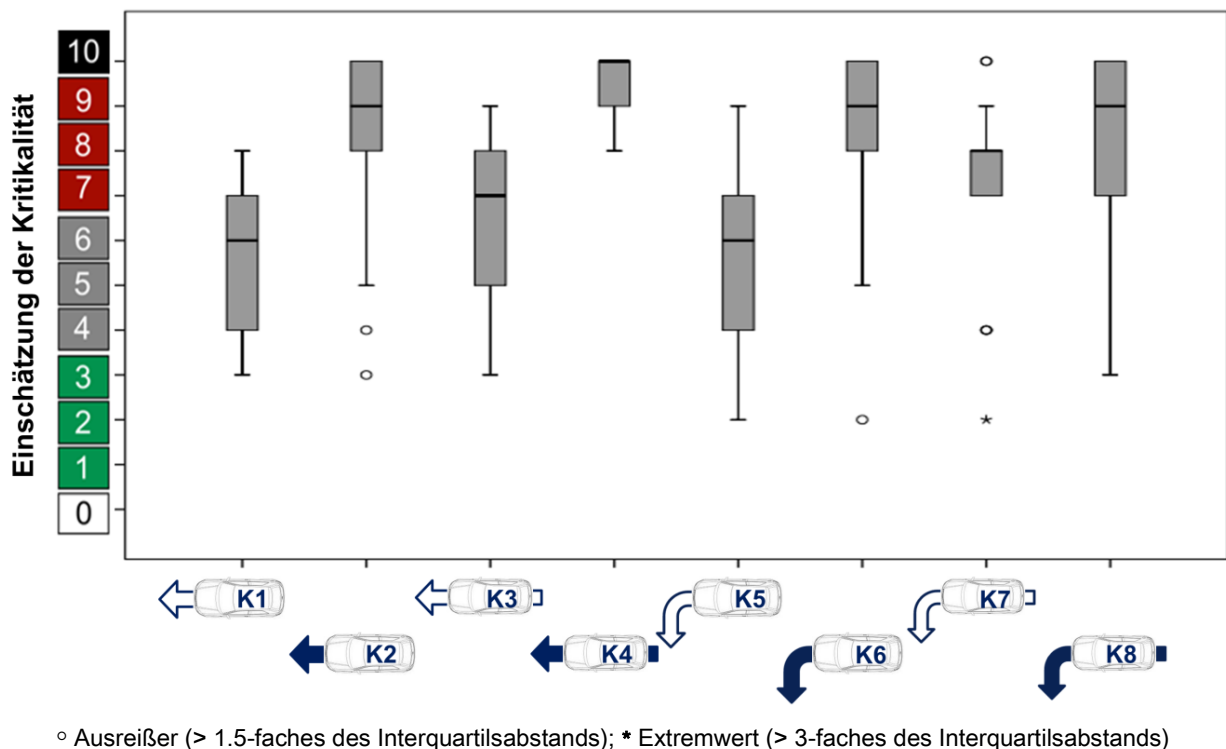


Abbildung 4.3: Einschätzung der Kritikalität je kritischer Situation ($N = 17$)

Es wurde postuliert, dass es einen Einfluss auf die wahrgenommene Kritikalität hat, wie viele kritische Situationen bereits erlebt wurden, und diese deshalb im Verlauf des Experiments absinkt (H 2). Bei dem Vergleich der Kritikalität über die Reihenfolge der erlebten Situationen hinweg, zeigte der Mauchly-Test, dass die Sphärizität verletzt war ($\chi^2(27) = 61.64, p < .001$). Daher wurde eine Greenhouse-Geisser Anpassung der Freiheitsgrade vorgenommen ($\epsilon = .64$). Das Ergebnis zeigte, dass sich das Ausmaß der Kritikalität der nacheinander erlebten Situationen nicht signifikant voneinander unterschied ($F(4.45, 71.14) = 2.28, p = .062, \eta_p^2 = .13$), so dass die Hypothese H 2 abgelehnt wurde.

4.3.3.2 Überraschungsintensität

Da die Erwartung einer Situation einen Einfluss auf das Reaktionsverhalten haben kann, wurde überprüft, ob die Bewegungsrichtung (H 3a), die Ausgangsposition (H 3b) und die Beschleunigung (H 3c) des kritischen Fahrzeugs die subjektive Überraschungsintensität beeinflussen. Einen Überblick über das Ausmaß der Überraschung je kritischer Situation gibt Abbildung 4.4. Anhand einer einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung wurden die Unterschiede hinsichtlich der Überraschungsintensität betrachtet. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied ($F(7, 112) = 13.21, p < .001, \eta_p^2 = .45$) darin, wie überrascht die Probanden von der jeweiligen kritischen Situation waren. Im Anschluss durchgeführte t-Tests bei verbundenen Stichproben zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen K1 und K2 ($t(16) = -7.63, p < .001, r = .89$), K3 und K4 ($t(16) = -4.24, p = .001, r = .73$) sowie zwischen K5 und K6 ($t(16) = -5.10, p < .001, r = .79$). Der Unterschied zwischen K7 und K8 wurde aufgrund des korrigierten Signifikanzniveaus nicht signifikant ($t(16) = -2.73, p = .015, r = .56$). Die übrigen Paarvergleiche erbrachten ebenfalls kein signifikantes Ergebnis. Es zeigten sich somit nur signifikante Unterschiede in den Situationen, die sich hinsichtlich der Beschleunigung unterschieden, weshalb H 3c angenommen werden konnte. Da sich jeweils kein Einfluss der Bewegungsrichtung und der Ausgangsposition zeigte, wurden die Hypothesen H 3a und H 3b abgelehnt.

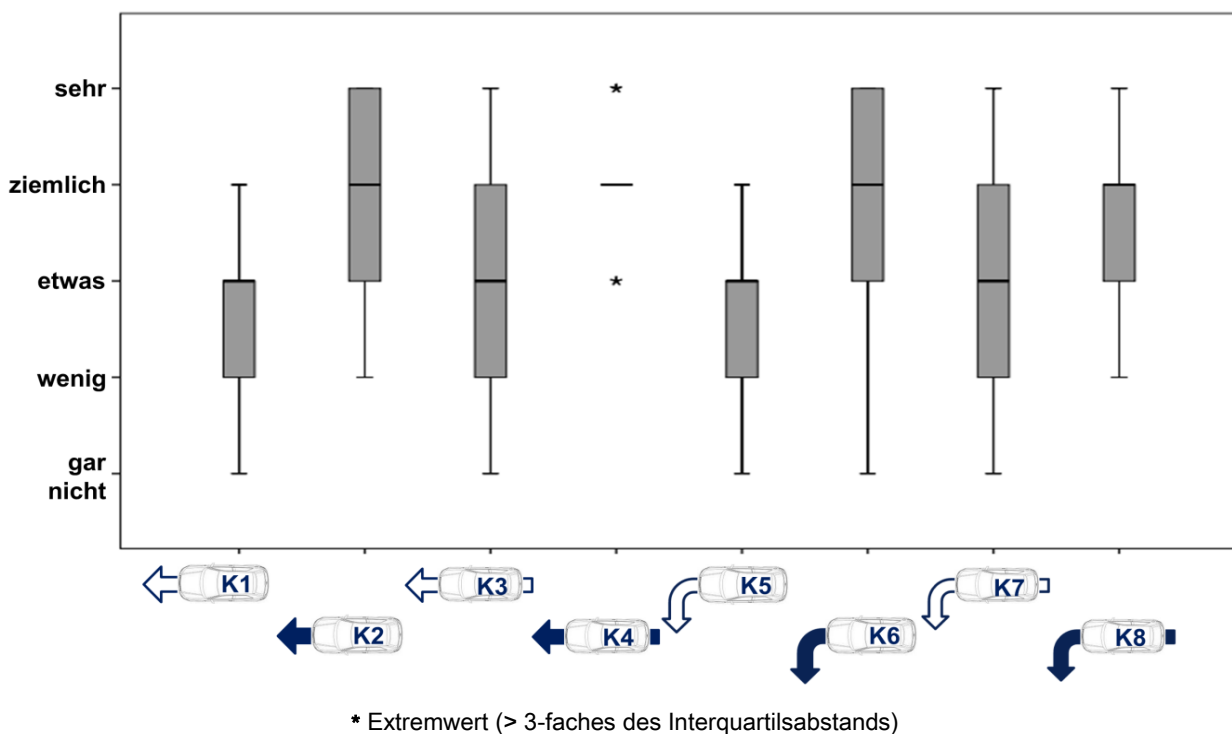


Abbildung 4.4: Überraschungsintensität je kritischer Situation ($N = 17$)

Um zu überprüfen, ob die Überraschungsintensität im Verlauf der erlebten Situationen absank (H 4), wurde eine einfaktorielle ANOVA mit Messwiederholung berechnet. Das Ausmaß der Überraschung nahm über die Reihenfolge der erlebten Situationen zwar ab und die letzte Situation wurde eine Intensitätsstufe weniger überraschend eingeschätzt als die erste Situation, es zeigte sich aber kein signifikanter Unterschied ($F(7, 112) = .58, p = .773, \eta_p^2 = .04$), so dass H 4 abgelehnt wurde.

4.3.4 Kollisionen

4.3.4.1 Kollisionshäufigkeit

Hinsichtlich der Kollisionshäufigkeit wurde angenommen, dass sowohl die Bewegungsrichtung (H 5a) als auch die Ausgangsposition (H 5b) und die Beschleunigung (H 5c) des kritischen Fahrzeugs darauf einen Einfluss haben. Einen Überblick über den Anteil der Kollisionen je kritischer Situation gibt Abbildung 4.5. Grundlage dieser Grafik sind die 17 Versuchspersonen, deren Daten in die inferenzstatistische Auswertung Eingang fanden. Die Anteile der Kollisionen je Situation unterschieden sich leicht, wenn statt dieser 17 Personen die Gesamtzahl der Personen betrachtet wurde, die die entsprechende Situation jeweils richtig erlebt hatten. Die Gegenüberstellung der Anteile ist Tabelle 10.1 (für die 17 inferenzstatistisch auswertbaren Personen) und Tabelle 10.2 (alle je Situation nutzbaren Personen) im Anhang G zu entnehmen.

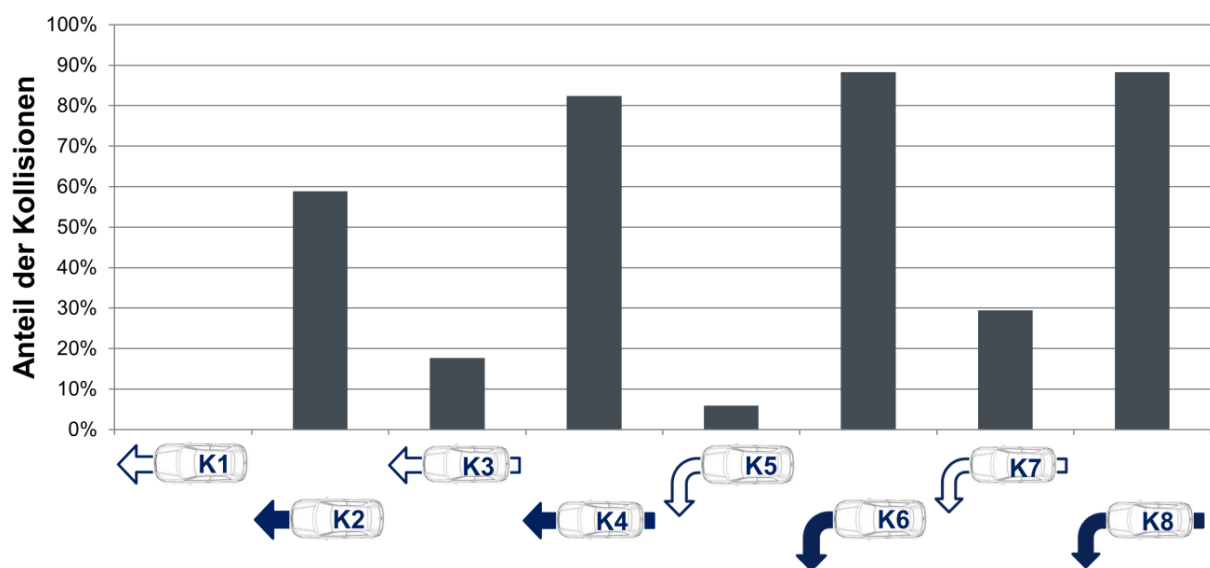


Abbildung 4.5: Anteil der Kollisionen je kritischer Situation ($N = 17$)

Um zu prüfen, ob sich der Anteil der Kollisionen je kritischer Situation über die verschiedenen Situationen hinweg unterschied, wurde ein Cochran's Q Test bei verbundenen Stichproben berechnet, der zu einem signifikanten Ergebnis kam ($\chi^2(7) = 62.07, p < .001$). In der Post-hoc-Analyse durch McNemar Tests zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Situationen K1 und K2 ($\chi^2(1) = 8.10, p = .002, \omega = .69$), K3 und K4 ($\chi^2(1) = 9.09, p < .001, \omega = .73$) sowie zwischen K5 und K6 ($\chi^2(1) = 10.56, p < .001, \omega = .79$). Der Unterschied zwischen K7 und K8 wurde aufgrund des angepassten α -Fehler-Niveaus nicht signifikant ($\chi^2(1) = 6.75, p = .006, \omega = .63$). Die weiteren Paarvergleiche zeigten keine signifikanten Ergebnisse, so dass nicht von einem Einfluss der Bewegungsrichtung oder der Ausgangsposition ausgegangen werden kann. Es unterschieden sich somit nur die Situationen signifikant voneinander, die sich jeweils hinsichtlich der Beschleunigung unterschieden, da sich bei Situationen mit einer hohen Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs mehr Kollisionen ereigneten. Aus diesem Grund konnte H 5c angenommen werden, während H 5a und H 5b abgelehnt werden mussten.

Die Hypothese, dass der Anteil der Kollisionen absinkt, je mehr kritische Situationen erlebt wurden (H 6), wurde anhand eines Cochran's Q Test bei verbundenen Stichproben überprüft. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied über die Reihenfolge der erlebten Situationen hinweg ($\chi^2(7) = 10.21, p = .177$). Der Anteil der Kollisionen im Vergleich der allerersten Situation (71 %) bis zur letzten Situation (24 %) nahm zwar deutlich ab, es war aber kein kontinuierliches Absinken der Kollisionsraten über die acht erlebten Situationen hinweg zu beobachten. Aus diesem Grund wurde H 6 abgelehnt. Die genauen Auflistungen der Kollisionen über die Situationen hinweg sind im Anhang G in Tabelle 10.3 (für die 17 inferenzstatistisch auswertbaren Personen) und in Tabelle 10.4 (für alle je Situation nutzbaren Personen) zu finden.

4.3.4.2 Kollisionsgeschwindigkeit

Bezogen auf die Kollisionsgeschwindigkeit wurde postuliert, dass sowohl die Bewegungsrichtung (H 7a) als auch die Ausgangsposition (H 7b) und die Beschleunigung (H 7c) des kritischen Fahrzeugs einen Einfluss darauf haben, mit welcher Geschwindigkeit die Probanden kollidieren. Einen Überblick über die Kollisionsgeschwindigkeiten gibt Abbildung 4.6. Da von den 17 Personen, bei denen alle Situationen richtig funktioniert hatten, in Situation K1 niemand kollidierte, war kein inferenzstatistischer Vergleich hinsichtlich der

Kollisionsgeschwindigkeiten möglich. Deshalb werden in der Abbildung alle je Situation nutzbaren Personen dargestellt.

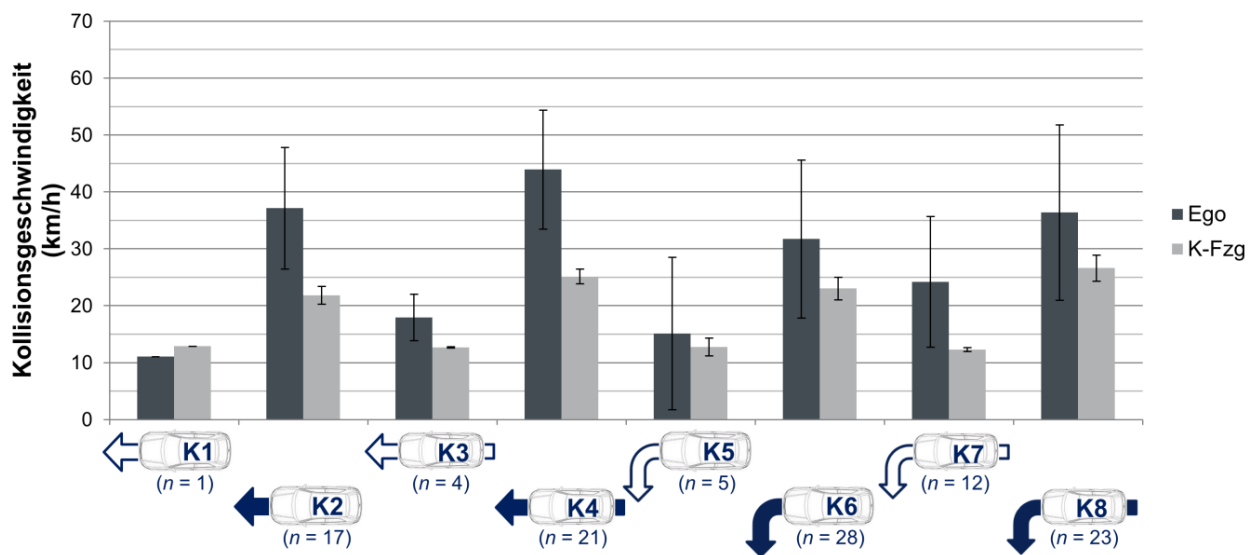


Abbildung 4.6: Kollisionsgeschwindigkeiten (Mittelwerte und Standardabweichungen) des Egofahrzeugs und des kritischen Fahrzeugs je kritischer Situation (alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen)

Die mittlere Kollisionsgeschwindigkeit des Egofahrzeugs war in den Situationen, in denen das kritische Fahrzeug mit hoher Beschleunigung anfuhr, deutlich höher als in den Situationen mit niedriger Beschleunigung. Bei K4 war sie am höchsten. Da sich somit ein Einfluss der Beschleunigung zeigte, konnte H 7c angenommen werden. Es zeigte sich außerdem, dass die Kollisionsgeschwindigkeiten in den Situationen, in denen das kritische Fahrzeug an die Kreuzung heranrollte, etwas höher lagen als in den Situationen, in denen das Fahrzeug aus dem Stand wieder anfuhr. Deshalb wurde H 7b ebenfalls angenommen. Hinsichtlich der Bewegungsrichtung ergaben sich unterschiedliche Tendenzen, je nachdem ob das kritische Fahrzeug langsam oder schnell beschleunigte. Wenn das Fahrzeug nur wenig beschleunigte, wenn es anfuhr, so war die Kollisionsgeschwindigkeit in den Linksabbiegeszenarien höher (K1 vs. K5; K3 vs. K7). Beschleunigte das kritische Fahrzeug stark, so ergaben sich höhere Kollisionsgeschwindigkeiten für die Situationen, in denen das Fahrzeug geradeaus über die Kreuzung fahren wollte (K2 vs. K6; K4 vs. K8). Da sich kein reiner Einfluss der Bewegungsrichtung des kritischen Fahrzeugs ergab, sondern die Beschleunigung einen zusätzlichen Einfluss hatte, wurde H 7a abgelehnt.

Um im Vergleich zu den Kollisionsgeschwindigkeiten des Egofahrzeugs einen Überblick zu den Kollisionsgeschwindigkeiten des kritischen Fahrzeugs zu bekommen, wurden diese

Werte explorativ betrachtet (Abbildung 4.6). Die Kollisionsgeschwindigkeiten des kritischen Fahrzeugs waren bei der hohen Beschleunigung insgesamt höher als bei der niedrigen Beschleunigung, was dadurch erklärbar ist, dass das Fahrzeug dann schneller eine höhere Geschwindigkeit hatte, wenn es stark beschleunigte. Es zeigte sich außerdem, dass das kritische Fahrzeug in den Situationen mit der heranrollenden Ausgangsposition zumindest bei der hohen Beschleunigung eine höhere Geschwindigkeit erreichte. Hinsichtlich der Bewegungsrichtung waren keine Unterschiede erkennbar.

4.3.5 Reaktionsmuster

Bei der Betrachtung des Reaktionsmusters wurde, bezogen auf die Bremsreaktion, angenommen, dass es einen Einfluss der Bewegungsrichtung (H 8a), der Ausgangsposition (H 8b) und der Beschleunigung (H 8c) des kritischen Fahrzeugs gibt. Darüber hinaus wurde basierend auf den Unfallanalysen postuliert, dass insgesamt gesehen die Hauptreaktion auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts in einer Bremsung besteht (H 9). Zusätzlich wurde davon ausgegangen, dass die Bewegungsrichtung (H 10a), die Ausgangsposition (H 10b) und die Beschleunigung (H 10c) des kritischen Fahrzeugs einen Einfluss darauf haben, ob die Personen ausweichen. In den Unfalldaten hatte sich gezeigt, dass die Beteiligten bei einer Vorfahrtsmissachtung von rechts sehr häufig mit einer Ausweichbewegung nach links reagiert hatten, was zu der Annahme führte, dass es sich dabei um eine Standardreaktion handelt. Deshalb wurde für die in der Studie erlebten Situationen postuliert, dass es zu einem Ausweichen nach links kommt, wenn mit einer Ausweichbewegung reagiert wird (H 11).

Zur Bestimmung des Reaktionsmusters bei den einzelnen kritischen Situationen wurde zunächst mittels der objektiven Fahrdaten bestimmt, ob mit einem Bremsen und/oder einem Ausweichen reagiert wurde. Anhand dieser Einzelreaktionen wurde zunächst eine Gesamtvariable zur Klassifikation des Reaktionsmusters erstellt. Da dieser Variable allerdings nicht zu entnehmen war, ob bei einer Doppelreaktion, also einer Kombination von Lenken und Bremsen, zuerst gebremst oder zuerst gelenkt wurde, erfolgte im späteren Verlauf eine Auswertung der Doppelreaktionen. In Abbildung 4.7 ist der Anteil der Reaktionen je kritischer Situation dargestellt. Zu beachten ist dabei, dass die Anzahl der Personen, deren Reaktionen je Situation dargestellt sind, zwischen den Situationen variiert. Da aufgrund des Datenniveaus dieser Gesamtvariablen kein inferenzstatistisches Verfahren zur Prüfung auf signifikante Unterschiede anwendbar war, wurde für die Darstellung des Reaktionsmusters

auf die für die jeweilige Situation nutzbaren Versuchspersonen zurückgegriffen. Im Anhang G sind die Anteile der Reaktionen für alle jeweils nutzbaren Versuchspersonen (Tabelle 10.5) sowie für die 17 Versuchspersonen, auf deren Grundlage inferenzstatistische Aussagen getroffen wurden (Tabelle 10.6), zu finden.

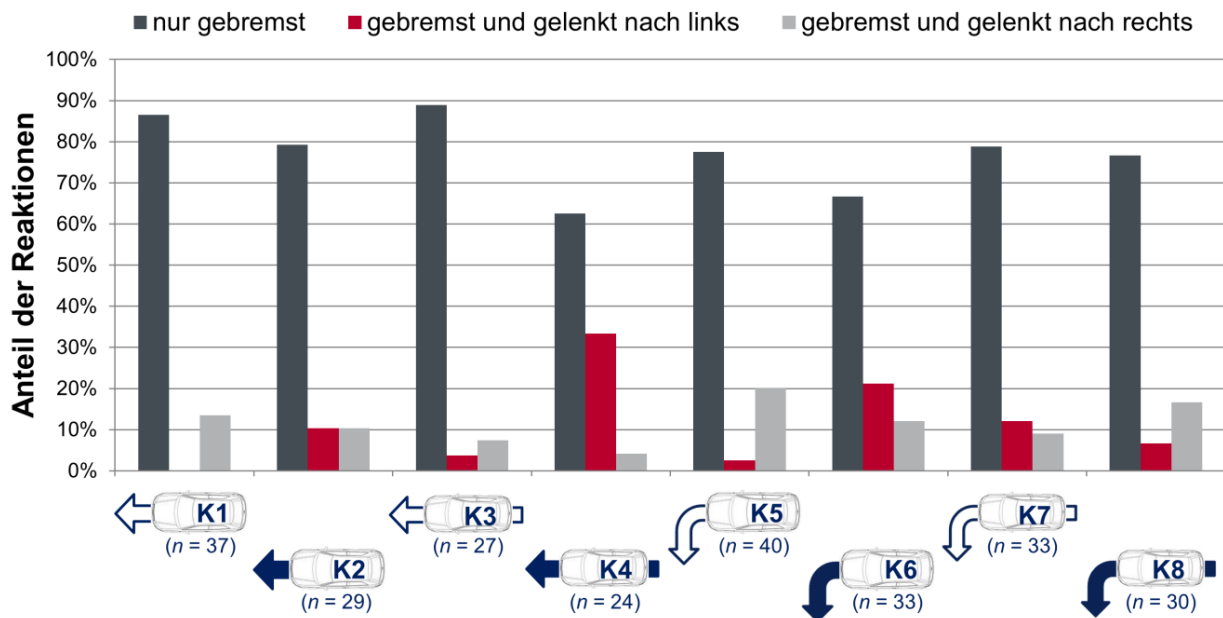


Abbildung 4.7: Anteil der Reaktionen je kritischer Situation (alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen)

Bei der Betrachtung des Reaktionsmusters fiel auf, dass auch von den Versuchspersonen, die ausgewichen waren, zusätzlich immer gebremst wurde. Da somit unabhängig von einer Ausweichbewegung in allen Situationen von allen Personen gebremst wurde, war kein Einfluss der drei Faktoren Bewegungsrichtung, Ausgangsposition und Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs auf die Bremsreaktion gegeben. Die Hypothesen H 8a, H 8b und H 8c mussten deshalb abgelehnt werden. Im Gegensatz dazu zeigte sich, dass der Anteil der Personen, die in der kritischen Situation nur gebremst hatten, in allen kritischen Situationen mindestens bei 60 % lag, was Hypothese H 9 stützt. Den niedrigsten Anteil reiner Bremsreaktionen wiesen die Situationen K4 und K6 auf. In diesen Situationen war der Anteil der Ausweichreaktionen mit gleichzeitiger Bremsung entsprechend höher. Ein Vergleich des Anteils an Ausweichreaktionen je kritischer Situation, der mittels Cochran's Q Test berechnet wurde, zeigte, dass sich die Situationen nicht signifikant darin unterschieden ($\chi^2(7) = 12.11, p = .097$), ob ausgewichen wurde oder nicht. Es konnte daher kein Einfluss der drei Faktoren Bewegungsrichtung, Ausgangsposition und Beschleunigung festgestellt werden, so dass die Hypothesen H 10a, H 10b und H 10c abgelehnt wurden. Über alle

Situationen hinweg fiel auf, dass sowohl nach rechts als auch nach links ausgewichen wurde. Es zeigte sich, dass der Anteil des Ausweichversuchs nach links in Situation K4 mit 33 % am höchsten war. In Situation K6 lag der Anteil bei 21 %. Wenn in den Situationen K1, K3, K5 und K8 gelenkt wurde, so war es zu einem höheren Anteil nach rechts. In Situation K2 war ein Ausweichen nach rechts genauso häufig wie ein Ausweichen nach links, während in Situation K7 etwas mehr Probanden nach links lenkten. Da sich somit herausstellte, dass auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts nicht immer mit einem Ausweichversuch nach links reagiert wurde, musste H 11 abgelehnt werden.

Aufbauend auf dem Ergebnis hinsichtlich des Reaktionsmusters wurde explorativ überprüft, ob bzw. wie sich das Reaktionsverhalten der Personen, die eine Kollision hatten, von den Reaktionen der Personen unterschied, die keine Kollision hatten. Einen Überblick über den Anteil an Reaktionen bei Kollisionen gibt Abbildung 4.8. Die Reaktionen der Personen, die in der jeweiligen Situation keine Kollision hatten, sind in Abbildung 4.9 dargestellt. Bei den Grafiken ist zu beachten, dass alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen dargestellt sind. Dementsprechend ist der Anteil der Kollisionen je Situation den Angaben aus Tabelle 10.2 (im Anhang G) entnommen und die Grafik stellt nicht nur die 17 inferenzstatistisch auswertbaren Personen dar (vgl. Tabelle 10.1 und Abbildung 4.5).

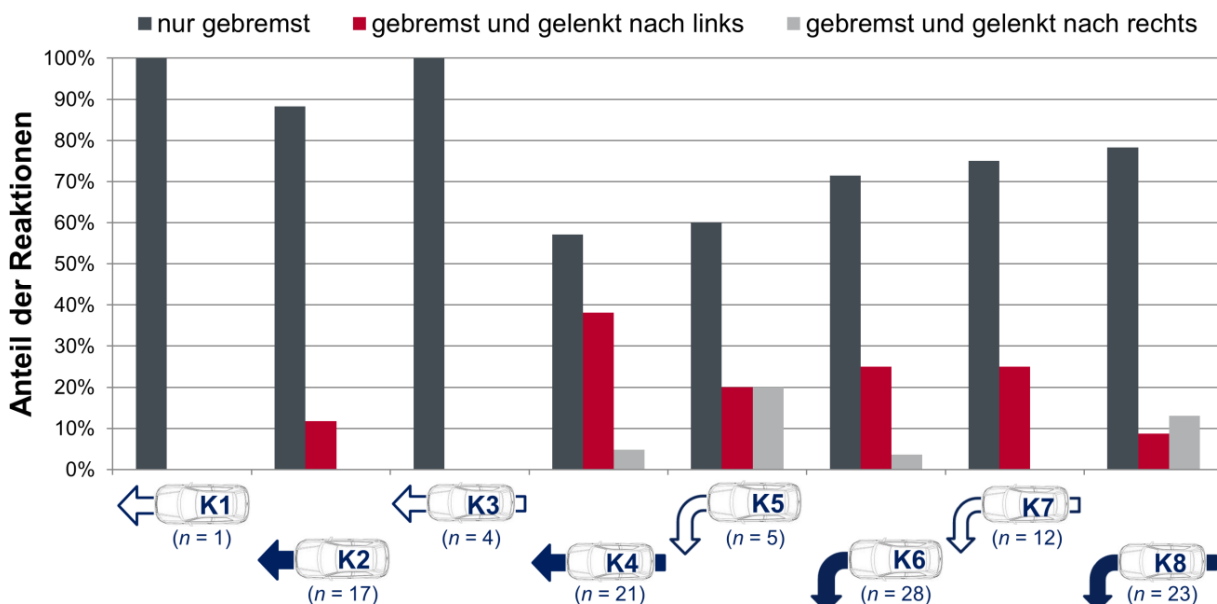


Abbildung 4.8: Vergleich der Reaktionen bei Kollisionen je kritischer Situation (alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen)

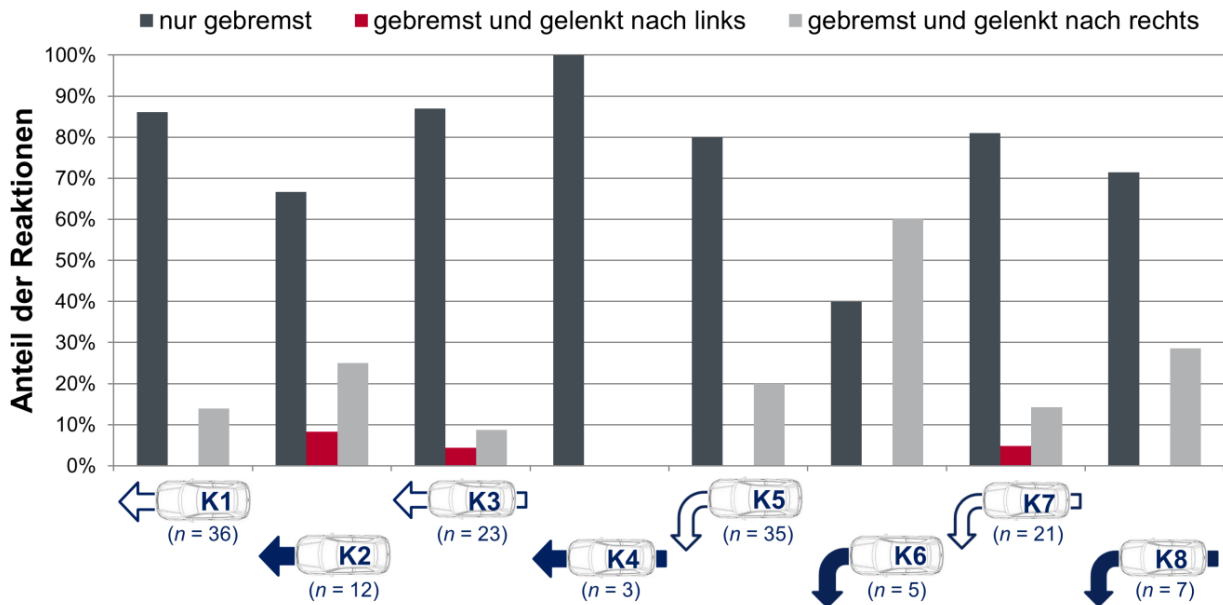


Abbildung 4.9: Vergleich der Reaktionen bei Nicht-Kollisionen je kritischer Situation (alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen)

Es zeigte sich, dass auch bei der Aufteilung der Reaktionen, ob es eine Kollision gab oder nicht, ein alleiniges Bremsen die Hauptreaktion war. Lediglich in Situation K6 wurde von den Personen, die keine Kollision hatten, im Verhältnis öfter nach rechts ausgewichen und gebremst statt nur gebremst. Im Vergleich der Ausweichmanöver zwischen den Situationen, die mit einer Kollision endeten, und denen, die ohne Kollision gemeistert wurden, fiel auf, dass der Anteil des Ausweichens nach links bei den Situationen höher war, in denen es zur Kollision kam. Die Personen, die keine Kollision hatten, lenkten nur zu einem sehr geringen Anteil nach links. Im Gegenzug war der Anteil der Personen, die nach rechts ausgewichen waren, bei den Probanden höher, die keine Kollision hatten.

Da bei der Darstellung der Gesamtvariable für die Personen, die mit einer Kombination aus Lenken und Bremsen auf die kritische Situation reagiert hatten, nicht abgelesen werden konnte, welche Reaktion zuerst erfolgte, wurden die Reaktionen dieser Personen zusätzlich explorativ betrachtet. In Abbildung 4.10 ist für die Personen, die mit einer Doppelreaktion reagiert hatten, der Anteil der jeweils ersten Reaktion dargestellt.

Bei der Betrachtung, welche Reaktion zuerst erfolgte, fiel auf, dass in den Situationen K1, K5 und K7, in denen das kritische Fahrzeug mit einer niedrigen Beschleunigung anfuhr, immer zuerst gebremst wurde. In den Situationen K3, K6 und K8 gab es zwar Personen, die zuerst lenkten, der Anteil der Bremsung als erste Reaktion war aber höher. In Situation K2 wurde gleich häufig zuerst gelenkt und zuerst gebremst. Lediglich in Situation K4 war

der Anteil der Personen, die zuerst lenkten, höher. Wie eine Detailauswertung zeigte, galt für alle Situationen, dass nach links ausgewichen wurde, wenn zuerst gelenkt wurde.

