
Referenzszenarien als Grundlage für die Entwicklung und Bewertung von Systemen der Aktiven Sicherheit

vorgelegt von

Dipl.-Ing.

Adrian Ebner

geb. in München

von der Fakultät V – Verkehrs- und Maschinensysteme
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller

Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Volker Schindler

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans-Hermann Braess

Gutachterin: Prof. Dr. rer. nat. Stefanie Marker

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 19.09.2014

Berlin 2014

VORWORT

Diese Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand in der Abteilung „Fahrzeugsicherheit“ der Gesamtfahrzeugentwicklung der BMW AG. Mir wurde die Möglichkeit gegeben, sowohl in der Gruppe für Konzeptentwicklung der Aktiven Sicherheit als auch in der Unfallforschung zu arbeiten, was für mich das ideale fachliche Umfeld zur Erstellung dieser Arbeit darstellte.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. rer. nat. Volker Schindler für seine Bereitschaft die Betreuung dieser Arbeit zu übernehmen. Durch seine Unterstützung bei fachlichen aber auch organisatorischen Themen sorgte er immer wieder für wichtige Anregungen und Impulse für meine Arbeit.

Außerdem möchte ich dem Zweitgutachter dieser Arbeit Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans-Hermann Braess danken. Zahlreiche Treffen und interessante Diskussionen haben wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Auch danke ich Prof. Dr. rer. nat. Stefanie Marker für die Übernahme der Rolle der Drittgutachterin sowie Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller als Vorsitzendem des Promotionsausschusses.

Ohne meinen fachlichen Betreuer und Mentor bei der BMW AG - Dr. Werner Huber - wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Er investierte viel Zeit und Engagement in die Betreuung dieser Dissertation und ich schätze seine fachlich kompetente und ausnahmslos freundliche, angenehme Art sehr. Auf außergewöhnliche Weise unterstützt wurde meine Doktorarbeit von Prof. Klaus Kompaß, dem Leiter der Fahrzeugsicherheit der BMW AG. Sein Engagement ermöglichte mir unter anderem einen Forschungsaufenthalt in den USA und einige internationale Veröffentlichungen.

Ich habe das Glück in einem sehr angenehmen und hilfsbereiten Umfeld zu arbeiten, mit zahlreichen Kollegen, die mir mit ihrem Wissen und ihrer Erfahrung oft zur Seite standen und damit einen nicht unwesentlichen Beitrag zu dieser Arbeit leisteten. Hervorzuheben ist hier Thomas Helmer, mit dem zahlreiche gemeinsame Veröffentlichungen entstanden sind.

Nicht zuletzt konnte ich immer auf die Unterstützung meiner Freundin, Lisa Junginger, und meiner Familie zählen, was mir die volle Konzentration auf diese Arbeit ermöglichte und wofür ich sehr dankbar bin.

München, den 10.11.2014

Adrian Ebner

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	III
Inhaltsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VIII
Inhaltsangabe	IX
Abstract	X
1 Einleitung und Zielsetzung	1
1.1 Bedeutung der Fahrzeugsicherheit	1
1.2 Entwicklung und Bewertung von Aktiver Sicherheit - Herausforderungen....	4
1.3 Aufgabenstellung und Zielsetzung	7
1.4 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit.....	8
2 Grundlagen der Entwicklung von Referenzszenarien	11
2.1 Der Begriff der Situation im Verkehr.....	11
2.2 Ansätze zur Klassifikation von Situationen im Verkehr.....	12
2.3 Charakteristik und Herleitung von Szenarien	16
2.4 Übersicht verfügbarer Datenquellen.....	20
2.4.1 Unfalldaten	24
2.4.2 Natürliche Fahrdaten aus Feldversuchen.....	30
2.4.3 Versuche zur Analyse des Fahrerverhaltens.....	34
2.5 Fazit	41
3 Entwicklung von Referenzszenarien aus Unfalldaten	43
3.1 Ergebnisse aus bisherigen Studien	43
3.2 Referenzszenarien für den präventiven Frontschutz.....	44
3.2.1 Verwendete Unfalldatenbanken und Grundmenge	44
3.2.2 Entwicklung der Szenarien	47
3.2.3 Bestimmung der Wichtigkeit der Szenarien.....	49
3.2.4 Bestimmung der Bewegungskonstellation.....	51
3.2.5 Bestimmung der Randbedingungen	55
3.2.6 Ableitung von Referenzszenarien	58
3.3 Detaillierte Referenzszenarien für den präventiven Fußgängerschutz	60
3.3.1 Verwendete Unfalldatenbanken und Grundmenge	62

3.3.2	Entwicklung der Szenarien.....	64
3.3.3	Bestimmung der Wichtigkeit der Szenarien.....	65
3.3.4	Bestimmung der Bewegungskonstellation.....	67
3.3.5	Bestimmung der Randbedingungen.....	71
3.3.6	Ableitung von Referenzszenarien	78
3.4	Fazit	81
4	Entwicklung von Referenzszenarien aus natürlichen Fahrdaten.....	83
4.1	Ergebnisse aus bisherigen Feldstudien.....	83
4.2	Referenzszenarien auf Basis von Fahrdaten	86
4.2.1	Datengrundlage.....	87
4.2.2	Automatisierte Analyse von Fahrdaten.....	89
4.2.3	Ergebnisse	95
4.3	Fazit	107
5	Experimentelle Analyse des Fahrerverhaltens in Referenzszenarien	109
5.1	Ergebnisse aus bisherigen Untersuchungen.....	109
5.2	Analyse des Fahrerverhaltens in Fußgängersituationen	112
5.2.1	Fragestellungen und Ziele.....	112
5.2.2	Versuchsbeschreibung und Methodik	113
5.2.3	Ergebnisse: Fahrerverhalten in Fußgängersituationen.....	118
5.3	Analyse des Fahrerverhaltens im Längsverkehr	123
5.3.1	Fragestellungen und Ziele.....	124
5.3.2	Versuchsbeschreibung und Methodik	124
5.3.3	Ergebnisse: Fahrerverhalten in Folge-Brems-Situationen.....	127
5.4	Fazit	131
6	Umfassende Beschreibung von Referenzszenarien	133
6.1	Referenzszenario für den präventiven Fußgängerschutz.....	134
6.2	Referenzszenario für den präventiven Frontschutz	136
6.3	Fazit	138
7	Zusammenfassung und Ausblick	139
Anhang	143
A	Manöver der Beteiligten in den Unfalltypen.....	143
B	Gruppierung der Unfalltypen für den pFS.....	144
C	Parameter und Kriterien für die Zuordnung der Manöver	145
D	Randbedingungen der Bewegungskonstellationen des pFS (Häufigkeit)	152

E	Randbedingungen der Bewegungskonstellationen des pFS (Harm).....	160
F	Referenzszenarien des pFS aus der Unfallanalyse (Häufigkeit)	168
G	Referenzszenarien des pFS aus der Unfallanalyse (Harm)	171
H	Gruppierung der Unfalltypen für den pFGS.....	174
I	Randbedingungen der Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit) 176	
J	Randbedingungen der Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)	178
K	Algorithmen zur automatisierten Manövererkennung	180
L	Daten zu unkritischen Referenzszenarien aus natürlichen Fahrdaten.....	185
M	Daten zu kritischen Referenzszenarien aus natürlichen Fahrdaten	192
	Literaturverzeichnis	199
	Abbildungsverzeichnis	209
	Tabellenverzeichnis	212
	Veröffentlichungen.....	215

Abkürzungsverzeichnis

Alle folgenden aufgelisteten Abkürzungen dienen zur Vereinfachung in dieser Arbeit:

AIS	Abbreviated Injury Scale
EDR	Event Data Recorder
ESV	Enhanced Safety of Vehicles
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme
FARS	Fatality Analysis Reporting System
FG	Fußgänger
FOT	Field Operational Test
GES	General Estimates System
GIDAS	German In-Depth Accident Study
MAIS	Maximum Abbreviated Injury Scale
NASS	National Automotive Sampling System
NCSA	National Center for Statistics and Analysis
NDS	Naturalistic Driving Study
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration
PCDS	Pedestrian Crash Data Study
pFGS	Präventiver Fußgängerschutz
pFS	Präventiver Frontschutz
TTC	Time To Collision (Zeit bis zur Kollision)
UDS	Unfalldatenschreiber
VDA	Verband der Automobilindustrie

Inhaltsangabe

Um die Anzahl der Unfälle und die dabei Verletzten und Getöteten trotz eines steigenden Verkehrsaufkommens zu reduzieren, muss die Fahrzeugsicherheit weiter verbessert werden. Die Aktive Sicherheit trägt dazu bei, Unfälle zu vermeiden oder Unfallfolgen durch Maßnahmen vor der Kollision zu reduzieren. Sie verspricht bei gleicher Investition aktuell meist einen größeren Sicherheitseffekt als die Passive Sicherheit, da diese bereits ein sehr hohes Niveau erreicht hat.

Um im Entwicklungsprozess Aktiver Sicherheitssysteme effektive Anforderungen zu definieren, Potenziale zu erkennen und diese am Ende in Simulationen und Realtests bewerten zu können, sind analog zu den Crashtests der Passiven Sicherheit Belastungstests für Aktive Sicherheit erforderlich. Die Basis hierfür stellen Referenzszenarien dar. Diese sind eine begrenzte Anzahl an systematisch abgeleiteten Verkehrssituationen, die einen Großteil des realen Verkehrsgeschehens repräsentieren. Für die Definition von Referenzszenarien für Aktive Sicherheit müssen Abläufe von typischen Verkehrssituationen gefunden werden. Hierfür sind Informationen über repräsentative unkritische aber auch kritische Verkehrs- sowie Unfallsituationen erforderlich.

In dieser Arbeit wurde eine Methodik entwickelt, mit der Referenzszenarien aus den drei Datenquellen „Unfalldaten“, „natürliche Fahrdaten“ und „Versuche zur Analyse des Fahrverhaltens“ identifiziert und beschrieben werden können. Dabei werden zu Beginn die verfügbaren Datenquellen sowie bisherige Studien erläutert. Im Bereich der Unfalldatenbanken werden Beispiele wie die „German In-Depth Accident Study“ (GIDAS) näher beschrieben. Ebenso wird unter anderem die „100 Car Naturalistic Study“ als der bisher größte Feldversuch sowie verschiedene Werkzeuge für die Durchführung von Probandenversuchen erläutert. Darauf aufbauend wurden Auswertemethoden entwickelt, Potenziale identifiziert und beispielhafte Ergebnisse aller drei Datenquellen dargestellt. Für den präventiven Fußgängerschutz konnte auf Basis von Unfalldaten ein Referenzszenario für Deutschland und die USA identifiziert werden, und das Fahrerverhalten wurde mit Hilfe eines Fahrsimulatorversuch in unkritischen wie auch kritischen Situationen bestimmt. Für den präventiven Frontschutz wurden zusätzlich die Informationen der natürlichen Fahrdaten aus dem Feldversuch „euroFOT“ für die Entwicklung von Referenzszenarien genutzt.

Am Ende werden die Ergebnisse anhand eines Zeitstrahls des Situationsablaufes zusammengeführt und vollständig beschriebene Referenzszenarien entwickelt. Diese können als Grundlage für eine aussagekräftige Sicherheitsbewertung von Systemen der Aktiven Sicherheit verwendet werden.

Abstract

To reduce the number of accidents and injured and killed persons despite an increased traffic volume it is necessary to further improve the safety of vehicles. Active Safety contributes to avoid accidents or to reduce their consequences by measurements before the collision. With the same effort Active Safety promises to have a higher safety benefit at the moment compared to Passive Safety.

To define requirements, to realize potentials and to evaluate such systems in simulations and real tests during the development process stress tests for Active Safety are needed according to the crash tests of Passive Safety. The bases for these tests are reference scenarios. They are a limited set of systematically developed traffic situations that represent most of the real traffic. Sequences for typical traffic situations have to be identified for the definition of reference scenarios for Active Safety. Therefore information about representative uncritical and critical traffic situations as well as accidents is needed.

In this thesis a methodology was developed to identify and describe reference scenarios based on the three data sources “accident data”, “natural driving data” and “experiments to analyze driver behavior”. At the beginning these three data sources are explained and previous studies are presented. For example the “German In-Depth Accident Study” (GIDAS) is described in detail. Equally the “100 Car Naturalistic Study” is explained as the biggest field test so far and different tools for the realization of experiments with test persons are displayed. Based on these findings potentials, analyzing methods and exemplary results were developed and are shown in this thesis. For the preventive pedestrian protection a reference scenario for Germany and the USA was identified based on accident data and the driver behavior in uncritical and critical situations was determined in a driving simulator experiment. In addition to that the information of natural driving data collected in the field test “euroFOT” is used for reference scenarios for preventive front protection.

In the end the results are combined by using a time line for the sequence of a traffic situation and completely described reference scenarios are developed. They can be used as a basis for a meaningful safety assessment of Active Safety systems.

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Bedeutung der Fahrzeugsicherheit

Der zunehmende Transport von Gütern und der weltweit ansteigende Wunsch nach Mobilität der Menschen führen zu einem erhöhten Verkehrsaufkommen. So stieg der Kraftfahrzeugbestand in Deutschland seit 1970 (mit Ausnahme von 2008) im Vergleich zum Vorjahr kontinuierlich an [1]. Dieser Anstieg führt zu einer zunehmenden Anzahl von Kraftfahrzeugen auf den Straßen und bringt neben vielen Vorteilen auch Nachteile mit sich. Denn neben der Umweltbelastung würde ohne geeignete Gegenmaßnahmen vermutlich auch die Anzahl der Unfälle steigen. Weltweit sterben jedes Jahr bei Verkehrsunfällen über 1,2 Millionen Menschen, zwischen 20 und 50 Millionen werden verletzt [2]. In einer Studie über Verkehrssicherheit prognostiziert die World Health Organization (WHO) für das Jahr 2030 Verkehrsunfälle als die weltweit fünfthäufigste Todesursache [2]. Im Vergleich dazu: im Jahr 2004 waren Verkehrsunfälle die neunthäufigste Todesursache [2]. Es ist also unerlässlich, die Verkehrssicherheit stetig zu verbessern, um die Anzahl der Unfälle, der Verletzten und der Getöteten im Straßenverkehr zu reduzieren. Auf Basis dieser Erkenntnisse startete die United Nations in 2011 die „Decade of Action for Road Safety“. Diese Initiative hat sich zum Ziel gesetzt, im Zeitraum von 2011 bis 2020 die Verkehrssicherheit auf den Straßen weltweit zu erhöhen [3].

Die Verkehrssicherheit kann durch unterschiedlichste Faktoren verbessert werden. Unter anderem zählen hierzu eine sichere Infrastruktur von Straßen und Verkehrswegen (z.B. Verkehrsregelung an Kreuzungen, räumliche Trennung von Fahrradfahrern und Fußgängern gegenüber Fahrzeugen), ein Fahrerverhalten, das möglicherweise durch entsprechende Gesetzgebung vorgeschrieben wird (z.B. Geschwindigkeitsbegrenzungen, Fahren unter Alkoholeinfluss), und die Sicherheit der Fahrzeuge.

Die Automobilindustrie und die Fahrzeugentwicklung können vor allem die Sicherheit der Fahrzeuge beeinflussen und damit zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen. Es existieren zwei Bereiche, die Fahrzeugsicherheit zu verbessern: Die Passive und die Aktive Sicherheit [4]. Die Passive Sicherheit schützt die Fahrzeuginsassen im Falle einer Kollision und reduziert somit die Verletzungsfolgen. Beispiele hierfür sind Sicherheitsgurte, Airbags und Crashstrukturen. Die Aktive Sicherheit hingegen umfasst alle Eigenschaften des Fahrzeugs, die dazu beitragen, Unfälle im Vorfeld zu vermeiden oder die Unfallfolgen durch Maßnahmen vor der Kollision zu reduzieren ([5], [6], [7]). Hierzu zählen unter anderem

Fahrerassistenzsysteme wie Kollisionswarnsysteme oder autonome Notbremsassistenten, aber auch Eigenschaften des Fahrzeuges wie eine gute Rundumsicht und sicheres Fahrverhalten. Die Aktive Sicherheit lässt sich in vier Teilgebiete gliedern: Wahrnehmungssicherheit, Bediensicherheit, Fahrsicherheit und Konditionssicherheit [5]. Die entsprechenden Definitionen sowie Beschreibungen und Beispiele sind der Quelle [8] zu entnehmen.

In Bild 1-1 sind die Entwicklung des Verkehrsgeschehens und der Unfallzahlen in Deutschland von 1970 bis 2010 dargestellt, anhand derer die Effekte und Potenziale von Passiver und Aktiver Sicherheit erläutert werden können. Obwohl die Anzahl der Unfälle bis 1990 stark ansteigt und anschließend etwa konstant bleibt, ist die Zahl der Verletzten und Getöteten im Straßenverkehr gesunken. Dieser Effekt ist der stetigen Verbesserung der Passiven Sicherheit der Fahrzeuge mit einem erhöhten Schutz für die Insassen zu verdanken [9]. Eine Ausnahme stellt das Jahr 1990 dar, in dem die Anzahl der Verletzten und Getöteten aufgrund der Vergrößerung des Bundesgebietes durch die Wiedervereinigung anstieg. Betrachtet man den stärkeren Anstieg der Fahrleistung im Vergleich zu den Unfallzahlen, erkennt man das Potenzial der Aktiven Sicherheit. Die Unfallrate von 5,55 Unfällen pro eine Million gefahrener Kilometer im Jahr 1970 verringerte sich auf 3,42 im Jahr 2010. Das Risiko, einen Unfall pro gefahrener Strecke zu erleben, ist demnach durch eine Erhöhung der Aktiven Sicherheit gesunken. Neben den Unfallzahlen wirkt sich die Aktive Sicherheit auch positiv auf die Anzahl der Verletzten und Getöteten aus, was hier nicht explizit dargestellt ist.

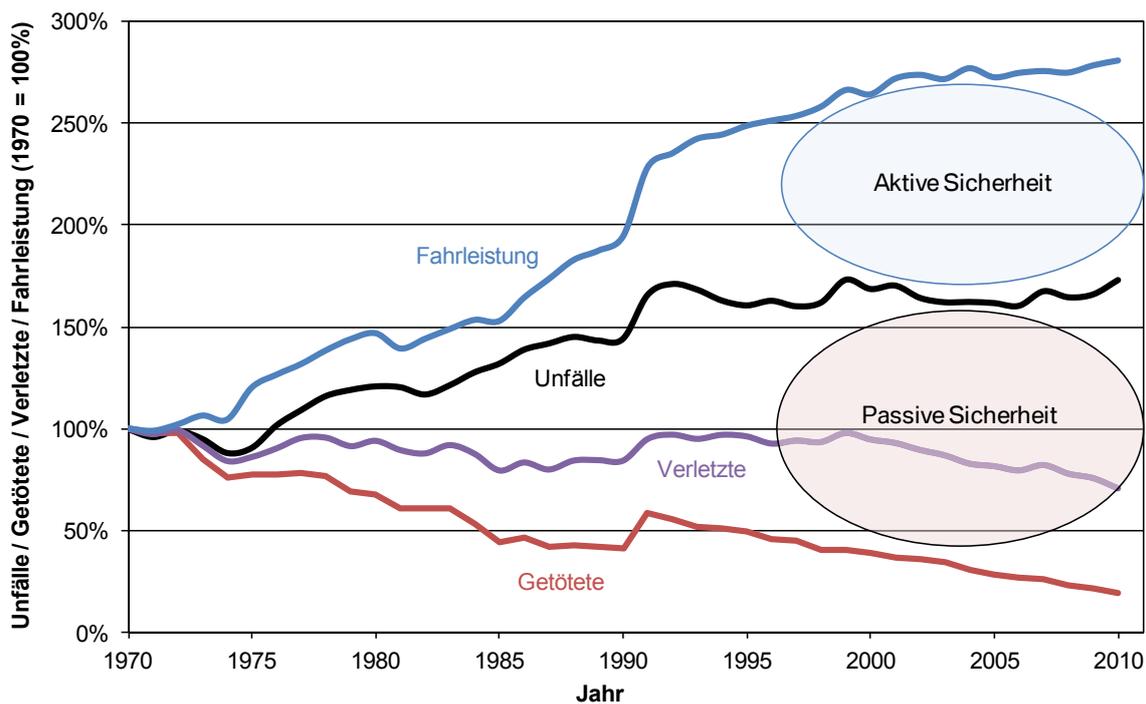


Bild 1-1: Entwicklung des Unfallgeschehens von 1970 bis 2010 [1], [9]

Die Passive Sicherheit hat bereits ein hohes Niveau erreicht und der zunehmend positive Effekt wird sich zeigen, wenn moderne Fahrzeuge mit entsprechender Sicherheitsausstattung ältere Fahrzeuge im Verkehrsgeschehen ablösen. Allerdings ist das Potenzial der Passiven Sicherheit weitgehend ausgeschöpft und zusätzliche, meist kleine Verbesserungen sind nur noch durch sehr hohen Aufwand zu realisieren [9]. In Quelle [9] ist das hohe Niveau der Passiven Sicherheit beschrieben, denn sie zeigt im Jahr 2013 eine Potenzilausschöpfung von 95%. Die Aktive Sicherheit liegt bei etwa 50%, was die Möglichkeiten beschreibt, im Bereich der Aktiven Sicherheit mit dem gleichen Aufwand ein größerer Sicherheitsgewinn erreichen zu können. Um das Ziel der Europäischen Union zu erreichen, nämlich die Zahl der Verkehrstoten in Europa bis 2020 gegenüber dem Jahr 2010 zu halbieren [10], ist es nötig, die Verkehrssicherheit und damit die Fahrzeugsicherheit weiter zu steigern. Aufgrund der vorangegangenen Erläuterungen sollte dabei die Aktive Sicherheit im Fokus stehen.

Als Beispiel kann dafür der Fußgängerschutz genannt werden. Da es sich hier um ungeschützte Verkehrsteilnehmer handelt, ist deren Anteil an den Verkehrstoten und Schwerverletzten überproportional groß, verglichen mit der Anzahl der Unfälle. In der Vergangenheit wurde die Fußgängersicherheit der Fahrzeuge vor allem im Bereich der Passiven Sicherheit stark verbessert [11]. Beispiele hierfür sind spezielle Stoßstangen und aktive Motorhauben, die im Falle einer Kollision Energie aufnehmen können. Diese Maßnahmen besitzen allerdings nur begrenzte

Möglichkeiten, den Fußgänger zu schützen, da der größte Einflussfaktor auf die Verletzungsschwere die Kollisionsgeschwindigkeit ist [12]. Systeme der Aktiven Sicherheit, wie z.B. der präventive Fußgängerschutz, der eine drohende Kollision erkennt, den Fahrer warnt und bei Bedarf eine autonome Notbremsung einleitet, können die Kollisionsgeschwindigkeit reduzieren oder den Unfall vermeiden. Diese Systeme versprechen damit einen größeren Sicherheitseffekt als Maßnahmen der Passiven Sicherheit [13].

Um Passive und Aktive Sicherheit bzgl. ihres Sicherheitsgewinnes vergleichen zu können, sind objektive Testverfahren und Bewertungsmethoden nötig, die im folgenden Kapitel beschrieben werden.

1.2 Entwicklung und Bewertung von Aktiver Sicherheit - Herausforderungen

Die Aktive Sicherheit lässt sich in vielen Aspekten durch einem Regelkreis aus Fahrer, Fahrzeug und Umwelt beschreiben [7]. Alle drei Komponenten müssen bei der Entwicklung von Aktiver Sicherheit berücksichtigt werden. Die Fahrzeughersteller können die Eigenschaften und Funktionen des Fahrzeugs so beeinflussen, dass sie einen positiven Sicherheitseffekt aufweisen. Der Fahrer befindet sich bei der Entwicklung der Aktiven Sicherheit im Mittelpunkt. Er hat durch seine Wahrnehmungs- und Handlungsfähigkeiten den größten Einfluss auf die Vermeidung von Unfällen. Auf der anderen Seite ist er der Hauptverursacher von Unfällen [14]. Eine Studie hat ergeben, dass über 90% der Unfälle durch Fehler oder Fehlverhalten der Fahrer verursacht werden [15]. Dagegen sind die Fahrumgebung in nur ca. 5% und technische Mängel am Fahrzeug in weniger als 1% der Hauptgrund für einen Unfall [15]. Systeme der Aktiven Sicherheit sollten demnach den Fahrer bestmöglich unterstützen und seine Fehler kompensieren.

Um angemessene Bewertungsmethoden entwickeln zu können, ist eine Strukturierung der Aktiven Sicherheit erforderlich. Im Entwicklungsprozess müssen Eigenschaftsziele auf Gesamtfahrzeugebene festgelegt werden, von denen sich bei einer Top-Down-Entwicklung konkrete Funktionen, Systeme und Komponenten ableiten lassen [8]. Hierzu zählt neben Eigenschaften wie Fahrleistungen, Fahrdynamik und Kraftstoffverbrauch auch die Aktive Sicherheit. Bild 1-2 zeigt ihre Strukturierung, die als Basis für die Entwicklung dieser Eigenschaft dient [8]. Die vier Teilbereiche der Aktiven Sicherheit stellen Eigenschaften dar, die von lösungsneutralen Funktionen realisiert werden. Von diesen Funktionen lassen sich konkrete Systeme ableiten, die aus verschiedenen Komponenten bestehen. Mit

dieser Struktur lassen sich aus Zielen für Gesamtfahrzeugeigenschaften realisierbare Systeme und Komponenten spezifizieren.

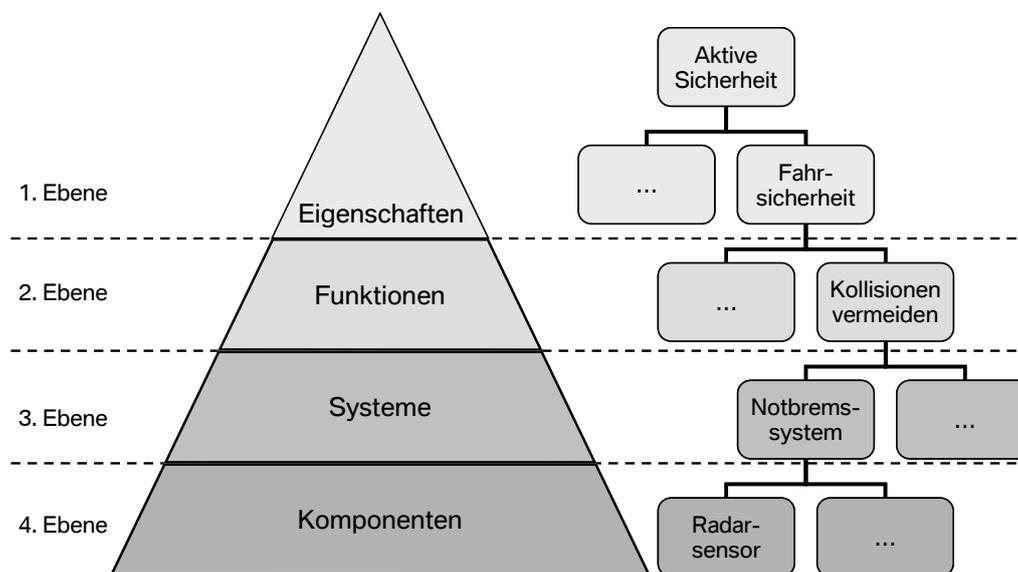


Bild 1-2: Top-Down-Entwicklung und Strukturierung der Aktiven Sicherheit [8]

Wie für jede andere Fahrzeugeigenschaft auch müssen zu Beginn des Entwicklungsprozesses Ziele und Anforderungen für Aktive Sicherheit definiert werden. Diese müssen gemäß dem sogenannten V-Modell am Ende des Fahrzeugentwicklungsprozesses getestet und abgesichert werden [16]. Sowohl für die Anforderungsdefinition wie auch die Absicherung sind objektive Testverfahren nötig. Für die Entwicklung der Passiven Sicherheit existieren hierfür die Crashtests. Sie bestehen aus einem Satz von Testsituationen, die das Unfallgeschehen möglichst gut repräsentieren (z.B. der Frontalaufprall des European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) [17]) sowie einem Bewertungssystem. Dieses besteht aus verschiedenen Messkriterien (z.B. Beschleunigungen von unterschiedlichen Stellen des Dummies), die für eine Punktberechnung verwendet werden und in einer Sternebewertung resultieren [18]. Anhand dieser Bewertungsverfahren können für den Entwicklungsprozess bei den Automobilherstellern Ziele definiert und getestet sowie verschiedene Sicherheitskonzepte und Fahrzeuge objektiv miteinander verglichen werden.

Für die Aktive Sicherheit existieren bereits standardisierte Tests im Bereich des Fahrzeughandlings und der Bremsregelsysteme zur Bewertung von fahrdynamischen Eigenschaften des Fahrzeugs. Aufbauend auf einer Veröffentlichung von 1977 [19] wurde von Zomotor, Braess und Rönitz 1997 eine Übersicht über Verfahren und Kriterien zur Bewertung des Fahrverhaltens von Personenkraftwagen erstellt [20]. Typische Manöver sind die Bestimmung des

Bremswegs auf unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen und die Bewertung der Fahrstabilität im Spurwechseltest des Verbandes der Automobilindustrie (VDA), der in die internationale Norm ISO 3888-2 übernommen wurde [21]. Es existieren bisher allerdings keine zu den Crashtests vergleichbare Testprozeduren auf Gesamtfahrzeugebene, um unterschiedliche Systeme der Aktiven Sicherheit bzgl. ihres Sicherheitseffektes bzw. diese Systeme mit der Passiven Sicherheit vergleichen zu können.

Bisher wird die Aktive Sicherheit meist mit drei verschiedenen Methoden bewertet, die in [8] näher beschrieben sind: „Feature-Counting“, Bewertung mit Hilfe von Unfalldaten und Untersuchung in Probandenversuchen.

Die bei aktuellem Stand der Technik am häufigsten bei Verbraucherschutzorganisationen und Fachzeitschriften verwendete Methode ist das „Feature-Counting“. Wenn ein System der Aktiven Sicherheit im Fahrzeug verbaut ist, werden hierbei Extrapunkte im Rahmen der Sicherheitsbewertung vergeben. Die Leistung des Systems wird meist nicht berücksichtigt.

Eine weitere Möglichkeit ist die Bewertung mit Hilfe von Unfalldaten. Die retrospektive Methode vergleicht die Unfallzahlen vor und nach der Einführung eines bestimmten Systems miteinander und weist so den Nutzen des Systems aus. Allerdings ist hier die Kontrolle der Randbedingungen nur schwer möglich. Außerdem kann die Bewertung eines Systems erst viele Jahre nach dessen Einführung erfolgen und die Ergebnisse können bei der Systementwicklung noch nicht berücksichtigt werden. Die prospektive Bewertung mit Unfallzahlen kann über eine Einzelfallanalyse durchgeführt werden. Durch eine geringe Fallzahl ist hierbei die Repräsentativität der Ergebnisse nur eingeschränkt gegeben (z.B. [22]). Bei anderen prospektiven Methoden, die durch eine größere Fallzahl repräsentativer sind, stellt sich das Problem, die Wirkung des Assistenzsystems im Zusammenwirken mit dem Fahrer detailliert genug darzustellen ([22], [23]).

Die dritte Möglichkeit besteht in der Untersuchung der Systeme in Probandenversuchen. Der Vorteil dabei ist, dass der komplette Regelkreis der Aktiven Sicherheit aus Fahrer, Fahrzeug und Umwelt bewertet wird. Probleme bestehen darin, hochkritische Situationen herzustellen [24] und die Repräsentativität der Ergebnisse mit den wenigen Testsituationen, die in einem Versuch möglich sind, zu gewährleisten.

Insgesamt existiert aktuell noch keine allgemein anerkannte und valide Bewertungsmethode für Systeme der Aktiven Sicherheit.

1.3 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Analog zur Passiven Sicherheit sind für die Entwicklung von Bewertungsverfahren zwei Bausteine nötig: Es müssen repräsentative Fahrscenarien identifiziert und beschrieben sowie objektive Messkriterien für die Aktive Sicherheit definiert werden [8]. Die Prozesskette zur Bewertung der Aktiven Sicherheit sowie hierfür nötige Beurteilungskriterien sind ausführlich in [25] erläutert.

Es besteht weder ein allgemein anerkannter Satz an Testsituationen für Aktive Sicherheit noch eine Methodik für deren Erstellung und Identifikation [8]. Die Situationsauswahl für Probandenversuche oder Funktionsabsicherungen wird häufig in Expertenrunden system- und sensorbezogen bestimmt und basiert meist nicht auf einer umfangreichen Analyse des Verkehrsgeschehens. Die Repräsentativität der Situationen und damit die Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf das gesamte Verkehrsgeschehen sind damit oft nicht nachgewiesen.

Aus diesem Grund werden repräsentative Verkehrssituationen, sogenannte Referenzscenarien, für die Definition von Anforderungen und die Bewertung von Systemen der Aktiven Sicherheit benötigt. Referenzscenarien sind nach [8] wie folgt definiert: Referenzscenarien sind eine begrenzte Anzahl an systematisch abgeleiteten Verkehrssituationen, die repräsentativ für einen Großteil des realen Verkehrsgeschehens sind. Im Unterschied zu Testsituationen der Passiven Sicherheit, bei der repräsentative Kollisionsbedingungen eines Unfalles identifiziert werden, liegt hier der Fokus auf der Phase vor dem Unfall. Referenzscenarien der Aktiven Sicherheit beschreiben Szenarien und Bewegungskonstellationen der Vorunfallphase.

Der Bedarf für Referenzscenarien ist, wie in Bild 1-3 dargestellt, im gesamten Entwicklungsprozess gegeben. Anhand der Referenzscenarien können zu Beginn der Entwicklung Potenziale von verschiedenen Aktiven Sicherheitssystemen aufgezeigt und Ziele und Anforderungen definiert werden. Während und am Ende des Prozesses muss die Erfüllung der Anforderungen überprüft und es müssen verschiedene Systemausprägungen bewertet werden. Hierfür können Simulationen durchgeführt werden, deren Modell mit Hilfe von Referenzscenarien aufgebaut und kalibriert ist, damit die Ergebnisse auf das reale Verkehrsgeschehen übertragen werden können. Sofern prototypische oder serienreife Systeme zur Verfügung stehen, können diese ebenso in Realtests bewertet werden. Auch für die Untersuchung des Fahrerverhaltens werden Real- bzw. Simulatorversuche durchgeführt. Hierfür ist es aber aufgrund der Repräsentativität ebenfalls nötig, Referenzscenarien zu verwenden, um die Testsituationen zu spezifizieren.

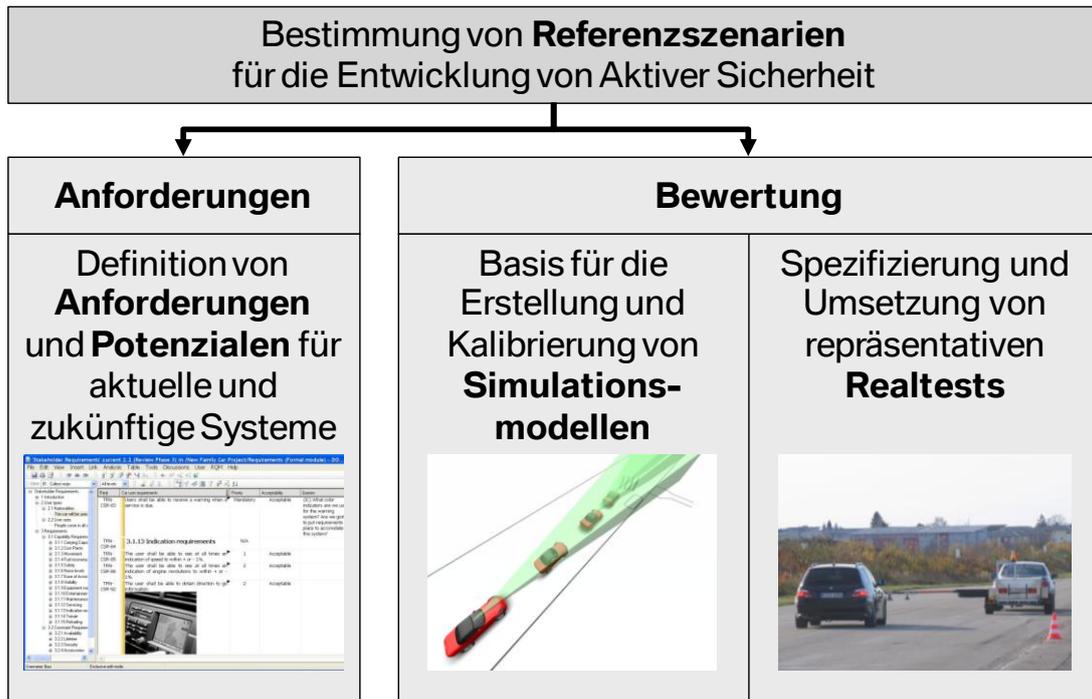


Bild 1-3: Bedarf und Nutzen von Referenzszenarien

Das Ziel dieser Arbeit ist die Erarbeitung einer Methodik zur Identifikation und Erstellung von Referenzszenarien für die Entwicklung und Bewertung von Systemen der Aktiven Sicherheit.

1.4 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit

Die Erarbeitung und Beschreibung der Methodik zur Entwicklung von Referenzszenarien der Aktiven Sicherheit gliedert sich in sieben Kapitel und deren Struktur und Zusammenhänge sind in Bild 1-4 dargestellt. Nach der Einleitung und der Formulierung der Aufgabenstellung (Kapitel 1) werden zunächst Definitionen und Grundlagen des Themas (Kapitel 2) erläutert.

Für die Definition von Crashtests der Passiven Sicherheit reicht es aus, Unfalldaten zu analysieren, da diese die geschehene Kollision detailliert beschreiben. Meist werden die Kollisionsbedingungen eines Unfalls in den Unfalldaten über die Parameter Unfallart und Unfalltyp exakt beschrieben. Für die Entwicklung von Referenzszenarien der Aktiven Sicherheit müssen die Randbedingungen des Systemversagens, die zu einem Unfall führen, gefunden werden. Unfalldaten enthalten zwar auch wichtige Informationen über die Vorunfallphase, diese sind jedoch nicht sehr detailliert. Außerdem sind für die Definition von Referenzszenarien für die Aktive Sicherheit auch Informationen über unkritische und kritische Situationen erforderlich, die nicht zu Unfällen führen und damit nicht in den Unfalldatenbanken enthalten sind. Daher sind für die Erstellung der

Referenzszenarien unterschiedliche Datenquellen nötig, die entsprechend kombiniert werden müssen. Es handelt sich hierbei um drei verschiedene Arten von Analysen, die in den Kapiteln 3, 4 und 5 erläutert sind. Das Ziel ist es, nach einer Übersicht über bisherige Studien und den Stand der Technik in jedem Bereich die Methodik der verschiedenen Untersuchungen darzustellen. Deren Anwendung wird an konkreten Beispielen zur Entwicklung von Referenzszenarien für Aktive Sicherheitssysteme des präventiven Frontschutzes (pFS) zur Adressierung von Frontalkollisionen im Allgemeinen und des präventiven Fußgängerschutz (pFGS) zur Adressierung von Fußgänger-kollisionen gezeigt.

In Kapitel 3 werden die Möglichkeiten und Methoden zur Entwicklung der bedeutendsten Referenzszenarien mit Hilfe von Unfalldaten beschrieben. Das Ziel ist, die wichtigsten Unfallszenarien zu identifizieren und die Bedingungen, unter denen sie stattfinden, zu bestimmen. Hierfür werden Frontalkollisionen untersucht, um Potenziale für Aktive Frontschutzsysteme aufzuzeigen. Außerdem werden detailliert Szenarien für den pFGS mit Hilfe von Unfalldaten analysiert, um Anforderungen an ein System der Aktiven Sicherheit aufzuzeigen.

Neben der Analyse von Unfällen sind für die Entwicklung von Referenzszenarien auch Informationen über unkritische und kritische Fahrsituationen relevant. Dafür eignet sich die Untersuchung von realen Fahrdaten, mit denen repräsentative unkritische und kritische Szenarien identifiziert und deren Umgebungsbedingungen und Ursachen der Kritikalität bestimmt werden können. Kapitel 4 beschreibt diese Methodik und zeigt, welche Fahrsituationen oftmals auftreten. Anhand des Auffahr- und des Spurwechselszenarios wird beispielhaft gezeigt, welche Szenarien kritisch werden. Mit Hilfe von natürlichen Fahrdaten werden außerdem die Möglichkeiten der Ursachenanalyse für kritische Situationen erläutert.

Die Beschreibung des Fahrerverhaltens ist ein wichtiger Bestandteil der Definition von Referenzszenarien, da der Fahrer bei der Bewertung von Aktiver Sicherheit meist mitberücksichtigt werden muss. Wenn die Referenzszenarien über die Analyse von natürlichen Fahrdaten und Unfalldaten identifiziert sind, können sie in Probandenversuchen dargestellt und das Fahrerverhalten in kritischen und unkritischen Situationen untersucht werden. Die Methodik von Experimenten in unterschiedlichen Versuchsumgebungen wird auch hier wieder an zwei Beispielen gezeigt. Es wird das Fahrerverhalten in kritischen und unkritischen Fußgängersituationen in einem dynamischen Fahrsimulator analysiert. Außerdem wird eine Untersuchung von kritischen Folgeszenarien im Fahrsimulator und im Realfahrzeug auf dem Testgelände erläutert und die Ergebnisse werden miteinander verglichen.

Schließlich wird in Kapitel 6 eine Methodik vorgestellt, um die Ergebnisse der Kapitel 3, 4 und 5 miteinander zu kombinieren, damit eine vollständige Beschreibung der Referenzszenarien erzielt werden kann.

Am Ende der Arbeit erfolgt in Kapitel 7 eine Zusammenfassung der Ergebnisse sowie ein Ausblick darüber, welche Arbeitspakete zukünftig möglich sind, um das Thema weiterzuentwickeln.

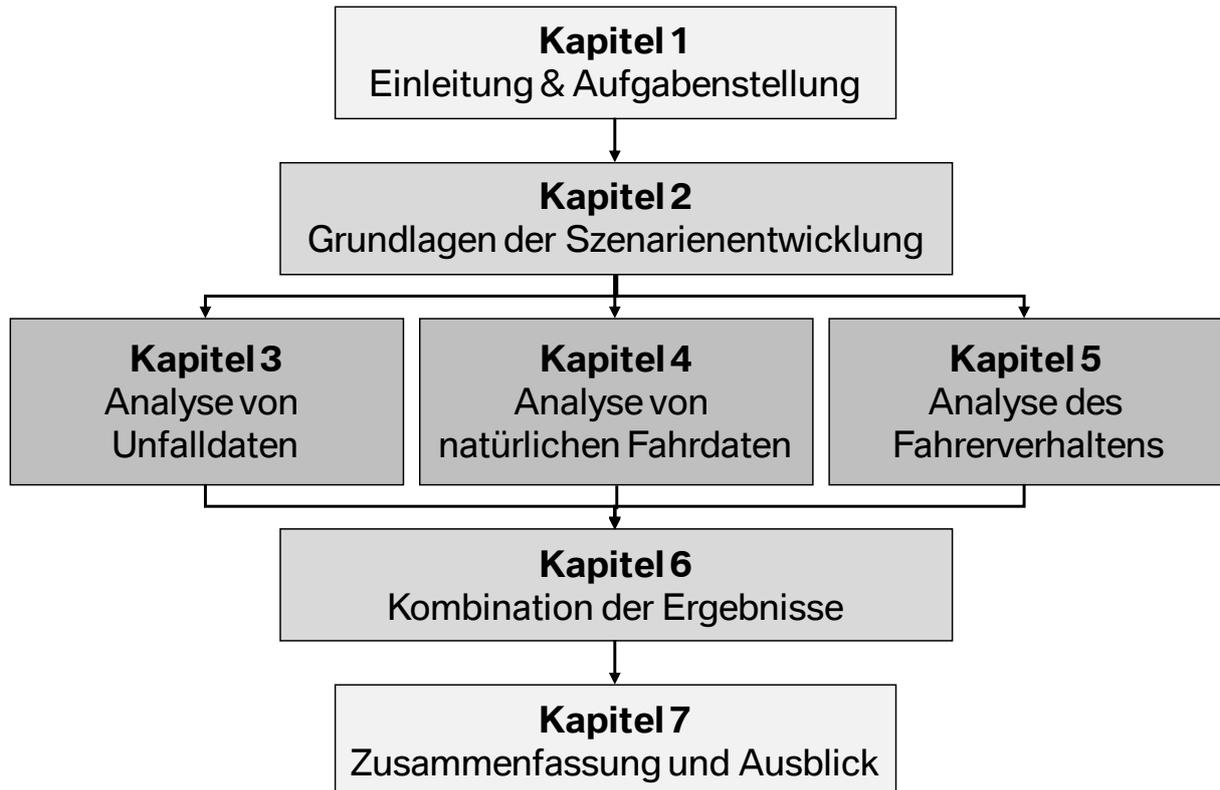


Bild 1-4: Aufbau und Struktur der Arbeit

2 Grundlagen der Entwicklung von Referenzszenarien

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Grundlagen und der Stand der Technik zum Begriff bzw. zur Klassifikation von Verkehrssituationen sowie zur Entwicklung von Referenzszenarien erläutert.

2.1 Der Begriff der Situation im Verkehr

Für die Entwicklung von Referenzszenarien ist es erforderlich, den Begriff „Situation“ im Straßenverkehr zu definieren. In der Literatur wird dieser vielfältig verwendet. Es existieren allerdings unterschiedlichste Definitionen für die Begriffe „Verkehrssituation“ oder „Fahrsituation“, und eine allgemeingültige Formulierung ist nicht vorhanden. Unter anderem wird in den Arbeiten von Angenendt [26], Hering [27] und Reichart [14] der Situationsbegriff ausführlich diskutiert und es werden verschiedene Quellen vorgestellt, die aus dem psychologischen wie auch verkehrswissenschaftlichen Umfeld stammen.

Eine in der Literatur oft genannte und verwendete Definition für den Begriff „Verkehrssituation“ stammt von v. Benda ([28], [29]). In dieser Quelle wird die Verkehrssituation als „Umgebung des Mensch-Maschine-Systems Fahrer-Fahrzeug aus Fahrersicht“ beschrieben. Auch Fastenmeier [30] orientiert sich an der Definition von v. Benda und formuliert sie als „Verkehrssituation aus Fahrersicht“. Beide Autoren verstehen somit die Verkehrssituation als Beschreibung der Umwelt aus der subjektiven Sicht des Fahrers. Die Bewegungen und Eigenschaften der Verkehrsteilnehmer sowie die objektiven Randbedingungen der Situation sind hier nur teilweise enthalten.

Reichart greift genau diese Punkte in seiner Veröffentlichung [14] auf und definiert drei verschiedene Arten von Situationen, die sich bzgl. der objektiv vorliegenden und der subjektiv erlebten Situation unterscheiden. Er definiert die Verkehrssituation als „die objektiv gegebene räumliche und zeitliche Konstellation der verkehrsbezogenen Einflussgrößen der Arbeitsumgebung der Verkehrsteilnehmer“ [14]. Die Fahrsituation wird als der „aus Fahrersicht prinzipiell wahrnehmbare Ausschnitt der Verkehrssituation“ verstanden [14]. Als dritte Variante wird die Fahrersituation als die „vom Fahrer eines Kraftfahrzeuges tatsächlich wahrgenommene Situation“ bezeichnet [14]. Das bedeutet, dass auch Reichart die Verkehrssituation als eine Beschreibung der Umgebung definiert und erst die Fahrer- und Fahrsituation die Bewegung der Verkehrsteilnehmer beinhaltet. Die Verkehrssituation und die Fahrsituation als deren Untermenge werden dabei als objektiv beschriebene Ereignisse verstanden, während bei der Fahrersituation die subjektive Wahrnehmung

des Fahrers eine Rolle spielt. Je nach Wahrnehmung des Fahrers kann die Fahrersituation mit der Fahrsituation mehr oder weniger übereinstimmen.

Auch Domsch verwendet in einer Veröffentlichung über die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen [31] die Definitionen der Fahr- und Fahrersituation von Reichart. Er versteht allerdings die Verkehrssituation als die Beschreibung der Konstellation der Verkehrsteilnehmer sowie der Straßenführung. Die Umgebung und Randbedingungen der Verkehrssituation, wie Wetter und Lichtbedingungen, definiert er als die Szene, in der sich die Situation ereignet. In einer Fahrsituation werden Handlungen und Aktionen des Fahrers ausgeführt, die eine Fahrsituation beenden und in die nächste überführen.

2.2 Ansätze zur Klassifikation von Situationen im Verkehr

Um die unbegrenzte Anzahl an möglichen Verkehrssituationen für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen einzugrenzen und Referenzszenarien zu identifizieren, müssen Situationen klassifiziert werden. Ähnliche Situationen können damit zusammengefasst und die wichtigsten Szenarien ausgewählt werden.

In der Literatur existieren bereits unterschiedliche Klassifizierungssysteme, die im Folgenden vorgestellt werden.

In den Quellen [28] und [29] ist die Klassifikation von v. Benda beschrieben. Da sie die Verkehrssituation aus Fahrersicht versteht (vgl. Kapitel 2.1), handelt es sich um eine fahrerorientierte Klassifikation von Situationen. Um für den Menschen relevante Merkmale von Situationen zu bestimmen, wurde ein Versuch durchgeführt. Dabei wurden den Probanden Fotos von verschiedenen Verkehrssituationen vorgelegt und sie sollten jeweils paarweise beschreiben, inwiefern sich die gezeigten Situationen unterscheiden bzw. ähneln. Daraus konnten die relevanten Merkmale mit ihren jeweiligen Ausprägungen abgeleitet werden. Es ergaben sich zunächst 14 Eigenschaften mit einer unterschiedlichen Anzahl von Ausprägungen. Da sich hierbei immer noch eine sehr große Anzahl von möglichen Verkehrssituationen ergeben kann und sich einige Merkmale in der Realität als schwierig zu kategorisieren herausstellten, wurde das Klassifikationssystem modifiziert [29]. Die resultierenden Kategorien sind in Tabelle 2-1 dargestellt und werden vier Gruppen zugeordnet, die die Umgebung des Fahrzeugs beschreiben. Der Schwerpunkt liegt hier auf der Infrastruktur, den Wetter- und Sichtbedingungen sowie den Verkehrsbedingungen. Es ergaben sich 12 Merkmale. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ausprägungen ergeben sich damit über drei Milliarden Möglichkeiten für die Zusammensetzung von Situationen.

Tabelle 2-1: Klassifikation von Verkehrssituationen nach v. Benda [29]

	Kategorien	Ausprägungen
Straßentyp und Straßenausbau	Autobahn	6
	Landstraße	5
	Stadt, innerorts	10
Trasse	Horizontale	9
	Vertikale	5
	Knotenpunkte	9
Sicht und Straßenzustand	allgemeine Sichtbedingungen	9
	besondere Sichtbedingungen	6
	Reibbeiwert	8
Verkehrsablauf	Verkehrsdichte	3
	Engstellen, Hindernisse	4
	Gefahren	5

Aufbauend auf dem Ansatz von v. Benda hat Fastenmeier das System weiter vereinfacht [30]. Das Ziel war es, mit dieser Modifikation eine praxistaugliche Taxonomie zu bestimmen, mit der während einer Versuchsfahrt die verschiedenen Situationen kategorisiert werden können. Das Ergebnis ist in Tabelle 2-2 dargestellt. Die Gruppe „Straßentyp und Straßenausbau“ wurde mit ihren drei Kategorien komplett übernommen. Allerdings wurden die Ausprägungen auf ein handhabbares Maß reduziert. Gleiches gilt für die Kategorie „Trasse“. Die Gruppe „Verkehrsablauf“ wurde um das Merkmal „Gefahren“ reduziert, da dieses nicht in der Klassifikation enthalten sein sollte, sondern im Detail für jede kritische Situation analysiert werden muss. Außerdem wurde auf die Gruppe „Sicht und Straßenzustand“ verzichtet. Die hier enthaltenden Merkmale sollten gemäß Fastenmeier in [30] für die Versuchsstreckenkonstruktion nicht situations-, sondern fahrtbezogen erfasst werden. Darüber hinaus wurden einige Ausprägungen der verschiedenen Kategorien zusammengefasst bzw. eingeschränkt. Eine genaue Beschreibung der unterschiedlichen Modifizierungsschritte ist der Quelle [30] zu entnehmen. Mit den beschriebenen Ergebnissen ergeben sich acht Kategorien mit maximal sieben Ausprägungen und damit 8400 Kombinationsmöglichkeiten, was einer deutlichen Reduzierung gegenüber dem Klassifikationssystem von v. Benda entspricht.

Dieses modifizierte Klassifikationssystem von Fastenmeier wurde ohne Veränderungen in der Arbeit von Reichart [14] zur situationspezifischen Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen übernommen.

Tabelle 2-2: Klassifikationssystem von Verkehrssituationen nach Fastenmeier [30]

	Kategorien	Ausprägungen
Straßentyp und Straßenausbau	Autobahn	5
	Landstraße	2
	Stadt, innerorts	7
Trasse	Horizontalverlauf	2
	Vertikalverlauf	2
	Knotenpunkte	5
Verkehrsablauf	Engstellen	2
	Fahrtrichtung	3

Neben der zuvor beschriebenen Möglichkeit der Klassifikation von Verkehrssituationen gemäß Umwelt- und Infrastrukturbedingungen existieren in der Literatur verschiedene Ansätze der Strukturierung auf Basis der erforderlichen Fahraufgaben und Manöver der jeweiligen Situation. Die unterschiedlichen Quellen werden im Folgenden kurz einzeln vorgestellt und schließlich am Ende dieses Kapitels in Form der Tabelle 2-3 zusammengefasst.

McKnight verfasste eine Arbeit über die Fahraufgabenanalyse von Fahrschülern und definierte hierbei sehr detailliert die üblichen Manöver im Straßenverkehr [32]. Er bildete verschiedene Gruppen, in die er die gängigen Fahraufgaben einteilte. Unterschieden werden Grundbedienhandlungen (z.B. Beschleunigen), Grundfahraufgaben (z.B. Navigation), Aufgaben neben dem Straßenverkehr (z.B. Wartungsaufgaben) und spezielle Fahraufgaben, die von Situations- und Umgebungsbedingungen abhängen. Hierzu zählen Handlungen, die von Verkehrsbedingungen (z.B. Fahrgeschwindigkeit), straßenbaulichen Eigenschaften (z.B. Kurvenfahrt), fahrzeugspezifischen Umständen (z.B. Abschleppen) und von Umgebungsbedingungen (z.B. Wetter) beeinflusst werden. Diese Manöver sind bis ins Detail und mit jeder dazugehörigen Fahrerhandlung beschrieben und eignen sich daher nicht für eine grobe Einteilung und Klassifikation von Situationen. Die definierten Gruppen und Überkategorien können aber hilfreich sein, Fahrmanöver zusammenzufassen.

Auch Chaloupka wählt für seine Strukturierung von Verkehrssituationen einen manöverorientierten Ansatz [33]. Nach mehreren Modifizierungsschritten werden 18 Fahrmanöver definiert, die von verschiedenen Verkehrsteilnehmern (z.B. PKW-Fahrer, Fußgänger, ...) ausgeführt werden können. Auch diese Einteilung dient dazu, verschiedene Situationen mit Hilfe eines Codiersystems dokumentieren und klassifizieren zu können. Umgebungs- und Umweltbedingungen wie in dem Klassifizierungssystem von v. Benda und Fastenmeier werden nicht berücksichtigt.

Eine ähnliche Klassifikation wählt Nagel [34]. Hier werden elementare Fahraufgaben definiert, die von autonomen Fahrzeugen im Straßenverkehr beherrscht werden müssen. Diese sind in einer Liste von 17 Manövern zusammengefasst und beschreiben die Führungsebene des Fahrens von Fahrtantritt, über die Bewegung im Straßenverkehr bis zum Parkvorgang am Fahrende. Umwelt- und Umgebungsbedingungen sind auch hier nicht Teil der Klassifizierung.

Aufbauend auf dieser Liste entwickelt Vollrath eine Zusammenstellung, die er für die Analyse der Belastung des Fahrers verwendet [35]. Durch die Zusammenfassung und Ergänzung von Manövern identifiziert er 14 Manöver, die eine Fahrt lückenlos beschreiben können.

Auch Verwey untersucht in seiner Arbeit die Abhängigkeit der Beanspruchung des Fahrers von der Verkehrssituation und weiteren Einflüssen [36]. Hierfür definiert er eine Liste von zehn Situationen, die er in seinen Experimenten untersucht. Dabei erhebt er keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Er berücksichtigt neben den Fahrmanövern (z.B. Rechtsabbiegen) auch infrastrukturelle Eigenschaften der Situation und kombiniert diese miteinander (z.B. Rechtsabbiegen an einer nicht ampelgeregelten Kreuzung).

Neben den Analysen des unkritischen Fahrens im Straßenverkehr ist eine Situationsklassifikation auch bei der Dokumentation von Unfällen in Unfalldatenbanken erforderlich. Die hier verwendeten Klassifikationen berücksichtigen meist neben den Bewegungskonstellationen der Verkehrsteilnehmer auch infrastrukturelle Merkmale der Situation wie z.B. die Verkehrsregelung, aber auch die Art der Verkehrsbeteiligung (z.B. Fußgänger). Ziel ist es hier, typische Unfallsituationen und deren Ursachen über die Unfallstatistiken identifizieren zu können. Eine detaillierte Beschreibung verschiedener Datenbanken unterschiedlicher Länder ist dem Kapitel 2.4.1 zu entnehmen. An dieser Stelle soll nur beispielhaft der Unfalltypenkatalog des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) genannt werden, der unter anderem in der Unfalldatenbank der Bundesanstalt für Straßenwesen verwendet wird [37]. Da hier jede mögliche Ausgangssituation eines Unfalles dokumentiert werden muss, ist jede mögliche Situation codierbar. Diese Systeme zur Klassifizierung von Unfällen sind meist sehr umfangreich und detailliert. Sie können aber durch Zusammenfassen ähnlicher Situationen sehr gut als Klassifizierung für Verkehrssituationen angewandt werden. Das gilt für den hier angesprochenen Unfalltypenkatalog genauso wie für andere Datenbanken.

In Tabelle 2-3 sind die unterschiedlichen Sätze von Manövern der vorgestellten Quellen zusammengestellt. In der linken Spalte sind die darin definierten Fahrmanöver aufgelistet. Nicht berücksichtigt sind reine Fahrerhandlungen (z.B.

Blinkerbetätigung), die noch kein Fahrmanöver beschreiben. Zur Verbesserung der Übersicht und der Vergleichbarkeit sind ähnliche Manöver zusammengefasst. Es ist zu erkennen, dass alle hier aufgeführten Manöver mindestens von drei der Quellen definiert wurden und die Liste nahezu vollständig alle möglichen Manöver des realen Verkehrs enthält. Die in der Übersicht aufgeführten Manöver enthalten teilweise implizit Hinweise auf die Infrastruktur und andere Verkehrsteilnehmer. Z.B. setzt das Manöver „Kreuzen“ voraus, dass sich die Situation an einer Kreuzung abspielt. Bei der „Folgefahrt“ muss zwangsläufig ein Vorderfahrzeug vorhanden sein. Wie weiter oben bereits erwähnt enthalten die Klassifikationen der Unfalldatenbanken (hier beispielhaft die des GDV) alle möglichen Manöver des Straßenverkehrs.

Tabelle 2-3: Übersicht von Manöverklassifikationen aus der Literatur

Fahrmanöver	Reichart [14]	Chaloupka [33]	Nagel [34]	Vollrath [35]	Verwey [36]	GDV [37]
Freie Fahrt	x	x	x	x		x
Reaktion auf Hindernis	x	x				x
Auffahren / Annähern			x	x		x
Folgen	x		x	x		x
Überholen	x	x	x	x		x
Abbiegen	x	x	x	x	x	x
Kreuzen	x	x	x	x	x	x
Spurwechsel	x	x	x	x		x
Wenden	x		x			x
Rückwärts fahren	x		x			x
Anhalten/Stand			x	x		x
Anfahren / Weiterfahren		x	x	x		x
Einparken			x	x		x
Ausparken			x	x		x
Kurvenfahrt		x			x	x

In diesem Kapitel wurden unterschiedliche Ansätze der Klassifikation von Situationen vorgestellt, die als Grundlage für die Ableitung von Szenarien dienen.

2.3 Charakteristik und Herleitung von Szenarien

Auf Basis bisheriger Veröffentlichungen, die in den vorherigen Kapiteln vorgestellt wurden, werden im Folgenden der Begriff und der Aufbau eines „Szenarios“ für diese Arbeit definiert.

Dabei umfasst das Verkehrsgeschehen alle Verkehrsteilnehmer, den Verkehrsablauf sowie einige Parameter zur Beschreibung von Teilnehmern und Umwelt. Die Verkehrssituation stellt einen objektiven Ausschnitt aus dem Verkehrsgeschehen mit Bezug auf das im Fokus liegende Ego-Fahrzeug dar. Sie enthält die beteiligten

Verkehrsteilnehmer, deren Bewegungszustand (die sog. Fahrmanöver) sowie die Situation beschreibende Parameter der Umwelt und der Randbedingungen (z.B. Wetter, Sichtverhältnisse, Infrastruktur). Eine Verkehrssituation ändert sich, wenn sich der Ort, das Fahrmanöver oder eine charakteristische Eigenschaft der Situation ändert. Analog zu Reichart [14] wird die Fahrsituation als eine Teilmenge der Verkehrssituation verstanden, die die vom Fahrer des Ego-Fahrzeuges prinzipiell wahrnehmbaren Merkmale der Situation enthält. Für die Fahrersituation wird ebenfalls die Definition von Reichart übernommen [14]: Sie ist wiederum eine Untermenge der Fahrsituation, die die Eigenschaften der Situation enthält, welche der Fahrer tatsächlich wahrnimmt. Fahrersituation und Fahrsituation können identisch sein oder je nach Einschätzung des Fahrers stark voneinander abweichen.

Um eine Verkehrssituation vollständig zu beschreiben, müsste jedes mögliche Detail dokumentiert werden. Da einige Eigenschaften einer Situation jedoch für die Entwicklung von Aktiver Sicherheit bzw. Fahrerassistenzsystemen nicht relevant sind, muss eine Auswahl getroffen werden, die sich je nach Analyseziel ändern kann. Als „Szenario“ wird in dieser Arbeit eine Verkehrssituation bezeichnet, deren charakteristische Merkmale auf Basis von Messungen und statistischen Auswertungen quantitativ festgelegt werden. Da das Szenario von der Verkehrssituation abgeleitet ist, handelt es sich um eine objektive Beschreibung der Situation ohne Berücksichtigung der subjektiven Wahrnehmung des Fahrers, wie es in der Fahr- und Fahrersituation der Fall ist.