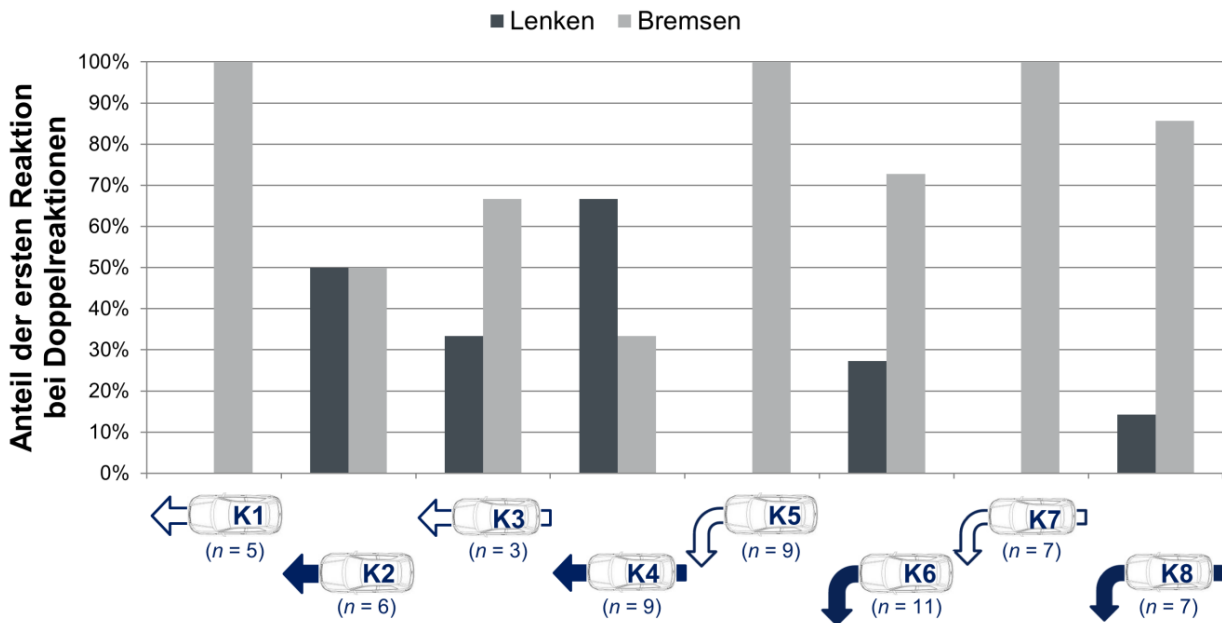


Abbildung 4.10: Darstellung der ersten Reaktion je kritischer Situation, wenn sowohl gelenkt als auch gebremst wurde (alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen)

Die Absolutwerte der jeweiligen Reaktionen für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen, wie sie in Abbildung 4.10 dargestellt sind, sind der Tabelle 10.7 im Anhang G zu entnehmen. Zum Vergleich sind in Tabelle 10.8 die Absolutwerte der 17 inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen dargestellt. Die mittels Cochran's Q Test vorgenommene Prüfung auf Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung, welche Reaktion jeweils die erste war, ergab kein signifikantes Ergebnis ($\chi^2(7) = 12.35, p = .090$).

4.3.6 Objektive Kritikalität

Bei der Auswertung des Reaktionsmusters fiel auf, dass es in Situation K4 zum höchsten Anteil an Ausweichen nach links kam, also dem Verhalten, das gemäß den Unfallanalysen als Standardreaktion vermutet wurde. Darüber hinaus zeigte sich bei der Betrachtung der ersten Reaktion bei Doppelreaktionen, dass Situation K4 die einzige Situation war, in der mehr Personen zuerst lenkten und nicht zuerst bremsten. Deshalb wurde explorativ untersucht, ob es eine Besonderheit gab, worin sich diese Situation deutlich von den anderen sieben Situationen unterschied.

Ein Merkmal, worin sich kritische Situationen unterscheiden können, ist die sogenannte Time-to-Arrival (TTA). Die TTA wird zur objektiven Einschätzung der Kritikalität von Kreuzungssituationen herangezogen und beschreibt für eine Situation im Querverkehr die Zeit bis zur möglichen Kollision mit einem Konfliktpartner (Naujoks, Grattenthaler & Neukum, 2013; van der Horst, 1990). Sie wird berechnet, indem man die Distanz zum kritischen Bereich durch die Geschwindigkeit des Egofahrzeugs dividiert. Alle kritischen Situationen waren so konzipiert, dass die antizipierte Trefferlage bei einer Kollision gleich war. Da sich die Situationen aber aus den unterschiedlichen Ausprägungen der Faktoren Bewegungsrichtung, Ausgangsposition und Beschleunigung zusammensetzten, resultierten unterschiedliche TTA für den jeweiligen Zeitpunkt des Beschleunigens des kritischen Fahrzeugs. Abbildung 4.11 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der TTA der acht kritischen Situationen. Für die Situationen K1 bis K6 war die Standardabweichung jeweils so gering ($< .03$), dass sie in der Grafik nicht dargestellt wird. In den Situationen K7 und K8 lag die Standardabweichung bei $.13$ bzw. $.16$.

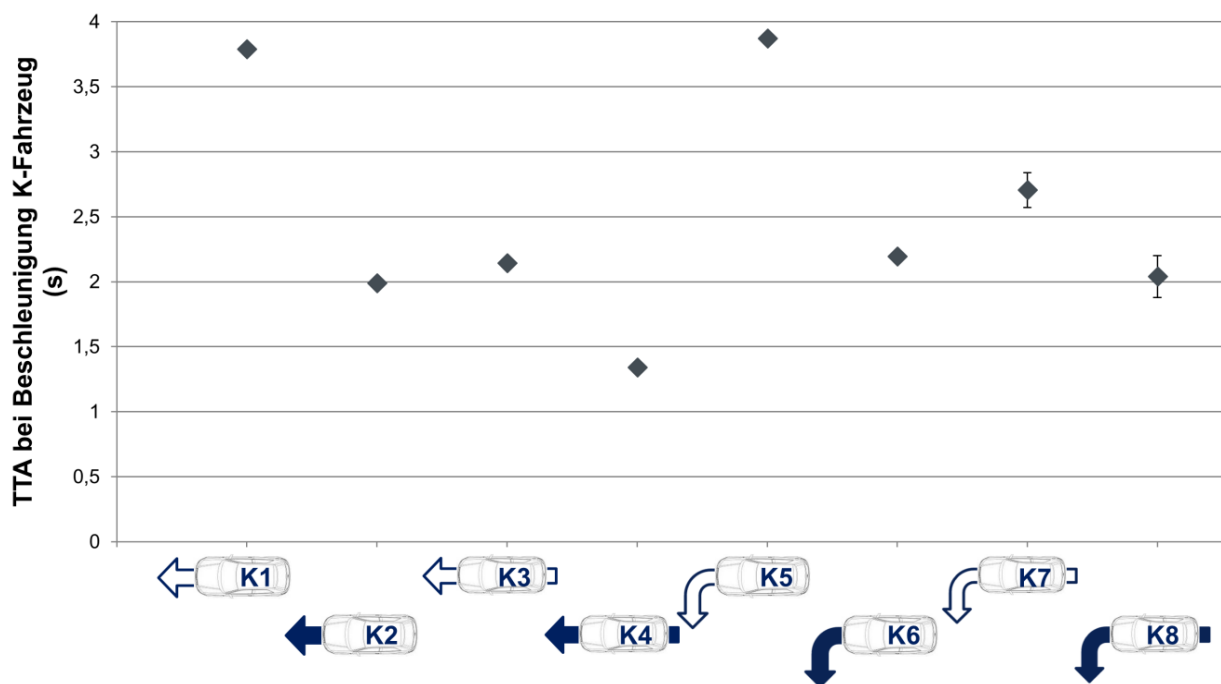


Abbildung 4.11: Darstellung der Time-to-Arrival (TTA) zum Zeitpunkt des Beschleunigens des kritischen Fahrzeugs je kritischer Situation ($N=17$)

Es zeigte sich, dass die TTA in der Situation K4 mit 1.34 s am niedrigsten war. In den Situationen K2, K3, K6 und K8 lag die TTA im Bereich von 2 s. Die beiden Situationen K1 und K5, in denen das kritische Fahrzeug mit einer niedrigen Beschleunigung aus dem Stand anfuhr, hatten eine TTA von knapp 4 s. In diesen beiden Situationen war die Kollisionsrate

am niedrigsten, dafür war aber der Anteil des Ausweichens nach rechts vergleichsweise hoch.

4.3.7 Verzögerungen

Da aus den Angaben der Literatur hervorging, dass es Personen vor allem in kritischen Situationen schwer fällt, mit einer Notbremsung zu reagieren, war es von Interesse, wie stark die Probanden in den erlebten kritischen Situationen verzögerten. Es wurde postuliert, dass die Bewegungsrichtung (H 12a), die Ausgangsposition (H 12b) und die Beschleunigung (H 12c) des kritischen Fahrzeugs einen Einfluss auf die durchschnittliche Verzögerung haben. In Abbildung 4.12 sind die durchschnittlichen Verzögerungen (Mittelwerte und Standardabweichungen) der Probanden dargestellt, wie sie in einer realen Situation jeweils gewirkt hätten: Falls es in der jeweiligen Situation zu einer Kollision kam, so wurde nur die Verzögerung bis zum Zeitpunkt der Kollision berücksichtigt, auch wenn es den Probanden aufgrund der nur virtuell erlebten Kollision möglich war, auch nach dieser weiter zu verzögern. Für Probanden, die keine Kollision hatten, wurde das Ende der Bremsung entweder über den Zeitpunkt des Fahrzeugstillstands oder über die Unterschreitung des Schwellwerts des Bremsdrucks von 7 bar bestimmt, je nachdem, was früher eintrat.

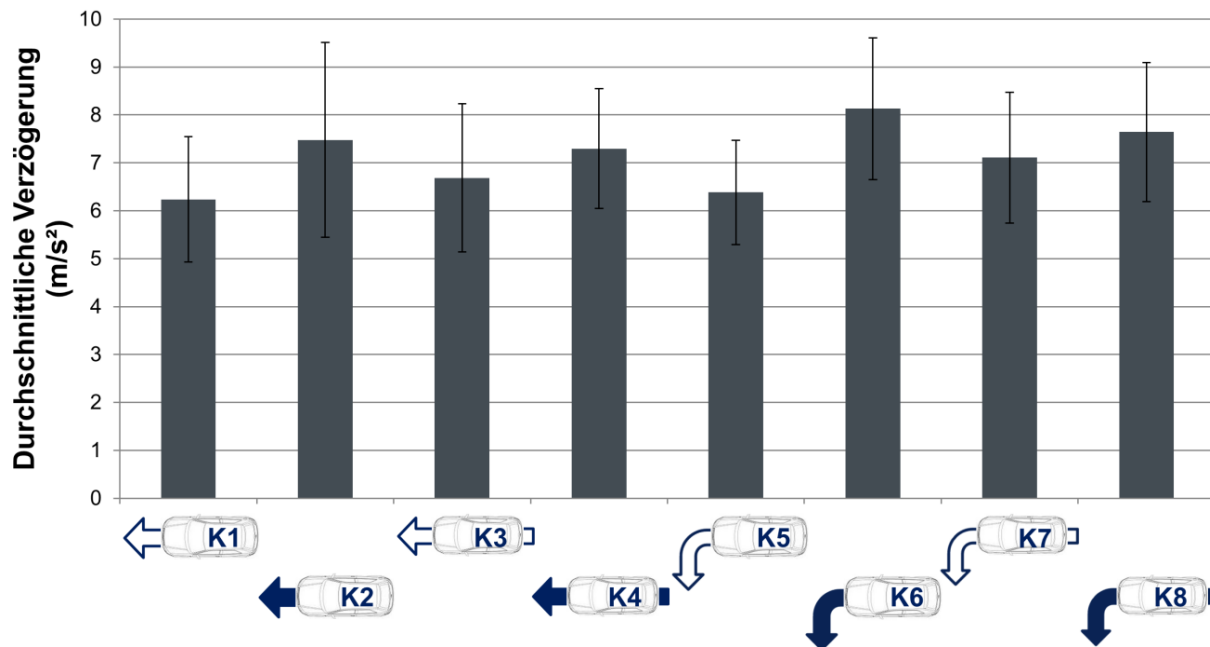


Abbildung 4.12: Durchschnittliche Verzögerung je kritischer Situation ($N = 17$)

Im Vergleich der Verteilung mittels einer einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung zeigte sich ein signifikanter Unterschied ($F(7, 112) = 4.05$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .20$). In den Post-hoc

t-Tests bei verbundenen Stichproben wurde lediglich der Unterschied zwischen K5 und K6 signifikant ($t(16) = 4.50, p < .001, r = .75$). Der Unterschied zwischen K1 und K2 wurde aufgrund des angepassten Signifikanzniveaus nicht signifikant ($t(16) = 2.34, p = .033, r = .50$). Alle weiteren Paarvergleiche erbrachten kein signifikantes Ergebnis. Es ergaben sich somit nur Unterschiede für die Situationen, die sich durch die Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs unterschieden, weswegen H 12c angenommen wurde. Da weder ein Einfluss der Bewegungsrichtung noch der Ausgangsposition vorlag, wurden H 12a und H 12b abgelehnt.

4.3.8 Reaktionszeiten

Hinsichtlich der Reaktionszeiten wurde angenommen, dass diese sowohl durch die Bewegungsrichtung (H 13a) als auch durch die Ausgangsposition (H 13b) sowie die Beschleunigung (H 13c) des kritischen Fahrzeugs beeinflusst werden. Für die Bestimmung der Reaktionszeiten wurde der Zeitpunkt des Beschleunigens des kritischen Fahrzeugs als t_0 definiert. Da sich gezeigt hatte, dass die erste Reaktion nicht nur in einer Bremsung bestand (vgl. Abbildung 4.10) wurden die Reaktionszeiten sowohl allgemein für die Bremsreaktion als auch für die erste Reaktion bestimmt. Die Gegenüberstellung der jeweiligen Reaktionszeiten ist Abbildung 4.13 zu entnehmen, in der jeweils die Mittelwerte und Standardabweichungen dargestellt sind.

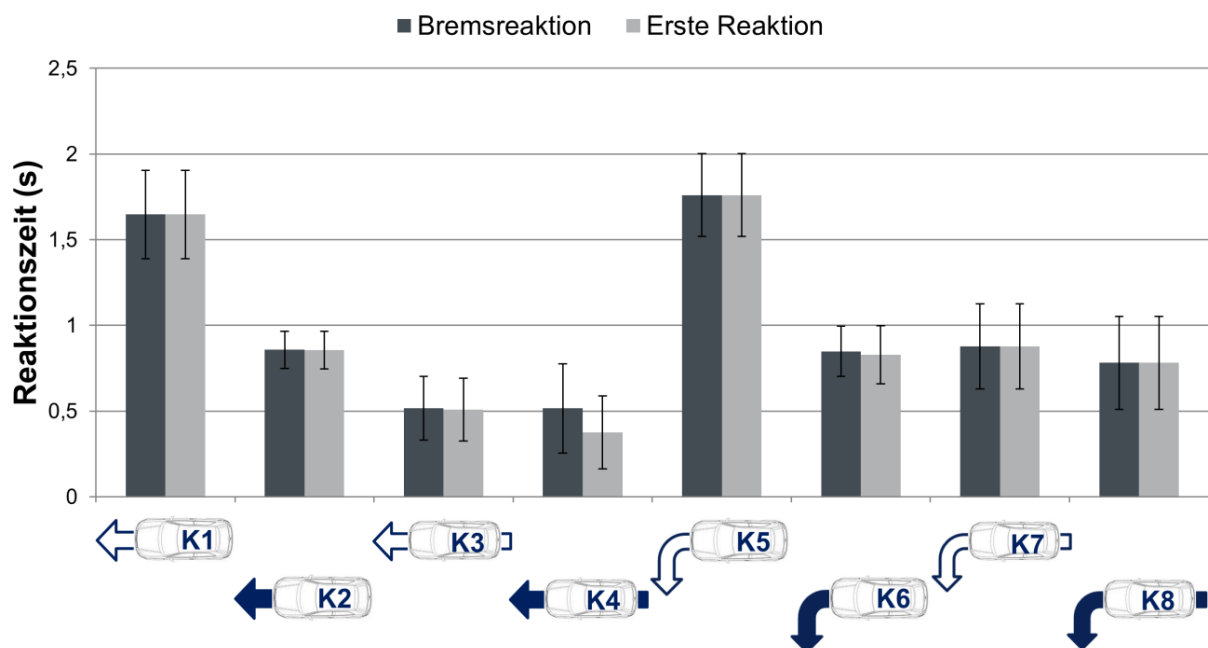


Abbildung 4.13: Vergleichende Darstellung der Reaktionszeiten der Bremsreaktion und der ersten Reaktion je kritischer Situation ($N = 17$)

Der direkte Vergleich der Reaktionszeiten für die Bremsung mit denen der ersten Reaktion zeigte, dass in Situation K4 die Reaktionszeiten der ersten Reaktion kürzer waren. Der Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass in Situation K4 die erste Reaktion oftmals in einer Lenkbewegung bestand (vgl. Abbildung 4.10). Da die Reaktionszeit der ersten Reaktion für die Situation K4 kürzer war, lässt sich schlussfolgern, dass die Lenkbewegung im Verhältnis zur Bremsreaktion früher begann.

Die Prüfung auf Unterschiede, die mittels einer einfaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung vorgenommen wurde, ergab einen signifikanten Unterschied in der Verteilung der Reaktionszeiten für die einzelnen kritischen Situationen sowohl für die Bremsreaktion ($F(7, 112) = 100.14, p < .001, \eta_p^2 = .86$) als auch für die jeweils erste Reaktion ($F(7, 112) = 119.10, p < .001, \eta_p^2 = .88$). Post-hoc durchgeführte t-Tests bei verbundenen Stichproben ergaben für die Reaktionszeiten der Bremsreaktion signifikante Unterschiede für den Faktor Bewegungsrichtung zwischen K3 und K7 ($t(16) = -5.70, p < .001, r = .82$) und K4 und K8 ($t(16) = -3.73, p = .002, r = .68$), für den Faktor Ausgangsposition bei K1 und K3 ($t(16) = 19.73, p < .001, r = .98$), K2 und K4 ($t(16) = 4.64, p < .001, r = .76$) und K5 und K7 ($t(16) = 11.53, p < .001, r = .94$) sowie für den Faktor Beschleunigung bei K1 und K2 ($t(16) = 11.29, p < .001, r = .94$) und K5 und K6 ($t(16) = 13.97, p < .001, r = .96$). Bei den Reaktionszeiten der ersten Reaktion zeigten sich in der Post-hoc-Analyse dieselben signifikanten Unterschiede. Hinsichtlich des Faktors Bewegungsrichtung unterschieden sich K3 und K7 ($t(16) = -5.72, p < .001, r = .82$) sowie K4 und K8 ($t(16) = -7.98, p < .001, r = .89$). Beim Faktor Ausgangsposition unterschieden sich K1 und K3 ($t(16) = 20.56, p < .001, r = .98$), K2 und K4 ($t(16) = 8.55, p < .001, r = .91$) sowie K5 und K7 ($t(16) = 11.53, p < .001, r = .94$). Für den Faktor Beschleunigung unterschieden sich K1 und K2 ($t(16) = 11.34, p < .001, r = .94$) sowie K5 und K6 ($t(16) = 13.34, p < .001, r = .96$). Der Unterschied zwischen K3 und K4 wurde aufgrund des korrigierten α -Fehler-Niveaus nicht signifikant ($t(16) = 2.54, p = .022, r = .54$).

Zusammenfassend zeigte sich für die Reaktionszeiten sowohl der Bremsreaktion als auch der ersten Reaktion, dass die Beschleunigung einen signifikanten Unterschied bei den stehenden Szenarien (K1 vs. K2 und K5 vs. K6) bewirkte, weswegen H 13c angenommen wurde. Außerdem ergaben sich signifikante Unterschiede in den Reaktionszeiten, je nachdem, ob das kritische Fahrzeug vor dem Beschleunigen stand oder rollte (K1 vs. K3, K2 vs. K4 und K5 vs. K7), so dass auch H 13b angenommen werden konnte. Bei den rollenden

Szenarien bewirkte die Bewegungsrichtung einen signifikanten Unterschied (K3 vs. K7 und K4 vs. K8). Aus diesem Grund wurde H 13a ebenfalls angenommen.

4.4 Diskussion

Ziel der ersten Studie mit dem VIL war es, auf Grundlage der Literatur sowie der Unfalldatenanalyse Einflussfaktoren zu finden, die dazu führen, dass Personen auf eine kritische Situation, in der ihnen von rechts die Vorfahrt genommen wird, mit einer Ausweichreaktion nach links reagieren, was sich in den Unfalldaten als Standardreaktion herausgestellt hatte. Als mögliche Einflussfaktoren wurden die Bewegungsrichtung des kritischen Fahrzeugs (geradeaus / links abbiegend) sowie die Ausgangsposition (stehend / rollend) und die Beschleunigung (niedrig / hoch) variiert. Ausgehend von den Ergebnissen aus der Unfallforschung, die sich nur auf Situationen beziehen, in denen es zu einer Kollision kam, war hinsichtlich des Reaktionsverhaltens in der durchgeführten Studie vor allem auch der Anteil der Personen interessant, bei denen es nicht zu einer Kollision kam.

Um zu prüfen, ob es gelungen war, die Probanden mit für sie kritischen Situationen zu konfrontieren, wurde die subjektive Kritikalität überprüft. Die Ausprägungen der SBS (Neukum et al., 2008) erstrecken sich von *nichts bemerkt* bis hin zu *nicht kontrollierbar* mit den Zwischenstufen *harmlos*, *unangenehm* und *gefährlich*. Es zeigte sich, dass alle präsentierten kritischen Situationen im Mittel als mindestens unangenehm eingeschätzt wurden, die Kritikalität aber oftmals als gefährlich bezeichnet wurde. Es kann also festgehalten werden, dass es in der vorliegenden Studie durchaus gelang, die Probanden mit Situationen zu konfrontieren, die tatsächlich als kritisch empfunden wurden. Da sich die Kritikalität über die nacheinander erlebten kritischen Situationen hinweg nicht signifikant unterschied und die entsprechende Hypothese (H 2) abgelehnt wurde, kann ein möglicher Gewöhnungseffekt vernachlässigt werden. Jede Situation wirkte demnach für sich selbst. Bezogen auf die einzelnen kritischen Situationen zeigte sich hinsichtlich möglicher Einflussfaktoren nur ein großer Effekt der Beschleunigung (H 1c): Situationen mit der hohen Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs wurden als signifikant kritischer eingeschätzt. Die Situationen wurden im Mittel alle als gefährlich bis hin zu nicht kontrollierbar eingeschätzt. Der deutliche Anteil an Einschätzungen, dass diese Situationen nicht kontrollierbar waren, ging einher mit einer hohen Kollisionsrate in diesen Situationen. Dabei fiel auf, dass die Situation K4 von allen Situationen als am kritischsten eingeschätzt wurde und diese Angaben am wenigsten streuten. Da sich kein Einfluss der Bewegungsrichtung (H 1a) und der Ausgangsposition (H 1b)

des kritischen Fahrzeugs auf die subjektive Kritikalität zeigte, stellte sich die Beschleunigung als einziger Einflussfaktor dar.

Inwieweit die Probanden die kritischen Situationen erwarteten, wurde anhand der Überraschungsintensität operationalisiert. Bei den subjektiven Angaben zur Überraschungsintensität zeigte sich, dass das Ausmaß an Überraschung im Verlauf des Experiments abnahm. Allerdings lag die Bewertung der am Schluss erlebten kritischen Situation trotzdem nur eine Stufe unter dem Niveau der Überraschung in der allerersten kritischen Situation und es ergab sich kein signifikanter Unterschied über alle Situationen (H 4). Für die Interpretation der Ergebnisse kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die experimentelle Manipulation ausreichend funktionierte, die Situationen hinreichend überraschend waren und die Reaktionen der Probanden ein natürliches Verhalten widerspiegelten. Die Situationen, die als kritischer eingestuft wurden, wurden auch als überraschender eingeschätzt. Hierbei zeigte sich ebenfalls ein großer Effekt der Beschleunigung (H 3c). Die Überraschungsintensität in den Situationen mit der hohen Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs lag eine Stufe höher als die Überraschungsintensität in den Situationen, in denen das kritische Fahrzeug nur wenig beschleunigte. Es zeigte sich hinsichtlich der Überraschung kein Effekt der Bewegungsrichtung (H 3a) oder der Ausgangsposition (H 3b).

Da die kritischen Situationen auf der Grundlage von Unfallszenarien konzipiert waren, war von Interesse, wie viele Personen jeweils eine Kollision hatten. Der Anteil an Kollisionen in den acht kritischen Situationen, die die Probanden erlebten, war erheblich. Über alle Versuchspersonen kam es in der allerersten kritischen Situation in 71 % der Fälle zu einer Kollision. In den weiteren kritischen Situationen war der Anteil dann zwar nicht mehr so hoch, aber selbst in der allerletzten kritischen Situation hatte noch knapp ein Viertel der Probanden eine Kollision. Es zeigte sich somit, dass es für die Probanden schwierig war, die Situationen ohne Kollision zu durchfahren. Auch wenn der Unterschied der Kollisionsrate über die erlebten Situationen hinweg nicht signifikant wurde (H 6), zeichnete sich in den Daten doch ein gewisser Lerneffekt ab. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Probanden aufgrund des Versuchsdesigns mit einer sehr hohen Quote an kritischen Situationen konfrontiert wurden und die Erwartungshaltung, dass ihnen wieder ein Fahrzeug von rechts die Vorfahrt nehmen würde, im Laufe des Experiments zunahm.

Der Anteil der Kollisionen je kritischer Situation unterschied sich deutlich. In den Situationen, in denen das kritische Fahrzeug mit einer hohen Beschleunigung anfuhr, war die Kollisionsrate signifikant höher (H 5c) und die Kollisionsgeschwindigkeiten waren signifikant

höher (H 7c). Die Effektstärken zeigten, dass es sich dabei um einen großen Effekt handelt. In Situation K2 lag die Kollisionsrate knapp unterhalb von 60 %, während in den Situationen K4, K6 und K8 die Kollisionsrate immer über 80 % lag. In Situation K1 kam es zur niedrigsten Anzahl an Kollisionen. Von den 17 inferenzstatistisch auswertbaren Probanden kollidierte niemand in dieser Situation. Betrachtet man alle in dieser Situation nutzbaren Versuchspersonen ($N = 37$), so kollidierte zumindest eine Person. Auch in Situation K5, die sich von K1 nur darin unterschied, dass das kritische Fahrzeug nach links abbog und nicht geradeaus über die Kreuzung fuhr, war der Anteil an Kollisionen sehr gering. In den Szenarien, in denen das Fahrzeug an die Kreuzung heranrollte und dann mit einer niedrigen Beschleunigung weiterfuhr, war der Anteil an Kollisionen zwar etwas höher, in Situation K7 lag er sogar bei ca. 30 %, erreichte aber trotzdem bei Weitem nicht das Ausmaß der Kollisionsrate der kritischen Situationen mit hoher Beschleunigung. Für die Situationen, die sich jeweils hinsichtlich der Bewegungsrichtung (H 5a) oder der Ausgangsposition (H 5b) unterschieden, zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Für eine Vorhersage, ob es in einer kritischen Situation, in der jemandem die Vorfahrt von rechts genommen wird, zu einer Kollision kommt, ist es demnach unerheblich, in welche Richtung das kritische Fahrzeug fahren möchte und ob es aus dem Stand losfährt oder an die Kreuzung heranrollt. Der entscheidende und bedeutsame Faktor ist die Beschleunigung, mit der das kritische Fahrzeug anfährt. Ein Grund dafür könnte darin liegen, dass diese Art von Situationen plötzlicher geschehen bzw. das kritische Fahrzeug schneller als erwartet auf dem eigenen Fahrstreifen ist, da es bei hoher Beschleunigung mehr Weg in derselben Zeit zurücklegt, als ein Fahrzeug, das nur wenig beschleunigt. In der Folge verringert sich daher die zur Verfügung stehende Entscheidungszeit. Dass die Situationen, in denen das Fahrzeug mit einer hohen Beschleunigung anfuhr, tatsächlich von den Probanden als überraschender und als kritischer eingeschätzt wurden, untermauert diese Vermutung.

Die Hauptreaktion auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts war hypothesenkonform eine Bremsung (H 9). Es zeigte sich jedoch kein Einfluss der einzelnen Faktoren Bewegungsrichtung (H 8a), Ausgangsposition (H 8b) und Beschleunigung (H 8c), da jede Person in jeder Situation bremste. In jeder kritischen Situation wurde von mindestens 60 % der Probanden nur eine Gefahrenbremsung ohne irgendeine Lenkreaktion eingeleitet. Damit lag der Anteil der reinen Bremsreaktionen in der Studie mit dem VIL höher als in der Auswertung der Unfalldaten. Die Werte der durchschnittlichen Verzögerungen je kritischer Situation deuten auf durchwegs starke Bremsreaktionen hin. Dabei zeigte sich jedoch kein Einfluss

der Bewegungsrichtung (H 12b) oder der Ausgangsposition (H 12b). Mittlere Bremsverzögerungen für eine Gefahrenbremsung liegen in der Regel zwischen 6 m/s^2 und 10 m/s^2 (Burg & Moser, 2009). Für einen Audi A6 Avant, wie er in dem Versuch verwendet wurde, wird die maximal mögliche mittlere Verzögerung mit 10 m/s^2 angegeben. Die während des Versuchs erreichten durchschnittlichen Verzögerungswerte lagen alle mindestens bei 6 m/s^2 . Die Mittelwerte der Verzögerung bei den Situationen, in denen das kritische Fahrzeug mit der hohen Beschleunigung anfuhr, lagen sogar bei mindestens 7 m/s^2 , so dass sich insgesamt ein signifikanter Unterschied ergab (H 12c). Dennoch lagen die Kollisionsgeschwindigkeiten für das Egofahrzeug in den Situationen mit der hohen Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs höher. Im Gegensatz zu den Situationen mit der niedrigen Beschleunigung, in denen den Probanden eine Geschwindigkeitsreduktion von ca. 50 km/h gelang, lag die Reduktion in den restlichen Situationen bei ca. 30 km/h . Da die Situationen mit der hohen Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs von den Probanden als kritischer eingeschätzt wurden, lässt sich daraus ableiten, dass Personen bei einer höheren subjektiven Kritikalität stärker verzögern, auch wenn sie dadurch trotzdem nicht mehr Geschwindigkeit abbauen können, bis es zu einer Kollision kommt. Selbst wenn gemäß der Ergebnisse aus den bisherigen Validierungsstudien des VIL (Berg, Karl & Färber, 2011; Karl, Berg, Rieger & Färber, 2013; Rieger, 2015) davon ausgegangen werden muss, dass Personen im VIL stärker verzögern als in der Realität, so können die Reaktionen der Probanden durchaus als Gefahrenbremsungen bezeichnet werden. Die Situationen wurden also als derart real und kritisch erlebt, dass die Probanden auch mit einem realistischen Manöver reagierten.

Hinsichtlich einer Ausweichreaktion lag der Anteil der Lenkmanöver bei den kritischen Situationen mit hoher Beschleunigung zwar etwas höher als bei Situationen mit niedriger Beschleunigung, es ergab sich aber kein signifikanter Einfluss der Beschleunigung (H 10c). Darüber hinaus hatte es auch keinen Einfluss auf das Ausweichverhalten, welche Bewegungsrichtung das Fahrzeug hatte (H 10a) und aus welcher Ausgangsposition es losfuhr (H 10b). Es fiel auf, dass nicht immer, wie auf der Grundlage der Unfalldaten postuliert, ein Ausweichen in die Gefahr, also nach links, erfolgte. Es gab durchaus Personen, die in der kritischen Situation nach rechts lenkten. Deshalb musste die Hypothese H 11 abgelehnt werden. Folglich zeigte sich die postulierte Standardreaktion eines Ausweichens in die Bewegungsrichtung des kreuzenden Fahrzeugs nicht in den Ergebnissen der Studie. Da die kritischen Situationen so konzipiert waren, dass die Kollision durch ein Lenken nach rechts

in Kombination mit einer Vollbremsung vermeidbar war, scheint diese Möglichkeit durchaus von einigen Probanden erkannt und umgesetzt worden zu sein. Lediglich in den Situationen K4 und K6 war bei den Lenkmanövern der Anteil des Ausweichens nach links höher als der des Ausweichens nach rechts. Dabei war der Anteil des Ausweichens in die Gefahr bei K4 mit 33 % am höchsten.

Hinsichtlich des Reaktionsmusters war es außerdem noch von Interesse, die Situationen, die mit einer Kollision endeten, mit den Situationen zu vergleichen, in denen die Probanden die Kollision vermeiden konnten. Es zeigte sich, dass bei den Situationen, in denen es zur Kollision kam, im Verhältnis häufiger nach links ausgewichen wurde. Im Gegensatz dazu führte die Kombination aus Bremsen und Lenken nach rechts eher dazu, die Kollision zu vermeiden. Dies war auch der Grundgedanke bei der Konzeption der kritischen Situationen gewesen. Da jedoch auch viele Kollisionen durch eine alleinige Bremsreaktion verhindert wurden, hatte die intendierte Manipulation nicht ganz wie geplant funktioniert. Zum einen lag die reale Ausgangsgeschwindigkeit mit 67 km/h aufgrund der Tachoungenauigkeit 3 km/h unter der Geschwindigkeit, mit der die Situationen in PC-Crash simuliert worden waren. Deshalb waren die Situationen nicht ganz so kritisch wie beabsichtigt. Zum anderen wurde in PC-Crash bei der Simulation der Reaktion des Egofahrzeugs für den Beginn der Bremsung das Überfahren der Haltelinie durch das kritische Fahrzeug als Startzeitpunkt festgelegt. Dies resultierte im Vergleich in etwas längeren Reaktionszeiten als sie in der Studie vorlagen. Hier zeigte sich die Erwartungshaltung der Probanden, dass etwas passieren könnte, so dass sie im Falle der kritischen Situation schneller reagierten, als es im normalen Straßenverkehr zu erwarten wäre.

Beim Vergleich der ersten Reaktion für die Personen, die mit einer Kombination aus Lenken und Bremsen auf eine kritische Situation reagierten, fiel wiederum die Situation K4 auf: nur in dieser Situation war der Anteil der Personen, die zuerst lenkten und dann bremsen höher. Man muss beim Vergleich der ersten Reaktion zwar beachten, dass die Anzahl der Personen, die so reagierten, verhältnismäßig gering war, dennoch lässt sich auf dieser Grundlage eine gewisse Tendenz ableiten, dass sich die Situation K4 durch ein für das Ausweichverhalten entscheidendes Merkmal von den anderen kritischen Situationen unterscheiden musste.

Ein solches Merkmal stellt die TTA dar, die ein Maß für die objektive Kritikalität von Kreuzungssituationen ist. Es stellte sich heraus, dass die TTA in der Situation K4 mit 1.34 s im Vergleich aller Situationen am niedrigsten war. In den beiden Situationen K1 und K5, die

jeweils eine deutlich höhere TTA hatten, war der Anteil des Ausweichens nach rechts vergleichsweise hoch und die Kollisionsrate war am niedrigsten. Dies spricht dafür, dass den Probanden in diesen Situationen genügend Zeit blieb, die Situation zu verarbeiten, zu verstehen, dass das kreuzende Fahrzeug tatsächlich anfährt und ihnen die Vorfahrt nimmt, und daraufhin passende Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Bezogen auf die Ausweichrichtung scheint die Zeit mit Ausnahme von Situation K4 durchaus auszureichen, die Situation richtig zu interpretieren und das Ausweichmanöver nach rechts einzuleiten. Die im Vergleich geringere TTA in der Situation K4 führte dazu, dass die Probanden häufiger zuerst mit einer Ausweichbewegung in die Gefahr reagierten und erst nach dem Lenken mit der Bremsung begannen. Für die Situation K4 konnte somit die postulierte Standardreaktion beobachtet werden.

Der Vergleich der Reaktionszeiten für die Bremsreaktion mit den Reaktionszeiten der ersten Reaktion zeigte für Situation K4, dass es in dieser Situation zwar zu den kürzesten Reaktionszeiten bezogen auf die Bremsung kam, sich die Reaktionszeit aber noch verkürzte, wenn man die erste Reaktion betrachtete. Das bedeutet, dass im Vergleich zu den anderen kritischen Situationen in K4 sehr zügig mit einer Lenkbewegung reagiert wurde. Da sich der Wert im Bereich von 0.37 s bewegt, handelt es sich um eine sehr schnelle Reaktion (Burg & Moser, 2009). Dies spricht daher eher für eine intuitive, reflexartige Reaktion als für ein überlegtes Handeln und untermauert die Möglichkeit einer Standardreaktion.

Ein Vergleich der Reaktionszeiten über alle kritischen Situationen hinweg zeigte, dass sich die Reaktionszeiten je Situation signifikant voneinander unterschieden. Dabei konnte jeweils ein Einfluss der Bewegungsrichtung (H 13a), der Ausgangsposition (H 13b) und der Beschleunigung (H 13c) des kritischen Fahrzeugs festgestellt werden. Die Situationen K1 und K5 fielen in diesem Zusammenhang durch sehr lange Reaktionszeiten auf, was vor dem Hintergrund der vergleichsweise hohen TTA durchaus plausibel ist. Aufgrund dieser langen Reaktionszeiten ergab sich für die stehenden Szenarien ein signifikanter und bedeutsamer Unterschied hinsichtlich der Beschleunigung. Beschleunigte das kritische Fahrzeug stark, fiel die Reaktionszeit kürzer aus. Bei den rollenden Szenarien machte es einen Unterschied, ob das Fahrzeug geradeaus fahren oder abbiegen wollte. Bei der Geradeausfahrt wurde signifikant schneller reagiert. Auch dieser Unterschied lässt sich durch die unterschiedliche TTA erklären: die TTA in den Szenarien mit Geradeausfahrt war niedriger, so dass hier auch entsprechend schneller reagiert werden musste. Außerdem war ein Einfluss erkennbar, je nachdem, ob das Fahrzeug vorher stand oder an die Kreuzung heran rollte:

die TTA in den rollenden Szenarien war jeweils kürzer als in den vergleichbaren stehenden Szenarien, so dass auch hier schneller reagiert werden musste. Hinsichtlich der absoluten Werte der Reaktionszeiten muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Probanden einer Reihe von kritischen Situationen ausgesetzt waren und sich im Laufe des Versuchs eine gewisse Erwartungshaltung aufgebaut hatte, dass etwas passieren könnte. Die grundsätzlich eher schnellen Reaktionszeiten lassen sich demnach nicht ohne weiteres auf die Reaktionsschnelligkeit in einer entsprechend kritischen Situation im normalen Straßenverkehr übertragen. Auch die Tatsache, dass manche Probanden je Situation von der Analyse ausgeschlossen werden mussten, da sie bereits zu früh, bei der reinen Anwesenheit eines an die Kreuzung heranfahrenden Fahrzeugs, mit der Bremsung begonnen hatten, spricht für das Vorhandensein der Erwartungshaltung. Da der Anteil der je Situation nutzbaren Versuchspersonen für K4 am niedrigsten war, macht sich hier der Nachteil des Within-Subjects-Designs bzw. der hohen Anzahl an kritischen Situationen bemerkbar: Gerade in der Situation, die die kürzeste TTA aufwies, reagierten die Probanden aufgrund ihrer Erwartungshaltung tendenziell häufiger vor dem Beschleunigen des kritischen Fahrzeugs und somit bevor die Situation wirklich kritisch wurde.

Insgesamt zeigte sich, dass sich die Situation K4 von den anderen kritischen Situationen hinsichtlich der TTA deutlich unterschied. Diese geringe TTA spiegelte sich auch in den subjektiven Einschätzungen der Kritikalität dieser Situation wider, da K4 den höchsten Wert erreichte und die niedrigste Standardabweichung aufwies. Da es in dieser Situation zu dem aus den Unfalldaten abgeleiteten Phänomen des Ausweichens in die Gefahr kam, wird davon ausgegangen, dass die TTA der wichtigste Einflussfaktor für die Reaktionsweise auf die Vorfahrtsmissachtung von rechts ist. Diese Vermutung sollte in einem zweiten Experiment überprüft werden.

4.5 Zusammenfassung

In der ersten Studie mit dem VIL sollten ausgehend von den Analysen der Unfalldaten und Hinweisen aus der Literatur Einflussfaktoren gefunden werden, die dazu führen, dass Personen in einer Situation, in der ihnen von rechts die Vorfahrt genommen wird, häufig mit einem Ausweichversuch nach links reagieren. Es wurden durch die Variation der drei Faktoren Bewegungsrichtung, Ausgangsposition und Beschleunigung acht kritische Situationen definiert. Dabei stellte sich heraus, dass es für die subjektive Bewertung der Kritikalität, die Überraschungsintensität, die Kollisionsrate, die Kollisionsgeschwindigkeiten und die

durchschnittliche Verzögerung keinen Unterschied machte, ob das kritische Fahrzeug geradeaus fahren oder links abbiegen wollte bzw. ob das Fahrzeug an der Kreuzung stand oder an sie heranrollte, bevor es dem Beteiligten die Vorfahrt nahm. Im Gegensatz dazu hatte es einen Einfluss, ob das kritische Fahrzeug mit einer niedrigen oder mit einer hohen Beschleunigung in die Kreuzung einfuhr. Die Situationen mit der hohen Beschleunigung wurden als kritischer eingeschätzt, waren überraschender und führten trotz einer stärkeren Verzögerung zu einem höheren Anteil an Kollisionen mit jeweils höheren Kollisionsgeschwindigkeiten als die Situationen mit niedriger Beschleunigung.

Bezogen auf das Reaktionsverhalten konnte für keinen der drei Faktoren ein Einfluss nachgewiesen werden. Insgesamt bestand die Hauptreaktion auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts in einer Bremsung. Das für die kritischen Situationen auf der Grundlage der Unfalldaten als Standardreaktion postulierte Ausweichen in die Gefahr zeigte sich nicht. Es zeigte sich aber, dass die TTA, die aus der Kombination der drei Faktoren resultierte, einen Einfluss zu haben scheint, ob und wie Personen mit einer Ausweichbewegung reagieren. In der Situation mit der niedrigsten TTA, die sowohl die höchste objektive als auch die höchste subjektive Kritikalität aufwies, war eine Tendenz für die Standardreaktion Ausweichen in die Gefahr erkennbar. In dieser Situation fiel außerdem auf, dass der Anteil der Personen, die bei einer kombinierten Reaktion aus Lenken und Bremsen zuerst mit Lenken reagierten, am höchsten war. Aus diesem Grund sollte der Einfluss der TTA in einer weiteren Studie genauer untersucht werden.

5 Zweite Studie: Einfluss der Time-to-Arrival auf das Reaktionsverhalten

Aufbauend auf dem Ergebnis der ersten Studie, dass die TTA einen Einfluss auf das Reaktionsverhalten bei einer Vorfahrtsmissachtung von rechts hat, sollte dieser Effekt in einer Folgestudie näher untersucht werden. Das Phänomen des Ausweichens in die Gefahr als Standardreaktion war in der ersten Studie in der Situation am ehesten zu beobachten, welche die kürzeste TTA (1.34 s) aufwies. Diese Situation zeichnete sich außerdem dadurch aus, dass sie von den Probanden als am kritischsten eingeschätzt wurde und dass es in dieser Situation zu den höchsten Kollisionsgeschwindigkeiten kam. Die anderen Situationen der ersten Studie verzeichneten deutlich höhere Werte für die TTA (mindestens 1.99 s). Ziel der zweiten Studie war es daher, die TTA in einem engeren Wertebereich systematisch zu variieren.

Obwohl der Lerneffekt im Verlauf der ersten Studie nicht sonderlich stark ausgeprägt war, sollten die Probanden in der Folgestudie trotzdem mit einer geringeren Anzahl an kritischen Situationen konfrontiert werden als in der ersten Studie.

5.1 Fragestellung und Hypothesen

Als Grundlage für die systematische Variation der TTA diente die Situation mit der niedrigsten TTA aus der ersten Studie (Situation K4). In dieser Situation war ein wartepflichtiges Fahrzeug von rechts kommend an die Kreuzung herangerollt und wollte geradeaus über die Kreuzung fahren, wobei es die Vorfahrt missachtete. Die TTA setzte sich in der ersten Studie aus der Kombination der Faktoren Bewegungsrichtung, Ausgangsposition und Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs zusammen. Der Anstoßpunkt für die mögliche Kollision war über alle Situationen hinweg konstant. Da die Faktoren Bewegungsrichtung und Ausgangsposition in der ersten Studie keinen bedeutsamen Einfluss gezeigt hatten, wurde auf eine Variation dieser Faktoren verzichtet. Die Variation der TTA erfolgte daher durch die Kombination aus Beschleunigung und Anstoßpunkt.

Es sollte überprüft werden, welchen Einfluss die TTA auf das subjektive Empfinden und das Reaktionsverhalten von Personen hat. Außerdem sollte geprüft werden, ob es einen Schwellwert gibt, ab dem es zu einem Ausweichen in die Gefahr als Standardreaktion kommt. Hinsichtlich des Reaktionsmusters sollte auf Grundlage der Beobachtung aus der ersten Studie ein besonderes Augenmerk auf die Personen gelegt werden, die mit einer Doppelreaktion (Bremsen und Lenken) auf die kritische Situation reagieren. Es sollte

untersucht werden, ob ein Zusammenhang zwischen der Reihenfolge der Reaktionen und der Ausweichrichtung besteht.

Hieraus ergaben sich folgende Hypothesen:

- H 1: Die TTA hat einen Einfluss auf die wahrgenommene Kritikalität.
- H 2: Die TTA hat einen Einfluss auf die Überraschungsintensität.
- H 3: Die Überraschungsintensität sinkt ab, wenn bereits eine kritische Situation erlebt wurde.
- H 4: Die TTA hat einen Einfluss auf den Anteil der Kollisionen.
- H 5: Der Anteil der Kollisionen sinkt ab, wenn bereits eine kritische Situation erlebt wurde.
- H 6: Die TTA hat einen Einfluss auf die Kollisionsgeschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs.
- H 7: Die TTA hat einen Einfluss auf die Bremsreaktion.
- H 8: Die TTA hat einen Einfluss auf die Ausweichreaktion.
- H 9: Der Anteil der reinen Bremsreaktionen nimmt ab, je kleiner die TTA ist.
- H 10: Der Anteil der Ausweichbewegungen nach links nimmt zu, je kleiner die TTA ist.
- H 11: Die Reihenfolge der Reaktionen bei Doppelreaktionen hat einen Einfluss auf die Ausweichrichtung.
- H 12: Die TTA hat einen Einfluss auf die Reaktionszeit.
- H 13: Die TTA hat einen Einfluss auf die durchschnittliche Verzögerung.

5.2 Methode

Die im Folgenden beschriebene Studie wurde analog zur in Kapitel 1 vorgestellten Studie durchgeführt: Es handelte sich dabei ebenfalls um eine Studie mit dem VIL, die auf dem abgesperrten Testgelände der UniBw durchgeführt wurde. Nähere Informationen zum VIL sind dem Kapitel 4.2 zu entnehmen.

5.2.1 Versuchsmaterial

Analog zur ersten Studie wurde wieder ein Landstraßensetting als Simulationsumgebung gewählt. Aufgrund baulicher Veränderungen auf dem Testgelände der UniBw war von der ursprünglich 1.4 km langen Geraden nur noch ein Teilstück von 900 m verfügbar. Aus diesem Grund wurde die virtuelle Welt neu erstellt und an die äußeren Rahmenbedingungen angepasst. Um trotz der Verkürzung der Strecke ein realistisches Landstraßengefühl aufrechterhalten zu können, wurde pro Bahn nur noch eine Kreuzungssituation durchfahren. Als Endpunkte der Strecke fungierten wieder Stoppschilder. Die Anzahl der zu fahrenden Bahnen blieb bei zehn, wie in der ersten Studie, so dass die Probanden in dieser Studie insgesamt nur zehn Kreuzungsszenarien erlebten. Um im Vergleich zur ersten Studie der Erwartungshaltung, dass etwas Kritisches passieren könnte, entgegenzuwirken, wurde die Anzahl der kritischen Situationen pro Person auf zwei reduziert.

Die Grundlage für die Erstellung der kritischen Szenarien stellte die Situation K4 aus der ersten Studie dar. In allen kritischen Szenarien näherte sich daher ein Fahrzeug von rechts der Kreuzung, an der das Egofahrzeug Vorfahrt hatte, reduzierte seine Geschwindigkeit auf 10 km/h, rollte mit dieser Geschwindigkeit für 2 s an die Kreuzung heran und fuhr dann geradeaus über die Kreuzung. Die Ausgangsgeschwindigkeit für das Egofahrzeug wurde wieder auf 70 km/h festgelegt. Da in der ersten Studie der Geschwindigkeitsunterschied der Tachoangabe mit ACC-Nutzung zur tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit aufgefallen war, wurde für die Simulation der Szenarien in PC-Crash eine Ausgangsgeschwindigkeit von 67 km/h gewählt. Somit fand sich die zugrundeliegende Situation K4 in der zweiten Studie nicht ganz identisch zur entsprechenden Version in der ersten Studie wieder.

Da der Faktor Beschleunigung in der ersten Studie als Einflussfaktor hinsichtlich der Anzahl der Kollisionen sowie der subjektiven Kritikalität identifiziert wurde, sollte dieser Faktor auch in der Folgestudie variiert werden. Da jedoch eine niedrige Beschleunigung in einer vergleichsweise langen TTA resultiert, wurde ein mittleres Beschleunigungsniveau (1.5 m/s^2) als Vergleichsmaß gewählt (Burg & Moser, 2009). Die Werte für die hohe Beschleunigung lagen wie in der ersten Studie für die Geradeausfahrt bei 3.1 m/s^2 .

Im Gegensatz zur ersten Studie wurden die Situationen nicht mehr nur so konzipiert, dass die antizipierte Kollisionskonstellation die linke Front des Egofahrzeugs mit dem linken Heck des kreuzenden Fahrzeugs war. Hintergrund dieser Kollisionskonstellation war es gewesen, den Probanden die Möglichkeit zu eröffnen, die drohende Kollision durch eine

Vollbremsung und ein Ausweichen nach rechts zu vermeiden. In diesem Fall hätte das Fahrzeug nur einen mäßigen Querversatz machen müssen, um das kreuzende Fahrzeug nicht mehr zu treffen. Als Ergänzung zu dieser Anstoßkonstellation wurden in der zweiten Studie Situationen auch so konzipiert, dass bei einer alleinigen Vollbremsung das Egofahrzeug mit seiner kompletten Front die linke Seite des kreuzenden Fahrzeugs beaufschlagt hätte. In diesem Fall hätte ein Ausweichen nach rechts wiederum dazu geführt, die Kollision zu vermeiden. Allerdings wäre in diesem Fall ein größerer Querversatz nötig gewesen. Ein Ausweichen nach links hätte, genauso wie kein Ausweichen, unweigerlich zur Kollision geführt, die im Vergleich zur anderen Konstellation schwerer ausgefallen wäre. Die Veranschaulichung der beiden möglichen Anstoßkonstellationen ist Abbildung 5.1 zu entnehmen. Die Unterteilung, ob sich der Anstoßpunkt auf dem eigenen oder dem gegnerischen Fahrstreifen befand, orientiert sich dabei an der antizipierten Position des kreuzenden Fahrzeugs zum Zeitpunkt der Kollision.

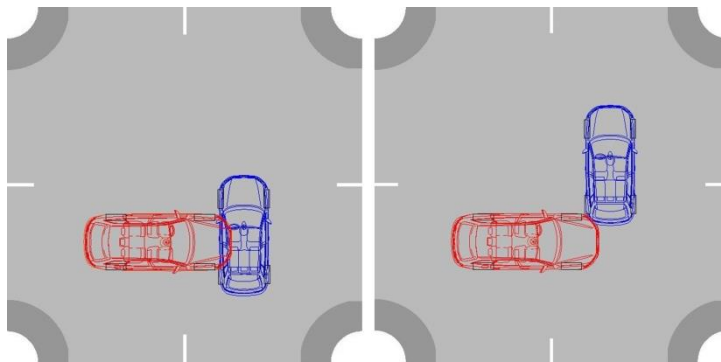


Abbildung 5.1: Anstoßpunkt auf eigenem Fahrstreifen (links) und auf gegnerischem Fahrstreifen (rechts)

Insgesamt wurden vier kritische Situationen definiert, die sich aus der Kombination der zwei, je zweifach gestuften Faktoren Beschleunigung (mittel / hoch) und Anstoßpunkt (eigener Fahrstreifen / gegnerischer Fahrstreifen) zusammensetzten. Die Zusammensetzung der Faktoren resultierte in vier Abstufungen der TTA von 1.6 s bis zu 1.0 s in Schritten von je 0.2 s. Die vier kritischen Situationen sind in Abbildung 5.2 dargestellt. Die Einfärbung der Fahrzeuge stellt dabei das Ausmaß der Kritikalität bzw. den Wert der TTA dar: Die grün markierte Situation K2 hatte die höchste TTA und war somit die unkritischste der experimentellen Situationen. Situation K3 war aufgrund der niedrigsten TTA die kritischste Situation und ist daher rot eingefärbt. Bei Situation K4 handelte es sich um die vergleichbare Situation aus der ersten Studie.

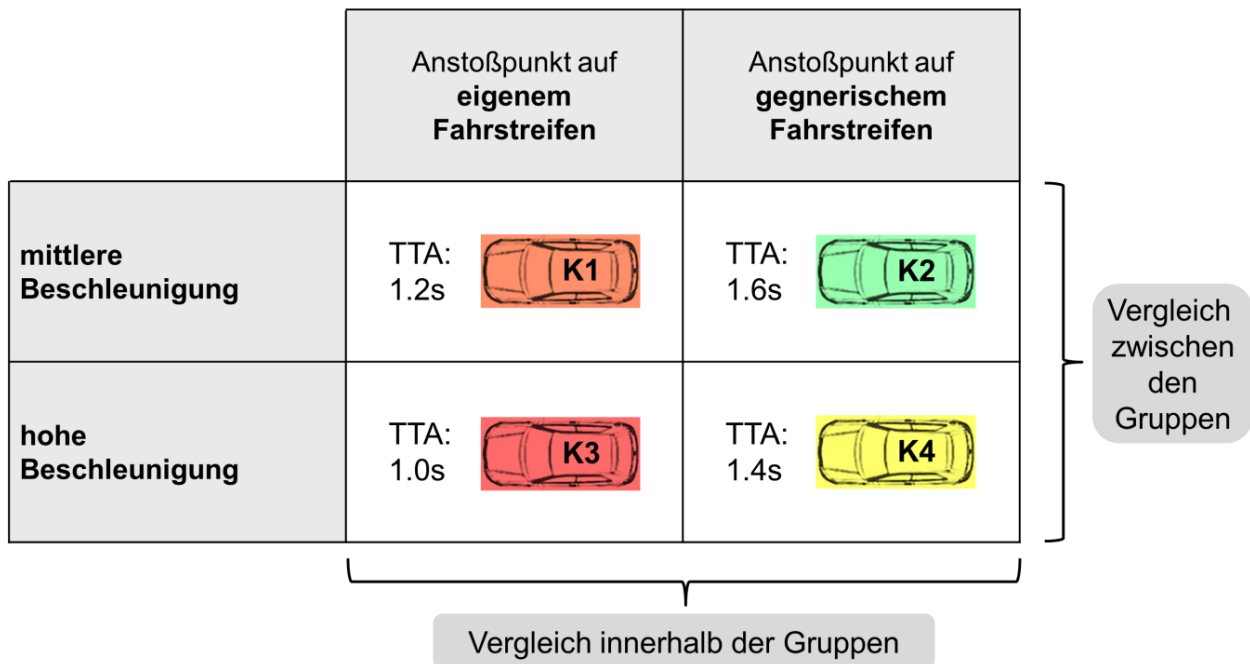


Abbildung 5.2: Übersicht der vier kritischen Situationen in Studie 2

Da jede Versuchsperson aufgrund der Versuchsanordnung nur mit zwei kritischen Situationen konfrontiert werden sollte, wurden die Probanden zwei verschiedenen Gruppen zugewiesen und erlebten immer ein kreuzendes Fahrzeug, das ihnen entweder mit mittlerer oder mit hoher Beschleunigung die Vorfahrt nahm. Somit durchfuhr die eine Hälfte der Probanden die Situationen K1 und K2 und die andere Hälfte die Situationen K3 und K4. Die jeweils erlebten Situationen unterschieden sich um 0.4 s in der TTA. Neben den beiden kritischen Situationen durchfuhren die Probanden auch acht unkritische Situationen, in denen sich das Fahrzeug, das sich der Kreuzung näherte, an die Vorfahrtsregeln hielt. Außerdem befanden sich andere Verkehrsteilnehmer auf der Strecke, um realistischen Verkehr auf einer Landstraße darzustellen. Wie in der ersten Studie handelte es sich dabei im Sinne der Reduktion an Störgrößen bei allen Fahrzeugen um blaue Audi A3 Sportback.

5.2.2 Versuchsdesign

Die Studie wurde als 2 x 2 Mixed-Design mit der Beschleunigung als Zwischensubjektfaktor und dem Anstoßpunkt als Innersubjektfaktor durchgeführt. In zehn durchfahrenen Kreuzungsszenarien erlebte jede Versuchsperson zwei kritische Situationen, wobei sich die erste auf der dritten Bahn ereignete und die zweite auf der zehnten Bahn. Die Reihenfolge der Situationen wurde ausbalanciert, so dass sich über alle Versuchspersonen insgesamt vier verschiedene Abfolgen ergaben.

Das Reaktionsverhalten wurde analog zur Vorgehensweise in der ersten Studie mittels objektiver Fahrdaten operationalisiert (vgl. Kapitel 4.2.2). Für die subjektive Bewertung der einzelnen Situationen wurden wieder die Kritikalität mittels der SBS (Neukum et al., 2008) und die Überraschungsintensität erhoben. Nach der zweiten Situation wurde zusätzlich abgefragt, ob diese bereits erwartet wurde. Außerdem wurden offene Fragen zur Wahrnehmung der kritischen Situationen, zur Blickstrategie sowie zur Reaktionsweise gestellt. Diese Angaben wurden von der Versuchsleitung auf einem eigenen Bogen insgesamt erfasst (vgl. Anhang F).

5.2.3 Versuchsablauf

Der Ablauf der zweiten Studie war identisch zur ersten Studie (vgl. Kapitel 4.2.3). Die Probanden durchfuhren mit dem VIL unter Nutzung des ACC zehnmal eine Kreuzungssituation auf einer Landstraße. Ein Durchgang dauerte insgesamt ca. 40 Minuten. Am Ende der Fahrt wurden die Probanden über den Hintergrund der Studie aufgeklärt und erhielten eine Aufwandsentschädigung.

5.2.4 Stichprobe

An der Studie nahmen 72 Personen teil. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass keine Person an der ersten Studie teilgenommen hatte. Acht Personen mussten aus der Analyse ausgeschlossen werden, da diese in beiden Situationen so früh gebremst hatten, dass die kritischen Situationen nicht wie geplant funktionierten. Grundlage für die Auswertung waren daher 64 Personen im Alter von 24 bis 61 Jahren ($M = 32.7$, $SD = 8.7$). 31 Probanden erlebten die kritischen Situationen mit der mittleren Beschleunigung (K1 und K2). Die restlichen 33 Probanden durchfuhren die Situationen K3 und K4, in denen das kritische Fahrzeug mit einer hohen Beschleunigung anfuhr. Die Stichprobe bestand aus 26 Frauen und 38 Männern, die über eine Fahrpraxis von 3 bis 43 Jahren ($M = 14.1$, $SD = 8.4$) verfügten. Die Probanden waren im vergangenen Jahr durchschnittlich 22 677 km ($SD = 20 156$ km) gefahren. In Tabelle 5.1 ist dargestellt, wie regelmäßig die Probanden ein Auto nutzten und wie häufig sie bislang an einem Fahrsicherheitstraining teilgenommen hatten.

Tabelle 5.1: Darstellung der regelmäßigen Autonutzung und der bisherigen Teilnahme an einem Fahrsicherheitstraining

Autonutzung		Fahrsicherheitstraining	
Regelmäßigkeit	Prozent	Bisherige Teilnahme	Prozent
(Fast) täglich	59.4%	Keine Teilnahme	65.6%
3-5 mal pro Woche	15.6%	Einmalige Teilnahme	21.9%
1-2 mal pro Woche	10.9%	Mehrmalige Teilnahme	12.5%
< 1 mal pro Woche	14.1%		

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Datenaufbereitung

Analog zur ersten Studie wurden für jede Versuchsperson für jede Situation anhand der aufgezeichneten Fahrdaten Verlaufsgrafiken erstellt, die in Schritten von 50 ms die Positionen des Egofahrzeugs und des kreuzenden Fahrzeugs darstellten. Mittels dieser Grafiken wurde bestimmt, ob und wann es zu einer Kollision gekommen war.

Hinsichtlich der gefahrenen Ausgangsgeschwindigkeit fiel im Zuge der Datenaufbereitung auf, dass diese bei einem Drittel der Probanden bei 67 km/h lag, während der Rest lediglich eine Ausgangsgeschwindigkeit von 64 km/h hatte. Dieser Unterschied ließ sich auf einen im Zeitraum des Versuchs vorgenommenen Wechsel von Sommer- auf Winterreifen zurückführen. Obwohl die gemäß Tacho bzw. ACC gefahrene Geschwindigkeit 70 km/h betrug, war die tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit mit den Winterreifen etwas niedriger, da diese einen geringeren Umfang hatten. Dieser Geschwindigkeitsunterschied über die Probanden hinweg machte sich jedoch in der Auswertung statistisch nicht bemerkbar, was jeweils durch einen Vergleich der beiden Geschwindigkeitsgruppen überprüft wurde.

Zur Bestimmung der Reaktionszeiten wurde wie in der ersten Studie der Zeitpunkt des Beschleunigens des kritischen Fahrzeugs als t_0 festgelegt. Für Personen, die bereits vor dem Beschleunigen des kritischen Fahrzeugs gebremst hatten und deren Geschwindigkeit dann unterhalb von 64 km/h bzw. 61 km/h lag, wurde die jeweilige Situation als nicht nutzbar markiert. Die acht Personen, bei denen beide Situationen nicht nutzbar waren, wurden komplett von der Analyse ausgeschlossen (vgl. Kapitel 5.2.4).

Die Schwellwerte für den Beginn einer Bremsung bzw. den Beginn einer Ausweichreaktion wurden wie in der ersten Studie gewählt. Eine Bremsung lag demnach ab einem

Bremsdruck von 7 bar vor. Ein Ausweichenmanöver wurde dann angenommen, wenn die Lenkradwinkelgeschwindigkeit den Schwellwert von 30 °/s überschritt und eine Ausweichbewegung anhand des weiteren Fahrverlaufs über die Verlaufsgrafiken plausibilisiert werden konnte.

5.3.2 Statistische Verfahren

Zunächst wurde bei allen abhängigen Variablen überprüft, ob sich die Werte für eine Situation unterschieden, je nachdem, ob die Situation als erstes oder als zweites erlebt wurde. Als parametrisches Verfahren wurden t-Tests für unabhängige Stichproben berechnet. Als nonparametrische Verfahren wurden Paarvergleiche für unabhängige Stichproben mit dem Mann-Whitney-U-Test und bei nominalen Variablen ein Chi-Quadrat-Anpassungstest verwendet. Das Signifikanzniveau lag jeweils bei $p = .05$. Da es bei keiner der Variablen zu signifikanten Unterschieden kam, wurden für die weiteren Analysen die Daten aller Personen, die die jeweilige kritische Situation erlebt hatten, gemeinsam betrachtet.

Als parametrisches Verfahren zur Prüfung, ob sich die vier kritischen Situationen signifikant unterschieden, wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung (gemischtes Design) berechnet. Die Beschleunigung war der Zwischensubjektfaktor und der Anstoßpunkt der Innersubjektfaktor. Das α -Fehler-Niveau lag bei $p = .05$. Als Maß für die Effektstärke wurde η_p^2 verwendet⁸. Datengrundlage für diese Analyse waren wegen der Berechnungsgrundlage bei Messwiederholungen nur die Probanden, bei denen beide Situationen als nutzbar klassifiziert worden waren. Daher reduzierte sich die inferenzstatistisch auswertbare Stichprobe auf 23 Personen für die mittlere Beschleunigung und 22 Personen für die hohe Beschleunigung. Falls ein Unterschied in der Verteilung über alle vier Situationen vorlag, wurden die einzelnen Situationen anhand von Post-hoc t-Tests miteinander verglichen. Die Situationen, die sich hinsichtlich des Anstoßpunkts unterschieden (K1 vs. K2; K3 vs. K4), wurden mit t-Tests für verbundene Stichproben untersucht. Die Situationen, die sich hinsichtlich der Beschleunigung unterschieden (K1 vs. K3; K2 vs. K4), wurden mit t-Tests für unabhängige Stichproben überprüft. Dabei wurden nur die 45 Personen als Datengrundlage verwendet, die auch in der ANOVA Berechnungsgrundlage waren. Um eine Inflation des α -Fehlers zu vermeiden, wurde für die t-Tests eine Bonferroni-Signifikanzanpassung vorgenommen, so dass das α -Fehler-Niveau für die

⁸ Die Wertebereiche dieser Effektstärke sowie der im Folgenden beschriebenen Effektstärken können den Angaben auf S. 51 entnommen werden.

Post-hoc-Vergleiche bei $p = .0125$ lag. Für die Betrachtung der Effektstärke wurde jeweils r verwendet.

Um zu überprüfen, ob sich die Werte aus der ersten erlebten kritischen Situation signifikant von den Werten der zweiten kritischen Situation unterschieden, wurden t-Tests für verbundene Stichproben berechnet. Das Signifikanzniveau für diese Vergleiche lag bei $p = .05$. Als Effektstärke wurde r angegeben.

Für kategoriale und dichotome Daten wurden die Unterschiede der vier kritischen Situationen deskriptiv beschrieben. Für dichotome Daten war es möglich, Einzelgruppenvergleiche heranzuziehen, um inferenzstatistische Aussagen über Unterschiede der einzelnen Situationen zueinander treffen zu können. Für die Vergleiche hinsichtlich des Anstoßpunkts wurden McNemar Tests verwendet. Für die Bestimmung der Unterschiede aufgrund der Beschleunigung wurden Chi-Quadrat-Tests berechnet. Als Signifikanzniveau wurde dabei jeweils auf den angepassten Wert von $p = .0125$ zurückgegriffen. Als Maß für die Effektstärke wurde jeweils ω verwendet.

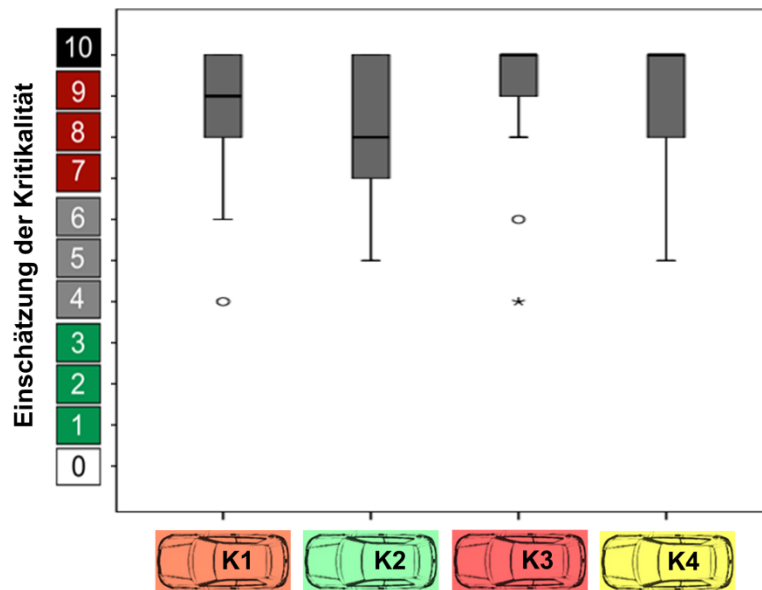
5.3.3 Subjektive Kritikalität und Überraschungsintensität

5.3.3.1 Einschätzung der Kritikalität

Da sich in der ersten Studie gezeigt hatte, dass die Situation mit der niedrigsten TTA die höchste subjektive Kritikalität aufwies, wurde postuliert, dass die TTA einen Einfluss auf die wahrgenommene Kritikalität hat (H 1). Die Angaben zur wahrgenommenen Kritikalität sind Abbildung 5.3 zu entnehmen. Alle Situationen wurden überwiegend mindestens als gefährlich, oftmals sogar als nicht kontrollierbar empfunden.

Eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Haupteffekt für die Beschleunigung ($F(1, 43) = 6.59, p = .014, \eta_p^2 = .13$). Weder der Anstoßpunkt ($F(1, 43) = 1.20, p = .280, \eta_p^2 = .03$) noch die Interaktion ($F(1, 43) = 1.20, p = .280, \eta_p^2 = .03$) hatten einen signifikanten Einfluss auf die subjektive Kritikalität. Hinsichtlich des Einflusses der Beschleunigung wurde der Post-hoc-Vergleich der unabhängigen Stichproben nicht signifikant für K1 und K3 ($t(43) = -1.65, p = .106, r = .24$). Es zeigte sich jedoch ein signifikanter Unterschied bei K2 und K4 ($t(43) = -2.73, p = .009, r = .38$). Auch wenn sich der Unterschied hinsichtlich der Einschätzung der Kritikalität nur bei den beiden Situationen mit den höchsten TTA Werten finden ließ, konnte ein Einfluss der TTA auf die wahrgenommene Kritikalität festgestellt werden. Aus diesem Grund wurde H1 angenommen.

Dabei wurde deutlich, dass bei der Zusammensetzung der TTA aus Beschleunigung und Anstoßpunkt die Beschleunigung der entscheidende Faktor war.