Szenarien bestehen grundlegend aus drei Komponenten:

- Ego-Fahrzeug
- Verkehrsteilnehmer
- Umwelt

Die Beschreibung des Ego-Fahrzeuges enthält das Fahrmanöver sowie die Eigenschaften des Fahrzeuges (z.B. Bewegungszustand) und des Fahrers (z.B. Aufmerksamkeit). Ein Fahrmanöver ist nach [31] die Beschreibung der charakteristischen Menge an Aufgaben und Handlungen, die den (Relativ-) Bewegungszustand bzw. die (Relativ-) Position des Fahrzeuges bestimmen (z.B. Abbiegen, Spurwechsel). Die charakteristische Zusammensetzung von Aktionen zu einem Manöver wird beeinflusst durch die Position, den Bewegungszustand und die Aktionen der Verkehrsteilnehmer sowie die Infrastruktur, falls sie für die Beschreibung des Manövers nötig sind. Die Fahrt des Ego-Fahrzeugs lässt sich lückenlos aus eindeutigen Fahrmanövern zusammensetzen. Um ein Fahrmanöver zu

realisieren, erfolgen vom Fahrer Handlungen und Aktionen wie z.B. Bremsen und Lenken.

Analog zum Ego-Fahrzeug beschreiben die Parameter der Verkehrsteilnehmer deren Eigenschaften wie z.B. den Bewegungszustand oder die Art des Verkehrsteilnehmers.

Die dritte Komponente (Umwelt) beinhaltet die für die Entwicklung der Aktiven Sicherheit relevanten Umgebungsbedingungen. Hierzu zählen unter anderem die Straßeninfrastruktur, Objekte wie parkende Fahrzeuge und Bäume sowie Wetter und Lichtverhältnisse.

Referenzszenarien sind, wie bereits in Kapitel 1.3 erläutert, eine begrenzte Anzahl an systematisch abgeleiteten Verkehrssituationen, die repräsentativ für einen Großteil des realen Verkehrsgeschehens sind. Die beschreibenden Merkmale sind dabei relevant für die Entwicklung von Aktiver Sicherheit.

Die Struktur und Arbeitsschritte zur Bestimmung von Szenarien sind in Bild 2-1 dargestellt (vergleiche auch [38] und [39]). Für die Entwicklung von Aktiver Sicherheit sind drei Szenarienarten erforderlich:

- Unfallszenarien: Sie dienen dazu, Potenziale von neuen Systemen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit erkennen und deren objektive Wirksamkeit anhand des Unfallgeschehens bestimmen zu können.
- Kritische Szenarien: Unfälle werden von den Fahrern in der Regel nur sehr selten erlebt, da sie statistische Ereignisse mit geringer Wahrscheinlichkeit sind. Zu kritischen Situationen dagegen kommt es wesentlich häufiger. Eine kritische Situation entspricht einem Verkehrskonflikt, der nach [14] und [40] wie folgt definiert ist: Er entsteht dann, wenn durch einen Fehler (in der Fahraufgabe) ein Schadensereignis droht, das nur durch eine Vermeidungsaktion vermieden werden kann. Fehler können fehlerhafte Fahrerhandlungen aber auch Fehler technischer Systeme wie eine kritische Fahrdynamik sein. Dabei ist nicht geklärt, ob der Anteil eines bestimmten Unfallszenarios dem Anteil kritischer Situationen entspricht. Z.B. kommt es häufig vor, dass ein Fahrzeug im toten Winkel bei einem Spurwechsel übersehen wird und dadurch eine kritische Situation entsteht. Diese Situation führt allerdings selten zu einem Unfall. Auf Basis dieser Erlebnisse bildet sich subjektiv beim Fahrer der Wunsch, durch ein System der Aktiven Sicherheit wie einem Spurwechselwarnsystem unterstützt zu werden. Eine Analyse von kritischen Situationen hilft, typische und repräsentative Szenarien zu identifizieren und davon Systeme abzuleiten, die diese unangenehmen

Situationen vermeiden, und somit neben der objektiven auch die subjektive Sicherheit des Fahrers erhöhen.

- **Unkritische Szenarien:** Bei Systemen der Aktiven Sicherheit kann es zu Falschauslösungen kommen. Während der Entwicklungsphase muss ein Optimum aus niedriger Falschauslöserate und hoher Wirksamkeit gefunden werden. Daher müssen typische unkritische Szenarien identifiziert werden, um Falschalarme des Systems in diesen Situationen bewerten und analysieren zu können. Eine niedrige Falschalarmrate ist wichtig, um eine hohe Kundenakzeptanz der Funktion zu erreichen.

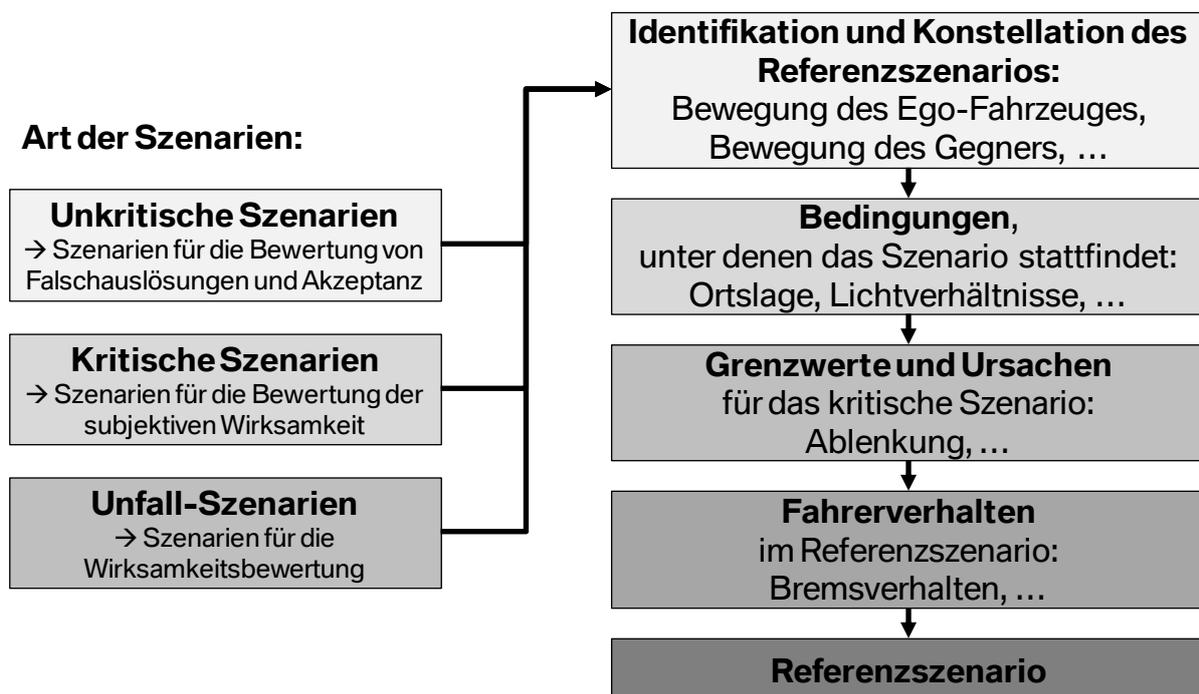


Bild 2-1: Herleitung von Referenzszenarien

Wie in Bild 2-1 auf der rechten Seite zu sehen ist, existieren bei der Entwicklung von Referenzszenarien vier verschiedene Teilbereiche, die untersucht werden müssen, um Referenzszenarien vollständig beschreiben zu können.

Die Basis für jedes Szenario bildet die Bewegungskonstellation und die Art des Ego-Fahrzeuges und der Verkehrsteilnehmer. Beschrieben wird diese Konstellation durch die Fahrmanöver der Beteiligten in Relation zueinander. Aus den Fahrmanövern der Szenarien lassen sich die jeweiligen Fahraufgaben ableiten, bei denen der Fahrer durch Systeme der Aktiven Sicherheit unterstützt werden kann. Eine erfolgreiche Durchführung dieser Aufgaben ist die Voraussetzung dafür, dass die Situation nicht kritisch wird oder zu einem Unfall führt.

Im zweiten Schritt werden die Umgebungsbedingungen analysiert, unter denen sich das Szenario abspielt. Hierzu zählen die Infrastruktur, die Ortslage sowie Wetter- und

Sichtbedingungen. Diese Informationen sind wichtig für die genaue Spezifikation und Auslegung der Systeme und für die Auswahl und Entwicklung der Sensoren, auf denen diese basieren. Adressiert z.B. ein System ein Szenario, das sich meist nachts ereignet, ist es erforderlich, einen Sensor zu wählen, der eine hohe Erkennungsrate auch bei Dunkelheit aufweist, um möglichst effektiv zu sein.

Sind die Szenarien nach Manöver und Umgebungsbedingungen identifiziert, müssen Grenzwerte bestimmt werden, um unkritische und kritische Szenarien voneinander trennen zu können. Wie weiter oben beschrieben, ist das Wissen über kritische und unkritische Situationen wichtig, um Auslösebedingungen von Aktiven Sicherheitssystemen festlegen zu können. Eine kritische Situation entspricht wie oben beschreiben einem Verkehrskonflikt, der je nach Szenario durch Grenzwerte bestimmter Parameter beschrieben werden kann (z.B. die Zeit bis zur Kollision beim aktuellen Bewegungszustand der Beteiligten in einer Auffahrsituation). Die Festlegung dieser Parameter und Grenzwerte ist notwendig, um kritische Situationen definieren zu können. Im Zuge dieser Analysen können auch Ursachen untersucht werden, die zu einer kritischen Situation bzw. einem Unfall führen. Deren Kenntnis ist erforderlich, um Potenziale verschiedener Maßnahmen der Aktiven Sicherheit (z.B. Warnung oder autonome Bremsung) in den jeweiligen Szenarien bestimmen und damit Anforderungen für die Entwicklung definieren zu können.

Da der Fahrer im Rahmen dieser Arbeit im Mittelpunkt der Aktiven Sicherheit steht, ist das Wissen über sein Verhalten von entscheidender Bedeutung bei der Auslegung der Systeme. Die Kenntnis des Fahrerverhaltens ist sowohl in unkritischen als auch in kritischen Situationen nützlich. In unkritischen Situationen hilft es die Grenzwerte festzulegen, sobald ein System eingreifen soll. Vorausgesetzt der Fahrer schätzt die Situation richtig ein, empfindet sie als normal und unkritisch und verhält sich dementsprechend, sollte ein System nicht auslösen, da es sonst als störend empfunden wird. Leitet der Fahrer in einem Szenario dagegen eine Notreaktion (z.B. Notbremsung) ein, können über deren Analyse Bedingungen abgeleitet werden, wie und wann der Fahrer unterstützt werden soll, um die Sicherheit in dieser Situation zu erhöhen. Reagiert er z.B. zu spät, kann eine Warnung helfen, eine entsprechende Reaktion früher einzuleiten.

2.4 Übersicht verfügbarer Datenquellen

Um die drei Arten und die vier Teilbereiche eines Szenarios analysieren und beschreiben zu können, sind unterschiedliche Datenquellen nötig (vergleiche auch [38] und [39]). In Bild 2-2 ist der zeitliche Verlauf der Unfallentstehung vom „normalen“ Fahren, über eine kritische Situation bis zum Unfall am Beispiel einer

Fußgängerkollision dargestellt. Unter der Zeitachse mit der TTC (Time To Collision, Zeit bis zum Unfall) sind die drei für die Szenarientwicklung wichtigen Datenquellen aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass jede der Quellen unterschiedliche Phasen der Unfallentstehung abdeckt, die für die vollständige Beschreibung eines Szenarios erforderlich sind (siehe vorheriges Kapitel).

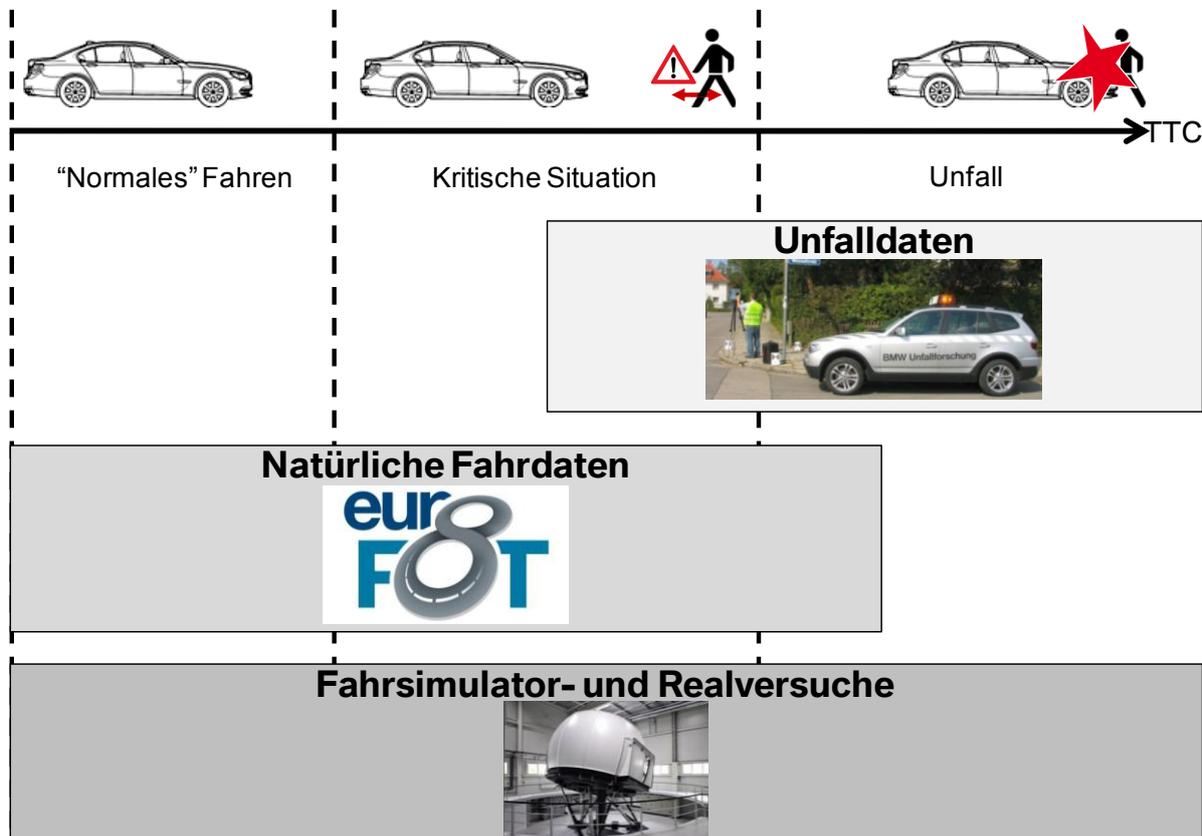


Bild 2-2: Datenquellen für unterschiedliche Phasen der Unfallentstehung

Tabelle 2-4 ordnet die Informationen der verschiedenen Datenquellen den drei Arten und den vier Bereichen von Szenarien zu und zeigt, dass alle für die komplette Beschreibung der Szenarien nötig sind. Im Folgenden wird der Nutzen der drei Datenquellen für die Entwicklung von Referenzszenarien kurz erläutert und anschließend in den Unterkapiteln detailliert beschrieben.

Tabelle 2-4: Übersicht verfügbarer Datenquellen

	Unkritische Szenarien	Kritische Szenarien	Unfall-Szenarien
Konstellation	Fahrdaten	Fahrdaten	Unfalldaten
Bedingungen	Fahrdaten	Fahrdaten	Unfalldaten
Grenzwerte / Ursachen	-	Fahrdaten	(Fahrdaten)
Fahrerverhalten	Fahrdaten / Versuch	Fahrdaten / Versuch	Versuch

Wie dem Bild und der Tabelle zu entnehmen ist, enthalten Unfalldaten Informationen über die Konstellation und die Bedingungen von Kollisionen und Unfällen. Darüber hinaus sind Daten über die Unfallentstehung und die ursächliche Situation verfügbar. Bei herkömmlichen Unfalldatenbanken werden diese jedoch umso ungenauer, je größer die Zeit bis zu einem Unfall ist, da ermittelte Informationen meist auf der Rekonstruktion von Kollisionsabläufen basieren. Bewegungstrajektorien können maximal bis zu ca. 3s vor einem Unfall in ausreichender Qualität zurück berechnet werden. Ebenfalls werden die Ursachen und das genaue Fahrverhalten vor dem Unfall nur bedingt beschrieben. Um Unfallszenarien entwickeln zu können, ist es wichtig, dass die verwendete Unfalldatenbank repräsentativ für die jeweilige Fragestellung und das untersuchte Land ist. Neben der Rekonstruktion von Kollisionen für Unfalldatenbanken bieten Unfalldatenschreiber die Möglichkeit, reale Daten im Fahrzeug aufzuzeichnen (vergleiche Kapitel 2.4.1.6).

Bild 2-3 zeigt qualitativ die relative Anzahl von Unfällen im Vergleich zu kritischen und unkritischen Situationen. Es ist zu erkennen, dass Unfälle, vor allem mit Getöteten oder Personenschaden, sehr seltene Ereignisse im Verkehrsgeschehen sind. Diese Fälle werden in Unfalldatenbanken detailliert dokumentiert. Sie eignen sich daher gut, um typische Unfallszenarien identifizieren und analysieren zu können und effektive Maßnahmen abzuleiten.

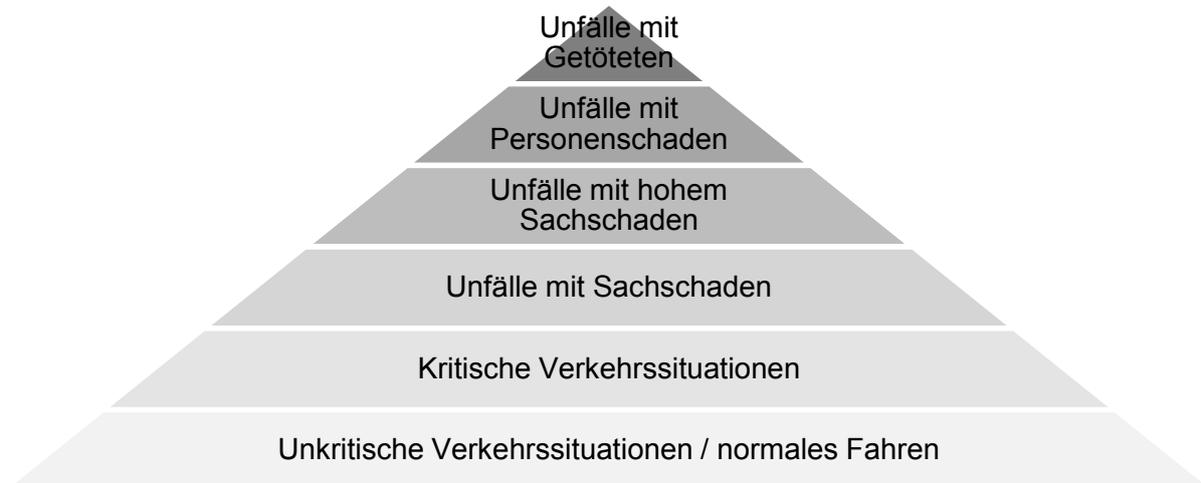


Bild 2-3: Relative Anzahl von Unfällen und (un-)kritischen Situationen (qualitativ)

Da die Aktive Sicherheit sowohl in unkritischen als auch in kritischen Situationen von Bedeutung ist, sind Informationen über den großen übrigen Teil des Verkehrsgeschehens erforderlich. Diese können über Feldversuche, die natürliche Fahrdaten aufzeichnen, generiert werden. Hierzu zählen sogenannte „Naturalistic Driving Studies“ (NDS) und „Field Operational Tests“ (FOT). In diesen Studien werden Fahrzeuge mit Daten- und Videoaufzeichnungsmesstechnik ausgerüstet, um fahrzeugspezifische Daten wie Geschwindigkeit und Beschleunigung sowie Bildmaterial der Situation zu speichern. Die Fahrzeuge werden von den Fahrern in ihrem alltäglichen Verkehrsumfeld bewegt. Dabei werden unkritische, kritische und Unfallsituationen erfasst, die für die Entwicklung von Referenzszenarien analysiert werden. Deshalb können für kritische und unkritische Situationen die Konstellation und die Bedingungen von Szenarien sowie das Fahrerverhalten analysiert werden (vgl. Tabelle 2-4). Außerdem können die Grenzwerte für die Definition einer kritischen Situation identifiziert und die Ursachen hierfür untersucht werden. In diesen Feldstudien ereignen sich meist keine oder sehr wenige Unfälle, daher kann daraus keine repräsentative Aussage über typische Unfallursachen getroffen werden. Die Ergebnisse der Analyse von kritischen Situationen kann teilweise auf Unfälle übertragen werden, da davon ausgegangen werden kann, dass deren Ursachen übereinstimmen.

Das Fahrerverhalten spielt eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung von Aktiven Sicherheitssystemen. Teilweise kann das Fahrerverhalten, wie oben beschrieben, mit Hilfe von realen Fahrdaten aus Feldstudien analysiert werden. Falls keine entsprechenden Daten für eine konkrete Fragestellung vorliegen, kann das Fahrerverhalten alternativ in speziellen Experimenten untersucht werden. Damit diese Versuche repräsentative Ergebnisse erzeugen, ist es wichtig, vorher Referenzszenarien zu identifizieren. Diese können dann in einem Fahrsimulator oder

in einem realen Fahrzeug, z.B. auf dem Testgelände, dargestellt werden, um das Fahrerverhalten in diesen Situationen zu untersuchen. Dabei ist sowohl das Fahrerverhalten in unkritischen wie auch in kritischen Situationen bzw. Unfällen von Interesse. Über die Kenntnis des Fahrerverhaltens in kritischen Situationen bzw. Unfällen können Potenziale für die Entwicklung von neuen Systemen bestimmt werden. Bremst z.B. der Fahrer in der untersuchten Testsituation zu schwach, kann die Unterstützung eines Bremsassistenten helfen, den Unfall zu vermeiden. Außerdem hilft das Wissen über das Fahrerverhalten in typischen unkritischen Situationen bei der Auslegung von Warnbereichen und autonomen Eingriffsstrategien.

Um Referenzszenarien vollständig beschreiben zu können, sollten die Ergebnisse der Analysen der vorgestellten Datenquellen anhand der Zeitachse der Unfallentstehung (vgl. Bild 2-2) zusammengeführt und miteinander kombiniert werden. Es entstehen Szenarien, die von der unkritischen Verkehrssituation bis zu einem Unfall mit den Bewegungsverhältnissen, den Randbedingungen und dem Fahrerverhalten detailliert definiert sind und für die Bewertung und Entwicklung von Aktiver Sicherheit verwendet werden können.

2.4.1 Unfalldaten

Wie oben beschrieben, ist die Analyse von Unfalldaten wichtig, um Referenzszenarien für Aktive Sicherheit zu entwickeln. Dabei ist es erforderlich, dass die Datenbanken einerseits ausreichend Fälle enthalten, um repräsentativ für die jeweilige Region zu sein und andererseits eine hohe Detailtiefe besitzen, um alle relevanten Informationen zur Szenarienerstellung zur Verfügung zu stellen. Dies steht oft im Widerspruch zueinander. Datenbanken, die jeden Unfall mit bestimmten Randbedingungen aufnehmen, sind repräsentativ, enthalten jedoch meist keine detaillierten Informationen. Die Dokumentation erfolgt in der Regel über die Polizei, die die Daten an die amtlichen Unfallstatistiken weitergibt. Die hier erfassten Unfälle werden oft nicht rekonstruiert (vgl. Kapitel 2.4.1) und können daher auch nur wenig Auskunft über die Bewegungsabläufe der Beteiligten (Beschleunigungen, Geschwindigkeiten der Beteiligten, ...) geben. Sie eignen sich gut, um Unfalltypen und die Schwere von Verletzungen landesweit auszuwerten. Datenbanken, die eine hohe Detailtiefe besitzen, verfügen dagegen meistens über eine geringere Anzahl von Unfällen. Teilweise sind hier aber Gewichtungsfaktoren verfügbar, die eine Repräsentativität der Stichprobe für das Verkehrsgeschehen gewährleisten. Eine Kombination der Ergebnisse von Analysen verschiedener Datenbanktypen erscheint daher zielführend, um repräsentative und detaillierte Referenzszenarien zu entwickeln. Systeme der Aktiven Sicherheit werden weltweit angeboten und in

Fahrzeugen verbaut. Da diese dort möglichst effektiv sein sollten, ist außerdem eine Analyse von Unfalldatenbanken unterschiedlicher Länder hilfreich. Während Detailinformationen über die Precrash Phase in Unfalldatenbanken meist auf Rekonstruktionen basieren, bieten Unfalldatenschreiber die Möglichkeit, diese Informationen im Fahrzeug zu erfassen und in Falle eines Unfalls für eine spätere Auswertung zu speichern.

Im Folgenden werden einige wichtige Unfalldatenbanken vorgestellt, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit teilweise verwendet werden. Außerdem wird auf das Thema Unfalldatenschreiber eingegangen.

2.4.1.1 Amtliche Unfallstatistiken am Beispiel Deutschland

Ein Beispiel einer amtlichen Unfallstatistik ist die des deutschen Statistischen Bundesamtes. Es veröffentlicht laufend die aktuellen Daten des Verkehrsgeschehens und der Verkehrsunfälle (z.B.: [41]). Darin sind die in der Verkehrsunfallanzeige enthaltenen Daten aller polizeilich erfassten Unfälle Deutschlands enthalten. Insgesamt werden ca. 2,3 Millionen Unfälle pro Jahr aufgenommen, weshalb die Datenbank repräsentativ für Deutschland ist. Die Verkehrsunfallanzeige wird von dem vor Ort befindlichen Polizisten ausgefüllt und enthält Daten wie die Unfallschwere, Ortslage und Tageszeit. Darüber hinaus werden keine Informationen gespeichert und die Unfälle werden nicht rekonstruiert, um genaue Bewegungsabläufe der Beteiligten zu bestimmen.

2.4.1.2 Die German In-Depth Accident Study (GIDAS)

Neben der amtlichen Unfallstatistik existiert in Deutschland die „German In-Depth Accident Study“ (GIDAS) als weitere Unfalldatenbank [42]. Ihre Eigenschaften sind detailliert in der Quelle [42] beschrieben und die wichtigsten Fakten sind im Folgenden erläutert:

Die GIDAS wurde 1999 von der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. zusammen mit der Bundesanstalt für Straßenwesen gegründet. In der Datenbank werden ca. 2000 Unfälle pro Jahr aufgenommen. Die Daten sind nicht öffentlich, sondern nur dem Konsortium zugänglich. Die Erfassungsgebiete sind die Räume Hannover und Dresden, in denen Unfälle mit Personenschaden nach einem speziellen Verfahren ausgewählt werden, um eine möglichst repräsentative Stichprobe zu erlangen. Aufgenommen werden sie von speziell geschultem Personal, das zeitnah die Unfälle an der Unfallstelle dokumentiert, Fotos und eine Unfallskizze erstellt. Insgesamt werden ca. 3000 unterschiedliche Parameter des Unfalls erfasst, die einerseits auf der Dokumentation an der Unfallstelle aber auch

auf einer anschließenden virtuellen Rekonstruktion basieren. Dazu gehören unter anderem die Umgebungsbedingungen und die Infrastruktur an der Unfallstelle, die Bewegungsgrößen inklusive Kollisionsgeschwindigkeiten und die Verletzungen aller Beteiligten.

Für die Auswertung der Datenbank existieren pro Fall speziell berechnete Gewichtungsfaktoren, die auf dem Vergleich der amtlichen Unfallstatistik und der Stichprobe der GIDAS-Datenbank basieren. Für die Berechnung werden die Parameter Ortslage, Unfallschwere und Tageszeit verwendet und somit wird diesbezüglich eine Repräsentativität der Datenbank für das deutsche Unfallgeschehen gewährleistet. Verwendet man also für die Auswertung die Gewichtungsfaktoren, berücksichtigt man gleichzeitig Teile der amtlichen und repräsentativen Unfallstatistik. Die in Kapitel 3 durchgeführten Analysen wurden unter Anwendung der Gewichtungsfaktoren durchgeführt. Dafür wurde auf eine Analyse der amtlichen Unfallstatistik verzichtet.

2.4.1.3 National Automotive Sampling System (NASS) GES und CDS

In den USA existiert keine mit der deutschen amtlichen Unfallstatistik vergleichbare Datenbank, die alle polizeilich erfassten Unfälle dokumentiert. In 17 Staaten der USA werden allerdings ähnliche Daten gesammelt. Die Parameter und Randbedingungen der Datensammlung sind nicht standardisiert, weshalb sie nicht in einer Datenbank zusammengefasst und gemeinsam ausgewertet werden können. Die hier enthaltenen Unfalldaten werden mit „State Data Collection“ bezeichnet und vom „National Center for Statistics & Analysis“ (NCSA) der „National Highway Safety Administration“ (NHTSA) verwaltet [43].

Als Ersatz für eine amtliche Unfallstatistik wurde 1979 das „National Automotive Sampling System“ (NASS) durch die NHTSA des amerikanischen Verkehrsministeriums (Department of Transportation) gestartet [44]. Dieses Projekt besteht aus zwei Teilen: dem „General Estimates System“ (GES) und dem „Crashworthiness Data System“ (CDS). Die Daten basieren auf Verkehrsunfallberichten der Polizei an über die gesamten USA verteilte Standorte und enthalten unter anderem Informationen über den Unfallort, die beteiligten Fahrzeuge und Personen und deren Verletzungen.

Die in GES enthaltenen Unfälle werden mit einem speziellen Verfahren aus den etwa sechs Millionen polizeilich gemeldeten Unfällen pro Jahr ausgewählt. Es werden seit 1997 pro Jahr ca. 50000 Unfälle erfasst. Zusätzlich zu den im Bericht der Polizei enthaltenen Daten werden durch speziell ausgebildetes Personal detailliertere Informationen über den Unfall gesammelt. Diese Teams befinden sich an 60

Standorten in den USA, die bzgl. unterschiedlicher Faktoren wie Verkehrs- und Bevölkerungsdichte sowie Infrastruktur ausgewählt wurden, um eine für die USA möglichst repräsentative Stichprobe zu erreichen. Es werden nur Fälle aufgenommen, bei denen mindestens einer der Beteiligten verletzt oder getötet wurde bzw. ein größerer Sachschaden entstanden ist. Die Datenbank GES eignet sich aufgrund der hohen Anzahl und der speziell ausgewählten Fälle sehr gut, um landesweit repräsentative Ergebnisse zu generieren. Eine Rekonstruktion der Unfälle erfolgt hier nicht, weshalb detaillierte Informationen bzgl. der Bewegungsabläufe der Beteiligten nicht vorliegen.

CDS dagegen umfasst eine deutlich kleinere Stichprobe mit mehr Informationen pro Fall. Es werden seit 1979 ca. 5000 Unfälle pro Jahr aufgenommen. Die Anforderungen für die Aufnahme eines Unfalles in die Datenbank sind folgende:

- Der Unfall muss polizeilich gemeldet sein.
- Mindestens ein PKW oder Pickup ist beteiligt.
- Durch den Unfall wurde mindestens eine Person verletzt oder es entstand Sachschaden.
- Mindestens ein Fahrzeug ist so stark beschädigt, dass es abgeschleppt werden muss.

Ausgewählt werden die Fälle wieder nach einem speziellen Verfahren, das die Art und das Alter des Fahrzeuges, die Schwere der Verletzungen und die Dauer eines möglichen Krankenhausaufenthaltes eines der Beteiligten berücksichtigt.

Zur Analyse von Fußgängerunfällen, wie sie in Kapitel 3 erfolgt, eignet sich die Datenbank nicht, da nur eine geringe Anzahl von entsprechenden Unfällen enthalten ist. Es kommt nur bei wenigen Fußgängerunfällen zu einer großen Beschädigung, die zu einem Abschleppen des Fahrzeuges führt. Daher sind diese Fälle nicht in CDS enthalten und die Datenbank wird in den folgenden Analysen nicht verwendet.

2.4.1.4 NASS Pedestrian Crash Data Study (PCDS)

Wie oben beschrieben, sind in der NASS CDS Datenbank nur wenige Fußgängerunfälle enthalten. Dafür existieren spezielle Studien der NHTSA, die sich ausschließlich mit Fußgängerunfällen befassen. Ein Beispiel ist die „Pedestrian Injury Causation Study“ (PICS) der NHTSA, die Fußgängerunfälle im Zeitraum von 1977 bis 1980 dokumentiert [45]. Aufgrund der großen technischen Weiterentwicklung und der veränderten Formgebung der Frontbereiche der Fahrzeuge, ist diese Datenbank heute nicht mehr aktuell und wird nur noch selten für Analysen verwendet.

Es wurde ein Nachfolgeprojekt durchgeführt, das bis heute die neuesten und detailliertesten Daten über Fußgängerunfälle im amerikanischen Raum enthält. Die Datenbank wird mit NASS „Pedestrian Crash Data Study“ (PCDS) bezeichnet [46]. Sie wurde vom „Transportation Data Center“ der University of Michigan im Auftrag der NCSA erstellt [46]. Sie enthält eine Stichprobe von Fußgängerunfällen der USA zwischen 1994 und 1998. Es existieren keine Gewichtungsfaktoren wie in GIDAS, um die Verteilungen auf die gesamten USA umzurechnen. Wie in Kapitel 3 anhand der Datenbank NASS GES gezeigt wird, ist die Stichprobe für die USA sehr repräsentativ. Insgesamt wurden ca. 550 Fälle in sechs Städten aufgenommen: Fort Lauderdale (Florida), Dallas (Texas), Buffalo (New York), San Antonio (Texas), Chicago (Illinois) und Seattle (Washington). Diese Fälle sind nicht in NASS GES / CDS enthalten.

Die Auswahl der Fälle erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Mindestens ein Fußgänger muss beteiligt sein.
- Der Unfall muss sich auf der Straße ereignen.
- Das Fahrzeug muss aus dem Baujahr 1990 oder später stammen.
- Das Fahrzeug kollidiert ausschließlich mit dem Fußgänger.
- Das Fahrzeugbauteil, mit dem der Fußgänger kollidiert, muss ein Originalteil sein und darf vorher nicht beschädigt gewesen sein.
- Der Erstkontakt erfolgt vor der A-Säule des Fahrzeuges.

Der Fokus der Studie ist die Untersuchung der Randbedingungen und Ursachen von Fußgängerunfällen sowie der Ursachen der Verletzungen zur Verbesserung der Passiven Sicherheit von Fahrzeugen. Es wurden zahlreiche Parameter des Unfalles dokumentiert und eine Rekonstruktion der Bewegungsverhältnisse durchgeführt. Daher eignet sich die Datenbank sehr gut, um Referenzszenarien für den präventiven Fußgängerschutz abzuleiten. Sie wird in den folgenden Analysen für Fußgängerunfälle in den USA verwendet.

2.4.1.5 Fatality Analysis Reporting System (FARS)

Die einzige Datenbank, die keine Stichprobe von Unfällen in den USA darstellt, ist das „Fatality Analysis Reporting System“ (FARS) [47]. FARS wurde 1975 von NCSA der NHTSA gegründet. Hier werden alle Unfälle in den USA auf einer öffentlichen Straße mit motorisierten Fahrzeugen dokumentiert, bei denen mindestens eine Person so stark verletzt wird, dass sie innerhalb von 30 Tagen verstirbt. Es werden aktuell ca. 30.000 Fälle pro Jahr aufgenommen.

Insgesamt werden mehr als 125 Parameter pro Unfall erfasst, die auf den Polizeiberichten des State Data Systems und auf medizinischen Gutachten basieren.

Die Daten sind in vier Bereiche gegliedert, die folgende Informationen enthalten:

- Informationen über die Randbedingungen des Unfalls: Ort, Tageszeit, Wetterbedingungen, Anzahl von Beteiligten, ...
- Informationen über die Fahrzeuge: Art des Fahrzeuges, Baujahr, ...
- Informationen über beteiligte Personen: Alter, Geschlecht, Position, ...
- Zusätzliche Informationen seit 1999: Herkunft, ethnische Informationen, ...

Aufgrund der vollständigen Erfassung von Unfällen mit den beschriebenen Randbedingungen eignet sich die Datenbank sehr gut, um für die USA unter Berücksichtigung der Auswahlkriterien (mindestens ein Getöteter) repräsentative Ergebnisse zu generieren.

2.4.1.6 Unfalldatenschreiber

Neben der klassischen Rekonstruktion zur Generierung von Zusatzinformationen über Unfälle und deren Precrash Phase sind Unfalldatenschreiber (UDS, englisch: Event Data Recorder (EDR)) eine weitere Methode, diese zu erlangen. UDS sind Geräte, die fest in Fahrzeugen verbaut werden können und fahrdynamische Größen wie Geschwindigkeiten und Beschleunigungen aber auch Fahrerhandlungen wie Bremspedalbetätigung oder das Setzen des Blinkers erfassen. Ereignet sich ein Unfall, werden die Daten vor und während der Kollision in Form von Zeitreihen so abgespeichert, dass sie im Nachhinein ausgelesen und analysiert werden können. Der Vorteil dieser Daten gegenüber einer Rekonstruktion ist, dass sie gemessene Größen sind und nicht auf Annahmen, Befragungen und Berechnungen basieren. Sie bieten daher eine deutlich höhere Qualität und könnten damit zur weiteren Verbesserung der Verkehrssicherheit beitragen. Auch für die Entwicklung von Referenzszenarien für Aktiven Sicherheit könnten sie wertvolle Informationen liefern. Allerdings entstehen durch den Verbau eines UDS Zusatzkosten, die bei einer serienmäßigen Ausstattung vermutlich den Grundpreis der Fahrzeuge erhöhen würden.

In den USA statten einige Fahrzeughersteller bereits jetzt schon ihre Fahrzeuge standardmäßig mit UDS aus. Die NHTSA schätzte in 2006 für die USA eine UDS-Ausstattungsrate von 64% in Neufahrzeugen und erließ eine offizielle Regelung zur Standardisierung der aufgezeichneten Daten [48]. In 2012 wurde von der NHTSA ein Gesetzesvorschlag veröffentlicht, der eine verpflichtende Ausstattung von UDS in neu zugelassenen PKW ab September 2014 vorsieht [49].

In Deutschland und Europa wird das Thema ebenfalls von der Politik diskutiert. Entsprechende Gesetze zum verbindlichen Verbau existieren bisher aber nicht. Dafür müsste zunächst das Thema Datenschutz geklärt werden, da hier

personengebundene Daten gespeichert werden. Außerdem muss geregelt sein, wie diese Daten vor Gericht zur Klärung der Schuldfrage eines Unfalls verwendet werden dürfen und wer diese nutzen darf.

2.4.2 Natürliche Fahrdaten aus Feldversuchen

Um unkritische und kritische Situationen analysieren und daraus Referenzszenarien ableiten zu können, helfen natürliche Fahrdaten aus Feldversuchen. Dabei werden Fahrzeuge mit entsprechender Messtechnik ausgestattet, um Fahrzeugdaten, wie Geschwindigkeit und Beschleunigung, und bei Bedarf Videos von der Umwelt und von dem Fahrer aufzeichnen zu können. Diese Fahrzeuge werden an Personen gegeben, die diese in ihrem normalen Verkehrsumfeld bewegen und somit Informationen über unterschiedlichste Verkehrssituationen sammeln. Neben unkritischen Situationen können hier auch die Randbedingungen und Ursachen für Unfälle und kritische Situationen analysiert werden. Da die Datenaufzeichnung meist kontinuierlich läuft und am Ende der Studien sehr umfangreich ist, ist es hilfreich, die verschiedenen Typen von Situationen sowie kritische Situationen über Algorithmen automatisiert zu erkennen. Fahrerbezogene Ursachen können dann über die Sichtung des Videomaterials untersucht werden.

Wie weiter oben erwähnt existieren zwei Arten von Studien: FOTs und NDS. Bei NDS steht die Sammlung von Daten über das Fahrverhalten im Vordergrund. Mit Hilfe dieser Daten können typische unkritische und kritische Situationen identifiziert und das Fahrerverhalten untersucht werden. Ein wesentliches Ziel ist die Analyse der Ursachen von kritischen Situationen und Unfällen, um daraus Erkenntnisse für die Erhöhung der Verkehrssicherheit, z.B. durch bestimmte Fahrerassistenzsysteme, gewinnen zu können.

Dagegen werden bei FOTs Fahrerassistenzsysteme im natürlichen Fahrbetrieb erprobt und bewertet. Meist fahren die Fahrer eine gewisse Zeit mit und eine gleich lange Zeit ohne das untersuchte System. Die Unterschiede bzgl. des Fahrerverhaltens und des Auftretens von kritischen Situationen können somit analysiert und das System kann bewertet werden.

Im Folgenden werden einige Beispiele bisher durchgeführter FOTs und NDS kurz vorgestellt.

2.4.2.1 Naturalistic Driving Study

Die erste in größerem Rahmen durchgeführte NDS war die „100 Car Naturalistic Driving Study“ ([50], [51], [52], [53], [54]). Das Ziel dieser Studie war es, Bedingungen und Ursachen von kritischen Situationen und Unfällen zu untersuchen

und davon Maßnahmen abzuleiten, um die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Durchgeführt wurde die in 2001 gestartete Studie von einer Kooperation der NHTSA, des ITS Joint Program Office der Federal Highway Administration, der Federal Motor Carrier Safety Administration, des Virginia Department of Transportation und des Virginia Tech Transportation Institute der Virginia Tech University.

Es wurden 100 Fahrzeuge für die Studie verwendet, wobei es sich bei 78 Fahrzeugen um Privatfahrzeuge handelte. Der übrige Teil der Fahrzeuge wurde geleast. Bei der Auswahl der Fahrzeugmodelle und Fahrer wurde auf eine möglichst große Repräsentativität im normalen Verkehrsgeschehen geachtet. Die Fahrzeuge wurden mit Messtechnik ausgestattet, die Fahrzeugdaten, Informationen von Zusatzsensorik, Videos und GPS-Daten aufzeichnet. Sie war über eine Mobilfunkverbindung mit der Zentrale zur Ortung und Live-Auswertung von Ereignissen verbunden. Insgesamt konnte eine Datenbasis generiert werden, die folgenden Umfang und folgende Eigenschaften besitzt:

- Über 3,2 Millionen Fahrzeugkilometer.
- Fast 43000 Stunden an Daten.
- 241 Fahrer haben teilgenommen.
- Pro Fahrzeug wurden Daten über einen Zeitraum von 12 bis 13 Monaten gespeichert.
- Fünf Videokanäle und viele fahrzeugspezifische und kinematische Daten.
- Radarsensoren an der Front und am Heck der Fahrzeuge geben Informationen über Bewegungszustände und Abstände von Verkehrsteilnehmern.

In dem Projekt wurden drei Kategorien von Ereignissen definiert, die mit Hilfe von Algorithmen automatisch aus der großen Menge an Daten identifiziert werden konnten. Hierzu zählen Unfälle, Beinaheunfälle und sonstige kritische Ereignisse. Anschließend erfolgte eine Analyse der Situationen und der manuellen Sichtung der Videodaten, um die Ursachen und Randbedingungen der Ereignisse bestimmen zu können. Die Ereignisse wurden anschließend nach Art, Fahrmanöver, Ursache, beeinflussende Faktoren und Vermeidungsaktionen klassifiziert. Insgesamt wurden 82 Unfälle, 761 Beinaheunfälle und 8295 kritische Ereignisse identifiziert.

Im Rahmen des zweiten „Strategic Highway Research Program“ (SHRP 2) erfolgt ein Nachfolgeprojekt der „100 Car Naturalistic Study“ und damit eine weitere NDS in den USA. SHRP 2 wurde vom amerikanischen Kongress ins Leben gerufen mit dem Ziel, die größten Herausforderungen zur Verbesserung des Verkehrsgeschehens zu identifizieren und zu adressieren [55]. Es wurden folgende vier Forschungsbereiche mit den jeweiligen Zielen definiert:

- Sicherheit: Vermeidung oder Reduzierung der Schwere von Unfällen durch ein Verständnis des Fahrerverhaltens.
- Erneuerung: Adressierung der alternden Infrastruktur durch neue Entwurfs- und Baumethoden, die zu langlebigen Infrastrukturen führen.
- Zuverlässigkeit: Reduzierung von Staus durch die Reduzierung von auslösenden Ereignissen wie Unfällen oder Baustellen.
- Kapazität: Berücksichtigung von ökonomischen und ökologischen Mobilitätsanforderungen für zukünftige Erweiterungen der Transportfähigkeit des Straßennetzes.

Im Teilbereich „Sicherheit“ wird eine NDS durchgeführt, die den Umfang der „100 Car Naturalistic Driving Study“ noch einmal übersteigt. Die NDS startete im Herbst 2010 und sammelt in drei Jahren Daten von 3100 Fahrern in sechs unterschiedlichen Gebieten der USA [56]. Die Fahrzeuge verfügen über eine ähnliche, aber weiterentwickelte Messtechnik wie in der „100 Car Naturalistic Driving Study“. Das Ziel ist auch hier wieder, über die Analyse des Fahrerverhaltens in kritischen Ereignissen und Unfällen Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit ableiten zu können. Da die Datenaufzeichnung erst Ende 2013 abgeschlossen wurde, ist der genaue Umfang der Datenbasis noch nicht bekannt und es sind noch keine Analysen publiziert worden. Aufgrund der Anzahl an Fahrern und der doppelten Studienzeit wird die Datenbasis deutlich größer sein als bei der „100 Car Naturalistic Driving Study“.

2.4.2.2 Field Operational Test

FOTs dienen unter anderem dazu, Fahrerassistenzsysteme bzgl. ihrer Kraftstoffeffizienz und ihres Komfort- und Sicherheitsgewinnes im realen Verkehrsumfeld zu bewerten. In den letzten Jahren wurden weltweit zahlreiche derartige Projekte durchgeführt oder gestartet. Eine sehr gute Übersicht über alle Aktivitäten ist in Quelle [57] zu finden. Ergebnisse dieser Studien helfen Gesetzgebern, Verbraucherschutzorganisationen, Automobilherstellern und Zulieferern abzuwägen, welche Systeme den größten Mehrwert versprechen. Diese werden bis zur Serienreife entwickelt und können in Fahrzeugbewertungsverfahren (z.B. EuroNCAP) berücksichtigt werden. Einige Beispiele großer FOTs werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Der erste europaweit durchgeführte FOT ist der EuroFOT (European Large-Scale Field Operational Tests on In-Vehicle Systems) ([57], [58]). Das Projekt wurde von der Europäischen Kommission unterstützt und wurde zwischen 2008 und 2012 durchgeführt. Beteiligt sind insgesamt 28 Partner, die aus Automobilherstellern,

Zulieferern und Forschungsinstituten bestehen. Das Ziel der Studie ist die Bewertung und Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen. Dafür werden ca. 1000 Fahrzeuge mit Messtechnik ausgerüstet, die etwa ein Jahr auf europäischen Straßen gefahren werden. Es werden folgende Systeme bewertet:

- Systeme der Längsdynamik: Aktive Geschwindigkeitsregelung, Auffahrwarnung, Geschwindigkeitsbegrenzungssystem.
- Systeme der Querdynamik: Spurwechselwarnung, Spurverlassenswarnung / Spurhalteassistent.
- Sonstige Anwendungen: Kurvengeschwindigkeitswarnung, Kraftstoffverbrauchsassistent, sicheres Anzeige-Bedien-Konzept.

Die BMW Group als ein Partner des euroFOT Projektes war an einem Teilprojekt zur Untersuchung der Wirkung von unterschiedlichen Arten von Navigationssystemen und deren Bedienung auf das Fahrerverhalten beteiligt. Für die Studie wurden BMW F10 530d Limousinen verwendet, die von unterschiedlichen Versuchsteilnehmern gefahren wurden. Die dabei aufgezeichneten Daten werden in Kapitel 4 für die Entwicklung von Referenzszenarien aus natürlichen Fahrdaten verwendet und dort beschrieben.

In den USA wurde von 2005 bis 2011 ein FOT des „Integrated Vehicle-Based Safety Systems“ (IVBSS) Programm zur Bewertung des Sicherheitsgewinns und der Akzeptanz von Kollisionswarnsystemen (Auffahrwarnung, Spurwechselwarnung, Spurverlassenswarnung, Kurvengeschwindigkeitswarnung) durchgeführt [59]. Das IVBSS-Programm setzte sich aus dem amerikanischen Verkehrsministerium und einem Industrieteam zusammen, welches von dem University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI) geleitet wurde. Für die Studie wurden Daten von 15 PKWs, die von 108 Fahrern über 12 Monaten gefahren wurden, und von zehn LKWs, die von 18 Fahrern über 10 Monate gefahren wurden, aufgezeichnet. In den Fahrzeugen wurden Informationen über die Umgebung, das Fahrerverhalten, die Fahrzeugbewegung und das Fahrerassistenzsystem gesammelt. Die Akzeptanz der Systeme wurde durch eine Befragung der Probanden ermittelt.

Ein Beispiel für einen FOT mit Fokus auf eine spezielle Technologie ist das „Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland“ (SIM TD) [60]. Hier wurden 21 Fahrerassistenzsysteme aus den drei Bereichen Verkehr, Fahren / Sicherheit und ergänzende Dienste auf Basis von Fahrzeug-Fahrzeug- und Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation untersucht und bewertet. Das Projekt ist 2008 mit einer Laufzeit von 4 Jahren gestartet und die beteiligten Partner sind Automobilhersteller, Zulieferer, Kommunikationsunternehmen, Forschungsinstitute und öffentliche Einrichtungen.

Neben den Fahrzeugen wird die Infrastruktur (z.B. Ampeln) in einem bestimmten Verkehrsgebiet im Raum Frankfurt am Main mit entsprechender Kommunikationstechnologie ausgerüstet, um die Systeme zu realisieren.

2.4.3 Versuche zur Analyse des Fahrerhaltens

Wie bereits beschrieben, tragen Versuche zur Analyse des Fahrerhaltens dazu bei, Referenzszenarien inklusive eines repräsentativen Fahrerhaltens beschreiben zu können. Diese Daten können meist nicht aus Unfalldaten und nur teilweise aus natürlichen Fahrdaten von Feldstudien gewonnen werden. In den Experimenten können gezielt vorher identifizierte Referenzszenarien dargestellt und das Fahrerverhalten analysiert werden. Es werden sowohl unkritische als auch kritische Situationen untersucht, um verschiedene Fragestellungen beantworten zu können. Details hierzu werden in Kapitel 5 beschrieben.

Grundsätzlich besteht bei der Untersuchung von kritischen Situationen und Unfällen das Problem darin, die kritische Situation reproduzierbar darzustellen, ohne dabei die Probanden und den Versuchsleiter zu gefährden. Hierfür existieren zwei Methoden mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen, die im Folgenden erläutert und im weiteren Verlauf der Arbeit an zwei Beispielen konkret vorgestellt werden: Simulatorversuche und Realversuche auf Testgeländen. Außerdem wurde eine Kombination der beiden Versuchsmethoden entwickelt, auf die im dritten Unterkapitel kurz eingegangen wird.

2.4.3.1 Fahrsimulatorversuch

Fahrsimulatoren dienen dazu das Fahrerverhalten in einer virtuellen Verkehrsumgebung untersuchen zu können. Es kann sowohl das Fahrerverhalten in speziellen Situationen analysiert werden als auch die Interaktion des Fahrers mit einem prototypischen Fahrerassistenzsystem oder Bedienkonzept untersucht werden.

Der große Vorteil besteht darin, dass die Experimente ohne eine Gefährdung des Probanden bzw. des Versuchsleiters durchgeführt werden können, was in einer realen Verkehrsumgebung nicht oder nur mit großem Aufwand möglich wäre. Somit kann z.B. das Fahrerverhalten in kritischen Situationen und Unfällen oder bei Fehleingriffen von Fahrerassistenzsystemen untersucht werden. Da die Messsituationen vorher genau spezifiziert und programmiert wurden, sind diese in einem Fahrsimulator immer reproduzierbar. Die Randbedingungen können im Gegensatz zu einem Realversuch jederzeit kontrolliert werden. Meist ist darüber hinaus der Aufwand zur Realisierung eines Experimentes im Fahrsimulator geringer

als der eines Realversuches und es stehen für die Auswertung eine Vielzahl von Messwerten zur Verfügung, die im Realversuch mit aufwändiger Messtechnik aufgezeichnet werden müssen.

Die Nachteile bestehen in der nur teilweise realitätsnahen Versuchssituation. Die Verkehrsumgebung ist simuliert und die Kinematik eines realen Fahrzeugs ist nicht bzw. nicht realitätsgetreu nachgebildet. Außerdem befindet sich der Proband nicht in einem realen Fahrzeug mit realer Umgebung, was sein Verhalten beeinflussen könnte. Die Bewertung von Fahrerhandlungen im fahrdynamischen Grenzbereich (z.B. Notbremsungen, Ausweichmanöver) ist darüber hinaus nur bedingt möglich, da die kinästhetische Rückmeldung nicht der Realität entspricht (vgl. Kapitel 5). Außerdem muss bei der Durchführung von Experimenten in Fahrsimulatoren immer mit einer gewissen Ausfallquote der Probanden gerechnet werden, da es Personen gibt, bei denen es durch die nicht exakte und reale Übereinstimmung der visuellen Umgebung und der haptischen Eindrücke zu einer Simulatorkrankheit kommt, die sich in starker Übelkeit äußert [61]. Der Versuch muss daraufhin abgebrochen werden.

Vor der Auswahl des Fahrsimulators als Versuchswerkzeug sollten die Vor- und Nachteile sowie dessen Qualität immer berücksichtigt werden, um für die spezielle Fragestellung des Experimentes aussagekräftige und auf die Realität übertragbare Ergebnisse generieren zu können.

Fahrsimulatoren bestehen aus einem Anzeigeelement, auf dem die simulierte Umgebung dargestellt wird, und einer statischen oder bewegten Sitzkiste, die den Fahrerarbeitsplatz mit den relevanten Bedien- und Anzeigeelementen enthält ([62], [63]). Die beiden Elemente können je nach Ausführung unterschiedlich aufwändig ausgeführt sein. Einer der ersten Simulatoren wurde in den 60er Jahren entwickelt [64]. Die Anzeige wurde zu Beginn unter anderem noch von einer umlaufenden Rolle realisiert. Bei modernen Fahrsimulatoren existieren unterschiedliche Ausführungen, die die Optik und Kinematik der simulierten Umwelt und des Fahrzeuges mehr oder weniger realitätsnah nachbilden. Ein Beispiel eines statischen Fahrsimulators, bei dem die Sitzkiste bzw. das Fahrzeug nicht bewegt werden, ist in Bild 2-4 dargestellt [65]. Die simulierte Umgebung wird über ein Projektionssystem auf sechs Leinwänden dargestellt. Einfachere statische Simulatoren verwenden hier LCD- oder Plasma-Bildschirme und beschränken sich teilweise nur auf die Sicht nach vorne. Als Sitzkiste wird in dem gezeigten Beispiel eine komplette Karosserie eines Fahrzeuges verwendet, die frei programmierbare Anzeigeelemente enthält. Auch hier existieren einfachere Varianten, die nur aus einem Sitz, der Pedalerie, einem Lenkrad und den Kombiinstrumenten bestehen.



Bild 2-4: Statischer Fahrsimulator [65]

Ein Beispiel für einen dynamischen Fahrsimulator ist in Bild 2-5 dargestellt. Es handelt sich um den dynamischen Simulator der BMW Group, der auch in den Experimenten dieser Arbeit verwendet wird (vgl. Kapitel 5). Er besteht aus einer Kugel, die eine Fahrzeugkarosserie enthält. Auf die Innenseite der Kugel wird die Umgebung für eine 360° Rundumsicht projiziert. Das Fahrzeug enthält frei programmierbare Anzeigeelemente. Die Kugel ist auf einem Hexapod befestigt, der eine dreidimensionale Bewegung ermöglicht, um Brems- und Beschleunigungsbewegungen sowie Kurvenfahrten simulieren zu können. Es existieren heute auch dynamische Fahrsimulatoren, bei denen der Hexapod auf einem zweidimensionalen Schienensystem angebracht ist, um Längs- und Querbewegungen noch besser simulieren zu können.



Bild 2-5: Dynamischer Fahrsimulator (BMW Group)

2.4.3.2 Realversuch auf dem Testgelände

Eine weitere Methode zur Untersuchung des Fahrerhaltens ist die Durchführung von Versuchen im Realfahrzeug auf einem Testgelände. Der Organisationsaufwand ist hier meist größer als bei vergleichbaren Simulatorversuchen, da die

Messsituationen speziell nachgestellt werden müssen und entsprechende Messtechnik vorbereitet werden muss. Dafür findet die Untersuchung in einem realen Fahrzeug mit der dazugehörigen Rundumsicht, der Bedienung bzw. Anzeige und der fahrdynamischen Rückmeldung statt. Daraus ergeben sich diesbezüglich realitätsgetreue Ergebnisse. Die Schwierigkeit besteht bei der Untersuchung von kritischen Situationen bzw. Unfällen in der Darstellung des Testszenarios, ohne die Probanden und den Versuchsleiter zu gefährden.

Hierfür wurden spezielle Werkzeuge entwickelt, die eine Kollision vermeiden können oder sogar durch entsprechende Vorkehrungen diese ermöglichen, ohne einen Schaden zu verursachen. Einige dieser Werkzeuge werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Weit verbreitet in der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen sind aufblasbare Fahrzeuge, die - aufgrund ihres geringen Gewichtes - bei Kollisionen bis zu einer bestimmten Geschwindigkeit keine Schäden verursachen. Da diese jedoch nicht plötzlich erscheinen können, eignen sie sich zwar für Systemtests, jedoch nicht für Probandenstudien, in denen kritische Situationen herbeigeführt werden müssen. Eine Alternative für statische Ziele für Probandenstudien wird in [66] vorgestellt. Hier wird mit Hilfe einer Funkfernsteuerung plötzlich ein Hindernis aus leichten Verbindungsstücken und einer Seilkonstruktion auf der Fahrbahn aufgestellt. Bei einer Kollision entstehen keine größeren Schäden und das Fahrerverhalten kann in dieser Notsituation gut untersucht werden. Allerdings lassen sich mit dieser Methode keine bewegten Ziele darstellen.

EVITA (experimental vehicle for unexpected target approach) ist ein Werkzeug zur Untersuchung von kritischen Auffahrsituationen und wurde vom Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Darmstadt entwickelt. Die Funktionsweise und der Aufbau sind ausführlich in der Quelle [67] beschrieben, eine Darstellung ist in Bild 2-6 zu sehen. Es besteht aus einem Zugfahrzeug und einem an einer Seilwinde befestigten Anhänger, der ein Fahrwerk und Rückansicht - ähnlich einem PKW - besitzt. Um die kritische Situation herzustellen, wird in konstanter Folgefahrt des Gespanns und des zu untersuchenden Fahrzeuges plötzlich der Anhänger abgebremst und die Seilwinde rollt sich ab, da das Zugfahrzeug weiterhin konstant fährt. Verringert sich die TTC (time to collision, Zeit bis zur Kollision bei gegebenen Bewegungsverhältnissen) unter einen festgelegten Wert (gemessen mit Hilfe eines Radarsensors), schließt die Seilwindenbremse und der Anhänger wird abrupt wieder auf die Geschwindigkeit des Zugfahrzeuges beschleunigt. Die Versuche sind für die Probanden im Versuchsfahrzeug ungefährlich und sehr realistisch. Daher eignet sich dieses Werkzeug sehr gut, um das Fahrerverhalten und

Aktive Sicherheitssysteme in kritischen Auffahrsituationen untersuchen zu können. Es ermöglicht allerdings nur Folgebremssituationen bis zu einer technisch bedingten minimalen TTC. Eine Kollision (d.h. $TTC=0$) ist mit diesem Konzept nicht möglich und Systeme, die ihre Maßnahmen (z.B. Vollbremsung) erst wenige 100ms vor dem Aufprall einleiten, können damit nicht bewertet werden.



Bild 2-6: EVITA [67]

Zwei Beispiele für kollidierbare und bewegte Zielobjekte sind in Bild 2-7 dargestellt. Auf der linken Seite ist der „B-Rabbit“ der Bertrandt AG abgebildet [68]. Ein fernsteuerbares Go-Cart wurde mit einem Schaumstoffheck ausgestattet, um Kollisionen bis zu einer gewissen Relativgeschwindigkeit schadenfrei zu ermöglichen. Es verfügt über keinen eigenen Antrieb, weshalb es über die Anhängerkupplung eines Zugfahrzeuges auf die Wunschgeschwindigkeit beschleunigt und anschließend ausgehängt wird. Über die Fernsteuerung kann es nun beliebig gelenkt und gebremst werden. So lassen sich kritische Situationen im Längsverkehr sowie Spurwechselszenarien realisieren. Die Ansicht von hinten ist realitätsnah, weshalb sich sowohl Systemtests wie auch Probandenstudien damit durchführen lassen.

Auf der rechten Seite von Bild 2-7 ist das Werkzeug des ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V.) abgebildet. Es besteht aus einer Schienenkonstruktion, die an der Anhängerkupplung eines Zugfahrzeuges befestigt wird und auf der sich ein in Längsrichtung bewegliches Zielobjekt befindet [69]. Das Zielobjekt besteht aus einem Schlitten, auf dem ein aufblasbares Fahrzeugheck angebracht ist, das bis zu einer Relativgeschwindigkeit von ca. 30-40km/h schadenfrei kollidierbar ist. Dieses Werkzeug eignet sich aufgrund der Schienenkonstruktion ausschließlich für Auffahrsituationen in Längsrichtung, da bei einem Aufprall die Schiene hinter dem Zugfahrzeug in Längsrichtung ausgerichtet sein muss. Kommt es zur Kollision, löst sich der Schlitten mit dem aufblasbaren Heck

durch den Stoß von seiner eingerasteten Endposition und bewegt sich auf den Schienen auf das Zugfahrzeug zu. Dieses muss bei Bedarf beschleunigen, um einen zu starken Aufprall an der Anhängerkupplung zu vermeiden. Der Fahrer des auffahrenden Fahrzeuges sollte das Zielobjekt bei einer Kollision mittig treffen und unmittelbar nach dem Kontakt stark verzögern, um eine Kollision mit dem Zugfahrzeug zu vermeiden. Während sich das auffahrende Fahrzeug nach einer Kollision über der Schienenkonstruktion befindet, darf es nicht ausweichen, da sonst durch Überfahren der Schienen ein Schaden am Werkzeug entstehen kann. Da die Tests aufgrund dieser Einschränkungen nur mit eingewiesenen Fahrern durchgeführt werden können, eignet sich dieses Werkzeug nicht für Experimente mit naiven Probanden. Um Systeme zu bewerten, hat es sich bereits in mehreren Vergleichstests des ADAC bewährt und entwickelt sich als Standard für die Beurteilung von Notbremsassistenten (z.B. [70]).



Bild 2-7: Testwerkzeuge der Bertrandt AG (links, [68]) und des ADAC (rechts, [70])

Für die Entwicklung von präventiven Fußgängerschutzsystemen ist die Untersuchung von kritischen Fußgängersituationen erforderlich. Auch hier existieren Möglichkeiten, diese in einem Realversuch zu analysieren. Erste Experimente zu diesem Thema fanden bereits 1974 im Rahmen der fünften ESV-Konferenz (Enhanced Safety of Vehicles) statt [71]. Zomotor führte hierzu 1987 systematische Untersuchungen durch [72]. Hierbei wurde die Fahrerreaktion auf plötzlich erscheinende Fußgängerattrappen untersucht. Die verwendeten Attrappen bestanden aus Schaumstoff und konnten somit schadenfrei zur Kollision gebracht werden. Sie waren hinter einer Sichtblende am Straßenrand versteckt und wurden mit Hilfe einer Seilkonstruktion vor das sich nähernde Probandenfahrzeug auf die Straße gezogen.

In jüngster Vergangenheit wurden automatisierte Prüfstände entwickelt, um präventive Fußgängerschutzsysteme testen zu können. Ein Beispiel eines solchen Werkzeugs ist der Prüfstand der BMW Group, der in Bild 2-8 dargestellt ist. Hier werden die Fußgängerattrappen meist an einer Brücke über der Straße befestigt und

nach festgelegten Auslösebedingungen und mit vorher programmiertem Bewegungsablauf in den Fahrschlauch gezogen. Kurz vor einer möglichen Kollision werden die Fußgängerattrappen entweder nach oben aus dem Gefahrenbereich gezogen oder nach hinten weggeklappt. Die Schwierigkeit besteht in der realitätsnahen Nachbildung eines Fußgängers, um für jeden möglichen Sensor die Signatur eines realen Menschen zu besitzen. Die Prüfstände eignen sich vor allem für Systemtests. Für Probandenstudien sind sie nur bedingt einsetzbar, da es während des Versuchs zu einem Ausweichmanöver des Probanden und einer daraus resultierenden Kollision mit dem seitlichen Gestänge kommen kann.



Bild 2-8: Prüfstand präventiver Fußgängerschutz (BMW Group)

2.4.3.3 Vehicle in the Loop

Für die Entwicklung von Fahrerassistenzfunktionen und die Untersuchung von kritischen Verkehrssituationen wurde eine Technologie entwickelt, die die beiden Methoden „Simulator“ und „Realversuch“ verbindet, indem ein reales Testfahrzeug mit einer virtuellen Verkehrsumgebung kombiniert wird. Sie wird mit „Vehicle in the Loop“ bezeichnet ([73], [74]).

Dabei fährt der Proband in einem realen Fahrzeug und trägt ein „Head Mounted Display“ (siehe Bild 2-9, linke Seite). Dieses besteht aus einer Videobrille, in die eine virtuelle Umgebung kontaktanalog eingeblendet wird. Wie in einem Simulator kann diese beliebig mit Vorderfahrzeugen, Fußgängern, Straßenverlauf und Randbebauung gestaltet sein (siehe Bild 2-9, rechte Seite). Die Umgebungssimulation ist an die Fahrzeugelektronik angebunden und die Sensordaten von Fahrerassistenzsystemen werden simuliert, damit die reale Fahrzeugbewegung und –reaktion mit der virtuellen Umgebung übereinstimmt.

Durch diesen Aufbau können sicherheitskritische, komplexe und hochdynamische Situationen gefahrlos dargestellt werden. Diese sind genau wie im Fahrsimulator

jederzeit reproduzierbar. Da der Proband ein reales Fahrzeug fährt, bekommt er ein realistisches Fahrerlebnis mit entsprechenden haptischen Rückmeldungen. Als Versuchswerkzeug für Probandenstudien von kritischen Situationen ist es somit sehr gut geeignet. Eine Voraussetzung für die Realisierung eines solchen Experiments ist eine abgesperrte, möglichst große, freie Strecke. Die Nachteile bestehen in dem hohen Aufwand zur Realisierung des Versuchs sowie der technischen Betreuung. Außerdem ist bei aktuellem Stand der Technologie das Sichtfeld eingeschränkt und entspricht nicht dem natürlichen menschlichen Sichtbereich, was allerdings in naher Zukunft durch eine Weiterentwicklung des Systems verbessert werden könnte.



Bild 2-9: Vehicle in the Loop [73]

2.5 Fazit

In diesem Kapitel wurden die Grundlagen der Entwicklung von Referenzszenarien für die Aktive Sicherheit erläutert. Aus der Literatur wurden bestehende Ansätze zur Definition, zum Aufbau und zur Klassifikation von Verkehrssituationen vorgestellt. Darauf aufbauend wurden der Begriff „Referenzszenario“ sowie seine Teilbereiche für diese Arbeit definiert.

Referenzszenarien sind eine begrenzte Anzahl an systematisch abgeleiteten Verkehrssituationen, die repräsentativ für einen Großteil des realen Verkehrsgeschehens sind. Dabei enthält die Beschreibung von Referenzszenarien die Merkmale von Verkehrssituationen, die für die Entwicklung von Aktiver Sicherheit relevant sind. Es gibt drei Arten von Szenarien (unkritische, kritische und Unfallszenarien), die jeweils aus vier Teilen bestehen (Konstellation, Bedingungen, Grenzwerte / Ursachen, Fahrerverhalten).

Um Referenzszenarien beschreiben zu können, sind Informationen über den kompletten zeitlichen Ablauf vor einem Unfall und über die verschiedenen Bestandteile eines Szenarios nötig. Dafür ist die Analyse unterschiedlicher

Datenquellen nötig, die anhand des Zeitstrahls der Entstehung von Unfällen zu einem Referenzszenario kombiniert werden können.

Es wurden die drei identifizierten Datenquellen „Unfalldaten“, „natürliche Fahrdaten“ und „Versuchsergebnisse aus Experimenten zum Fahrerverhalten“ erläutert und ausgewählte Studien, Methoden und Datenbanken vorgestellt. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird nun in den Kapiteln 3, 4 und 5 beispielhaft gezeigt, mit welchen Methoden diese Daten analysiert werden können, um Erkenntnisse für die Entwicklung von Referenzszenarien zu gewinnen.

3 Entwicklung von Referenzszenarien aus Unfalldaten

Wie in Tabelle 2-4 dargestellt, ist ein bedeutender Aspekt bei der Entwicklung von Referenzszenarien die Analyse von Unfalldaten. Die hier identifizierten Szenarien sollten von Systemen der Aktiven Sicherheit vermieden oder mitigiert werden. Sie stellen die Basis für die Bewertung der Effektivität bzw. Wirksamkeit eines Systems dar.

In den folgenden Kapiteln werden - nach einer Übersicht über den Stand der Technik in der Literatur - die in dieser Arbeit entwickelte Methodik und die Ergebnisse zur Entwicklung von Referenzszenarien mit Hilfe von Unfalldaten anhand zweier Themen erläutert. Zunächst werden die Referenzszenarien des präventiven Frontschutzes beschrieben und anschließend wird eine detaillierte Analyse von Unfällen am Beispiel des präventiven Fußgängerschutzes vorgestellt, bei der Datenbanken unterschiedlicher Länder untersucht werden.

3.1 Ergebnisse aus bisherigen Studien

Die Bedeutung von Referenzszenarien aus Unfalldaten für die Anforderungsgenerierung und Bewertung von Systemen der Aktiven Sicherheit zeigt die Vielzahl an nationalen und internationalen Projekten und Organisationen, die sich mit diesem Thema beschäftigen. Einige ausgewählte Beispiele werden im Folgenden kurz vorgestellt.

APROSYS (Advanced Protection Systems) war ein Projekt des sechsten europäischen Rahmenprogrammes [75]. Es wurde von 2004 bis 2009 durchgeführt und hatte den Fokus auf der Verbesserung der Passiven Fahrzeugsicherheit. Ein Teilprojekt befasste sich auch mit der Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Aktiver Sicherheit. Ein Bestandteil der Methodik umfasst die Analyse von Unfalldaten, um systemspezifische Testsituationen abzuleiten, was an einem Beispiel gezeigt wurde. Eine allgemeine, systemunabhängige Unfalldatenanalyse ist hier nicht durchgeführt worden.

Ein weiteres Projekt, das durch die Europäische Kommission unterstützt wurde, beschäftigte sich mit der Bewertung von technischen Anforderungen, Kosten und dem Mehrwert von autonomen Notbremsassistenten (automatic emergency braking systems (AEBS)) [76]. Neben Arbeitspaketen wie Literaturanalyse oder der Berechnung von reduzierten Unfallschweren war auch hier eine Unfallanalyse enthalten, um Potenziale für die untersuchten Systeme bewerten zu können. Hierbei

wurden nur Unfälle untersucht, die für die entsprechenden Systeme eine Relevanz besitzen.

In dem europäischen Projekt CHAMELEON wurden Testsituationen und –methoden auf Basis von Unfalldaten für integrale Sicherheitssysteme entwickelt. Diese nutzen Sensoren der Aktiven Sicherheit, um die Passive Sicherheit zu optimieren [77]. Da der Fokus auf Kollisionen lag, wurden hier vor allem die Kollisionsbedingungen definiert; weniger detailliert wurde die Pre-Crash-Phase untersucht. Dies ist jedoch für die Entwicklung von Systemen der Aktiven Sicherheit erforderlich.

Zwei weitere europäische Programme, die als Ziel die Bewertung von Aktiven Sicherheitssystemen hatten, sind "Testing and Evaluation Methods for ICT-based Safety Systems" (eVALUE) [78] und „Assessment of Vehicle Safety System“ (ASSESS) [79]. Beide Projekte beinhalten eine Unfallanalyse zur Entwicklung von Testsituationen für die Bewertung von Fahrerassistenzsystemen. eVALUE wurde von 2008 bis 2011 durchgeführt. Es wurden Methoden zur Bewertung von Systemen der Längs- und Querdynamik sowie von elektronischen Stabilitätsprogrammen entwickelt. ASSESS startete 2009 mit einer Dauer von 42 Monaten und erarbeitet eine Methodik zur Bewertung von Systemen der Längs- und Querdynamik sowie für präventive Fußgängerschutzsysteme.

Auch in den USA gibt es eine Reihe von Initiativen bzgl. Unfallanalysen für die Entwicklung von Aktiven Sicherheitssystemen. Das Volpe National Transportation Systems Center (Volpe Center) bearbeitete zusammen mit der NHTSA zwei Projekte zur Bewertung und Förderung von Aktiven Sicherheitssystemen. Eines befasste sich mit PKW-Unfällen [80]. Dabei wurde die Pre-Crash-Phase von ausgewählten Fällen der NASS GES Unfalldatenbank von 2000 bis 2003 untersucht, von denen Testsituationen abgeleitet werden. Ebenso gab es eine Analyse von Fußgängerunfällen zur Bewertung von präventiven Fußgängerschutzsystemen [81]. Bei beiden Untersuchungen wurde die Datenbasis auf die konkrete Fragestellung eingeschränkt. Eine allgemeingültige Aussage über repräsentative Szenarien kann davon nicht abgeleitet werden.

3.2 Referenzszenarien für den präventiven Frontschutz

Die folgende Analyse soll als Überblick über die wichtigsten Szenarien für die Entwicklung des präventiven Frontschutzes (pFS) dienen.

3.2.1 *Verwendete Unfalldatenbanken und Grundmenge*

Für die Erstellung der Analyse wurde die GIDAS Datenbank (Beschreibung siehe Kapitel 2.4.1) verwendet. Wie oben beschrieben, besitzt sie bei der Verwendung der

Gewichtungsfaktoren eine gewisse Repräsentativität für das deutsche Unfallgeschehen und bietet zugleich eine hohe Detailtiefe aufgrund rekonstruierter Unfälle, um z.B. Aussagen über Geschwindigkeiten und genaue Bewegungsrichtungen der Beteiligten treffen zu können. Dies ist Voraussetzung, um Referenzszenarien für Aktive Sicherheit bestimmen zu können. Die hier gezeigte Analyse gibt einen Überblick über typische Frontszenarien, wobei ausschließlich Ergebnisse aus Deutschland vorgestellt werden. Eine Analyse von Frontszenarien unterschiedlicher Länder und deren Vergleich wird am Beispiel des präventiven Fußgängerschutzes in Kapitel 3.3 erläutert.

Im Folgenden werden die Einschränkungen und Bedingungen für die Erstellung des Analysedatensatzes beschrieben. Grundsätzlich erfolgt die Auswertung, wenn nicht anders beschrieben, auf Fahrzeugebene mit Gewichtungsfaktoren. Nur so können Anforderungen für Systeme abgeleitet und diese auf Basis der Ergebnisse bewertet werden. Als Grundmenge dienen alle in GIDAS von 1999 bis 2009 verfügbaren PKW-Daten. Es wird pro Unfall nur die erste Kollision und damit auch gleichzeitig die Primärkollision der beteiligten Fahrzeuge betrachtet, weil nur diese für präventive Systeme relevant sind. Außerdem beziehen sich dafür wichtige Informationen wie Unfallstelle und Unfalltyp in der Datenbank nur auf diese Kollision. Jeder PKW wird als Ego-Fahrzeug mit seinem zugehörigen Kollisionsgegner und den entsprechenden Informationen der Kollision berücksichtigt. Handelt es sich bei einem Unfall also um eine Kollision mit zwei PKWs, so wird diese einmal aus der Sicht des ersten und einmal aus der Sicht des zweiten PKWs betrachtet. Daher beziehen sich die ermittelten Zahlen und Häufigkeiten, wenn nicht anders beschrieben, auf die Anzahl beschädigter PKWs in Primärkollisionen und nicht, wie oft verwendet, auf die Anzahl der Unfälle.

Da die Kollisionen bzgl. der Unfallschwere gewichtet werden (siehe Kapitel 3.2.3), werden außerdem nur die Kollisionen mit den oben beschriebenen Kriterien berücksichtigt, die zusätzlich die folgenden Bedingungen erfüllen: Sie müssen gleichzeitig die schwerste Kollision bzgl. der Verletzung der Insassen darstellen, damit die Unfallschwere der betrachteten Kollision zugeordnet werden kann. Darüber hinaus dürfen keine nicht angegurten Insassen im Ego-Fahrzeug vorhanden gewesen sein, wodurch ausgeschlossen wird, dass die Verletzungen primär durch die Kollision und nicht durch fehlende Sicherheitsvorkehrungen entstanden sind.

Für die Entwicklung von Systemen der Aktiven Sicherheit werden derzeit hauptsächlich Sensoren verwendet, die nur bestimmte Teilbereiche um das Fahrzeug abdecken können. Daher wird zunächst anhand der Unfallzahlen der Bereich bestimmt, der am häufigsten und schwersten bei Kollisionen betroffen ist.

Zur Definition der Bereiche werden neben dem Ort des Schadens (GIDAS Parameter: VDI2) auch die Richtung der verursachenden Kraft des Schadens (GIDAS Parameter: VDI1) verwendet (siehe Tabelle 3-1). Dadurch wird sichergestellt, dass sich das Kollisionsobjekt aus der entsprechenden Richtung nähert und von einem möglichen Sensor eines Aktiven Sicherheitssystems erfasst werden kann. Somit werden z.B. Kollisionen ausgeschlossen, bei denen zwar der Schaden an der Front entstand, das Kollisionsobjekt aber von der Seite oder von hinten kam (drei bis neun Uhr), und von einem Sensor nach vorne vermutlich nicht erkannt werden könnte.

Tabelle 3-1: Definition der Teilbereiche um das Fahrzeug

Teilbereich	Ort des Schadens	Richtung der Kraft
Front	Front	10 - 2 Uhr
Seite rechts	Seite rechts	1 - 5 Uhr
Seite links	Seite links	7 - 11 Uhr
Heck	Heck	4 - 8 Uhr

Bild 3-1 zeigt, dass das Fahrzeug deutlich am häufigsten an der Front mit Richtung der Kraft von vorne beschädigt wird.

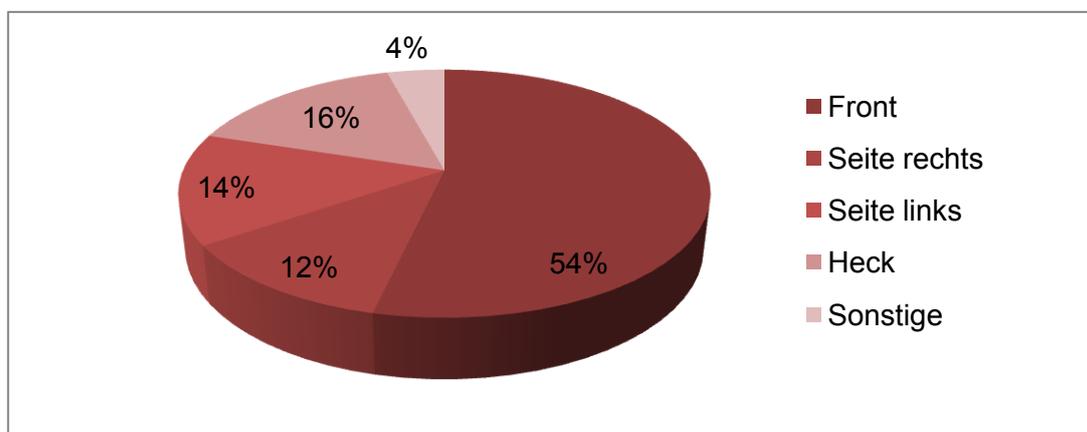


Bild 3-1: Häufigkeit der Teilbereiche um das Fahrzeug bei einer Kollision (GIDAS)

Unter anderem aufgrund der Häufigkeit des Teilbereichs „Front“ ist dessen Anteil bei den Schwerverletzten und Getöteten am größten (siehe Tabelle 3-2). Daher werden in dieser Analyse Referenzszenarien für den präventiven Frontschutz entwickelt und die übrigen Teilbereiche nicht weiter betrachtet. Es ergibt sich damit eine Anzahl von 8182 beschädigten Fahrzeugen, was die Grundmenge der Entwicklung von Referenzszenarien für den präventiven Frontschutz darstellt. Diese werden in dieser Analyse als „PKW mit Frontschaden“ bezeichnet.

Tabelle 3-2: Unfallschwere bei Kollision in den Teilbereichen (GIDAS)

	unverletzt	leicht verletzt	schwer verletzt	getötet
Front	59,5%	45,2%	60,2%	49,4%
Seite rechts	5,6%	2,7%	2,4%	4,7%
Seite links	13,0%	15,6%	18,8%	25,8%
Heck	9,1%	26,0%	6,4%	4,4%
Sonstige	12,9%	10,5%	12,3%	15,7%

Die Art des zu erkennenden Kollisionsgegners ist entscheidend für die Auswahl des Sensors. Bild 3-2 zeigt die Verteilung der Kollisionspartner. Dabei ist zu erkennen, dass 60% der Ego-Fahrzeuge mit Frontschaden mit Fahrzeugen kollidieren. Insgesamt nimmt der Aufprall auf ein Fahrzeug-Heck den größten Anteil mit 24% ein.

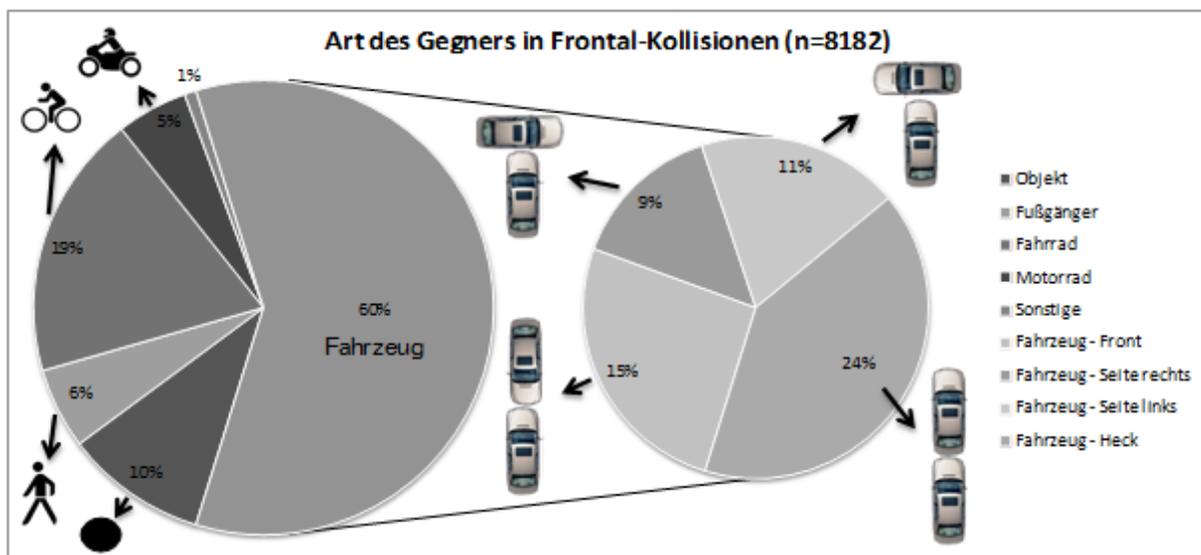


Bild 3-2: Art des Gegners in Frontal-Kollisionen (Häufigkeit)

3.2.2 Entwicklung der Szenarien

Da die Systeme der Aktiven Sicherheit in der Zeit vor einem Unfall wirken, liegt auch bei der Entwicklung von Referenzszenarien der Fokus auf der Phase vor dem Unfall. Unfalldatenbanken beinhalten historisch bedingt eine Vielzahl von Parametern über die Kollision und die Unfallfolgen. Informationen über die Vorunfallphase sind weniger detailliert aufgrund der Ungewissheit bei der Rekonstruktion der Unfälle.

Die Methodik für den Aufbau von Referenzszenarien für Aktive Sicherheit ist in Bild 3-3 dargestellt. Ausgehend von dem Manöver des Ego-Fahrzeugs wird das Szenario um das Manöver des Kollisionsgegners erweitert, um die grundsätzliche Bewegung der beiden Beteiligten zueinander zu beschreiben (das Bild zeigt ein Linksabbiegen

mit Gegenverkehr). Anhang A zeigt eine Übersicht über mögliche Manöver der beiden Beteiligten.

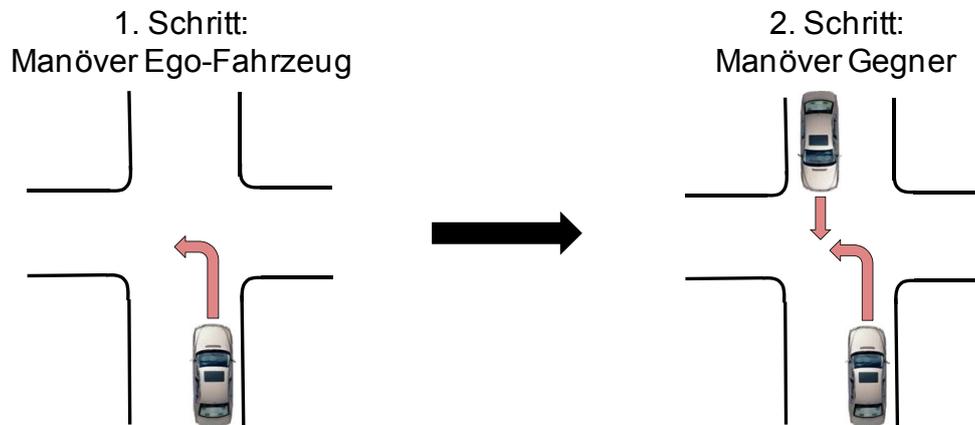


Bild 3-3: Aufbau der Bewegungskonstellation von Szenarien für Aktive Sicherheit

In der GIDAS Datenbank werden die grundsätzlichen Bewegungen der Fahrzeuge in der Vorunfallphase mit Hilfe von Unfalltypen beschrieben, die für die Bestimmung der Manöver in dieser Auswertung verwendet werden. Zur Bestimmung des Unfalltyps wird in GIDAS der Leitfaden des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) verwendet [37]. Allerdings sind für die Festlegung eines Unfalltyps neben der Bewegung der Beteiligten auch andere Parameter wie z.B. die Infrastruktur an der Unfallstelle entscheidend, die für die Aktive Sicherheit und damit für die Entwicklung der Referenzszenarien aber zunächst unberücksichtigt bleiben. Daher werden die Unfalltypen zunächst auf Basis der Manöver der beiden Beteiligten zueinander gruppiert, um gleiche Bewegungsabläufe zusammenzufassen. Eine Übersicht über die Gruppierung ist in Anhang B dieser Arbeit zu finden. Es wurden 48 unterschiedliche Szenarien bestimmt. Die Szenarien „Gerade“, „Linkskurve“ und „Rechtskurve“ wurden mit Hilfe des Parameters „ABKOM“ (dieser beschreibt, ob und auf welcher Seite das Fahrzeug von der Straße abgekommen ist) jeweils in die drei Unterkategorien „abkommen nach links“, „abkommen nach rechts“ und „nicht abgekommen“ unterteilt, um den Bewegungsablauf genauer zu beschreiben.

Da der Unfalltyp immer nur die Bewegungskonstellation der gesamten Konfliktsituation beschreibt und den Beteiligten keine eindeutigen Manöver zuweist, muss dies anschließend über eine entsprechende Methodik mit geeigneten Parametern geschehen. Z.B. enthält der Unfalltyp 542 (Szenario: „Linksabbiegen Nachfolgender“) ein Fahrzeug mit Manöver „linksabbiegen“ und ein Fahrzeug mit Manöver „geradeausfahren“. In diesem Fall wird für die Zuordnung der Manöver zu den Beteiligten der beschädigte Teilbereich verwendet. Damit kann dem Fahrzeug mit Frontschaden das Manöver „geradeausfahren“ und dem Fahrzeug mit

Heckschaden das Manöver „linksabbiegen“ zugewiesen werden. Es wurde für jeden Unfalltyp, der Beteiligte mit unterschiedlichen Manövern enthält, eine Methode definiert, um diese eindeutig zuordnen zu können. In Anhang C sind alle Unfalltypen mit den entsprechenden Identifikationsparametern und –kriterien aufgelistet.

3.2.3 Bestimmung der Wichtigkeit der Szenarien

Um die Bedeutung der Szenarien und Ausprägungen von Parametern zu bestimmen, wurden in dieser Arbeit unterschiedliche Methoden verwendet. Ein Ansatz besteht in der reinen Berechnung der Häufigkeit, d.h. wie viele Fahrzeuge in einem bestimmten Szenario beteiligt sind. Um größtmöglichen Sicherheitsgewinn zu generieren, ist es für die Entwicklung von Systemen der Aktiven Sicherheit auch entscheidend, die Kollisionen zu identifizieren, die zu schweren Verletzungen führen. Dafür wurde eine Methode entwickelt, die eine Kombination von Häufigkeit und Unfallschwere darstellt und somit eine Bewertung der Wichtigkeit der Szenarien und Parameterausprägungen ermöglicht.

Die Basis für diesen Ansatz bilden Kostensätze für Personenschäden und Sachschäden. Sie beinhalten die Kosten, die der Gesellschaft durch einen Unfall entstehen, wie z.B. direkte Behandlungskosten für Verletzungen oder Produktivitätsverlust durch längerfristige Einschränkungen. Diese Kostensätze dienen unter anderem dazu, den wirtschaftlichen Nutzen von Sicherheitssystemen zu berechnen (z.B. in [83]). Hier werden sie verwendet, um die Bedeutung der Szenarien zu berechnen. Da es sich bei dieser Analyse um die Auswertung deutscher Daten (GIDAS) handelt, werden Kostensätze der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) verwendet [84]. Sie enthalten Kosten für Personenschäden je verunglückte Person und für Sachschäden je Unfall und sind in Tabelle 3-3 dargestellt.

Tabelle 3-3: Kostensätze je verunglückte Person bzw. je Unfall (Jahr 2008) [84]

Kostensätze für Personenschäden (je verunglückte Person) in Euro	
Getötete	1.035.165
Schwerverletzte	1.105.06
Leichtverletzte	4.403
Kostensätze für Sachschäden (je Unfall) in Euro	
Unfall mit Getöteten	40.242
Unfall mit Schwerverletzten	19.436
Unfall mit Leichtverletzten	12.775
Schwerwiegender Unfall mit nur Sachschaden	19.035
Übriger Sachschadensunfall	5.550

Die Kostensätze für Personenschäden sind in Tabelle 3-3 bereits pro verunglückte Person auf Basis der globalen Verletzungsschweren angegeben. Sie können somit direkt für diese Auswertung verwendet werden.

Um die Sachschäden je Fahrzeug zu ermitteln, wurden die folgenden Berechnungen durchgeführt. Da in [84] zwischen „schwerwiegender Unfall mit nur Sachschaden“ und „übriger Sachschadensunfall“ unterschieden wird, bei der Betrachtung eines Fahrzeugs in GIDAS aber diese Information nicht verfügbar ist, wird zunächst ein Mittelwert berechnet, um einen Wert für Sachschadensunfälle zu erhalten. Unter Berücksichtigung der Häufigkeit der beiden Arten von Unfällen (Anzahl schwerwiegender Sachschadensunfälle: 91.144, Anzahl übriger Sachschadensunfälle: 1,9 Millionen, vgl. [85]) ergibt sich ein Kostensatz von 6.162 Euro pro Unfall mit nur Sachschaden.

Wie weiter oben beschrieben, wird in dieser Analyse immer nur ein Fahrzeug betrachtet. Daher müssen die Sachschadenskosten je Fahrzeug berechnet werden. Hierfür werden die Kostensätze durch die durchschnittliche Anzahl beteiligter Fahrzeuge je Unfall geteilt. Für das Jahr 2008 ergibt sich bei 411.758 Unfällen (mit Personenschaden und schwerwiegendem Sachschaden) und insgesamt 746.419 beteiligten Fahrzeugen eine durchschnittliche Anzahl von 1,813 beteiligten Fahrzeugen pro Unfall [85]. Tabelle 3-4 zeigt die aus dieser Berechnung resultierenden Kostensätze für Sachschäden pro Fahrzeug.

Tabelle 3-4: Kostensätze je beteiligtes Fahrzeug im Jahr 2008 (in Euro) auf Basis von [84] und [85]

Kostensätze für Sachschäden (je Fahrzeug) in Euro	
Fahrzeug mit Getötetem	22.199
Fahrzeug mit Schwerverletztem	10.722
Fahrzeug mit Leichtverletztem	7.047
Fahrzeug ohne Verletzten	3.399

Auf Basis der Personenschäden und der Sachschäden können für jedes Fahrzeug die Gesamtkosten berechnet werden. Die Sachschadenskosten werden mit der Summe aller Kosten der verletzten Insassen eines Fahrzeug addiert. Dabei wird immer nur das Ego-Fahrzeug betrachtet. Handelt es sich bei einer konkreten Kollision z.B. um ein Fahrzeug mit einem Leichtverletzten, ergibt sich ein Gesamtschaden von 11.450 Euro (7.047 Euro plus 4.403 Euro).

Durch die Multiplikation der Gesamtkosten pro Fahrzeug mit den ursprünglichen Gewichtungsfaktoren der GIDAS Datenbank werden neue Gewichtungsfaktoren berechnet. Eine Auswertung unter Verwendung der neuen Gewichtungsfaktoren

berücksichtigt somit die Häufigkeit und Schwere einer Kollision. Die damit identifizierten Referenzszenarien adressieren die Situationen, die den größten volkswirtschaftlichen Schaden im Ego-Fahrzeug verursachen. Alle Ergebnisse, die unter Berücksichtigung dieser Gewichtungsfaktoren berechnet wurden, werden mit dem englischen Ausdruck „Harm“ bezeichnet. Die Resultate auf Basis der regulären Gewichtungsfaktoren (vgl. Kapitel 2.4.1) werden mit „Häufigkeit“ gekennzeichnet.

Detailliertere Kostensätze auf Basis der MAIS-Skala sind für den US-amerikanischen Raum verfügbar und werden bei der Unfallanalyse des präventiven Fußgängerschutzes in Kapitel 3.3 vorgestellt.

3.2.4 Bestimmung der Bewegungskonstellation

Im Folgenden werden nun die Ergebnisse der Analyse von Referenzszenarien für den präventiven Frontschutz vorgestellt.

Gemäß der Methodik zur Entwicklung der Referenzszenarien (vgl. Kapitel 3.3.2) wird zunächst die Verteilung der Manöver des Ego-Fahrzeugs analysiert, die in Bild 3-4 dargestellt ist. Die Ergebnisse zeigen, dass in Unfällen von PKW mit Frontschäden sowohl mit der Berechnungsmethode „Häufigkeit“ als auch mit „Harm“ das Manöver „Geradeausfahren“ mit Abstand das bedeutendste ist und in ähnlicher Größenordnung liegt. Die Reihenfolge der weiteren Manöver unterscheidet sich bei den beiden Auswertemethoden. „Linksabbiegen“ ist das zweithäufigste Manöver, nimmt bei Berücksichtigung der Unfallschwere aber Rang vier ein. Dafür steigen die Manöver „Rechtskurve“ von Rang drei auf zwei und „Linkskurve“ von vier auf drei. Daraus folgt, dass bei diesen Manövern die Unfallschwere höher ist als beim „Linksabbiegen“. Der Grund hierfür kann unter anderem in den gefahrenen Geschwindigkeiten sowie im Unfallverlauf und den Kollisionsgegnern liegen. Dies ergibt sich aus den weiteren Untersuchungen.

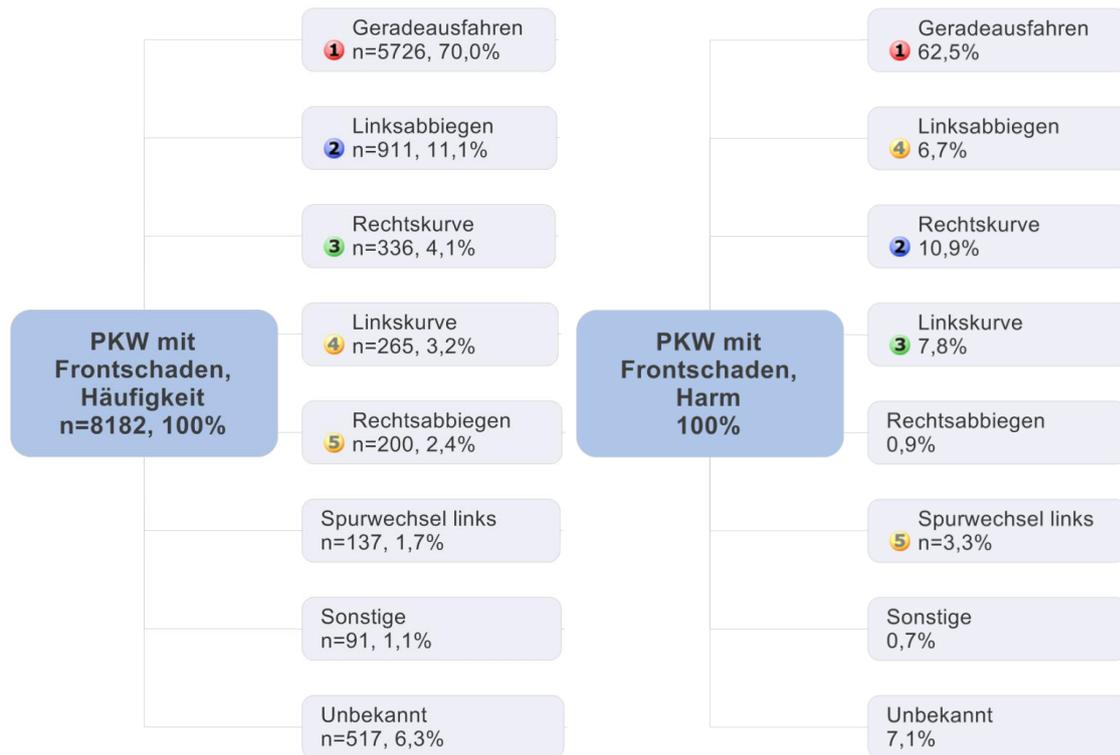


Bild 3-4: Verteilung der Manöver des Ego-Fahrzeugs (links: Häufigkeit, rechts: Harm)

Der zweite Schritt besteht für jedes Manöver des Ego-Fahrzeugs darin, die Manöver des Unfallgegners zu analysieren. Setzt man die beiden Bewegungen zusammen und in Relation zueinander, ergibt sich die Bewegungskonstellation. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3-5 dargestellt. Die wichtigsten Konstellationen, die zusammen über die Hälfte aller Unfälle ergeben, sind jeweils in den beiden Kategorien „Häufigkeit“ und „Harm“ eingefärbt. Sie repräsentieren einen Großteil des realen Unfallgeschehens. Die Werte in Klammern stellen für jede Spalte die Rangfolge der jeweils bedeutendsten zehn Kombinationen dar. Auch hier unterscheiden sich die Ergebnisse je nach gewählter Auswertemethode stark voneinander. Da bei der Methode „Harm“ auch die Häufigkeit berücksichtigt wird, sind die Ergebnisse voneinander abhängig.

Es ist zu erkennen, dass sich die wichtigsten Bewegungskonstellationen aus dem Manöver „Geradeausfahren“ des Ego-Fahrzeugs ergeben, da dieses das mit Abstand häufigste Manöver in dieser Analyse ist. Darüber hinaus führen das Linksabbiegen des Ego-Fahrzeugs sowie bei der Methode „Harm“ die Rechtskurve zu häufigen Kombinationen.

Tabelle 3-5: Verteilung der Bewegungskonstellationen (Rang)

Manöver Ego-Fzg.	Manöver Ego-Fahrzeug Detail	Manöver Gegner	Bewegungskonstellation	Häufigkeit [%]	Harm [%]	
Geradeausfahren	Auffahren	Geradeausfahren	Folgen	19,0 (1)	11,3 (1)	
		Linksabbiegen	Linksabbiegen, Nachfolgender	2,0	1,2	
		-	Sonstige - Auffahren	1,6	0,9	
	Gerade, abkommen nach links	-	Gerade, abkommen nach links	0,9	3,0	
	Gerade, abkommen nach rechts	-	Gerade, abkommen nach rechts	1,2	4,0 (8)	
	Geradeausfahren	Geradeausfahren	Geradeausfahren	Begegnende	2,1 (9)	6,0 (5)
			FG überschreiten	Gerade, Fußgänger überschreiten	4,3 (6)	1,7
			unbekannt	Gerade, körperliches Unvermögen (Ego-F.)	1,5	6,1 (4)
			Radfahrer überqueren	Gerade Radfahrer überqueren	9,3 (3)	3,3
			-	Sonstige – Geradeausf.	6,8	8,2
	Kreuzung überfahren	Kreuzung überfahren	Geradeausfahren	Kreuzen	10,6 (2)	7,0 (2)
			Linksabbiegen	Linksabbiegen, Gegenverkehr	6,1 (4)	5,7 (7)
			Linksabbiegen	Linksabbiegen, Querverkehr	4,3 (7)	3,5 (10)
			-	Sonstige - Kreuzung überfahren	0,6	0,5
Linksabbiegen	Linksabbiegen	Geradeausfahren	Linksabbiegen, Gegenverkehr	5,8 (5)	3,9 (9)	
		Geradeausfahren	Linksabbiegen, Querverkehr	3,1 (8)	1,9	
		-	Sonstige – Linksabb.	2,2	0,9	
Rechtskurve	Rechtskurve	-	Rechtskurve, abkommen nach links	1,1	2,4	
		-	Rechtskurve, nicht abgekommen	2,0 (10)	6,3 (3)	
		-	Rechtskurve, abkommen nach rechts	0,8	1,7	
		-	Sonstige - Rechtskurve	0,2	0,6	
Linkskurve	Linkskurve	-	Linkskurve, abkommen nach rechts	1,2	3,3	
		-	Linkskurve, abkommen nach links	0,5	1,0	
		-	Linkskurve, nicht abgekommen	1,5	3,4	
		-	Sonstige - Linkskurve	0,1	0,1	
Rechtsabbiegen	-	Sonstige – Rechtsabb.	2,4	0,9		
Spurwechsel links	Spurwechsel links	Geradeausfahren	Spurwechsel links, Gegenverkehr	1,0	2,7	
		-	Sonstige - Spurwechsel links	0,7	0,7	
Sonstige unbekannt	-	Sonstige unbekannt	6,3	7,1		

Die wichtigste Bewegungskonstellation ist in beiden Fällen „Folgen“, allerdings wird sie in der Kategorie „Harm“ deutlich weniger gravierend. Der Grund hierfür liegt darin, dass das „Folgen“ in den meisten Fällen zum typischen Auffahrunfall führt, der im Durchschnitt geringere Unfallfolgen hat als z.B. die Bewegungskonstellation „Rechtskurve, nicht abgekommen“, die in der Regel zu einer Frontalkollision zweier Fahrzeuge führt. Dieses wird bei der Betrachtung von „Harm“ deutlich wichtiger als bei „Häufigkeit“. Die übrigen Rangfolgen der Kombinationen sind der Tabelle zu entnehmen.

Aus der Tabelle ergeben sich für die Auswertemethode „Häufigkeit“ fünf repräsentative Bewegungskonstellationen, die über 50% der hier betrachteten Fahrzeuge abdecken. Diese sind beispielhaft in Bild 3-5 dargestellt. Die repräsentativen Konstellationen der Methode „Harm“ sind nicht explizit aufgeführt und somit der Tabelle zu entnehmen. Die Situation „Gerade Radfahrer überqueren“ ist bei der Betrachtung „Harm“ nicht in den repräsentativen Bewegungskonstellationen enthalten. Da die Auswertung fahrzeugbezogen ist, werden bei der Methode „Harm“ nur die Unfallfolgen des Ego-Fahrzeugs berücksichtigt, die im Mittel bei einem Radfahrerunfall geringer sind als bei einer Fahrzeug-Fahrzeug-Kollision oder einer Kollision mit einem Objekt. Dafür kommen bei der „Harm“-Betrachtung zusätzlich die Kombinationen „Rechtskurve, nicht abgekommen“, „Gerade körperliches Unvermögen“, „Begegnende“ und „Gerade, abkommen nach rechts“ hinzu.

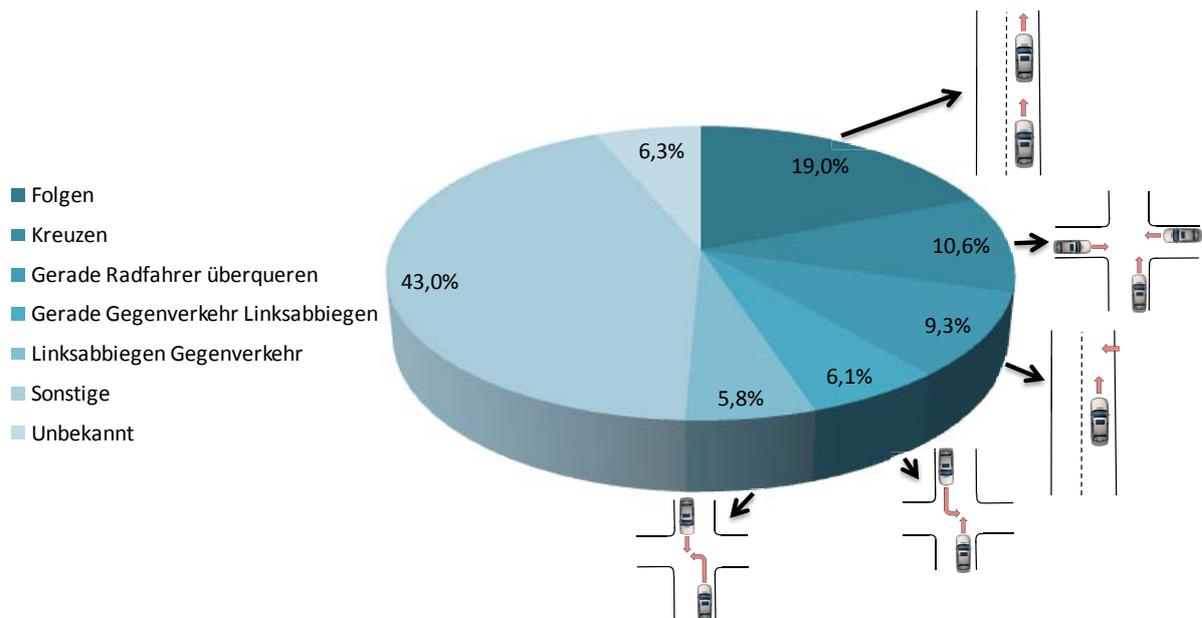


Bild 3-5: Repräsentative Bewegungskonstellationen (Auswertung Häufigkeit)

Daraus lassen sich erste Anforderungen an die grundlegende Funktionalität von Systemen der Aktiven Sicherheit ableiten. Systeme, die hohes Potenzial

versprechen, sind abgeleitet von der bedeutendsten Bewegungskonstellation „Folgen“. Hierzu zählen Systeme der Längsdynamik wie Bremsassistenten, Auffahrwarnen sowie Systeme mit automatischem Bremsengriff. Diese sind auf Basis unterschiedlicher Sensorik wie z.B. Radar- oder Lasersensoren bereits verfügbar [9], [86]. Außerdem versprechen Funktionen hohe Wirksamkeit, die im Kreuzungsbereich Bewegungskonstellationen wie „Kreuzen“ und „Linksabbiegen mit Gegenverkehr“ adressieren können. Diese Systeme sind jedoch größtenteils bei den Fahrzeugherstellern und Zulieferern noch nicht in Serie. Ebenso wenig ist ein präventives System zur Adressierung von Radfahrerunfällen verfügbar, welches die dritthäufigste Bewegungskonstellation und der Grund für über neun Prozent der Frontschäden von PKWs ist. Betrachtet man die Ergebnisse der „Harm“ Methode, sind zusätzlich Situationen von Bedeutung, die auf ein Verlassen der Fahrspur zurückzuführen sind. Diese resultieren meist in einer Kollision mit dem Gegenverkehr oder mit einem Objekt neben der Fahrbahn (z.B. Baum) und sind dementsprechend schwer. Dies erfolgt entweder auf Geraden oder in Kurven, wo unterschiedliche Systeme effektiv sein könnten. Spurverlassenswarner oder spurhalteunterstützende Systeme für gerade oder leicht gekrümmte Straßen sind bereits in Serie, während Funktionen, die durch eine Warnung oder einen Eingriff eine zu hohe Kurvengeschwindigkeit adressieren, noch nicht verfügbar sind.

3.2.5 Bestimmung der Randbedingungen

Neben der Bewegungskonstellation der Beteiligten, die die wichtigste Information für die Entwicklung von Systemen der Aktiven Sicherheit darstellt, sind weitere Analysen notwendig, um Anforderungen definieren, Simulationsmodelle aufbauen und Testszenarien spezifizieren zu können. Diese können in die drei Bereiche Situation, Umwelt und Bewegung eingeteilt werden und ermöglichen die Beschreibung von Situationen, in denen die Systeme eingreifen, und von Bedingungen, unter denen die Systeme funktionieren sollten, um die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Dafür werden in jeder identifizierten repräsentativen Bewegungskonstellation die nachfolgenden Parameter untersucht. Die Bezeichnung der Parameter in der GIDAS Datenbank sind in Klammern angegeben und eine genaue Beschreibung kann dem Codebook entnommen werden [82]:

- Ortslage / Straßenart (Kombination aus ORTSL und STRART): Dieser Parameter klassifiziert die Infrastruktur an der Kollisionsstelle und gibt damit wichtige Hinweise auf Randbebauung und Charakteristika der Straße.
- Tageszeit (TZEIT): Er beschreibt die Lichtverhältnisse zum Unfallzeitpunkt und ist für die Sensorauswahl von Bedeutung.

- Bewölkung, Nebel (WOLK): Die Kenntnis der Sichtverhältnisse zum Unfallzeitpunkt ist auch wichtig für die Auswahl der Sensorik.
- Niederschlag (NIED): Er beschreibt die Sichtverhältnisse und den Straßenzustand.
- Straßenoberfläche (STROB): Dieser Parameter beschreibt den Straßenzustand, woraus der maximal mögliche Verzögerungswert abgeleitet werden kann.
- Art des Unfallgegners (Fahrzeugart (FART) bei Fahrzeugkollisionen und Kollisionsobjekt (KONOBJ) bei sonstigen Unfällen): Diese Information ist wichtig für die Sensorauswahl.
- Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeiten (V_0 und V_K): Diese geben Auskunft über den Geschwindigkeitsbereich, bei dem das System aktiv sein sollte.
- Bremsverhalten und Verzögerung (BV): Dieser Parameter ermöglicht eine Abschätzung der Effektivität von automatischen Bremsengriffen und Bremsverstärkungen.

Im Folgenden werden nun beispielhaft zwei Verteilungen von Parametern in den repräsentativen Bewegungskonstellationen vorgestellt. Die Ergebnisse der übrigen Analysen für „Häufigkeit“ und „Harm“ sind in Anhang D und E enthalten.

Bild 3-6 zeigt die Verteilung des Parameters „Tageszeit“ in den Bewegungskonstellationen und auf der rechten Seite in allen Situationen zusammen (Auswertung „Harm“). Die genauen Werte sind in tabellarischer Form im Anhang zu finden. Die Verteilungen in den Bewegungskonstellationen unterscheiden sich stark voneinander und von der Gesamtverteilung. Dies zeigt, dass es zu Fehlinterpretationen des Systems führen kann, wenn nur die Gesamtverteilung berücksichtigt wird. So würde man z.B. bei Bewegungskonstellation sieben (Gerade, abkommen nach rechts) unter Verwendung der Gesamtverteilung ein System auf Tageslicht auslegen (68% der Fälle), obwohl diese Ausprägung in der speziellen Situation nur in 46% der Fälle zutrifft. Das System wäre somit deutlich weniger effektiv.

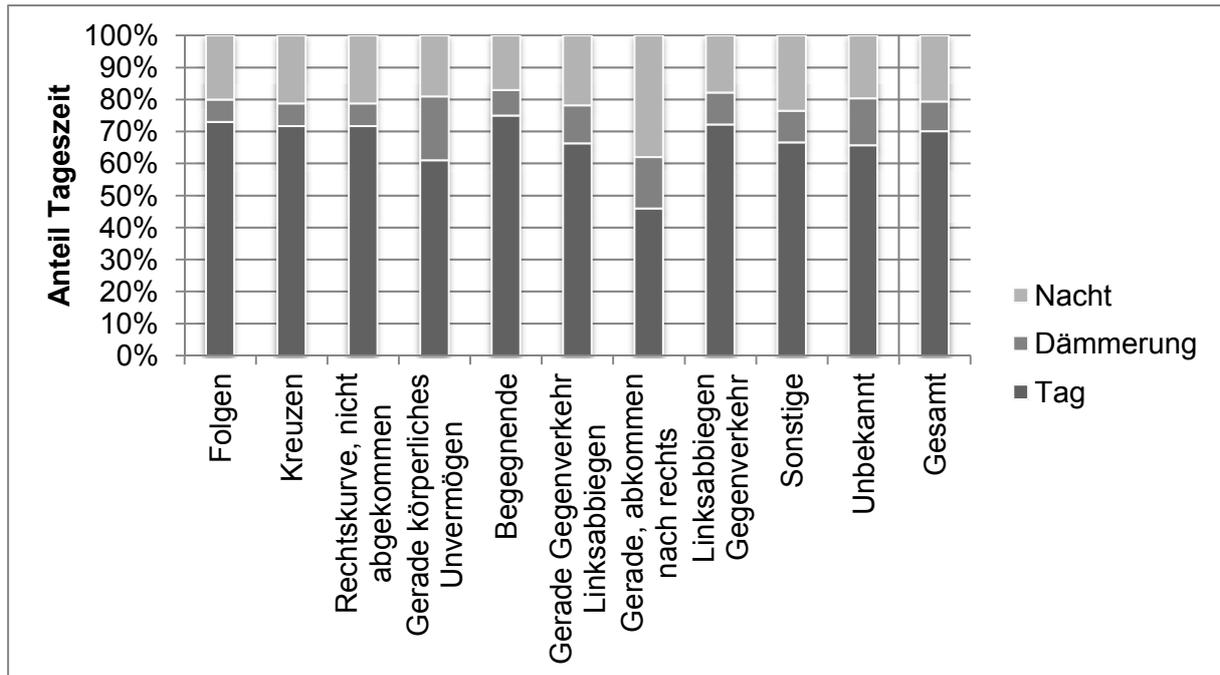
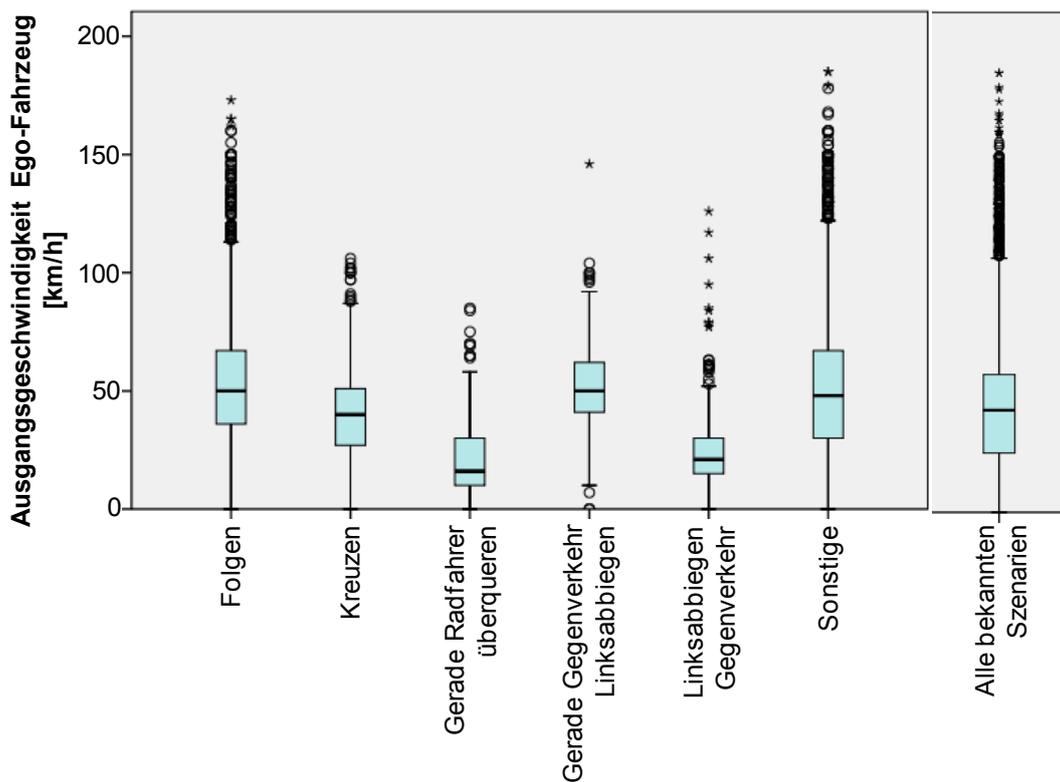


Bild 3-6: Verteilung von „Tageszeit“ in den Bewegungskonstellationen (Harm)

Die Ausgangsgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs ist in Bild 3-7 (Auswertung „Häufigkeit“) in Form eines Boxplot-Diagramms dargestellt. Damit können Verteilungen von numerischen Parametern in den Bewegungskonstellationen schnell in einer Grafik miteinander verglichen werden. Eine schematische Erklärung der unterschiedlichen Bereiche des Boxplots ist ebenfalls in der Abbildung enthalten. Dabei sind die mittleren 50% der Daten sowie der Median in der Box enthalten. Der untere und obere Whisker ist in einem Abstand der eineinhalbfachen Länge der Box vom oberen bzw. unteren Quartil entfernt. Besitzen Werte einen Abstand zwischen dem eineinhalbfachen bis zu einem dreifachen der Boxlänge vom oberen bzw. unteren Quartil, werden sie als Ausreißer bzw. von mehr als dem Dreifachen der Boxlänge als extreme Werte bezeichnet. Auch hier unterscheiden sich die Verteilungen wieder stark voneinander. Die Bewegungskonstellation „Gerade Radfahrer überqueren“ sowie „Linksabbiegen mit Gegenverkehr“ zeigt deutlich geringere Ausgangsgeschwindigkeiten als die übrigen Situationen und die Gesamtverteilung. Auch das sollte für die Systementwicklung z.B. bzgl. der Festlegung einer unteren Aktivierungsgeschwindigkeit berücksichtigt werden.



Erklärung des Boxplots:



Bild 3-7: Ausgangsgeschwindigkeit in den Bewegungskonstellationen (Häufigkeit)

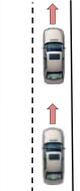
3.2.6 Ableitung von Referenzszenarien

Um Funktionen in speziellen Situationen bzgl. ihrer Wirksamkeit simulieren oder in Real- oder Simulatorexperimenten untersuchen zu können, ist es erforderlich, exakte Referenzszenarien zu definieren, die eine möglichst hohe Repräsentativität besitzen. Mit Hilfe der oben beschriebenen Analyse können jeweils für die Bewegungskonstellationen die wichtigsten Ausprägungen der Parameter ausgewählt werden (gemäß Auswertung „Häufigkeit“ und „Harm“) und der Anteil dieser spezifischen Situation an der Grundmenge kann berechnet werden. Diese Information ist wichtig, um Testergebnisse in diesen Situationen bewerten und Rückschlüsse auf das Gesamtunfallgeschehen ziehen zu können.

In Tabelle 3-6 ist beispielhaft die häufigste Bewegungskonstellation mit den jeweiligen Parameterausprägungen beschrieben. Die weiteren Referenzszenarien mit ihren Parameterausprägungen sind für die Auswertemethode „Häufigkeit“ in Anhang F und für „Harm“ in Anhang G erläutert. Für die Ausgangsgeschwindigkeiten

wurden Bereiche gewählt, die einen Großteil der Werte in dieser Bewegungskonstellation enthalten (mindestens 80%). Betrachtet man die Umgebungsbedingungen, so ist zu erkennen, dass diese grundsätzlich bzgl. der Fahrzeugsicherheit sehr günstig sind. In den meisten Fällen ist es Tag, bewölkt, kein Niederschlag und die Fahrbahn ist trocken. Obwohl die Tabelle eine stark spezifizierte Situation beschreibt, ist ihr Anteil an der Grundmenge dieser Analyse immer noch 3,1%. In der Datenbasis existieren jedoch Fälle, bei denen einzelne Werte der hier untersuchten Parameter unbekannt sind. Nimmt man diese Fälle aus der Relationsmenge heraus und bezieht man die Situation nur auf die Fälle, bei denen Werte für alle untersuchten Parameter in der Datenbank vorhanden sind, so ist der Anteil des Referenzszenarios 5,3%.

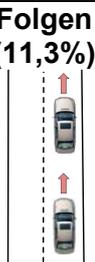
Tabelle 3-6: Beschreibung des Referenzszenarios „Folgen“ (Häufigkeit)

Folgen (19,0%, n=1.553) 	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung (bei bekannten Werten des Parameters)
Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts	66%
	Art des Unfallgegners	PKW	90%
Umwelt	Tageszeit	Tag	75%
	Bewölkung	bewölkt	80%
	Niederschlag	nein	83%
	Straßenoberfläche	trocken	70%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-78km/h	80%
	Ausgangsgeschwindigkeit Gegner	0-40km/h	81%
Bedeutung des Referenzszenarios: →3,1% (5,3% bei bekannten Werten aller Parameter) der Fahrzeuge			

Die Ausprägungen der situations- und umweltbeschreibenden Parameter aus Tabelle 3-6 ergeben sich für die meisten Referenzszenarien (vgl. Anhang). Allerdings vor allem unter der Berücksichtigung der Unfallschwere ist es erforderlich, weitere Ausprägungen hinzuzunehmen, um eine gewisse Repräsentativität der Referenzszenarien zu erreichen. Tabelle 3-7 beschreibt das wichtigste Referenzszenario unter Verwendung der „Harm“-Methode. Da die Ortslage „innerorts“ nur in 50% der Fälle auftritt, sollte man bei der Systemauslegung zusätzlich die Bedingung „Autobahn“ berücksichtigen, um einen Großteil der Fälle zu adressieren. Unter anderem treten weitere Unterschiede in den Ausprägungen, verglichen mit der Auswertung „Häufigkeit“, beim Szenario „Rechtskurve, nicht

abgekommen“ (Ortslage: Landstraße, Straßenoberfläche: trocken + feucht/nass) und bei „Gerade körperliches Unvermögen“ (Ortslage: innerorts + Landstraße) auf (vgl. Anhang). Wie in Tabelle 3-7 im Vergleich zu Tabelle 3-6 auffällt, sind die Geschwindigkeitsbereiche der Beteiligten deutlich höher, was sich auch bei den übrigen Referenzszenarien zeigt. Dies ist damit begründet, dass die Unfallschwere unter anderem von der Geschwindigkeit der Beteiligten abhängt und höhere Geschwindigkeiten tendenziell zu schwereren Unfällen führen. Das wichtigste Szenario unter Berücksichtigung der Unfallfolgen nimmt einen Anteil von 1,8% bzw. von 3,7% bei bekannten Werten aller untersuchten Parameter ein (Tabelle 3-7).

Tabelle 3-7: Beschreibung des Referenzszenarios „Folgen“ (Harm)

 Folgen (11,3%)	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung (bei bekannten Werten des Parameters)
Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts+Autobahn	50% + 33% = 83%
	Art des Unfallgegners	PKW	78%
Umwelt	Tageszeit	Tag	73%
	Bewölkung	bewölkt	78%
	Niederschlag	nein	83%
	Straßenoberfläche	trocken	73%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-115km/h	81%
	Ausgangsgeschwindigkeit Gegner	0-60km/h	81%
Bedeutung des Referenzszenarios: →1,8% (3,7% bei bekannten Werten aller Parameter) der Fahrzeuge.			