◦ Ausreißer (> 1.5-faches des Interquartilsabstands); * Extremwert (> 3-faches des Interquartilsabstands)

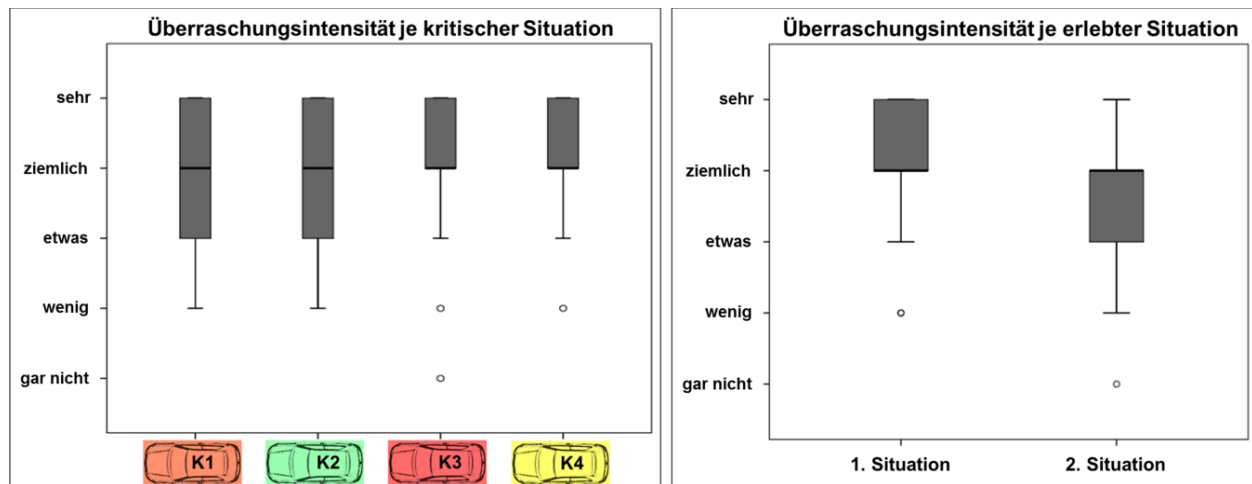
Abbildung 5.3: Einschätzung der Kritikalität je kritischer Situation (auswertbare Versuchspersonen: $n(K1,K2) = 23$, $n(K3,K4) = 22$)

5.3.3.2 Überraschungsintensität

Da die TTA ein Maß dafür ist, in welcher zeitlichen Kürze eine Situation passiert, wurde angenommen, dass die TTA die Erwartung einer Situation beeinflusst. Es wurde deshalb postuliert, dass die TTA einen Einfluss auf die Überraschungsintensität hat (H 2). Darüber hinaus wurde aufbauend auf dem in der Tendenz beobachteten Erwartungseffekt aus der ersten Studie angenommen, dass die Überraschungsintensität absinkt, wenn bereits eine kritische Situation erlebt wurde (H 3). In Abbildung 5.4 ist das Ausmaß der Überraschung sowohl für alle vier kritischen Situationen als auch für die Reihenfolge der erlebten Situationen dargestellt.

Obwohl die Situationen K3 und K4, in denen das kritische Fahrzeug mit der hohen Beschleunigung anfuhr, insgesamt als etwas überraschender eingeschätzt wurden als die Situationen K1 und K2, erbrachte eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung kein signifikantes Ergebnis. Die Situationen unterschieden sich in der Überraschungsintensität weder hinsichtlich des Anstoßpunkts ($F(1, 43) = 0.41$, $p = .524$, $\eta_p^2 = .01$) noch hinsichtlich der Beschleunigung ($F(1, 43) = 0.77$, $p = .385$, $\eta_p^2 = .02$) signifikant. Außerdem gab es auch

keine signifikante Interaktion der beiden Faktoren ($F(1, 43) = 0.14, p = .708, \eta_p^2 = .01$). Aus diesem Grund musste H 2 abgelehnt werden.



◦ Ausreißer (> 1.5-faches des Interquartilsabstands)

Abbildung 5.4: Überraschungsintensität je kritischer Situation (links; $n(K1,K2) = 23, n(K3,K4) = 22$) und je erlebter Situation (rechts; $N = 45$)

Bei der Betrachtung des Unterschieds in der Überraschungsintensität von der ersten zur zweiten erlebten Situation erbrachte der t-Test für verbundene Stichproben ein signifikantes Ergebnis ($t(44) = 2.36, p = .023, r = .34$). Deshalb wurde H 3 angenommen. Es zeigte sich demnach, dass die Probanden in der zweiten Situation nicht mehr ganz so unvoreingenommen waren, sondern bereits in gewisser Weise damit rechneten, dass noch einmal etwas passieren könnte. Das Ausmaß der Überraschung ist aber dennoch für die zweite Situation als ausreichend zu bezeichnen, da die Mehrzahl der Probanden die Situation als ziemlich überraschend einstufte.

5.3.4 Kollisionen

5.3.4.1 Kollisionshäufigkeit

Da die Kollisionsrate in der ersten Studie für die Situation mit der niedrigsten TTA am höchsten war, wurde vermutet, dass die TTA einen Einfluss auf den Anteil der Kollisionen hat (H 4). In Abbildung 5.5 ist der Anteil der Kollisionen der inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen dargestellt. Die Absolutwerte, die dieser Abbildung zugrunde liegen, sind der Tabelle 10.9 im Anhang H zu entnehmen. Im Vergleich dazu sind die Werte aller je Situation nutzbaren Versuchspersonen in Tabelle 10.10 dargestellt. Der Anteil der

Kollisionen in der vorliegenden Studie war insgesamt sehr hoch. Jede Versuchsperson kollidierte in mindestens einer der beiden kritischen Situationen. In den Situationen K1, K3 und K4 kam es bei allen Probanden zur Kollision. Lediglich in Situation K2, der Situation mit der längsten TTA, gelang es etwas über 20 % der Personen, eine Kollision zu vermeiden.

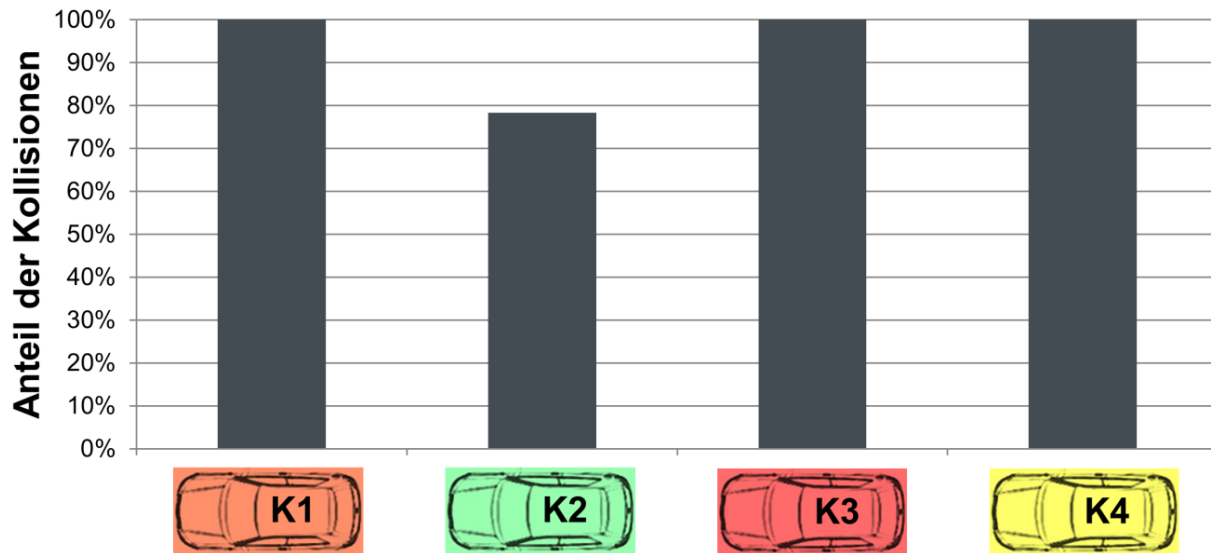


Abbildung 5.5: Anteil der Kollisionen je kritischer Situation (auswertbare Versuchspersonen: $n(K1,K2) = 23$, $n(K3,K4) = 22$)

Aufgrund des nominalen Datenniveaus wurde auf Einzelvergleiche zurückgegriffen, um zu überprüfen, ob sich die Situationen hinsichtlich der Kollisionshäufigkeit unterschieden. Für den Vergleich innerhalb der Beschleunigungsgruppen wurden McNemar Tests bei verbundenen Stichproben berechnet. Der Vergleich zwischen den Beschleunigungsgruppen wurde mit Chi-Quadrat-Tests vorgenommen. Da in den Situationen K1, K3 und K4 jeweils alle Probanden kollidierten, waren nur Vergleiche mit der Situation K2 berechenbar. Dabei zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen K1 und K2 ($\chi^2(1) = 3.20$, $p = .062$, $\omega = .37$). Der Unterschied zwischen K2 und K4 wurde aufgrund des angepassten Signifikanzniveaus nicht signifikant ($\chi^2(1) = 5.38$, $p = .049$, $\omega = .35$). Da sich demnach kein signifikanter Einfluss der TTA zeigte, musste H 4 abgelehnt werden.

Hinsichtlich eines möglichen Lerneffekts im Verlauf der Studie wurde postuliert, dass der Anteil der Kollisionen absinkt, wenn bereits eine kritische Situation erlebt wurde (H 5). Zur Überprüfung, ob sich der Anteil der Kollisionen in der ersten kritischen Situation signifikant vom Anteil der Kollisionen in der zweiten kritischen Situation unterschied, wurde ein McNemar Test für verbundene Stichproben berechnet. Dieser machte deutlich, dass kein

signifikanter Unterschied zwischen den Situationen hinsichtlich der Reihenfolge bestand ($\chi^2(1) = 0.80, p = .375, \omega = .13$), weshalb H 5 abgelehnt wurde.

5.3.4.2 Kollisionsgeschwindigkeiten

Aufgrund der Beobachtung aus der ersten Studie, dass die Kollisionsgeschwindigkeiten in der Situation mit der niedrigsten TTA am höchsten waren, wurde angenommen, dass die TTA einen Einfluss auf die Kollisionsgeschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs hat (H 6). Zusätzlich wurde die Kollisionsgeschwindigkeit des kritischen Fahrzeugs explorativ betrachtet. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Kollisionsgeschwindigkeiten des Egofahrzeugs sowie des kritischen Fahrzeugs können Abbildung 5.6 entnommen werden. Grundlage der Grafik sind jeweils die Personen, die in beiden Situationen eine Kollision hatten, da diese die Datengrundlage für die inferenzstatistische Auswertung bildeten.

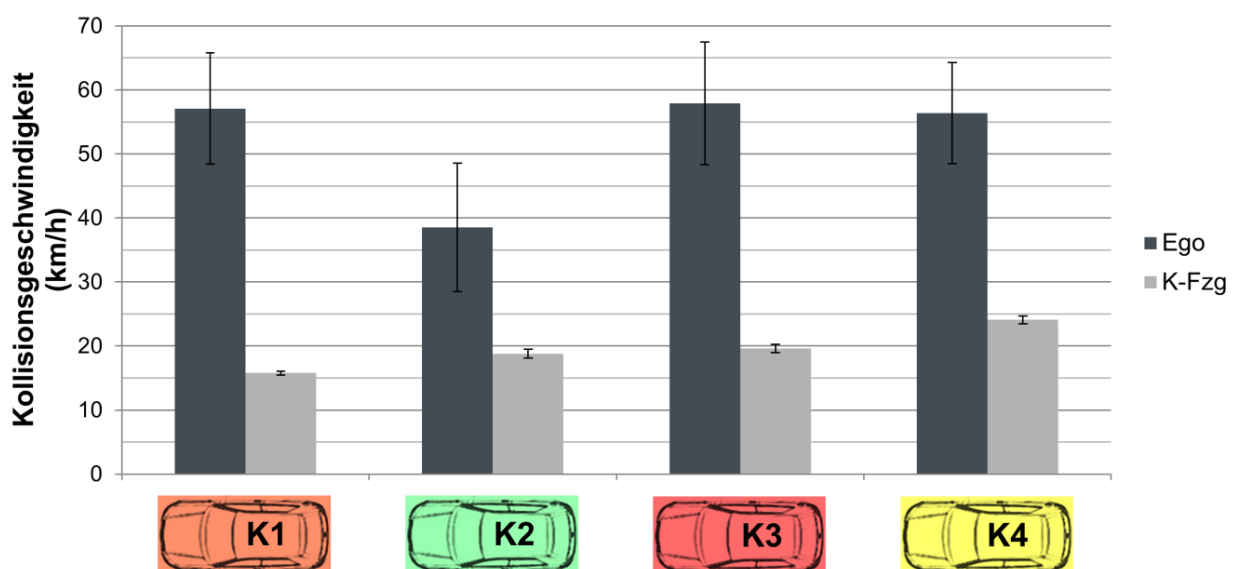


Abbildung 5.6: Kollisionsgeschwindigkeiten (Mittelwerte und Standardabweichungen) des Egofahrzeugs und des kritischen Fahrzeugs je kritischer Situation (auswertbare Versuchspersonen: $n(K1,K2) = 18, n(K3,K4) = 22$)

Für die Kollisionsgeschwindigkeit des Egofahrzeugs ergab die Prüfung auf Unterschiede mittels einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung einen signifikanten Haupteffekt des Anstoßpunkts ($F(1, 38) = 34.80, p < .001, \eta_p^2 = .48$). Darüber hinaus zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt der Beschleunigung ($F(1, 38) = 16.14, p < .001, \eta_p^2 = .30$) und der Interaktion ($F(1, 38) = 24.90, p < .001, \eta_p^2 = .40$). Die im Anschluss durchgeführten t-Tests bei verbundenen Stichproben ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen K1 und K2 ($t(17) = 5.76, p < .001, r = .81$). Für K3 und K4 lag kein signifikanter Unterschied vor

($t(18) = 0.96$, $p = .346$, $r = .21$). Die Vergleiche der beiden unabhängigen Stichproben erbrachten kein signifikantes Ergebnis für K1 und K3 ($t(43) = -0.49$, $p = .629$, $r = .07$), dafür aber für K2 und K4 ($t(38) = -6.28$, $p < .001$, $r = .71$). Da sich demnach ein Einfluss der TTA auf die Kollisionsgeschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs zeigte, wurde H 6 angenommen. Dieser Einfluss wurde aber nur für die Situation mit der höchsten TTA deutlich, in der eine mittlere Beschleunigung vorlag und der Anstoßpunkt auf dem gegnerischen Fahrstreifen war.

Hinsichtlich der Kollisionsgeschwindigkeit des kritischen Fahrzeugs wurden ebenfalls der Haupteffekt für den Anstoßpunkt ($F(1, 38) = 1162.41$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .97$), der Haupteffekt für die Beschleunigung ($F(1, 38) = 918.01$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .96$) sowie die Interaktion ($F(1, 38) = 41.75$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .52$) signifikant. Post-hoc t-Tests zeigten signifikante Unterschiede für verbundene Stichproben bei K1 und K2 ($t(17) = -16.26$, $p < .001$, $r = .99$) sowie bei K3 und K4 ($t(21) = -34.98$, $p < .001$, $r = .99$). Beim Vergleich mit t-Tests bei unabhängigen Stichproben war gemäß dem Levene-Test die Varianzgleichheit für den Vergleich von K1 und K3 verletzt, so dass die Freiheitsgrade entsprechend angepasst wurden. Es zeigte sich, dass sich die Kollisionsgeschwindigkeiten für diese beiden Situationen signifikant unterschieden ($t(28.46) = -25.84$, $p < .001$, $r = .98$). Auch der Unterschied zwischen K2 und K4 wurde signifikant ($t(38) = 25.53$, $p < .001$, $r = .97$). Es zeigte sich demnach keine kontinuierliche Steigerung der Kollisionsgeschwindigkeit des kritischen Fahrzeugs in Abhängigkeit von der TTA. Vielmehr zeigte sich jeweils der Einfluss der Beschleunigung und des Anstoßpunkts. Wenn der Anstoßpunkt auf dem gegnerischen Fahrstreifen lag, stand für das kritische Fahrzeug mehr Zeit zur Verfügung, zu beschleunigen, was in einer höheren Kollisionsgeschwindigkeit resultierte. Im Vergleich der Beschleunigungen erreichte das Fahrzeug mit der hohen Beschleunigung über die vergleichbare Strecke bis zum Anstoßpunkt ebenfalls eine höhere Geschwindigkeit.

5.3.4.3 Kollisionsort

Neben dem Unterschied hinsichtlich der Kollisionsgeschwindigkeiten können sich die einzelnen Situationen auch darin unterscheiden, wo die Kollisionen jeweils stattfanden. Aus diesem Grund wurde explorativ eine Betrachtung des Kollisionsorts vorgenommen. Abbildung 5.7 gibt einen Überblick darüber, ob sich die Kollision jeweils auf der eigenen Spur, auf Höhe der Mittellinie oder bereits auf der Gegenseite ereignete. Aufgrund des

Datenniveaus dieser Variablen wurden die Unterschiede zwischen den vier kritischen Situationen deskriptiv betrachtet.

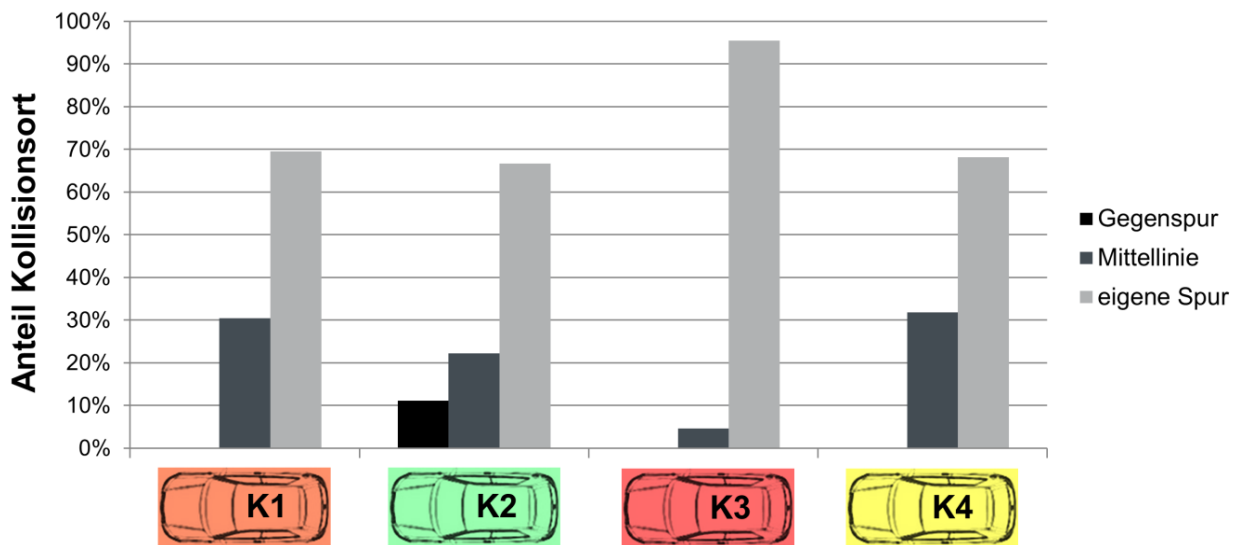


Abbildung 5.7: Anteil des Kollisionsorts je kritischer Situation (auswertbare Versuchspersonen: $n(K1) = 23$, $n(K2) = 18$, $n(K3, K4) = 22$)

In der kritischsten Situation K3 fand der größte Anteil der Kollisionen auf dem Fahrstreifen des Egofahrzeugs statt. Die Situationen K1 und K4 waren relativ ähnlich hinsichtlich der Verteilung des Kollisionsorts, wobei in K4 noch etwas mehr Kollisionen auf Höhe der Mittellinie passierten. Dass es zu einer Kollision auf der Gegenspur kam, war lediglich in der am wenigsten kritischen Situation K2 der Fall. Außerdem war der Anteil der Kollisionen auf dem eigenen Fahrstreifen bei K2 noch etwas geringer als bei K4. Insgesamt lässt sich daher Folgendes feststellen: Je länger die TTA war, desto eher war der Kollisionsort bezogen auf die ursprüngliche Fahrtrichtung des Egofahrzeugs nach links versetzt.

5.3.5 Reaktionsmuster

Auf Grundlage der Ergebnisse aus der ersten Studie wurde postuliert, dass die TTA sowohl einen Einfluss auf die Bremsreaktion (H 7) als auch auf die Ausweichreaktion (H 8) hat. Deshalb wurden zunächst die Brems- bzw. Ausweichreaktionen getrennt voneinander betrachtet. Dabei wurden für die Auswertung nur solche Reaktionen gewertet, die vor einer möglichen Kollision stattgefunden hatten. Wenn eine Person beispielsweise erst nach der Kollision gebremst hatte, wurde sie für diese Auswertung nicht berücksichtigt. In Abbildung 5.8 ist für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen auf der linken Seite der Anteil der Probanden dargestellt, der in der jeweiligen Situation gebremst hatte. Auf der

rechten Seite ist der Anteil der Personen abgebildet, der in der jeweiligen Situation ausgewichen war. Die Absolutwerte, die dieser Abbildung zugrunde liegen, sind Tabelle 10.11 (Bremsreaktion) und Tabelle 10.13 (Ausweichreaktion) im Anhang H zu entnehmen. Zum Vergleich dieser Angaben mit den Werten für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen dienen Tabelle 10.12 (Bremsreaktion) und Tabelle 10.14 (Ausweichreaktion), die ebenfalls im Anhang H zu finden sind.

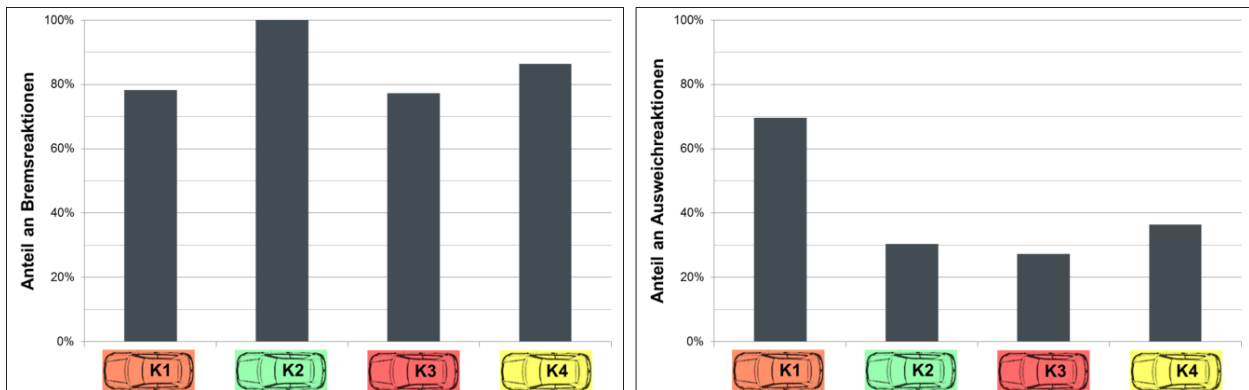


Abbildung 5.8: Darstellung der Bremsreaktion (links) und der Ausweichreaktion (rechts) je kritischer Situation ($n(K1,K2) = 23$, $n(K3,K4) = 22$)

Aufgrund des vorliegenden Datenniveaus wurde für die Prüfung auf Unterschiede sowohl für die Brems- als auch für die Ausweichreaktion auf Einzelvergleiche der jeweiligen Situationen zurückgegriffen. Für den Vergleich der Situationen, die sich hinsichtlich des Innersubjektfaktors Anstoßpunkt unterschieden, wurden McNemar Tests berechnet. Der Vergleich hinsichtlich des Zwischensubjektfaktors Beschleunigung erfolgte anhand von Chi-Quadrat-Tests.

Bei der Bremsreaktion fiel auf, dass lediglich in der Situation mit der längsten TTA alle Probanden bremsten. Es zeigte sich außerdem, dass der Anteil der Bremsungen abnahm, je kürzer die TTA war. Beim Vergleich der vier Situationen zeigten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Anstoßpunkts (K1 vs. K2: $\chi^2(1) = 1.33$, $p = .250$, $\omega = .25$; K3 vs. K4: $\chi^2(1) < 0.001$, $p > .999$, $\omega < .001$) und der Beschleunigung (K1 vs. K3: $\chi^2(1) = 0.72$, $p > .999$, $\omega = .13$; K2 vs. K4: $\chi^2(1) = 0.13$, $p = .222$, $\omega = .05$). Aus diesem Grund musste H 7 abgelehnt werden.

Hinsichtlich der Ausweichreaktion zeigte sich, dass der höchste Lenkanteil bei Situation K1 vorlag. Der niedrigste Anteil fand sich bezogen auf die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen in Situation K3. Diese beiden Situationen unterschieden sich signifikant voneinander ($\chi^2(1) = 7.67$, $p = .006$, $\omega = .04$). Der Vergleich zwischen K2 und K4 wurde

nicht signifikant ($\chi^2(1) = 0.67$, $p = .758$, $\omega = .12$). Innerhalb der Beschleunigungsgruppen ergab sich ein signifikanter Unterschied für K1 und K2 ($\chi^2(1) = 7.11$, $p = .008$, $\omega = .57$), aber nicht für K3 und K4 ($\chi^2(1) < 0.001$, $p > .999$, $\omega < .001$). Insgesamt zeigte sich, dass die TTA einen Einfluss auf die Ausweichreaktion hatte, weswegen H 8 angenommen werden konnte. Allerdings wurde nur ein signifikant höherer Anteil an Ausweichreaktionen für die Situation festgestellt, in der das kritische Fahrzeug mit einer mittleren Beschleunigung in die Kreuzung einfuhr und der Anstoßpunkt auf dem eigenen Fahrstreifen war.

Da es sich bei der Darstellung der Brems- und Ausweichreaktionen jedoch nur um die Einzelreaktionen handelte und daraus nicht ersichtlich wurde, welche Reaktionskombinationen es gab bzw. in welche Richtung ausgewichen wurde, wurde außerdem das Gesamtreaktionsmuster betrachtet. Auf der Grundlage der ersten Studie wurde hinsichtlich der Bremsreaktionen postuliert, dass der Anteil der reinen Bremsreaktionen abnimmt, je kleiner die TTA ist (H 9). Bezogen auf die postulierte Standardreaktion, dass auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts mit einem Ausweichen nach links reagiert wird, wurde angenommen, dass der Anteil der Ausweichbewegungen nach links zunimmt, je kleiner die TTA ist (H 10).

In Abbildung 5.9 sind die Reaktionsmuster je kritischer Reaktion dargestellt. Zur besseren Übersichtlichkeit sind die Reaktionen für die einzelnen kritischen Situation getrennt in vier Grafiken aufgeteilt. Da aufgrund des Datenniveaus nur deskriptive Aussagen möglich waren, sind in der Grafik alle je Situation nutzbaren Probanden enthalten und nicht nur die inferenzstatistisch auswertbaren. Die jeweiligen Absolutwerte sind in Tabelle 10.15 (alle nutzbaren) und in Tabelle 10.16 (alle inferenzstatistisch auswertbaren) im Anhang H zu finden.

In Situation K2, bei der die TTA mit 1.6 s am längsten war, lag der Anteil der reinen Bremsreaktionen bei 69 % und war damit im Vergleich aller Situationen am höchsten. Auch wenn in dieser Situation ausgewichen wurde, erfolgte dies immer gemeinsam mit einer Bremsung. Der Anteil des Ausweichens in die Gefahr, also eines Lenkens nach links, lag in K2 bei 24 % und stellte damit im Vergleich der vier Situationen den niedrigsten Anteil dar. Ein geringer Anteil (7 %, 2 Personen) lenkte nach rechts, also in die richtige Richtung, um die Kollision zu vermeiden. Diese beiden Personen erlebten K2 als erste Situation.

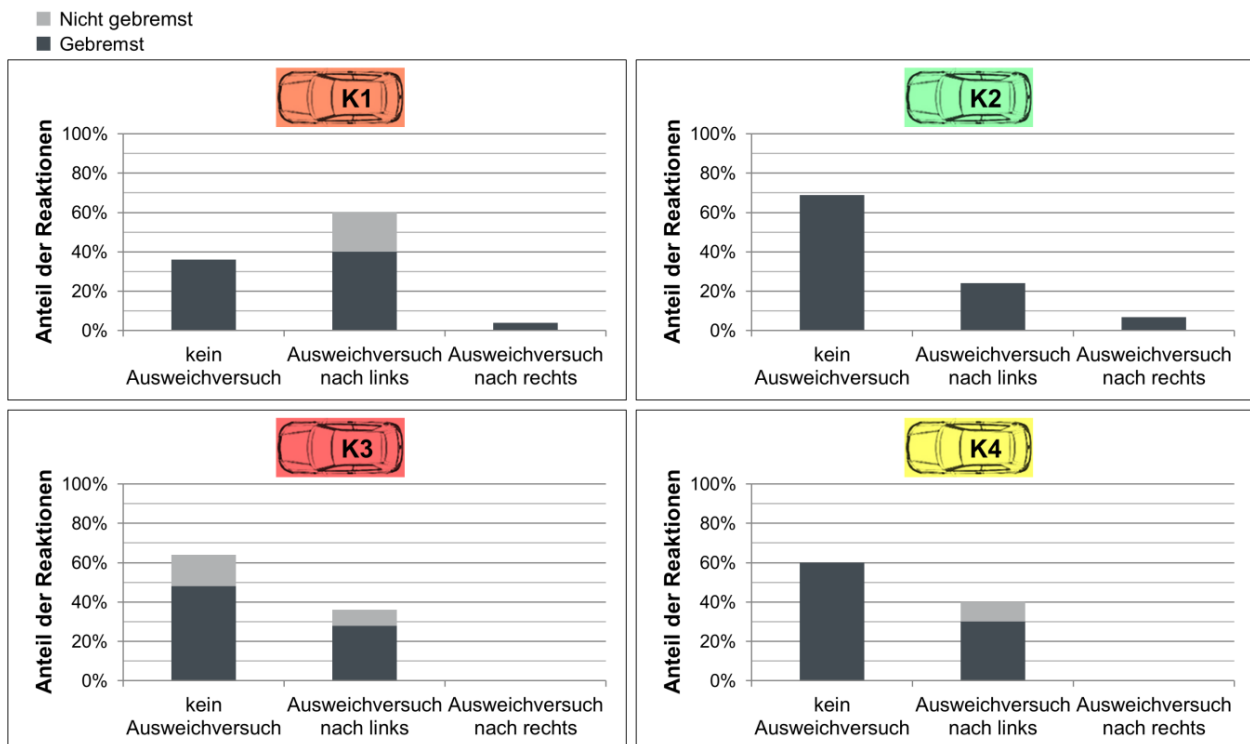


Abbildung 5.9: Anteil der Reaktionen je kritischer Situation ($n(K1) = 25$, $n(K2) = 29$, $n(K3) = 25$, $n(K4) = 30$)

In der nächstkritischeren Situation K4, bei der die TTA 1.4 s betrug, sank der Anteil der reinen Bremsreaktionen auf 60 % ab, dafür stieg der Anteil des Ausweichens nach links auf 40 %. 30 % der Probanden zeigten eine Doppelreaktion, also ein gemeinsames Lenken und Bremsen, während 10 % nur lenkten, ohne zu verzögern. Ein Ausweichmanöver nach rechts führte in K4 niemand durch.

In Situation K1, deren TTA bei 1.2 s lag, war der Anteil der alleinigen Bremsmanöver im Vergleich der vier Situationen am niedrigsten (36 %). Dagegen war der Anteil des Ausweichens nach links mit 60 % am höchsten. Dabei reagierten 20 % der Probanden nur mit einem Ausweichversuch und bremsten gar nicht. Außerdem gab es eine Person, die in Situation K1 mit einem Ausweichversuch nach rechts in Kombination mit einer Bremsung reagierte. Diese Person erlebte die K1 als erste Situation und war demnach nicht identisch mit einer der Personen, die in Situation K2 nach rechts ausgewichen waren.

In der mit einer TTA von 1.0 s kritischsten Situation K3 reagierte knapp die Hälfte der Probanden (48 %) mit einer reinen Bremsung. Mit dem als Standardreaktion postulierten Ausweichen nach links reagierten insgesamt 36 %. Dabei lenkten 8 % der Probanden nur nach links und bremsten nicht, während 24 % mit einer Kombination aus Lenken und Bremsen reagierten. Die Situation K3 war die einzige Situation, in der einige Probanden

überhaupt nicht reagierten (16 %), also weder einen Ausweichversuch unternahmen noch bremsen, bevor es zur Kollision kam.

Insgesamt zeigte sich, dass der Anteil der reinen Bremsungen grundsätzlich absank, je niedriger die TTA war. Lediglich bei der niedrigsten TTA, in Situation K3, nahm der Anteil wieder zu. Demnach deuten die Daten darauf hin, dass die Hypothese H 9 zutrifft, es aber aufgrund der hier vorliegenden Ergebnisse bei einer TTA von 1.0 s einen Grenzwert zu geben scheint. Für die TTA von 1.0 s musste H 9 abgelehnt werden. Für den Bereich der TTA von 1.2 s bis 1.6 s konnte H 9 angenommen werden. Hinsichtlich der postulierten Standardreaktion in Form eines Ausweichversuchs nach links wurde festgestellt, dass der Anteil des Ausweichens zunahm, je kleiner die TTA wurde. Auch hier bildete jedoch die Situation K3 eine Ausnahme, da in dieser Situation weniger Personen nach links auswichen als in der etwas unkritischeren Situation K1. Auch für das Ausweichverhalten scheint die TTA von 1.0 s demnach einen Grenzwert darzustellen. Somit musste H 10 für die TTA von 1.0 s abgelehnt werden. Für längere TTA (1.2 s - 1.6 s) wurde H 10 angenommen.

Da sich in der ersten Studie angedeutet hatte, dass die Reihenfolge der Reaktionen bei einer Kombination aus Lenken und Bremsen einen Einfluss auf das Ausweichverhalten hat, wurde postuliert, dass ein solcher Zusammenhang existiert (H 11). Deshalb wurden die Personen näher betrachtet, die eine solche Doppelreaktion gezeigt hatten. Ausgehend von allen je Situation nutzbaren Personen sind daher nur die Personen Grundlage für die Darstellung in Abbildung 5.10, die in Reaktion auf die kritische Situation sowohl gebremst als auch gelenkt hatten. Die Absolutwerte finden sich in Tabelle 10.17 im Anhang H. In Tabelle 10.18 sind die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen aufgeführt.

Bei der deskriptiven Betrachtung der ersten Reaktion zeigte sich, dass in jeder Situation der Anteil der Lenkreaktionen höher war als der Anteil der Bremsreaktionen. In den Situationen K3 und K4, in denen das kritische Fahrzeug mit einer hohen Beschleunigung anfuhr, lag der Anteil der Personen, die zuerst lenken und dann erst bremsen, sogar bei 100 % bzw. bei knapp 90 %. Da es in diesen Situationen insgesamt zu keinem Ausweichen nach rechts gekommen war, begannen diese Personen demnach zunächst ein Ausweichmanöver nach links, bevor sie bremsen. In den Situationen K1 und K2 war der Anteil der Personen, die zuerst bremsen und dann lenkten etwas höher. Ein detaillierter Blick in die Daten zeigte, dass die drei Personen, die in diesen Situationen nach rechts ausgewichen waren, alle als erstes gebremst und erst dann nach rechts gelenkt hatten. Die restlichen Personen, die zuerst gebremst hatten, wichen im Gegensatz dazu nach links aus. Somit ließ sich

anhand der Daten zwar nicht beobachten, dass alle, die zuerst bremsen, nach rechts lenkten, aber es zeigte sich, dass alle, die zuerst lenkten, nach links lenkten. Auf dieser Grundlage konnte die Hypothese H 11 gestützt werden, da sich zeigte, dass es einen Einfluss auf die Ausweichrichtung hat, ob zuerst gelenkt oder zuerst gebremst wird.