3.3 Detaillierte Referenzszenarien für den präventiven Fußgängerschutz

Der Fußgängerunfall tritt aus zwei Gründen nicht in der vorangegangenen Analyse auf: Er ist im Vergleich zu Fahrzeug-Fahrzeug-Kollisionen sehr selten und verursacht in der Regel geringe Unfallfolgen für die PKW-Insassen. Gesellschaftlich besitzt er allerdings eine große Bedeutung im Unfallgeschehen, da die Verletzungen des Fußgängers (FG) in den Kollisionen oft sehr schwer sind, was die folgenden Zahlen zeigen. So kommt es zu 17 getöteten Fußgängern pro 1000 beteiligter Fußgänger an Unfällen mit Personenschaden im Vergleich zu 7 Getöteten pro 1000 Beteiligter an allen Unfällen mit Personenschaden [87]. Das Risiko als Fußgänger in einem Unfall mit Personenschaden getötet zu werden, ist somit 2,4-mal höher als der Durchschnitt

in einem Unfall allgemein. In Bild 3-8 ist die Entwicklung und Bedeutung von Fußgängerunfällen von 1991 bis 2009 in Deutschland und den USA dargestellt (nach [87], [88], [89]). Seit 1991 ist die absolute Anzahl von getöteten Fußgängern in beiden Ländern kontinuierlich gesunken. Der Anteil von getöteten Fußgängern an allen Getöteten im Straßenverkehr ist in beiden Ländern etwa konstant geblieben und seit 2005 leicht angestiegen. Er liegt in Deutschland mit 14% geringfügig über dem der USA mit 12%. Um die Verkehrstoten weiter zu reduzieren, ist es damit essentiell, die Anzahl der Fußgängerunfälle zu reduzieren und ihre Folgen zu mindern. In der Vergangenheit wurde die Fußgängersicherheit vor allem durch Erhöhung der Passiven Sicherheit der Fahrzeuge verbessert [11] und deren Testverfahren bei Verbraucherschutzorganisationen wie z.B. dem Euro NCAP eingeführt [90]. Diese Maßnahmen bestehen meist in der Optimierung eines Fahrzeugbauteils für einen günstigeren Aufprall des Fußgängers auf der Fahrzeugaußenhaut. Es ergibt jedoch nur eingeschränkte Möglichkeiten, den Fußgänger zu schützen, da der Fußgänger mit dem optimierten Bauteil kollidieren muss und nur eine begrenzte Energie absorbiert werden kann, die bei höheren Geschwindigkeiten überschritten wird. Außerdem haben diese Maßnahmen meist keine Auswirkungen auf den Sekundäraufprall des Fußgängers auf der Straße. Systeme der Aktiven Sicherheit, die durch eine Warnung oder einen autonomen Eingriff einen Unfall vermeiden oder dessen Kollisionsgeschwindigkeit reduzieren, versprechen deutlich mehr Wirksamkeit, die Fahrzeugsicherheit zu erhöhen [13].

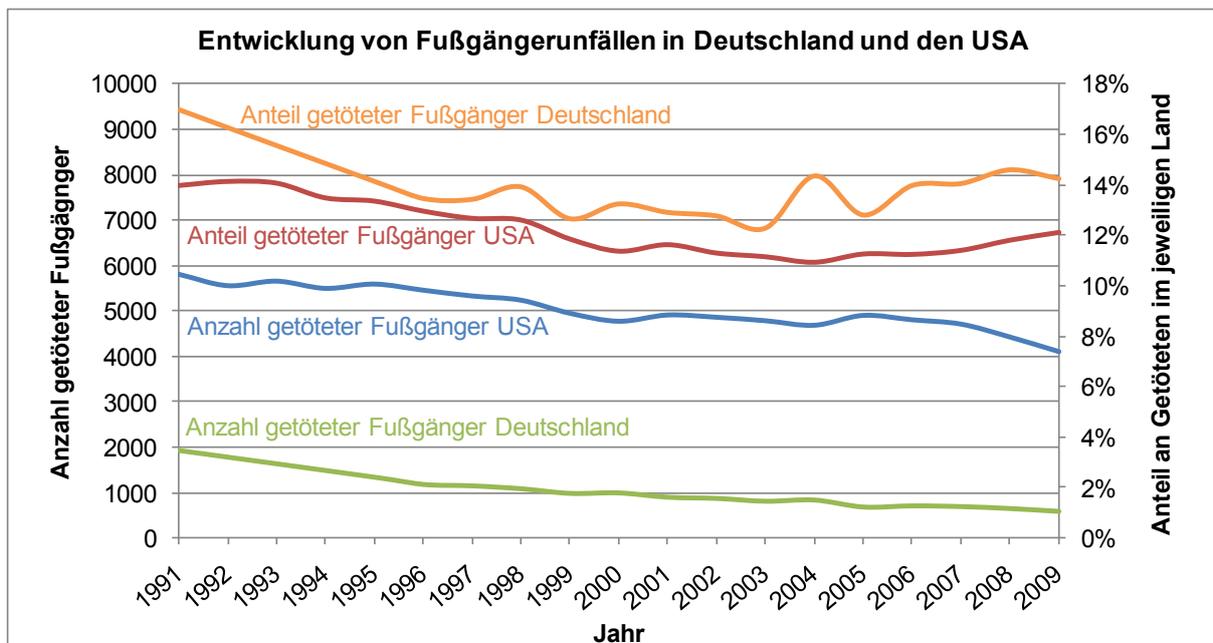


Bild 3-8: Entwicklung von Fußgängerunfällen in Deutschland / USA [87], [88], [89]

Eine wichtige Basis für die Entwicklung und Bewertung solcher Systeme ist die Identifikation und Analyse von Referenzszenarien. Nach der Übersicht über

Frontalkollisionen im vorherigen Kapitel, soll nun am Beispiel des präventiven Fußgängerschutzes (pFGS) die Entwicklung von detaillierten Referenzszenarien auf Basis von Unfalldaten aufgezeigt werden. Die Vorgehensweise ist vergleichbar mit der vorherigen Analyse, wird jedoch um einige methodische Bereiche erweitert. So werden hier unterschiedliche Datenbanken unterschiedlicher Länder miteinander verglichen und, um zusätzliche wichtige Informationen für die Systementwicklung zu erlangen, rekonstruierte, digitale Unfallskizzen verwendet (siehe auch [38], [39], [91] und [92]).

3.3.1 Verwendete Unfalldatenbanken und Grundmenge

Systeme der Aktiven Sicherheit werden in der Regel in mehreren unterschiedlichen Märkten eingesetzt und verkauft. Um eine möglichst hohe Wirksamkeit weltweit zu erreichen, ist es erforderlich, die Daten von mehr als einem Land zu analysieren und für die Systemauslegung zu verwenden. In der im Folgenden vorgestellten Auswertung werden beispielhaft Unfalldaten aus Deutschland und den USA untersucht. Das Ziel ist es, einen kombinierten Satz an Referenzszenarien zu identifizieren, der das Verkehrsgeschehen beider Länder repräsentiert.

Für die Analyse der Unfälle in Deutschland wird - wie in Kapitel 3.2.1 - die GIDAS-Datenbank verwendet. Ein Datenbankabzug der Jahre 1999 bis 2007 dient hierfür als Grundlage. Bild 3-9 zeigt die Ableitung der verwendeten Grundmenge unter Verwendung der Gewichtungsfaktoren. Die Auswahlkriterien waren: Abgeschlossene Unfälle mit mindestens einem beteiligten Fußgänger, der mit einem PKW kollidiert. Außerdem muss in der Ausgangssituation des Unfalls ein Fußgänger enthalten sein, was über den Parameter Unfalltyp erreicht wird. Demnach werden in dieser Analyse z.B. keine Unfälle betrachtet, in denen ein Fahrzeug von der Straße abkommt und zufällig mit einem Fußgänger kollidiert, der sich auf dem Gehweg befindet. In diesen Unfällen ist es ungewiss, ob ein präventives Fußgängerschutzsystem hätte eingreifen können, und es sollte durch andere Systeme adressiert werden, da die Ursache nicht in der Interaktion zwischen Fahrzeug und Fußgänger liegt. Damit werden für die Analyse 5,5% (802) aller abgeschlossenen Fälle des beschriebenen Datensatzes verwendet.

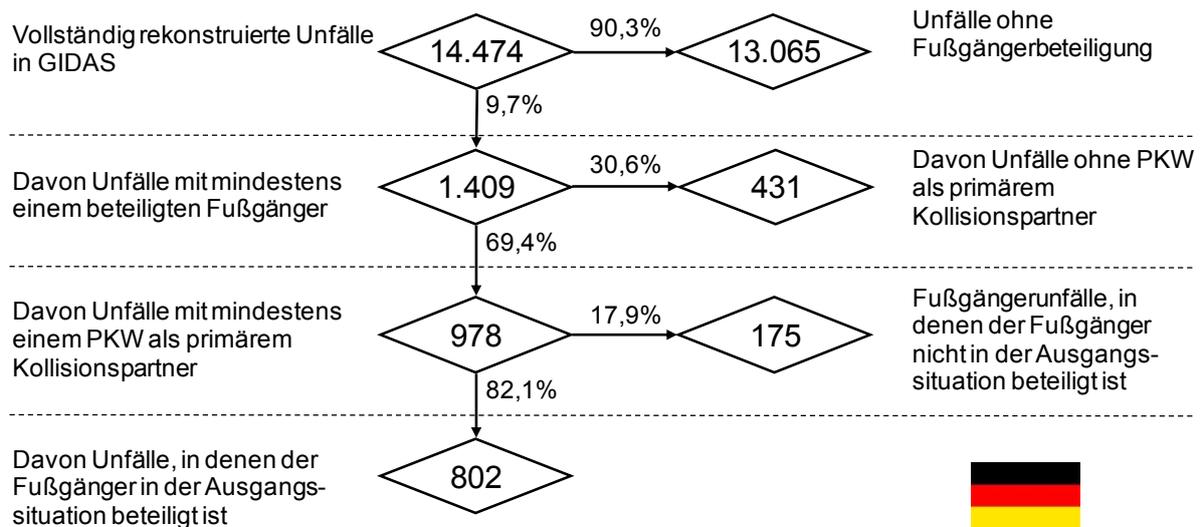


Bild 3-9: Ableitung der verwendeten Grundmenge von Fußgängerunfällen in GIDAS

Unfalldaten des National Automotive Sampling System / General Estimates System (NASS/GES) [44] und des Fatality Analysis Reporting System (FARS) [47] der Jahre 1997 bis 2008 sowie Daten der Pedestrian Crash Data Study (PCDS) [46] von 1994 bis 1998 wurden verwendet, um Fußgängerunfälle in den USA zu untersuchen. Die Auswahlkriterien für die Grundmenge der amerikanischen Datenbanken waren: keine LKW, mindestens ein Fußgänger beteiligt, maximal 2 Fußgänger und 8 PKW pro Fall beteiligt (siehe Bild 3-10). Für die Auswertung von PCDS konnten alle Fälle verwendet werden (vergleiche Kapitel 2.4.1). Damit ergeben sich eine gewichtete Grundmenge von 803.263 (1,1% der Gesamtmenge) in GES (entspricht 19.876 ungewichteten Fällen), 57.716 in FARS (12,8%), und 549 in PCDS (100%, es existieren keine Gewichtungsfaktoren). Die Auswahlkriterien unterscheiden sich zwischen Deutschland und den USA, da unterschiedliche Parameter für die Beschreibung der Pre-Crash-Bewegung der Beteiligten in den Datenbanken existieren, sind jedoch vergleichbar.

Während in Deutschland für die Analyse eine Datenbank ausreichend ist, sind für die USA drei Datenbanken erforderlich, um die Anforderungen nach Detailtiefe und Repräsentativität zu erfüllen (vergleiche Kapitel 2.4.1). NASS/GES ist für die USA die repräsentativste Datenbank. Allerdings basiert sie auf einem Gewichtungssystem und dokumentiert nicht alle Unfälle, die sich in den USA ereignen. Daher wird FARS verwendet, da hier jeder Unfall mit mindestens einem Getöteten aufgenommen wird, und somit verlässliche Zahlen bietet. FARS ermöglicht die Kontrolle der Repräsentativität von GES. Für die Analyse von Details, wie z.B. der Kollisionsgeschwindigkeit, wird PCDS verwendet, die allerdings nur eine geringe Fallzahl enthält.

Zur Kontrolle, wie stark die Gewichtungsfaktoren die absoluten Zahlen von GES verzerren, wurden die Analysen mit und ohne diese Faktoren durchgeführt. Die Ergebnisse waren sehr ähnlich, was bedeutet, dass die aufgenommenen Unfälle eine repräsentative Stichprobe der realen Fußgängerunfälle darstellen. Die im Folgenden präsentierten Ergebnisse wurden stets unter Verwendung der Gewichtungsfaktoren berechnet.

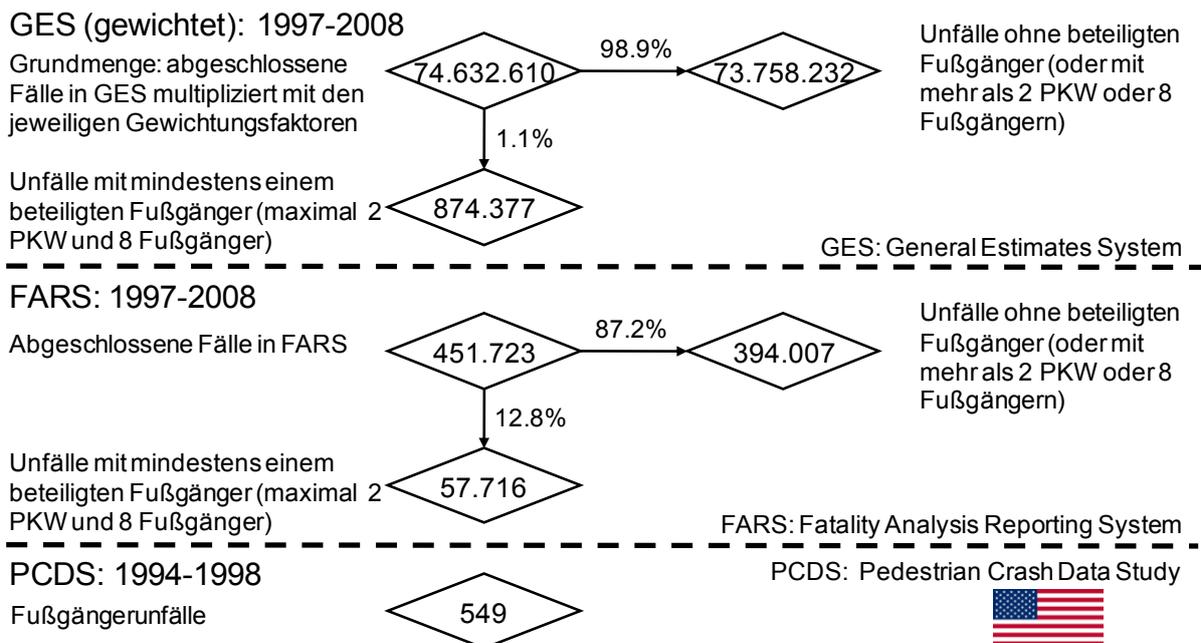


Bild 3-10: Grundmenge von Fußgängerunfällen in NASS/GES, FARS und PCDS

3.3.2 Entwicklung der Szenarien

Wie weiter oben beschrieben, besteht auch in dieser Analyse der erste Schritt darin, typische Bewegungskonstellationen der Beteiligten vor dem Unfall zu identifizieren. Dafür wird die in Kapitel 3.2.2 beschriebene Methodik, die auf den Manövern der Beteiligten basiert, um den Parameter Ortslage erweitert. Die Entstehung und der Verlauf von Fußgängerunfällen unterscheiden sich bei Unfällen, die sich inner- und außerorts ereignen, da Einflussgrößen wie z.B. die Infrastruktur (Verfügbarkeit von Gehwegen, ...) und das Verhalten der Beteiligten (gefährdete Geschwindigkeiten, ...) abweichen. Bild 3-11 zeigt den Aufbau der Bewegungskonstellationen mit Hilfe der drei beschriebenen Parameter. Während GIDAS einen Parameter enthält, der die Ortslage beschreibt (ORTSL), muss dieser für die US amerikanischen Datenbanken hergeleitet werden. Dafür wird die am Unfallort geltende Geschwindigkeitsbegrenzung verwendet, um den Straßentyp und damit die Ortslage zu klassifizieren. Um die Ergebnisse beider Länder vergleichen zu können, wurden 2 Gruppen gebildet. Eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 45 mph eignet sich als Grenze, da Straßen in den USA im innerörtlichen Bereich eine maximale

Geschwindigkeitsbegrenzung von 45 mph besitzen können [93]. Somit werden alle Unfälle mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung von bis zu 45 mph der Kategorie „innerorts“ und Unfälle mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung von über 45 mph der Kategorie „außerorts“ zugeordnet.

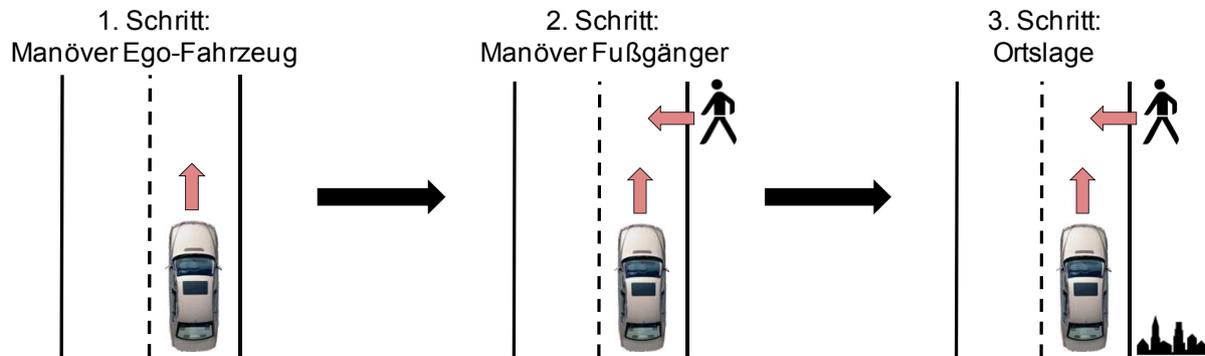


Bild 3-11: Aufbau der Bewegungskonstellation für den präventiven Fußgängerschutz

Eine aufwändige Identifikation der Beteiligten in einem Unfalltyp zur Bestimmung der jeweiligen Manöver wie in Kapitel 3.2.2, ist in dieser Untersuchung für GIDAS nicht notwendig. Die in dieser Analyse verwendeten Unfalltypen enthalten immer ein Fahrzeug und einen Fußgänger mit entsprechendem Manöver, das somit einfach über die Art des Beteiligten zugeordnet werden kann. Die Gruppierung der Unfalltypen ist dem Anhang H zu entnehmen.

Für die US-amerikanischen Datenbanken ist die Zuordnung der Pre-Crash-Bewegung einfacher, da für jeden Beteiligten das Manöver in einem speziellen Parameter dokumentiert wird. In Anhang H sind die verwendeten Parameter für das Fahrzeug und den Fußgänger sowie Ihre Gruppierung zu einheitlichen Manövern aufgeführt.

Für Deutschland und die USA konnten somit für die Beteiligten gleiche Manöver gefunden und den unterschiedlichen Parametern zugeordnet werden. Damit ist ein Vergleich der Ergebnisse aller Datenbanken durchführbar, was Voraussetzung für die folgenden Auswertungen ist.

3.3.3 Bestimmung der Wichtigkeit der Szenarien

Wie auch in Kapitel 3.2.3 werden in der hier vorgestellten Analyse zwei Methoden verwendet, um die Bedeutung der Szenarien zu bestimmen: es wird die Häufigkeit der Szenarien und Parameterausprägungen sowie eine Kombination aus Häufigkeit und Unfallschwere („Harm“-Methode) berechnet.

Da sich diese Untersuchung schwerpunktmäßig auf den US-amerikanischen Raum bezieht, werden Kostensätze aus den USA verwendet. Diese basieren jedoch nicht,

wie in Kapitel 3.2.3 auf der globalen Einteilung der Verletzungsschwere (leicht verletzt, schwer verletzt, getötet), sondern auf der detaillierteren „Abbreviated Injury Scale“ (AIS) [94]. AIS ermöglicht die Bewertung von Verletzungen und die Klassen von null (unverletzt) bis sechs (maximal) beschreiben die Wahrscheinlichkeit, diese Art von Verletzung zu überleben (vergl. [95]). Die Überlebenschance der Stufe sechs ist null Prozent. In der Unfallforschung wird jeder aufgetretenen Verletzung ein AIS Wert zugeordnet. Die maximale Verletzungsschwere einer Person wird durch die „Maximum Abbreviated Injury Scale“ (MAIS) beschrieben. Diese Skala (MAIS) liegt den hier verwendeten Kostensätzen der USA zu Grunde.

Die Datenbanken GIDAS, PCDS und FARS enthalten die Verletzungsschwere auf AIS-Basis, die von Fachpersonal kodiert wird. In der Datenbank GES wird die Verletzungsschwere ausschließlich von dem Polizisten bewertet, der den Unfall dokumentiert, und dafür die praktikablere KABCO-Skala verwendet. Die Bedeutung von KABCO ist wie folgt:

- K: killed (getötet)
- A: incapacitating injury (zur Invalidität führende Verletzung)
- B: non-incapacitating injury (nicht zur Invalidität führende Verletzung)
- C: possible injury (mögliche Verletzung)
- O: no apparent injury (keine ersichtliche Verletzung)
- ISU: injury severity unknown (unbekannte Verletzungsschwere)

Um die Kostensätze auch auf GES anwenden zu können, wurde die KABCO-Einstufung in eine MAIS-Bewertung umgerechnet. Dafür wurde eine Umrechnungsmatrix verwendet, die in [96] entwickelt wurde und in Bild 3-12 dargestellt ist. Sie basiert auf NASS CDS Daten von 1982 bis 1986. Die CDS Datenbank enthält die Verletzungsschwere in MAIS und KABCO und ermöglicht somit die Berechnung der Matrix.

$$\begin{matrix}
 \begin{bmatrix}
 MAIS\ 0 \\
 MAIS\ 1 \\
 MAIS\ 2 \\
 MAIS\ 3 \\
 MAIS\ 4 \\
 MAIS\ 5 \\
 MAIS\ 6
 \end{bmatrix} \\
 =
 \end{matrix}
 \begin{bmatrix}
 0 & 0.01516 & 0.04938 & 0.19919 & 0.92423 & 0.07523 \\
 0 & 0.49183 & 0.79229 & 0.71729 & 0.07342 & 0.70581 \\
 0 & 0.27920 & 0.12487 & 0.06761 & 0.00206 & 0.15708 \\
 0 & 0.16713 & 0.03009 & 0.01509 & 0.00029 & 0.04343 \\
 0 & 0.02907 & 0.00267 & 0.00064 & 0.00001 & 0.01712 \\
 0 & 0.01762 & 0.00069 & 0.00018 & 0.00000 & 0.00134 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 K \\
 A \\
 B \\
 C \\
 O \\
 ISU
 \end{bmatrix}$$

Bild 3-12: KABCO – MAIS Umrechnungsmatrix [96]

Tabelle 3-8 zeigt die Kostensätze auf Basis des MAIS-Wertes, die für diese Analyse verwendet wurden [97]. Die Abstufungen zueinander besitzen ähnliche Relationen

wie die in Kapitel 3.2.3 berechneten Werte für Kostensätze in Deutschland. In den Kostensätzen enthalten sind neben den Sachschadens- und Behandlungskosten auch gesellschaftliche Verluste wie die Produktivität der verunglückten Person. Analysen haben gezeigt, dass bei einem Fußgängerunfall die Insassen des Fahrzeugs meist nicht oder nur leicht verletzt sind, während die maximalen Verletzungen beim Fußgänger auftreten. Ein präventives Fußgängerschutzsystem hat das primäre Ziel, eine Verletzung des Fußgängers zu vermeiden oder deren Schwere zu reduzieren. Daher wird im Unterschied zu Kapitel 3.2 der MAIS-Wert des Fußgängers für die Bestimmung des Kostensatzes des jeweiligen Falles herangezogen. Wie auch in Kapitel 3.2.3 wird für jeden Fall ein neuer Gewichtungsfaktor bestimmt, wobei der ermittelte Kostensatz mit den ursprünglichen Gewichtungsfaktoren (falls in der Datenbank verfügbar) multipliziert wird.

Tabelle 3-8: Kostensätze auf MAIS Basis aus dem Jahr 2000 in US Dollar [97]

MAIS	Unfallsschwere	Kosten [€]
0	unverletzt	1.962
1	gering	10.562
2	ernsthaft	66.820
3	schwer	186.097
4	sehr schwer	348.133
5	kritisch	1.096.161
6	maximal (nicht behandelbar)	977.208

3.3.4 Bestimmung der Bewegungskonstellation

Im Folgenden werden nun die Ergebnisse auf Basis der beschriebenen Methodik vorgestellt. Unterschiede in den Referenzszenarien zwischen USA und Deutschland, ebenso wie zwischen den Auswertungsmethoden „Häufigkeit“ und „Harm“ werden untersucht. Unterschiedliche Datenbanken in den USA werden miteinander verglichen, um ihre Qualität und Repräsentativität zu prüfen.

Die Variation der drei Parameter zur Entwicklung der Bewegungskonstellationen (vgl. Kapitel 3.3.2) ergibt eine Vielzahl an möglichen Kombinationen. Unter Berücksichtigung der Bedeutung der Szenarien auf Basis von „Häufigkeit“ und „Harm“ wurden sieben repräsentative Bewegungskonstellationen identifiziert, die in der linken Spalte von Tabelle 3-9 zusammen mit ihren Rängen aufgeführt sind. Die Kategorie „Sonstige“ enthält alle übrigen Kombinationen und Fälle, in denen mindestens ein Wert der Parameter unbekannt ist. Diese Tabelle zeigt die Bedeutung der Konstellationen in den verschiedenen Datenbanken und unter Verwendung der zwei Auswertemethoden in Prozent. Die dunkelblauen Zellen (mit

weißer Schrift) zeigen die wichtigste, die mittelblauen Zellen die zweitwichtigste und die hellblauen Zellen die drittwichtigste Bewegungskonstellation der jeweiligen Datenbank und Auswertemethode.

Tabelle 3-9: Bewegungskonstellationen für den präventiven Fußgängerschutz (in %)

Bew.-konstellation		GIDAS Häufigkeit	GIDAS Harm	GES Häufigkeit	GES Harm	PCDS Häufigkeit	PCDS Harm	FARS Häufigkeit	GES Fatal
1	Gerade, FG überschreiten, innerorts	72	69	46	47	58	57	39	44
2	Gerade, FG längs, innerorts	2	4	8	8	4	8	11	8
3	Rückwärtsfahren, FG überschreiten, innerorts	9	5	3	2	0	0	1	1
4	Linksabbiegen, FG überschreiten, innerorts	8	6	12	6	16	7	2	1
5	Rechtsabbiegen, FG überschreiten, innerorts	3	2	6	3	6	2	1	1
6	Gerade, FG überschreiten, außerorts	3	9	3	10	4	13	16	17
7	Gerade, FG längs, außerorts	1	4	2	5	1	3	9	8
Sonstige		2	2	21	19	11	11	20	19
gesamt		100	100	100	100	100	100	100	100

Wichtigstes Szenario	Zweitwichtigstes Szenario	Drittwichtigstes Szenario
----------------------	---------------------------	---------------------------

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Auswertemethode „Häufigkeit“ der Datenbanken GIDAS, GES und PCDS vorgestellt. Wie weiter oben beschrieben, eignet sich die GIDAS Datenbank in Deutschland und die GES Datenbank in den USA, um repräsentative Bewegungskonstellationen der jeweiligen Länder zu identifizieren.

Für das deutsche Unfallgeschehen ergibt sich eine Konstellation, die mit 72% einen Großteil aller Fußgängerunfälle repräsentiert (siehe Tabelle 3-9, Spalte „GIDAS Häufigkeit“): In dieser Situation fährt das Fahrzeug geradeaus und der Fußgänger (FG) überschreitet innerorts die Fahrbahn. In der zweithäufigsten

Bewegungskonstellation mit 9% der Fälle fährt das Fahrzeug rückwärts, während in Kombination Nummer drei ein Linksabbiegen (8%) zum Unfall führt. Beide letztgenannten Situationen ereignen sich innerorts, und der Fußgänger überschreitet die Fahrbahn.

Die Analyse der US-amerikanischen Datenbank GES zeigt sehr ähnliche Ergebnisse. Die wichtigste Bewegungskonstellation in Deutschland nimmt auch in den USA den größten Teil der Fußgängerunfälle ein. Die zweitwichtigste Konstellation resultiert aus einem Linksabbiegevorgang, gefolgt von einer kritischen Situation im Längsverkehr. Hierin sind alle Unfälle enthalten, bei denen das Fahrzeug geradeaus fährt und der Fußgänger längs die Straße entlang läuft (mit und entgegen der Fahrtrichtung) oder in der Fahrbahn steht (innerorts). Bei der Untersuchung der GES Datenbank ergibt sich eine große Anzahl von Fällen der Kategorie „Sonstige“, da hier, verglichen mit den übrigen Datenbanken, mehr Werte der untersuchten Parameter unbekannt oder fehlend sind (Gleiches gilt für FARS).

Die Bewegungskonstellationen, die sich aus PCDS ergeben, sind vergleichbar mit GES, obwohl PCDS nur eine kleine Stichprobe von Fußgängerunfällen der USA enthält und keine Gewichtungsfaktoren existieren, um diese den nationalen Unfallzahlen anzupassen (vgl. Kapitel 3.3.1). Das bedeutet, dass die Stichprobe von PCDS, bezogen auf die drei verwendeten Parameter, repräsentativ für das US-amerikanische Unfallgeschehen ist und dass daher die weitergehende Analyse von Details der Referenzszenarien, die in den USA nur in dieser Datenbank enthalten sind, als aussagekräftig betrachtet werden kann (vgl. Kapitel 3.3.5).

Der Unterschied zwischen Fußgängerunfällen in Deutschland und den USA zeigt sich im Wesentlichen bei der Wichtigkeit der Situation, in der das Fahrzeug rückwärts fährt. Der Grund hierfür ist vermutlich, dass sich viele der beschriebenen Fälle nicht auf öffentlichen Straßen ereignen (z.B. auf privaten Grundstückseinfahrten). Diese werden jedoch aufgrund der Aufnahmelogik nicht in der GES Datenbank dokumentiert. In der PCDS Datenbank sind keine Fälle mit einer Rückwärtsbewegung enthalten, da nur Unfälle berücksichtigt werden, in denen das Fahrzeug vorwärts gefahren ist. Die Unterschiede diesbezüglich sind daher auf die Aufnahmebedingungen und -verfahren zurückzuführen. Für einen Vergleich des deutschen und US-amerikanischen Unfallgeschehens, muss demnach diese Bewegungskonstellation ausgeschlossen werden. Sie wurde in der Tabelle jedoch berücksichtigt, da sie in Deutschland eine große Bedeutung hat. Dass die sog. „backing up“-Fälle in den USA auch eine große Rolle spielen, zeigen unterschiedliche Initiativen, die sich vor allem mit den tragischen Fällen beschäftigen, in denen Kinder auf Privatgrundstücken von Familienmitgliedern oder Eltern verletzt

oder getötet werden, und deshalb gesetzliche Vorschriften für spezielle Sicherheitssysteme fordern (z.B. [98]).

Der Vergleich der Ergebnisse der deutschen und US-amerikanischen Datenbanken zeigt, dass die Bewegungskonstellationen, die zu einem Fußgängerunfall führen, in beiden Ländern sehr ähnlich sind. Dies ist überraschend, da große Unterschiede im Verkehrsgeschehen existieren. Es unterscheiden sich unter anderem die Infrastruktur (z.B. die durchschnittliche Anzahl von Fahrspuren ist in den USA höher), die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte (z.B. größerer Anteil von großen Fahrzeugen wie SUVs in den USA) sowie die Exposition von Fahrzeugen und Fußgängern (durchschnittlich gefahrene Kilometer sind höher und zu Fuß zurückgelegte Kilometer sind niedriger in den USA). Der Grund hierfür könnte sein, dass die zu einem Fußgängerunfall führenden Ursachen und Fehler in beiden Ländern vergleichbar sind. Die aufgenommenen Unfalldaten enthalten generell allerdings keine verlässlichen Informationen über die Unfallursachen. Diese Daten können über andere Arten von Studien erhoben werden (z.B. naturalistic driving studies, vgl. Kapitel 2.4 und 4).

Diese Ergebnisse werden auch von Analysen anderer Länder bestätigt. So zeigt z.B. die Unfalldatenbank STRADA, dass die in den USA und Deutschland identifizierte Hauptkonstellation mit über 50% auch in Schweden die wichtigste ist [99]. STRADA ist seit 2002 die offizielle Datenbank in Schweden, die Daten über Verkehrsunfälle mit Verletzten und Getöteten enthält.

Im Folgenden werden nun die Ergebnisse der Auswertemethodik "Harm" (vgl. Kapitel 3.3.3) erläutert, die auch in Tabelle 3-9 aufgeführt sind. Die Bedeutung der Bewegungskonstellationen ändert sich, wenn die Schwere des Unfalls berücksichtigt wird. Die Konstellationen, in denen das Fahrzeug geradeaus fährt und die sich außerorts ereignen, werden wichtiger, da sie im Durchschnitt eine höhere Unfallschwere aufweisen. Die Bedeutung der Abbiegesituationen nimmt ab. Insgesamt bleibt jedoch die bereits mit der Methode "Häufigkeit" identifizierte Bewegungskonstellation die mit Abstand wichtigste und repräsentiert einen Großteil des Unfallgeschehens. Diese wird im folgenden Text mit Bewegungskonstellation 1 bezeichnet.

Die Unterschiede der Ergebnisse der beiden Auswertemethoden werden am Beispiel von GES beschrieben. Die Wichtigkeit der Situationen, in denen das Fahrzeug geradeaus fährt, steigt um ca. 20%, während die Situationen, in denen das Fahrzeug abbiegt oder rückwärts fährt, um ca. 50% abnehmen. Der Grund hierfür ist die im Durchschnitt höhere Kollisionsgeschwindigkeit bei den Situationen mit Geradeausfahrt (vgl. Kapitel 3.3.5). Die Kollisionsgeschwindigkeit ist der

Haupteinflussfaktor für die Schwere eines Fußgängerunfalls, da das Verletzungsrisiko mit zunehmender Geschwindigkeit steigt [12]. Außerdem nehmen die Bewegungskonstellationen, die sich außerorts ereignen, an Bedeutung zu. In GES steigt der Anteil der Konstellation, in dem das Fahrzeug geradeaus fährt und der Fußgänger außerorts die Straße überschreitet, um etwa das Dreifache und rückt somit von der sechst- zur zweitwichtigsten Bewegungskonstellation auf. Der Grund hierfür ist erneut die höhere Kollisionsgeschwindigkeit auf Landstraßen und Autobahnen im Vergleich zum Stadtverkehr. Die Analysen von GIDAS ebenso wie von PCDS zeigen auch hier vergleichbare Ergebnisse (siehe Tabelle 3-9).

Betrachtet man die Verteilung der Bewegungskonstellationen in FARS, setzt sich der gleiche Trend in der Verschiebung der Anteile wie bei dem Vergleich zwischen „Häufigkeit“ und „Harm“ fort. Die Situationen, in denen das Fahrzeug geradeaus fährt und die sich außerorts ereignen, sind hier noch bedeutender. FARS enthält ausschließlich Unfälle mit einem Getöteten und somit nur die schwersten Unfälle, was zu dieser Änderung der Verteilung führt. Aber auch, wenn der Fokus bei der Entwicklung eines Aktiven Sicherheitssystems auf der Reduzierung von Getöteten bei Fußgängerunfällen liegt, sollte es auf die bisher bedeutendste Bewegungskonstellation ausgelegt werden, weil es mit 39% auch in FARS die meisten Fälle repräsentiert.

Die letzte Spalte von Tabelle 3-9 dient dazu die Repräsentativität von GES zu prüfen. GES enthält wie beschrieben nicht alle, in den USA aufgetretenen Unfälle, sondern basiert auf einem Gewichtungssystem. GES wurde für diesen Test nach den tödlichen Unfällen gefiltert und eine Auswertung der Bewegungskonstellationen durchgeführt (siehe Spalte „GES Fatal“). Die Ergebnisse zeigen eine hohe Korrelation mit der FARS-Datenbank. Das bedeutet, dass GES, zumindest für diese Stichprobe, repräsentativ für das US-Unfallgeschehen ist und Auswertungen von weiteren Parametern eine gewisse Aussagekraft besitzen.

3.3.5 Bestimmung der Randbedingungen

Nach der Identifikation der repräsentativen Bewegungskonstellationen erfolgt nun die Untersuchung der Bedingungen, unter denen diese stattfinden (vgl. Kapitel 2.2). Hierfür werden im Folgenden am Beispiel des präventiven Fußgängerschutzes und ausgewählter Parameter Informationen aus Unfalldatenbanken unterschiedlicher Länder und Auswertemethoden sowie aus digitalen Unfallskizzen untersucht und dargestellt.

Es werden, wie auch in Kapitel 3.2.5, wichtige Parameter analysiert, die die Leistung eines Systems sowie die Situation und Handlungen der Beteiligten beschreiben und

beeinflussen. Die untersuchten Parameter sowie deren Verfügbarkeit in den unterschiedlichen Datenbanken sind in Tabelle 3-10 aufgeführt. Wie schon erwähnt, erfüllt die GIDAS-Datenbank in Deutschland die Anforderungen bzgl. Repräsentativität und Detailtiefe, während in den USA hierfür eine Kombination aus mehreren Datenbanken erforderlich ist. Die Tabelle zeigt, dass in den USA nur PCDS die nötige Detailtiefe besitzt, die für diese Analyse erforderlich ist. Die Repräsentativität konnte anhand von GES und FARS in Kapitel 3.3.4 festgestellt werden.

Tabelle 3-10: Untersuchte Parameter und Verfügbarkeit in den Datenbanken

Parameter	GIDAS	GES	PCDS	FARS
Szenario: Bewegung / Ortslage	x	x	x	x
Tageszeit	x	x	x	x
Bewölkung / Nebel	x	-	-	-
Niederschlag	x	x	x	x
Straßenoberfläche	x	x	x	x
Kollisionsgeschwindigkeit	x	-	x	-
Bewegung des Fußgängers	x	-	x	-
Größe des Fußgängers	x	-	x	-
Sichtbehinderung	x	x	-	-

Im Folgenden werden nun einige interessante Beispiele der Ergebnisse auf Basis der Auswertemethodik „Häufigkeit“ vorgestellt. Die genauen und vollständigen Verteilungen aller Datenbanken und beider Auswertemethoden für das Referenzszenario 1 (das Fahrzeug fährt geradeaus, der Fußgänger überschreitet die Fahrbahn, innerorts) sind in Anhang I und J aufgelistet.

Zunächst werden die Lichtverhältnisse bei allen Fußgängerunfällen betrachtet. Sie sind entscheidend für die Entwicklung und Bewertung eines Systems sowie für die Auswahl des Sensors, auf dem das Sicherheitssystem basiert. Z.B. bietet eine Kamera tagsüber eine höhere Leistung bzgl. Erkennbarkeit und Abstandsberechnung. Bild 3-13 zeigt, dass die Verteilungen in Deutschland (GIDAS) und den USA (GES) nahezu gleich sind. In über 70% der Fälle erfolgt der Unfall entweder tagsüber oder bei Dämmerung, obwohl die Sichtbarkeit eines Fußgängers in der Nacht nachweislich abnimmt und z.B. zusätzliche Beleuchtung die Zahl der Kollisionen an Kreuzungen reduziert [100]. Eine Erklärung für diesen Gegensatz könnte die Exposition von Fußgängern in der Nacht sein. Es ist wahrscheinlich, dass sich nachts weniger Fußgänger im Verkehr bewegen und die Straße überqueren, und es daher zu weniger Unfällen in der Nacht kommt.

Der Anteil von Tag und Dämmerung sinkt in Bewegungskonstellation 1 auf unter 60%, wenn in der Auswertung die Schwere der Unfälle („Harm“) berücksichtigt wird

(vgl. Anhang J). Das bedeutet, dass sich nachts weniger Unfälle ereignen, diese aber im Durchschnitt zu schwereren Unfallfolgen führen. Damit ist auch zu erklären, dass der Anteil von Nacht in FARS (Unfälle mit mindestens einem Getöteten in den USA) über 66% beträgt.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Verteilung der wichtigsten Parameter ebenso wie die der Bewegungskonstellationen zwischen Deutschland und den USA sehr ähnlich ist.

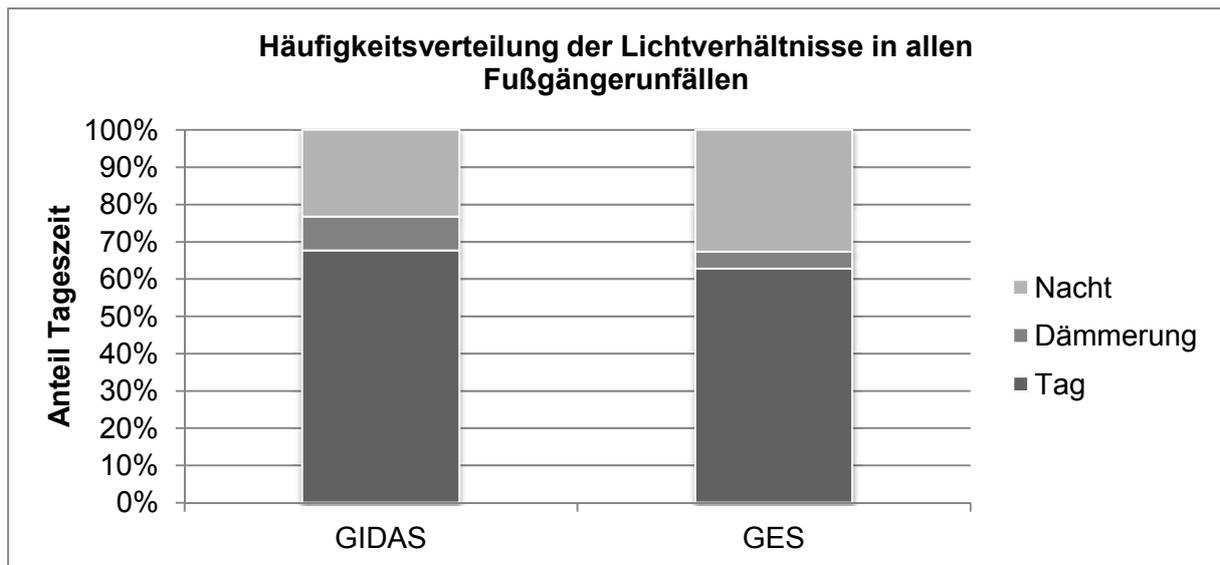


Bild 3-13: Häufigkeitsverteilung der Lichtverhältnisse

Neben der Verteilung von Parametern in allen Fußgängerunfällen ist die spezifische Betrachtung jeder Bewegungskonstellation wichtig, um Systeme genau dafür auszulegen und eine möglichst hohe Wirksamkeit zu erzielen (vgl. Kapitel 3.2.5). Darüber hinaus ist die Bewertung des Sicherheitsgewinns eines Systems der Aktiven Sicherheit in der Regel präziser, wenn jede Bewegungskonstellation einzeln betrachtet wird, da die Erkennungsrate und die Systemperformance von den Faktoren und speziellen Umständen der jeweiligen Situation abhängen (z.B. Relativbewegung zwischen Fahrzeug und Fußgänger). Bild 3-14 zeigt die unterschiedlichen Verteilungen der Lichtverhältnisse in den Bewegungskonstellationen (GIDAS). Die Unterschiede wurden mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests statistisch auf Signifikanz geprüft. Dabei wurde Tag und Dämmerung zusammengefasst und jede Konstellation gegen alle übrigen Konstellationen getestet. Es ergab sich ein signifikanter Unterschied mit einem P-Wert kleiner als 0,05 für die Verteilung der Lichtverhältnisse in den Konstellationen drei, sechs und sieben (in Bild 3-14 von links gezählt), verglichen mit denen aller anderen Fälle, wobei in Konstellation sechs und sieben nur geringe Fallzahlen zur Verfügung standen. Das zeigt, dass es zu falschen Systementwicklungen führen kann, wenn die

Gesamtverteilung an Stelle der spezifischen Verteilungen verwendet wird. Z.B. unterscheidet sich die Verteilung in Konstellation sechs (Nacht: 48%) signifikant von der Gesamtverteilung (Nacht: 23%). Die Auswahl des Sensors, um die Bewegungskonstellation sechs zu adressieren, könnte bei der Betrachtung der Gesamtverteilung (Nachtperformance eher unwichtig) im Vergleich zu der Betrachtung der spezifischen Verteilung in der Konstellation (Nachtperformance wichtig) unterschiedlich ausfallen.

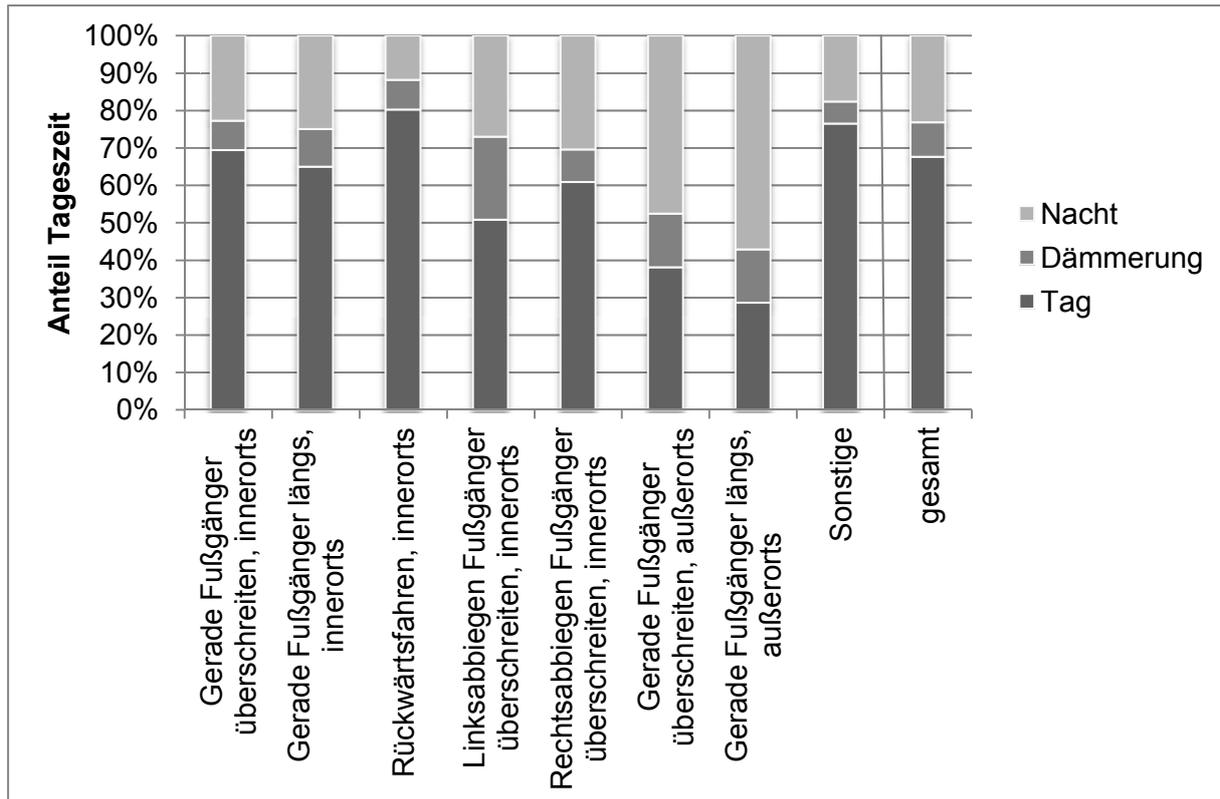


Bild 3-14: Lichtverhältnisse in den Bewegungskonstellationen (Häufigkeit, GIDAS)

Ein weiterer wichtiger Parameter für die Systementwicklung ist die Geschwindigkeit, bei der sich der Unfall ereignet, da sie unter anderem die erforderliche Reichweite und den Öffnungswinkel des Sensors bestimmt. In der Unfallforschung werden teilweise Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit angegeben, wobei die Kollisionsgeschwindigkeit präziser angegeben werden kann und auf weniger Annahmen beruht. Für Ihre Bestimmung ist eine Rekonstruktion der Kollision erforderlich, weshalb sie auch nur in GIDAS und PCDS angegeben wird (vgl. Tabelle 3-10). Bild 3-15 zeigt die Verteilung der Kollisionsgeschwindigkeiten in den Bewegungskonstellationen mit Hilfe von Boxplots (Boxplot: siehe Bild 3-7). Ähnlich wie bei den Sichtverhältnissen unterscheiden sich die Verteilungen auch hier stark zwischen den Konstellationen. In den Situationen, in denen das Fahrzeug gradeaus fährt, ist die durchschnittliche Geschwindigkeit höher als bei Kollisionen während

eines Abbiegevorganges. Außerdem finden Unfälle außerorts bei höheren Kollisionsgeschwindigkeiten statt als innerorts. Das erklärt, warum Konstellationen mit Geradeausfahrt und außerorts im Durchschnitt schwerere Unfallfolgen aufweisen und daher bei der Auswertemethode „Harm“ bedeutender werden (vgl. Kapitel 3.3.4).

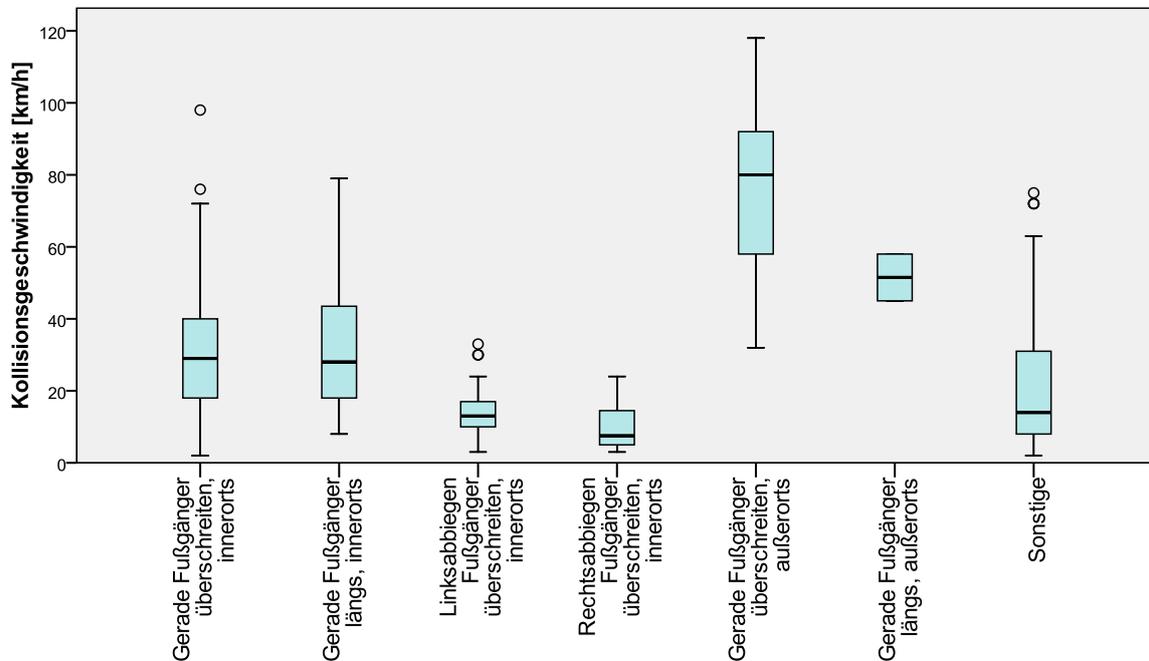


Bild 3-15: Kollisionsgeschwindigkeit in den Bewegungskonstellationen (PCDS)

Neben den Beispielen der Auswertungen von Parametern, die die Bewegungskonstellationen und Randbedingungen der Situationen beschreiben und in der Datenbank explizit enthalten sind (siehe oben), existieren weitere Informationen aus der Pre-Crash-Phase (Vorunfallphase), die für die Entwicklung von effektiven Aktiven Sicherheitssystemen wichtig sind. Die Daten hierfür werden aus Zeitreihen verschiedener Parameter gewonnen, die unter anderem die Bewegungsverhältnisse der Beteiligten und die Geometrie der Vorunfallphase (z.B. Sichtverdeckungen) beschreiben. Sie werden mittels einer Ablaufsimulation aus digitalen Skizzen von vollständig rekonstruierten Unfällen gewonnen, die im Rahmen des GIDAS-Projektes erstellt werden. Auch hier werden im Folgenden wieder einige Beispiele von Auswertungen dieser Informationen dargestellt, was den großen Nutzen dieser neuartigen Daten für die Entwicklung von Aktiven Sicherheitssystemen zeigen soll.

Bild 3-16 zeigt die kumulative Häufigkeit der Zeit bis zur Kollision (TTC, engl.: time to collision) zum Bremszeitpunkt in den Situationen, in denen das Fahrzeug geradeaus fährt und der Fußgänger die Straße überquert (Bewegungskonstellation eins und sechs). In knapp 40% aller Fälle bremsen die Fahrer überhaupt nicht und in fast allen

Fällen bremsen sie erst bei einer maximalen TTC von 1,0s. Auf Basis dieser Erkenntnisse könnten folgende zwei Maßnahmen die Sicherheit in diesen Situationen erhöhen: erstens eine autonome Notbremsung für die Fälle ohne Fahrerbremsung und zweitens eine Warnung, die eine frühere Fahrerbremsung bewirkt, für die Fälle, in denen der Fahrer zu spät bremst. Der Vorteil einer Warnung ist, dass Falschauslösungen weniger gefährlich und akzeptabler sind als autonome Bremsengriffe.

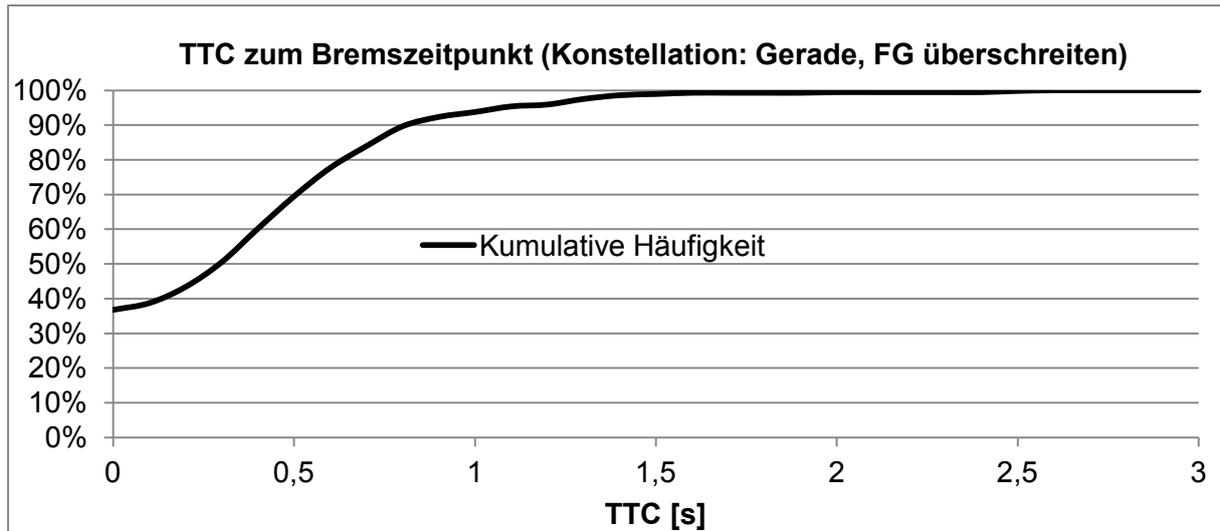


Bild 3-16: TTC zum Bremszeitpunkt (GIDAS)

Eine Warnung ist allerdings nur dann effektiv, wenn sie früh genug ausgegeben werden kann. Das hängt davon ab, wann der Fußgänger vom System erkannt werden kann. Diese Information kann wiederum aus den digitalen Skizzen und Pre-Crash-Daten gewonnen werden. Bild 3-17 zeigt die kumulative Häufigkeit der TTC, bei der eine Sichtverbindung zwischen Fußgänger und Fahrzeug bestand. Das Diagramm endet bei einer TTC von drei Sekunden, da die Simulation der Vorunfallphase maximal drei Sekunden vor einem Unfall beginnt, d.h. in ca. 22% der hier betrachteten Fälle ist der Fußgänger drei Sekunden oder länger sichtbar. Es zeigt sich, dass in 70% der Fälle der Fußgänger mindestens bei einer TTC von 1,5s sichtbar ist. In diesen Fällen könnte der Fußgänger früh genug vom System erkannt und eine Warnung ausgegeben werden. Dabei würde dem Fahrer genügend Zeit bleiben, um nach einer typischen Reaktionszeit von einer Sekunde zu reagieren und zu bremsen. Unter Berücksichtigung dieser Annahmen und eines idealen Systems, das den Fußgänger erkennt, sobald er sichtbar ist, würde demnach der Fahrer in mindestens 70% der Fälle bei einer TTC von 0,5s oder früher bremsen (in Realität erfolgt dies nur bei 30% der Fälle, vgl. Bild 3-16). In den übrigen 30% der Fälle reicht die Zeit nicht aus, um den Fahrer zu warnen, und eine autonome Notbremse könnte den Unfall vermeiden oder die Unfallschwere reduzieren. Demnach verspricht ein

System, das eine Warnung und eine autonome Bremsung kombiniert, unter Berücksichtigung von Falschauslösungen und deren Akzeptanz durch den Fahrer die höchste Wirksamkeit, die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

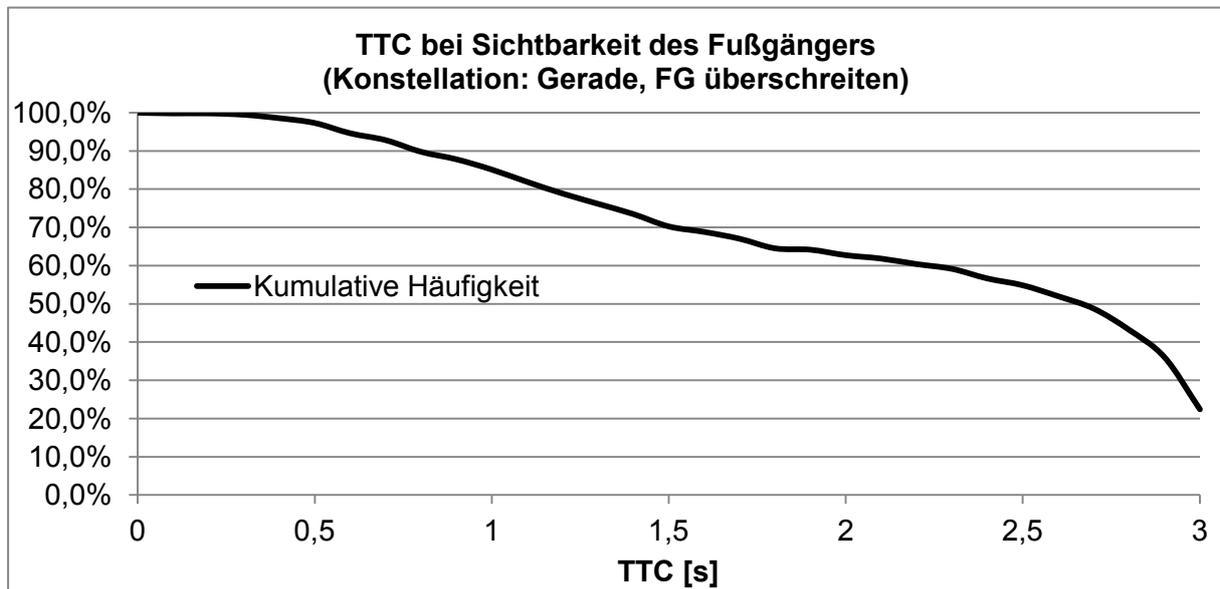


Bild 3-17: TTC bei Sichtbarkeit des Fußgängers (GIDAS)

Die beiden vorherigen Diagramme werden in Bild 3-18 vereint, um die Zeit zu analysieren, die zwischen der ersten Sichtbarkeit und der Bremsreaktion liegt. Es ist zu erkennen, dass in 72% der Fälle mehr als die typische Reaktionszeit von einer Sekunde vergehen, bis ein Bremsmanöver des Fahrers erfolgt. Offensichtlich ist der Fußgänger in diesen Fällen sichtbar, aber der Fahrer erkennt die Kritikalität der Situation nicht rechtzeitig. Eine Warnung kann zwar die Reaktionszeit auf ein Ereignis nicht verkürzen, aber dazu führen, dass der Fahrer die Situation früher erkennt und damit auch eine Reaktion zu einem früheren Zeitpunkt stattfindet.

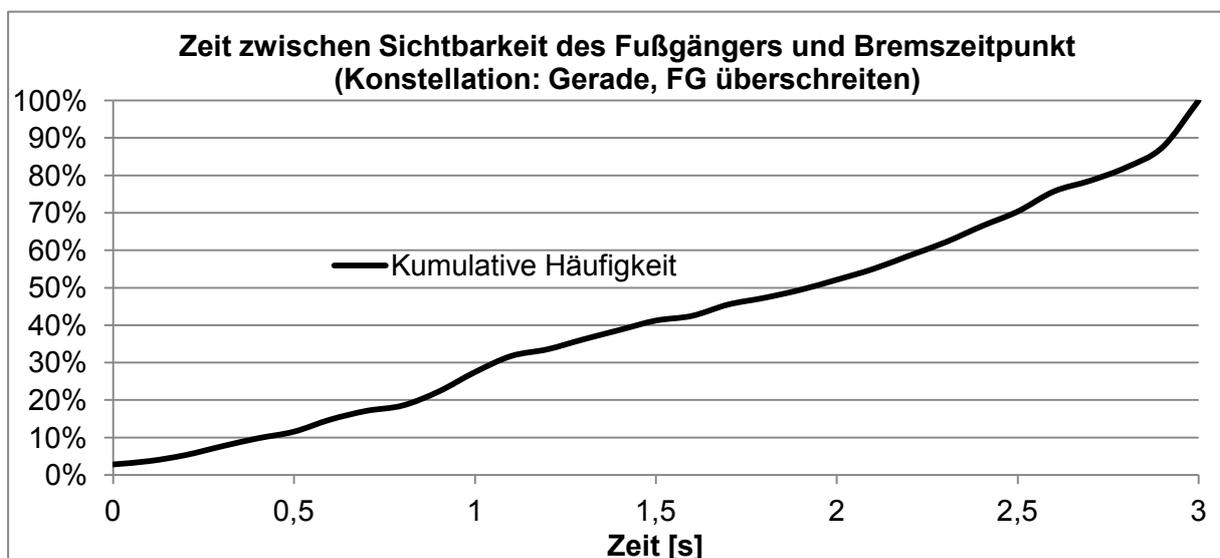


Bild 3-18: Zeit zwischen Sichtbarkeit des Fußgängers und Bremszeitpunkt (GIDAS)

Eine weitere wichtige Anforderung für den Sensor ist der erforderliche Öffnungswinkel, um die Fußgänger möglichst früh erkennen zu können. In Bild 3-19 ist die kumulative Häufigkeit des Betrages des Winkels angegeben, der zum Zeitpunkt des ersten Sichtkontaktes zwischen Fahrzeuglängsachse und Fußgänger bestand. Ein Öffnungswinkel von $\pm 45^\circ$ (insgesamt 90°) würde es ermöglichen, in allen hier betrachteten Unfällen die Fußgänger zum frühesten möglichen Zeitpunkt (siehe Bild 3-17) erfassen zu können. Aber bereits bei einem Öffnungswinkel von nur $\pm 15^\circ$ können in über 70% der Fälle die Fußgänger zum frühesten möglichen Zeitpunkt erkannt werden.

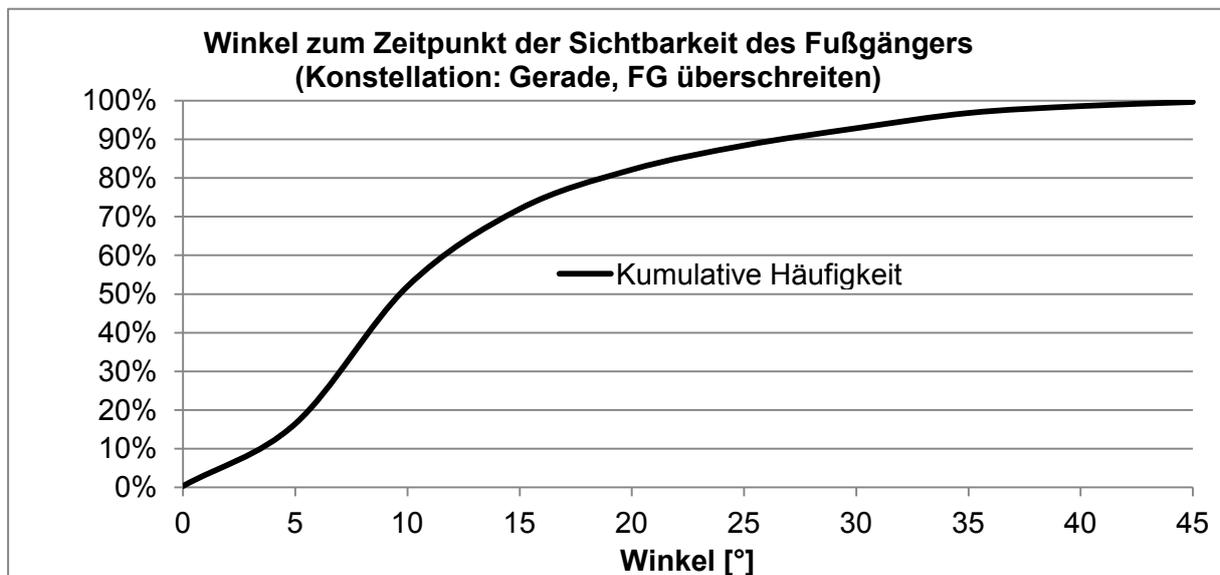


Bild 3-19: Winkel zum Zeitpunkt der Sichtbarkeit des Fußgängers (GIDAS)

3.3.6 Ableitung von Referenzszenarien

Auf Basis der Analysen der vorherigen Kapitel können exakte Referenzszenarien definiert werden, welche einen Großteil des Verkehrsgeschehens repräsentieren, und die bisherigen Ergebnisse zusammenfassen. Deshalb können sie als Testszenarien in Real- und Simulatorversuchen verwendet werden und in der frühen Phase der Systementwicklung als erste Zielvorgabe dienen.

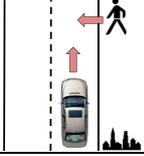
Tabelle 3-11 zeigt das spezifische Referenzszenario auf Basis der Auswertemethode "Häufigkeit". Hierfür wird, ähnlich wie in Kapitel 3.2.6, für jeden untersuchten Parameter der Wert gewählt, der den größten Anteil besitzt. Es ergibt sich eine exakte Situation, bei der die wichtigsten Randbedingungen für jede der drei Datenbanken (GIDAS, GES, PCDS) definiert sind. Da die Ergebnisse der Auswertungen, wie oben erwähnt, in Deutschland und den USA sehr ähnlich sind, ergeben sich für alle Parameter, falls in der Datenbank verfügbar, jeweils die gleichen Ausprägungen. So ist in allen drei Datenbanken die häufigste Situation die

Bewegungskonstellation 1, der Fußgänger ist sichtbar oder durch ein parkendes Fahrzeug verdeckt, es ist ein wolkenloser bis bewölkter Tag ohne Niederschlag und die Fahrbahn ist trocken.

Darüber hinaus existieren Parameter, bei denen ein einzelner Wert nicht den Großteil der Fälle repräsentieren kann. Daher sind hier Wertebereiche angegeben. Um diese Bereiche bei Tests in der Entwicklung oder für die Wirksamkeitsbewertung abdecken zu können, muss hier eine begrenzte Anzahl verschiedenen Testszenarien definiert werden, die die Grenzen dieser Wertebereiche abdecken. Sie sind für die Größe des Fußgängers und die Bewegungsgeschwindigkeiten der Beteiligten angegeben. Für die Geschwindigkeit der Fußgänger ist in den Datenbanken kein konkreter Wert erfasst, sondern Beschreibungen wie „gegangen“ oder „gerannt“ aus Befragungen angegeben, da dieser Wert nicht auf die Weise rekonstruiert werden kann wie bei einem Fahrzeug. Die Analysen zeigen, dass die komplette Bandbreite von Fußgängergeschwindigkeiten auftritt. Mit Hilfe der Quelle [102], in der mögliche Geschwindigkeiten von nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmern abhängig von Ihrem Alter ermittelt wurden, ergeben sich somit Geschwindigkeiten bis 25km/h.

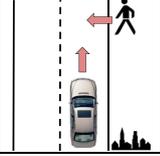
Mit den getroffenen Einschränkungen kann die Bedeutung des spezifischen Referenzszenarios in der jeweiligen Datenbank bestimmt werden. Dieser Wert ist in der letzten Zeile der Tabelle angegeben und beschreibt den Anteil dieses Szenarios an allen untersuchten Fußgängerunfällen. Es wurden immer nur die Parameter eingeschränkt, die in der Datenbank verfügbar waren und ausgewertet wurden (vgl. Tabelle 3-10). Daher ergibt sich für die GIDAS-Datenbank mit den meisten für diese Analyse verfügbaren Parametern der kleinste Wert. Obwohl hier sehr spezifische Situationen beschrieben sind, ist ihr Anteil bis zu 20%. Dieser Wert entspricht nicht der Wirksamkeit eines Systems, das hierfür ausgelegt ist. Denn wenn ein System in dieser Situation funktioniert, wird es auch einen Sicherheitseffekt in anderen hier nicht enthaltenen Situationen besitzen (z.B. auf nassen Straßen).

Tabelle 3-11: Spezifisches Referenzszenario (Häufigkeit)

	Parameter	GIDAS	PCDS	GES
Szenario	Bewegung / Ortslage	Referenzszenario 1: Gerade, FG überschreiten, innerorts		
	Sichtbehinderung	frei sichtbar / geparktes Fahrzeug	-	frei sichtbar / geparktes Fahrzeug
Umwelt	Tageszeit	Tag		
	Bewölkung / Nebel	wolkenlos / bewölkt	-	-
	Niederschlag	nein		
	Straßenoberfläche	trocken		
Fußgänger	Größe	0 - 180cm		-
Bewegung	Kollisionsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0 - 40km/h		-
	Geschwindigkeit Fußgänger	0 - 25km/h		-
Bedeutung des Referenzszenarios		13,6%	19,9%	17,2%

Die gleichen Analysen wurden unter Berücksichtigung der Unfallschwere durchgeführt (Auswertemethode „Harm“). Die Ergebnisse sind in Tabelle 3-12 dargestellt, die - zusätzlich zu der vorherigen Tabelle - die Auswertungen der Datenbank FARS enthält. Hier ändern sich teilweise die wichtigsten Ausprägungen der Parameter im Vergleich zu der Auswertung „Häufigkeit“ und es treten auch nicht mehr über alle Datenbanken die gleichen Werte auf. Das bedeutendste Szenario ist auch hier wieder das Referenzszenario 1 (siehe auch Tabelle 3-9). Allerdings nimmt die Bedeutung der Tageszeit „Tag“ in allen Datenbanken ab und „Nacht“ wird in GES und FARS die wichtigste Ausprägung. Das zeigt, dass die Fußgängerunfälle bei Nacht zwar weniger häufig auftreten, diese aber im Durchschnitt zu schweren Unfallfolgen führen. Außerdem muss ein größerer Kollisionsgeschwindigkeitsbereich betrachtet werden (bis 60km/h), um einen gewissen Anteil aller Fälle zu repräsentieren. Die Ausprägungen der übrigen Parameter verhalten sich wie bei der Auswertemethode „Häufigkeit“. Die Anteile der definierten Situationen betragen auch hier wieder bis zu 20% und stehen für den Anteil am Schaden (z.B. durch Verletzungen), der beim Fußgänger verursacht wurde (siehe Beschreibung der „Harm“-Methode in Kapitel 3.2.3).

Tabelle 3-12: Spezifisches Referenzszenario (Harm)

	Parameter	GIDAS	PCDS	GES	FARS
Szenario	Bewegung / Ortslage	Referenzszenario 1: Gerade, FG überschreiten, innerorts			
	Sichtbehinderung	frei sichtbar / geparktes Fahrzeug	-	frei sichtbar / geparktes Fahrzeug	-
Umwelt	Tageszeit	Tag	Tag	Nacht	Nacht
	Bewölkung / Nebel	wolkenlos / bewölkt	-	-	-
	Niederschlag	nein			
	Straßenoberfläche	trocken			
Fußgänger	Größe	0 - 180cm		-	-
Bewegung	Kollisionsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0 - 60km/h		-	-
	Geschwindigkeit Fußgänger	0 - 25km/h		-	-
Bedeutung des Referenzszenarios		14,3%	14,3%	13,2%	20,2%

3.4 Fazit

In diesem Kapitel wurde die Entwicklung von Referenzszenarien für Systeme der Aktiven Sicherheit auf Basis von Unfalldaten vorgestellt. Die Methodik wurde anhand der zwei Beispiele präventiver Frontschutz und präventiver Fußgängerschutz angewendet. Die Unfallanalyse bzgl. des Frontschutzes diente dafür, auf Basis der GIDAS-Datenbank einen Überblick über Frontalunfälle im Allgemeinen zu bekommen und die entwickelte Methodik einführend zu erläutern. Die Untersuchungen bzgl. des präventiven Fußgängerschutzes zeigten darauf aufbauend, eine noch detailliertere und erweiterte Anwendung der Methode bezogen auf eine spezielle Fragestellung.

Da der Fokus durch die Betrachtung der Aktiven Sicherheit auf der Vorunfallphase liegt, musste zunächst eine spezielle Herangehensweise zur Bestimmung der Manöver der Beteiligten vor dem Unfall entwickelt werden, um die Szenarien aufbauen zu können (siehe 3.2.2 und 3.3.2). Gerade in der Datenbank GIDAS sind diese bisher nicht explizit enthalten. Für Systeme der Aktiven Sicherheit sind sie jedoch entscheidend. Entsprechende Parameter wurden vor Kurzem für die GIDAS Datenbank eingeführt, und werden nun für neu aufgenommene Fälle dokumentiert. Ebenso könnten die digitalen Skizzen dafür verwendet werden, die aber noch nicht für alle Fälle existieren und nur schwer bzgl. dieser Thematik automatisiert auswertbar sind.

Neben der reinen Auswertung der Häufigkeit von Ereignissen wurde eine Methodik entworfen, um die Schwere und Häufigkeit von Unfällen zu berücksichtigen und somit die Szenarien und Parameterausprägungen identifizieren zu können, die den größten Schaden in der Gesellschaft verursachen (siehe 3.2.3 und 3.3.3). Diese sollten bei der Entwicklung von Aktiven Sicherheitssystemen berücksichtigt werden, da sie den größten Sicherheitsgewinn versprechen.

Am Beispiel des präventiven Fußgängerschutzes wurde eine umfassende Analyse durchgeführt. Sie zeigt, dass es für die Entwicklung eines Sicherheitssystems, das evtl. weltweit eingesetzt wird, wichtig ist, mehr als die Daten eines Landes zu untersuchen. Hier ist es erforderlich, einen gemeinsamen Satz von Referenzszenarien zu identifizieren, der einen Großteil des Verkehrsgeschehens aller untersuchten Datenbanken repräsentiert. Für die genaue Definition von Referenzszenarien sind außerdem Datenreihen hilfreich, die aus digitalen Skizzen gewonnen werden, und die Bewegung der Beteiligten sowie die Geometrie der Szene beschreiben. Wie diese Daten für die Entwicklung von Systemen der Aktiven Sicherheit genutzt werden können, ist in Kapitel 3.3.5 vorgestellt.

Die Ergebnisse der Analyse der Unfalldaten des Front- sowie des Fußgängerschutzes stellen bzgl. der Bewegungskonstellation und der Randbedingungen die Basis der umfassenden Beschreibung der Referenzszenarien in Kapitel 6 dar.

Wie bereits in Kapitel 2.4 erwähnt, zeigte sich, dass Unfalldaten viele und wichtige Informationen für die Entwicklung von Aktiven Sicherheitssystemen enthalten. Während die Daten über die Kollision und die Unfallfolgen sehr detailliert zur Verfügung stehen, sind die Informationen über die Vorunfallphase sowie der Unfallursachen weniger genau dokumentiert, da sie auf Befragungen oder Rekonstruktionen der Unfälle basieren. Diese sind jedoch wichtig, um Referenzszenarien identifizieren und Potenziale für die Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Aktive Sicherheit bestimmen zu können. Außerdem existieren meist detaillierte Daten über Unfälle mit Personenschaden, nicht jedoch über Unfälle nur mit Sachschaden. Deren Anzahl ist im Vergleich viel höher und sollte auch von präventiven Systemen adressiert werden. Kritische Situationen und Beinaheunfälle sind gar nicht in den Datenbanken enthalten. Auch hier sollte der Fahrer unterstützt werden. Diese Daten können mit Hilfe von FOT und NDS-Studien erhoben werden. Eine Methodik für Ihre Auswertung bzgl. Referenzszenarien wird in Kapitel 4 vorgestellt.

4 Entwicklung von Referenzszenarien aus natürlichen Fahrdaten

Wie in Kapitel 2.4 und Tabelle 2-4 beschrieben, sind die Informationen aus Feldstudien über natürliche Fahrdaten bei der Entwicklung von Referenzszenarien essentiell. Sie beinhalten unter anderem Informationen über typische unkritische Verkehrssituationen sowie über kritische Situationen und Unfälle. Sie besitzen den Vorteil gegenüber Unfalldaten, dass sie Informationen über die komplette Entstehung der kritischen Situation bieten, und diese auf einer realen Aufzeichnung basieren und nicht auf einer Rekonstruktion, die mit Unsicherheiten behaftet ist. Mithilfe der Datenaufzeichnung ist auch die Bestimmung von Ursachen für kritische Situationen bzw. Unfälle möglich, woraus wiederum Anforderungen und Potenziale für Systeme der Aktiven Sicherheit abgeleitet werden können. Im Folgenden werden zunächst ausgewählte Ergebnisse aus bisherigen Feldstudien vorgestellt. Anschließend wird am Beispiel des euroFOT Projektes eine Methodik entwickelt, um natürliche Fahrdaten automatisiert auszuwerten und davon Referenzszenarien abzuleiten.

4.1 Ergebnisse aus bisherigen Feldstudien

Die Randbedingungen und Datenbasen der im Folgenden vorgestellten Ergebnisse von bisherigen Untersuchungen wurden bereits in Kapitel 2.4 erläutert.

V. Benda beschäftigte sich bereits 1987 mit der Fragestellung nach der Häufigkeit verschiedener Verkehrssituationen und deren Repräsentativität [103]. Es wurden vor allem die Häufigkeit und Auftretenswahrscheinlichkeit verschiedener Situationselemente, wie z.B. des Straßentyps, bestimmt. Fastenmeier baute auf den Ergebnissen von v. Benda auf, verknüpfte und erweiterte sie um eigene Studien [30]. Er entwickelte Kataloge von Verkehrssituationen für die repräsentativen Fahrttypen „Fahrt von / zur Arbeit“, „Erledigungsfahrt“, „Freizeitfahrt“ und „Wochenendfahrt“, die auf einer Datenerhebung von 5000km im Münchner Raum basieren.

Tabelle 4-1 zeigt beispielhaft den Katalog für den Fahrttyp „Fahrt von / zur Arbeit“, was der am häufigsten gefahrenen Strecke mit einem PKW entspricht. Nach Fastenmeier dauert jede Einzelfahrt im Durchschnitt 16 Minuten, ist 7km lang und enthält 80 Situationen. Dabei finden 57% dieser Fahrten bei Tageslicht ohne witterungsbedingte Sichtbehinderung, 18% bei Tageslicht mit Regen, 9% bei Dämmerung und 16% bei Dunkelheit statt. Bzgl. der Verkehrsdichte wurde ermittelt, dass in 66% dieses Fahrttyps geringer bis mäßiger Verkehr, in 28% dichter Verkehr und in 6% Stau auftritt.

Tabelle 4-1: Situationskatalog Fahrt von / zur Arbeit in % [30]

Straßentyp	Knotenpunkt	Gerade, ebener Verlauf, ohne Engstelle, ohne Fahrtrichtungsänderung	Kurve	Steigung / Gefälle	Kurve & Steigung / Gefälle	Fahrtrichtungsänderung	Steigung / Gefälle	Σ	Σ
2 oder mehr Fahrbahnen	ohne Kreuzung	8	10	2	3	0	0	23	38
	ampelgeregelte Kreuzung	6	1	0	0	2	0	9	
	beschilderte Kreuzung, Vorfahrt	4	1	1	0	0	0	6	
1 Fahrbahn, mindestens 4 Spuren	ohne Kreuzung	7	1	2	0	0	0	10	16
	ohne Kreuzung	0	1	0	0	1	0	2	
	beschilderte Kreuzung, Vorfahrt	2	1	0	0	1	0	4	
1 Fahrbahn, mindestens 4 Spuren, Schiene	ohne Kreuzung	1	1	1	0	0	0	4	7
	ampelgeregelte Kreuzung	2	0	0	0	0	0	2	
	beschilderte Kreuzung, Vorfahrt	1	0	0	0	0	0	1	
1 Fahrbahn, 2-3 Spuren	ohne Kreuzung	6	4	2	1	0	3	16	26
	ampelgeregelte Kreuzung	2	1	0	0	1	0	4	
	beschilderte Kreuzung, Vorfahrt	3	2	0	0	1	0	6	
1 Fahrbahn, 2-3 Spuren, Schiene	ohne Kreuzung	1	0	0	0	0	1	2	3
	ampelgeregelte Kreuzung	0	0	0	0	1	0	1	
schmale / verengte Fahrbahn	ohne Kreuzung	1	0	0	0	0	1	2	4
	Kreuzung, rechts vor links	1	0	0	0	0	0	1	
	beschilderte Kreuzung, Wartepflichtig	0	0	0	0	1	0	1	
Einbahnstraße	ohne Kreuzung	1	0	0	0	0	2	3	6
	beschilderte Kreuzung, wartepflichtig	1	0	0	0	0	0	1	
	Kreuzung, rechts vor links	1	0	0	0	0	0	1	
	ampelgeregelte Kreuzung	0	0	0	0	1	0	1	

Als Beispiel für die Analyse von natürlichen Fahrdaten wird im Folgenden kurz auf die Ergebnisse der 100-Car „Naturalistic Driving Study“ (NDS) eingegangen. Um kritische Verkehrssituationen bestimmen und untersuchen zu können, wurden zunächst folgende drei Kategorien abhängig von ihrer Kritikalität definiert [50]:

- Unfall: Jeder Kontakt zwischen Ego-Fahrzeug und einem anderen Fahrzeug, stehendem Objekt, Fußgänger, Fahrradfahrer oder Tier.
- Beinaheunfall: Konfliktsituation, welche für eine Unfallvermeidung ein schnelles und starkes Vermeidungsmanöver erfordert.
- Kritisches Ereignis: Konfliktsituation, welche für eine Unfallvermeidung ein Vermeidungsmanöver erfordert, aber von geringerer Stärke als bei einem Beinaheunfall.

Es wurden insgesamt 69 Unfälle, 761 Beinaheunfälle und 8295 kritische Ereignisse aufgezeichnet. Diese drei Klassen von kritischen Situationen wurden automatisiert und manuell in der Vielzahl von aufgezeichneten Daten identifiziert und deren Szenario, d.h. die Bewegungskonstellation und Art der Verkehrsteilnehmer bestimmt. Tabelle 4-2 zeigt die Häufigkeit der Szenarien bezogen auf die drei Klassen von kritischen Situationen [50]. Das Szenario Alleinunfall (z.B. Abkommen von der Fahrbahn) nimmt dabei etwa ein Drittel aller Unfälle ein, ist aber bei den Beinaheunfällen und den kritischen Ereignissen nur von geringer Bedeutung. Dafür ist bei diesen beiden Kategorien die klassische Auffahrsituation mit Abstand die häufigste. Dies bedeutet, dass es oft zu einem Konflikt mit einem vorausfahrenden Fahrzeug kommt, aber meistens der Unfall vermieden werden kann (z.B. durch eine Notbremsung). Auf der anderen Seite kann vermutlich die kritische Situation vor einem Alleinunfall seltener gelöst werden, und es kommt oft zu einem Unfall.

Tabelle 4-2: Häufigkeit der verschiedenen Szenarien bei der 100-Car NDS [50]

Szenario	Unfall	Beinaheunfall	Krit. Ereignis
Alleinunfall	34,8%	6,3%	2,3%
vorausfahrendes Fahrzeug	21,7%	49,9%	69,7%
folgendes Fahrzeug	17,4%	9,2%	9,2%
Objekt / Hindernis	13,0%	0,8%	4,7%
geparktes Fahrzeug	5,8%	0,7%	1,0%
Tier	2,9%	1,3%	0,7%
Abbieger in entgegengesetzter Richtung	2,9%	3,5%	1,0%
Nebenfahrzeug	1,4%	15,1%	4,1%
Sonstige	0,0%	13,1%	7,2%

Neben den Häufigkeiten von kritischen Szenarien wurden auch deren Ursachen untersucht [54]. In knapp 80% der Unfälle und in ca. 65% der Beinaheunfälle war der Fahrer kurz vor dem Ereignis unaufmerksam. Bei Auffahrunfällen waren ca. 93% der Fahrer visuell abgelenkt. Bei fast allen Beinaheunfällen mit einem vorausfahrenden Fahrzeug war dieses in Bewegung, während bei 100% der Auffahrunfälle das Vorderfahrzeug angehalten war.

Die Ursache für die Ablenkung war in Beinaheunfällen und kritischen Ereignissen am Häufigsten der Gebrauch von Mobiltelefonen und ähnlichen Geräten. Des Weiteren wurde die Fahrermüdigkeit als Ursache für kritische Situationen untersucht. In 20% der Unfälle und in 16% der Beinaheunfälle trug die Müdigkeit des Fahrers zur Entstehung der kritischen Situation bei.

Im Gegensatz zu Naturalistic Driving Studies, bei denen die Analyse des Fahrerverhaltens und der Ursachen für kritische Situationen im Vordergrund steht, wird bei Field Operational Tests die Wirkung von Fahrerassistenzsystemen im Verkehrsgeschehen untersucht. Das Projekt euroFOT hat bereits die ersten Ergebnisse veröffentlicht [104]. So wurde gezeigt, dass Fahrzeuge, die mit einer adaptiven Geschwindigkeitsregelung und einem Auffahrwarnsystem ausgestattet sind, 5,7% aller Unfälle mit Verletzungsfolgen auf Autobahnen positiv beeinflussen können, was neben dem Sicherheitseffekt auch eine Verbesserung der Verkehrseffizienz durch eine geringere Anzahl von Unfällen bewirkt (z.B. geringere Umweltbelastung durch weniger Staus an Unfallstellen). Auch für die Benutzung von Navigationssystemen konnte ein positiver Effekt auf das Fahrerverhalten in Bezug auf Spurwechselforgänge, Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug und abrupten Bremsmanövern nachgewiesen werden. Die übrigen untersuchten Systeme wurden von den Fahrern und Analysten ebenfalls als positiv bewertet.

4.2 Referenzszenarien auf Basis von Fahrdaten

Als Beispiel für die Entwicklung einer Methodik zur Auswertung von natürlichen Fahrdaten wurde das Projekt euroFOT für diese Arbeit ausgewählt, an dem die BMW Group beteiligt war. Es wurde eine Methodik entwickelt, um typische unkritische Referenzszenarien identifizieren und analysieren zu können. Anschließend soll am Beispiel des Längsverkehrs und des Spurwechsels gezeigt werden, wie kritische Situationen bestimmt und bzgl. ihrer Ursachen analysiert werden können. Zur vollständigen Spezifikation von unkritischen und kritischen Referenzszenarien werden auf der Basis von Fahrzeugdaten repräsentative Umgebungsbedingungen bestimmt.

4.2.1 Datengrundlage

Das EU-Projekt euroFOT zur Untersuchung von Fahrerassistenzsystemen im realen Verkehrsgeschehen unter natürlichen Nutzungsbedingungen wurde bereits in Kapitel 2.4.2.2 vorgestellt. Ein Teil der im Rahmen des euroFOT Projektes generierten Daten konnte für die Auswertung in dieser Arbeit verwendet werden. Es wurden die Informationen von elf Fahrzeugen, die von elf verschiedenen Fahrern jeweils für drei Monate gefahren wurden, genutzt. Damit wurde insgesamt eine Fahrstrecke von 62.500 Kilometern aufgezeichnet.

Die Fahrzeuge waren bzgl. Fahrerassistenzsystemen voll ausgestattet, weshalb sie über die damit verbunden Sensoren verfügten. Aufgrund der Aktiven Geschwindigkeitsregelung war ein Radarsensor nach vorne verbaut, womit Abstände, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen von Vorderfahrzeugen im Frontbereich bestimmt werden. Um die Funktion einer Spurwechselwarnung zu realisieren, sind nach schräg hinten zwei Radarsensoren in der Heckschürze verbaut, die Informationen über Objekte hinter dem Fahrzeug liefern. Eine Kamera nach vorne zur Spurerkennung sowie Regen- und Lichtsensor zur Erfassung von entsprechenden Umgebungsbedingungen vervollständigen die Seriensensorik. Über das Navigationssystem konnten die GPS-Position und der Straßenverlauf erfasst werden.

Die Fahrzeuge wurden zusätzlich zu den Anforderungen der Fragestellung des euroFOT Projektes (Untersuchung von Navigationssystemen und unterschiedlichen Bedienkonzepten) mit Sensoren ausgestattet, um die erforderlichen Daten für die folgenden Untersuchungen in dieser Arbeit generieren zu können. Bild 4-1 zeigt den Aufbau der Versuchsfahrzeuge. Um Verkehrsteilnehmer im Umfeld erfassen und deren Bewegung bestimmen zu können, wurden zusätzlich zu den serienmäßigen Radarsensoren (siehe oben) jeweils ein Radarsensor pro Seite verbaut. Zur Plausibilisierung der Fahrsituationen und weitergehenden Analyse der Ursachen von kritischen Situationen wurden vier Kameras installiert, die Videos mit fünf Bildern pro Sekunde in Fahrtrichtung (Fahrerarbeitsplatz und Frontraum), nach hinten und in Fahrerrichtung aufzeichnen.



Bild 4-1: Aufbau und Sensorik der BMW Fahrzeuge des euroFOT-Projektes [105]

Eine Auswahl der verfügbaren und relevanten Fahrdaten inkl. der dafür genutzten Sensorik zeigt Tabelle 4-3.

Tabelle 4-3: Verfügbare natürliche Fahrdaten

Kategorie	Information	Sensor
Ego-Fahrzeug	Bewegung des Ego-Fahrzeugs	Fahrzeugsensorik
	Position und Routenverlauf	GPS
	Spurinformation	Kamera
Umweltbedingungen	Umgebunghelligkeit	Lichtsensor
	Niederschlag	Regensensor
Umgebung	Fahrzeugumgebung hinten / vorne	2 Kameras
	Fahrerhandlung	Kamera
	Fahrer	Kamera
Verkehrsteilnehmer	Bewegung der Verkehrsteilnehmer	5 Radarsensoren

Die Informationen aller Sensoren und Kameras wurden mit Hilfe einer speziell für dieses Projekt entwickelten Messtechnik aufgezeichnet. Neben diesen Daten wurden interne Signale des Fahrzeugs von vier verschiedenen CAN-Bus-Systemen sowie des Flexray und MOST gespeichert. Sie enthalten z.B. Informationen über Beschleunigung und Geschwindigkeit des Fahrzeugs sowie über den Zustand der verschiedenen Systeme des Fahrzeugs. Die Messtechnik wurde im Kofferraum der Fahrzeuge unter der Hutablage verbaut. Sie startet und stoppt die Aufzeichnung der Daten vollautomatisch bei Antritt und Ende einer Fahrt.

4.2.2 Automatisierte Analyse von Fahrdaten

Für die Analyse der großen Menge an Daten ist die Entwicklung einer automatisierten Auswertung erforderlich, um den manuellen Aufwand so gering wie möglich zu halten und diese somit erst zu ermöglichen.

Den Ablauf der Ergebnisgenerierung zeigt Bild 4-2. Nach der Aufzeichnung im Fahrzeug werden die Daten zur weiteren Verarbeitung auf einen Server kopiert und dort gespeichert. Da die Daten im Format „*.txt“ aufgezeichnet sind und damit noch nicht auswertbar sind, werden sie anschließend so konvertiert, dass sie in Zeitreihen im Format „*.mat“ vorliegen und mit dem Programm Matlab analysiert werden können. Für jedes der weiter unten beschriebenen Manöver wurde mit der Software Matlab / Simulink ein Algorithmus entwickelt, der eine automatisierte Erkennung ermöglicht. Ebenso werden die Umgebungsbedingungen in den verschiedenen Fahrsituationen auf Basis von internen Fahrzeugdaten bestimmt. Analog zu den aufgezeichneten Daten werden für die Manöver und Umgebungsbedingungen Zeitreihen im gleichen Format erstellt. Die neue Datenbasis mit den entsprechenden Informationen kann nun ausgewertet werden.



Bild 4-2: Ablauf der Ergebnisgenerierung aus Fahrdaten

Im Folgenden werden die Methoden zur Erkennung der Manöver und Umgebungsbedingungen erläutert.

4.2.2.1 Erkennung von Manövern und Bewegungskonstellationen

Analog zur Bestimmung von Referenzszenarien aus Unfalldaten (siehe Kapitel 3) ist der erste Schritt bei der Analyse von natürlichen Fahrdaten die Identifizierung von Fahrmanövern und damit der Bewegungskonstellation der Beteiligten in der Verkehrssituation. In Kapitel 2.2 wurde bereits ein Satz von Manövern aus der Literatur bestimmt, der einen Großteil der Bewegungen von Fahrzeugen im Straßenverkehr enthält. Dieser diente als Basis zur Definition der Manöver, die von den Algorithmen der Situationserkennung automatisiert erkannt werden sollten. Die automatisierte Erkennung von Fußgänger- bzw. Radfahrsituationen, die eine gewisse Bedeutung im Unfallgeschehen besitzen (vgl. Kapitel 3), war mit der zur Verfügung stehenden Sensorik nicht möglich. Einige Bewegungskonstellationen wurden zusammengefasst, und so wurden folgende Manöver bzw. Situationen festgelegt:

- Freie Fahrt
- Folgen
- Abbiegen:
 - Abbiegen links
 - Abbiegen rechts
- Kreuzen
- Spurwechsel:
 - Spurwechsel links
 - Spurwechsel rechts
- Wenden
- Rückwärts fahren
- Ausparken
- Einparken

Die Algorithmen zur automatisierten Erkennung wurden im Rahmen einer Diplomarbeit entwickelt [106]. Beispielhaft ist in Bild 4-3 der Algorithmus zur automatisierten Erkennung der Manöver „Folgefahrt“ und „freie Fahrt“ dargestellt. Das Programm besteht aus einem Zustandsautomaten, der nach einer Initialisierung einen der drei Zustände berechnet. Unter der Voraussetzung, dass die Eigengeschwindigkeit eine Mindestgeschwindigkeit überschreitet (7km/h), wird somit eine Fahrt immer lückenlos in die zwei Manöver „Folgefahrt“ und „freie Fahrt“ aufgeteilt. Der Beginn eines der Zustände wird erkannt, wenn verschiedene Kriterien erfüllt sind. Das Ende eines Manövers wird dann gesetzt, wenn eines der Kriterien nicht mehr erfüllt ist und so automatisch der Übergang in einen anderen Zustand erfolgt.

Die hier verwendeten Kriterien sind das Vorhandensein eines Objektes im Frontbereich des Fahrzeugs (erkannt über die Radarsensorik), die Zeitlücke zum vorausfahrenden Fahrzeug, die Eigengeschwindigkeit und die Bewegungsrichtung des Fahrzeugs. Für die Erkennung einer Folgefahrt muss ein Objekt vorhanden sein, das im Fahrschlauch steht oder sich dort in gleicher Richtung bewegt (kein Gegenverkehr) und die Zeitlücke einen bestimmten Wert unterschreitet (2,5s). In der übrigen Zeit wird das Manöver „freie Fahrt“ erkannt, vorausgesetzt, die Bewegungsrichtung des Fahrzeugs ist vorwärts gerichtet.

Ebenso wie für die Manöver „Folgefahrt“ und „freie Fahrt“ wurden Algorithmen für die übrigen aufgezählten Manöver entwickelt. Die Algorithmen für alle Manöver sowie die dazugehörigen Parameterwerte sind im Anhang K dargestellt.

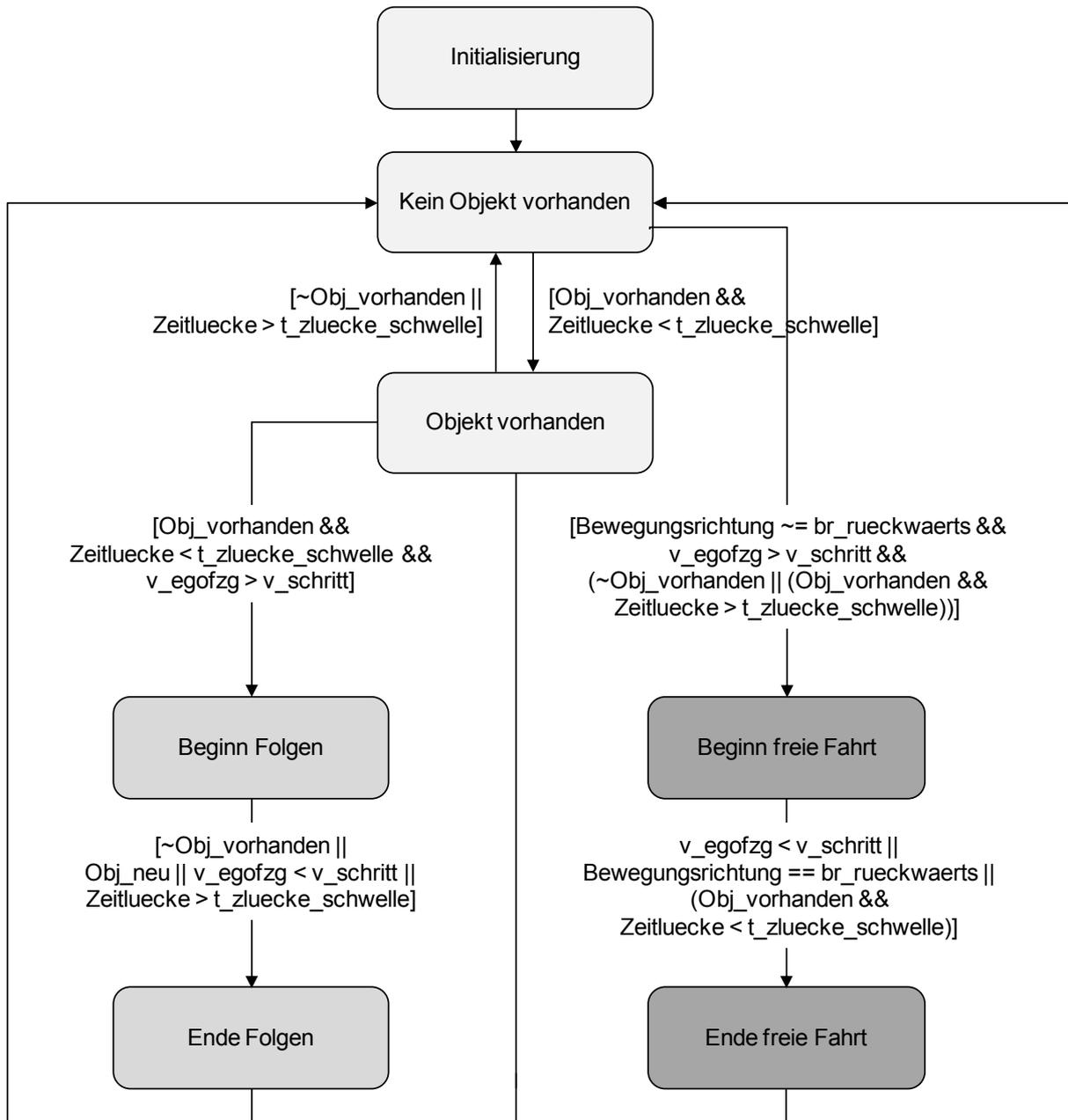


Bild 4-3: Erkennung der Manöver Folgefahrt und freie Fahrt [106]

Für die Prüfung der Erkennungsqualität der Algorithmen wurde eine 27km lange Referenzstrecke definiert, die Autobahn-, Landstraßen- und Stadtabschnitte enthält [106]. Darin treten alle definierten Manöver bis auf das Rückwärtsfahren auf. Über einen Abgleich der Videos mit den Ergebnissen der Algorithmen konnte die Erkennungsgüte der verschiedenen Manöver ermittelt werden. Diese ist in Tabelle 4-4 dargestellt. Gemäß [106] ergibt sich insgesamt eine sehr gute Erkennungsqualität. Vor allem die Manöver, die auf der Radar- und Kamerasensorik basieren, zeigen gute Ergebnisse. Die leicht schlechtere Erkennungsgüte der Manöver an Verkehrsknoten wie Abbiegen und Kreuzen ist durch das Prinzip der

Vorausberechnung der wahrscheinlichsten Route sowie den teilweise fehlerhaften Kartendaten zu begründen.

Tabelle 4-4: Erkennungsqualität der Manövererkennung [106]

Manöver	Anzahl	korrekt erkannt	Erkennungsqualität
freie Fahrt	164	164	100%
Folgefahrt	12	11	91,7%
Abbiegen	72	56	78%
Kreuzen	416	404	97%
Spurwechsel	9	9	100%
Wenden	8	8	100%
Parken	32	32	100%

An der Entwicklung von Algorithmen zur automatisierten Erkennung von Fahrsituationen auf Basis von natürlichen Fahrdaten wird an vielen Stellen gearbeitet. Die im Rahmen dieser Arbeit hierfür entwickelten Programme sind erste Entwürfe, um die Methodik zu erläutern und die Möglichkeiten und den Nutzen der Auswertung von natürlichen Fahrdaten vorzustellen. Sie besitzen noch keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Qualität der Erkennung kann weiter erhöht werden und sollte in nachfolgenden Projekten durchgeführt werden.

4.2.2.2 Identifikation von kritischen Szenarien

Neben den allgemeinen Manövern und Verkehrssituationen ist für die Entwicklung von Systemen der Aktiven Sicherheit die Identifikation von kritischen Referenzszenarien erforderlich. Ähnlich wie bei den Unfallszenarien hat die Aktive Sicherheit in diesen Situationen das Potenzial, die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Abgesehen von dem objektiven Sicherheitseffekt dient eine Unterstützung in den hier identifizierten kritischen Situationen dazu, das subjektive Sicherheitsgefühl des Fahrers zu erhöhen und damit direkten Kundenwert zu schaffen.

Für die Identifikation von kritischen Szenarien ist es nötig, für jedes in Kapitel 4.2.2.1 definierte Manöver einen Satz von Kriterien zu bestimmen, die eine kritische Verkehrssituation beschreiben. Diese Methodik wird in dieser Arbeit an zwei Beispielen gezeigt: kritische Folgefahrt- und Spurwechselsituationen.

Um kritische Folgefahrtsszenarien erkennen zu können, werden die Informationen der radarbasierten Auffahrwarnung mit Anbremsfunktion verwendet. Diese Auffahrwarnung wertet mit einem Radarsensor nach vorne kontinuierlich den Abstand zu einem Vorderfahrzeug und dessen Relativbewegung aus. Wird eine bestimmte Bremszeitreserve des Fahrers unterschritten, erfolgt zunächst eine

optische Vorwarnung. Erhöht sich die Kritikalität und sinkt die Bremszeitreserve weiter, kommt es zu einer akustischen und optischen Akutwarnung. Die beiden Warnstufen der in den Versuchsfahrzeugen verbauten Systeme eignen sich somit ideal, um leichte und sehr kritische Folgefahrtsituationen zu identifizieren und werden daher in dieser Arbeit als Kriterien verwendet. Die Informationen des Auffahrwarnsystems stehen auf dem Fahrzeugbus unabhängig vom Aktivierungsstatus des Systems zur Verfügung.

Auch für die Identifikation von kritischen Spurwechseln werden die Informationen eines Aktiven Sicherheitssystems, der Spurwechselwarnung, genutzt. Dieses System überwacht mit zwei Radarsensoren nach schräg hinten die Nachbarspuren. Wird ein Fahrzeug im toten Winkel oder mit hoher Relativgeschwindigkeit auf der Nachbarspur erkannt, leuchtet ein gelbes Dreieck im Spiegel zur Information für den Fahrer auf. Setzt der Fahrer den Blinker und startet den Spurwechselvorgang, wird er durch ein blinkendes, gelbes Dreieck optisch und durch eine Lenkradvibration haptisch gewarnt. Beide Warnstufen werden für die Auswertung in dieser Arbeit zusammengefasst, da diese Signale nur bei einem durchgeführten Spurwechsel analysiert werden und das Setzen des Blinkers für die Beschreibung der Verkehrssituation und deren Kritikalität nicht berücksichtigt werden muss. Diese Informationen der Spurwechselwarnung stehen nur bei aktiviertem System zur Verfügung, weshalb sich die Untersuchung ausschließlich auf diese Situationen beschränkt.

4.2.2.3 Bestimmung von Umgebungsbedingungen

Zusätzlich zu der Bewegungskonstellation der Beteiligten und der Erkennung der Kritikalität einer Verkehrssituation sind für die Definition von Referenzszenarien Informationen über die Umgebungsbedingungen von Bedeutung. Analog der Analyse von Unfalldaten werden auch bei der Analyse von natürlichen Fahrdaten unterschiedliche Parameter untersucht und repräsentative Umgebungsbedingungen in den verschiedenen Szenarien bestimmt. Hierfür werden geeignete Fahrzeugsensoren und –signale ausgewertet und zu Gruppen zusammengefasst, um vergleichbare Informationen wie in den Unfalldaten zu erlangen.

Für die Bestimmung der Ortslage eines Szenarios wird die Information des Navigationssystems verwendet, welches den aktuellen Straßentyp ausgibt. Durch geeignete Gruppierung der unterschiedlichen Werte wurden analog zu den Unfalldaten vier Kategorien gebildet (innerorts, Autobahn, Landstraße, unbekannt / Sonstige).

Neben der Ortslage ist die Information über die Wetterverhältnisse für die Bestimmung von Potenzialen von Aktiven Sicherheitssystemen und deren Auslegung von Interesse. Hierfür wird die Geschwindigkeit des Scheibenwischers verwendet. Ist er aktiv, wird Niederschlag angenommen, sonst trockenes Wetter.

Um geeignete Sensoren für Aktive Sicherheitssysteme auswählen zu können, sind Informationen über die Lichtverhältnisse in den Referenzszenarien erforderlich. Für deren Bestimmung wird der Umgebungslichtsensor zur automatischen Steuerung des Abblendlichts ausgewertet. Mit diesem Signal ist eine Unterscheidung nach Tag, Nacht und Dämmerung analog zu den Unfallparametern möglich.

Für die Untersuchung der Bewegung des Ego-Fahrzeuges werden außerdem die Ausgangs- und Endgeschwindigkeit sowie die minimale Beschleunigung in jeder Situation analysiert. Diese Informationen dienen dafür, Geschwindigkeitsbereiche für Aktive Sicherheitssysteme und deren Potenziale bzgl. autonomer Bremsungen bestimmen zu können.

4.2.2.4 Bestimmung der Ursachen für kritische Situationen

Durch die zusätzlichen Informationen, die durch die realen Fahrdaten verfügbar sind, können außerdem Hinweise auf die Ursachen für kritische Situationen und damit auch für Unfälle abgeleitet werden. Hierfür bestehen zwei Möglichkeiten.

Die erste Möglichkeit ist der Vergleich der charakteristischen Merkmale von unkritischen und kritischen Referenzszenarien. Treten hier größere Unterschiede auf, kann das ein Grund für ein höheres Risiko einer kritischen Situation sein. Ist es z.B. in einem unkritischen Referenzszenario zu 95% trocken, in dem gleichen kritischen Referenzszenario jedoch nur noch zu 50%, kann der Niederschlag eine Ursache für das vermehrte Auftreten dieser kritischen Situation sein.

Der Vergleich der Merkmale kann nur Hinweise auf mögliche Ursachen geben, aber automatisiert über die Auswertung durchgeführt werden. Genauer lässt sich eine kritische Situation über die Analyse der verfügbaren Videobilder untersuchen. Bild 4-4 zeigt beispielhaft den Aufbau des Videobildes, bestehend aus einer Front-, einer Heck- sowie der Fahrer- und Fahrerarbeitsplatzansicht. Damit können sowohl die Verkehrssituation wie auch Fahrerhandlungen und –ablenkungen bzw. Blickabwendungen beurteilt werden. Die Analyse der Videobilder ist eine manuelle und sehr aufwändige Methode. Hierfür sind geschulte Personen sowie eine automatisierte Erkennung von kritischen Situationen nötig, um gezielt nach den Ursachen suchen zu können.

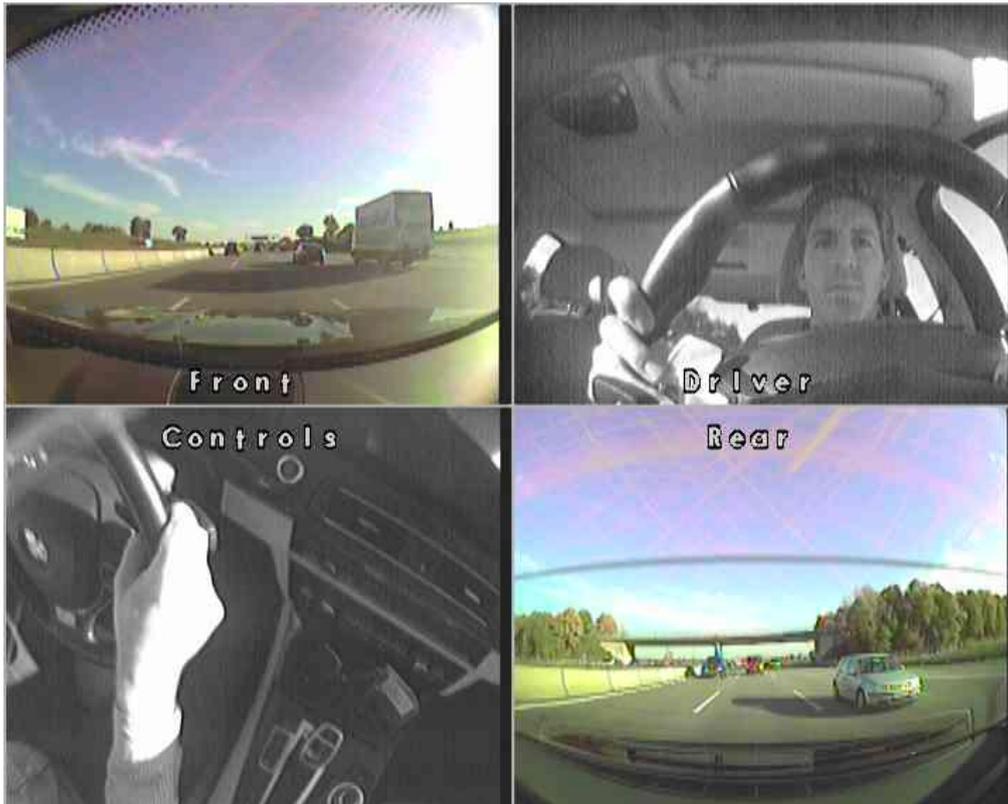


Bild 4-4: Videobild zur Ursachenanalyse von kritischen Situationen

4.2.3 Ergebnisse

Die verfügbaren Fahrdaten wurden mit der oben beschriebenen Methode automatisiert ausgewertet. Mit den Algorithmen wurden verschiedenste Fahrmanöver identifiziert und weiter bzgl. Umgebungsbedingungen und Bewegungsverhältnissen analysiert. Außerdem wurden an den beiden oben beschriebenen Beispielen „Längsverkehr“ und „Spurwechsel“ kritische Situationen erkannt und untersucht. Im Folgenden werden einige Ergebnisse exemplarisch vorgestellt. Die Tabellen aller Verteilungen mit Details und genauen Daten für unkritische Referenzszenarien sind in Anhang L und für kritische Referenzszenarien in Anhang M zu finden.

4.2.3.1 Unkritische Referenzszenarien

Mit Hilfe des in Kapitel 4.2.2.1 beschriebenen Algorithmus wurde zunächst die Verteilung von Folge- und Freifahrt bestimmt. Insgesamt werden hierbei über 200.000 Manöver untersucht. Die beiden Manöver werden hier im Vergleich zu den übrigen getrennt betrachtet, da sie die anderen überlagern. In Bild 4-5 ist abgebildet, dass eine Fahrt zu ca. einem Drittel aus Folge- und zu zwei Dritteln aus Freifahrtmanövern besteht. Davon lässt sich ableiten, dass grundsätzlich in einem Drittel der Manöver ein kritisches Auffahren bzw. ein Auffahrunfall entstehen kann.

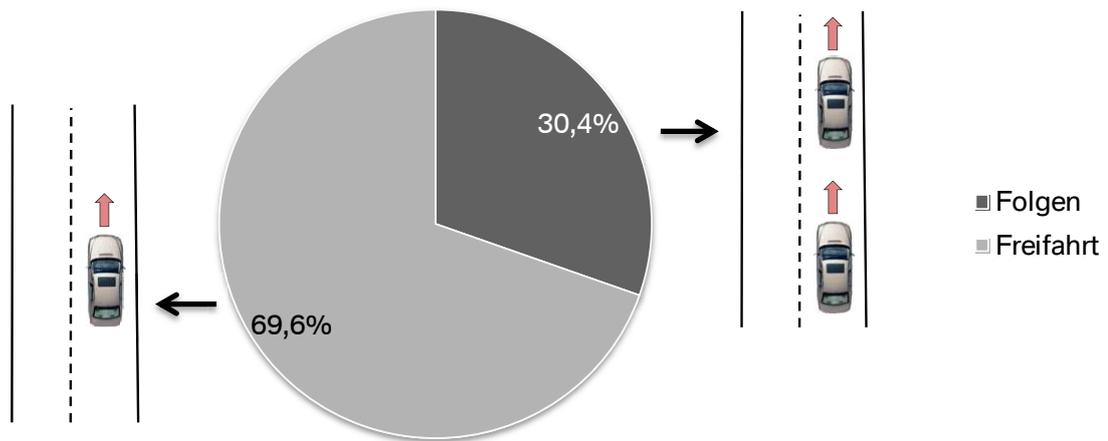


Bild 4-5: Verteilung von Freifahrt und Folgen

Die Verteilung der übrigen Manöver ist in Bild 4-6 dargestellt. Die Grundmenge sind hier 176.601 Manöver. An der großen Anzahl ist zu erkennen, dass die Datenmenge für die folgenden Analysen deutlich größer ist als die der Unfalldaten z.B. der GIDAS-Datenbank. Das häufigste Manöver ist das Kreuzen, bei dem das Fahrzeug geradeaus eine Kreuzung überquert. Auf Rang zwei befindet sich das Spurwechselmanöver, dessen Anteile rechts und links ähnlich groß sind und zusammen ca. 18% ausmachen. Anschließend folgt das Abbiegen, dessen Varianten rechts und links auch hier etwa gleich häufig verteilt sind.

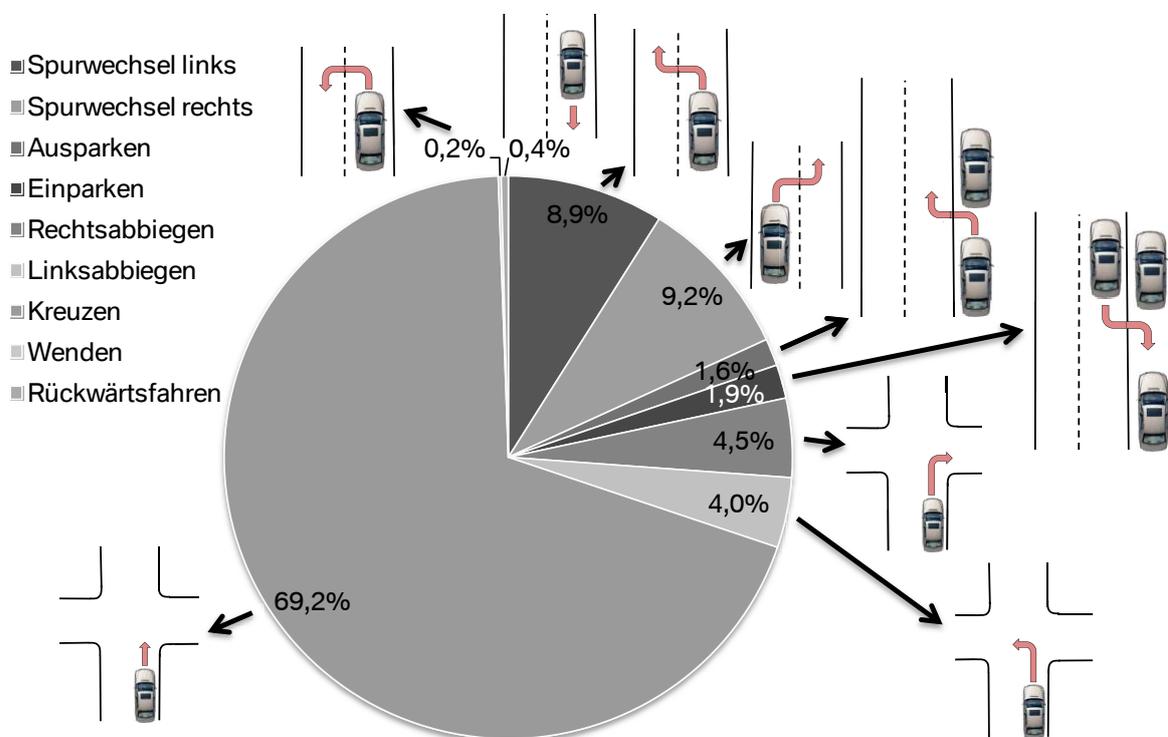


Bild 4-6: Verteilung der Manöver

Wie auch bei der Analyse von Unfalldaten wurden die Umgebungsbedingungen nicht nur allgemein, sondern für jedes Manöver einzeln ausgewertet, da sich hier große Unterschiede ergeben können. Das ist bei der Verteilung der Ortslage der Fall, die in Bild 4-7 dargestellt und stark von den jeweiligen Manövern abhängig ist. Die Freifahrt- und Folgemanöver finden überwiegend innerorts statt und zeigen bzgl. der Ortslage eine weitgehend identische Verteilung. Da die Fahrt ab einer Fahrzeuggeschwindigkeit über Schrittgeschwindigkeit lückenlos in Freifahrt und Folgefahrt aufgeteilt werden kann, repräsentiert deren Verteilung der Umgebungsbedingungen das typische Fahrprofil der Probanden. Somit befindet sich das Ego-Fahrzeug in 60% der Manöver Freifahrt und Folgen in der Stadt, in 25% auf der Autobahn und in 11% auf der Landstraße. Die übrigen 4% sind sonstige Straßentypen.

Es existieren Manöver, die aufgrund Ihrer Art vermehrt innerorts auftreten (Wenden, Rückwärtsfahren, Parken, Abbiegen, Kreuzen), da sie teilweise nur auf diesen Straßentypen möglich sind. Der Unterschied zwischen Ausparken und Einparken lässt sich damit erklären, dass die Datenaufzeichnung erst kurz nach Fahrzeugstart aktiv ist und daher bei sofortigem Fahrtantritt der Straßentyp des Parkplatzes nicht korrekt erfasst werden kann. Die verlässlicheren Daten sind die des Einparkens, da hier die Messtechnik definitiv aktiv war. Die Daten des Einparkens können somit auf das Ausparken übertragen werden. Stark abweichend von der allgemeinen Verteilung ist ebenso die Verteilung der Ortslage bei dem Manöver Spurwechsel. Mehr als die Hälfte der Spurwechsel finden auf Autobahnen statt und ca. 70% außerorts. Der innerörtliche Anteil ist damit relativ gering.

Ebenso wie die Erkenntnisse aus der Unfallanalyse zeigt diese Grafik, wie wichtig es ist, für die Definition von Anforderungen von Aktiven Sicherheitssystemen und deren Auslegung die Verteilungen in der jeweiligen Nutzsituationen des Systems zu betrachten und nicht eine allgemeine Verteilung. Bei der Auslegung eines Spurwechselwarnsystems würde man bei der Betrachtung der allgemeinen Verteilung den Fokus auf den innerstädtischen Verkehr legen, wodurch man aber in der Realität nur einen geringen Anteil an Spurwechselmanövern adressieren würde.

Wie oben beschrieben wurden auch die Bewegungsgrößen analysiert. Da die Geschwindigkeiten stark mit der Ortslage zusammenhängen und sich ähnliche Ausprägungen erkennen lassen (großer Anteil an Straßentyp Autobahn führt zu höheren Geschwindigkeiten), sind die entsprechenden Grafiken hier nicht abgebildet, sondern zusammen mit der Verteilung der maximalen Verzögerungen im Anhang L zu finden. Kurz erläutert werden die Bewegungsgrößen bei der Bestimmung der Referenzszenarien weiter unten in diesem Kapitel.

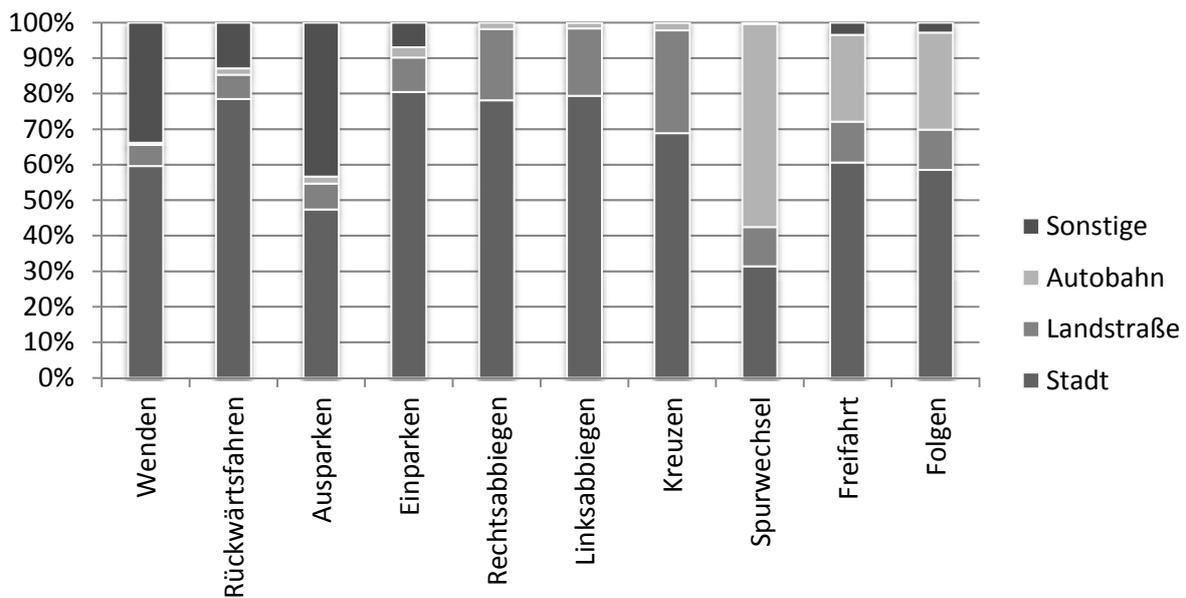


Bild 4-7: Verteilung der Ortslage in den Manövern

Im Unterschied zur Verteilung der Ortslage existieren auch Verteilungen von Umgebungsbedingungen, die unabhängig vom gefahrenen Manöver sind. Hierzu zählen z.B. die Lichtverhältnisse. Bild 4-8 zeigt deren über alle Manöver hin etwa ähnliche Verteilung. Die Manöver finden im Mittel zu 66% bei Tag, zu 21% bei Nacht und zu 13% bei Dämmerung statt.