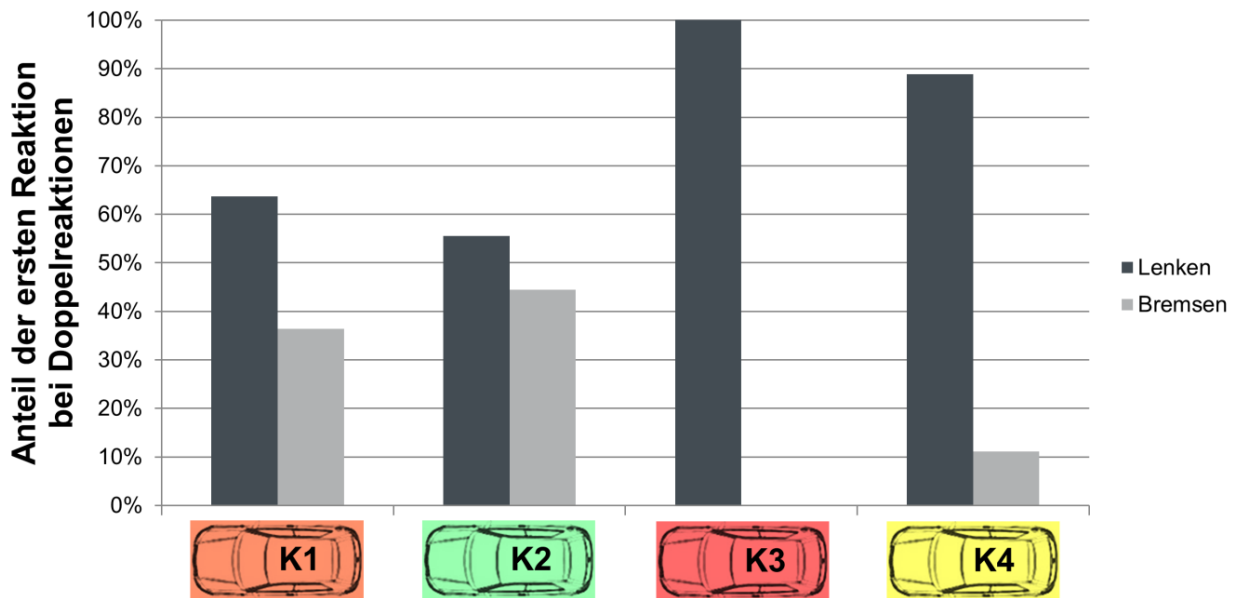


Abbildung 5.10: Darstellung der ersten Reaktion je kritischer Situation, wenn sowohl gelenkt als auch gebremst wurde ($n(K1) = 11$, $n(K2) = 9$, $n(K3) = 7$, $n(K4) = 9$)

Zusätzlich zur Betrachtung der Personen, die mit einer Kombination aus Lenken und Bremsen reagierten, war es explorativ von Interesse, welche Handlung grundsätzlich die erste Reaktion war, auch wenn nur eine einfache Reaktion erfolgte. Es zeigte sich, dass der Anteil der Personen, deren erste Reaktion eine Bremsung war, zunahm, je länger die TTA war. In der kritischsten Situation war Bremsen die erste Reaktion bei 48 % der Probanden, während dies in der unkritischsten Situation bei 83 % der Fall war. Im Gegenzug war zu beobachten, dass das Lenken als erste Reaktion abnahm, je länger die TTA war. Die detaillierten Werte der einzelnen Situationen sind in Tabelle 10.19 (alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen) und Tabelle 10.20 (alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen) im Anhang H zu finden.

5.3.6 Reaktionszeiten

Hinsichtlich der Reaktionszeiten wurde angenommen, dass es einen Einfluss der TTA gibt (H 12). Es hatte sich gezeigt, dass die Hauptreaktion auf die kritischen Situationen in einer

Bremmung bestand. Daher war es von Interesse, wie schnell die Probanden bremsten. Da sich aber außerdem herausgestellt hatte, dass die Probanden, wenn sie mit einer Kombination aus Bremsen und Lenken reagierten, oftmals zuerst lenkten, war es außerdem sinnvoll, die Reaktionszeiten der Ausweichreaktion zu betrachten. Abbildung 5.11 gibt einen vergleichenden Überblick über die jeweiligen Reaktionszeiten (Mittelwerte und Standardabweichungen).

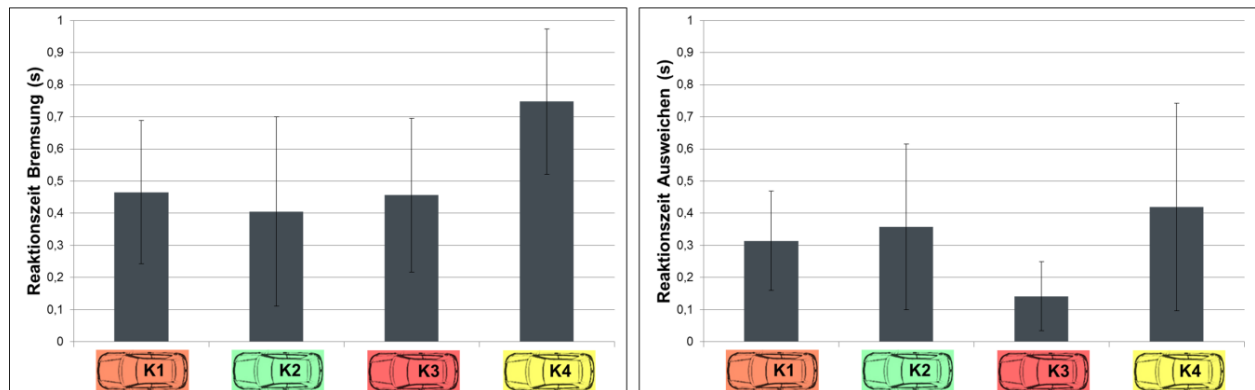


Abbildung 5.11: Darstellung der Reaktionszeiten der Bremsreaktion (links, $n(K1,K2) = 18$, $n(K3,K4) = 16$) und der Ausweichreaktion (rechts, $n(K1,K2) = 7$, $n(K3,K4) = 6$) je kritischer Situation

Ein Vergleich der Bremsreaktionszeiten anhand einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Beschleunigung ($F(1, 32) = 8.07$, $p = .008$, $\eta_p^2 = .20$) sowie der Interaktion zwischen Anstoßpunkt und Beschleunigung ($F(1, 32) = 8.16$, $p = .007$, $\eta_p^2 = .20$). Es gab keinen signifikanten Haupteffekt für den Anstoßpunkt ($F(1, 32) = 3.53$, $p = .069$, $\eta_p^2 = .10$). In den durchgeführten Post-hoc t-Tests für die verbundenen Stichproben zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen K1 und K2 ($t(17) = 0.59$, $p = .563$, $r = .14$), dafür jedoch für K3 und K4 ($t(15) = -4.68$, $p < .001$, $r = .77$). Der Vergleich der unabhängigen Stichproben ergab keinen Unterschied für K1 und K3 ($t(33) = -0.05$, $p = .959$, $r = .16$), aber einen signifikanten Unterschied zwischen K2 und K4 ($t(37) = -4.18$, $p < .001$, $r = .57$). Daher wurde H 12 hinsichtlich der Bremsreaktionszeit angenommen. Die Reaktionszeit war jedoch nur bei der hohen Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs signifikant länger, wenn der antizipierte Anstoßpunkt auf dem gegnerischen Fahrstreifen lag.

Der entsprechende Vergleich hinsichtlich der Reaktionszeiten beim Ausweichen mit einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung erbrachte im Gegensatz zur Bremsreaktion einen signifikanten Haupteffekt des Anstoßpunkts ($F(1, 11) = 5.67$, $p = .036$, $\eta_p^2 = .34$).

Dafür zeigte sich weder ein Effekt der Beschleunigung ($F(1, 11) = 0.27, p = .613, \eta_p^2 = .02$) noch der Interaktion der beiden Faktoren ($F(1, 11) = 3.04, p = .109, \eta_p^2 = .22$). Der im Anschluss durchgeführte Vergleich der einzelnen Situationen hinsichtlich des Anstoßpunkts zeigte jedoch keinerlei signifikante Unterschiede (K1 vs. K2: $t(6) = -0.55, p = .600, r = .22$; K3 vs. K4: $t(5) = -2.43, p = .060, r = .54$). Bezogen auf die Ausweichreaktionszeiten konnte H 12 ebenfalls angenommen werden. Dabei zeigte sich jedoch nur der Einfluss des Anstoßpunkts, da es in den entsprechenden Situationen tendenziell zu längeren Reaktionszeiten kam.

Um eine grundsätzliche Aussage treffen zu können, wie schnell die Probanden insgesamt auf das querende Fahrzeug reagierten, wurde aus den Reaktionszeiten der Brems- und Ausweichreaktionen jeweils die Reaktionszeit der ersten Reaktion bestimmt. In Abbildung 5.12 sind die mittleren Reaktionszeiten mit den Standardabweichungen der ersten Reaktion zu sehen.

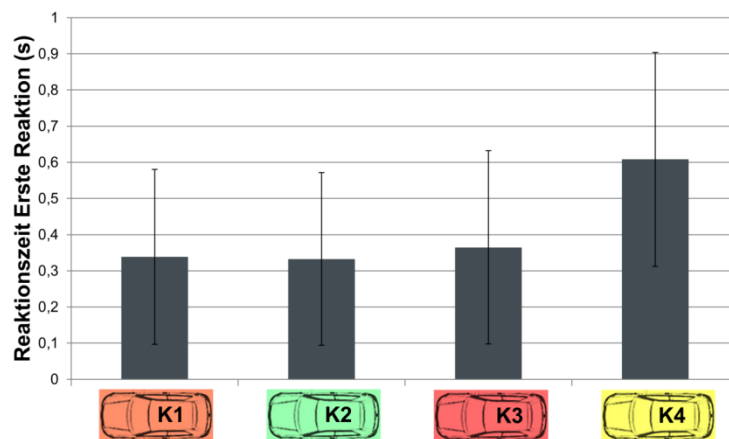


Abbildung 5.12: Darstellung der Reaktionszeiten der ersten Reaktion je kritischer Situation ($n(K1,K2) = 23, n(K3,K4) = 18$)

Es zeigte sich, dass die durchschnittliche Reaktionszeit in Situation K4 mit 0.61 s am längsten war. Die kürzesten Reaktionszeiten mit knapp über 0.33 s gab es in den Situation K1 und K2. In K3 reagierten die Probanden etwas später, im Mittel aber auch schneller als 0.4 s. Die durchgeführte zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung ergab sowohl einen signifikanten Haupteffekt für den Anstoßpunkt ($F(1, 39) = 7.26, p = .010, \eta_p^2 = .16$) als auch für die Beschleunigung ($F(1, 39) = 4.85, p = .034, \eta_p^2 = .11$). Außerdem wurde die Interaktion der beiden Faktoren signifikant ($F(1, 39) = 7.98, p = .007, \eta_p^2 = .17$). Der Post-hoc-Vergleich für die Gruppen, die sich hinsichtlich des Anstoßpunkts voneinander unterscheiden, zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen K3 und K4 ($t(17) = -4.32, p < .001$,

$r = .72$), nicht jedoch zwischen K1 und K2 ($t(22) = 0.09$, $p = .930$, $r = .19$). Auch hinsichtlich der Beschleunigung wurde nur der Vergleich mit Situation K4, also K2 vs. K4, signifikant ($t(43) = -3.78$, $p < .001$, $r = .50$). K1 und K3 unterschieden sich nicht signifikant ($t(39) = -0.33$, $p = .741$, $r = .05$). Bezogen auf die Reaktionszeit der ersten Reaktion zeigte sich ein Einfluss der TTA, so dass H 12 ebenfalls angenommen werden konnte. Es fiel jedoch auf, dass es nur zu einer signifikant längeren Reaktionszeit kam, wenn das kritische Fahrzeug mit der hohen Beschleunigung anfuhr und der Anstoßpunkt auf dem gegnerischen Fahrstreifen lag.

5.3.7 Verzögerungen

Aufbauend auf der Beobachtung aus der ersten Studie, dass die Probanden jeweils stark verzögerten, sollte der Einfluss der TTA auf die durchschnittliche Verzögerung untersucht werden (H 13). Für diese Betrachtung wurde jeweils nur die Verzögerung berücksichtigt, wie sie auch in einer echten Situation gewirkt hätte: Falls es in der Simulation zu einer Kollision kam, wurde für die Auswertung nur die Verzögerung herangezogen, die bis zur Kollision aufgetreten war, auch wenn die Probanden im Versuch nach der Kollision weiter verzögerten. Wenn es nicht zur Kollision kam, wie es bei manchen Probanden in Situation K2 der Fall war, wurde die Verzögerung der gesamten Bremsung betrachtet. Die durchschnittlichen Verzögerungen (Mittelwerte und Standardabweichungen), die bei den einzelnen Situationen auftraten, sind Abbildung 5.13 zu entnehmen.

Es zeigte sich, dass die Verzögerungen in den Situationen, in denen der vorausberechnete Anstoßpunkt auf dem eigenen Fahrstreifen lag, geringer ausfielen als in den Situationen, in denen der Anstoßpunkt auf dem gegnerischen Fahrstreifen lag. Bezogen auf die TTA nahm die Verzögerung ab, je niedriger die TTA war. Allerdings schafften es die Probanden, in der Situation mit der kleinsten TTA (K 3) stärker zu verzögern als in der Situation, die etwas unkritischer war (K 1). Der Vergleich der vier Situationen mittels einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Anstoßpunkt ($F(1, 32) = 13.30$, $p = .001$, $\eta_p^2 = .29$). Weder die Beschleunigung ($F(1, 32) = 0.23$, $p = .635$, $\eta_p^2 = .01$) noch die Interaktion der Faktoren wurden signifikant ($F(1, 32) = 3.65$, $p = .065$, $\eta_p^2 = .10$). Die durchgeführten Post-hoc t-Tests bei verbundenen Stichproben zeigten, dass sich K1 und K2 signifikant unterschieden ($t(17) = 3.68$, $p = .002$, $r = .67$), während es bei K3 und K4 keinen signifikanten Unterschied gab ($t(15) = 1.37$, $p = .191$, $r = .33$). Auf dieser Grundlage konnte H 13 angenommen werden. Dabei zeigte

sich der Einfluss des Anstoßpunkts, da es den Probanden in den Situationen gelang, stärker zu verzögern, in denen der Anstoßpunkt auf dem gegnerischen Fahrstreifen war.

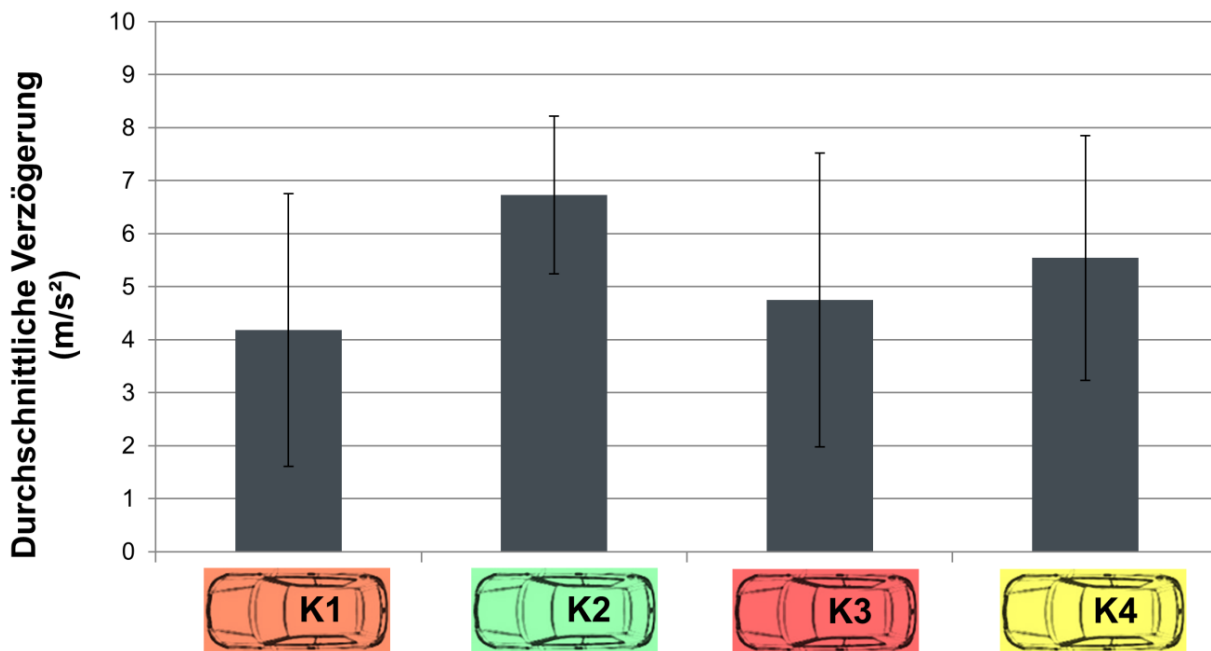


Abbildung 5.13: Durchschnittliche Verzögerung je kritischer Situation ($n(K1,K2) = 18$, $n(K3,K4) = 16$)

5.4 Diskussion

Auf der Grundlage der Ergebnisse der ersten Studie wurde in der zweiten Studie mit dem VIL die TTA systematisch variiert, um den Einfluss der TTA sowohl auf das subjektive Empfinden als auch auf das Reaktionsverhalten der Personen zu bestimmen. Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob ein Schwellwert definierbar ist, ab dem es zu der Standardreaktion Ausweichen in die Gefahr kommt. Da in der ersten Studie die Situation K4 mit einer TTA von 1.34 s am ehesten dazu geführt hatte, dass die Probanden mit einem Lenken nach links reagierten, wurde diese Situation als Grundlage für die Konzeption genutzt. Aufgrund der Erkenntnisse in der ersten Studie hinsichtlich der Tachoungenaugigkeit wurde die Situation in der zweiten Studie bezüglich des Geschwindigkeitsniveaus etwas angepasst, so dass die entsprechende Situation in der zweiten Studie eine TTA von 1.4 s aufwies. Darüber hinaus gab es eine Situation, die mit einer TTA von 1.6 s noch etwas unkritischer war, sowie zwei kritischere Situationen mit 1.2 s TTA und 1.0 s TTA. Jede Versuchsperson erlebte jedoch nur zwei kritische Situationen, die sich jeweils um 0.4 s in ihrer TTA unterschieden. Im Vergleich zu bisherigen Studien (Fuoß, 2011; Lechner & Malaterre, 1991;

McGehee et al., 1999) wurden in dieser Studie niedrigere TTA gewählt, da sich für höhere TTA in der ersten Studie gezeigt hatte, dass es den Probanden durchaus gelang, das richtige, kollisionsvermeidende Reaktionsverhalten zu zeigen bzw. zumindest die Geschwindigkeit bis zur Kollision merklich zu verringern. Ein weiterer Unterschied zu den in der Literatur berichteten Studien bestand außerdem darin, dass das kritische Fahrzeug nicht plötzlich wieder stehen blieb, sondern weiterfuhr.

Es zeigte sich ein signifikanter Effekt der TTA auf die wahrgenommene Kritikalität (H 1). Alle Situationen wurden von den Probanden im Durchschnitt als mindestens gefährlich eingestuft. Den geringsten Kritikalitätswert erhielt Situation K2, die auch objektiv aufgrund der längsten TTA am unkritischsten war. K1, die mit einer TTA von 1.0 s objektiv als kritischste Situation einzustufen war, wurde auch von den Probanden als am kritischsten bzw. sehr häufig sogar als nicht kontrollierbar empfunden. Insgesamt zeigte sich, dass die Situationen mit der hohen Beschleunigung des kritischen Fahrzeugs als kritischer eingeschätzt wurden als die Situationen mit der mittleren Beschleunigung. Im Vergleich zum subjektiven Kritikalitätslevel aus der ersten Studie lässt sich feststellen, dass die mittlere Beschleunigung als kritischer empfunden wurde als die niedrige Beschleunigung. Da ein signifikanter Einfluss weder für den Anstoßpunkt noch für die Interaktion vorlag, lässt sich die Beschleunigung als maßgeblicher Faktor für die subjektive Kritikalität bestimmen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich nur um einen mittleren Effekt handelt.

Dass die Situationen für die Probanden unerwartet passierten, zeigte sich bei den Angaben der Überraschungsintensität. Die erste erlebte kritische Situation wurde im Mittel als ziemlich überraschend empfunden, von vielen Probanden sogar als sehr überraschend. Auch die zweite kritische Situation wurde von den meisten Probanden als ziemlich überraschend bezeichnet, allerdings fiel hier die Einschätzung teilweise auch geringer aus. Der Unterschied von der ersten zur zweiten kritischen Situation wurde signifikant, so dass davon ausgegangen werden muss, dass die Probanden die zweite Situation in gewisser Weise bereits erwartet hatten (H 3). Da sich jedoch die Werte der einzelnen abhängigen Variablen nicht signifikant unterschieden, je nachdem ob die jeweilige kritische Situation als erstes oder als zweites erlebt wurde, ist dieser Lerneffekt für die Interpretation der Ergebnisse zu vernachlässigen. Im Vergleich der einzelnen kritischen Situationen zeigte sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Überraschungsintensität (H 2), auch wenn die Situationen K3 und K4, in denen das kritische Fahrzeug stark beschleunigte, in der Tendenz als etwas überraschender eingeschätzt wurden. Insgesamt lässt sich festhalten, dass es in

der vorliegenden Studie gelang, die Probanden mit für sie unerwarteten und subjektiv wirklich kritischen Situationen zu konfrontieren. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Probanden, obwohl sie sich in einer Simulation befanden, ein natürliches Reaktionsverhalten zeigten. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Reaktionen im VIL etwas später erfolgen als bei einer Realfahrt (Berg, 2015; Karl et al., 2013; Rüger, 2015).

Im Gegensatz zur ersten Studie gab es in der zweiten Studie mehr Kollisionen. Während es beispielsweise in der ersten Studie bei der vergleichbaren Situation K4 knapp einem Fünftel der Probanden gelang, die Situation ohne Kollision zu meistern, kollidierten nun alle Probanden bei einer TTA von 1.4 s. In den beiden noch kritischeren Situationen lag die Kollisionsrate ebenfalls bei 100 %. Nur in der Situation K2 mit einer TTA von 1.6 s gelang es fast einem Viertel der Personen, eine Kollision zu verhindern. Im Vergleich der Situationen miteinander konnten deshalb nur die Vergleiche mit K2 berechnet werden. Dabei gab es weder einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Beschleunigung noch bezüglich des Anstoßpunkts. Es ließ sich demnach hinsichtlich der Kollisionsraten kein Einfluss der TTA feststellen (H 4). Es konnte außerdem kein Einfluss auf die Kollisionsrate festgestellt werden, wenn bereits eine kritische Situation erlebt wurde (H 5). Das einmalige Erleben einer kritischen Situation führte demnach nicht dazu, dass es in der Folge zu weniger Kollisionen kam. Hinsichtlich der Kollisionen wurde in einem nächsten Schritt die Kollisionsgeschwindigkeit des Egofahrzeugs bei den einzelnen kritischen Situationen näher betrachtet. Hierbei zeigte sich ein signifikanter Einfluss der TTA (H 6). In der Situation mit der höchsten TTA (K2) gelang es den Personen, bei denen es zu einer Kollision kam, ihre Geschwindigkeit am stärksten zu reduzieren (im Durchschnitt um knapp 30 km/h). In den anderen drei Situationen, in denen alle Probanden kollidierten, gelang ihnen nur eine Reduktion von durchschnittlich knapp 10 km/h, wobei in Situation K4 noch minimal mehr Geschwindigkeit abgebaut werden konnte. Die Ergebnisse der ANOVA sowie der Post-hoc t-Tests legten nahe, dass lediglich die Kombination aus mittlerer Beschleunigung und antizipiertem Anstoßpunkt auf dem gegnerischen Fahrstreifen zu einer signifikant niedrigeren Kollisionsgeschwindigkeit führt. Die TTA von 1.6 s scheint demnach einen Grenzwert darzustellen, ab dem es möglich ist, eine Kollision zu vermeiden oder zumindest die Kollisionsgeschwindigkeit merklich zu reduzieren. Bei höherer TTA kann dies noch besser gelingen, wie sich in der ersten Studie gezeigt hatte.

Bei der Betrachtung des Kollisionsorts fiel auf, dass es nur in Situation K2 zu Kollisionen auf der Gegenseite kam. Der Anteil der Kollisionen auf der eigenen Spur war dabei am

geringsten, wenn auch nur unwesentlich weniger als in den Situationen K4 (1.4 s) und K1 (1.2 s). In der kritischsten Situation K3 (1.0 s) kollidierten über 90 % der Probanden auf dem eigenen Fahrstreifen. Obwohl in dieser Situation fast 40 % der Versuchspersonen eine Ausweichbewegung nach links einleiteten, konnte kein merklicher Querversatz mehr erreicht werden, da es bereits sehr schnell zur Kollision kam. Die Bewegungsintention eines Ausweichens in die Gefahr konnte sich hinsichtlich des Kollisionsorts deshalb nicht mehr auswirken. Je länger hingegen die TTA war, desto eher wirkte sich eine Ausweichbewegung nach links auch hinsichtlich des Kollisionsorts aus, weil sich die tatsächliche Kollision im Vergleich jeweils später ereignete. In den Situationen K4 und K1 lag der Anteil der Kollisionen auf Höhe der Mittellinie bei ca. 30 %. In Situation K2 kollidierten ca. 20 % auf Höhe der Mittellinie und ca. 10 % auf der Gegenseite. Somit kann festgestellt werden, dass das Ausweichen in die Gefahr bei längerer TTA in einem größeren Querversatz nach links resultierte. Im Gegenzug dazu wäre es möglich gewesen, bei einer entsprechenden Ausweichreaktion nach rechts den notwendigen Querversatz zu erreichen, um die Kollision zu vermeiden.

Der Anteil an Ausweichreaktionen war jedoch in Situation K2 vergleichsweise niedrig: nur ca. 30 % der Probanden reagierten mit einem Lenken, unabhängig davon, in welche Richtung sie auswichen. Der Anteil des Lenkens nahm mit sinkender TTA zu, so dass in Situation K4 bereits knapp 40 % der inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen auswichen und in Situation K1 sogar fast 70 %. Lediglich die mit 1.0 s TTA kritischste Situation K3 folgte diesem Trend nicht. Dort wichen nur ca. 27 % der inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen aus. Trotzdem kann davon ausgegangen werden, dass die TTA einen Einfluss auf die Ausweichreaktion hat (H 8). Dass es in K3 zu keiner weiteren Steigerung bezüglich der Ausweichreaktionen kam, ist auf die sehr geringe Zeit zurückzuführen, die den Probanden überhaupt für eine Reaktion blieb, bevor es zur Kollision kam. Es gab in K3 beispielsweise zwei Personen, deren Ausweichzeitpunkt erst nach der eigentlichen Kollision lag, so dass sie keine Berücksichtigung in der Auswertung hinsichtlich der vorkollisionsären Reaktionen fanden. Für K3 fiel außerdem auf, dass dort im Vergleich zu den anderen Situationen am seltensten gebremst wurde. Obwohl sich die Tendenz zeigte, dass nur in der Situation mit der längsten TTA alle Probanden bremsten und insgesamt der Anteil der Bremsreaktionen sank, je kürzer die TTA war, konnte kein signifikanter Effekt der TTA festgestellt werden, wenn nur betrachtet wurde, ob eine Bremsung stattgefunden hatte oder nicht (H 7). Im Gegensatz dazu zeigte sich aber ein Einfluss der TTA, wenn man den Anteil

der reinen Bremsreaktionen betrachtete (H 9). Je kleiner die TTA war, desto geringer wurde der Anteil der Personen, die nur mit einer Bremsung auf die kritische Reaktion reagierten. Lediglich in der Situation mit der kleinsten TTA von 1.0 s drehte sich dieser Trend wieder um. Diese Ergebnisse decken sich somit mit den Ergebnissen bisheriger Studien (Lechner & Malaterre, 1991; McGehee et al., 1999), die feststellten, dass der Anteil der Bremsreaktionen abnimmt, je kürzer die TTA ist, während der Anteil der Lenkreaktionen im Gegenzug zunimmt.

Im Vergleich zur ersten Studie bremsten somit nicht mehr alle Probanden, wenn sie mit einer kritischen Situation konfrontiert wurden. Selbst in der vergleichbaren Situation K4, bei der in der ersten Studie der Anteil an Bremsreaktionen bei 100 % lag, reagierten nur 90 % aller Personen, die die Situation richtig erlebt hatten, in der vorliegenden Studie mit einer Bremsung. Bei der Betrachtung des Gesamtreaktionsmusters zeigte sich, dass die 10 % der Personen, die nicht gebremst hatten, nur mit einem Ausweichversuch nach links reagierten. Der Anteil der Personen, die nur lenkten und nicht bremsten, stieg in der nächstkritischeren Situation K1 auf 20 % an, sank allerdings in der kritischsten Situation K3 wieder auf 8 % ab. Allerdings war K3 die einzige Situation, bei der 16 % der Probanden weder mit einer Bremsung noch mit einem Ausweichen reagierten, sondern ohne jegliche Reaktion kollidierten. Bezogen auf eine mögliche Unfallvermeidung ist dies ein erschreckendes Ergebnis, da es diesen Personen gar nicht gelang, in der kritischsten Situation eine Abwehrhandlung zu initiieren. Da die Trefferlage in dieser Situation eine vollüberdeckte Kollision des Egofahrzeugs in die Mitte der Fahrgastzelle des kreuzenden Fahrzeugs vorsah, wäre in dieser Konstellation mit den höchsten Verletzungsschweren für die Insassen des kreuzenden Fahrzeugs zu rechnen (Heck, 2015). Obwohl eine TTA von 1.0 s objektiv eine sehr kurze Zeitspanne ist, so würde diese aber trotzdem gemäß Heck (2015) ausreichen, um durch einen entsprechenden Systemeingriff den benötigten Querversatz zur optimalen Trefferlagenänderung zu erreichen.

Der Anteil des Ausweichens in die Gefahr als Standardreaktion lag in der zweiten Studie höher als in der ersten Studie. Dabei konnte ein Einfluss der TTA nachgewiesen werden, da der Anteil der Ausweichbewegung nach links zunahm, je kleiner die TTA wurde (H 10). In der unkritischsten Situation (K2, 1.6 s) lenkte fast ein Viertel der Probanden (24 %) nach links. In der nächstkritischeren Situation (1.4 s) reagierten bereits 40 % mit einem Ausweichen in die Gefahr. Einen noch höheren Anteil von 60 % wies Situation K1 (1.2 s) auf, die somit den Ergebnissen der Unfallanalysen der AARU (vgl. Abbildung 2.9) am ähnlichsten

war. Lediglich in der mit 1.0 s TTA kritischsten Situation K3 sank der Anteil wieder ab (36 %). Die Situation K3 schien aufgrund ihrer sehr geringen TTA von 1.0 s einen Grenzwert darzustellen, bei dem sich dieser Trend wieder umdrehte. Demnach scheint es in der vorliegenden Studie geglückt zu sein, zumindest einen Schwellwertbereich zu finden, in dem es vermehrt zu der Standardreaktion des Ausweichens in die Gefahr kommt: Ab einer TTA von 1.6 s ist bereits mit einem Viertel an Ausweichbewegungen in die Gefahr zu rechnen. Der Anteil dieser Ausweichreaktionen erreichte bei einer TTA von 1.2 s sein Maximum und nahm bei noch kürzerer TTA wieder ab. Demnach wäre es bereits ab 1.6 s TTA sinnvoll, den Fahrer hinsichtlich der richtigen Ausweichrichtung zu unterstützen bzw. das Ausweichen in die falsche Richtung zu unterbinden. Dies wäre umso notwendiger, je kürzer die TTA ist.

Dass ein Ausweichen nach rechts durchaus möglich gewesen wäre, zeigten die Reaktionen von einzelnen Personen, die tatsächlich einen Ausweichversuch nach rechts unternahmen. Allerdings kam es lediglich in den Situationen K1 und K2, in denen das kritische Fahrzeug mit der mittleren Beschleunigung anfuhr, zu solchen Ausweichmanövern. Darüber hinaus handelte es sich außerdem nur um sehr geringe Absolutwerte, da in Situation K1 eine Person und in Situation K2 zwei Personen derartig reagierten. Alle drei Personen zeigten jedoch dieses Ausweichverhalten bereits in der ersten erlebten Situation, so dass zumindest nicht von einem Lerneffekt aus einer bereits missglückten Reaktion auszugehen ist. In der zweiten Situation reagierten alle drei dann mit einem Ausweichen nach links, so dass sie ihre Reaktionsweise aus der ersten Situation nicht wiederholten. In der Befragung gaben diese Personen übereinstimmend an, in der ersten kritischen Situation zunächst mit einer starken Bremsung reagiert zu haben. Als sie dann wahrgenommen hätten, dass sich das kreuzende Fahrzeug weiterbewegt, wäre ein Lenken nach rechts die offensichtlich richtige Reaktion gewesen. Diese Aussagen geben einen Anhaltspunkt dafür, dass die Reihenfolge der Reaktionen bei Doppelreaktionen einen Einfluss auf die Ausweichrichtung hat.

Die Auswertung der Doppelreaktionen zeigte, dass die Reihenfolge der Reaktionen tatsächlich einen Einfluss auf die Ausweichrichtung hat (H 11). Einem Lenken nach rechts ging immer zuerst eine Bremsung voraus. Die subjektiven Angaben der drei Probanden konnten also auch durch die objektiven Daten bestätigt werden. Es gab jedoch in allen Situationen auch Personen, die zuerst gebremst hatten, dann aber trotzdem nach links lenkten. Deshalb kann nicht davon ausgegangen werden, dass ein primäres Verzögern immer dazu führen muss, dass in die richtige, unfallvermeidende Richtung gelenkt wird. Es scheint

aber zumindest für ein Ausweichen weg von der Gefahr, in diesem Fall also nach rechts, wichtig zu sein, als erstes zu bremsen. Aufgrund der geringen Anzahl an Personen ist auf dieser Grundlage jedoch keine verallgemeinernde Aussage möglich, sondern es kann lediglich ein Trend aufgezeigt werden: Durch die zuerst eingeleitete Verzögerung entsteht die notwendige Zeit, um das Szenario zu verstehen und wahrzunehmen, dass das kreuzende Fahrzeug nicht anhalten wird. Auf dieser Grundlage ist es dann möglich, die Ausweichbewegung nach rechts einzuleiten. Bei der Gesamtbetrachtung aller vier kritischen Situationen zeigte sich allerdings, dass immer zu einem höheren Anteil zuerst gelenkt und dann erst gebremst wurde. Bei der verknüpfenden Betrachtung der ersten Reaktion mit der Kollisionsrate zeigte sich, dass alle Probanden, die in Situation K2 eine Kollision vermeiden konnten, zuerst gebremst hatten. Die Personen, die in K2 zuerst lenkten, lenkten nach links und kollidierten in der Folge auf Höhe der Mittellinie oder auf der Gegenseite mit dem kreuzenden Fahrzeug. Auch in den anderen Situationen erhöhte ein primäres Lenken die Wahrscheinlichkeit einer Kollision auf Höhe der Mittellinie. Somit deuten die Daten darauf hin, dass für das Phänomen des Ausweichens in die Gefahr als Standardreaktion tatsächlich ein intuitiver Lenkimpuls nach links verantwortlich ist.

Die Beobachtung, dass in allen Situationen zuerst gelenkt wurde, spiegelte sich auch in den Reaktionszeiten wider. Die Reaktionszeiten der Ausweichreaktion waren in jeder kritischen Situation kürzer als die Bremsreaktionszeiten. Die längste Reaktionszeit für ein Ausweichen lag in Situation K4 vor. Die kürzeste Reaktionszeit zeigte sich in Situation K3, in der bereits im Durchschnitt nach 0.14 s mit dem Ausweichen begonnen wurde. Da das kritische Fahrzeug an die Kreuzung heranrollte und in K3 die TTA bei 1.0 s lag, ist zu vermuten, dass bereits das Heranrollen des querenden Fahrzeugs als Gefährdung wahrgenommen wurde, so dass dementsprechend schnell ein Ausweichen eingeleitet wurde. Im Vergleich der vier Situationen zeigte sich ein signifikanter Effekt der TTA (H_{12}), der auf dem Einfluss des Anstoßpunkts beruhte: Wenn der Anstoßpunkt auf dem eigenen Fahrstreifen lag, so wurde schneller gelenkt. Dieser Unterschied zeigte sich jedoch nicht in den Post-hoc-Vergleichen. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die für diese Betrachtung auswertbare Stichprobe nur wenige Personen umfasste. Im Gegensatz dazu waren mehr Personen hinsichtlich der Bremsreaktionszeiten auswertbar. Dort zeigte sich, dass die durchschnittliche Reaktionszeit in K4, also für die Kombination aus hoher Beschleunigung und Anstoßpunkt auf der Gegenseite, signifikant länger war. Auch im Vergleich zur ersten Studie war die Reaktionszeit in dieser Situation länger. Dieses

Ergebnis lässt vermuten, dass die Probanden in K4 länger brauchten, um die Notwendigkeit einer eigenen Reaktion zu erkennen. Auch bei der Betrachtung der Reaktionszeiten der ersten Reaktion fiel Situation K4 dahingehend auf. Während die Reaktionszeiten in den anderen Situationen im Bereich von 0.33 s bis 0.36 s lagen, war die Reaktionszeit in K4 mit 0.61 s am längsten.

Hinsichtlich der durchschnittlichen Verzögerungen konnte ein Einfluss der TTA festgestellt werden (H 13). Die durchschnittlichen Verzögerungen lagen in der zweiten Studie allerdings nicht so hoch wie in der ersten Studie. Lediglich in Situation K2 gelang es den Probanden, mit einer richtigen Vollverzögerung zu reagieren. Da in dieser Situation vergleichsweise wenig gelenkt wurde, konnten die Probanden den Hauptfokus deshalb auf die Bremsung legen und erreichten dadurch eine stärkere Verzögerung. Je höher der Anteil an Lenkmanövern war, desto niedriger war die durchschnittliche Verzögerung. Da der Anteil an Ausweichreaktionen mit sinkender TTA zunahm, nahm die durchschnittliche Verzögerung bei niedrigerer TTA ab. Lediglich in der kritischsten Situation K3 (1.0 s) wurden höhere Verzögerungswerte erreicht als in der weniger kritischen Situation K1 (1.2 s). Da jedoch in K1 mehr gelenkt wurde als in K3 und in K3 die primäre Reaktion in einer Bremsung bestand, ist es nachvollziehbar, dass es dort im Mittel zu höheren Verzögerungen kam. Es zeigte sich außerdem ein signifikanter Effekt hinsichtlich des Anstoßpunkts: In den Situationen, in denen der geplante Anstoßpunkt auf der Gegenseite war, wurden höhere Verzögerungen erreicht. Ein großer Effekt zeigte sich jedoch nur bei dem Vergleich der Situationen mit der mittleren Beschleunigung. Die Ergebnisse hinsichtlich der Verzögerungen legen nahe, dass es Personen schwer fällt, in zeitlich kritischen Situationen mit der notwendigen Vollverzögerung zu reagieren. Es scheint daher sinnvoll, Personen in derartig kritischen Situationen fahrzeugseitig zu unterstützen, damit die maximal mögliche Verzögerung tatsächlich erreicht werden kann.

5.5 Zusammenfassung

In der zweiten Studie mit dem VIL wurde der Frage nachgegangen, ob die TTA einen Einfluss auf das Reaktionsverhalten und auf die wahrgenommene Kritikalität hat. Es zeigte sich, dass Situationen subjektiv umso kritischer eingeschätzt wurden, je kürzer die TTA war. Hinsichtlich der Standardreaktion, dass es bei einer Vorfahrtsmissachtung von rechts zu einem Ausweichversuch nach links kommt, zeigte sich ein Einfluss der TTA. Ein Ziel der Studie war es zudem, zu überprüfen, ob es einen Schwellwert hinsichtlich der TTA gibt, ab

dem es verstärkt zu dieser Standardreaktion kommt. Dabei zeigte sich, dass eine TTA von 1.6 s als ein solcher Schwellwert angesehen werden kann, ab dessen Unterschreitung der Anteil der entsprechenden Ausweichreaktionen zunimmt. Da es in der Situation mit der TTA von 1.6 s außerdem einem Teil der Probanden gelang, eine Kollision zu vermeiden, wäre es gut, den Fahrer spätestens ab Erreichen dieser Schwelle in seiner Reaktion zu unterstützen. Da die Personen, die in dieser Situation nach links gelenkt hatten, teils bis auf die Gegenspur kamen, ist davon auszugehen, dass sie die Kollisionen bei einem Lenken nach rechts vermieden hätten. Auch wenn es vereinzelt Personen gab, die in dieser Situation nach rechts lenkten, so schien der Impuls der meisten Personen tatsächlich nach links zu gehen, also in die Bewegungsrichtung des kreuzenden Fahrzeugs. Die Personen, die nach rechts lenkten, hatten zuerst gebremst. Dadurch hatten sie sich die nötige Zeit verschafft, um die Situation ausreichend wahrzunehmen und zu verstehen, dass das kreuzende Fahrzeug nicht anhalten würde. Sie konnten daher ihr Fahrzeug aktiv in die Richtung lenken, für die die höchste Wahrscheinlichkeit bestand, die Kollision zu vermeiden.

Es zeigte sich, dass der Anteil an Ausweichreaktionen mit sinkender TTA zunahm, während der Anteil an Bremsreaktionen im Gegenzug abnahm. Da bei den Bremsungen die maximal mögliche Verzögerung nicht konsequent erreicht wurde, wäre dahingehend eine technische Unterstützung der Fahrer sinnvoll. Nachdem in der kritischsten Situation 16 % der Probanden gar nicht reagierten, wird hier ein fahrzeugseitiger Eingriff im Sinne einer Unfallvermeidung oder zumindest einer Reduktion der Unfallschwere als notwendig erachtet.

6 Technische Lösungsmöglichkeiten

In den beiden durchgeführten Studien mit dem VIL zeigte sich, dass es nur wenigen Probanden gelang, die kritischen Kreuzungsszenarien ohne Kollision zu meistern. Die Hauptreaktion bestand jeweils in einer Bremsung, wobei der Anteil der reinen Bremsreaktionen abnahm, je kürzer die TTA war. Die Personen, die zusätzlich zu einer Bremsung nach rechts ausgewichen waren, hatten eine höhere Chance, die Kollision zu vermeiden (vgl. Abbildung 4.8). In der zweiten Studie lenkten jedoch nur einzelne Personen nach rechts (vgl. Abbildung 5.9). Ein Lenken nach links erhöhte jeweils die Wahrscheinlichkeit einer Kollision. Da es den meisten Probanden nicht gelang, in den erlebten kritischen Situationen optimal zu reagieren und eine Kollision zu vermeiden, stellt sich die Frage, wie ein technisches System aussehen müsste, um solche Situationen optimal lösen bzw. den Fahrer optimal unterstützen zu können.

6.1 Optimales System

In den untersuchten Szenarien kam das kritische Fahrzeug immer von rechts und fuhr in die Kreuzung ein, ohne im weiteren Verlauf anzuhalten. Diese Szenarien bilden daher im Folgenden die Grundlage für die Überlegungen hinsichtlich eines optimalen technischen Systems. Darüber hinaus liegt der Fokus auf einem Fahrerassistenzsystem (FAS), das den vorfahrtsberechtigten Fahrer unterstützen bzw. die notwendige Reaktion ggf. sogar selbst übernehmen kann. Die Situationen waren in beiden Studien so konzipiert, dass eine Kollisionsvermeidung immer möglich gewesen wäre. In der ersten Studie war die Trefferlage so gewählt, dass das Egofahrzeug das kritische Fahrzeug bei einer reinen Vollverzögerung gerade noch am Heck getroffen hätte. Hier wäre für eine Kollisionsvermeidung nur ein geringer Querversatz nach rechts notwendig gewesen. In der zweiten Studie war zusätzlich dazu die Trefferlage bei der Hälfte der Szenarien so festgelegt, dass eine alleinige Vollbremsung in einer vollüberdeckten Kollision des Egofahrzeugs mit der Fahrgastzelle des kreuzenden Fahrzeugs resultiert hätte. In einer solchen Konstellation käme es zu den höchsten Verletzungsschweren für die Insassen des querenden Fahrzeugs (Heck, 2015; Stoff & Liers, 2013). Um eine Kollision zu vermeiden, wäre in diesem Fall ein größerer Querversatz nach rechts nötig gewesen. In allen Konstellationen wäre somit eine Vollverzögerung in Kombination mit einer Ausweichbewegung nach rechts optimal gewesen.

Für eine optimale Reaktion müsste das Fahrzeug zu dem Zeitpunkt, ab dem zu erkennen ist, dass das querende Fahrzeug in die eigene Spur einfährt, mit einer Vollverzögerung reagieren. Für ein Fahrzeug, das aus dem Stand anfährt, kann eine Gefahrensituation angenommen werden, wenn die Fahrzeugfront 0.5 - 1.0 m in den eigenen Fahrstreifen ragt (Morawski, 2007). Ein Fahrzeug, das sich der Kreuzung fahrend nähert, hat die Signalposition bereits erreicht, wenn es die Haltelinie überfährt, da dann davon ausgegangen werden muss, dass es nicht mehr rechtzeitig anhalten kann. Je nach verfügbarer Zeit könnte das Fahrzeug entweder den Fahrer so unterstützen, dass die notwendige Reaktion von ihm ausgeführt werden kann, oder es müsste die Reaktion selbst übernehmen. Für ein FAS mit handlungsempfehlender Funktion bei unerwarteten Ereignissen sollte ein Zeitfenster von mindestens zwei Sekunden verfügbar sein. Bei weniger Zeit sollte ein automatisierter Eingriff des Fahrzeugs erfolgen (Donges, 2015). Wie eine Bremsaufforderung sinnvoll gestaltet sein sollte, wurde bereits intensiv untersucht (Fricke, 2009; Maier, Sacher, Hellbrück, Meurle & Widmann, 2011; Petermann-Stock & Rhede, 2013; Rhede, Wäller & Oel, 2011). Eine solche Funktion ist bereits bei vielen aktuellen Fahrzeugen verfügbar (Fecher & Hoffmann, 2015). Ziel ist es dabei, die Phasen einer Notbremssituation (Zomotor, 1987) zu verkürzen, um möglichst schnell mit der maximal möglichen Verzögerung bremsen zu können. Wenn kein Fahrereingriff erfolgt, ermöglicht zumindest der Eingriff einer automatischen Bremsfunktion eine adäquate Reaktion auf die Gefahrensituation (Eckert, Hartmann, Sevenich & Rieth, 2011; Kobiela, 2011; Ovcharova, 2014). Um keine Gefährdung für den rückwärtigen Verkehr hervorzurufen, sollte dieser auf die beginnende Notbremsung hingewiesen werden. Dafür eignet sich beispielsweise ein adaptives Bremslicht, das bei einer Vollbremsung mehrmals pro Sekunde aufblitzt, wie es Breitling und Breuer (2008) beschrieben.

Wenn das Fahrzeug den Fahrer durch eine Lenkempfehlung unterstützen oder sogar selbständig lenken soll, dann sollte das System ab dem Beginn der Vollbremsung fortlaufend eine Überprüfung der Trajektorie des kreuzenden Fahrzeugs vornehmen und diese zur eigenen Trajektorie in Relation setzen. Wenn aufgrund dieses Abgleichs zu erwarten ist, dass eine Kollision ohne einen Lenkeingriff nicht verhindert werden kann, sollte dieser initiiert werden. Die Ausweichbewegung muss dabei so bemessen sein, dass das eigene Fahrzeug das kreuzende Fahrzeug hinter dessen Heck passiert. Für die Umsetzung der Ausweichbewegung sind verschiedene Ansätze denkbar. Dass ein Ausweichen nach rechts durch ein Markierungslicht auf das Heck des kreuzenden Fahrzeugs hervorgerufen werden

kann, konnten Laschinsky et al. (2010) zeigen. Dies ist jedoch erst anwendbar, wenn sich eine kritische Situation bei Dunkelheit ereignet. Darüber hinaus ist es möglich, über ein Lenkmoment am Lenkrad eine Ausweichbewegung durch den Fahrer hervorzurufen (Bender, 2008; Bräuchle, Flehmig, Rosenstiel & Kropf, 2013; Heck, 2015). Die extremste Form des Eingriffs wäre sicherlich ein automatisiertes Lenken, das entkoppelt vom Fahrer erfolgt.

6.2 Systemgrenzen und Schwierigkeiten

In den letzten Jahren ist die Möglichkeit der Umfelderkennung durch ein Fahrzeug kontinuierlich gestiegen. Wie im Handbuch Fahrerassistenzsysteme (Winner, Hakuli, Lotz & Singer, 2015) dargestellt, stehen zur Anwendung für FAS verschiedenste Techniken wie zum Beispiel Ultraschall (S. 243 ff.), Radar (S. 259 ff.), Lidar (S. 317 ff.) und Bildverarbeitung (S. 347 ff.) zur Verfügung. Dadurch wird die Detektion und Klassifikation von Objekten und ihrer Bewegung im Straßenverkehr immer besser. Unterschiedliche Szenarien stellen jedoch unterschiedliche Anforderungen an die Umfelderkennung. Während die Überwachung im Längsverkehr bereits sehr gut funktioniert, ist die Detektion von Querverkehr eine größere Herausforderung. So können die aktuell verfügbaren Sensoren die Informationen, die ein FAS in diesen Szenarien benötigen würde, nicht bzw. nur teilweise liefern (Mages, Stoff & Klanner, 2015). Darüber hinaus reicht das reine Erkennen eines Objekts noch nicht aus, um eine drohende Kollision zu vermeiden. Dafür wäre zusätzlich eine räumliche und zeitliche Bewegungsprädiktion der Verkehrsteilnehmer durch das FAS notwendig. Zu diesem Zweck werden typischerweise dynamische oder kinematische Bewegungsmodelle verwendet, anhand derer die zukünftigen Trajektorien der relevanten Verkehrsteilnehmer und die entsprechenden Kollisionswahrscheinlichkeiten bestimmt werden können (Liebner & Klanner, 2015). Eine weitere Schwierigkeit bei der Bewegungsprädiktion des Querverkehrs besteht in der Entscheidung, ob ein querendes Fahrzeug tatsächlich in die Kreuzung einfährt oder nicht vielleicht doch noch stehen bleibt (Mages et al., 2015). Liebner und Klanner (2015) schilderten verschiedene Herangehensweisen, wie mit dieser Unsicherheit in Berechnungsmodellen umgegangen werden kann, beispielsweise die Verwendung von normalverteilten Zufallsgrößen. Sattel, Hesse und Sondermann-Wölke (2008) stellten eine potentialfeldbasierte Fahrzeugführung vor, die eine Bewegungsprädiktion vornimmt. Über Sensordaten wurde eine dynamische Gefahrenkarte erstellt und die bewegten Objekte wurden ausgehend von der aktuellen Erfassung linear extrapoliert. Eine Überprüfung ihres

Systems fand jedoch lediglich virtuell statt, so dass keine Schlüsse auf die tatsächliche Leistungsfähigkeit des Systems im normalen Straßenverkehr gezogen werden können. Außerdem wurden keine Angaben gemacht, welche Sensordaten genau verwendet wurden. Heck et al. (2013) verwendeten zur Identifikation und Klassifikation des Querverkehrs ein bildverarbeitungsbasiertes Verfahren mittels Kamertechnik. Anhand eines Algorithmus konnten die Räder des querenden Fahrzeugs erkannt werden und darauf aufbauend das Fahrzeug als Ganzes und seine Bewegung identifiziert werden. Diese Methode wurde in Fahrversuchen validiert, allerdings nur bei Geschwindigkeiten, wie sie innerorts gefahren werden. Eine wirklich sichere Antizipation des Bewegungsmusters des kreuzenden Fahrzeugs wird es vermutlich erst mit der Einführung von Car2Car Technologie geben (Fuchs, Hofmann, Löhr & Schaaf, 2015). Wenn die Fahrzeuge untereinander kommunizieren, kennt das vorfahrtsberechtigzte Fahrzeug die Bewegungsintention des anderen Fahrzeugs und kann darauf entsprechend reagieren (Kramer & Israel, 2014). Umgekehrt weiß das wartepflichtige Fahrzeug auch, dass Querverkehr kommt, selbst wenn in der Anfahrt an die Kreuzung eine Sichtverdeckung besteht (Mages et al., 2015).

Wenn man davon ausgeht, dass die Umfelderkennung richtig und rechtzeitig erfolgt, so ist als nächste Systemanforderung das notwendige Ausweichmanöver näher zu betrachten. Mages et al. (2015) forderten, dass der potenzielle Kollisionsbereich schnellstmöglich zu verlassen ist. Deshalb sollte die Ausweichtrajektorie so gewählt werden, dass der maximal mögliche Querversatz erreicht wird. Bei der Berechnung der Ausweichtrajektorie müssen der verfügbare Ausweichraum, weitere potenzielle Kollisionsobjekte sowie die Fahrdynamikgrenzen berücksichtigt werden. So muss beispielsweise für die Umsetzung des Ausweichmanövers der Reibwert der Fahrbahnoberfläche berücksichtigt werden, der im Zusammenspiel mit den Reifen das Ausmaß des maximalen Ausweichens beschränkt. Je niedriger der Reibwert ist, desto weniger Kraftübertragung ist möglich und desto geringer ist der mögliche Querversatz (Heck et al., 2013).

Ein weiterer kritischer Punkt ist die Kompensation des vom Fahrzeug initiierten Lenkmoments durch den Fahrer: Ein Lenkmoment führt zwar zu einer Ausweichbewegung, kann aber nicht die volle Wirkung entfalten. In vielen Studien, die sich mit Ausweichverhalten beschäftigten, zeigte sich, dass die Fahrer einen Lenkeingriff kompensieren bzw. zumindest dessen Wirkung abschwächen (Bräuchle et al., 2013; Heck et al., 2013; Heesen et al., 2015; Hesse et al., 2013; Pütz, Zlocki & Eckstein, 2014). Beispielsweise wäre in der Studie von Bräuchle et al. (2013) ohne eine Fahrerinteraktion ein Querversatz von 0.6 m erreicht

worden. Tatsächlich erreicht wurden jedoch im Mittel nur 0.25 m. Dabei berichteten nur 20 % der Probanden im Nachhinein, einen Lenkeingriff überhaupt wahrgenommen zu haben. Dieser wurde subjektiv überlagert von der gleichzeitigen, starken Verzögerung. Die Autoren führten die Dämpfung des Querversatzes dabei auf die Absicht des Fahrers zurück, das Fahrzeug während der Bremsung stabil in der Spur zu halten. Bei der Studie von Heck et al. (2013) wurde statt des geplanten Querversatzes von 0.66 m nur eine laterale Bewegung von weniger als 0.2 m erreicht, da 80 % der Probanden die Bewegung des Lenkrads bereits innerhalb von 250 ms gestoppt hatten. Durch Änderungen des Lenkmoments werden reflexartige Reaktionen ausgelöst (Bender, 2008; Kullack, Ehrenpfordt & Eggert, 2009). Im alltäglichen Straßenverkehr sind Fahrer darauf trainiert, kleine Änderungen in der Querführung (z. B. aufgrund des Einfahrens in den Windschatten eines Lkw) durch unmerkliche Lenkbewegungen zu kompensieren. Dies entspricht der Stabilisierungsaufgabe des Fahrers nach Donges (1982). Diese Kompensationsmechanismen sind somit auf unbewusstes, gelerntes Verhalten zurückzuführen.

Eine weitere Thematik, die den Fahrer betrifft, ist das Problem der Akzeptanz. Zum einen muss das FAS für den Fahrer subjektiv kontrollierbar sein, zum anderen muss ihm der Nutzen des Systems deutlich werden. Da ein FAS für kritische Kreuzungssituationen, wie sie in dieser Arbeit beschrieben wurden, auf den Bevorrechtigten abzielt, der also nicht der Verursacher der kritischen Situation ist, muss der Eingriff des Systems für den bevorrechtigten Fahrer plausibel sein. Bei häufigen Fehlauflösungen würde das System deaktiviert werden. Wenn die Fahrzeugreaktion zur realen, kritischen Situation passt, kann das Ausweichverhalten im Nachhinein vom Fahrer als selbstverursacht wahrgenommen werden (Bender, 2008). Deshalb sollte ein FAS, das den vorfahrtsberechtigten Fahrer unterstützt, erst zu einem Zeitpunkt eingreifen, an dem das kreuzende Fahrzeug eine Kollision nicht mehr vermeiden kann (Mages et al., 2015). Aufgrund des späten Eingriffszeitpunkts plädierten die Autoren für einen autonomen Eingriff des Fahrzeugs, da für eine Warnkaskade die Zeit nicht ausreicht. Falls es jedoch, wie in der zweiten Studie der vorliegenden Arbeit, durch den Fahrer zu einer frühzeitigen, primären Lenkreaktion in die Bewegungsrichtung des kreuzenden Objekts käme (vgl. Abbildung 5.11 und Abbildung 5.12), könnte es passieren, dass der Fahrzeugeingriff zu spät erfolgen würde.

Abschließend muss in Bezug auf die Zulässigkeit eines aktiven Systemeingriffs auf die Berücksichtigung der rechtlichen Rahmenbedingungen hingewiesen werden (Gasser, Seeck & Smith, 2015). Neben den Fragen der Produkthaftung müssen auch die Fragen der

vom Fahrer gemäß der Wiener Konvention von 1968 jederzeit geforderten Fahrzeugbeherrschung geklärt werden (United Nations, 1968). Kramer und Israel (2014) postulierten in diesem Zusammenhang, dass „sobald ein Fahrer sein Fahrzeug nicht mehr unter Kontrolle hat, zum Beispiel bei einer Gefahrensituation, ... das Assistenzsystem die Kontrolle übernehmen darf, wenn dadurch die Gefahr abgewendet oder gemindert wird“ (S. 397). Bereits angestoßene Anpassungen der Wiener Konvention werden mittelfristig ermöglichen, dass Fahrzeuge autonom Eingriffe ausführen (DIE WELT, 2014).

7 Diskussion

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Szenarien stellen eine spezielle Auswahl an kritischen Situationen dar. Aufbauend auf den Unfallanalysen der AARU Daten und der GIDAS Daten wurde der Fokus auf Kreuzungsszenarien gelegt, bei denen einem vorfahrtsberechtigten Fahrer von rechts die Vorfahrt genommen wurde. In diesen Situationen kam es in den Unfalldaten oftmals zu einem Ausweichen nach links durch den Vorfahrtsberechtigten und in der Folge zur Kollision mit dem querenden Fahrzeug, da dieses seine Bewegungsrichtung beibehielt und nicht bremste. Im normalen Straßenverkehr ist jedoch eine Vielzahl an unterschiedlichen Konstellationen denkbar. Es ist davon auszugehen, dass es viele Situationen gibt, in denen das querende Fahrzeug doch noch stehen bleibt. Angaben dazu, wie häufig es zu solchen Begegnungen kommt, sind jedoch nicht vorhanden. Unfälle sind statistisch gesehen seltene Ereignisse. Deshalb ist im normalen Straßenverkehr die Wahrscheinlichkeit höher, eine zunächst kritisch erscheinende Kreuzungssituation zu erleben, die im Endeffekt nicht zu einem Unfall führt, als tatsächlich einen Unfall zu haben. Dadurch baut sich gemäß Houtenbos (2008) die langfristige Erwartung auf, dass die Teilnahme am Straßenverkehr grundsätzlich ungefährlich ist. Aufgrund dieser Erwartung kommt es zu einer hypothesengeleiteten Wahrnehmung (Dörner, 1989, 1999), so dass das Erkennen einer tatsächlich kritischen Situation erschwert und die Reaktion darauf verlangsamt wird. Um eine kritische Situation optimal zu lösen, müsste eigentlich eine Aktivierung von regel- bzw. wissensbasiertem Verhalten erfolgen (Donges, 2015). Dies ist jedoch aufgrund der zeitkritischen Gefahr oftmals nicht möglich, so dass eine unbewusst ablaufende Reaktion auf der Stabilisierungsebene erfolgt (Braess & Donges, 2006; de Keyser, 1986). Vor diesem Hintergrund kann davon ausgegangen werden, dass es vor allem in kritischen Situationen zu Standardreaktionen kommt. Je kritischer eine Situation ist, desto weniger ist eine bewusste Handlungssteuerung möglich. Der Zusammenhang mit der für eine Reaktion verfügbaren Zeit zeigt sich auch in den durchgeführten Studien. Der Anteil der Ausweichreaktionen in die Bewegungsrichtung des kreuzenden Fahrzeugs nahm mit sinkender TTA zu, wenn man die Situation mit der sehr kurzen TTA von 1.0 s von der Betrachtung ausnimmt. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Erkenntnissen bisheriger Studien. Diese stellten ebenso fest, dass Probanden umso eher nach links ausweichen, je weniger Zeit ihnen zur Verfügung steht, um auf ein kritisches Ereignis zu reagieren (Lechner & Malaterre, 1991; McGehee et al., 1999). Im Gegensatz zu diesen Arbeiten trat das Lenkphänomen des

Ausweichens in die Gefahr in den vorliegenden Studien jedoch erst bei Situationen mit kürzerer TTA auf. Die längeren Zeiten hinsichtlich der TTA in der ersten Studie führten nicht so deutlich zu einem Ausweichmanöver nach links. Ein möglicher Grund dafür, dass einige Probanden nach rechts lenkten, kann sein, dass in den VIL Studien das kritische Fahrzeug nicht kurz nach der Einfahrt in die Kreuzung anhielt, wie es bei den anderen Studien der Fall war. Dadurch wurde die Möglichkeit, nach rechts zu lenken, um die Kollision zu vermeiden, überhaupt erst eröffnet und durchaus von den Probanden auch ergriffen.

Obwohl in den untersuchten Szenarien ein Ausweichen nach rechts in Kombination mit einer Vollbremsung zur Vermeidung der Kollision geführt hätte, ist nicht davon auszugehen, dass dieses Reaktionsmuster bei allen derartigen, kritischen Situationen im normalen Straßenverkehr zielführend ist. Stoff und Liers (2013) gingen beispielsweise bei ihren Überlegungen zu einem Kreuzungsassistenten davon aus, dass das querende Fahrzeug in der Regel doch immer noch anhalten würde, weswegen sie ein Ausweichen nach rechts als Handlungsalternative verwarfen. Es ist somit eine sehr fein abgestufte Situationsanalyse nötig, um zu beurteilen, ob und in welche Richtung ein Ausweichmanöver sinnvoll ist. Heck (2015) stellte in seiner Arbeit ein kamerabasiertes Handlungskonzept eines FAS vor, das eine Beurteilung von Kreuzungssituationen in der Art ermöglicht, die vorausberechnete Trefferlage so zu beeinflussen, dass es nicht zu einer Kollision mit der Fahrgastzelle des querenden Fahrzeugs kommt. Stoff und Liers (2013) verwendeten als Basis für ihre Situationsanalyse eine Fusion von Laserscanner- und Kommunikationsdaten und erreichten damit ebenfalls eine Trefferlage außerhalb der Fahrgastzelle. Es wird jedoch sicher noch einige Zeit dauern, bis ein rechtlich abgesichertes FAS eine derartig komplexe und zeitkritische Erfassung und Beurteilung einer Kreuzungssituation zuverlässig vornehmen kann. Eine wichtige Rolle wird dabei voraussichtlich Car2Car Technologie spielen (Klanner, 2008; Kramer & Israel, 2014).

Der Fokus für die Entwicklung eines FAS im Kreuzungsbereich lag bislang primär auf dem Fahrzeug, das den Vorfahrtsverstoß begeht (Klanner, 2008; Mages et al., 2015; Zademach, Mergl & Färber, 2013). Betrachtet man den potenziellen Unfall als Ganzes, so hat dieses FAS sicherlich das höchste Vermeidungspotential. Wird ein Fahrer gewarnt, falls er die Vorfahrt zu missachten droht, und fährt gar nicht in den Kreuzungsbereich ein, ist eine Kollision räumlich vermeidbar. In den AARU Daten zeigte sich, dass ein Großteil der Vorfahrtsmissachtungen passierte, weil die Unfallverursacher den Querverkehr nicht wahrnahmen, obwohl er wahrnehmbar gewesen wäre. Dies deckt sich mit Erkenntnissen aus

anderen Unfallereignissen (Staubach, 2010; Vollrath & Briest, 2008). Bei einer hohen Marktdurchdringungsrate eines FAS, das den Wartepflichtigen unterstützt, wäre eine starke Reduktion an Kreuzungsunfällen zu erwarten. Zumindest mittelfristig ist jedoch eine technische Umsetzung nicht zu erwarten. Daher ist es aus der Perspektive des einzelnen Fahrers durchaus zielführend, ihn in Situationen zu unterstützen, in denen ihm die Vorfahrt genommen wird (Mages et al., 2015).

Aufbauend auf den Ergebnissen der beiden Studien ist ein FAS zu empfehlen, das den Bevorrechtigten bei der Notbremsung unterstützt oder ihm diese sogar abnimmt. Ein solches System würde zunächst das natürliche Verhalten der Fahrer in einer Notsituation verstärken, da Bremsen in beiden Studien die Hauptreaktion war (vgl. Abbildung 4.7 für Studie 1 und Abbildung 5.9 für Studie 2). Dadurch könnte gewährleistet werden, dass in einer zeitkritischen Situation wirklich die maximal mögliche Verzögerung zum Tragen kommt. Während in der ersten Studie durch die Probanden durchschnittliche Verzögerungswerte erreicht wurden, die durchaus als Notbremsungen bezeichnet werden können (vgl. Abbildung 4.12), lagen die Verzögerungswerte in der zweiten Studie niedriger (vgl. Abbildung 5.13). Dabei zeigte sich, dass die Verzögerung umso geringer war, je höher der Anteil an Ausweichreaktionen war. Lediglich in der Situation mit der längsten TTA, in der seltener ausgewichen wurde, wurde vergleichbar stark verzögert wie in der ersten Studie. Rüger (2015) konnte zeigen, dass Probanden beim Erleben dynamischer Querverkehrssituationen im VIL stärker verzögern als bei Realfahrten. Deswegen ist davon auszugehen, dass in einer vergleichbaren, kritischen Situation im normalen Straßenverkehr weniger stark verzögert worden wäre, als dies in den beiden vorliegenden Studien der Fall war. Dies deckt sich mit den Ausführungen von Dilich et al. (2002), die bemängelten, dass die wenigsten Autofahrer ein Notbremsmanöver beherrschen. Im Einklang damit fiel in beiden Studien auf, dass es den wenigsten Probanden gelang, so intensiv zu bremsen, dass das Versuchsfahrzeug eine Notbremsung detektieren konnte, um daraufhin die Warnblinkanlage automatisch zu aktivieren.

Wenn durch ein FAS zum frühestmöglichen Zeitpunkt maximal verzögert wird, entsteht dadurch ein Zeitpuffer für das Verständnis der kritischen Situation. Situationsbewusstsein entsteht aus der Wahrnehmung und dem Verständnis einer Situation, die wiederum in einer Prognose der Situationsentwicklung münden (Baumann & Krems, 2007; Endsley, 1995). Bekommt der Fahrer aufgrund der maximalen Verzögerung mehr Zeit, um zu verstehen, dass das kreuzende Fahrzeug nicht anhalten wird, so steigt die Wahrscheinlichkeit, dass er

sich für die Ausweichrichtung entgegen der Bewegungsrichtung des querenden Fahrzeugs entscheidet. Diese Handlungsalternative zeigte sich in der zweiten Studie bei den Personen, die in der kritischen Situation nach rechts lenkten, nachdem sie stark verzögert hatten. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass es sich nur um eine sehr kleine Anzahl von Personen handelte, die so reagierte. In den subjektiven Angaben im Anschluss an die kritische Situation gaben diese Personen übereinstimmend an, aufgrund der Verzögerung wahrgenommen zu haben, dass das kreuzende Fahrzeug weiterfährt und dass deshalb ein Ausweichen nach rechts notwendig war, um eine Kollision zu vermeiden. Auch in der ersten Studie bremsten alle Personen, die nach rechts lenkten, zunächst ab. Ein Ausweichen nach rechts verringerte dabei die Wahrscheinlichkeit einer Kollision. Es scheint, dass der durch das Bremsen entstandene Zeitpuffer eine bessere Prädiktion der Trajektorien ermöglicht und ggf. auch die Aktivierung von regelbasiertem Verhalten (Donges, 2015; Rasmussen, 1983) zulässt, also eine bewusste Reaktion auf das Weiterfahren des querenden Fahrzeugs erlaubt.

Allerdings zeigten die Studien, dass ein primäres Bremsen nicht automatisch in einem Ausweichen nach rechts resultiert. Im Gegensatz dazu lenkten aber alle Probanden nach links, wenn ihre erste Reaktion in einem Lenken bestand. Vor allem in der zweiten Studie zeigte sich die Tendenz, dass die Probanden zuerst lenkten, wenn sie insgesamt mit einer Kombination aus Lenken und Bremsen reagierten. Allerdings reagierte jeweils nur ca. ein Drittel der Personen mit einer Kombination aus Lenken und Bremsen, was dafür spricht, dass es Menschen schwer fällt, in einer kritischen Situation mehr als eine Handlung auszuführen. Wird zuerst gelenkt, spricht das scheinbar intuitive Ausweichen nach links dafür, dass es so etwas wie einen Fluchtreflex auch beim Autofahren gibt, wie es Kramer und Israel (2014) postulierten. Wenn durch diesen Lenkreflex die Bewegung nach links bereits initiiert ist und der Querende weiterfährt, steigt die Wahrscheinlichkeit einer Kollision, selbst wenn der Bevorrechtigte im Anschluss zusätzlich bremst. Für eine Kollisionsvermeidung ist es deshalb wichtig, zuerst zu bremsen. Ob als erste Reaktion auf eine Vorfahrtsmissachtung von rechts mit einem Bremsen oder mit einem Ausweichen reagiert wird, hängt von der TTA ab. Je länger die TTA ist, desto eher wird als erstes gebremst. Im Gegenzug steigt der Anteil des Ausweichens als erste Reaktion bei kürzerer TTA. Lediglich in der Situation mit der TTA von 1.0 s stieg der Anteil nicht weiter an, was jedoch daran lag, dass in dieser Situation auch einige Personen überhaupt nicht reagiert hatten.