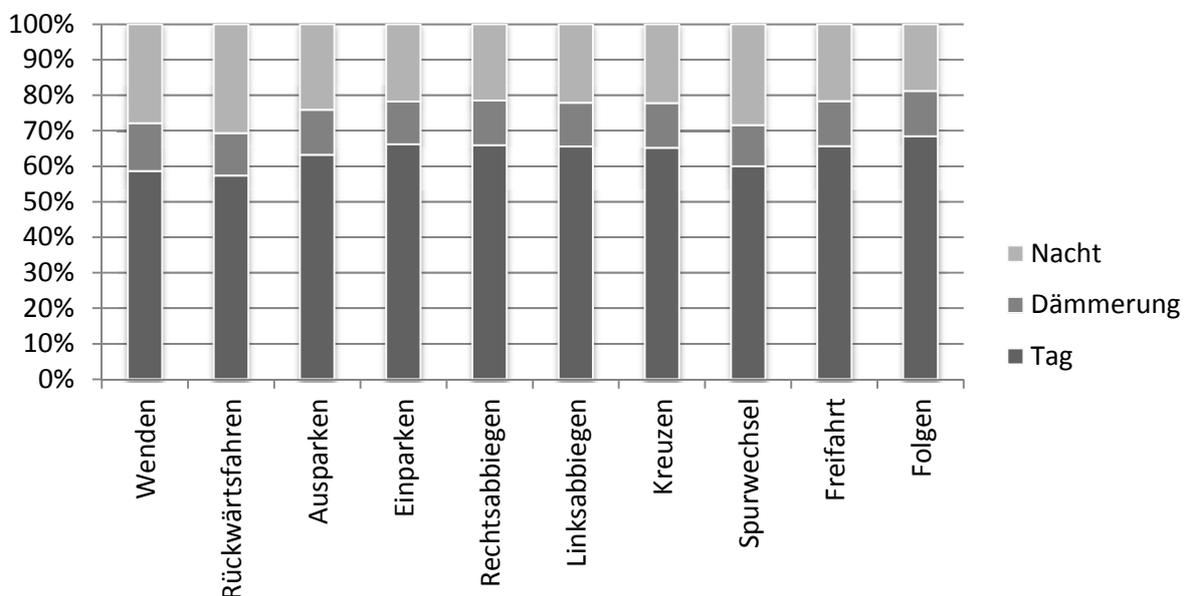


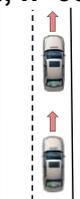
Bild 4-8: Verteilung der Lichtverhältnisse in den Manövern

Analog zur Analyse von Unfalldaten können nach der Identifikation von typischen Fahrmanövern und den dort auftretenden Umgebungs- und Bewegungsbedingungen Referenzszenarien bestimmt werden. Hierfür wird in den typischen Fahrmanövern

jeweils die am meisten auftretende Ausprägung der untersuchten Parameter ausgewählt (z.B. „Tag“ bei Parameter Tageszeit). Für kontinuierliche Parameter wie z.B. die Geschwindigkeit werden Bereiche gewählt, die ca. 80% der Werte abdecken. Bei der Untersuchung von realen Fahrdaten treten die Manöver Folgen, Kreuzen und Spurwechsel (rechts und links zusammen) unter den Manövern mit potenziellem Unfallcharakter am häufigsten auf. Das Manöver Freifahrt ist häufiger als Folgefahrt, kann aber nur kritisch werden, wenn die Fahrbahn verlassen wird. Es wird daher an dieser Stelle nicht weiter explizit betrachtet. Die Referenzszenarien hierzu werden im Folgenden kurz vorgestellt.

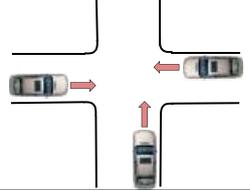
Tabelle 4-5 zeigt das Referenzszenario Folgen. Die häufigste Parameterausprägung ist „innerorts“ für die Kategorie Situation, ist „Tag“ und „kein Niederschlag“ für die Umweltbedingungen und der Geschwindigkeitsbereich liegt zwischen 0 und 120km/h mit einer maximalen Verzögerung von 4m/s² (negative Beschleunigung). Auch hier kann wieder die Gesamtbedeutung im Verkehrsgeschehen bezogen auf alle Frei- und Folgefahrtmanöver (Grundmenge analog Bild 4-5) berechnet werden, die hier 7,5% beträgt.

Tabelle 4-5: Referenzszenario Folgen

Folgen (30,4%, n=65.877) 	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung
Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts	59%
Umwelt	Tageszeit	Tag	68%
	Niederschlag	nein	90%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-130km/h	82%
	Endgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-120km/h	79%
	Maximale Verzögerung	0-4m/s ²	83%
Bedeutung des Referenzszenarios: →7,5% der Freifahrt- und Folgemanöver			

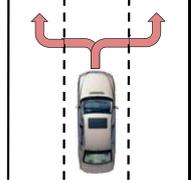
Für das Referenzszenario Kreuzen, dargestellt in Tabelle 4-6, ergeben sich die gleichen Ausprägungen für die Kategorien „Situation“ und „Umwelt“ sowie die maximale Verzögerung. Die Geschwindigkeitsbereiche sind allerdings deutlich geringer mit 0 bis 70km/h. Bezogen auf alle identifizierten Fahrmanöver (analog der Grundmenge von Bild 4-6) ergibt sich eine Gesamtbedeutung von über 10%.

Tabelle 4-6: Referenzszenario Kreuzen

Kreuzen (69,2%, n=121.947)			
	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung
Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts	69%
Umwelt	Tageszeit	Tag	65%
	Niederschlag	nein	90%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-70km/h	76%
	Endgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-70km/h	76%
	Maximale Verzögerung	0-4m/s ²	73%
Bedeutung des Referenzszenarios: →10,8% aller Fahrmanöver (nicht Folge- / Freifahrt)			

Das drittbedeutendste Fahrmanöver ist der Spurwechsel (siehe Tabelle 4-7). Auch hier sind die Umweltbedingungen wieder analog zu den vorher vorgestellten Referenzszenarien. Ein Unterschied besteht in der Ortslage, da die meisten Spurwechsel auf der Autobahn stattfinden. Mit einem Geschwindigkeitsbereich bis 150km/h und einer maximalen Verzögerung bis 5m/s² unterscheidet sich jedoch die Kategorie „Bewegung“. Die hier dargestellte spezifische Situation repräsentiert 1,8% aller analysierten Fahrmanöver (Grundmenge analog Bild 4-6).

Tabelle 4-7: Referenzszenario Spurwechsel

Spurwechsel (18,1%, n=31.928)			
	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung
Situation	Ortslage / Straßenart	Autobahn	57%
Umwelt	Tageszeit	Tag	60%
	Niederschlag	nein	91%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-150km/h	78%
	Endgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-150km/h	78%
	Maximale Verzögerung	0-5m/s ²	80%
Bedeutung des Referenzszenarios: →1,8% aller Fahrmanöver (nicht Folge- / Freifahrt)			

4.2.3.2 Kritische Referenzszenarien

Für die Entwicklung von Systemen der Aktiven Sicherheit sind neben den unkritischen vor allem auch die kritischen Szenarien von Bedeutung. In diesen Situationen sollte ein System der Aktiven Sicherheit den Fahrer unterstützen, um den Konflikt zu entschärfen und einen Unfall zu vermeiden. Kritische Fälle, die nicht zu einem Unfall geführt haben, sind nicht in Unfalldaten enthalten und können nur über die Analyse von realen Fahrdaten untersucht werden. Im Folgenden werden am Beispiel des Folgeszenarios und des Spurwechsels mit Hilfe der in Kapitel 4.2.2.2 definierten Kriterien kritische Situationen identifiziert. Diese werden dann wieder analog zu den unkritischen Szenarien bzgl. Umgebungsbedingungen und Bewegungsverhältnissen analysiert und mit den Ergebnissen der unkritischen Szenarien verglichen. Unterschiede können auf Ursachen für die kritischen Situationen hindeuten.

Bei der Folgesituation wurden leicht und sehr kritische Situationen definiert. Deren Anteil an allen bzw. an kritischen Situationen ist in Bild 4-9 dargestellt. 4,5% aller Folgesituationen werden kritisch (links in der Abbildung). Davon wiederum sind 1,9% sehr kritisch (rechts in der Abbildung).

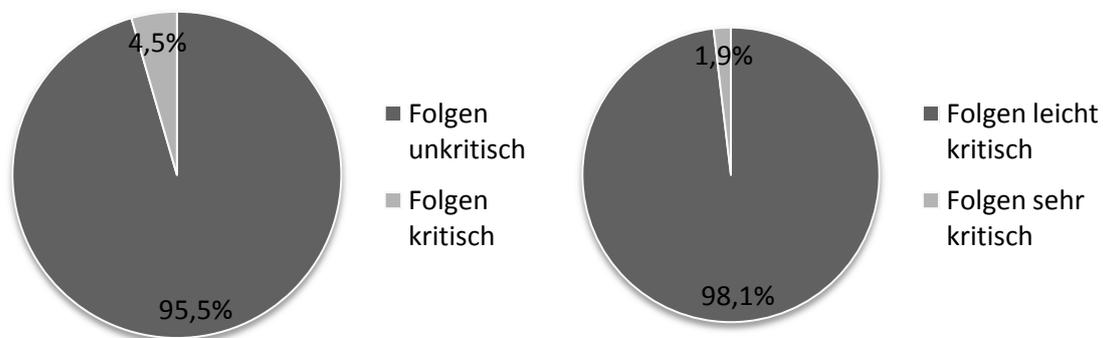


Bild 4-9: Anteil von kritische (links) und leicht / sehr kritische Folgen (rechts)

Der Vergleich der Umgebungsbedingungen von unkritischen, leicht und sehr kritischen Folgemanövern ist in Bild 4-10 dargestellt. Bzgl. der Ortslage (links) ist deutlich zu erkennen, dass der Stadtanteil hin zu kritischen Situationen etwa gleich bleibt, der Landstraßenanteil abnimmt und der Autobahnanteil deutlich zunimmt. Ein System der Aktiven Sicherheit (hier z.B. ein Auffahrwarnsystem) sollte also auch auf der Autobahn und damit in der Regel bei höheren Geschwindigkeiten aktiv sein.

Betrachtet man die Verteilung der Tageszeit in den drei Kategorien (Mitte), erkennt man, dass der Anteil von „Tag“ etwa gleich ist, der von „Dämmerung“ hin zu sehr kritischen Folgemanövern leicht abnimmt und der Nachtanteil dementsprechend zunimmt. Die Fallzahlen beim kritischen Folgen sind zu gering, um von einer bedeutenden Tendenz sprechen zu können. Insgesamt treten die Folgemanöver aber vermehrt (ca. 70%) bei Tag auf, worauf bei der Entwicklung eines Fahrerassistenzsystems z.B. bzgl. der Sensorauswahl der Fokus liegen sollte.

Der Anteil von Regen (rechts) nimmt überraschenderweise bei kritischen und sehr kritischen Folgeszenarien ab, obwohl die Sicht und die Straßenverhältnisse in der Regel durch den Niederschlag schlechter sind als ohne Regen. Der Grund für den etwas geringeren Anteil von Regen in kritischen Situationen könnte sein, dass die Fahrer durch die schlechteren Witterungsverhältnisse aufmerksamer und vorausschauender fahren als bei trockenen Bedingungen. Insgesamt spielt Regen in allen Folgesituationen eine geringe Rolle, weshalb ein System der Aktiven Sicherheit vor allem für trockene Bedingungen ausgelegt sein sollte.

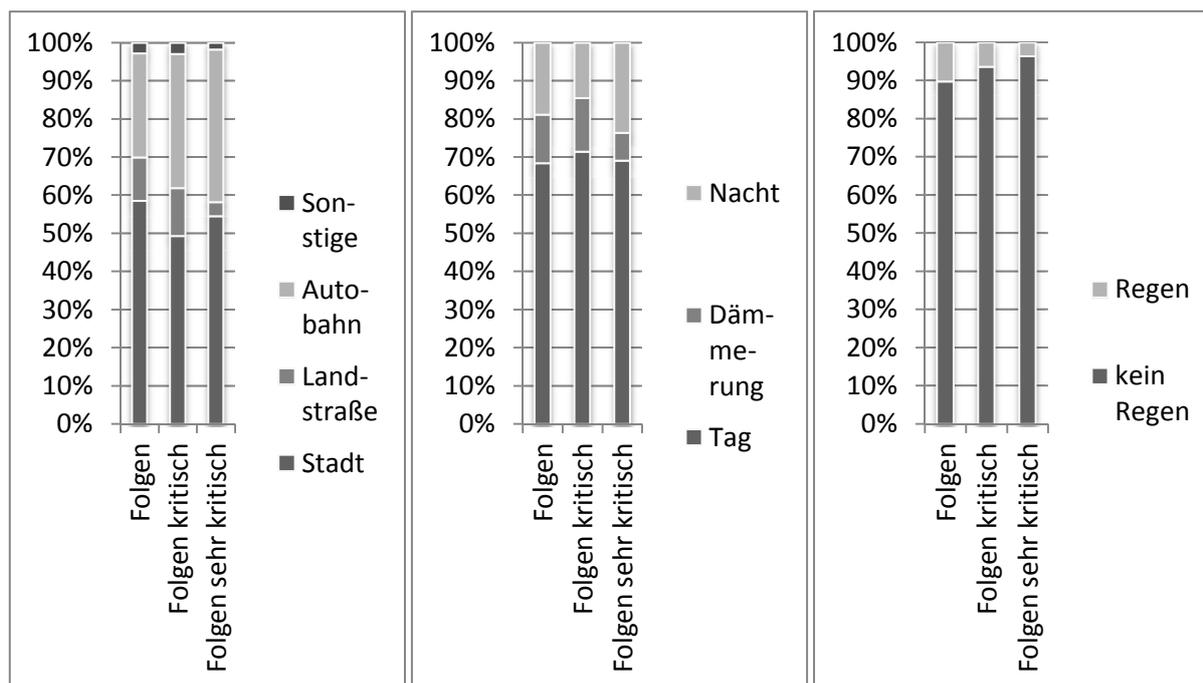
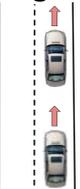


Bild 4-10: Umgebungsbedingungen beim Folgen (gesamt, kritisch, sehr kritisch)

Wie bei den unkritischen Referenzszenarien werden die Verteilungen der Bewegungsgrößen von kritischen Folge- und Spurwechselszenarien nicht hier abgebildet, sondern sind dem Anhang M zu entnehmen. Erläutert werden diese im Folgenden bei der Spezifikation und der Bestimmung von kritischen Referenzszenarien.

Zur Bestimmung der kritischen Referenzszenarien wird analog zu den unkritischen Szenarien sowie den Unfalldaten für die charakteristischen Kategorien der Szenarien jeweils die häufigste Ausprägung festgestellt. Tabelle 4-8 zeigt die Referenzszenarien für kritisches Folgen im Vergleich zum unkritischen Folgen. Auch hier wird wieder zwischen kritischem und sehr kritischem Folgen in den verschiedenen Spalten unterschieden. Die einzelnen Ausprägungen und die Unterschiede wurden oben bereits beschrieben und sind der Tabelle zu entnehmen. Auffällig ist, dass der Geschwindigkeitsbereich, um über 80% der Situationen abzudecken, hin zu sehr kritischen Folgemanevern bis auf 200km/h ansteigt. Ebenso steigen die maximalen Verzögerungen auf 7m/s^2 an, was zeigt, dass durch die Kritikalität der Situationen eine starke Bremsung erforderlich war, um eine Kollision zu vermeiden. Trotz der Spezifikation der Referenzszenarien wird immer noch ein großer Teil der Situationen repräsentiert, was die letzte Zeile der Tabelle zeigt. Sie eignen sich somit, um Systeme der Aktiven Sicherheit zu entwickeln.

Tabelle 4-8: Referenzszenario kritisches Folgen

kritisches Folgen 	Parameter	Ausprägung (Anteil der Ausprägung)		
		Folgen (30,4% v. Folge- /Freifahrt n=65877)	krit. Folgen (4,5% v. Folgen, n=2945)	sehr krit. Folgen (1,9% v. krit. Folgen, n=55)
Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts (59%)	innerorts (49%)	innerorts (55%)
Umwelt	Tageszeit	Tag (68%)	Tag (71%)	Tag (69%)
	Niederschlag	nein (90%)	nein (94%)	nein (96%)
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-130km/h (82%)	0-160km/h (82%)	0-200km/h (84%)
	Endgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-120km/h (79%)	0-150km/h (83%)	0-160km/h (84%)
	Maximale Verzögerung	0-4m/s ² (83%)	0-5m/s ² (80%)	0-7m/s ² (84%)
Bedeutung des Referenzszenarios:		24,8% der Folgemaneöver	23,5% der kritischen Folgemaneöver	34,5% der sehr kritischen Folgemaneöver

Für die Ursachen der sehr kritischen Folgesituationen wurden zusätzlich die zugehörigen Videobilder analysiert. Dafür wurden die Videobilder jeder Situation einzeln beurteilt und die entsprechende Ursache bestimmt. Tabelle 4-9 zeigt die Anteile der identifizierten Ursachen. Bei den meisten Situationen (73%) konnte durch die reine Betrachtung der Bilder keine explizite Ursache erkannt werden und die kritische Situation ergibt sich hier aus der Verkehrssituation bzw. aufgrund des Fahrerverhaltens (z.B. zu späte Bremsung bei Annäherung). Die häufigsten

expliziten Ursachen sind Blickabwendungen aus unterschiedlichen Gründen. Den zweitgrößten Anteil insgesamt nehmen mit 9% die Blickabwendung in die Umgebung (hierzu zählen jegliche Blicke aus dem Fahrzeug, die nicht nach vorne und auf die kritische Situation gerichtet sind) und solche aufgrund einer Fahrzeugbedienung (z.B. Radio) ein, gefolgt von der Blickabwendung aufgrund von Nebentätigkeiten (z.B. Aufschreiben einer Notiz). Aus den Ursachen können wieder Potenziale für Systeme der Aktiven Sicherheit abgeleitet werden. So würde im Falle einer Blickabwendung eine geeignete Warnung die Aufmerksamkeit des Fahrers frühzeitig auf das relevante Verkehrsgeschehen richten und eine entsprechende Fahrerreaktion bewirken.

Tabelle 4-9: Ursachen für sehr kritische Folgesituationen

Ursache	Anzahl	Anteil
Verkehrssituation / Fahrerverhalten	40	73%
Blickabwendung Umgebung	5	9%
Blickabwendung Fahrzeugbedienung	5	9%
Blickabwendung Nebentätigkeit	3	5%
Telefonieren mit Freisprecheinrichtung	1	2%
schlechte Sicht	1	2%
gesamt	55	100%

Das zweite Beispiel zur Analyse von kritischen Szenarien ist das Spurwechselmanöver. Da auch hier die Warnung des Spurwechsel Warnsystems zur Identifikation von kritischen Situationen verwendet wird, muss zur Berechnung des Anteils von kritischen Spurwechseln im Vergleich zu allen Spurwechseln die Grundmenge der betrachteten Spurwechsel auf die Aktivierungsbedingungen eingeschränkt werden, um plausible Zahlen zu erlangen. Die Warnung des Systems wird nur ausgegeben, wenn das System vom Fahrer eingeschaltet wurde (Spurwechselwarner (SWW) aktiv) und die Fahrzeuggeschwindigkeit mindestens 50km/h beträgt. So wurden hier nur Spurwechselmanöver ausgewertet, die diese Bedingungen erfüllen. Sie werden in den folgenden Grafiken mit „Spurwechsel 50 SWW“ bezeichnet. Die Gesamtanzahl dieser Grundmenge beträgt 15.100.

In Bild 4-11 ist der Anteil an kritischen Spurwechselmanövern dargestellt. Er beträgt 4,1% und liegt damit in derselben Größenordnung wie der Anteil an kritischen Folgemanövern.

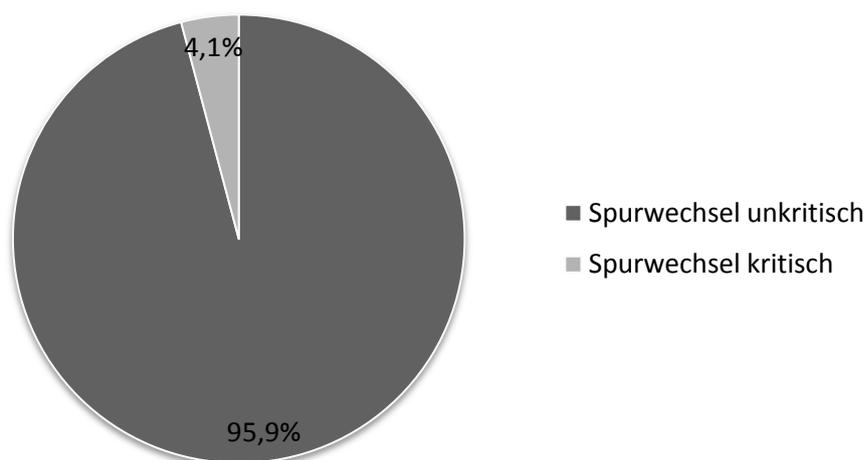


Bild 4-11: Anteil an kritischen Spurwechselmanövern

Auch in dem Spurwechselmanöver wurden die Umgebungsbedingungen untersucht. Sie sind in Bild 4-12 vergleichend dargestellt. Hierbei bezeichnet „Spurwechsel“ alle erkannten Spurwechselmanöver, „Spurwechsel 50 SWW“ die eingeschränkte Anzahl an Spurwechselmanövern, in denen ein kritischer Spurwechsel erkannt werden kann (siehe oben), und „Spurwechsel kritisch“ alle kritischen Spurwechselmanöver.

Bzgl. der Ortslage (links) ist zu erkennen, dass für alle drei Kategorien die Landstraße vermutlich aufgrund des meist einspurigen Verlaufs nur einen geringen Anteil besitzt. Der geringere Anteil von Stadt bei der Kategorie „Spurwechsel 50 SWW“ ist damit zu begründen, dass hier gegenüber allen Spurwechseln die Geschwindigkeit mindestens 50km/h beträgt und daher viele Spurwechsel innerorts wegfallen. Deutlich zu erkennen ist jedoch der deutlich höhere Anteil von Stadt bei kritischen Spurwechseln im Vergleich zur Kategorie „Spurwechsel 50 SWW“. Die Autobahn bleibt mit ca. 50% die häufigste Ausprägung, allerdings belegt die Stadt mit 43% einen nahezu ebenso großen Anteil. Da dies, wie oben beschrieben, nur für Manöver über einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 50km/h gilt, ist es naheliegend, dass bei der Berücksichtigung aller (kritischen) Spurwechselmanöver der Anteil innerorts deutlich steigen würde. Eine Erweiterung des Spurwechselwarnsystems auf kleinere Geschwindigkeiten im Stadtbereich würde somit aus dieser Betrachtung heraus als sinnvoll erscheinen. Bei den Umgebungsbedingungen Tageszeit und Niederschlag sind keine besonderen Auffälligkeiten bei kritischen Spurwechseln zu erkennen. Der Anteil von Tag ist bei kritischen Spurwechseln leicht höher, was evtl. auf die höhere Wahrnehmbarkeit eines beleuchteten Fahrzeugs in der Dunkelheit zurückgeführt werden kann.

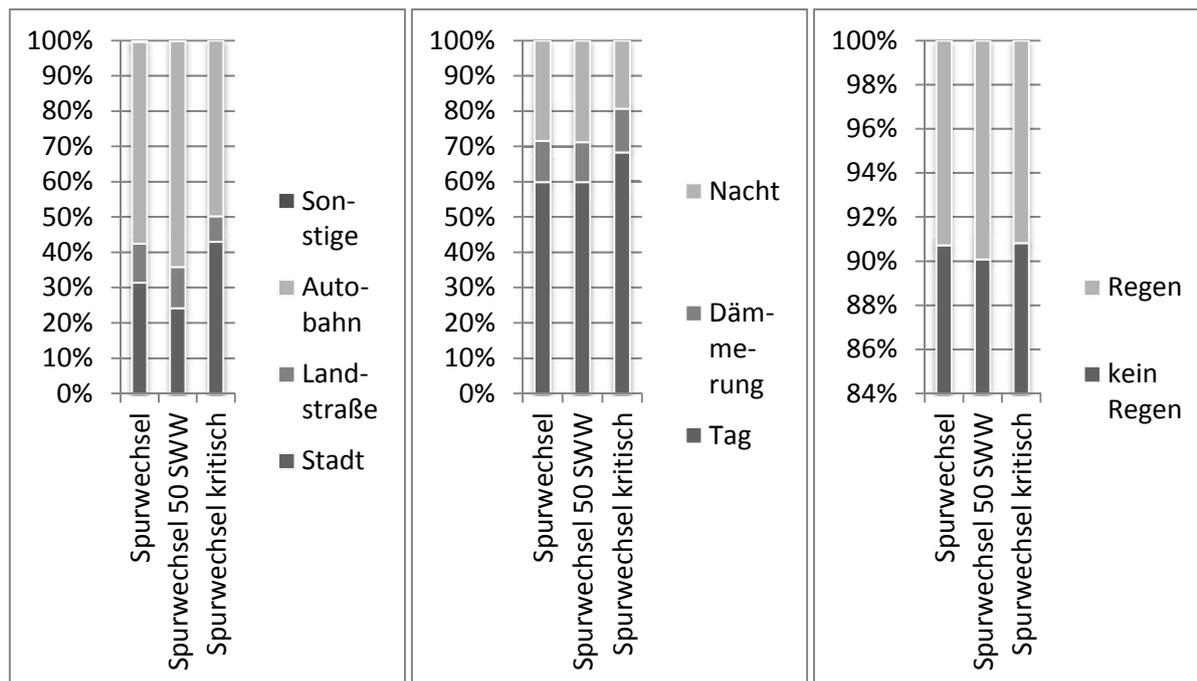
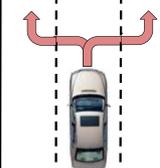


Bild 4-12: Umgebungsbedingungen beim Spurwechsel (gesamt, kritisch)

Ebenso wie für kritische Folgeszenarien kann auf Basis der vorherigen Analysen auch für kritische Spurwechsel ein Referenzszenario definiert werden. Dieses ist in Tabelle 4-10 beschrieben. Vergleicht man die Werte mit unkritischen Spurwechselmanövern (siehe Tabelle 4-7), fällt, wie bereits oben erwähnt, der geringere Anteil der Straßenart Autobahn auf (50%). Um eine gewisse Repräsentativität des Referenzszenarios zu erreichen musste die Ortslage innerorts als Ausprägung hinzugenommen werden, was zeigt, dass ein Spurwechselwarnsystem ebenso innerorts aktiv sein sollte, um möglichst effektiv zu sein. Mit der Ortslage hängen die Fahrzeuggeschwindigkeitsbereiche zusammen. Bei kritischen Spurwechseln ist es aufgrund der zunehmenden Bedeutung von „innerorts“ ausreichend, diese zwischen 0 und 130km/h zu wählen, um ca. 80% der Situationen abzudecken (zum Vergleich: 0 bis 150km/h bei allen Spurwechseln). Zu dem Unterschied im Vergleich zu allen Spurwechselmanövern ist außerdem zu bemerken, dass bei der Auswertung der kritischen Spurwechsel nur Situationen über einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 50km/h enthalten sind (Grund: siehe oben), was die Geschwindigkeitsbereiche eher nach oben bewegen sollte. Dieses spezifische Referenzszenario repräsentiert knapp ein Viertel der kritischen Spurwechsel.

Tabelle 4-10: Referenzszenario kritischer Spurwechsel

krit. Spurwechsel (4,1%, n=621) 	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung
Situation	Ortslage / Straßenart	Autobahn + innerorts	50% + 43% = 93%
Umwelt	Tageszeit	Tag	68%
	Niederschlag	nein	91%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-130km/h	79%
	Endgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-130km/h	79%
	Maximale Verzögerung	0-5m/s ²	83%
Bedeutung des Referenzszenarios: →23,7% der kritischen Spurwechselmanöver			

4.3 Fazit

Studien zur Aufzeichnung und Analyse von natürlichen Fahrdaten wurden bereits von mehreren Organisationen durchgeführt und viele weitere sind in Planung. Die Ziele hierbei sind die Untersuchung des Fahrverhaltens in kritischen und unkritischen Situationen, um daraus Anforderungen an die Entwicklung von Systemen der Aktiven Sicherheit ableiten zu können, sowie die Bewertung von Fahrerassistenzsystemen im realen Verkehrsgeschehen.

In diesem Kapitel wurde gezeigt, auf welche Weise natürliche Fahrdaten verwendet werden können, um Referenzszenarien für Aktive Sicherheit abzuleiten. Es wurden die Fahrdaten von BMW-Fahrzeugen des euroFOT Projektes als Beispiel verwendet und damit unkritische und kritische Referenzszenarien identifiziert. Voraussetzung hierfür war eine aufwändige Messtechnik zur Datenaufzeichnung und eine entsprechende Sensorik. Es wurden darauf basierend Algorithmen entwickelt, um eine automatisierte Auswertung und Erkennung zu ermöglichen. Dies war nötig, da eine manuelle Auswertung aufgrund der großen Datenmenge zu aufwändig ist.

Natürliche Fahrdaten enthalten im Gegensatz zu Unfalldaten Informationen über unkritische sowie kritische Verkehrssituationen. Das Wissen über unkritische Situationen und das „normale“ Fahren sind für die Entwicklung von Aktiver Sicherheit wichtig, da diese hier den Fahrer nicht unterstützen muss. In kritischen Situationen dagegen sollte eine Unterstützung des Fahrerassistenzsystems erfolgen, weshalb die Erkenntnisse aus Fahrdaten bzgl. kritischer Referenzszenarien für die Auslegung

der Systeme hilfreich sind. Durch die Entschärfung von kritischen Situationen werden gleichzeitig Unfälle vermieden, die möglicherweise daraus entstehen könnten. Nicht zuletzt erlebt der Fahrer kritische Situationen deutlich öfter als Unfälle, weshalb er sich subjektiv in diesen Situationen eine Unterstützung erwartet.

Neben der Identifikation von Referenzszenarien können mit Hilfe von Fahrdaten auch Ursachen für kritische Situationen analysiert werden. Dies wurde ebenso in diesem Kapitel gezeigt. Die ermittelten Ursachen können auf entsprechende Referenzszenarien aus Unfalldaten übertragen werden, da einem Unfall immer eine kritische Situation vorausgeht.

Aufgrund der beschriebenen Erkenntnisse sind die Analyse von Fahrdaten und die daraus abgeleiteten Bewegungskonstellationen, Randbedingungen und Ursachen von unkritischen und kritischen Szenarien erforderlich für die umfassende Beschreibung der Referenzszenarien für den präventiven Frontschutz in Kapitel 6.

5 Experimentelle Analyse des Fahrerverhaltens in Referenzszenarien

Wie schon in der Einleitung beschrieben, steht der Fahrer im Mittelpunkt der Gestaltung der Aktiven Sicherheit. Informationen über sein Verhalten sind wichtig, um effektive Systeme der Aktiven Sicherheit entwickeln und Simulationsmodelle zur Bestimmung der Effektivität aufbauen zu können. So ist das Verhalten in typischen unkritischen Verkehrssituationen interessant, um die Auslöseschwellen der Sicherheitssysteme definieren zu können. In diesen Situationen sollte ein System der Aktiven Sicherheit nicht auslösen. In kritischen Situationen sollte der Fahrer aber die bestmögliche Unterstützung durch das System bekommen. Um sie zu bestimmen, sind Informationen über das Fahrerverhalten, die Fahrfehler sowie die Ursachen für Unfälle erforderlich.

Diese sind jedoch in Unfalldaten wenig enthalten. FOT und NDS ermöglichen hierzu mehr Informationen, die für spezielle Fragestellungen teilweise aber nicht ausreichend sind. Gründe hierfür sind unter anderem, dass die relevanten Daten nicht aufgezeichnet werden oder die interessanten Situationen zu selten auftreten bzw. nicht automatisiert detektiert werden können.

Das Verhalten und die Reaktionen des Fahrers können detailliert in speziellen Experimenten in Real- oder Simulatorversuchen analysiert werden. Hier werden die Probanden mit bestimmten Situationen konfrontiert und ihr Verhalten wird mit entsprechender Messtechnik aufgezeichnet. Die Voraussetzung für aussagekräftige Ergebnisse ist neben der richtigen Stichprobe eine Auswahl von repräsentativen Testsituationen (Referenzszenarien), die mit Hilfe der in dieser Arbeit entwickelten Methodik aus Unfalldaten (vgl. Kapitel 3) und natürlichen Fahrdaten (vgl. Kapitel 4) ermittelt werden können.

Nach einem Überblick über den Stand der Technik auf diesem Gebiet wird beispielhaft ein Simulatorexperiment zum präventiven Fußgängerschutz sowie ein kombinierter Versuch auf dem Testgelände und im Simulator zum Thema präventiver Frontschutz vorgestellt, um die Methodik zu präsentieren.

5.1 Ergebnisse aus bisherigen Untersuchungen

Es existiert eine Vielzahl von Experimenten und Studien zur Untersuchung des Fahrerverhaltens in kritischen und unkritischen Verkehrssituationen. Grundsätzlich lässt sich nach der Quelle [107] der Reaktionsprozess in Notbremssituationen in verschiedene Phasen einteilen. Sie lassen sich grob in fahrer- und

fahrzeugabhängige Phasen gliedern, deren Ablauf in Bild 5-1 dargestellt ist. Nach Gefahreintritt folgt die Wahrnehmungszeit, in der der Reiz (z.B. optisch) vom Gefahrenobjekt über die Sinnesorgane und das Nervensystem im Gehirn des Fahrers ankommt. In der anschließenden Erkennungszeit wird das Signal verarbeitet und die Situation erfasst. Danach kommt es zur Entscheidung über Art und Stärke der Handlung, bevor der Reiz über das Nervensystem an die Muskeln zur Umsetzung weitergegeben wird. Anschließend müssen durch die Betätigung der Bremse der Luftspalt zwischen Bremsbeläge und –scheibe und die Elastizitäten überwunden werden, bis die Verzögerung bis zur Vollbremsung aufgebaut werden kann. Im Folgenden werden einige ausgewählte Studien kurz vorgestellt, die sich mit der Untersuchung der verschiedenen Zeiten des Notbremsvorganges beschäftigen.

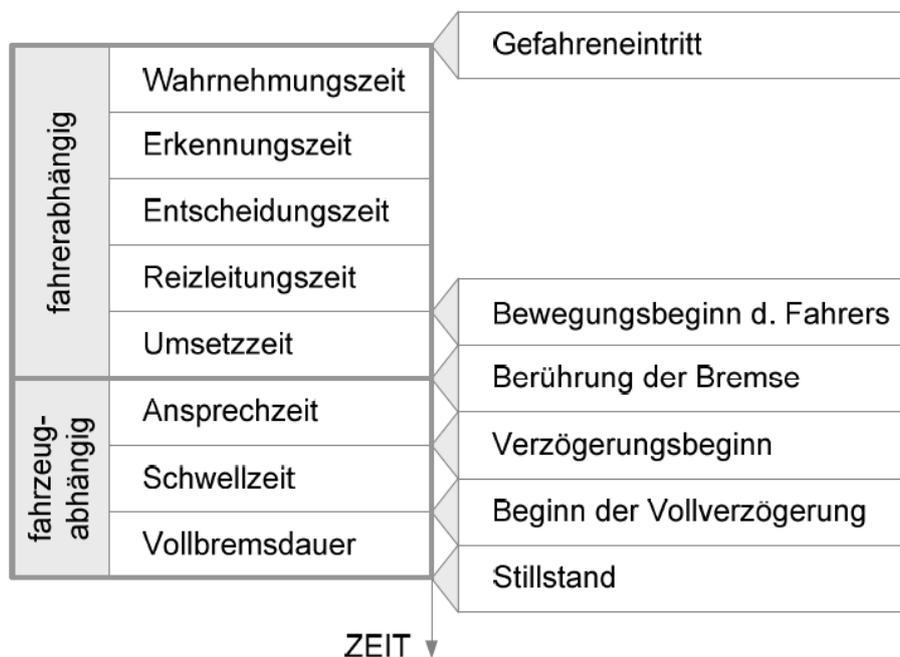


Bild 5-1: Teilphasen des Notbremsvorganges [107]

Bei den Versuchen von Burckhardt [108] fuhren zwei Fahrzeuge auf einer öffentlichen Straße hintereinander, wobei das vordere während einer Fahrt mehrere kurze Bremsungen durchführte. Die Probanden im Folgefahrzeug sollten auf das Aufleuchten der Bremsung so schnell wie möglich mit einer Bremsung reagieren. Dabei wurden verschiedene Zeiten des Reaktionsprozesses gemessen. Die Ergebnisse sind in der Empfehlung des 20. Deutschen Verkehrsgerichtstages für Reaktionszeiten enthalten und in Tabelle 5-1 dargestellt. Es ergeben sich Gesamtreaktionszeiten von 0,8 bis 1,8s. Da die Probanden in diesen Versuchen nicht unvorbereitet waren, sind die Ergebnisse nicht vollständig auf eine seltene Notbremssituation im realen Verkehrsgeschehen übertragbar.

Tabelle 5-1: Reaktionszeiten [s] nach Empfehlung des 20. Deutschen Verkehrsgerichtstages [107]

Perzentil (Median)		2%	50%	98%
Blickzuwendungszeit	Blickzuwendung	0,32	0,48	0,55
	Korrektursakkade bei > 5°	0,09	0,13	0,15
Basisreaktionszeit	Informationsverarbeitung	0,22	0,45	0,58
	Umsetzzeit	0,15	0,19	0,21
	Schwelldauer	0,17	0,22	0,24
Summe	Basisreaktionszeit	0,54	0,86	1,03
	+ Blickzuwendung < 5°	0,86	1,34	1,58
	+ Blickzuwendung > 5°	0,95	1,47	1,73

Zomotor untersuchte 1987 das Reaktionsverhalten von unvorbereiteten Probanden in kritischen Fußgängersituationen [72]. In dem Versuch fuhren die Teilnehmer mit konstanter Geschwindigkeit eine Gasse entlang. Bei einer bestimmten TTC wurde eine Fußgängerattrappe aus Schaumstoff auf die Fahrbahn gezogen. Es wurden drei verschiedene Stärken der Reaktionsaufforderung untersucht. Bei der schwächsten wird die Attrappe von links in mittlerer Entfernung auf die Fahrbahn gezogen. Bei der mittleren wird sie in größerer Entfernung - allerdings hinter einer Sichtblende - von rechts und links und bei der stärksten mit geringster Entfernung von rechts hinter einer Sichtblende hervor auf die Fahrbahn gezogen. Die Reaktionszeit vom Erscheinen des Dummies bis zum Beginn der Bremsung oder Lenkung wurde ausgewertet.

Tabelle 5-2: Reaktionszeiten [s] bei verschiedenen Reaktionsaufforderungen [107]

Stärke der Reaktionsaufforderung	schwach	mittel	stark
Wahrnehmungs- und Erkennungszeit	0,70	0,30	0,15
Entscheidungszeit	0,31	0,31	0,31
Reizleitungszeit	0,03	0,03	0,03
Umsetzzeit	0,20	0,25	0,22
Ansprechzeit	0,03	0,03	0,03
Beginn Bremsdruckanstieg	1,27	0,92	0,74
Beginn Fahrzeugverzögerung	1,34	0,99	0,83

Mit dem in Kapitel 2.4.3 vorgestellten Werkzeug EVITA wurden von Hoffmann unterschiedliche Frontalkollisionsgegenmaßnahmen bzgl. ihrer Wirksamkeit auf das Reaktionsverhalten von Fahrern in Notbremssituationen analysiert [109]. Untersucht wurden folgende Maßnahmen: akustisches Warnsignal, optisches Warnsymbol mit Sitzvibration, Bremsruck, Teilverzögerung, Vollverzögerung. Bzgl. der meisten Phasen der Reaktionszeit konnten allerdings keine signifikanten Unterschiede im

Hinblick auf eine Reduzierung der Zeit festgestellt werden. Nur bei der Blickzuwendungszeit ergab sich, dass die Maßnahmen akustisches Warnsignal, Vollverzögerung und Bremsruck zu signifikant kleineren Zeiten führten als das optische Warnsymbol mit Sitzvibration. Bzgl. der verschiedenen Phasen der Reaktionszeit wurden folgende Ergebnisse ermittelt: Die Blickzuwendungszeit lag im Mittel bei ca. 0,5s für das 50%-Perzentil. Der Median für die Umsetzungszeit liegt bei 0,175s und für die Betätigungszeit bei ca. 0,2s. Es ergab sich eine Gesamtreaktionszeit von ca. 0,9s (50%-Perzentil).

Neben Realversuchen lassen sich Reaktionszeiten und die Wirksamkeit von Fahrerassistenzsystemen auch sehr gut im Fahrsimulator untersuchen. So wurde in der Quelle [101] eine kritische Situation untersucht, in der ein Kind plötzlich die Straße vor dem Fahrzeug des Probanden überschreitet. Es wurde nachgewiesen, dass ein Bremsassistent hilft, Unfälle zu vermeiden.

Im Rahmen der Studie [24] wurde neben den in Kapitel 5.2 vorgestellten Ergebnissen dieser Arbeit zum Fahrerverhalten in Fußgängersituationen auch ein prototypisches Fußgängerschutzsystem im Fahrsimulator bzgl. Akzeptanz und Wirksamkeit untersucht.

5.2 Analyse des Fahrerverhaltens in Fußgängersituationen

Im folgenden Kapitel wird eine Methodik für die Analyse des Fahrerverhaltens in einem Fahrsimulator am Beispiel des präventiven Fußgängerschutzes vorgestellt (siehe auch [24]).

5.2.1 Fragestellungen und Ziele

Die hier präsentierten Ergebnisse umfassen im Wesentlichen zwei Fragestellungen, die Teil einer umfangreichen Untersuchung zum Thema „präventiver Fußgängerschutz“ waren.

Zum einen wird untersucht, wie sich der Fahrer in der Interaktion mit dem Fußgänger in unkritischen Situationen verhält. Hierbei werden die vom Fahrer gewählten und damit noch akzeptablen Abstände zum Fußgänger in Längs- und Querrichtung bestimmt. Dies stellt das Normalverhalten dar und dient der Auslegung von Warnbereichen und Eingriffsstrategien des zu entwickelnden präventiven Fußgängerschutzsystems. In diesen Fällen sollte ein System nicht auslösen, da die Situation als unkritisch eingestuft wird. Auslösungen könnten hier zu einer Reduzierung der Akzeptanz und evtl. zur Ablehnung des Systems durch den Fahrer führen.

Die zweite Frage ist das Verhalten des Fahrers in kritischen Fußgängersituationen. Es wird untersucht, wann und wie der Fahrer reagiert, um Potenziale für die Erhöhung der Verkehrssicherheit in diesen Situationen durch das System bestimmen zu können. Reagiert der Fahrer z.B. zu spät, könnte eine Warnung den Fahrer zu einem früheren Zeitpunkt auf die Kritikalität der Situation hinweisen.

5.2.2 Versuchsbeschreibung und Methodik

Die Untersuchung fand im dynamischen Fahrsimulator der BMW Group statt, der durch Bewegung des Fahrzeuges ein im Vergleich zu statischen Simulatoren realistisches Fahrgefühl vermitteln kann. Die Probanden wurden vorab nicht mit der Fragestellung vertraut gemacht, um ein möglichst natürliches Fahrverhalten zu erlangen. Der Aufbau des verwendeten Simulators ist in Bild 5-2 dargestellt (vgl. hierzu auch Kapitel 2.4.3).



Bild 5-2: Versuchsaufbau des dynamischer Fahrsimulators

5.2.2.1 Versuchsablauf

Nach der Erhebung der demografischen Daten und des Fahrerprofils erhält der Proband zunächst eine Einweisung in den dynamischen Fahrsimulator. Anschließend startet er in eine ca. zwölfminütige Eingewöhnungsfahrt, um sich mit der Versuchsumgebung und dem Fahrverhalten des Simulators vertraut zu machen. Diese beginnt auf der Landstraße, über die der Proband in den innerstädtischen Bereich einfährt. Bereits in der Eingewöhnungsfahrt sind die unkritischen Messsituationen eins und zwei unauffällig eingebaut (vgl. Kapitel 5.2.2.2).

Daran schließt sich die eigentliche Versuchsfahrt an, die vollständig im innerstädtischen Bereich stattfindet und ca. 20 Minuten dauert. Hier sind die vier weiteren unkritischen Messsituationen eingebaut sowie am Ende die kritische Situation.

Ein Teil der Probanden durchläuft am Ende des Versuchs zusätzlich eine fünfminütige Fahrt, in der Fußgänger passiert werden, um die Messergebnisse aus den unkritischen Situationen zu verifizieren (vgl. Kapitel 5.2.2.2).

5.2.2.2 Beschreibung der Versuchsumgebung und der Messsituationen

Versuchsumgebung

Die Probanden durchfahren mit einer Geschwindigkeit von 50km/h eine festgelegte Strecke im innerstädtischen Bereich mit unterschiedlicher Bebauung. Dabei sind zahlreiche bewegte und unbewegte Fußgänger vorhanden, die sich am Straßenrand befinden und die Straße überqueren. Die meiste Zeit der Fahrt wird ohne besondere Ereignisse erlebt, um ein möglichst natürliches Fahrverhalten beim Probanden zu erreichen. Die Messsituationen sind unauffällig in die Fahrt eingebaut und die verschiedenen Varianten der Situationen werden von Proband zu Proband permutiert. Erst am Ende des Versuchs durchfährt der Fahrer die kritische Situation.

Unkritische Situationen

Die unkritischen Situationen werden so in die Fahrt integriert, dass der Fahrer diese gar nicht bemerkt. In diesen Situationen wird untersucht, welche Abstände der Fahrer zu den Fußgängern einhält:

- Unkritische Situation 1: Der Fußgänger bewegt sich entlang der Straße in Fahrtrichtung (siehe Bild 5-3). Seine Querposition wird in drei Stufen variiert. Es tritt kein Gegenverkehr auf, sodass der Fahrer beliebig auf die Gegenseite ausweichen kann, um den Fußgänger zu umfahren. In dieser Situation wird ermittelt, ob die Probanden bei allen drei Stufen den gleichen seitlichen Abstand wählen und welchen Wert er annimmt, sowie die TTC, bei der die Lenkbewegung für die Vorbeifahrt beginnt (siehe Bild 5-3, rechts). Die Querpositionen sind folgende:
 - Der Fußgänger bewegt sich auf der Straßenmarkierung.
 - Der Fußgänger bewegt sich 0,2m links von der Straßenmarkierung.
 - Der Fußgänger bewegt sich 0,5m rechts von der Straßenmarkierung.



Bild 5-3: Unkritische Situation 1

- Unkritische Situation 2: Der Fußgänger überschreitet die Fahrbahn von rechts nach links in einem unkritischen Abstand. Es wird untersucht, welche TTC die Fahrer zum Fußgänger, z.B. durch ein Bremsmanöver, nicht unterschreiten. Die TTC, bei der der Fußgänger auf die Straße tritt, wird wieder in drei Stufen variiert:
 - geringe TTC: ca. 5,4s.
 - mittlere TTC: ca. 6,6s.
 - hohe TTC: ca. 7,8s.



Bild 5-4: Unkritische Situation 2

- Passieren von Fußgängern: Bei einer Teilstichprobe von 20 Probanden wird zur Bestimmung des minimalen seitlichen Abstandes zum Fußgänger zusätzlich eine synthetische Messfahrt durchgeführt. Dabei passieren die Fahrer nacheinander zehn Fußgänger, die ihnen auf Ihrer Spur entgegenkommen (siehe Bild 5-5). Die Probanden wurden angewiesen, in einem minimalen, akzeptablen und unkritischen Abstand an den Fußgängern vorbei zu fahren. Auch hier ist ausreichend Platz zum Ausweichen vorhanden.



Bild 5-5: Passieren von Fußgängern

Kritische Situation:

Der Fußgänger tritt, wie in Bild 5-6 dargestellt, in einem kritischen Abstand aus einer Gruppe von Menschen am Fahrbahnrand auf die Straße und überschreitet diese von rechts nach links. Um die Kritikalität der Situation herzustellen, ist er erst bei einer TTC von ca. 2,0s vollständig sichtbar und tritt unmittelbar danach auf die Straße. Der Proband ist hierbei durch eine Nebenaufgabe abgelenkt, die in Kapitel 5.2.2.3 beschrieben wird. Die Eigenschaften und Randbedingungen der Situation entsprechen dabei dem Referenzszenario 1 aus der Unfalldatenanalyse gemäß Kapitel 3.3.6, um möglichst viele reale Fußgängerunfälle zu repräsentieren. Somit können aussagekräftige Ergebnisse generiert werden, die auf das Verkehrsgeschehen übertragen werden können. In dieser Situation wird die Reaktion des Fahrers aufgezeichnet und ausgewertet. Diese Situation wurde während des Versuchs zusätzlich in einer zweiten, für diese Auswertung allerdings irrelevanten Version durchfahren und wird hier nicht weiter behandelt. Die Position der beiden Varianten wird im Versuchsablauf gewechselt. Da die Probanden nur beim ersten Erleben dieser Situation völlig unvorbereitet sind, werden nur diese Messdaten für die Analyse verwendet. Somit ergeben sich unter Berücksichtigung von Ausfällen wegen der Simulatorübelkeit einiger Probanden 18 Datensätze.



Bild 5-6: Kritische Situation

5.2.2.3 Nebenaufgabe

Während der gesamten Versuchsfahrt wird der Fahrer immer wieder für ca. eine Minute durch eine Nebenaufgabe abgelenkt. Dies erfolgt neben den kritischen Situationen auch während der normalen Fahrt ohne Ereignisse, um den Fahrer so nicht auf die Situation aufmerksam zu machen. Für die rein visuelle Nebenaufgabe werden im zentralen Informationsdisplay des Fahrzeuges Buchstaben und Zahlen in kurzen Abständen und in beliebiger Reihenfolge angezeigt (siehe Bild 5-7). Erscheint eine Zahl, muss der Fahrer dieses Ereignis mit einer Taste am Lenkrad innerhalb von einer Sekunde bestätigen. Ist die Bestätigung erfolgreich, so erscheint ein grüner Kreis, ist sie fehlerhaft, wird ein rotes X angezeigt (siehe Bild 5-7). Durch die Nebenaufgabe wird somit durch diese visuelle Aufgabe eine konstante Belastung beim Fahrer erzeugt. Dies soll alltägliche Ablenkungen des Fahrers, wie z.B. die Bedienung des Navigationssystems, während des normalen Fahrbetriebs nachbilden. Der Start der Nebenaufgabe wird dem Fahrer jeweils mit einem Gong signalisiert.



Bild 5-7: Visuelle Nebenaufgabe

5.2.2.4 Stichprobe

Der Versuch wurde mit 40 Probanden zwischen 22 und 60 Jahren (Durchschnitt: 37,3 Jahre) durchgeführt. Diese sind Mitarbeiter der BMW AG, die allerdings nicht in der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen tätig und zu 33 Prozent weiblich sind. Bei 15% der Versuchsteilnehmer musste der Versuch aufgrund von Simulatorübelkeit vorzeitig abgebrochen werden, weshalb hier nicht alle Messsituationen aufgezeichnet werden konnten.

5.2.3 Ergebnisse: Fahrerverhalten in Fußgängersituationen

Die Ergebnisse des Fahrerverhaltens in unkritischen und in kritischen Fußgängersituationen werden in den folgenden zwei Unterkapiteln erläutert.

5.2.3.1 Fahrerverhalten in unkritischen Fußgängersituationen

Bei der unkritischen Situation 1 (Fußgänger in Längsrichtung) wurden zwei Werte zur Beschreibung der Reaktion des Fahrers untersucht: Der seitliche Abstand beim Passieren und die TTC bei Beginn des Lenkvorganges. Bild 5-8 zeigt die Verteilung des seitlichen Abstandes in den drei Varianten dieser Situation sowie in der Spezialmessfahrt „Passieren von Fußgängern“. Das Bild zeigt, dass die Verteilungen und Mediane der vier Fälle sehr vergleichbar sind. Unabhängig von der Position des Fußgängers in der unkritischen Situation 1 sowie in der synthetischen Messfahrt ergibt sich im Mittel ein seitlicher Abstand von 1,5m. Daraus lässt sich ableiten, dass die Probanden – wenn es die Verkehrssituation erlaubt – immer den gleichen persönlichen Sicherheitsabstand zum Fußgänger einhalten, unabhängig davon, wo er sich in der Fahrspur befindet. Außerdem lässt sich eine leichte Tendenz erkennen, dass der obere Whisker des Boxplots bei der unkritischen Situation 1 höher liegt, wenn die Situation objektiv gefährlicher wird (Fußgänger links von der Straßenmarkierung). Das könnte damit begründet sein, dass es Fahrer gibt, die auf die kritischere Situation (Fußgänger befindet sich im Fahrschlauch) mit einem höheren Seitenabstand reagieren.

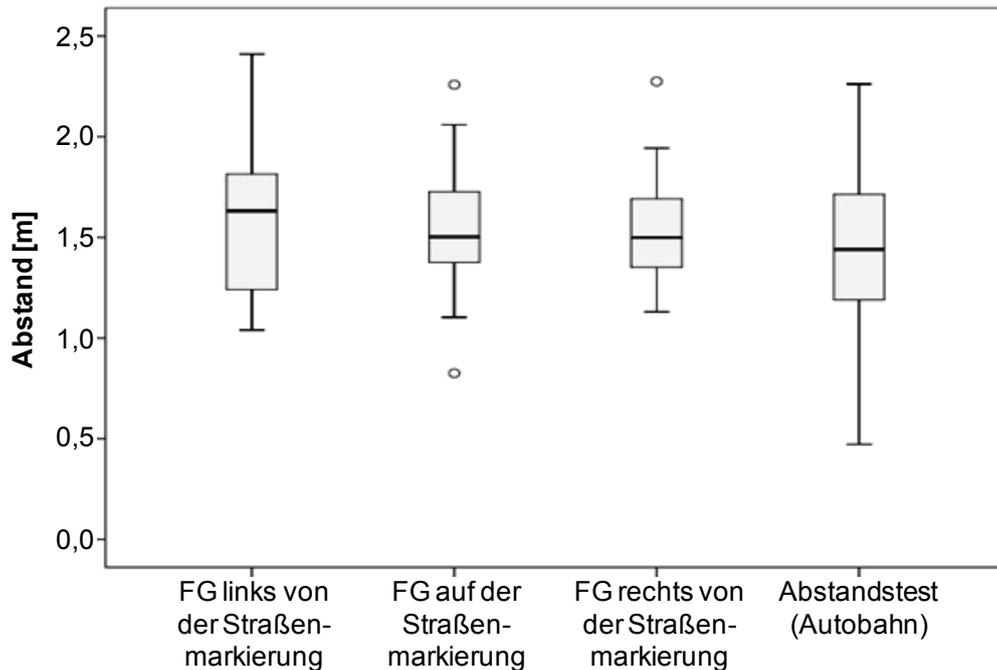


Bild 5-8: Unkritische Situation 1: Seitlicher Abstand zum Fußgänger beim Passieren

Auch bei der TTC zu Beginn des Lenkens zeigt sich, dass ein Wert gefunden werden kann, bei dem die Fahrer den Ausweichvorgang einleiten, unabhängig von der Position des Fußgängers (vgl. Bild 5-9). Der Durchschnittswert der drei Varianten liegt bei 2,8s. Dieser Wert beschreibt den zeitlichen Sicherheitsabstand in Längsrichtung, bei dem eine Reaktion des Probanden in Form einer Lenkbewegung erfolgt, wenn es die Verkehrssituation erlaubt.

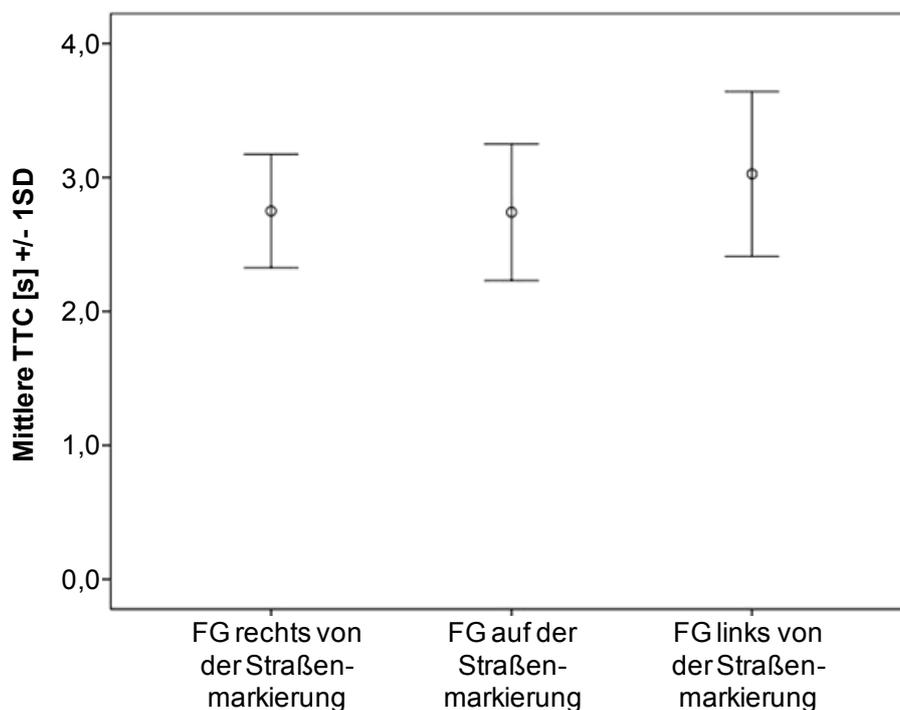


Bild 5-9: Unkritische Situation 1: TTC beim Beginn des Lenkens

Bei der unkritischen Situation 2 (Queren des Fußgängers) wurde die TTC bei Beginn des Bremsengriffs untersucht. Wie schon bei der vorherigen Situation beschreibt sie den zeitlichen Abstand in Längsrichtung, den die Probanden, wenn sie den Fußgänger früh genug erkennen, nicht unterschreiten.

Es zeigt sich, dass es bei den gewählten Varianten der Situation unterschiedlich oft zu Bremsengriffen der Fahrer kommt. Bei der Variante mit der höchsten TTC bremsen nur ein Drittel der Probanden, bei der mittleren TTC etwa die Hälfte. Die kleinste TTC ist so gewählt, dass es bei allen Probanden zu einem Bremsengriff kommt (genaue Werte: siehe Kapitel 5.2.2.2). Daher sind in Bild 5-10 nur die beiden Varianten mit der mittleren und niedrigen TTC dargestellt. Wie auch bei der unkritischen Situation 1 ergibt sich unabhängig von den beiden Varianten der Versuchsbedingungen ein vergleichbarer Mittelwert. Dieser beträgt in dieser Situation 4,0s. Der höhere Wert im Vergleich zum Längsabstand in der unkritischen Situation 1 ist damit zu erklären, dass aufgrund der Situation bei einem querenden Fußgänger ein Bremsmanöver das probate Mittel zur Vermeidung der Kollision ist, während dies in der unkritischen Situation 1 durch ein Ausweichen erreicht werden kann. Auch in einer kritischen Situation liegt bei einer Geschwindigkeit von 50km/h der letztmögliche Zeitpunkt zur Vermeidung der Kollision durch Ausweichen bei einer geringeren TTC als durch eine Bremsung.

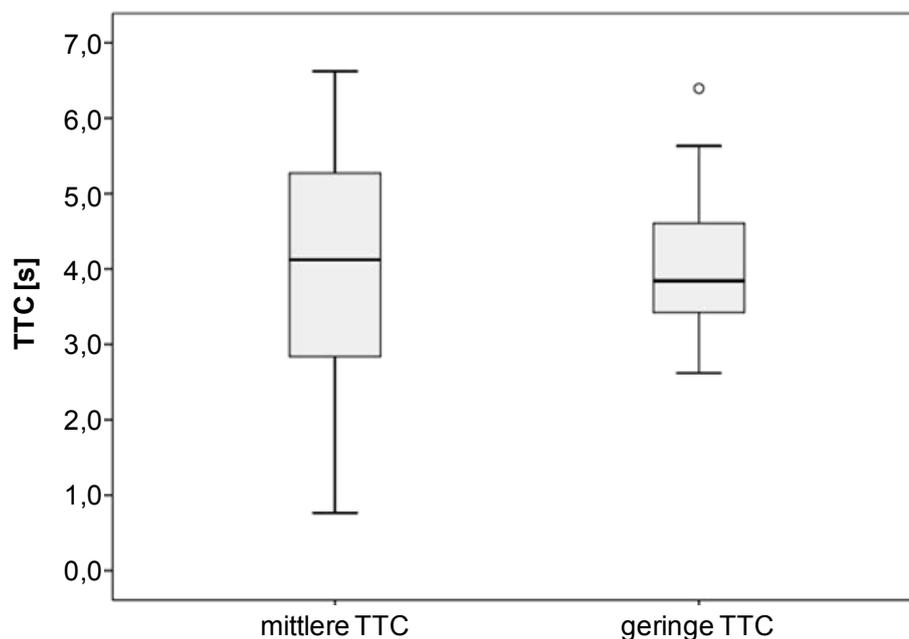


Bild 5-10: Unkritische Situation 2: TTC zum Bremszeitpunkt

Die in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnisse stellen das Fahrerverhalten und die Interaktion des Fahrers mit dem Fußgänger in unkritischen Situationen dar. Die ermittelten Grenzwerte in Längs- und Querrichtung beschreiben den Bereich, den

der Fahrer in Verkehrssituationen mit einem Fußgänger nicht unterschreiten will, um diese komfortabel und unkritisch zu durchfahren. Diese Werte können in der Entwicklung von Systemen der Aktiven Sicherheit dazu verwendet werden, die maximalen Warnbereiche der Funktionen auszulegen. Dabei ist es wichtig, die Art der Warnung zu berücksichtigen. Eine informierende bzw. visuelle Warnung ist für den Fahrer möglicherweise auch außerhalb dieser Bereiche akzeptabel, da sie einen geringen störenden Charakter besitzt. Eine akustische und haptische Warnung (Akutwarnung) dagegen stört bei zu häufigen Falschauslösungen und sollte daher nicht ausgegeben werden, wenn die ermittelten Grenzwerte nicht unterschritten werden. Der Fahrer würde diese Situation als unkritisch empfinden und daher eine Warnung nicht akzeptieren. Es zeigt sich, dass für die Fahrer vermutlich eine Akutwarnung plausibel wäre, wenn sich der Fußgänger in einem Bereich vor dem Fahrzeug mit einer Breite bis zu einem Meter neben dem Fahrzeug befinden würde. Nur ein Proband unterschreitet einen seitlichen Abstand von einem Meter bei der Vorbeifahrt an dem Fußgänger in der unkritischen Situation 1 (vgl. Bild 5-8). Für die Auslegung des Warnbereichs in Längsrichtung ergibt sich bei der Betrachtung der Grenzwerte aus der unkritischen Situation 1 und 2, dass bei einer TTC von 2,0s die meisten Fahrer eine Warnung akzeptieren würden. Es ist wichtig zu beachten, dass diese Ergebnisse als maximal mögliche Werte zu verstehen sind. Ergeben sich bei der Systementwicklung mit der zur Verfügung stehenden Sensorik und Algorithmen mit diesen Werten zu hohe Falschauslöseraten, müssen sie aus Akzeptanzgründen weiter reduziert werden.