Wenn trotz der notwendigen Vollverzögerung eine Kollision ohne ein Ausweichen nicht vermeidbar ist, sollte ein systemseitiger Lenkeingriff erfolgen. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass autonome Lenkeingriffe vom Fahrer kompensiert bzw. abgeschwächt werden können (Bräuchle et al., 2013; Hesse et al., 2013; Pütz et al., 2014). In diesem Zusammenhang sollte untersucht werden, inwieweit eine solche Ausweichtrajektorie vom System vorgegeben werden könnte, die trotz möglicher Kompensation den notwendigen Querversatz erzielt. Darüber hinaus gibt es bereits Überlegungen, die Lenkung des Fahrers von der eigentlichen Lenkung des Fahrzeugs in solchen Situationen zu entkoppeln (Heesen et al., 2015; Hesse et al., 2013). Inwieweit und wann eine derartige Lösung rechtlich umsetzbar sein wird, bleibt abzuwarten.

Ein anderer Ansatz, die Reaktion in kritischen Situationen zu verbessern, wäre, die richtige Reaktion zu trainieren. Hastings (2005) beschrieb, dass er einen Trainingserfolg erzielen konnte und die Teilnehmer am Ende des Trainings ein Hindernis ohne Kollision umfahren konnten. Es liegen jedoch keine Informationen über die Nachhaltigkeit des Trainingseffekts vor. Falkmer und Gregersen (2003) fanden zwar einen positiven Einfluss ihres Trainings auf das Fahrverhalten in gewissen Situationen, beispielsweise im Nebel, konnten aber keinen Effekt nachweisen, wenn es zu plötzlich eintretenden kritischen Situationen kam. Evers und Willmes-Lenz (2000) wiesen einen positiven, stabilen Effekt eines Fahrsicherheitstrainings nach. Die größte Wirkung zeigte sich in der Verbesserung der Gefahrenbremsung. Es handelte sich dabei jedoch um eine angekündigte Gefahrenbremsung und keine Bremsung, die auf eine plötzlich eintretende Situation erfolgen musste. Es ist daher fraglich, ob sich die Verbesserung auch bei einem Bremsen ohne Ankündigung gezeigt hätte. Obwohl das Einüben von Reaktionen auf kritische Situationen eine kurzfristige Verbesserung mit sich bringt, zeigt sich in der Regel jedoch kein Transfereffekt (Groeger & Banks, 2007). Wenn man bedenkt, dass kritische Situationen vergleichsweise selten vorkommen, so besteht die Gefahr, dass das gelernte Verhalten durch die Vielzahl an erlebten unkritischen Situationen wieder verlernt wird. Allerdings wäre das regelmäßige Training von Gefahrenbremsungen zu empfehlen, um das Bewegungsmuster und den notwendigen Bremschlag zu automatisieren. Es wäre wünschenswert, dass sich diesbezüglich fertigkeitstbasiertes Verhalten aufbaut, das bei Bedarf automatisch ablaufen kann.

Der Umstand, dass es im normalen Straßenverkehr eher selten zu kritischen Ereignissen kommt, ist ein potenzieller Kritikpunkt an den durchgeführten Studien. Die Szenarien waren so konzipiert, dass sie für die Probanden überraschend und kritisch sein sollten. Die

Ergebnisse der subjektiven Daten zeigten, dass dies gelungen war. Dennoch muss man berücksichtigen, dass die Probanden vor allem in der ersten Studie sehr viele kritische Situationen erlebten. Dadurch kam es zu einer gewissen Erwartungshaltung, dass wieder eine Vorfahrtsmissachtung erfolgen könnte. Es zeigten sich jedoch keine signifikanten Effekte auf das Reaktionsverhalten. Darüber hinaus muss man davon ausgehen, dass die Probanden in den Studien schneller reagierten als sie es grundsätzlich bei dem Auftreten einer kritischen Situation im normalen Straßenverkehr getan hätten, da sie wussten, dass sie an einem Experiment teilnahmen (Dilich et al., 2002). Diesem Umstand wurde jedoch dadurch begegnet, dass der Zeitpunkt des Beschleunigens des kritischen Fahrzeugs als Ausgangspunkt für die Bestimmung der Reaktionszeiten diente. Der Bezugszeitpunkt für den Beginn einer Abwehrreaktion wäre im Normalfall später zu wählen. Für das Verhalten im normalen Straßenverkehr wird davon ausgegangen, dass eine Vorfahrtsmissachtung erst erkennbar ist, wenn die Fahrzeugfront des querenden Fahrzeugs merklich in den eigenen Fahrstreifen ragt (Morawski, 2007). Durch den in den Studien gewählten Bezugspunkt für die Reaktionszeitbestimmung wurde der Erwartungshaltung der Probanden Rechnung getragen.

Die mittlere Bremsreaktionszeit bei unerwarteten Ereignissen wird in verschiedenen Studien in einem Bereich von 0.5 s bis 2.5 s angegeben (Fuoß, 2011; Karl et al., 2013; Kobiela, 2011; Rüger, 2015; Stańczyk et al., 2010). In der ersten Studie mit dem VIL lagen die Bremsreaktionszeiten fast immer im Bereich von 0.52 s bis 0.88 s. Lediglich in den beiden Situationen, in denen das kreuzende Fahrzeug mit einer niedrigen Beschleunigung aus dem Stand losfuhr, waren die Reaktionszeiten mit 1.65 s und 1.76 s verhältnismäßig lang. In der zweiten Studie bremsten die Probanden vor allem in den Situationen mit der mittleren Beschleunigung schneller ab (0.42 s bis 0.47 s). In der Situation, bei der das querende Fahrzeug mit hoher Beschleunigung aus der Bewegung heraus so anfuhr, dass der voraussichtliche Anstoßpunkt auf dem gegnerischen Fahrstreifen lag (Situation K4), war die Bremsreaktionszeit im Mittel mit 0.77 s signifikant höher. Für beide Studien muss berücksichtigt werden, dass die Probanden mit ACC fuhren, mit dem rechten Fuß also das Gaspedal nicht betätigen mussten. Obwohl darauf geachtet wurde, dass der rechte Fuß während des Versuchs oberhalb des Gaspedals war, positionierten manche Fahrer in der Anfahrt an die Kreuzung ihren Fuß dennoch bereits über dem Bremspedal. Dadurch war eine schnellere Reaktion möglich. Das Fahren mit ACC war allerdings nötig, um eine konstante Geschwindigkeit in der Anfahrt an die Kreuzung sicherzustellen, damit die zeitlich

getriggerten kritischen Szenarien mit den vorgegebenen TTA Werten für alle Personen möglichst gleich waren. Manche Probanden reagierten jedoch so früh mit einer Bremsung, dass dadurch die notwendigen Trigger nicht mehr ausgelöst werden konnten. Da viele Probanden berichteten, dass sie ohne ACC in der Anfahrt auf die Kreuzung bereits vom Gas gegangen wären, war das ACC eine wichtige Grundlage für die Durchführbarkeit der Studien. Ansonsten hätte die Gefahr bestanden, dass die Szenarien bereits durch eine Geschwindigkeitsreduktion durch Gaswegnahme nicht wie geplant funktioniert hätten.

Die reine Betrachtung der Bremsreaktionszeiten reicht in den vorliegenden Studien jedoch nicht aus. Da mit sinkender TTA der Anteil der primären Lenkmanöver zunahm, muss die Reaktionszeit der jeweils ersten Reaktion betrachtet werden. In der ersten Studie zeigte sich der Unterschied vor allem in der Situation K4. Dort reduzierte sich bei der Betrachtung der ersten Reaktion die Reaktionszeit auf im Mittel 0.37 s. Aus der vergleichbaren Situation in der zweiten Studie resultierte hingegen eine durchschnittliche Reaktionszeit von 0.61 s. Im Vergleich dazu wurde in den anderen Situationen mit durchschnittlichen Zeiten von 0.33 s bis 0.36 s signifikant schneller reagiert. Warum es bei Situation K4 in der zweiten Studie zu der längeren Reaktionszeit kam, konnte nicht geklärt werden. Diese Situation sollte daher in einer Folgestudie nochmals untersucht werden. Allgemein lässt sich hinsichtlich der Reaktionszeiten festhalten, dass diese im Vergleich zu anderen Studien mit dem VIL (Karl et al., 2013; Rüger, 2015) in einem niedrigen Bereich liegen. Es ist zu vermuten, dass dies der Erwartungshaltung geschuldet ist, dass bei der Teilnahme an einem Experiment etwas passieren kann (Dilich et al., 2002), und dem Umstand, dass die Probanden mehr als eine kritische Situation erlebten.

In der ersten Studie sollten verschiedene mögliche Einflussfaktoren aus dem Bewegungsablauf des querenden Fahrzeugs auf das Reaktionsverhalten des Bevorrechtigten untersucht werden. Deshalb war es unter ökonomischen Gesichtspunkten nötig, ein Within-Subjects-Design zu wählen. Dies hatte jedoch zur Folge, dass für inferenzstatistische Vergleiche der acht kritischen Situationen nur Personen zur Auswertung herangezogen werden konnten, bei denen alle Situationen bezogen auf das Einfahren des kritischen Fahrzeugs richtig erlebt wurden. Wenn also ein Proband in einer Situation zu früh gebremst hatte, konnte dieser für den Gesamtvergleich nicht herangezogen werden. Für deskriptive Vergleiche konnten alle Personen ausgewertet werden, die die jeweilige Situation richtig erlebt hatten. Um dieser Problematik zu begegnen, wurde in der zweiten Studie die Anzahl der kritischen Situationen auf zwei reduziert. Trotzdem gab es Personen, die in der zweiten

kritischen Situation so früh gebremst hatten, dass sie die Situation nicht wie geplant erleben konnten. Für zukünftige Studien wäre es daher zu empfehlen, dass jeder Proband nur eine kritische Situation erlebt. Festzuhalten bleibt allerdings, dass die gewählte Vorgehensweise ermöglichte, den Einfluss mehrerer Faktoren auf das Reaktionsverhalten systematisch zu untersuchen. Dies lieferte den wichtigen Rückschluss, dass von den untersuchten Faktoren die TTA in kritischen Kreuzungssituationen die entscheidende Einflussgröße auf das Reaktionsverhalten darstellt.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit soll eine Grundlage für das Verständnis bieten, wie sich Menschen in kritischen Fahrsituationen verhalten. Der Ausgangspunkt der Betrachtung waren Unfallanalysen, in denen manche Szenarien dadurch aufgefallen waren, dass eine Vielzahl an Unfallbeteiligten gleichartig reagierte. Dies führte zu der Vermutung, dass es in manchen Situationen zu Standardreaktionen kommt, also dass viele Personen in vergleichbarer Art und Weise reagieren, wenn sie mit einer bestimmten kritischen Situation im Straßenverkehr konfrontiert sind.

Zu Beginn wurden die Unfalldaten der AARU und von GIDAS systematisch im Hinblick auf mögliche Standardreaktionen ausgewertet. Im Fokus der Auswertungen standen drei unterschiedliche Unfallkonstellationen: Unfälle, die aufgrund eines Abkommens ins Bankett zustande kamen, Unfälle, die sich in Zusammenhang mit einem Tier an oder auf der Straße ereigneten, und Kreuzungsunfälle. Während bei den beiden erstgenannten Unfallszenarien das Reaktionsmuster des Unfallverursachers analysiert wurde, wurde bei den Kreuzungsunfällen der Unfallbeteiligte betrachtet, dem die Vorfahrt genommen worden war.

Entgegen der Annahme, dass Fahrer bei einem Abkommen ins Bankett als Standardreaktion mit einem Verreißen des Lenkrads reagieren, zeigte sich dies nicht in den Unfalldaten. Bei Wildunfällen war erkennbar, dass sehr oft mit einem Ausweichversuch in Kombination mit einer Bremsung reagiert wurde, statt mit einer reinen Bremsung. Aufgrund der niedrigen Fallzahlen war in diesem Kontext aber keine belastbare Aussage in Bezug auf Standardreaktionen möglich. Bei der Analyse der Kreuzungsunfälle wurden drei verschiedene Begegnungsvarianten unterschieden: Entweder kam der Wartepflichtige aus Sicht des Bevorrechtigten von rechts (Unfalltypen 301 und 302), von links (Unfalltypen 321 und 322) oder aus dem Gegenverkehr (Unfalltyp 211). Für alle Szenarien wurde vermutet, dass als Standardreaktion ein Ausweichen in die Gefahr auftritt, also ein Lenken in die Bewegungsrichtung des vorfahrtsmisachtenden Fahrzeugs. In allen Szenarien zeigte sich, dass die Hauptreaktion der Beteiligten in einer Bremsung bestand. Wenn es zu einer Ausweichbewegung kam, dann wurde hauptsächlich in die Bewegungsrichtung des Unfallverursachers gelenkt. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass es in Kreuzungssituationen zu Standardreaktionen kommen kann. Besonders deutlich war dieses Phänomen zu beobachten, wenn einem Beteiligten von rechts die Vorfahrt genommen wurde. Unfalldaten zeichnen sich jedoch dadurch aus, dass die kritische Situation in einem Unfall endet. Da aber nicht jede

kritische Situation im normalen Straßenverkehr zu einem Unfall führt, können auf dieser Grundlage keine allgemeingültigen Aussagen über menschliches Verhalten in kritischen Fahrsituationen getroffen werden. Deshalb wurden die Ergebnisse der Unfalldatenanalyse hinsichtlich des Reaktionsmusters bei einer Vorfahrtsmissachtung von rechts (Unfalltypen 301 und 302) experimentell überprüft. Es wurden insgesamt zwei Studien mit dem VIL durchgeführt. Als Simulationsumgebung diente dabei eine Landstraßensituation, auf der die Probanden mit einer Tachogeschwindigkeit von 70 km/h auf einer Vorfahrtsstraße Kreuzungssituationen durchfuhren.

Das Ziel der ersten Studie war es, Faktoren zu finden, die einen Einfluss auf das Reaktionsverhalten haben. Zu diesem Zweck wurden die Bewegungsrichtung, die Ausgangsposition und die Beschleunigung des kreuzenden Fahrzeugs jeweils zweistufig variiert. Die Situationen mit der hohen Beschleunigung des querenden Fahrzeugs unterschieden sich signifikant von den anderen Situationen durch höhere Kollisionsraten und höhere Kollisionsgeschwindigkeiten. Außerdem wurden sie von den Probanden als signifikant überraschender und kritischer wahrgenommen. Ein Einfluss aller drei Faktoren zeigte sich nur in den Reaktionszeiten. Die Hauptreaktion der Probanden bestand jeweils in einem Bremsmanöver. Hinsichtlich des Ausweichmanövers zeigte sich kein signifikanter Einfluss eines einzelnen Faktors. Jedoch ergab sich ein Zusammenhang mit der TTA, die aufgrund der Kombination der drei Faktoren je Situation unterschiedlich war. Bei der Situation mit der kürzesten TTA war der Anteil der Personen am höchsten, die mit einem Ausweichen nach links, also in die Gefahr, reagierten. Darüber hinaus zeigte sich, dass die Probanden, wenn sie zuerst lenkten, immer nach links lenkten. Ein Ausweichen nach rechts erfolgte nur, wenn zuerst gebremst wurde.

Um den Einfluss der TTA zu überprüfen, wurde diese in der zweiten Studie in Abstufungen von jeweils 0.2 s systematisch variiert. Die längste TTA betrug 1.6 s, während die kürzeste TTA bei 1.0 s lag. Alle vier kritischen Situationen wurden als ziemlich überraschend und mindestens als gefährlich empfunden. Insgesamt war der Anteil der Kollisionen sehr hoch. Lediglich in der Situation mit der längsten TTA konnten einige Probanden eine Kollision vermeiden. Wenn es in dieser Situation zu einer Kollision kam, so konnten die Probanden außerdem die Kollisionsgeschwindigkeit im Vergleich zu den anderen Situationen signifikant reduzieren. Allerdings erfolgten die Kollisionen teils bereits auf der Gegenspur. Insgesamt lag der Kollisionsort bezogen auf die ursprüngliche Fahrtrichtung umso weiter links, je länger die TTA war. Auch in der zweiten Studie bestand die

Hauptreaktion in einer Bremsung. Die durchschnittlichen Verzögerungswerte waren aber nicht so hoch wie in der ersten Studie. Dies legt nahe, dass es Personen in zeitlich kritischeren Situationen schwerer fällt, mit einer Vollverzögerung zu reagieren. Darüber hinaus nahm der Anteil der Bremsmanöver ab, je kürzer die TTA war. Im Gegenzug nahm der Anteil der Ausweichmanöver zu. Die meisten Probanden wichen nach links aus. Lediglich ein kleiner Anteil lenkte nach rechts. Ein Ausweichmanöver nach rechts folgte immer auf eine Bremsung. Wenn als erstes mit einem Lenken reagiert wurde, so erfolgte immer ein Ausweichversuch nach links. Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass es bei einer Vorfahrtsmissachtung von rechts zu einer Standardreaktion in Form eines Ausweichens nach links kommt, wenn Lenken die erste Reaktion ist. Dabei nimmt die Wahrscheinlichkeit eines Lenkmanövers zu, je kürzer die TTA ist.

Ein möglicher Grund, warum es zu diesen Standardreaktionen kommt, liegt in der Erfahrung mit bisher erlebten Kreuzungssituationen. Da Unfälle seltene Ereignisse sind, erleben Fahrer im Laufe der Zeit zwar viele Kreuzungssituationen, durchfahren diese aber in der Regel ohne das Erleben einer kritischen Situation. Dadurch baut sich die Erwartungshaltung auf, dass andere die Vorfahrt achten, selbst wenn sie ggf. etwas sportlicher an eine Kreuzung heranzufahren. Sollte es doch zu einem Vorfahrtsverstoß kommen, wird es als wahrscheinlicher eingeschätzt, dass das querende Fahrzeug noch anhält, als dass es weiterfährt. Um experimentell zu überprüfen, ob diese Erwartungshaltung existiert, wäre es sinnvoll, Bewegungsprädiktionen durch die Fahrer vornehmen zu lassen. Dies wäre analog zu Studien durchzuführen, die sich mit Schätzungen der TTC (Benguigui, Ripoll & Broderick, 2003; Bennett, Baures, Hecht & Benguigui, 2010; Gray & Thornton, 2001; Kiefer, Flannagan & Jerome, 2006) oder mit der Gefahrenwahrnehmung (Horswill & McKenna, 2004; Jackson et al., 2009) beschäftigten. Zu diesem Zweck könnten die Szenarien, die in den vorliegenden Studien verwendet wurden, Probanden mithilfe eines Videos vorgespielt werden. Das Video müsste dann zu einem bestimmten Zeitpunkt angehalten werden, um die Einschätzung der Probanden abzufragen, wo sich das kreuzende Fahrzeug nach einem definierten Zeitintervall befinden wird. Die Ergebnisse könnten Rückschlüsse auf das Situationsbewusstsein sowie auf die Gefahrenkognition geben. Hinsichtlich des möglichen Einflusses von Erfahrung wäre es darüber hinaus interessant, das Reaktionsverhalten in Abhängigkeit des Alters bzw. der Fahrerfahrung zu untersuchen.

Ob das Blickverhalten während der kritischen Situation einen Einfluss auf das Reaktionsverhalten hat, könnte überprüft werden, indem während der Fahrten Blickdaten

aufgezeichnet werden. Kramer und Israel (2014) vermuteten, dass Fahrer in Kreuzungssituationen während des Ausweichens auf den vermeintlich kollisionsfreien Raum vor dem querenden Fahrzeug fokussieren und versuchen, dorthin zu lenken. Im Gegensatz dazu postulierte Hastings (2005), dass das Kollisionsobjekt fixiert wird, weswegen es dann zur Kollision kommt. Anhand der Blickdaten könnte außerdem nachvollzogen werden, wann genau der Fahrer das kritische Fahrzeug zum ersten Mal fixiert und inwieweit er das Fahrzeug in der Anfahrt an die Kreuzung weiterhin beobachtet. Es ist zu vermuten, dass das Fahrzeug aufgrund der bestehenden Erwartung, wie sich die Situation entwickeln wird, zunächst angesehen, dann aber wieder vernachlässigt wird (Houtenbos, 2008). Zusätzlich könnte untersucht werden, woran die Fahrer erkennen, dass das kritische Fahrzeug tatsächlich in die Kreuzung einfährt und die Vorfahrt missachtet. In beiden Studien gaben beispielsweise einige Probanden an, auf die Drehbewegung der Räder geachtet zu haben. Bei einer Durchführung der Studie mit dem VIL in seiner bisherigen Form wäre jedoch das Erfassen von Blickdaten aufgrund des HMD nicht möglich.

Ob sich Standardreaktionen auch in anderen Konstellationen von Vorfahrtsmissachtungen an Kreuzungen in der gleichen Art zeigen, könnte aufbauend auf den Ergebnissen der Unfallanalyse ebenfalls experimentell untersucht werden. Es ist zu vermuten, dass sich dort der Einfluss der TTA ebenfalls zeigt. Auch die TTA an sich könnte Gegenstand weiterer Forschung sein. Die TTA ergab sich in der zweiten Studie aus einer bestimmten Kombination von Beschleunigung und geplanter Trefferlage. Es wäre interessant, die gleichen TTA Werte durch eine andere Kombination der Faktoren zu erreichen. Dadurch ließe sich überprüfen, ob wirklich nur der zeitliche Aspekt dafür entscheidend ist, wie Personen in kritischen Fahrsituationen reagieren.

Für ein FAS, das Fahrer in kritischen Kreuzungssituationen unterstützen soll, sollte der Fokus auf die Bremsfunktionalität gelegt werden. Wenn dem Fahrer in einer kritischen Situation das richtige Bremsen abgenommen werden würde, hätte dies zwei positive Aspekte zur Folge. Zum einen würde in der verfügbaren Zeit möglichst viel Geschwindigkeit abgebaut werden, was vorteilhaft wäre, wenn es zu einer Kollision kommen sollte. Zum anderen gewänne der Fahrer dadurch Zeit, die Situation zu verstehen bzw. zu bewerten und könnte dann ggf. selbst aktiv ein Ausweichmanöver in die richtige Richtung vornehmen. Alternativ könnte auch das Fahrzeug den notwendigen Lenkimpuls geben.

Insgesamt bietet die vorliegende Arbeit eine wichtige Grundlage für das Verständnis des Reaktionsverhaltens von Personen in kritischen Kreuzungssituationen. Hinsichtlich der auf

den Unfallanalysen begründeten Vermutung, dass Personen standardmäßig mit einem Ausweichen nach links reagieren, wenn ihnen von rechts die Vorfahrt genommen wird, zeigte sich der Einfluss der TTA. Es wurde deutlich, dass der Anteil der Ausweichmanöver zunahm, je kleiner die TTA war. Dabei hatte es einen Einfluss auf das Ausweichverhalten, ob zuerst mit einem Lenken oder mit einem Bremsen reagiert wurde. Hinsichtlich der Bremsreaktionen konnte beobachtet werden, dass es nur wenigen Personen gelang, in einer kritischen Situation mit einer Notbremsung zu reagieren. Darauf aufbauend ergaben sich mögliche Ansatzpunkte für die Entwicklung von FAS, um das Kollisionsrisiko in unfallträchtigen Situationen zu senken. Zusammenfassend wurde deutlich, dass es hilfreich wäre, Fahrer in kritischen Kreuzungssituationen zukünftig besser durch technische Maßnahmen zu unterstützen, um dadurch die Zahl der Unfälle zu reduzieren.

9 Literaturverzeichnis

- Abendroth, B. & Bruder, R. (2015). Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3. Auflage, S. 3-15). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Åberg, L. (1981). *The human factor in game-vehicle accidents: a study of drivers' information acquisition*. Uppsala: Reklam & Katalogtryck.
- Adams, L. D. (1994). *Review of the literature on obstacle avoidance maneuvers: braking versus steering (Technical Report UMTRI-94-19)*. Ann Arbor, Michigan.
- Adams, L. D., Flannagan, M. J. & Sivak, M. (1995). *Obstacle avoidance maneuvers in an automobile simulator (Technical Report UMTRI-95-3)*. Ann Arbor, Michigan.
- Bartl, G. & Hager, B. (2006). *Unfallursachenanalyse bei PKW-Lenkern*. Wien. Verfügbar unter: http://www.alles-fuehrerschein.at/dokumente/Bericht_Unfallanalyse_2006_-_03_2009.pdf [07.07.2011]
- Baumann, M. & Krems, J. F. (2007). Situation awareness and driving: a cognitive model. In C. P. Cacciabue (Ed.), *Modelling driver behaviour in automotive environments: critical issues in driver interactions with intelligent transport systems* (pp. 253-265). London: Springer.
- Bender, E. (2008). *Handlungen und Subjekturteile von Kraftfahrzeugführern bei automatischen Brems- und Lenkeingriffen eines Unterstützungssystems zur Kollisionsvermeidung*. Stuttgart: Ergonomia Verlag.
- Benguigui, N., Ripoll, H. & Broderick, M. P. (2003). Time-to-contact estimation of accelerated stimuli is based on first-order information. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 29 (6), 1083-1101.
- Bennett, S. J., Baures, R., Hecht, H. & Benguigui, N. (2010). Eye movements influence estimation of time-to-contact in prediction motion. *Experimental Brain Research*, 206 (4), 399-407.
- Berg, G. (2015). *Das Vehicle in the Loop – Ein Werkzeug für die Entwicklung und Evaluation von sicherheitskritischen Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation, Universität der Bundeswehr München.
- Berg, G. & Färber, B. (2015). Vehicle in the Loop. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3. Auflage, S. 155-163). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Berg, G., Karl, I. & Färber, B. (2011). Vehicle in the Loop. In VDI (Hrsg.), *Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit*. VDI Berichte 2134 (S. 143-154). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Bernotat, R. (1970). Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. *Ergonomics*, 13 (3), 353-377.

- Beusmans, J. M. H. (1998). Optic flow and the metric of the visual ground plane. *Vision Research*, 38 (8), 1153-1170.
- BMVBS (2011). *Verkehrssicherheitsprogramm 2011*. Berlin: Königsdruck.
- Bock, T., Maurer, M., van Meel, F. & Müller, T. (2008). Vehicle in the Loop - Ein innovativer Ansatz zur Kopplung virtueller mit realer Erprobung. *ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift*, 110 (1), 2-8.
- Bortz, J., Lienert, G. A. & Boehnke, K. (2008). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik* (3. Auflage.). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Braess, H.-H. & Donges, E. (2006). Technologien zur aktiven Sicherheit von Personenkraftwagen – „Konsumierbare“ oder echte Verbesserungen? In *2. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz*. Garching bei München, 4.-5. April 2006.
- Bräuchle, C., Flehmig, F., Rosenstiel, W. & Kropf, T. (2013). Das Fahrerverhalten als Indikator für Fehlauflösungen von aktiven Kollisionsvermeidungsmanövern. In VDI (Hrsg.), *Der Fahrer im 21. Jahrhundert. VDI Berichte 2205* (S. 3-14). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Breitling, T. & Breuer, J. (2008). E-Safety – Beiträge der Fahrzeugtechnik zur Erhöhung der Verkehrssicherheit in Europa. In *ADAC/BAST-Symposium „Sicher fahren in Europa“ – Referate des Symposiums vom 13. Oktober 2006 in Baden-Baden, BAST-Bericht M 191*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlage NW. Verfügbar unter: <http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/638/> [02.05.2015]
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München: Pearson Deutschland GmbH.
- Burg, H. & Moser, A. (Hrsg.) (2009). *Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Chiellino, U., Winkle, T., Graab, B., Ernstberger, A., Donner, E. & Nerlich, M. (2010). Was können Fahrerassistenzsysteme im Unfallgeschehen leisten? *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 56 (3), 131-137.
- Davis, D. R. (1958). Human errors and transport accidents. *Ergonomics*, 2 (1), 24-33.
- De Keyser, V. (1986). Technical assistance to the operator in case of incident: some lines of thought. In E. Hollnagel, G. Mancini & D. D. Woods (Eds.), *Intelligent decision support in process environments* (pp. 229-253). Berlin: Springer-Verlag.
- Deetjen, P., Speckmann, E.-J. & Hescheler, J. (2005). *Physiologie*. München: Elsevier, Urban & Fischer.
- DIE WELT (2014). *UN revolutionieren Straßenverkehrsregeln von 1968*. Verfügbar unter: <http://m.welt.de/wirtschaft/article128095552/UN-revolutionieren-Strassenverkehrsregeln-von-1968.html> [04.05.2015]

- Dilich, M. A., Kopernik, D. & Goebelbecker, J. M. (2002). Evaluating driver response to a sudden emergency: issues of expectancy, emotional arousal and uncertainty. *Triodyne Safety Briefs*, 20 (4), 2-12.
- Donges, E. (1982). Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automobil-Industrie*, 2, 183-190.
- Donges, E. (1999). Conceptual framework for active safety in road traffic. *Vehicle System Dynamics*, 32 (2), 113-128.
- Donges, E. (2015). Fahrerhaltensmodelle. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3. Auflage, S. 17-26). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Misslingens*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Dörner, D. (1999). *Bauplan für die Seele*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Dupuis, M. & Wunibald, K. (2012). *Virtual Test Drive – User Manual*. Benutzerhandbuch, VIRE Simulationstechnologie GmbH.
- DVR (2010). *UNO ruft Dekade der Verkehrssicherheit aus*. Verfügbar unter: <http://www.dvr.de/aktionen/2496.htm> [24.08.2012]
- Eckert, A., Hartmann, B., Sevenich, M. & Rieth, P. E. (2011). Emergency steer & brake assist – a systematic approach for system integration of two complementary driver assistance systems. In *Proceedings of the 22nd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles* (PaperNo.11-0111-O). Washington, D.C., USA, 13-16 June 2011.
- Eicher, C. C. (2012, Juli). Todesfalle Landstraße. *ADAC Motorwelt*, 32-33.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37 (1), 32-64.
- Evers, C. & Willmes-Lenz, G. (2000). Wirksamkeit des Pkw-Sicherheitstrainings. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 46 (1), 37-40.
- Falkmer, T. & Gregersen, N. P. (2003). The TRAINER project - the evaluation of a new simulator-based driver training methodology. In L. Dorn (Ed.), *Driver behaviour and training - volume I* (pp. 317-330). Aldershot: Ashgate.
- Fallon, I. & O'Neill, D. (2005). The world's first automobile fatality. *Accident Analysis & Prevention*, 37 (4), 601-603.
- Fecher, N. & Hoffmann, J. (2015). Fahrerwarnelemente. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3. Auflage, S. 675-685). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). London: SAGE Publications Ltd.

- Fricke, N. (2009). *Gestaltung zeit- und sicherheitskritischer Warnungen im Fahrzeug*. Dissertation, Technische Universität Berlin.
- Fuchs, H., Hofmann, F., Löhr, H. & Schaaf, G. (2015). Car-2-X. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3. Auflage, S. 525-540). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Fuller, R. (1984). A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. *Ergonomics*, 27(11), 1139-1155.
- Fuller, R. (1990). Learning to make errors: evidence from a driving task simulation. *Ergonomics*, 33(10-11), 1241-1250.
- Fuller, R. (2005). Towards a general theory of driver behaviour. *Accident Analysis & Prevention*, 37(3), 461-472.
- Fuoß, S. (2011). Untersuchungen zur Wahrnehmbarkeit von Anfahrvorgängen im Querverkehr. *VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 49(12), 431-437.
- Gasser, T. M., Seeck, A. & Smith, B. W. (2015). Rahmenbedingungen für die Fahrerassistenzentwicklung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3. Auflage, S. 27-54). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- GDV (1998). *Unfalltypen-Katalog – Leitfaden zur Bestimmung des Unfalltyps*. Brühl: MVR-Druck GmbH.
- GIDAS (2012). *Das GIDAS Projekt*. Verfügbar unter: <http://www.gidas.org/de/home> [25.08.2012]
- Graab, B., Donner, E., Chiellino, U. & Hoppe, M. (2008). Analyse von Verkehrsunfällen hinsichtlich unterschiedlicher Fahrerpopulationen und daraus ableitbarer Ergebnisse für die Entwicklung adaptiver Fahrerassistenzsysteme. In *3. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz*. München, 7.-8. April 2008.
- Gray, R. & Thornton, I. M. (2001). Exploring the link between time to collision and representational momentum. *Perception*, 30(8), 1007-1022.
- Groeger, J. A. & Banks, A. P. (2007). Anticipating the content and circumstances of skill transfer: Unrealistic expectations of driver training and graduated licensing? *Ergonomics*, 50(8), 1250-1263.
- Gründl, M. (2005). *Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen*. Dissertation, Universität Regensburg.
- Hancock, P. A. & de Ridder, S. N. (2003). Behavioural accident avoidance science: understanding response in collision incipient conditions. *Ergonomics*, 46(12), 1111-1135.
- Hastings, A. C. (2005). Should driver education include training against instinctive human reactions? In L. Dorn (Ed.), *Driver behaviour and training - volume II* (pp. 55-60). Aldershot: Ashgate.

- Heck, J. P. A. (2015). *Grundlagen für ein bordautonomes Handlungskonzept zur Unfallfolgenminderung im Querverkehr*. Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig.
- Heck, P., Bellin, J., Matoušek, M., Wonneberger, S., Sychrovský, O., Šára, R. & Maurer, M. (2013). Collision mitigation for crossing traffic in urban scenarios. In *IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (pp. 559-566). Gold Coast, Australia, 23-26 June 2013.
- Heesen, M., Dziennus, M., Hesse, T., Schieben, A., Brunken, C., Löper, C., Kelsch, J. & Baumann, M. (2015). Interaction design of automatic steering for collision avoidance: challenges and potentials of driver decoupling. *IET Intelligent Transport Systems*, 9 (1), 95-104.
- Hesse, T., Schieben, A., Heesen, M., Dziennus, M., Griesche, S. & Köster, F. (2013). Interaction design for automation initiated steering manoeuvres for collision avoidance. In *6. Tagung Fahrerassistenz. Der Weg zum automatischen Fahren*. München, 28.-29. November 2013.
- Hollnagel, E. (1993). *Human reliability analysis context and control*. San Diego: Academic Press.
- Hommel, B. (2000). The prepared reflex: automaticity and control in stimulus-response translation. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Control of cognitive processes: attention and performance XVIII* (pp. 247-273). Cambridge: MIT Press.
- Horswill, M. S. & McKenna, F. P. (2004). Drivers' hazard perception ability: situation awareness on the road. In S. P. Banbury & S. Tremblay (Eds.), *A cognitive approach to situation awareness: theory and application* (pp. 155-175). Aldershot: Ashgate.
- Houtenbos, M. (2008). *Expecting the unexpected: a study of interactive driving behaviour at intersections*. Dissertation, Technische Universität Delft.
- Huestegge, L., Skottke, E.-M., Anders, S., Müsseler, J. & Debus, G. (2010). The development of hazard perception: dissociation of visual orientation and hazard processing. *Transportation Research Part F*, 13 (1), 1-8.
- Huijser, M. P., McGowen, P., Fuller, J., Hardy, A., Kociolek, A., Clevenger, A. P., Smith, D. & Ament, R. (2008). *Wildlife-vehicle collision reduction study: report to congress*.
- Israel, M. (2011). *Untersuchung des Ausweich-Phänomens von Pkw-Fahrern bei Erkennen von Konfliktsituationen im Straßenverkehr und erforderliche Konsequenzen an Assistenz-Systeme*. Bachelorarbeit, Hochschule Osnabrück.
- Jackson, L., Chapman, P. & Crundall, D. (2009). What happens next? Predicting other road users' behaviour as a function of driving experience and processing time. *Ergonomics*, 52 (2), 154-164.
- Johannsen, G. (2006). Fahrzeugführung und Assistenzsysteme. In B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie. Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Serie III, Band 22* (S. 737-775). Göttingen: Hogrefe.

- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, 14 (2), 201-211.
- Johansson, G. (1976). Spatio-temporal differentiation and integration in visual motion perception. *Psychological Research*, 38, 379-393.
- Johansson, G. (1978). Visual event perception. In R. Held, H. Leibowitz & H.-L. Teuber (Eds.), *Handbook of sensory physiology VIII: perception* (pp. 675-711). Berlin: Springer-Verlag.
- Johansson, G., von Hofsten, C. & Jansson, G. (1980). Event perception. *Annual Review of Psychology*, 31, 27-63.
- Karl, I., Berg, G., Rüger, F. & Färber, B. (2013). Driving behavior and simulator sickness while driving the Vehicle in the Loop: validation of longitudinal driving behavior. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 5 (1), 42-57.
- Kastner, M. (1982). Angeborene Verhaltensweisen als Unfallursachen bei Ausweichmanövern von Pkw-Fahrern. *VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 19 (1), 7-8.
- Kiefer, R. J., Flannagan, C. A. & Jerome, C. J. (2006). Time-to-collision judgments under realistic driving conditions. *Human Factors*, 48 (2), 334-345.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: a paradigm for cognition*. New York: Cambridge University Press.
- Klanner, F. (2008). *Entwicklung eines kommunikationsbasierten Querverkehrsassistenten im Fahrzeug*. Dissertation, Technische Universität Darmstadt.
- Kluwe, R. H. (2006). Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung. In B. Zimolong & U. Konradt (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie. Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Serie III, Band 22* (S. 35-70). Göttingen: Hogrefe.
- Knapp, K. K. & Yi, X. (2004). Deer-vehicle crash patterns and proposed warning sign installation guidelines. In *The 2004 Transportation Research Board Annual Meeting Compendium*. Washington, D.C., USA, 11-15 January 2004.
- Kobiela, F. (2011). *Fahrerintentionserkennung für autonome Notbremssysteme*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kramer, F. & Israel, M. (2014). „Virtueller Greifreflex“ - ein Konfliktpotenzial und die Möglichkeiten der Kompensation in Personenkraftwagen mithilfe moderner Assistenzsysteme. *VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 52 (11), 390-399.
- Kullack, A., Ehrenpfordt, I. & Eggert, F. (2009). ReflektAS – Ein verhaltensbasiertes Assistenzsystem zur Querführung. In L. Urbas & C. Steffens (Hrsg.), *6. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (S. 206-211). Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.
- Laschinsky, Y., von Neumann-Cosel, K., Gonter, M., Wegwerth, C., Dubitzky, R. & Knoll, A. (2010). Evaluation of an active safety light using Virtual Test Drive within Vehicle in the Loop. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology* (pp. 1119-1122). Viña del Mar, Chile, 14-17 March 2010.

- Lechner, D. & Malaterre, G. (1991). Emergency maneuver experimentation using a driving simulator (SAE Report No. 910016). In *Fifth Autotechnologies Conference Proceedings, Monte-Carlo, January 23-25, 1991*. (pp. 129-142). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.
- Liebner, M. & Klanner, F. (2015). Fahrerabsichtserkennung und Risikobewertung. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3. Auflage, S. 701-719). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Mages, M., Stoff, A. & Klanner, F. (2015). Kreuzungsassistenz. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz & C. Singer (Hrsg.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3. Auflage, S. 975-993). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Maier, K., Sacher, H., Hellbrück, J., Meurle, J. & Widmann, U. (2011). „Multimodaler Warnbaukasten“ – eine neue Warnphilosophie für Fahrerassistenzsysteme. In VDI (Hrsg.), *Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit. VDI Berichte 2134* (S. 75-92). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Malaterre, G., Ferrandez, F., Fleury, D. & Lechner, D. (1988). Decision making in emergency situations. *Ergonomics*, 31 (4), 643-655.
- Malo, J. E., Suárez, F. & Díez, A. (2004). Can we mitigate animal-vehicle accidents using predictive models? *Journal of Applied Ecology*, 41 (4), 701-710.
- Mastro, L. L., Conover, M. R. & Frey, S. N. (2008). Deer – vehicle collision prevention techniques. *Human-Wildlife Conflicts*, 2 (1), 80-92.
- McGehee, D. V., Mazzae, E. N., Baldwin, G. H. S., Grant, P., Simmons, C. J., Hankey, J. & Forkenbrock, G. (1999). *Examination of drivers' collision avoidance behavior using conventional and antilock brake systems on the Iowa driving simulator*. Washington, D.C., USA.
- Michon, J. A. (1985). A critical review of driver behavior models: What do we know, what should we do? In L. Evans & R. C. Schwing (Eds.), *Human behavior and traffic safety* (pp. 485-524). New York: Plenum Press.
- Mogull, R. G. (1994). Teacher's corner: the one-sample runs test: a category of exception. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 19 (3), 296-303.
- Möhler, W. (2008). Kognitionspsychologische Aspekte in der Unfallrekonstruktion. *Straßenverkehrsrecht*, 8 (11), 401-405.
- Morawski, J. (2007). Weg-Zeit-Betrachtungen. In W. Hugemann (Hrsg.), *Unfallrekonstruktion* (S. 285-334). Münster: Verlag autorenteam.
- Morschitzky, H. (2009). *Angststörungen: Diagnostik, Konzepte, Therapie, Selbsthilfe* (4. Auflage). Wien: Springer-Verlag.
- Mosler-Berger, C. (2011). Massnahmen gegen Wildunfälle auf Strassen – ein Überblick. *Straße und Verkehr*, 97 (6), 10-14.

- Musahl, H.-P. (1997). *Gefahrenkognition: Theoretische Annäherung, empirische Befunde und Anwendungsbezüge zur subjektiven Gefahrenkenntnis*. Heidelberg: Asanger.
- Naujoks, F., Grattenthaler, H. & Neukum, A. (2013). Fahrerseitiger Unterstützungsbedarf in drohenden Verkehrskonfliktszenarien und Wirksamkeitsuntersuchung frühzeitiger Fahrerinformationen basierend auf kooperativer Umfelderkennung. In E. Brandenburg, L. Doria, A. Gross, T. Günzler & H. Smieszek (Hrsg.), *10. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme* (S. 401-411). Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.
- Naujoks, F. & Neukum, A. (2012). Reduction of car-bicycle conflicts at intersections by early driver information systems – the role of threat anticipation and visual obstruction. In *Abstract book of The 5th International Conference on Traffic and Transport Psychology*. Groningen, The Netherlands, 29-31 August 2012.
- Neukum, A., Lübbecke, T., Krüger, H.-P., Mayser, C. & Steinle, J. (2008). ACC-Stop & Go: Fahrerverhalten an funktionalen Systemgrenzen. In *5. Workshop Fahrerassistenzsysteme – FAS 2008* (S. 141-150). Karlsruhe: fmrt.
- Norman, D. A. & Shallice, T. (1986). Attention to action. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation. Advances in research and theory, volume 4* (pp. 1-18). New York: Springer
- OECD/ECMT (2006). *Speed Management*. Paris: OECD.
- Ovcharova, N. (2014). *Methodik zur Nutzenanalyse und Optimierung sicherheitsrelevanter Fahrerassistenzsysteme*. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Petermann-Stock, I. & Rhede, J. (2013). Intelligente Strategien für nutzerzentrierte MMI Konzepte im urbanen Raum. In VDI (Hrsg.), *Der Fahrer im 21. Jahrhundert. VDI Berichte 2205* (S. 263-286). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Posner, M. I. & Snyder, C. R. R. (1975). Attention and cognitive control. In R. L. Solso (Ed.), *Information processing and cognition. The Loyola Symposium* (pp. 55-85). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Pütz, A., Zlocki, A. & Eckstein, L. (2014). Driver reaction to system initiated evasive manoeuvres. In *10th ITS European Congress*. Helsinki, Finland, 16.-19. Juni 2014.
- Rasmussen, J. (1982). Human errors. A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4 (2-4), 311-333.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-13* (3), 257-266.
- Rauck, M. J. B. (1969). *Cugnot, 1769-1969: der Urahn unseres Autos fuhr vor 200 Jahren*. München: Münchner Zeitungsverlag.
- Rhede, J., Wäller, C. & Oel, P. (2011). Der FAS Warnbaukasten. In VDI (Hrsg.), *Der Fahrer im 21. Jahrhundert. Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit. VDI Berichte 2134* (S. 63-74). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.

- Riley, S. J. & Marcoux, A. (2006). *Deer-vehicle collisions: an understanding of accident characteristics and drivers' attitudes, awareness and involvement*. East Lansing, MI, USA.
- Rüger, F. (2015). *KON-Parameter für Simulationsumgebungen*. Unveröffentlichter Bericht, Universität der Bundeswehr München.
- Ruscio, D. & Balestra, M. (2012). Real-life driver reactions time to danger as a function of situational and driver-centered variables. In *Abstract book of The 5th International Conference on Traffic and Transport Psychology*. Groningen, The Netherlands, 29-31 August 2012.
- Sattel, T., Hesse, T. & Sondermann-Wölke, C. (2008). Automatisches Ausweichen in dynamischer Umgebung für Fahrerassistenzsysteme zur Kollisionsvermeidung. In *3. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz*. München, 7.-8. April 2008.
- Schaub, H. (2012). Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und »Situation Awareness« (SA). In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors: Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (2. Auflage, S. 59-76). Heidelberg: Springer.
- Schlag, B., Petermann, I., Weller, G. & Schulze, C. (2009). *Mehr Licht - mehr Sicht - mehr Sicherheit?* Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Schneider, D. (2011). *Markierungslicht - eine Scheinwerferlichtverteilung zur Aufmerksamkeitssteuerung und Wahrnehmungssteigerung von Fahrzeugführern*. München: Herbert Utz Verlag.
- Schroiff, H.-W. (1983). *Experimentelle Untersuchung zur Reliabilität und Validität von Blickbewegungsdaten*. Dissertation, RWTH Aachen.
- Shiffrin, R. M. & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 84 (2), 127-190.
- Stańczyk, T. L., Lozia, Z., Pieniążek, W. & Jurecki, R. S. (2010). Untersuchung der Fahrerreaktionen auf von Rechts Anfahrende Fahrzeuge. In *Tagungsband der 19. EVU Jahrestagung* (S. 43-57). Prag, 14.-16. Oktober 2010.
- Statistisches Bundesamt (2014). Verkehrsunfälle 2013. Wiesbaden. Verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/VerkehrsunfaelleJ2080700137004.pdf?__blob=publicationFile [05.03.2015]
- Statistisches Bundesamt (2015). Zahl der Verkehrstoten im Jahr 2014 um 0,9 % gestiegen. Wiesbaden. Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2015/02/PD15_065_46241.html [12.04.2015]
- Staubach, M. (2010). *Identifikation menschlicher Einflüsse auf Verkehrsunfälle als Grundlage zur Beurteilung von Fahrerassistenzsystem-Potentialen*. Dissertation, Technische Universität Dresden.
- Steffan, H. & Moser, A. (1996). *The collision and trajectory models of PC-CRASH*. SAE Technical Paper 960886.

- Stoff, A. & Liers, H. (2013). Ausweichfunktionalität für Kreuzungsszenarien zur Unfallfolgenlinderung durch Optimierung der Crash-Kompatibilität. In VDI (Hrsg.), *Fahrzeugsicherheit – Sicherheit 2.0. VDI-Berichte 2204* (S. 177-190). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Summala, H. (1985). Modeling driver behavior: a pessimistic prediction? In L. Evans & R. C. Schwing (Eds.), *Human behavior and traffic safety* (pp. 43-61). New York: Plenum Press.
- TÜV SÜD (2007). *Wildunfälle: Beugen Sie vor – handeln Sie richtig*. Informationsbroschüre.
- Underwood, G. (2007). Visual attention and the transition from novice to advanced driver. *Ergonomics*, 50 (8), 1235-1249.
- United Nations (1968). Convention on road traffic. In *19. Convention on road traffic. Vienna, 8 November 1968*. Vienna, Austria. Retrieved from: https://treaties.un.org/doc/Treaties/1977/05/19770524_00-13_AM/Ch_XI_B_19.pdf [08.05.2015]
- Van der Horst, A. R. A. (1990). *A time-based analysis of road user behaviour in normal and critical encounters*. Dissertation, Technische Universität Delft.
- Vollrath, M. (2010). War das ein Fehler? Unfälle und ihre Ursachen. In *9. Deutscher Verkehrsexpertentag*. Köln, 21.-22. Juni 2010.
- Vollrath, M. & Briest, S. (2008). "Ich habe den einfach nicht gesehen" – Ursachen für menschliche Fehler bei Autounfällen. In J. Schade & A. Engeln (Hrsg.), *Fortschritte der Verkehrspsychologie. Beiträge vom 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie* (S. 143-155). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Von Benda, H. & Hoyos, C. G. (1983). Estimating hazards in traffic situations. *Accident Analysis & Prevention*, 15 (1), 1-9.
- Wagenaar, W. A. (1969). Note on the construction of digram-balanced Latin squares. *Psychological Bulletin*, 72 (6), 384-386.
- Weber, S., Ernstberger, A., Donner, E. & Kiss, M. (2014). Interdisziplinäre Unfallforschung – ein Zusammenschluss von Technik, Medizin und Psychologie zur Steigerung der Verkehrssicherheit. *VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*, 52 (2), 61-65.
- Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F. & Singer, C. (Hrsg.) (2015). *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (3. Auflage.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Zademach, M., Mergl, C. & Färber, B. (2013). Analyse des Fahrerverhaltens im Kreuzungsbereich: Ableitung einer Verhaltensprognose anhand von Fahrzeugdaten. In VDI (Hrsg.), *Der Fahrer im 21. Jahrhundert. VDI Berichte 2205* (S. 251-262). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Zimmer, A. (2001). Wie intelligent darf/muss ein Auto sein? Anmerkungen aus ingenieurspsychologischer Sicht. In T. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung* (S. 39-55). Berlin: Springer.
- Zomotor, A. (1987). *Fahrwerktechnik: Fahrverhalten*. (J. Reimpell, Hrsg.). Würzburg: Vogel.

10 Anhang

A	Begrüßung der Versuchsteilnehmer.....	138
B	Probandenerklärung.....	139
C	Eingangsfragebogen	140
D	Situationsbewertung durch die Probanden	141
E	Situationsbewertung 1. Studie – Dokumentation durch Versuchsleitung.....	142
F	Situationsbewertung 2. Studie – Dokumentation durch Versuchsleitung.....	143
G	Ergebnisse aus der ersten Studie	144
H	Ergebnisse aus der zweiten Studie	149

A Begrüßung der Versuchsteilnehmer

Institut für Arbeitswissenschaft,
Universität der Bundeswehr,
München
Projekt „Landstraße“



Herzlich willkommen!

Vielen Dank für Ihre Bereitschaft, uns bei diesem Forschungsprojekt zu unterstützen.

Mit Ihrer Teilnahme helfen Sie uns, Autos weiterzuentwickeln, sicherer zu machen und fahrerfreundlicher zu gestalten.

In dieser Studie soll das Durchfahren von Kreuzungssituationen auf der Landstraße untersucht werden.

Um ein Fahrerassistenzsystem zu entwickeln, das den Menschen in solchen Situationen optimal unterstützt, muss in einem ersten Schritt das Fahrverhalten des Menschen untersucht werden.

Sie werden dafür mit einem Audi A6 mit Automatik und Adaptive Cruise Control (ACC) als „Vehicle in the Loop“ (VIL) fahren.

Die Funktionsweise des VILs und des ACC wird Ihnen im Folgenden von der Versuchsleiterin erklärt werden.

Wir wünschen Ihnen beim Fahren viel Spaß!

Vp-Nr.: _____

Abfolge: _____

B Probandenerklärung

Institut für Arbeitswissenschaft,
Universität der Bundeswehr,
München
Projekt „Landstraße“



Probandenerklärung

Ich versichere hiermit, dass...

- ... ich eine gültige **Fahrerlaubnis** zum Führen des PKW besitze und mit mir trage.
- ... ich eine eventuell benötigte **Sehhilfe** dabei habe und auch benutze.
- ... ich mich gesundheitlich in einem **fahrtüchtigen Zustand** befinde.
- ... ich damit **einverstanden** bin, dass die Fahrdaten und Videobilder meiner Fahrt wissenschaftlich ausgewertet und in einer wissenschaftlichen Veröffentlichung verwendet werden dürfen, selbstverständlich ohne Nennung meines Namens.
- ... ich mir darüber im Klaren bin, dass es sich bei diesem Fahrzeug um einen **Prototypen** handelt. Ich verpflichte mich, sehr **sorgfältig** mit dem Fahrzeug umzugehen.
- ... ich mich trotz der Testumgebung an die **Verkehrsvorschriften** halte. In jeder Fahrsituation bleibe ich verantwortlicher Fahrzeugführer.

.....
Ort, Datum

.....
Unterschrift Versuchsteilnehmer/in

Vp-Nr.: _____

Abfolge: _____

C Eingangfragebogen

Institut für Arbeitswissenschaft,
Universität der Bundeswehr,
München
Projekt „Landstraße“



Fragebogen

Wir möchten Sie bitten, die folgenden Fragen zu Ihrer Person zu beantworten.

Die Angaben sind selbstverständlich freiwillig, der Datenschutz wird gewährleistet.

1. **Wie lange** besitzen Sie den **Führerschein (Pkw)**?

seit _____ Jahren

2. **Wie viele Kilometer** sind Sie schätzungsweise **in den letzten 12 Monaten** gefahren?

ca. _____ Kilometer

3. **Wie viele Kilometer** sind Sie schätzungsweise **bisher in Ihrem Leben** gefahren?

<input type="checkbox"/> < 100.000	<input type="checkbox"/> 100.000 – 300.000	<input type="checkbox"/> 300.000 – 500.000	<input type="checkbox"/> 500.000 – 1.000.000	<input type="checkbox"/> > 1.000.000
------------------------------------	---	---	---	--------------------------------------

4. **Wie oft** sind Sie mit dem **Auto unterwegs**?

<input type="checkbox"/> (fast) täglich	<input type="checkbox"/> 3-5 mal pro Woche	<input type="checkbox"/> 1-2 mal pro Woche	<input type="checkbox"/> < 1 mal pro Woche	<input type="checkbox"/> < 1mal pro Monat
--	---	---	---	--

5. **Welche Schulnote** (von 1 bis 6) würden Sie **Ihrem eigenen Fahrkönnen** geben?

Note: _____

6. **Welche Schulnote** (von 1 bis 6) würden Sie **dem Fahrkönnen der meisten anderen Autofahrer** im Durchschnitt geben?

Note: _____

7. Wie würden Sie Ihren **Fahrstil** beschreiben? Als...

- sehr sportlich** (Wenn sich die Möglichkeit ergibt, fahre ich schnell – unabhängig von der Höchstgeschwindigkeit)
- eher sportlich** (Ich nutze die Höchstgeschwindigkeit als Orientierung, fahre aber auch mal etwas schneller)
- eher defensiv** (Ich halte mich an die Höchstgeschwindigkeit, auch wenn die Straße frei ist)
- sehr defensiv** (Ich fahre meistens langsamer als die Höchstgeschwindigkeit und auf keinen Fall schneller, auch wenn die Straße frei ist)

8. Haben Sie schon einmal an einem **Fahrsicherheitstraining** teilgenommen?

nein ja, einmal ja, mehrmals

9. **Alter:** _____ Jahre

10. **Geschlecht:** männlich weiblich

Vp-Nr.: _____

Abfolge: _____

D Situationsbewertung durch die Probanden

Institut für Arbeitswissenschaft,
Universität der Bundeswehr,
München
Projekt „Landstraße“



Bewertung der Situationen

1. Bitte **bewerten** Sie die Situation, welche Sie eben durchfahren haben.
Die Situation war...

nicht kontrollierbar	10
gefährlich	9
	8
	7
unangenehm	6
	5
	4
harmlos	3
	2
	1
nichts bemerkt	0

2. Ist Ihnen die **Bewältigung** der Situation **gelingen**?
 ja nein
3. Wenn ja, **wie gut** ist Ihnen die Bewältigung der Situation gelungen?
 gar nicht schlecht mittel gut sehr gut
4. Wie **überraschend** war die Situation für Sie?
 gar nicht wenig etwas ziemlich sehr

Vp-Nr.: _____

Abfolge: _____

E Situationsbewertung 1. Studie – Dokumentation durch Versuchsleitung

Projekt „Landstraße“	Stefanie Weber
----------------------	----------------

1. Situation: _____

SBS: _____ Punkte; Bewältigung: ja / nein

Bewältigung: gar nicht schlecht mittel gut sehr gut

Überraschung: gar nicht wenig etwas ziemlich sehr

2. Situation: _____

SBS: _____ Punkte; Bewältigung: ja / nein

Bewältigung: gar nicht schlecht mittel gut sehr gut

Überraschung: gar nicht wenig etwas ziemlich sehr

3. Situation: _____

SBS: _____ Punkte; Bewältigung: ja / nein

Bewältigung: gar nicht schlecht mittel gut sehr gut

Überraschung: gar nicht wenig etwas ziemlich sehr

4. Situation: _____

SBS: _____ Punkte; Bewältigung: ja / nein

Bewältigung: gar nicht schlecht mittel gut sehr gut

Überraschung: gar nicht wenig etwas ziemlich sehr

5. Situation: _____

SBS: _____ Punkte; Bewältigung: ja / nein

Bewältigung: gar nicht schlecht mittel gut sehr gut

Überraschung: gar nicht wenig etwas ziemlich sehr

6. Situation: _____

SBS: _____ Punkte; Bewältigung: ja / nein

Bewältigung: gar nicht schlecht mittel gut sehr gut

Überraschung: gar nicht wenig etwas ziemlich sehr

7. Situation: _____

SBS: _____ Punkte; Bewältigung: ja / nein

Bewältigung: gar nicht schlecht mittel gut sehr gut

Überraschung: gar nicht wenig etwas ziemlich sehr

8. Situation: _____

SBS: _____ Punkte; Bewältigung: ja / nein

Bewältigung: gar nicht schlecht mittel gut sehr gut

Überraschung: gar nicht wenig etwas ziemlich sehr

Vp-Nr.: _____	Abfolge: _____
---------------	----------------

F Situationsbewertung 2. Studie – Dokumentation durch Versuchsleitung

Projekt „Landstraße“	Stefanie Weber
----------------------	----------------

1. Situation: _____

SBS: _____ Punkte; Bewältigung: ja / nein

Bewältigung: gar nicht schlecht mittel gut sehr gut

Überraschung: gar nicht wenig etwas ziemlich sehr

=====

2. Situation: _____ Situation erwartet? ja / nein

SBS: _____ Punkte; Bewältigung: ja / nein

Bewältigung: gar nicht schlecht mittel gut sehr gut

Überraschung: gar nicht wenig etwas ziemlich sehr

=====

Woran haben Sie (jeweils) erkannt, dass die Situation kritisch wird?

Wo haben Sie hingesehen?

Was haben Sie gedacht / was wollten Sie tun?

Denken Sie rückblickend, dass Sie sich anders hätten verhalten sollen?

Weitere Anmerkungen?

Vp-Nr.: _____	Abfolge: _____
---------------	----------------

G Ergebnisse aus der ersten Studie

Tabelle 10.1: Anteil der Kollisionen je kritischer Situation für die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Jeweils gültiges n	17	17	17	17	17	17	17	17
Anzahl der Kollisionen	0	10	3	14	1	15	5	15
Anteil der Kollisionen	0.0%	58.8%	17.6%	82.4%	5.9%	88.2%	29.4%	88.2%

Anmerkungen: Die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in keiner der kritischen Situationen zu früh bremsen.

Tabelle 10.2: Anteil der Kollisionen je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Jeweils gültiges n	37	29	27	24	40	33	33	30
Anzahl der Kollisionen	1	17	4	21	5	28	12	23
Anteil der Kollisionen	2.7%	58.6%	14.8%	87.5%	12.5%	84.8%	36.4%	76.7%

Anmerkungen: Alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der jeweiligen kritischen Situation nicht zu früh bremsen.

Table 10.3: Anteil der Kollisionen je erlebter Situation für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Jeweils gültiges n	17	17	17	17	17	17	17	17
Anzahl der Kollisionen	12	6	9	10	6	7	9	4
Anteil der Kollisionen	70.6%	35.3%	52.9%	58.8%	35.3%	41.2%	52.9%	23.5%

Anmerkungen: Die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in keiner der kritischen Situationen zu früh bremsen.

Table 10.4: Anteil der Kollisionen je erlebter Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Jeweils gültiges n	36	32	33	30	28	30	32	32
Anzahl der Kollisionen	25	12	16	14	10	11	14	9
Anteil der Kollisionen	69.4%	37.5%	48.5%	46.7%	35.7%	36.7%	43.8%	28.1%

Anmerkungen: Alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der jeweiligen kritischen Situation nicht zu früh bremsen.

Tabelle 10.5: Übersicht des Reaktionsmusters je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Jeweils gültiges <i>n</i>	37	29	27	24	40	33	33	30
Anzahl nur Bremsen	32	23	24	15	31	22	26	23
Anzahl Br. und AW links	0	3	1	8	1	7	4	2
Anzahl Br. und AW rechts	5	3	2	1	8	4	3	5
Anteil nur Bremsen	86.5%	79.3%	88.9%	62.5%	77.5%	66.7%	78.8%	76.7%
Anteil Br. und AW links	0.0%	10.3%	3.7%	33.3%	2.5%	21.2%	12.1%	6.7%
Anteil Br. und AW rechts	13.5%	10.3%	7.4%	4.2%	20.0%	12.1%	9.1%	16.7%

Anmerkungen: Br. = Bremsen; AW = Ausweichen

Alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der jeweiligen kritischen Situation nicht zu früh bremsen.

Tabelle 10.6: Übersicht des Reaktionsmusters je kritischer Situation für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Jeweils gültiges n	17	17	17	17	17	17	17	17
Anzahl nur Bremsen	14	14	14	11	12	10	13	12
Anzahl Br. und AW links	0	1	1	5	0	5	2	1
Anzahl Br. und AW rechts	3	2	2	1	5	2	2	4
Anteil nur Bremsen	82.4%	82.4%	82.4%	64.7%	70.6%	58.8%	76.5%	70.6%
Anteil Br. und AW links	0.0%	5.9%	5.9%	29.4%	0.0%	29.4%	11.8%	5.9%
Anteil Br. und AW rechts	17.6%	11.8%	11.8%	5.9%	29.4%	11.8%	11.8%	23.5%

Anmerkungen: Br. = Bremsen; AW = Ausweichen

Die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in keiner der kritischen Situationen zu früh bremsen.

Tabelle 10.7: Übersicht der ersten Reaktion bei Doppelreaktionen je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Jeweils gültiges n	5	6	3	9	9	11	7	7
Anzahl Bremsen	5	3	2	3	9	8	7	6
Anzahl Lenken	0	3	1	6	0	3	0	1
Anteil Bremsen	100.0%	50.0%	66.7%	33.3%	100.0%	72.7%	100.0%	85.7%
Anteil Lenken	0.0%	50.0%	33.3%	66.7%	0.0%	27.3%	0.0%	14.3%

Anmerkungen: Alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der jeweiligen kritischen Situation nicht zu früh bremsen.

Tabelle 10.8: Übersicht der ersten Reaktion bei Doppelreaktionen je kritischer Situation für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Jeweils gültiges n	3	3	3	6	5	7	4	5
Anzahl Bremsen	3	2	2	1	5	5	4	5
Anzahl Lenken	0	1	1	5	0	2	0	0
Anteil Bremsen	100.0%	66.7%	66.7%	16.7%	100.0%	71.4%	100.0%	100.0%
Anteil Lenken	0.0%	33.3%	33.3%	83.3%	0.0%	28.6%	0.0%	0.0%

Anmerkungen: Die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in keiner der kritischen Situationen zu früh bremsen.

H Ergebnisse aus der zweiten Studie

Tabelle 10.9: Anteil der Kollisionen je kritischer Situation für die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4
Jeweils gültiges n	23	23	22	22
Anzahl der Kollisionen	23	18	22	22
Anteil der Kollisionen	100.0%	78.3%	100.0%	100.0%

Anmerkungen: Die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in keiner der kritischen Situationen zu früh bremsen.

Tabelle 10.10: Anteil der Kollisionen je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4
Jeweils gültiges n	25	29	25	30
Anzahl der Kollisionen	25	21	25	30
Anteil der Kollisionen	100.0%	72.4%	100.0%	100.0%

Anmerkungen: Alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der jeweiligen kritischen Situation nicht zu früh bremsen.

Table 10.11: Anteil der Bremsreaktionen vor einer Kollision je kritischer Situation für die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4
Jeweils gültiges n	23	23	22	22
Anzahl der Bremsreaktionen	18	23	17	19
Anteil der Bremsreaktionen	78.3%	100.0%	77.3%	86.4%

Anmerkungen: Die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in keiner der kritischen Situationen zu früh bremsen.

Table 10.12: Anteil der Bremsreaktionen vor einer Kollision je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4
Jeweils gültiges n	25	29	25	30
Anzahl der Bremsreaktionen	20	29	19	27
Anteil der Bremsreaktionen	80.0%	100.0%	76.0%	90.0%

Anmerkungen: Alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der jeweiligen kritischen Situation nicht zu früh bremsen.

Tabelle 10.13: Anteil der Ausweichreaktionen vor einer Kollision je kritischer Situation für die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4
Jeweils gültiges n	23	23	22	22
Anzahl der Ausweichreaktionen	16	7	6	8
Anteil der Ausweichreaktionen	69.6%	30.4%	27.3%	36.4%

Anmerkungen: Die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in keiner der kritischen Situationen zu früh bremsen.

Tabelle 10.14: Anteil der Ausweichreaktionen vor einer Kollision je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4
Jeweils gültiges n	25	29	25	30
Anzahl der Ausweichreaktionen	16	9	9	12
Anteil der Ausweichreaktionen	64.0%	31.0%	36.0%	40.0%

Anmerkungen: Alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der jeweiligen kritischen Situation nicht zu früh bremsen.

Tabelle 10.15: Übersicht des Reaktionsmusters je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4
Jeweils gültiges n	25	29	25	30
Anzahl keine Reaktion	0	0	4	0
Anzahl nur Bremsen	9	20	12	18
Anzahl Br. und AW links	10	7	7	9
Anzahl Br. und AW rechts	1	2	0	0
Anzahl nur AW links	5	0	2	3
Anteil keine Reaktion	0.0%	0.0%	16.0%	0.0%
Anteil nur Bremsen	36.0%	69.0%	48.0%	60.0%
Anteil Br. und AW links	40.0%	24.1%	28.0%	30.0%
Anteil Br. und AW rechts	4.0%	6.9%	0.0%	0.0%
Anteil nur AW links	20.0%	0.0%	8.0%	10.0%

Anmerkungen: Br. = Bremsen; AW = Ausweichen

Alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der jeweiligen kritischen Situation nicht zu früh bremsen.

Tabelle 10.16: Übersicht des Reaktionsmusters je kritischer Situation für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4
Jeweils gültiges n	23	23	22	22
Anzahl keine Reaktion	0	0	4	0
Anzahl nur Bremsen	7	16	12	14
Anzahl Br. und AW links	10	6	5	5
Anzahl Br. und AW rechts	1	1	0	0
Anzahl nur AW links	5	0	1	3
Anteil keine Reaktion	0.0%	0.0%	18.2%	0.0%
Anteil nur Bremsen	30.4%	69.6%	54.5%	63.6%
Anteil Br. und AW links	43.5%	26.1%	22.7%	22.7%
Anteil Br. und AW rechts	4.3%	4.3%	0.0%	0.0%
Anteil nur AW links	21.7%	0.0%	4.5%	13.6%

Anmerkungen: Br. = Bremsen; AW = Ausweichen

Die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in keiner der kritischen Situationen zu früh bremsen.

Tabelle 10.17: Übersicht der ersten Reaktion bei Doppelreaktionen je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4
Jeweils gültiges n	11	9	7	9
Anzahl Bremsen	4	4	0	1
Anzahl Lenken	7	5	7	8
Anteil Bremsen	36.4%	44.4%	0.0%	11.1%
Anteil Lenken	63.6%	55.6%	100.0%	88.9%

Anmerkungen: Alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der jeweiligen kritischen Situation nicht zu früh bremsen.

Tabelle 10.18: Übersicht der ersten Reaktion bei Doppelreaktionen je kritischer Situation für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4
Jeweils gültiges n	11	7	5	5
Anzahl Bremsen	4	2	0	0
Anzahl Lenken	7	5	5	5
Anteil Bremsen	36.4%	28.6%	0.0%	0.0%
Anteil Lenken	63.6%	71.4%	100.0%	100.0%

Anmerkungen: Die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in keiner der kritischen Situationen zu früh bremsen.

Table 10.19: Übersicht der ersten Reaktion je kritischer Situation für alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4
Jeweils gültiges n	25	29	25	30
Anzahl Bremsen	13	24	12	19
Anzahl Lenken	12	5	9	11
Anzahl keine Reaktion	0	0	4	0
Anteil Bremsen	52.0%	82.8%	48.0%	63.3%
Anteil Lenken	48.0%	17.2%	36.0%	36.7%
Anteil keine Reaktion	0.0%	0.0%	16.0%	0.0%

Anmerkungen: Alle je Situation nutzbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der jeweiligen kritischen Situation nicht zu früh bremsen.

Table 10.20: Übersicht der ersten Reaktion je kritischer Situation für alle inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen

	K1	K2	K3	K4
Jeweils gültiges n	23	23	22	22
Anzahl Bremsen	11	18	12	8
Anzahl Lenken	12	5	6	0
Anzahl keine Reaktion	0	0	4	0
Anteil Bremsen	47.8%	78.3%	54.5%	63.6%
Anteil Lenken	52.2%	21.7%	27.3%	36.4%
Anteil keine Reaktion	0.0%	0.0%	18.2%	0.0%

Anmerkungen: Die inferenzstatistisch auswertbaren Versuchspersonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie in keiner der kritischen Situationen zu früh bremsen.