5.2.3.2 Fahrerverhalten in kritischen Fußgängersituationen

Wie weiter oben beschrieben wird das Fahrerverhalten in kritischen Situationen untersucht, um zu erkennen, wann und wie ein präventives Sicherheitssystem den Fahrer unterstützen kann. Dafür werden der Zeitpunkt und die Art und Stärke der Fahrerreaktion analysiert.

Bei zwei der 18 Probanden kommt es zu einer Kollision mit dem Fußgänger (11,1%). Dies zeigt, dass trotz der kritischen Bedingungen durch die Ablenkung des Fahrers und die späte Sichtbarkeit des Fußgängers die Kollision in den meisten Fällen vom Fahrer ohne Unterstützung verhindert werden kann.

In allen Fällen kommt es zu einer Bremsreaktion und in 54% der Fälle zusätzlich zu einer Ausweichreaktion. Im Folgenden wird die Bremsreaktion im Detail beschrieben.

Der Bremsengriff erfolgt in dieser Situation im Durchschnitt bei einer TTC von 1,4s. Bild 5-11 zeigt die Verteilung der Zeit zwischen Bremsbeginn und Vollverzögerung. Der Mittelwert der Zeitverteilung liegt bei 560ms.

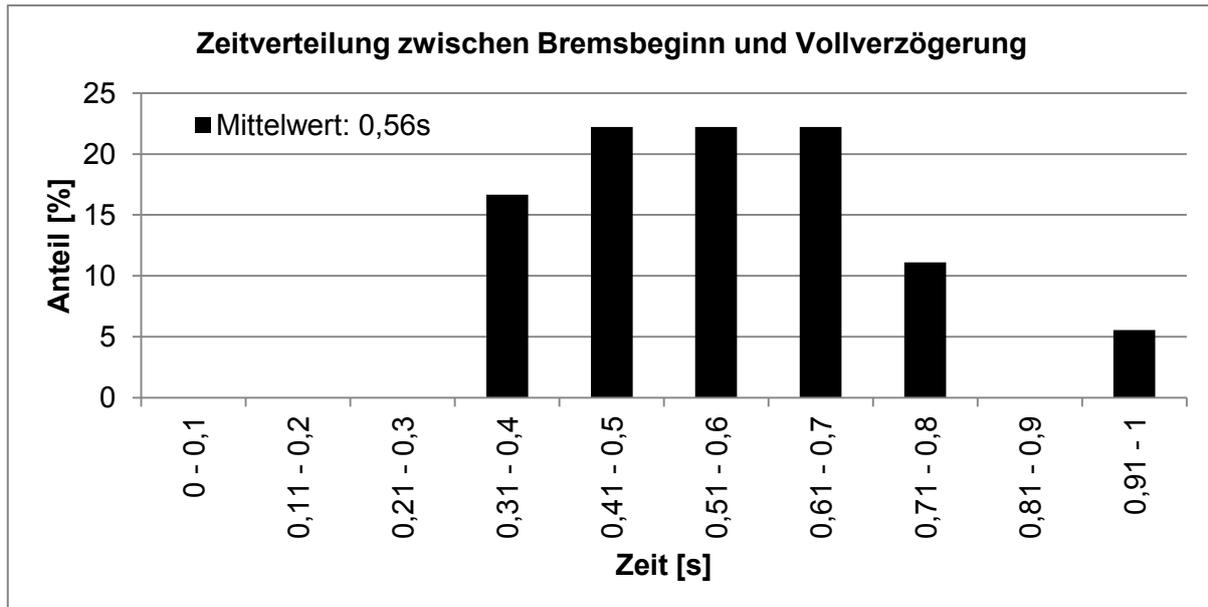


Bild 5-11: Zeitverteilung zwischen Bremsbeginn und Vollverzögerung

Einen weiteren relevanten Messwert zur Beschreibung der Bremsreaktion stellt die maximal erreichte Verzögerung dar. Hier ergibt sich ein Mittelwert von ca. 10m/s^2 . Vergleicht man diesen Wert mit Ergebnissen aus Unfallanalysen und Studien des Fahrerverhaltens in Notbremssituationen im realen Fahrzeug (z.B. in [109]), zeigt sich, dass er deutlich zu hoch ist. Zum Vergleich ist in Bild 5-12 die Verteilung der Bremsverzögerung im Referenzszenario 1 für den präventiven Fußgängerschutz (diese Situation entspricht der hier untersuchten Situation, vgl. Kapitel 3.3.6) aus der Unfallanalyse der GIDAS-Datenbank dargestellt (Auswertemethode: Häufigkeit, vgl. Kapitel 3.2.3). Der Mittelwert beträgt $6,5\text{m/s}^2$. Der Unterschied ist damit zu erklären, dass der Versuch in einem Fahrsimulator durchgeführt wurde und nicht im realen Fahrzeug. In diesem dynamischen Fahrsimulator können Unterschiede in der Verzögerung sehr gut von den Probanden wahrgenommen werden, nicht jedoch die absolute Höhe der Verzögerung. Durch die Bewegung des dynamischen Simulators können Beschleunigungen simuliert werden, die maximal einer Verzögerung von etwa der Hälfte einer Vollverzögerung entsprechen, d.h. wenn der Fahrer eine Vollbremsung anfordert, spürt er eine Verzögerung, die in einem realen Fahrzeug nur der Hälfte entspricht. Daraus ergibt sich, dass die kinästhetische Rückmeldung an den Fahrer bei einer Notbremssituation geringer ist als in der Realität, weshalb er eine stärkere Bremsung durchführt und sich damit die hohen Verzögerungen ergeben. Außerdem wurde die Versuchssituation auf trockener Fahrbahn durchgeführt und in der Simulation wurde von einem optimalen Reibwert der Straße ausgegangen ($\mu=1$), der in der Realität nicht immer gegeben ist.

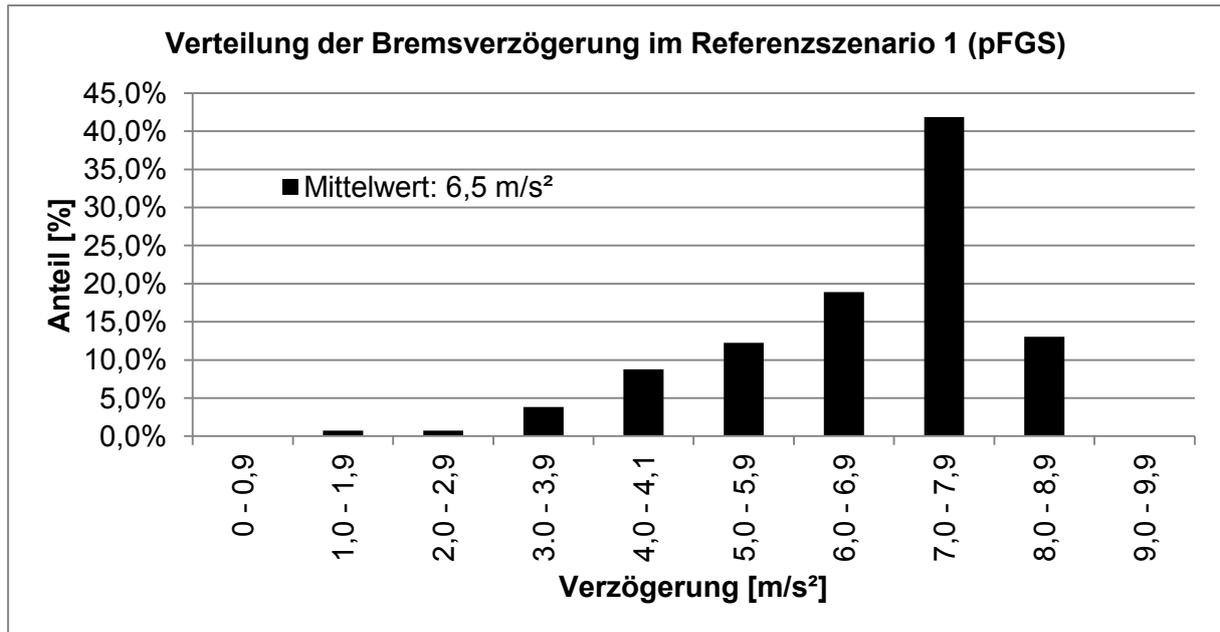


Bild 5-12: Bremsverzögerung im Referenzszenario 1 (pFGS)

5.3 Analyse des Fahrerverhaltens im Längsverkehr

Wie Kapitel 5.2 gezeigt hat, können viele Aspekte des Fahrerverhaltens sehr gut in einem Fahrsimulator untersucht werden. Es gibt allerdings auch Grenzen, wie z.B. die Bestimmung der maximal erreichten Verzögerung in Notbrems-situationen. Neben der Untersuchung des Fahrerverhaltens in einem Fahrsimulator besteht die Möglichkeit, dieses in einer realen Umgebung zu analysieren. Um diese Methodik beispielhaft vorzustellen und sie mit der in einem dynamischen Fahrsimulator vergleichen zu können, wurde ein Versuch zur Analyse des Fahrerverhaltens im Längsverkehr in beiden Versuchsumgebungen durchgeführt. Das häufigste und bedeutendste Referenzszenario aus der Unfallanalyse ist die Folgesituation (vgl. Kapitel 3.2). Daher wurde eine Variante der Folgesituation, die Folge-Brems-Situation, für diesen Versuch verwendet, um mehr Informationen über das Fahrerverhalten ermitteln und so Anforderungen an ein System der Aktiven Sicherheit für den Längsverkehr bestimmen zu können. Da die Ziele und die Methodik der Untersuchung des Fahrerverhaltens in unkritischen Situationen bereits ausführlich in Kapitel 5.2 erläutert wurden und sich das Fahrerverhalten beim Längsverkehr auch sehr gut mit natürlichen Fahrdaten aus FOTs und NDS analysieren lässt, liegt hier der Fokus auf kritischen Situationen.

5.3.1 Fragestellungen und Ziele

Die beschriebenen Fragestellungen waren Teil eines größeren Versuches zum Thema Aktive Sicherheit im Längsverkehr. Die übrigen Ziele und Situationen sind für die gezeigten Ergebnisse nicht relevant und werden daher nicht weiter erläutert.

Das Ziel des im Folgenden dargestellten Teils des Versuches ist die Analyse der Fahrerreaktion in kritischen Folge-Brems-Situationen, um Potenziale für ein Aktives Sicherheitssystem identifizieren zu können. Von Interesse sind hierbei die Reaktionszeit des Fahrers sowie die Art und Stärke der Reaktion. Die Reaktion wird in vergleichbaren Situationen sowohl im realen Fahrzeug auf dem Testgelände als auch in einem dynamischen Fahrsimulator untersucht. Dies ermöglicht einen Vergleich der beiden Versuchsmethodiken und ermöglicht die Identifizierung von Stärken und Schwächen, was ein weiterer Hintergrund dieses Versuchs ist.

5.3.2 Versuchsbeschreibung und Methodik

Der Versuch setzt sich aus zwei Teilen zusammen. Ein Teil des Versuchs wurde, ebenso wie die Untersuchung zum präventiven Fußgängerschutz, im dynamischen Simulator der BMW AG durchgeführt (Beschreibung siehe Kapitel 5.2.2). Der zweite Teil wurde auf dem Testgelände absolviert. Da kritische Situationen untersucht wurden, konnte als Vorderfahrzeug kein reales Fahrzeug verwendet werden, da in den Messsituationen immer Kollisionsgefahr bestand. Daher wurde ein Anhänger mit ausfahrbarem Arm hinter einem Zugfahrzeug verwendet. Bild 5-13 zeigt den Anhänger mit Zugfahrzeug und eingefahrenem Arm, der als Zielobjekt diente. Bei drohender Kollision in einer Auffahrsituation konnte der Arm manuell per Knopfdruck im Zugfahrzeug eingefahren werden, um die Kollision zu vermeiden. Auf dem Arm befanden sich zwei „Triple-Spiegel“, die als Reflexionspunkte für ein im Ego-Fahrzeug installiertes Radarsystem zur Messung von fahrdynamischen Größen wie Abstand und Relativgeschwindigkeit dienten.



Bild 5-13: Anhänger mit ausfahrbarem Arm als Zielobjekt

5.3.2.1 Versuchsablauf

Der Versuch dauert insgesamt ca. 90 Minuten pro Proband und ist in mehrere Abschnitte unterteilt. Zu Beginn werden mit Hilfe eines Fragebogens die demografischen Daten der Probanden aufgenommen, bevor eine Einweisung in die Sitzkiste des dynamischen Fahrsimulators bzw. des Realfahrzeuges für die Untersuchung auf dem Testgelände erfolgt. Anschließend erfolgt eine Eingewöhnungsfahrt, um die Probanden mit dem Fahrsimulator und dem Realfahrzeug vertraut zu machen. In die nachfolgende Versuchsfahrt sind die kritischen Messsituationen eingebaut. Die einzelnen Abschnitte sind durch kurze Pausen voneinander getrennt. Um möglichst natürliches und unvorbereitetes Fahrerverhalten untersuchen zu können, wurden die Probanden vorab nicht über die Fragestellung des Versuchs informiert.

5.3.2.2 Beschreibung der Versuchsumgebung und der Messsituationen

In der Fahrsimulatorstudie findet die Versuchsfahrt größtenteils auf Landstraßen und Autobahnen statt und besteht aus typischen unkritischen Verkehrssituationen wie Spurwechsel, Überholmanöver und Folgefahrt, aber auch Folge-Brems-Situationen, die für diese Untersuchung nicht ausgewertet werden. In diese Fahrt sind die kritischen Messsituationen eingebaut. Darin bremst das Vorderfahrzeug nach einer Folgefahrt mit einem Abstand von ca. 25m (vom Versuchsleiter instruiert und kontrolliert) unvermittelt mit einer Verzögerung von $4,5\text{m/s}^2$. Während im Fahrsimulator diese Verzögerung einfach simuliert werden kann, wird diese im realen Fahrzeug über das Bordnetz angefordert und autonom ohne Fahrerbremsung ausgeführt, damit die Bremsvorgänge des Vordermannes reproduzierbar sind. Da es sich um eine kritische Situation handelt, kann sie auf dem Testgelände nur mit Hilfe

eines Messanhängers gefahren werden, um Unfälle zu vermeiden (vgl. Kapitel 5.3.2). In der Fahrsimulatoruntersuchung wäre dies nicht nötig. Um die Ergebnisse aus beiden Versuchsumgebungen besser vergleichen zu können, wurde in der Fahrsimulatorstudie neben einer Folge-Brems-Situation hinter einem simulierten Fahrzeug auch ein Fahrzeug mit Messanhänger dargestellt. Bild 5-14 zeigt die Messsituation auf dem Testgelände mit Realfahrzeug und Messanhänger (rechts) und diese Situation im Fahrsimulator (links). Für die Analyse werden fahrdynamische Messgrößen wie Geschwindigkeiten und Beschleunigungen sowie Fahrereingriffe durch das Bremspedal und Lenkrad aufgezeichnet.



Bild 5-14: Messsituation im Fahrsimulator (links) und im Realversuch (rechts)

5.3.2.3 Nebenaufgabe

Da das Fahrerverhalten in Notbremssituationen untersucht werden soll, wurde der Fahrer in den Messsituationen durch eine Nebenaufgabe visuell abgelenkt. Diese Nebenaufgabe muss der Fahrer auch immer wieder während der normalen Fahrt durchführen, um nicht auf eine kritische Situation vorbereitet zu sein. Dafür wird auf einem Bildschirm in der Mittelkonsole (siehe Bild 5-15) eine vierstellige Zahlenkombination eingeblendet, die der Fahrer laut vorlesen muss. Die Zahlen sind jeweils zwei Sekunden sichtbar und mit einer Pause von einer Sekunde voneinander getrennt.



Bild 5-15: Visuelle Nebenaufgabe

5.3.2.4 Stichprobe

Für die Untersuchung im Fahrsimulator und auf dem Testgelände wurden zwei verschiedene Stichproben verwendet, damit die Probanden jeweils unbedarft und naiv bei dem Versuch teilnehmen.

An dem Fahrsimulatorversuch nahmen 32 Personen teil, die BMW-Mitarbeiter aus unterschiedlichen Abteilungen sind und keine größere Erfahrung mit Fahrerassistenzsystemen besitzen. Bei vier Probanden musste der Versuch wegen einer Simulatorübelkeit vorzeitig abgebrochen werden, weshalb 28 vollständige Datensätze für die Auswertung verbleiben. Die 28 Personen sind zwischen 22 und 50 Jahre alt (Mittelwert: 33,7 Jahre) und setzen sich aus zehn Frauen (36%) und 18 Männern zusammen. Die Mehrheit der Teilnehmer (64%) weist eine jährliche Fahrleistung von unter 15.000km auf.

Für die Untersuchung auf dem Testgelände wurden 24 Personen eingeladen, die die gleichen Voraussetzungen erfüllen wie für die Fahrsimulatoruntersuchung. Auf dem Testgelände kam es zu keinem Ausfall, weshalb alle 24 Datensätze für die Analyse verwendet werden konnten. Der Mittelwert des Alters der Probanden beträgt 33,4 Jahre (zwischen 25 und 51 Jahre). 42% der Personen waren Frauen und wieder über 50% der Probanden weisen eine jährliche Fahrleistung von unter 15.000km auf.

5.3.3 Ergebnisse: Fahrerverhalten in Folge-Brems-Situationen

Ein wichtiger Messwert zur Erkennung von Potenzialen für Aktive Sicherheitssysteme ist die Reaktionszeit des Fahrers auf ein kritisches Ereignis. In der Fahrsimulatorstudie ist der genaue Zeitpunkt des Aufleuchtens des Bremslichtes

des Vordermannes in der relevanten Folge-Brems-Situation bekannt. Auf der linken Seite von Bild 5-16 ist die mittlere Reaktionszeit auf das Bremslicht für die Situationen mit und ohne Messanhänger dargestellt. In beiden Situationen ergeben sich vergleichbare Reaktionszeiten von 1,14s und 1,17s. Die Fehlerbalken in der Grafik zeigen, wie auch in den folgenden Bildern, eine Standardabweichung der Verteilung.

Um die Kritikalität der Situation zu beschreiben, ist auf der rechten Seite der Abbildung beispielhaft die mittlere minimale Bremszeitreserve der beiden Situationen dargestellt. Sie beschreibt die Zeit, bei der unter Voraussetzung der aktuellen Bewegungsverhältnisse eine Verzögerung von 9m/s^2 des Folgefahrzeuges eingestellt werden muss, um die Kollision gerade noch zu vermeiden. Je kleiner diese Zeit ist, desto kritischer ist die Situation.

Aus den beiden Werten können erste Potenziale von Fahrerassistenzsystemen zur Verbesserung der Sicherheit abgeleitet werden. Zum einen kann die Reaktion des Fahrers, z.B. durch eine akustische oder haptische Warnung, auf einen früheren Zeitpunkt verlegt werden. Die Voraussetzung hierfür ist eine frühzeitige Erkennung der kritischen Situation durch die Sensorik des Aktiven Sicherheitssystems sowie eine Ausprägung der Warnung, die eine kürzere Reaktionszeit des Fahrers auslöst als die Bremslichter des Vorderfahrzeuges. Ein Aktives Sicherheitssystem kann in dieser Situation die Warnung frühestens unmittelbar nach dem Aufleuchten der Bremsleuchten ausgeben, da vorher keine kritische Situation gegeben ist. D.h. die Zeit ab der Bremsung des Vordermannes bis zur Ausgabe der Warnung zusammen mit der Reaktionszeit des Fahrers auf die Warnung darf insgesamt nicht größer sein als die ermittelten 1,14s bzw. 1,17s. Nur wenn die typische Reaktionszeit eines Menschen von 1s, z.B. durch eine haptische Warnung (autonomer Bremsruck), reduziert werden kann, verspricht eine Warnung in dieser speziellen Situation einen Sicherheitseffekt. Eine weitere Maßnahme zur Steigerung der Sicherheit wäre eine autonome Bremsung. Diese könnte in der Zeit bis zur Fahrerreaktion bereits die Geschwindigkeit des Fahrzeuges abbauen und somit die Aufprallenergie in einer möglichen Kollision reduzieren.

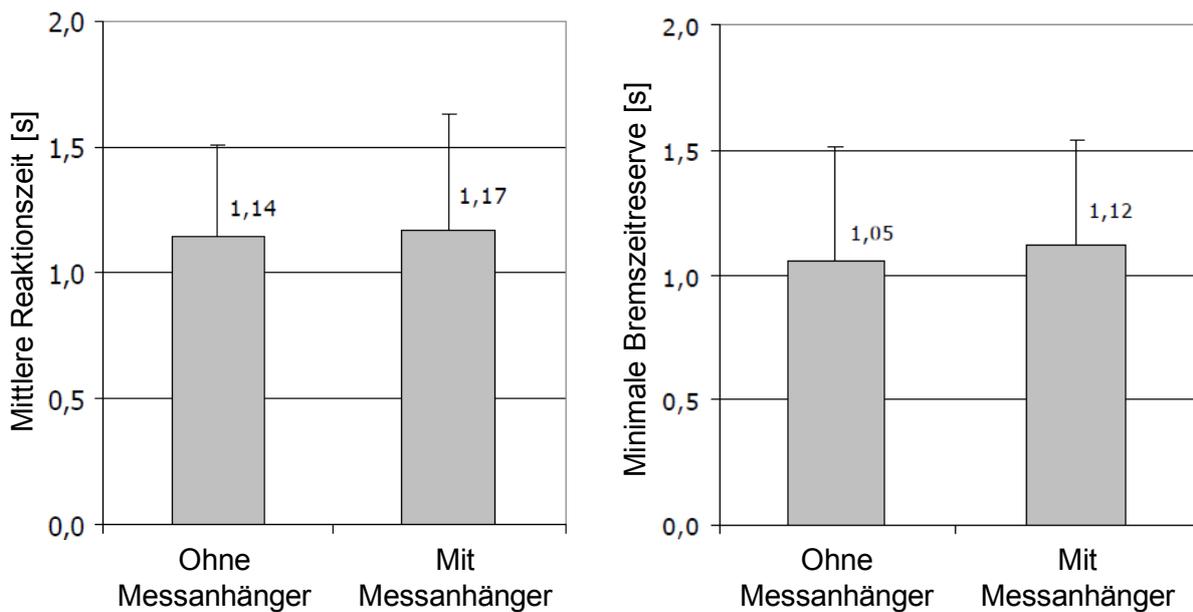


Bild 5-16: Reaktionszeit (Bremslicht) und minimale Bremszeitreserve (Fahrsimulator)

In der Untersuchung im realen Fahrzeug auf dem Testgelände ist der Zeitpunkt des Aufleuchtens der Bremslichter in der Messdatenaufzeichnung nicht verfügbar. Daher wird hier die Reaktionszeit auf die Verzögerung des Vordermannes analysiert, da diese vom Radarsensor des Ego-Fahrzeuges gemessen werden kann und in den Daten vorhanden ist. Das Bild 5-17 zeigt die Zeit zwischen dem Zeitpunkt, ab dem das Vorderfahrzeug eine Verzögerung von 1m/s^2 überschreitet, bis zu dem Bremsengriff des Fahrers in Form eines Boxplots (Erklärung siehe Kapitel 3.2.5). Der Median liegt bei $0,52\text{s}$ und die Werte liegen zwischen $0,25\text{s}$ und $1,20\text{s}$. Bei einer über das Fahrzeugbordnetz angeforderten Bremsung von $-4,5\text{m/s}^2$ beträgt die Zeit zwischen Bremslicht, dem Aufbau einer Beschleunigung von -1m/s^2 und der Messung und Verarbeitung des Radarsensors ca. $0,5\text{s}$. Damit sind die Reaktionszeiten im Fahrsimulator und im Realfahrzeug vergleichbar. Der Fahrsimulator eignet sich daher für die Untersuchung von Reaktionszeiten sehr gut und die Ergebnisse sind valide.

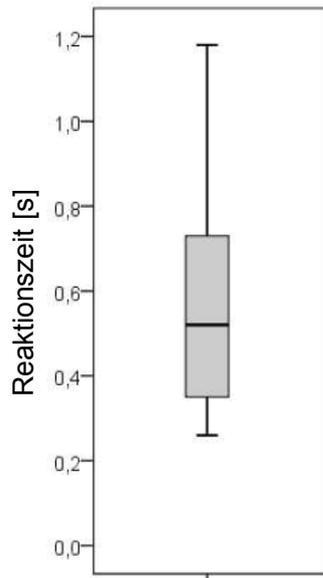


Bild 5-17: Reaktionszeit auf die Verzögerung des Vordermannes (Testgelände)

Wie schon bei der Untersuchung des Fahrerverhaltens in kritischen Fußgängersituationen wird auch hier die Stärke der Fahrerbremsung untersucht, um mögliche Unterstützungsmaßnahmen identifizieren zu können. Im Realfahrzeug steht hierfür der Bremsdruck des Fahrers zur Verfügung. Bild 5-18 zeigt den mittleren maximalen Bremsdruck der Probanden in der kritischen Folge-Brems-Situation. Der Mittelwert liegt bei 38,25 bar und die Standardabweichung ist dem Bild zu entnehmen. Wenn man dies mit dem Bremsdruck einer Vollverzögerung auf trockener Fahrbahn von ca. 100 bar vergleicht, zeigt sich, dass die Versuchsteilnehmer die mögliche Verzögerung nicht ausnutzen. An dieser Stelle könnte ein Fahrerassistenzsystem unterstützen, das z.B. die Schwelle zur Auslösung des Bremsassistenten herabsetzt, sodass die Probanden diesen in kritischen und vom System erkannten Situationen sicher auslösen. Der Bremsassistent könnte dann eine Vollverzögerung einsteuern, was zu einer Reduzierung der Kollisionsgeschwindigkeit führen würde. Diese Funktionalität ist bereits heute in den meisten Auffahrwarnsystemen enthalten.

Wie schon in Kapitel 5.2.3.2 beschrieben, eignet sich der Fahrsimulator nicht, um die maximalen Bremsstärken der Probanden in kritischen Situationen zu untersuchen. So tritt auch bei dieser Untersuchung im Fahrsimulator ca. die Hälfte der Fahrer das Bremspedal voll durch. Dies entspricht nicht der Realität, wenn man diese Ergebnisse mit dem Realversuch vergleicht. Daher werden sie hier nicht weiter dargestellt.

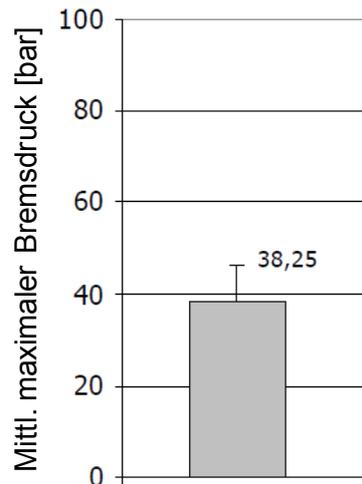


Bild 5-18: Mittlerer maximaler Bremsdruck (Testgelände)

5.4 Fazit

Für die Entwicklung und Bewertung von Aktiver Sicherheit ist es essentiell, das Fahrerverhalten in den Referenzszenarien detailliert zu kennen. So können Testsituationen ohne Systemeingriff definiert und Potenziale für Aktive Sicherheit erkannt werden. Da das Fahrerverhalten nur teilweise aus Unfalldaten und natürlichen Fahrdaten (vgl. Kapitel 3 und 4) abzuleiten ist, müssen hierfür experimentelle Untersuchungen verwendet werden. Die Basis für diese Versuche ist eine umfangreiche Analyse von Unfalldaten und / oder natürlichen Fahrdaten, um die im Verkehrsgeschehen relevanten und repräsentativen Situationen identifizieren zu können. Sie können dann in Experimenten dargestellt und das Fahrerverhalten kann untersucht werden. Die daraus abgeleiteten Ergebnisse besitzen somit Relevanz im Verkehrsgeschehen und die darauf basierenden Tests sind aussagekräftig.

In diesem Kapitel wurde anhand von zwei Beispielen gezeigt, mit welchen Methoden derartigen Untersuchungen durchgeführt und welche Ergebnisse damit generiert werden können.

Zum einen wurde das Fahrerverhalten in unkritischen und kritischen Fußgängersituationen in einem dynamischen Fahrsimulator untersucht (Kapitel 5.2). Die Ergebnisse aus den unkritischen Situationen helfen, Warn- und Eingriffsstrategien für Aktive Sicherheitssysteme auszulegen. Diese Situationen werden vom Fahrer subjektiv als unkritisch empfunden, weshalb er hier keine Warnung oder einen autonomen Eingriff akzeptieren würde. Es wurden Maximalwerte der Größe des Warnbereichs in Längs- und Querrichtung ermittelt. Die Analyse des Fahrerverhaltens in kritischen Situationen dagegen ermöglicht die Identifikation von Potenzialen für Fahrerassistenzsysteme, um die Sicherheit in den untersuchten Situationen durch eine Unterstützung des Fahrers zu erhöhen. Hier

wurde anhand der Ergebnisse der Fahrerreaktion aufgezeigt, dass durch Warnung und autonome Eingriffe durch präventive Fußgängerschutzsysteme die Sicherheit in diesen Situationen erhöht werden kann. Durch einen Vergleich mit realen Unfallzahlen zeigte sich, dass der dynamische Fahrsimulator nicht geeignet ist, um die Bremsstärke in Notbremssituationen zu untersuchen, da die haptische Rückmeldung nicht mit der realen Fahrzeugreaktion übereinstimmt.

Um die Stärken und Schwächen des Fahrsimulators im Vergleich zu einem Versuch im realen Fahrzeug aufzuzeigen und das Fahrerverhalten im Längsverkehr zu analysieren, wurde in Kapitel 5.3 eine Untersuchung von kritischen Folge-Brems-Situationen in beiden Versuchsumgebungen präsentiert. So konnten auch hier Potenziale für Aktive Sicherheitssysteme in Auffahrsituationen identifiziert werden. Durch den Vergleich mit den Ergebnissen aus Realversuchen konnte gezeigt werden, dass sich der Fahrsimulator sehr gut eignet, um Reaktionszeiten auf kritische Ereignisse zu untersuchen. Es wurde auch hier bestätigt, dass die Analyse von Bremsstärken in der Versuchsumgebung keine validen Resultate erbringt und diese daher besser im realen Fahrzeug untersucht werden sollten. Die Vorteile des Fahrsimulators für diese Experimente sind ein geringerer Aufwand für ihre Durchführung, die Versuche beinhalten kein Risiko bei kritischen Situationen und sie erfordern keine Hilfsmittel wie den hier verwendeten Messanhänger, der die Situationswahrnehmung beeinflussen könnte.

Die hier vorgestellten Ergebnisse bzgl. des Fahrerverhaltens in Fußgängersituationen und im Längsverkehr sind ein Teil der umfassenden Beschreibung von Referenzszenarien für den präventiven Front- und Fußgängerschutz in Kapitel 6.

6 Umfassende Beschreibung von Referenzszenarien

Die Analysen der verschiedenen Datenquellen (Unfalldaten, natürliche Fahrdaten, Fahrversuche) liefern, wie in Kapitel 2.4 erläutert, Informationen für Referenzszenarien aus verschiedenen Phasen der Unfallentstehung (vergl. Bild 2-2). Anhand des gezeigten Zeitstrahls können die generierten Ergebnisse zusammengeführt und ein Referenzszenario kann vom „normalen“ Fahren über eine kritische Situation bis hin zu einem Unfall vollständig beschrieben werden.

In den folgenden beiden Unterkapiteln werden Teile der Ergebnisse aus Kapitel 3, 4 und 5 beispielhaft bzgl. Referenzszenarien für den präventiven Frontschutz und den präventiven Fußgängerschutz zusammengeführt. Dabei tragen je nach Datenverfügbarkeit und Art des untersuchten Szenarios verschiedene Quellen unterschiedlich zur Gesamtbeschreibung des Referenzszenarios bei.

Bild 6-1 zeigt qualitativ den Anteil der in dieser Arbeit untersuchten Datenquellen zur Beschreibung des jeweiligen Referenzszenarios. Für den präventiven Frontschutz wurden alle drei Datenquellen genutzt, wobei die Ergebnisse aus natürlichen Fahrdaten den größten Beitrag zur Beschreibung des Referenzszenarios leisten. Für das Referenzszenario des präventiven Fußgängerschutzes wurden Unfalldaten ausgewertet und Versuche bzgl. des Fahrverhaltens durchgeführt. Natürliche Fahrdaten konnten nicht verwendet werden, da eine automatisierte Erkennung von Fußgängern mit der verwendeten Sensorik nicht möglich war.

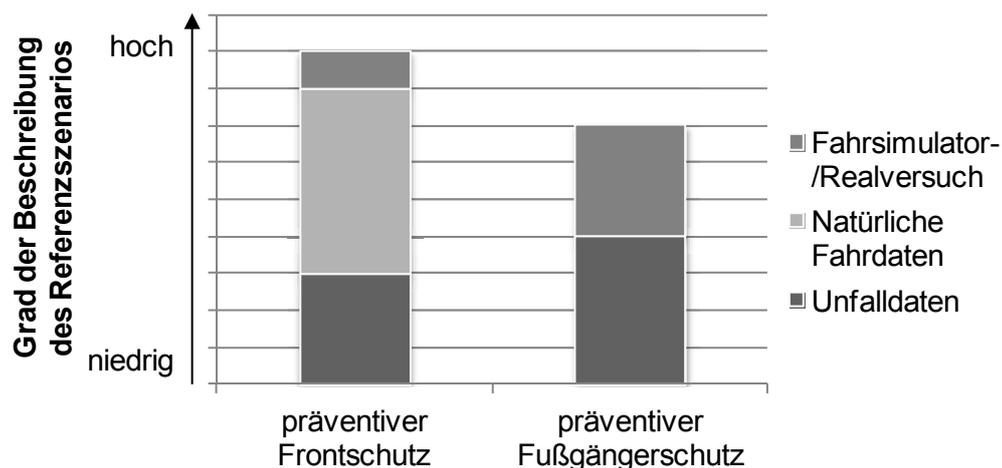


Bild 6-1: Qualitativer Anteil der Datenquellen zur Beschreibung des Referenzszenarios

6.1 Referenzszenario für den präventiven Fußgängerschutz

Die Ergebnisse der in dieser Arbeit analysierten Datenquellen zur Beschreibung des Referenzszenarios für den präventiven Fußgängerschutz sind in Bild 6-2 dargestellt und werden nun entlang des Zeitstrahls kurz erläutert.

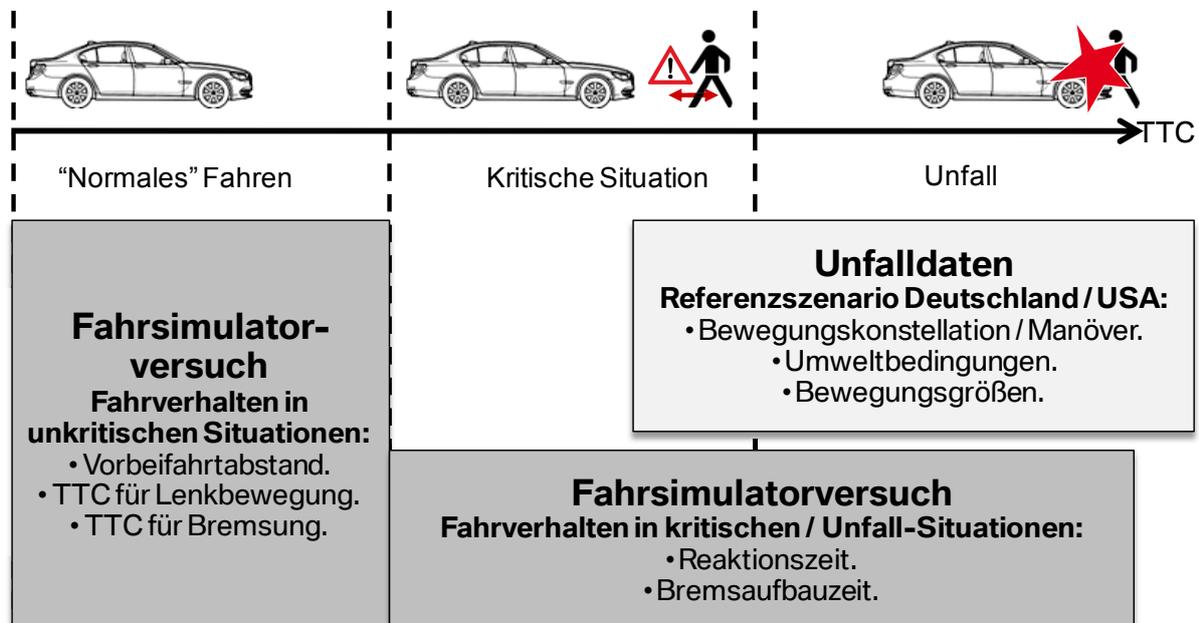


Bild 6-2: Datenquellen für das Referenzszenario des präventiven Fußgängerschutzes

Eine Übersicht des Referenzszenarios für den präventiven Fußgängerschutz inklusiver aller in dieser Arbeit generierten Ergebnisse ist in Tabelle 6-1 enthalten. Diese ist gemäß Bild 2-1 aufgebaut und enthält Informationen bzgl. verschiedener Arten und Teilbereiche von Referenzszenarien.

Um Informationen über das Fahrverhalten in unkritischen Fußgängersituationen zu erlangen, wurde ein Fahrversuch durchgeführt (vgl. Kapitel 5.2). Dabei wurde bestimmt, dass der mittlere seitliche Vorbeifahrtabstand 1,5m beträgt. Der zeitliche Sicherheitsabstand in Längsrichtung wurde für die beiden Situationen „Fußgänger bewegt sich längs entlang der Straße“ und „Fußgänger quert die Straße“ ermittelt. Bei der erstgenannten Situation kann der Fahrer eine unkritische Situation durch eine Lenkbewegung vermeiden und es ergibt sich eine minimale durchschnittliche TTC von 2,8s. Bei der zweiten Situation muss der Fahrer eine Bremsung vornehmen und es ergibt sich hier eine TTC von 4,0s. Diese Werte können unter anderem dazu dienen, den Warnbereich vor dem Fahrzeug eines präventiven Fußgängerschutzsystems auszulegen. Befindet sich ein Fußgänger an diesen Grenzen oder außerhalb, sollte keine Reaktion des Aktiven Sicherheitssystems erfolgen, da der Fahrer diese Situation als unkritisch empfindet und daher eine Warnung nicht akzeptiert werden würde.

Tabelle 6-1: Referenzszenario präventiver Fußgängerschutz

 Unfall- entstehung		Quelle	Merkmal		Ausprägung (Häufigkeit)	Ausprägung (Harm)
unkrit. Situation	Fahrsimulator- versuch	Vorbeifahrtabstand		1,5m	-	
		TTC für Lenkung		2,8s	-	
		TTC für Bremsung		4,0s	-	
	kritische Situation	Fahrsimulator- versuch	Reaktionszeit		600ms	-
			Bremsaufbauzeit		560ms	-
	Unfall- situation	Unfalldaten	Kon- stellation	Bewegung / Ortslage	Gerade, FG überschreiten innerorts	Gerade, FG überschreiten innerorts
				Sicht- behinderung	frei sichtbar / geparktes Fahrzeug	frei sichtbar / geparktes Fahrzeug
			Bedin- gungen	Tageszeit	Tag	Tag / Nacht
				Bewölkung / Nebel	wolkenlos / bewölkt	wolkenlos / bewölkt
				Niederschlag	nein	nein
Straßen- oberfläche				trocken	trocken	
Größe Fußgänger				0 - 180cm	0 - 180cm	
Kollisions- geschwindigkeit Ego-Fahrzeug				0 - 40km/h	0 - 60km/h	
Geschwindigkeit Fußgänger				0 - 25km/h	0 - 25km/h	
Mittlere Verzögerung Ego-Fahrzeug	6,5m/s ²	-				

Um die repräsentativen Szenarien zu identifizieren, die kritisch sind, wurden Unfalldaten aus Deutschland und den USA analysiert (vgl. Kapitel 3.3). Es konnte ein gemeinsames Set an Referenzszenarien auf Basis der Häufigkeit und unter Berücksichtigung der Unfallschwere identifiziert werden. Um das Referenzszenario vollständig beschreiben zu können, wurden verschiedene Merkmale untersucht. Das häufigste Szenario setzt sich wie folgt zusammen: Das Fahrzeug fährt innerorts geradeaus und der Fußgänger überschreitet frei sichtbar oder hinter einem parkenden Fahrzeug die Fahrbahn. Es ist Tag, regnet nicht und die Straßenoberfläche ist trocken. Der Fußgänger ist bis 180cm groß und bewegt sich mit bis zu 25km/h. Die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs beträgt bis zu 40km/h und es verzögert durchschnittlich mit 6,5m/s². Diese Erkenntnisse dienen

dazu, Anforderungen an ein Aktives Sicherheitssystem definieren und die effektivsten Eingriffsstrategien entwickeln zu können.

Außerdem wurde dieses Referenzszenario verwendet, um das Fahrerverhalten im Detail in einem Fahrsimulatorversuch bestimmen zu können (vgl. Kapitel 5.2.3.2). In dieser repräsentativen Verkehrssituation wurde eine durchschnittliche Reaktionszeit von 0,6s sowie eine Bremsaufbauzeit zwischen Bremsbeginn und Vollverzögerung von 560ms ermittelt. Diese Werte können nicht aus Unfalldaten bestimmt werden und dienen wiederum zur effektiven Auslegung eines Fahrerassistenzsystems.

6.2 Referenzszenario für den präventiven Frontschutz

Für die Beschreibung des Referenzszenarios des präventiven Frontschutzes wurden alle drei Datenquellen verwendet, deren Beiträge für unterschiedliche Phasen der Unfallentstehung in Bild 6-3 dargestellt sind. Damit ergibt sich eine nahezu vollständige Beschreibung des Referenzszenarios vom normalen Fahren über kritische Situationen bis hin zu Unfällen.

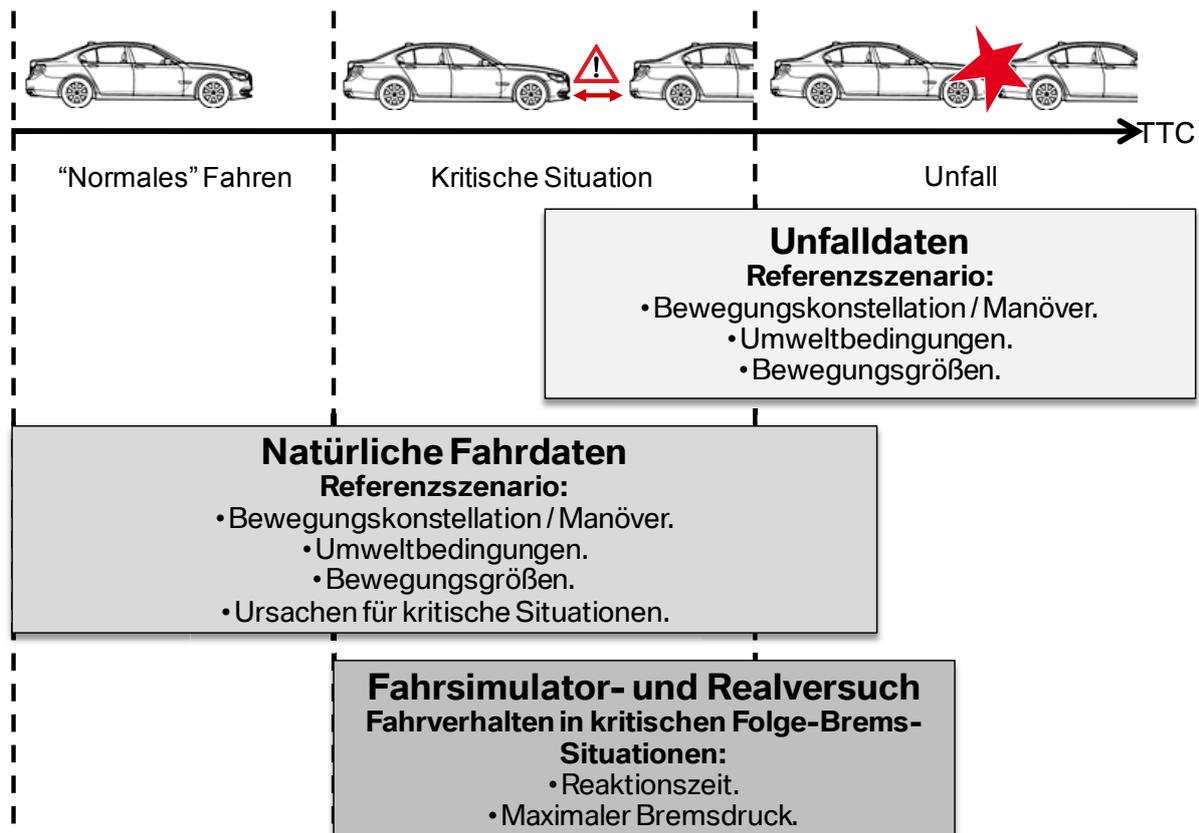


Bild 6-3: Datenquellen für das Referenzszenario des präventiven Frontschutzes

Wie im vorherigen Kapitel sind alle Ergebnisse des Referenzszenarios für den präventiven Frontschutz in einer Tabelle zusammengefasst (Tabelle 6-2). Der Aufbau ist wieder analog Bild 2-1 und die Teilaspekte werden im Folgenden kurz erläutert.

Tabelle 6-2: Referenzszenario präventiver Frontschutz

		Unfallentstehung			
		→			
		unkritische Situation	kritische Situation	sehr krit. Situation	Unfall-situation
Quelle		Fahrdaten	Fahrdaten / Versuch	Fahrdaten / Versuch	Unfalldaten
Konstellation		Folgen 			
Bedingungen	Ortslage / Straßenart	innerorts (59%)	innerorts (49%)	innerorts (55%)	innerorts (66%)
	Tageszeit	Tag (68%)	Tag (71%)	Tag (69%)	Tag (75%)
	Niederschlag	nein (90%)	nein (94%)	nein (96%)	Nein (83%)
	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-130km/h (82%)	0-160km/h (82%)	0-200km/h (84%)	0-78km/h (80%)
	Endgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-120km/h (79%)	0-150km/h (83%)	0-160km/h (84%)	-
	Maximale Verzögerung	0-4m/s ² (83%)	0-5m/s ² (80%)	0-7m/s ² (84%)	-
Ursachen		-	-	Blick-abwendung (23%)	-
Fahrer-verhalten (Folge-bremss.)	Reaktionszeit	-	1,1s	-	-
	maximaler Bremsdruck	-	38bar	-	-

Mit Hilfe von natürlichen Fahrdaten aus dem euroFOT Projekt und Unfalldaten konnten sowohl unkritische, kritische wie auch Unfallreferenzszenarien bestimmt werden. Die Kriterien der Analysen der beiden Datenquellen wurden so ausgewählt, dass die Ergebnisse am Ende vergleichbar sind. Es wurde jeweils das Folgeszenario mit den gleichen Situations- und Umweltmerkmalen identifiziert. Das Referenzszenario findet innerorts bei Tag und ohne Niederschlag statt. Auch die Häufigkeit dieser Ausprägungen bewegt sich in der gleichen Größenordnung. Die Bewegungsgrößen unterscheiden sich jedoch deutlich. Bei der Spezifikation von Referenzszenarien für kritische Folgesituationen auf Basis von natürlichen Fahrdaten musste ein Geschwindigkeitsbereich von bis zu 200km/h gewählt werden, um einen Großteil der Situationen abzudecken. Bei den Folge-Unfällen war für die gleiche Abdeckung nur die Auswahl eines Geschwindigkeitsbereiches von bis zu 78km/h erforderlich. Das zeigt, dass die Ergebnisse der natürlichen Fahrdaten nicht grundsätzlich für Unfälle übernommen werden können. Hier kommt es bei höheren Geschwindigkeiten vermehrt zu sehr kritischen Situationen, die aber offensichtlich öfters vermieden werden als kritische Situationen im Stadtgeschwindigkeitsbereich.

Neben der Situationsidentifikation können mit natürlichen Fahrdaten außerdem die Ursachen für kritische Situationen analysiert werden. Eine Videoanalyse der sehr kritischen Folgesituationen ergab, dass eine Blickabwendung aufgrund unterschiedlicher Gründe die häufigste explizite Ursache für die erhöhte Kritikalität darstellt.

Für die Bestimmung der Reaktionszeiten und des Fahrerverhaltens wurde jeweils ein Versuch im Fahrsimulator und auf dem Testgelände im Realfahrzeug durchgeführt, auch um die Stärken und Schwächen der beiden Methoden aufzuzeigen. Beispielhaft wurde die Folge-Brems-Situation ausgewählt. Es ergab sich mit beiden Methoden eine Reaktionszeit von ca. 1,1s. Absolute Verzögerungen können im Fahrsimulator nicht bewertet werden. Im Realversuch wurden maximale Verzögerungen von durchschnittlich 40% einer Vollverzögerung (ca. 4m/s^2) ermittelt.

6.3 Fazit

Für die möglichst effektive Auslegung und Entwicklung von Systemen der Aktiven Sicherheit sind Informationen über das normale, unkritische Fahren, über kritische Situationen sowie über Unfälle erforderlich. Diese können über die drei Datenquellen „natürliche Fahrdaten“, Unfalldaten und Versuche gewonnen werden. Die Ergebnisse der verschiedenen Analysen können anhand des Zeitstrahls zur Unfallentstehung zusammengeführt werden, um ein Referenzszenario vollständig beschreiben zu können. Dies erfolgte in dieser Arbeit anhand der beiden Beispiele „präventiver Frontschutz“ und „präventiver Fußgängerschutz“.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In den letzten Jahren ist die Fahrleistung in Deutschland kontinuierlich gestiegen. Unter anderem durch Verbesserungen im Bereich der Passiven Fahrzeugsicherheit wurde die Anzahl der Verletzten und Getöteten im Straßenverkehr immer weiter reduziert. Die Unfallzahlen dagegen blieben konstant, was neben anderen Faktoren als ein Verdienst der Aktiven Fahrzeugsicherheit angesehen werden kann. Die Passive Sicherheit hat bereits ein sehr hohes technisches Niveau erreicht und Verbesserungen sind nur noch mit hohem Aufwand möglich. Um die Unfallzahlen und damit die Anzahl der Verletzten und Getöteten weiter zu reduzieren, verspricht die Aktive Sicherheit großes Potenzial. Um effektive Aktive Sicherheitssysteme entwickeln zu können, müssen deren Möglichkeiten und Anforderungen bestimmt und diese über Simulation oder mit Hilfe von Realversuchen am Ende des Entwicklungsprozesses bewertet werden. Die Basis dieser Voraussetzungen stellen Referenzszenarien dar, die nach [8] wie folgt definiert sind: Referenzszenarien sind eine definierte Anzahl an systematisch abgeleiteten Verkehrssituationen, die repräsentativ für einen Großteil des realen Verkehrsgeschehens sind. Das Ziel dieser Arbeit war es, eine Methodik für deren Erstellung zu entwickeln.

Dazu wurde zunächst der Begriff Verkehrssituation und deren Klassifikation erläutert. Als „Szenario“ wird in dieser Arbeit eine Verkehrssituation bezeichnet, deren charakteristische Merkmale auf Basis von Messungen und statistischen Auswertungen quantitativ festgelegt werden. Es existieren drei Arten von Szenarien (unkritische, kritische und Unfallszenarien), die jeweils aus verschiedenen Teilbereichen bestehen (Bewegungskonstellation der beteiligten Verkehrsteilnehmer, Randbedingungen, Grenzwerte und Ursachen für kritische Szenarien und das Fahrerverhalten). Die Analyse aller Arten und Aspekte von Szenarien ist wichtig für verschiedene Elemente der Entwicklung eines Aktiven Sicherheitssystems. Für die Gewinnung der verschiedenen Informationen zur Beschreibung von Referenzszenarien wurden drei Datenquellen identifiziert, die zu unterschiedlichen Phasen der Entstehung eines Unfalls ihren Beitrag leisten: Unfalldaten, natürliche Fahrdaten und Versuche zur Analyse des Fahrerverhaltens. Die entwickelte Methodik zur Auswertung der drei Datenquellen sowie dazu durchgeführte Studien wurden in dieser Arbeit jeweils in einem Kapitel vorgestellt. Als Beispiele dienten Referenzszenarien für den präventiven Front- und Fußgängerschutz.

Der Fokus der Auswertung von Unfalldaten lag in der Vergangenheit häufig auf der Analyse der Kollisionsgrößen und den daraus resultierenden Folgen mit entsprechenden Verletzungen der Beteiligten, um die Passive Sicherheit zu

verbessern. Für die Entwicklung von Aktiver Sicherheit liegt der Fokus auf der Phase vor dem Unfall, weshalb eine neue Methodik zur Auswertung von Unfalldaten entwickelt wurde. Über die Bestimmung der Manöver des Ego-Fahrzeugs und des Unfallgegners wird zunächst die Bewegungskonstellation identifiziert. Darauf aufbauend erfolgt die Analyse der Situationsmerkmale, die wichtig für die Entwicklung von Aktiven Sicherheitssystemen sind. Zur Identifikation der bedeutendsten Szenarien wurde neben der reinen Auswertung nach der Häufigkeit auch eine Logik entworfen, die die Unfallschwere berücksichtigt. Damit werden Referenzszenarien bestimmt, die den größten gesellschaftlichen Schaden verursachen. Genau diese sollten durch ein System der Aktiven Sicherheit adressiert werden. Beispielhaft analysiert wurden Frontalkollisionen auf Basis deutscher Unfalldaten, um einen Überblick über Referenzszenarien des präventiven Frontschutzes zu erlangen. Des Weiteren wurden Referenzszenarien des präventiven Fußgängerschutzes identifiziert, die repräsentativ für das deutsche und das US-amerikanische Verkehrsgeschehen sind, da Unfalldaten beider Länder analysiert und die Ergebnisse kombiniert wurden. Die Auswertung von Daten möglichst vieler Länder ist wichtig, da ein Aktives Sicherheitssystem je nach Fahrzeughersteller nahezu weltweit verkauft wird und dort möglichst effektiv sein sollte. Die hier vorgestellten Methoden sollten daher zukünftig auf Unfalldaten weiterer Länder angewendet werden, um Referenzszenarien mit noch größerer Repräsentativität zu generieren. Außerdem wurden Pre-Crash-Daten von rekonstruierten Fußgängerunfallabläufen verwendet, um die Referenzszenarien im Detail beschreiben zu können. Diese Daten sind aktuell nur begrenzt vorhanden, werden aber zukünftig für verschiedenste Arten von Unfällen zur Verfügung stehen und sollten für die weitere Detaillierung der übrigen Referenzszenarien verwendet werden.

Unfalldatenbanken geben nur Aufschluss über einen kleinen Teil des Verkehrsgeschehens, da es nur selten zu einem Unfall kommt. Natürliche Fahrdaten dagegen enthalten Informationen über unkritische und kritische Verkehrssituationen und decken damit nahezu das gesamte Verkehrsgeschehen ab. Daher ist deren Analyse wichtig für die Entwicklung von effektiven Aktiven Sicherheitssystemen, da sie den Fahrer in unkritischen Referenzszenarien nicht stören und in kritischen Referenzszenarien unterstützen sollten. Neben den Situationsmerkmalen können mit Hilfe von natürlichen Fahrdaten auch die Ursachen von kritischen Situationen und damit von Unfällen genau untersucht werden und Potenziale für Aktive Sicherheitssysteme abgeleitet werden. Um die entworfene Methodik zur Auswertung von natürlichen Fahrdaten beispielhaft anzuwenden, wurden für diese Arbeit die Daten der BMW-Fahrzeuge des euroFOT Projektes verwendet. Um

Referenzszenarien identifizieren zu können, wurde zunächst ein Satz von möglichen Manövern definiert, die wiederum die Basis für die Szenarien darstellen. Für jedes Manöver wurden Algorithmen entwickelt, um diese automatisiert aus den Fahrdaten erkennen zu können. Neben den Manövern konnten ebenso die Situations- und Umgebungsbedingungen sowie die Bewegungsgrößen automatisiert über die Fahrzeugsensoren bestimmt werden. Mit Hilfe der Programme wurde zunächst allgemein die Verteilung von unkritischen Manövern und deren Situationsmerkmalen bestimmt. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden unkritische Referenzszenarien identifiziert. Am Beispiel des Folge- und Spurwechselszenarios wurden ebenso kritische Referenzszenarien ermittelt und für kritische Folgemanöver die Ursachen anhand der Videodaten untersucht. Die durchgeführten Methoden bzgl. der Erkennung von kritischen Manövern und der Ursachenanalyse waren aufgrund des begrenzten zeitlichen Rahmens dieser Arbeit nur anhand von Beispielen möglich und sollten in der Zukunft auf die übrigen kritischen Situationen angewendet werden, um auch hierfür effektive Aktive Sicherheitssysteme entwickeln zu können. Um eine vollständige Übersicht über alle möglichen Verkehrssituationen erlangen zu können, muss die Fahrzeugsensorik für zukünftige Projekte zur Sammlung von natürlichen Fahrdaten weiter verbessert werden. Über eine Kamera mit Fußgängerdetektion könnten z.B. Fußgängersituationen automatisiert erkannt und untersucht werden.

Sind in Referenzszenarien über die Analyse von Unfalldaten und natürlichen Fahrdaten hinaus Informationen über das Fahrerverhalten nötig, um Aktive Sicherheitssysteme sinnvoll auszulegen, können hierfür spezielle Versuche durchgeführt werden. Die Voraussetzung dafür ist die vorherige Identifikation der zu untersuchenden Referenzszenarien, um die Ergebnisse aus den Versuchen auf einen Großteil des relevanten Verkehrsgeschehens übertragen zu können. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Versuch zur Untersuchung des Fahrerverhaltens in unkritischen wie auch kritischen Fußgängersituationen durchgeführt, weil hierfür keine Fahrdaten aus einem Feldversuch verfügbar waren. Da sich die Situationen schlecht real auf dem Testgelände darstellen lassen, wurde ein dynamischer Fahrsimulator als Versuchsumgebung gewählt. Über die Analyse von unkritischen Situationen konnten Kennwerte für die Beschreibung einer normalen Interaktion zwischen Fahrer und Fußgänger ermittelt werden. In diesen Situationen sollte ein präventives Sicherheitssystem nicht auslösen. Demgegenüber brachte die Untersuchung der kritischen Situation Aufschluss darüber, auf welche Art ein Fahrer eine Unterstützung benötigt, um den Unfall noch zu vermeiden. Außerdem wurde das Fahrerverhalten im Längsverkehr anhand von kritischen Folge-Brems-Situationen analysiert. Der Versuch wurde im dynamischen Fahrsimulator durchgeführt, konnte aber auch durch die Verwendung von speziellen

Testwerkzeugen im Realversuch dargestellt werden. Damit wurde neben den Erkenntnissen für die Entwicklung eines Aktiven Sicherheitssystem auch ein Vergleich der beiden Versuchsumgebungen mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen realisiert. Die durchgeführten Versuchsbeispiele zeigen, welchen Mehrwert derartige Versuche besitzen und sie sollten zukünftig bei der Entwicklung von Systemen der Aktiven Sicherheit für die übrigen Referenzszenarien ebenso angesetzt werden.

Die Ergebnisse der verschiedenen Datenquellen wurden zum Ende anhand des Zeitstrahls zur Entstehung eines Unfalles zusammengeführt, um alle Teilbereiche eines Referenzszenarios vom normalen Fahren über kritische Situationen bis zum Unfall zu beschreiben. Dabei können die Beiträge der Datenquellen für die Beschreibung von verschiedenen Referenzszenarien unterschiedlich ausfallen. In dieser Arbeit wurde diese Zusammenführung für den präventiven Front- und Fußgängerschutz durchgeführt. Die entwickelte Methodik kann auf andere Referenzszenarien angewandt werden, sobald die Ergebnisse hierfür verfügbar sind.

Anhang

A Manöver der Beteiligten in den Unfalltypen

Tabelle A-1: Liste der Manöver der Unfallbeteiligten

Nr.	Manöver
0	Geradeausfahren
1	Linkskurve
2	Rechtskurve
3	Linksabbiegen
4	Rechtsabbiegen
5	Spurwechsel links
6	Spurwechsel rechts
7	Rückwärtsfahren
8	Fußgänger überschreiten
9	Fußgänger längs
10	Radfahrer überqueren
11	Radfahrer parallel
12	Geparkt / liegen geblieben / Unfall
13	Ausparken längs
14	Ausparken quer
15	Wenden
98	Nicht vorhanden
99	unbekannt

B Gruppierung der Unfalltypen für den pFS

Tabelle B-1: Gruppierung der Unfalltypen für den pFS

Nr.	Name	Unfalltypen nach [37]											
		141	153	163	173	183							
0	Gerade	141	153	163	173	183							
1	Linkskurve	101	111	131	151	161	171	181					
2	Rechtskurve	102	112	123	132	152	162	172	182	682			
3	Kreuzen	271	301	311	321	331	353	355					
4	Folgen	60x	61x	62x									
5	Nebeneinanderfahren	651	652										
6	Begegnende	681											
7	Linksabbiegen Nachfolgender	201	202	542									
8	Linksabbiegen Gegenverkehr	211	281	351	354	543							
9	Linksabbiegen Querverkehr	261	302	312	322	332	352						
10	Rechtsabbiegen Nachfolgender	231	232	541									
11	Rechtsabbiegen Querverkehr	262	303	304	313	314	323	324	333	334			
12	Spurwechsel links Nachfolgender	204	305	315	511	63x							
13	Spurwechsel links Gegenverkehr	325	335	521	661								
14	Spurwechsel rechts Nachfolgender	233	512	64x									
15	Spurwechsel Fußgänger längs	531	532	533	534	662	663						
16	Rückwärtsfahren Fahrzeug	711	712										
17	Rückwärtsfahren Fußgänger	713											
18	Ausparken / Anfahren längs	551	552	553	554	559	701						
19	Ausparken / Anfahren quer vorwärts	561	562	569									
20	Ausparken / Anfahren quer rückwärts	571	572	579	714	715	702						
21	Parken	703											
22	Wenden	721	722	723	724	729							
23	Gerade Fußgänger überschreiten	272	274	40x	41x	42x	43x	44x	45x	46x	47x	49x	
24	Gerade Fußgänger längs	583	584	67x									
25	Linksabbiegen Fußgänger überschreiten	221	222	273	282	481	482						
26	Rechtsabbiegen Fußgänger überschreiten	241	242	275	284	483	484						
27	Gerade Radfahrer überqueren	203	341	342	343	344	371	372					
28	Linksabbiegen Radfahrer überqueren	223	224	283									
29	Rechtsabbiegen Radfahrer überqueren	243	244	285									
30	Gerade Radfahrer parallel	373	374										
31	Gerade ruhendes Fahrzeug	501	502	509	581	582	741	742	749				
32	Linksabbiegen ruhendes Fahrzeug	591	592										
33	Rechtsabbiegen ruhendes Fahrzeug	593	594										
34	Spurwechsel links ruhendes Fahrzeug	664											
35	Linksabbiegen Rechtsabbieger entgegen	212	213	214									
36	2 Linksabbieger entgegen	215											
37	2 Linksabbieger parallel	251											
38	2 Rechtsabbieger parallel	252											
39	Links- / Rechtsabbieger parallel	286	306	326	683								
40	Linksabbiegen	121	225										
41	Rechtsabbiegen	122	245										
42	Gerade Bahnübergang	361	362	363	364	369							
43	Gerade Hindernis	731	732										
44	Gerade Wild	751	752	753	759								
45	Gerade körperliches Unvermögen	761	762	763									
46	Gerade Schaden Fahrzeug	771	772	773	774	775							
99	unbekannt	alle übrigen Unfalltypen											

C Parameter und Kriterien für die Zuordnung der Manöver

Die Bezeichnung der Beteiligten eines Unfalltyps mit A und B sowie die Beschreibung aller GIDAS Parameter ist dem GIDAS Codebook zu entnehmen [82].

Tabelle C-1: Parameter und Kriterien für die Zuordnung der Manöver (pFS)

UTYP 1xx	Manöver A	Manöver B	Szenario- Nr.	Identifikationsparameter	Kriterium für A	Kriterium für B
1						
100						
101	1	98	1	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Linkskurve	Rechtskurve
102	2	98	2	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Rechtskurve	Linkskurve
109	99	98	99	-	-	-
110						
111	1	98	1	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Linkskurve	Rechtskurve
112	2	98	2	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Rechtskurve	Linkskurve
119	99	98	99	-	-	-
120						
121	3	98	40	RICHTVU / RICHTUE	Linkskurve	Rechtskurve
122	4	98	41	RICHTVU / RICHTUE	Rechtskurve	Linkskurve
123	2	98	2	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Rechtskurve	Linkskurve
129	99	98	99	-	-	-
130						
131	1	98	1	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Linkskurve	Rechtskurve
132	2	98	2	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Rechtskurve	Linkskurve
139	99	98	99	-	-	-
140						
141	0	98	0	Ego-Fahrzeug / Art Beteiligter	Fahrzeug	kein Fahrzeug
149	99	98	99	-	-	-
150						
151	1	98	1	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Linkskurve	Rechtskurve
152	2	98	2	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Rechtskurve	Linkskurve
153	0	98	0	Ego-Fahrzeug / Art Beteiligter	Fahrzeug	kein Fahrzeug
159	99	98	99	-	-	-
160						
161	1	98	1	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Linkskurve	Rechtskurve
162	2	98	2	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Rechtskurve	Linkskurve
163	0	98	0	Ego-Fahrzeug / Art Beteiligter	Fahrzeug	kein Fahrzeug
169	99	98	99	-	-	-
170						
171	1	98	1	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Linkskurve	Rechtskurve
172	2	98	2	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Rechtskurve	Linkskurve
173	0	98	0	Ego-Fahrzeug / Art Beteiligter	Fahrzeug	kein Fahrzeug
179	99	98	99	-	-	-
180						
181	1	98	1	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Linkskurve	Rechtskurve
182	2	98	2	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Rechtskurve	Linkskurve
183	0	98	0	Ego-Fahrzeug / Art Beteiligter	Fahrzeug	kein Fahrzeug
189	99	98	99	-	-	-
199	99	99	99	-	-	-

C PARAMETER UND KRITERIEN FÜR DIE ZUORDNUNG DER MANÖVER

UTYP 2xx	Manöver A	Manöver B	Szenario- Nr.	Identifikationsparameter	Kriterium für A	Kriterium für B
201	0	3	7	Beschädigter Teilbereich	Front	Heck
202	3	0	7	HURSB	schuld	nicht schuld
203	0	10	27	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
204	5	0	12	HURSB	schuld	nicht schuld
209	99	99	99	-	-	-
211	3	0	8	HURSB	schuld	nicht schuld
212	3	4	35	HURSB	schuld	nicht schuld
213	3	4	35	HURSB	schuld	nicht schuld
214	3	4	35	HURSB	schuld	nicht schuld
215	3	3	36	nicht nötig, Manöver identisch	-	-
219	99	99	99	-	-	-
221	3	8	25	Art Beteiligter	PKW	FG
222	3	8	25	Art Beteiligter	PKW	FG
223	3	10	28	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
224	3	10	28	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
225	3	98	40	Kommt nicht vor	-	-
229	99	99	99	-	-	-
231	0	4	10	Beschädigter Teilbereich	Front	Heck
232	4	0	10	HURSB	schuld	nicht schuld
233	6	0	14	HURSB	schuld	nicht schuld
239	99	99	99	-	-	-
241	4	8	26	Art Beteiligter	PKW	FG
242	4	8	26	Art Beteiligter	PKW	FG
243	4	10	29	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
244	4	10	29	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
245	4	98	41	Kommt nicht vor	-	-
249	99	99	99	-	-	-
251	3	3	37	nicht nötig, Manöver identisch	-	-
252	4	4	38	nicht nötig, Manöver identisch	-	-
259	99	99	99	-	-	-
261	0	3	9	HURSB	schuld	nicht schuld
262	0	4	11	VORFB	nein	ja
269	99	99	99	-	-	-
271	0	0	3	HURSB	schuld	nicht schuld
272	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
273	3	8	25	Art Beteiligter	PKW	FG
274	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
275	4	8	26	Art Beteiligter	PKW	FG
279	99	99	99	-	-	-
281	3	0	8	HURSB	schuld	nicht schuld
282	3	8	25	Art Beteiligter	PKW	FG
283	3	10	28	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
284	4	8	26	Art Beteiligter	PKW	FG
285	4	10	29	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
286	4	3	39	RICHTVU / RICHTUE	Rechtskurve	Linkskurve
289	99	99	99	-	-	-
299	99	99	99	-	-	-

C PARAMETER UND KRITERIEN FÜR DIE ZUORDNUNG DER MANÖVER

UTYP 3xx	Manöver A	Manöver B	Szenario- Nr.	Identifikationsparameter	Kriterium für A	Kriterium für B
301	0	0	3	HURSB	schuld	nicht schuld
302	3	0	9	HURSB	schuld	nicht schuld
303	4	0	11	VORFB	nein	ja
304	4	0	11	VORFB	nein	ja
305	5	0	12	HURSB	schuld	nicht schuld
306	3	4	39	RICHTVU / RICHTUE	Linkskurve	Rechtskurve
309	99	99	99	-	-	-
311	0	0	3	HURSB	schuld	nicht schuld
312	3	0	9	HURSB	schuld	nicht schuld
313	4	0	11	VORFB	nein	ja
314	4	0	11	VORFB	nein	ja
315	5	0	12	HURSB	schuld	nicht schuld
319	99	99	99	-	-	-
321	0	0	3	HURSB	schuld	nicht schuld
322	3	0	9	HURSB	schuld	nicht schuld
323	4	0	11	VORFB	nein	ja
324	4	0	11	VORFB	nein	ja
325	5	0	13	HURSB	schuld	nicht schuld
326	4	3	39	RICHTVU / RICHTUE	Rechtskurve	Linkskurve
329	99	99	99	-	-	-
331	0	0	3	HURSB	schuld	nicht schuld
332	3	0	9	HURSB	schuld	nicht schuld
333	4	0	11	VORFB	nein	ja
334	4	0	11	VORFB	nein	ja
335	5	0	13	Kommt nicht vor	-	-
339	99	99	99	-	-	-
341	0	10	27	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
342	0	10	27	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
343	0	10	27	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
344	0	10	27	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
349	99	10	99	-	-	-
351	0	3	8	HURSB	schuld	nicht schuld
352	0	3	9	HURSB	schuld	nicht schuld
353	0	0	3	HURSB	schuld	nicht schuld
354	3	0	8	HURSB	schuld	nicht schuld
355	0	0	3	HURSB	schuld	nicht schuld
359	99	99	99	-	-	-
361	0	98	42	Art Beteiligter	PKW	kein Fahrzeug
362	0	98	42	Art Beteiligter	PKW	kein Fahrzeug
363	0	98	42	Art Beteiligter	PKW	kein Fahrzeug
364	0	98	42	Art Beteiligter	PKW	kein Fahrzeug
369	0	98	42	Art Beteiligter	PKW	kein Fahrzeug
371	0	10	27	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
372	0	10	27	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
373	0	11	30	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
374	0	11	30	Art Beteiligter	PKW	Fahrrad
379	99	99	99	-	-	-
399	99	99	99	-	-	-

C PARAMETER UND KRITERIEN FÜR DIE ZUORDNUNG DER MANÖVER

UTYP 4xx	Manöver A	Manöver B	Szenario- Nr.	Identifikationsparameter	Kriterium für A	Kriterium für B
40x	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
41x	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
42x	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
43x	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
44x	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
45x	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
46x	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
47x	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
481	3	8	25	Art Beteiligter	PKW	FG
482	3	8	25	Art Beteiligter	PKW	FG
483	4	8	26	Art Beteiligter	PKW	FG
484	4	8	26	Art Beteiligter	PKW	FG
489	99	99	99	-	-	-
491	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
492	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
493	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
494	0	8	23	Art Beteiligter	PKW	FG
499	99	8	99	-	-	-

C PARAMETER UND KRITERIEN FÜR DIE ZUORDNUNG DER MANÖVER

UTYP 5xx	Manöver A	Manöver B	Szenario- Nr.	Identifikationsparameter	Kriterium für A	Kriterium für B
501	0	12	31	Geschwindigkeit	V0<>0	V0=0
502	0	12	31	Geschwindigkeit	V0<>0	V0=0
509	0	12	31	Geschwindigkeit	V0<>0	V0=0
511	5	0	12	HURSB	schuld	nicht schuld
512	6	0	14	HURSB	schuld	nicht schuld
519	99	0	99	-	-	-
521	5	0	13	HURSB	schuld	nicht schuld
531	5	9	15	Art Beteiligter	PKW	FG
532	6	9	15	Art Beteiligter	PKW	FG
533	5	9	15	Art Beteiligter	PKW	FG
534	6	9	15	Art Beteiligter	PKW	FG
539	99	99	99	-	-	-
541	0	4	10	Beschädigter Teilbereich	Front	Heck
542	0	3	7	Beschädigter Teilbereich	Front	Heck
543	3	0	8	HURSB	schuld	nicht schuld
549	99	99	99	-	-	-
551	13	0	18	HURSB	schuld	nicht schuld
552	13	0	18	HURSB	schuld	nicht schuld
553	13	0	18	HURSB	schuld	nicht schuld
554	13	0	18	HURSB	schuld	nicht schuld
559	13	0	18	HURSB	schuld	nicht schuld
561	14	0	19	HURSB	schuld	nicht schuld
562	14	0	19	HURSB	schuld	nicht schuld
569	14	0	19	HURSB	schuld	nicht schuld
571	14	0	20	HURSB	schuld	nicht schuld
572	14	0	20	HURSB	schuld	nicht schuld
579	14	0	20	HURSB	schuld	nicht schuld
581	0	12	31	Geschwindigkeit	V0<>0	V0=0
582	0	12	31	Geschwindigkeit	V0<>0	V0=0
583	0	9	24	Art Beteiligter	PKW	FG
584	0	9	24	Art Beteiligter	PKW	FG
589	0	99	99	-	-	-
590						
591	3	12	32	Geschwindigkeit	V0<>0	V0=0
592	3	12	32	Geschwindigkeit	V0<>0	V0=0
593	4	12	33	Geschwindigkeit	V0<>0	V0=0
594	4	12	33	Geschwindigkeit	V0<>0	V0=0
599	99	99	99	-	-	-

C PARAMETER UND KRITERIEN FÜR DIE ZUORDNUNG DER MANÖVER

UTYP 6xx	Manöver A	Manöver B	Szenario- Nr.	Identifikationsparameter	Kriterium für A	Kriterium für B
601	0	0	4	VDI12	1	3
602	0	0	4	VDI12	1	3
603	0	0	4	VDI12	1	3
604	0	0	4	VDI12	1	3
609	0	0	4	VDI12	1	3
611	0	0	4	VDI12	1	3
612	0	0	4	VDI12	1	3
613	0	0	4	VDI12	1	3
614	0	0	4	VDI12	1	3
619	0	0	4	VDI12	1	3
621	0	0	4	VDI12	1	3
622	0	0	4	VDI12	1	3
623	0	0	4	VDI12	1	3
624	0	0	4	VDI12	1	3
629	0	0	4	VDI12	1	3
631	5	0	12	HURSB	schuld	nicht schuld
632	5	0	12	HURSB	schuld	nicht schuld
633	5	0	12	HURSB	schuld	nicht schuld
634	5	0	12	HURSB	schuld	nicht schuld
635	5	0	12	HURSB	schuld	nicht schuld
639	5	0	12	HURSB	schuld	nicht schuld
641	6	0	14	HURSB	schuld	nicht schuld
642	6	0	14	HURSB	schuld	nicht schuld
643	6	0	14	HURSB	schuld	nicht schuld
644	6	0	14	HURSB	schuld	nicht schuld
645	6	0	14	HURSB	schuld	nicht schuld
646	6	0	14	HURSB	schuld	nicht schuld
649	6	0	14	HURSB	schuld	nicht schuld
651	0	0	5	nicht nötig, Manöver identisch	-	-
652	0	0	5	nicht nötig, Manöver identisch	-	-
661	5	0	13	HURSB	schuld	nicht schuld
662	5	9	15	Art Beteiligter	PKW	FG
663	5	9	15	Art Beteiligter	PKW	FG
664	5	12	34	Geschwindigkeit	v0<>0	v0=0
669	5	99	99	-	-	-
671	0	9	24	Art Beteiligter	PKW	FG
672	0	9	24	Art Beteiligter	PKW	FG
673	0	9	24	Art Beteiligter	PKW	FG
674	0	9	24	Art Beteiligter	PKW	FG
679	0	9	24	Art Beteiligter	PKW	FG
681	0	0	6	nicht nötig, Manöver identisch	-	-
682	2	1	2	RICHTVU / RICHTUE, Art Bet.	Rechtskurve	Linkskurve
683	4	3	39	RICHTVU / RICHTUE	Rechtskurve	Linkskurve
689	99	99	99	-	-	-
699	99	99	99	-	-	-

C PARAMETER UND KRITERIEN FÜR DIE ZUORDNUNG DER MANÖVER

UTYP 7xx	Manöver A	Manöver B	Szenario- Nr.	Identifikationsparameter	Kriterium für A	Kriterium für B
701	13	12	18	HURSB	schuld	nicht schuld
702	14	12	19	HURSB	schuld	nicht schuld
703	14	12	21	manuell		
709	99	12	99	-	-	-
711	7	0	16	Schaden	Heck	Front
712	7	0	16	Schaden	Heck	Front
713	7	8	17	manuell	PKW	FG
714	14	0	20	HURSB	schuld	nicht schuld
715	14	0	20	HURSB	schuld	nicht schuld
719	99	99	99	-	-	-
721	15	0	22	HURSB	schuld	nicht schuld
722	15	0	22	HURSB	schuld	nicht schuld
723	15	0	22	HURSB	schuld	nicht schuld
724	15	12	22	HURSB	schuld	nicht schuld
729	15	99	22	HURSB	schuld	nicht schuld
731	0	98	43	Art	PKW	Objekt
732	0	98	43	Art	PKW	Objekt
741	0	12	31	Geschwindigkeit	V0<>0	V0=0
742	0	12	31	Geschwindigkeit	V0<>0	V0=0
749	0	12	31	Geschwindigkeit	V0<>0	V0=0
751	0	98	44	Art Beteiligter	PKW	Objekt
752	0	98	44	Art Beteiligter	PKW	Objekt
753	0	98	44	Art Beteiligter	PKW	Objekt
759	0	98	44	Art Beteiligter	PKW	Objekt
761	0	98	45	Art Beteiligter / HURSB	Fahrzeug	kein Fahrzeug
762	0	98	45	Art Beteiligter / HURSB	Fahrzeug	kein Fahrzeug
763	0	98	45	Art Beteiligter / HURSB	Fahrzeug	kein Fahrzeug
771	0	98	46	Art Beteiligter	Fahrzeug	kein Fahrzeug
772	0	98	46	Art Beteiligter	Fahrzeug	kein Fahrzeug
773	0	98	46	Art Beteiligter	Fahrzeug	kein Fahrzeug
774	0	98	46	Art Beteiligter	Fahrzeug	kein Fahrzeug
775	0	98	46	Art Beteiligter	Fahrzeug	kein Fahrzeug
799	99	99	99	-	-	-

D Randbedingungen der Bewegungskonstellationen des pFS (Häufigkeit)

Tabelle D-1: Ortslage in den Bewegungskonstellationen des pFS (Häufigkeit)

		Ortslage / Straßenart			
		innerorts	Landstraße	Autobahn	gesamt
Folgen	Anzahl	1.028	260	265	1.553
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	66%	17%	17%	100%
Kreuzen	Anzahl	728	139		866
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	84%	16%	%	100%
Gerade Radfahrer überqueren	Anzahl	718	41		759
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	95%	5%	%	100%
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen	Anzahl	301	192	5	497
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	60%	39%	1%	100%
Linksabbiegen Gegenverkehr	Anzahl	353	115	3	471
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	75%	24%	1%	100%
Sonstige	Anzahl	2.175	1.091	252	3.518
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	62%	31%	7%	100%
unbekannt	Anzahl	346	129	42	517
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	67%	25%	8%	100%
gesamt	Anzahl	5.648	1.967	567	8.182
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	69%	24%	7%	100%

*Tabelle D-2: Art des Unfallgegners in den Bewegungskonstellationen des pFS
(Häufigkeit)*

		Art des Unfallgegners			
		PKW	LKW	Sonstige	gesamt
Folgen	Anzahl	1.405	64	84	1.553
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	90%	4%	5%	100%
Kreuzen	Anzahl	575	25	267	866
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	66%	3%	31%	100%
Gerade Radfahrer überqueren	Anzahl	0	0	759	759
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	0%	0%	100%	100%
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen	Anzahl	422	30	45	497
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	85%	6%	9%	100%
Linksabbiegen Gegenverkehr	Anzahl	300	12	159	471
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	64%	3%	34%	100%
Sonstige	Anzahl	1.593	159	1.760	3.511
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	45%	5%	50%	100%
unbekannt	Anzahl	255	21	240	516
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	49%	4%	46%	100%
gesamt	Anzahl	4.549	311	3.314	8.174
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	56%	4%	41%	100%

Tabelle D-3: Tageszeit in den Bewegungskonstellationen des pFS (Häufigkeit)

		Tageszeit			
		Tag	Nacht	Dämmerung	gesamt
Folgen	Anzahl	1.167	255	130	1.553
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	75%	16%	8%	100%
Kreuzen	Anzahl	641	160	66	866
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	74%	18%	8%	100%
Gerade Radfahrer überqueren	Anzahl	655	52	52	759
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	86%	7%	7%	100%
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen	Anzahl	309	123	66	497
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	62%	25%	13%	100%
Linksabbiegen Gegenverkehr	Anzahl	319	88	64	471
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	68%	19%	14%	100%
Sonstige	Anzahl	2.393	769	357	3.518
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	68%	22%	10%	100%
unbekannt	Anzahl	362	105	51	517
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	70%	20%	10%	100%
gesamt	Anzahl	5.845	1.551	785	8.182
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	71%	19%	10%	100%

Tabelle D-4: Bewölkung in den Bewegungskonstellationen des pFS (Häufigkeit)

		Bewölkung, Nebel				
		wolkenlos	bewölkt	Nebel	andere	gesamt
Folgen	Anzahl	260	1.226	4	12	1.502
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	17%	82%	%	1%	100%
Kreuzen	Anzahl	125	712	2	9	847
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	15%	84%	%	1%	100%
Gerade Radfahrer überqueren	Anzahl	158	583		7	748
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	21%	78%	%	1%	100%
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen	Anzahl	66	404	3	13	486
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	14%	83%	1%	3%	100%
Linksabbiegen Gegenverkehr	Anzahl	73	375	5	5	457
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	16%	82%	1%	1%	100%
Sonstige	Anzahl	544	2.795	43	46	3.428
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	16%	82%	1%	1%	100%
unbekannt	Anzahl	80	416	3	6	504
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	16%	82%	1%	1%	100%
gesamt	Anzahl	1.305	6.511	60	97	7.973
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	16,4%	82%	1%	1%	100%

Tabelle D-5: Niederschlag in den Bewegungskonstellationen des pFS (Häufigkeit)

		Niederschlag				
		ja o.n.A.	nein	Regen	Hagel, Schnee, Eisregen	gesamt
Folgen	Anzahl	0	1.274	250	20	1.544
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	0%	83%	16%	1%	100%
Kreuzen	Anzahl	0	745	104	14	864
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	0%	86%	12%	2%	100%
Gerade Radfahrer überqueren	Anzahl	0	684	71	3	758
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	0%	90%	9%	0%	100%
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen	Anzahl	0	414	75	8	496
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	0%	83%	15%	2%	100%
Linksabbiegen Gegenverkehr	Anzahl	0	397	66	4	467
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	0%	85%	14%	1%	100%
Sonstige	Anzahl	13	2.755	633	106	3.506
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	0%	79%	18%	3%	100%
unbekannt	Anzahl	0	407	97	12	516
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	%	79%	19%	2%	100%
gesamt	Anzahl	13	6.676	1.297	166	8.152
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	%	82%	16%	2%	100%

*Tabelle D-6: Straßenoberfläche in den Bewegungskonstellationen des pFS
(Häufigkeit)*

		Straßenoberfläche				
		trocken	feucht, nass	Raureif, Eis, Schnee	andere	gesamt
Folgen	Anzahl	1.080	432	26	2	1.541
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	70%	28%	2%	0%	100%
Kreuzen	Anzahl	639	212	14	0	866
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	74%	24%	2%	0%	100%
Gerade Radfahrer überqueren	Anzahl	646	110	1	0	758
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	85%	15%	%	0%	100%
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen	Anzahl	352	139	7	0	497
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	71%	28%	1%	0%	100%
Linksabbiegen Gegenverkehr	Anzahl	350	115	5	0	471
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	74%	24%	1%	%	100%
Sonstige	Anzahl	2.188	1.139	169	2	3.498
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	63%	33%	5%	%	100%
unbekannt	Anzahl	334	155	24	1	514
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	65%	30%	5%	%	100%
gesamt	Anzahl	5.589	2.302	247	6	8.144
	% von Referenzszenarien Häufigkeit	69%	28%	3%	%	100%

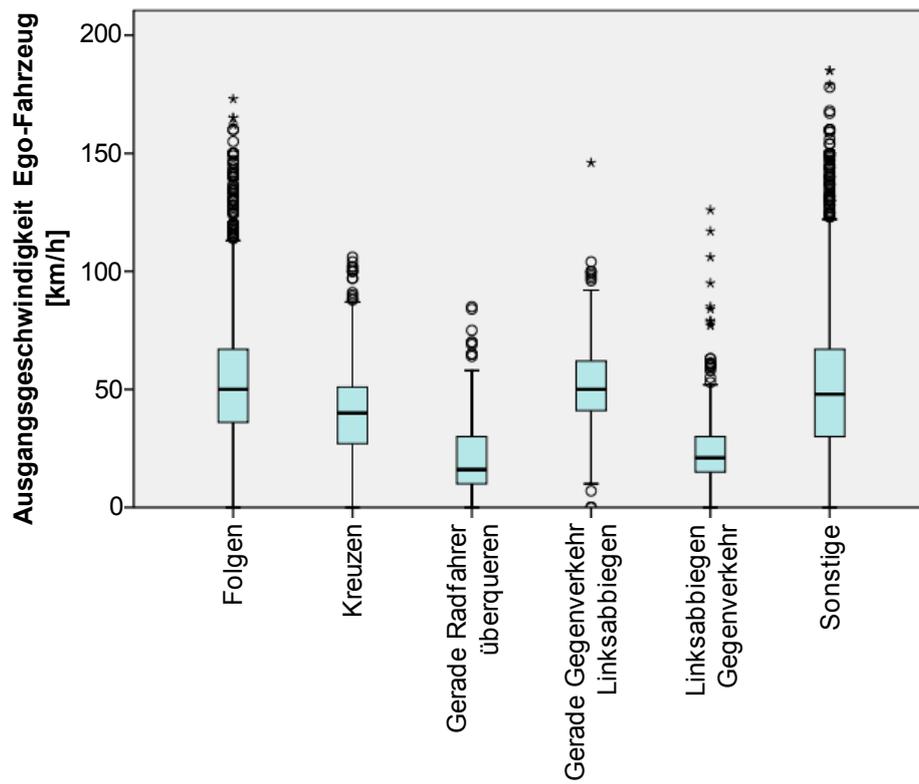


Bild D-1: Ausgangsgeschwindigkeit (Ego-Fzg.) in den Konstellationen des pFS (Häufigkeit)

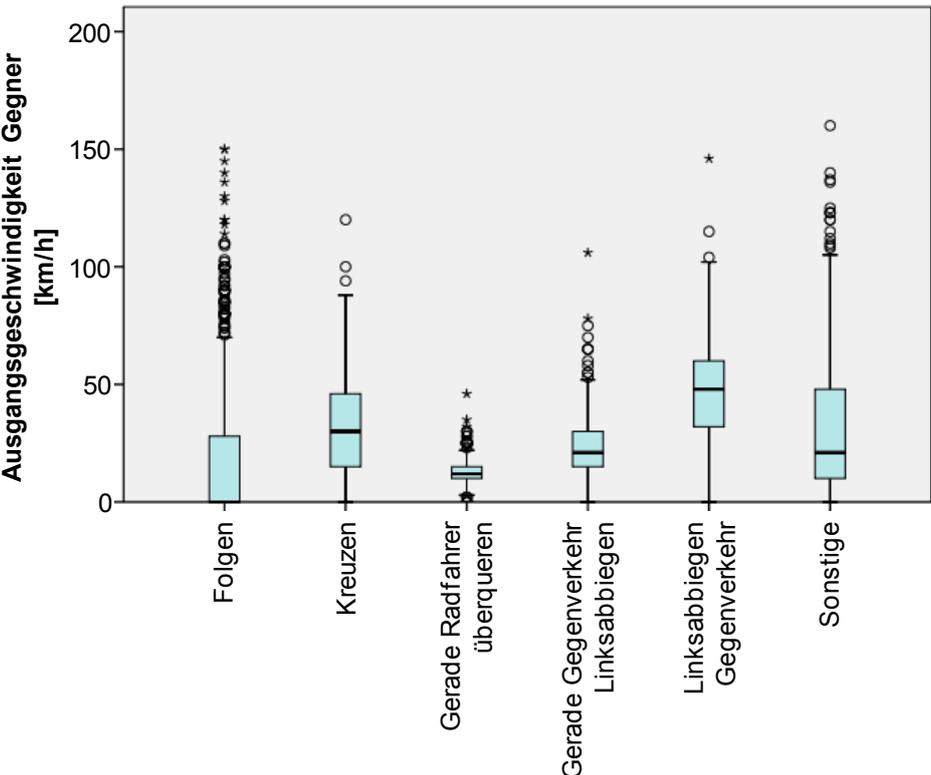


Bild D-2: Ausgangsgeschwindigkeit (Gegner) in den Konstellationen des pFS (Häufigkeit)

E Randbedingungen der Bewegungskonstellationen des pFS (Harm)

Tabelle E-1: Ortslage in den Bewegungskonstellationen des pFS (Harm)

		Ortslage / Straßenart			
		innerorts	Landstraße	Autobahn	gesamt
Folgen	Anzahl	10.291.667	3.615.438	6.851.333	20.758.439
	% von Referenzszenarien Harm	50%	17%	33%	100%
Kreuzen	Anzahl	8.882.029	4.066.660	0	12.948.689
	% von Referenzszenarien Harm	69%	31%	0%	100%
Rechtskurve, nicht abgekommen	Anzahl	2.119.782	9.287.591	106.159	11.513.531
	% von Referenzszenarien Harm	18%	81%	1%	100%
Gerade körperliches Unvermögen	Anzahl	6.426.992	3.461.103	1.412.569	11.300.664
	% von Referenzszenarien Harm	57%	31%	12%	100%
Begegnende	Anzahl	2.572.065	7.202.701	1.329.582	11.104.347
	% von Referenzszenarien Harm	23%	65%	12%	100%
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen	Anzahl	4.675.078	5.752.387	58.882	10.486.348
	% von Referenzszenarien Harm	45%	55%	1%	100%
Gerade, abkommen nach rechts	Anzahl	1.080.714	5.153.102	1.099.717	7.333.533
	% von Referenzszenarien Harm	15%	70%	15%	100%
Linksabbiegen Gegenverkehr	Anzahl	4.755.253	2.219.632	269.349	7.244.235
	% von Referenzszenarien Harm	66%	31%	4%	100%
Sonstige	Anzahl	34.747.894	37.419.422	6.319.416	78.486.731
	% von Referenzszenarien Harm	44%	48%	8%	100%
unbekannt	Anzahl	5.842.133	5.341.886	1.815.547	12.999.566
	% von Referenzszenarien Harm	45%	41%	14%	100%
gesamt	Anzahl	81.393.607	83.519.922	19.262.554	184.176.083
	% von Referenzszenarien Harm	44%	45%	10%	100%

Tabelle E-2: Art des Unfallgegners in den Bewegungskonstellationen des pFS (Harm)

		Art des Unfallgegners			
		PKW	LKW	Sonstige	gesamt
Folgen	Anzahl	16.206.599	2.885.542	1.666.297	20.758.439
	% von Referenzszenarien Harm	78%	14%	8%	100%
Kreuzen	Anzahl	9.362.162	822.182	2.764.345	12.948.689
	% von Referenzszenarien Harm	72%	6%	21%	100%
Rechtskurve, nicht abgekommen	Anzahl	6.979.183	2.034.318	2.500.030	11.513.531
	% von Referenzszenarien Harm	61%	18%	22%	100%
Gerade körperliches Unvermögen	Anzahl	2.801.841	299.178	8.199.646	11.300.664
	% von Referenzszenarien Harm	25%	3%	73%	100%
Begegnende	Anzahl	9.625.636	1.193.603	285.108	11.104.347
	% von Referenzszenarien Harm	87%	11%	3%	100%
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen	Anzahl	8.968.960	716.829	800.559	10.486.348
	% von Referenzszenarien Harm	86%	7%	8%	100%
Gerade, abkommen nach rechts	Anzahl	27.650	0	7.305.883	7.333.533
	% von Referenzszenarien Harm	0%	0%	100%	100%
Linksabbiegen Gegenverkehr	Anzahl	5.595.417	335.590	1.313.227	7.244.235
	% von Referenzszenarien Harm	77%	5%	18%	100%
Sonstige	Anzahl	30.102.320	5.920.063	42.302.946	78.325.329
	% von Referenzszenarien Harm	38%	8%	54%	100%
unbekannt	Anzahl	8.429.208	809.301	3.748.353	12.986.862
	% von Referenzszenarien Harm	65%	6%	29%	100%
gesamt	Anzahl	98.098.976	15.016.606	70.886.394	184.001.976
	% von Referenzszenarien Harm	53%	8%	39%	100%

Tabelle E-3: Tageszeit in den Bewegungskonstellationen des pFS (Harm)

		Tageszeit			
		Tag	Nacht	Dämmerung	gesamt
Folgen	Anzahl	15.085.233	4.201.691	1.471.515	20.758.439
	% von Referenzszenarien Harm	73%	20%	7%	100%
Kreuzen	Anzahl	9.241.588	2.770.822	936.279	12.948.689
	% von Referenzszenarien Harm	71%	21%	7%	100%
Rechtskurve, nicht abgekommen	Anzahl	8.193.321	2.462.793	857.417	11.513.531
	% von Referenzszenarien Harm	71%	21%	7%	100%
Gerade körperliches Unvermögen	Anzahl	6.940.416	2.147.596	2.212.653	11.300.664
	% von Referenzszenarien Harm	61%	19%	20%	100%
Begegnende	Anzahl	8.337.292	1.871.630	895.425	11.104.347
	% von Referenzszenarien Harm	75%	17%	8%	100%
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen	Anzahl	6.991.064	2.270.712	1.224.571	10.486.348
	% von Referenzszenarien Harm	67%	22%	12%	100%
Gerade, abkommen nach rechts	Anzahl	3.398.002	2.795.461	1.140.070	7.333.533
	% von Referenzszenarien Harm	46%	38%	16%	100%
Linksabbiegen Gegenverkehr	Anzahl	5.426.023	1.185.209	633.003	7.244.235
	% von Referenzszenarien Harm	75%	16%	9%	100%
Sonstige	Anzahl	52.221.510	18.490.988	7.774.233	78.486.731
	% von Referenzszenarien Harm	67%	24%	10%	100%
unbekannt	Anzahl	8.498.409	2.603.100	1.898.058	12.999.566
	% von Referenzszenarien Harm	65%	20%	15%	100%
gesamt	Anzahl	124.332.857	40.800.001	19.043.224	184.176.083
	% von Referenzszenarien Harm	68%	22%	10%	100%

Tabelle E-4: Bewölkung in den Bewegungskonstellationen des pFS (Harm)

		Bewölkung, Nebel				
		wolkenlos	bewölkt	Nebel	andere	gesamt
Folgen	Anzahl	4.202.455	15.766.242	29.582	166.140	4.202.455
	% von Referenzszenarien Harm	21%	78%	%	1%	21%
Kreuzen	Anzahl	1.712.151	10.962.956	16.380	71.552	1.712.151
	% von Referenzszenarien Harm	13%	86%	%	1%	13%
Rechtskurve, nicht abgekommen	Anzahl	963.223	8.992.617	671.367	14.939	963.223
	% von Referenzszenarien Harm	9%	85%	6%	0%	9%
Gerade körperliches Unvermögen	Anzahl	1.860.230	9.239.342	24.202	154.990	1.860.230
	% von Referenzszenarien Harm	16%	82%	0%	1%	16%
Begegnende	Anzahl	740.072	10.240.151	0	0	740.072
	% von Referenzszenarien Harm	7%	93%	0%	0%	7%
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen	Anzahl	1.317.146	8.787.983	27.630	208.488	1.317.146
	% von Referenzszenarien Harm	13%	85%	0%	2%	13%
Gerade, abkommen nach rechts	Anzahl	2.044.841	4.974.145	219.735	94.812	2.044.841
	% von Referenzszenarien Harm	28%	68%	3%	1%	28%
Linksabbiegen Gegenverkehr	Anzahl	1.381.059	5.572.969	43.073	47.135	1.381.059
	% von Referenzszenarien Harm	20%	79%	1%	1%	20%
Sonstige	Anzahl	12.273.066	61.708.093	1.114.299	835.942	12.273.066
	% von Referenzszenarien Harm	16%	81%	1%	1%	16%
unbekannt	Anzahl	1.406.771	11.291.545	34.895	46.609	1.406.771
	% von Referenzszenarien Harm	11%	88%	0%	0%	11%
gesamt	Anzahl	27.901.015	147.536.043	2.181.161	1.640.606	27.901.015
	% von Referenzszenarien Harm	16%	82%	1%	1%	16%

Tabelle E-5: Niederschlag in den Bewegungskonstellationen des pFS (Harm)

		Niederschlag				
		ja o.n.A.	nein	Regen	Hagel, Schnee, Eisregen	gesamt
Folgen	Anzahl	0	17.136.335	3.223.556	317.696	0
	% von Referenz- szenarien Harm	0%	83%	16%	2%	0%
Kreuzen	Anzahl	0	11.139.006	1.426.235	353.032	0
	% von Referenz- szenarien Harm	0%	86%	11%	3%	0%
Rechtskurve, nicht abgekommen	Anzahl	7.998	7.780.725	3.471.704	240.109	7.998
	% von Referenz- szenarien Harm	0%	68%	30%	2%	0%
Gerade körperliches Unvermögen	Anzahl	154.990	9.296.263	1.458.727	390.685	154.990
	% von Referenz- szenarien Harm	1%	82%	13%	3%	1%
Begegnende	Anzahl	0	8.376.509	2.685.344	42.494	0
	% von Referenz- szenarien Harm	0%	75%	24%	0%	0%
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen	Anzahl	0	8.965.835	1.312.953	192.934	0
	% von Referenz- szenarien Harm	0%	86%	13%	2%	0%
Gerade, abkommen nach rechts	Anzahl	94.812	6.368.710	688.226	181.784	94.812
	% von Referenz- szenarien Harm	1%	87%	9%	2%	1%
Linksabbiegen Gegenverkehr	Anzahl	0	6.350.958	687.811	162.990	0
	% von Referenz- szenarien Harm	0%	88%	10%	2%	0%
Sonstige	Anzahl	327.836	61.611.373	14.060.917	2.220.138	327.836
	% von Referenz- szenarien Harm	0%	79%	18%	3%	0%
unbekannt	Anzahl	0	10.277.772	2.252.521	459.258	0
	% von Referenz- szenarien Harm	0%	79%	17%	4%	0%
gesamt	Anzahl	585.635	147.303.484	31.267.994	4.561.120	585.635
	% von Referenz- szenarien Harm	0%	80%	17%	2%	0%

Tabelle E-6: Straßenoberfläche in den Bewegungskonstellationen des pFS (Harm)

		Straßenoberfläche				
		trocken	feucht, nass	Raureif, Eis, Schnee	andere	gesamt
Folgen	Anzahl	15.055.328	5.297.725	291.266	17.364	15.055.328
	% von Referenz-szenarien Harm	73%	26%	1%	0%	73%
Kreuzen	Anzahl	9.506.797	3.132.275	303.377	0	9.506.797
	% von Referenz-szenarien Harm	73%	24%	2%	0%	73%
Rechtskurve, nicht abgekommen	Anzahl	5.981.642	4.874.624	657.265	0	5.981.642
	% von Referenz-szenarien Harm	52%	42%	6%	0%	52%
Gerade körperliches Unvermögen	Anzahl	8.537.490	2.637.493	0	0	8.537.490
	% von Referenz-szenarien Harm	76%	24%	0%	0%	76%
Begegnende	Anzahl	6.673.036	3.717.323	705.306	0	6.673.036
	% von Referenz-szenarien Harm	60%	34%	6%	0%	60%
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen	Anzahl	7.342.150	2.963.813	180.384	0	7.342.150
	% von Referenz-szenarien Harm	70%	28%	2%	0%	70%
Gerade, abkommen nach rechts	Anzahl	5.492.953	1.199.802	623.662	0	5.492.953
	% von Referenz-szenarien Harm	75%	16%	9%	0%	75%
Linksabbiegen Gegenverkehr	Anzahl	5.689.746	1.511.841	42.648	0	5.689.746
	% von Referenz-szenarien Harm	79%	21%	1%	0%	79%
Sonstige	Anzahl	49.625.189	25.138.597	3.515.836	30.276	49.625.189
	% von Referenz-szenarien Harm	63%	32%	4%	0%	63%
unbekannt	Anzahl	6.284.460	5.459.770	1.205.816	12.995	6.284.460
	% von Referenz-szenarien Harm	48%	42%	9%	0%	48%
gesamt	Anzahl	120.188.792	55.933.263	7.525.561	60.636	120.188.792
	% von Referenz-szenarien Harm	65%	30%	4%	0%	65%

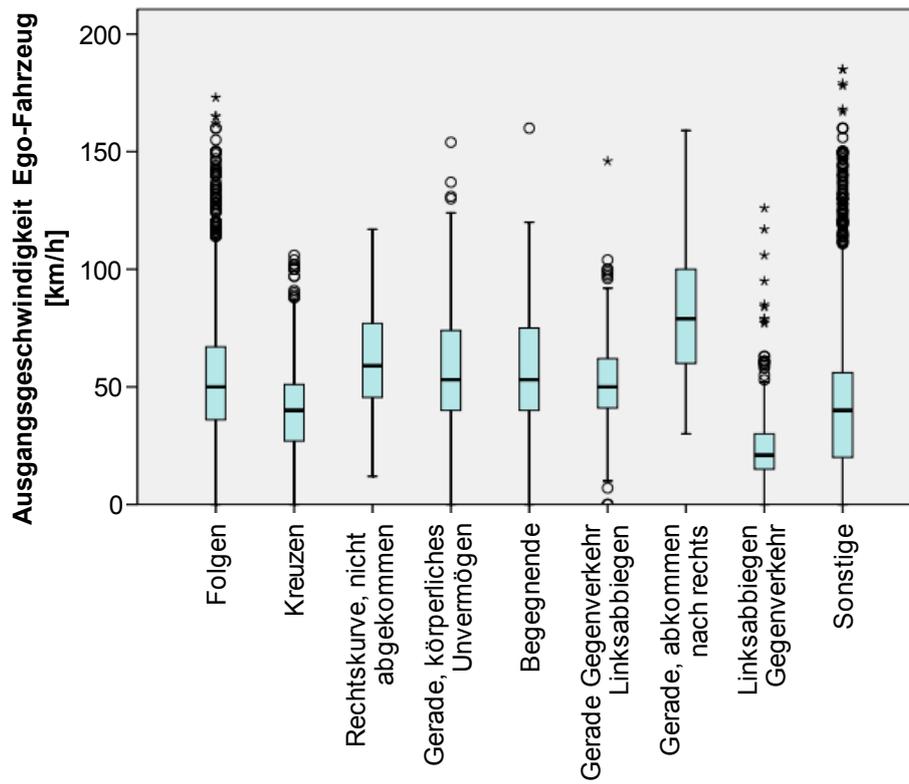


Bild E-1: Ausgangsgeschwindigkeit (Ego-Fahrzeug) in den Konstellationen des pFS (Harm)

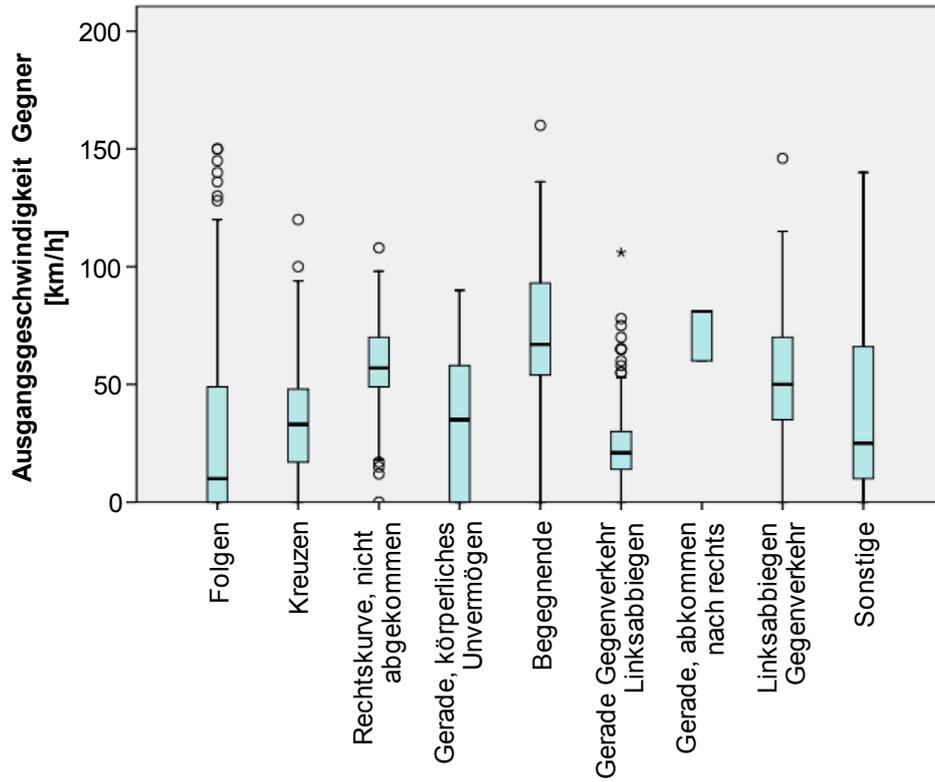


Bild E-2: Ausgangsgeschwindigkeit (Gegner) in den Konstellationen des pFS (Harm)

F Referenzszenarien des pFS aus der Unfallanalyse (Häufigkeit)

Tabelle F-1: Referenzszenario 1 des pFS: Folgen (Häufigkeit)

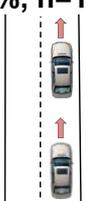
 Folgen (19,0%, n=1.553)	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung (bei bekannten Werten des Parameters)
Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts	66%
	Art des Unfallgegners	PKW	90%
Umwelt	Tageszeit	Tag	75%
	Bewölkung	bewölkt	80%
	Niederschlag	nein	83%
	Straßenoberfläche	trocken	70%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-78km/h	80%
	Ausgangsgeschwindigkeit Gegner	0-40km/h	81%
Bedeutung des Referenzszenarios: →3,1% (5,3% bei bekannten Werten aller Parameter) der Fahrzeuge			

Tabelle F-2: Referenzszenario 2 des pFS: Kreuzen (Häufigkeit)

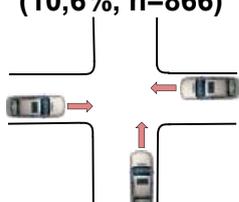
 Kreuzen (10,6%, n=866)	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung (bei bekannten Werten des Parameters)
Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts	84%
	Art des Unfallgegners	PKW	66%
Umwelt	Tageszeit	Tag	74%
	Bewölkung	bewölkt	84%
	Niederschlag	nein	86%
	Straßenoberfläche	trocken	74%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-57km/h	82%
	Ausgangsgeschwindigkeit Gegner	0-49km/h	80%
Bedeutung des Referenzszenarios: →3,1% (5,3% bei bekannten Werten aller Parameter) der Fahrzeuge			

Tabelle F-3: Referenzszenario 3 des pFS: Gerade Radfahrer überqueren (Häufigkeit)

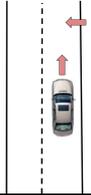
Gerade Radfahrer überqueren (9,3%, n=759)	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung (bei bekannten Werten des Parameters)	
	Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts	95%
		Art des Unfallgegners	Sonstige	100%
Umwelt		Tageszeit	Tag	86%
		Bewölkung	bewölkt	78%
		Niederschlag	nein	90%
		Straßenoberfläche	trocken	85%
Bewegung		Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-32km/h	80%
		Ausgangsgeschwindigkeit Gegner	0-15km/h	81%
Bedeutung des Referenzszenarios: →2,2% (3,9% bei bekannten Werten aller Parameter) der Fahrzeuge.				

Tabelle F-4: Referenzszenario 4 des pFS: Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen (Häufigkeit)

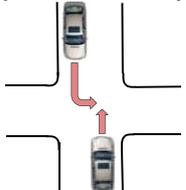
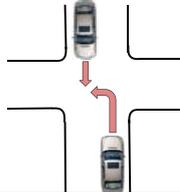
Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen (6,1%, n=497)	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung (bei bekannten Werten des Parameters)	
	Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts	60%
		Art des Unfallgegners	PKW	85%
Umwelt		Tageszeit	Tag	62%
		Bewölkung	bewölkt	83%
		Niederschlag	nein	83%
		Straßenoberfläche	trocken	71%
Bewegung		Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-70km/h	81%
		Ausgangsgeschwindigkeit Gegner	0-32km/h	81%
Bedeutung des Referenzszenarios: →0,8% (1,4% bei bekannten Werten aller Parameter) der Fahrzeuge.				

Tabelle F-5: Referenzszenario 5 des pFS: Linksabbiegen Gegenverkehr (Häufigkeit)

Linksabbiegen Gegenverkehr (5,8%, n=471) 	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung (bei bekannten Werten des Parameters)
Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts	75%
	Art des Unfallgegners	PKW	64%
Umwelt	Tageszeit	Tag	68%
	Bewölkung	bewölkt	82%
	Niederschlag	nein	85%
	Straßenoberfläche	trocken	74%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-33km/h	81%
	Ausgangsgeschwindigkeit Gegner	0-65km/h	81%
Bedeutung des Referenzszenarios: →0,6% (1,0% bei bekannten Werten aller Parameter) der Fahrzeuge.			

G Referenzszenarien des pFS aus der Unfallanalyse (Harm)

Tabelle G-1: Referenzszenario 1 des pFS: Folgen (Harm)

 Folgen (11,3%)	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung (bei bekannten Werten des Parameters)
Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts + Autobahn	50% + 33% = 83%
	Art des Unfallgegners	PKW	78%
Umwelt	Tageszeit	Tag	73%
	Bewölkung	bewölkt	78%
	Niederschlag	nein	83%
	Straßenoberfläche	trocken	73%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-115km/h	81%
	Ausgangsgeschwindigkeit Gegner	0-60km/h	81%
Bedeutung des Referenzszenarios: →1,8% (3,7% bei bekannten Werten aller Parameter) der Fahrzeuge.			

Tabelle G-2: Referenzszenario 2 des pFS: Kreuzen (Harm)

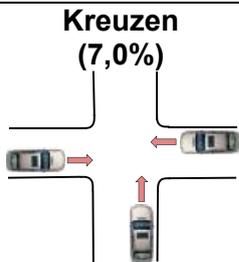
 Kreuzen (7,0%)	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung (bei bekannten Werten des Parameters)
Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts	69%
	Art des Unfallgegners	PKW	71%
Umwelt	Tageszeit	Tag	74%
	Bewölkung	bewölkt	86%
	Niederschlag	nein	86%
	Straßenoberfläche	trocken	73%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-68km/h	80%
	Ausgangsgeschwindigkeit Gegner	0-50km/h	83%
Bedeutung des Referenzszenarios: →0,8% (1,7% bei bekannten Werten aller Parameter) der Fahrzeuge.			

Tabelle G-3: Referenzszenario 3 des pFS: Rechtskurve, nicht abgekommen (Harm)

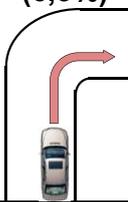
Rechtskurve, nicht abgekommen (6,3%) 	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung (bei bekannten Werten des Parameters)
Situation	Ortslage / Straßenart	Landstraße	81%
	Art des Unfallgegners	PKW	61%
Umwelt	Tageszeit	Tag	71%
	Bewölkung	bewölkt	85%
	Niederschlag	nein	68%
	Straßenoberfläche	trocken + feucht/nass	52% + 42% = 94%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-97km/h	83%
	Ausgangsgeschwindigkeit Gegner	0-75km/h	82%
Bedeutung des Referenzszenarios: →0,7% (1,5% bei bekannten Werten aller Parameter) der Fahrzeuge.			

Tabelle G-4: Referenzszenario 4 des pFS: Gerade körperliches Unvermögen (Harm)

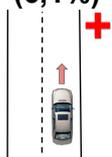
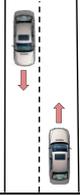
Gerade körperliches Unvermögen (6,1%) 	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung (bei bekannten Werten des Parameters)
Situation	Ortslage / Straßenart	innerorts + Landstraße	57% + 31% = 88%
	Art des Unfallgegners	Sonstige	73%
Umwelt	Tageszeit	Tag	61%
	Bewölkung	bewölkt	82%
	Niederschlag	nein	82%
	Straßenoberfläche	trocken	76%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-94km/h	83%
	Ausgangsgeschwindigkeit Gegner	-	-
Bedeutung des Referenzszenarios: →1,3% (2,7% bei bekannten Werten aller Parameter) der Fahrzeuge.			

Tabelle G-5: Referenzszenario 5 des pFS: Begegnende (Harm)

Begegnende (6,0%) 	Parameter	Ausprägung	Anteil der Ausprägung (bei bekannten Werten des Parameters)
Situation	Ortslage / Straßenart	Landstraße	65%
	Art des Unfallgegners	PKW	87%
Umwelt	Tageszeit	Tag	75%
	Bewölkung	bewölkt	93%
	Niederschlag	nein	75%
	Straßenoberfläche	trocken	60%
Bewegung	Ausgangsgeschwindigkeit Ego-Fahrzeug	0-87km/h	83%
	Ausgangsgeschwindigkeit Gegner	0-95km/h	83%
Bedeutung des Referenzszenarios: →0,7% (1,4% bei bekannten Werten aller Parameter) der Fahrzeuge.			

H Gruppierung der Unfalltypen für den pFGS

Tabelle H-1: Gruppierung der Unfalltypen für den pFGS (GIDAS)

Manöver Ego-Fahrzeug	Manöver Fußgänger	Unfalltypen nach [37]				
Geradeausfahren	Überschreiten	4xx				
	längs	67x				
Linksabbiegen	Überschreiten	221	222	272	273	282
Rechtsabbiegen	Überschreiten	241	242	274	275	284
Rückwärtsfahren	Überschreiten	713				
Spurwechsel	längs	53x	662	663		
Sonstige	Sonstige	499				

Tabelle H-2: Gruppierung des Manövers des Ego-Fahrzeugs für den pFGS (GES)

Manöver Ego-Fahrzeug	V21 MOVEMENT PRIOR TO CRITICAL EVENT nach [44]				
Geradeausfahren	1	2	3	4	14
Linksabbiegen	11	12			
Rechtsabbiegen	10				
Rückwärtsfahren	13				
Spurwechsel	5	7	8	9	
unbekannt	99				
Sonstige	alle übrigen Ausprägungen				

Tabelle H-3: Gruppierung des Manövers des Fußgängers für den pFGS (GES)

Manöver Fußgänger	P19 NON-MOTORIST ACTION nach [44]			
Überschreiten	0	21	22	
längs	25	27	28	29
unbekannt	99			
Sonstige	alle übrigen Ausprägungen			

Tabelle H-4: Gruppierung des Manövers des Ego-Fahrzeugs für den pFGS (PCDS)

Manöver Ego-Fahrzeug	PRE-EVENT MOVEMENT nach [46]			
Geradeausfahren	1	2	3	13
Linksabbiegen	10	11		
Rechtsabbiegen	9			
Rückwärtsfahren	12			
Spurwechsel	4	7	8	
unbekannt	99			
Sonstige	alle übrigen Ausprägungen			

Tabelle H-5: Gruppierung des Manövers des Fußgängers für den pFGS (PCDS)

Manöver Fußgänger	ACTION nach [46]		
Überschreiten	1	2	
längs	0	3	4
unbekannt	99		
Sonstige	alle übrigen Ausprägungen		

Tabelle H-6: Gruppierung des Manövers des Ego-Fahrzeugs für den pFGS (FARS)

Manöver Ego-Fahrzeug	Vehicle Manöver nach [47]			
Geradeausfahren	1	2	3	17
Linksabbiegen	13	14		
Rechtsabbiegen	10	11	12	
Rückwärtsfahren	15			
Spurwechsel	4	6	7	8
unbekannt	99			
Sonstige	alle übrigen Ausprägungen			

Tabelle H-7: Gruppierung des Manövers des Fußgängers für den pFGS (FARS)

Manöver Fußgänger	Related Factors Person Level nach [47]	
Überschreiten	2	3
längs	4	
unbekannt	99	
Sonstige	alle übrigen Ausprägungen	

I Randbedingungen der Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)

Im Folgenden sind die Verteilungen einiger ausgewählter Parameter für die Hauptkonstellation (Fahrzeug fährt geradeaus, der Fußgänger überschreitet die Straße, innerorts) in Tabellenform aufgelistet (Auswertemethodik: Häufigkeit):

Tabelle I-1: Tageszeit in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)

Tageszeit	GIDAS		GES		PCDS	
	Häufigkeit	%	Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
Tag	399	69,3	229.730	63,2	209	67,0
Nacht	131	22,8	115.732	31,8	82	26,3
Dämmerung	45	7,9	18.178	5,0	21	6,7
gesamt	575	100,0	363.641	100,0	312	100,0

Tabelle I-2: Bewölkung in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)

Bewölkung / Nebel	GIDAS	
	Häufigkeit	%
wolkenlos	87	15,6
bewölkt	465	83,0
Nebel	3	0,6
Sonstige	5	0,8
gesamt	560	100,0

Tabelle I-3: Niederschlag in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)

Niederschlag	GIDAS		GES		PCDS	
	Häufigkeit	%	Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
nein	465	81,1	326.525	89,8	271	86,9
Regen	92	16,1	30.824	8,5	39	12,5
Hagel/Schnee/Eisregen	14	2,4	3.978	1,1	2	0,6
Sonstige	2	0,4	2.119	0,6	0	0
gesamt	573	100,0	363.446	100,0	312	100,0

Tabelle I-4: Straßenoberfläche in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)

Straßenoberfläche	GIDAS		GES		PCDS	
	Häufigkeit	%	Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
trocken	407	71,0	310.691	85,7	252	80,8
nass	154	26,9	47.080	13,0	57	18,3
Eis/Schnee	12	2,0	4.074	1,1	3	1,0
Sonstige	0	0,1	623	0,2	0	0,0
gesamt	573	100,0	362.468	100,0	312	100,0

Tabelle I-5: Sichtbehinderung in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)

Sichtbehinderung	GIDAS		GES	
	Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
frei sichtbar	303	53,8	194.512	74,3
geparktes Fahrzeug	157	28,0	48.068	18,4
Bewuchs	14	2,5	531	0,2
Gebäude	16	2,9	327	0,1
Sonstige	72	12,8	18.498	7,1
gesamt	563	100,0	261.936	100,0

Tabelle I-6: Fußgänerbewegung in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)

Bewegung Fußgänger	GIDAS		PCDS	
	Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
unbewegt	13	2,4	2	0,6
langsam gegangen	80	14,5	100	32,4
schnell gegangen	139	25,2	28	9,1
gerannt	135	24,5	175	56,6
gegangen o.n.A.	181	32,8	0	0,0
Sonstige	3	0,6	4	1,3
gesamt	551	100,0	309	100,0

Tabelle I-7: Kollisionsgeschwindigkeit in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)

Kollisionsgeschwindigkeit	GIDAS	PCDS
25% Perzentil	17km/h	18km/h
50% Perzentil	27km/h	29km/h
75% Perzentil	37km/h	40km/h

Tabelle I-8: Fußgängergröße in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)

Größe Fußgänger	GIDAS	PCDS
25% Perzentil	148cm	151cm
50% Perzentil	164cm	165cm
75% Perzentil	172cm	173cm

J Randbedingungen der Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)

Im Folgenden sind die Verteilungen einiger ausgewählter Parameter für die Hauptkonstellation (Fahrzeug fährt geradeaus, der Fußgänger überschreitet die Straße, innerorts) in Tabellenform aufgelistet (Auswertemethodik: Harm):

Tabelle J-1: Tageszeit in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)

Tageszeit	GIDAS		GES		PCDS		FARS	
	Harm	%	Harm	%	Harm	%	Häufigkeit	%
Tag	14.488.173	51,8	11.200.220.944	43,6	30.156.624	49,0	6.306	29,5
Nacht	11.095.118	39,7	13.474.841.821	52,4	25.653.694	41,7	14.141	66,2
Dämmerung	2.389.610	8,5	1.025.128.695	4,0	5.759.184	9,4	919	4,3
gesamt	27.972.901	100	25.700.191.459	100	61.569.502	100	21.366	100

Tabelle J-2: Bewölkung in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)

Bewölkung / Nebel	GIDAS	
	Harm	%
wolkenlos	4.293.918	15,8
bewölkt	22.513.978	82,8
Nebel	120.184	0,4
Sonstige	254.188	0,9
gesamt	27.182.268	100,0

Tabelle J-3: Niederschlag in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)

Niederschlag	GIDAS		GES		PCDS		FARS	
	Harm	%	Harm	%	Harm	%	Häufigkeit	%
nein	22.693.762	81,1	22.667.773.893	88,4	47.993.858	78	19.233	90
Regen	4.274.507	15,3	2.459.293.966	9,6	12.412.663	20,2	1.813	8,5
Hagel/Schnee/ Eisregen	935.898	3,3	186.078.872	0,7	1.162.981	1,9	142	0,7
Sonstige	68.733	0,2	321.778.826	1,3	0	0	174	0,8
gesamt	27.972.901	100	25.634.925.557	100	61.569.502	100	21.362	100

Tabelle J-4: Straßenoberfläche in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)

Straßenoberfläche	GIDAS		GES		PCDS		FARS	
	Harm	%	Harm	%	Harm	%	Häufigkeit	%
trocken	20.750.728	74,2	21.934.795.732	85,3	44.575.533	72,4	18.228	85,3
nass	6.709.971	24	3.464.804.220	13,5	15.644.891	25,4	2.939	13,8
Eis/Schnee	508.055	1,8	171.546.720	0,7	1.349.078	2,2	173	0,8
Sonstige	0	0	153.550.708	0,6	0	0	17	0,1
gesamt	27.968.754	100	25.724.697.379	100	61.569.502	100	21.357	100

Tabelle J-5: Sichtbehinderung in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)

Sichtbehinderung	GIDAS		GES	
	Harm	%	Harm	%
frei sichtbar	17.751.857	65	15.379.814.083	79,7
geparktes Fahrzeug	4.691.860	17,2	2.017.750.335	10,5
Bewuchs	595.874	2,2	54.348.879	0,3
Gebäude	672.022	2,5	12.013.420	0,1
Sonstige	3.606.129	13,2	1.824.610.705	9,5
gesamt	27.317.742	100	19.288.537.422	100

Tabelle J-6: Fußgängerbewegung in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)

Bewegung Fußgänger	GIDAS		PCDS	
	Harm	%	Harm	%
unbewegt	889.192	3,3	252.917	0,4
langsam gegangen	4.932.703	18,2	24.173.734	39,3
schnell gegangen	5.979.297	22	6.717.531	10,9
gerannt	6.583.780	24,3	28.123.930	45,7
gegangen o.n.A.	8.746.144	32,2	0	0
Sonstige	16.265	0,1	2.213.446	3,6
gesamt	889.192	3,3	252.917	0,4

Tabelle J-7: Kollisionsgeschwindigkeit in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Har.)

Kollisionsgeschwindigkeit	GIDAS	PCDS
25% Perzentil	25km/h	33km/h
50% Perzentil	39km/h	47km/h
75% Perzentil	46km/h	60km/h

Tabelle J-8: Fußgängergröße in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)

Größe Fußgänger	GIDAS	PCDS
25% Perzentil	159cm	157cm
50% Perzentil	166cm	169cm
75% Perzentil	175cm	178cm

K Algorithmen zur automatisierten Manövererkennung

Im Folgenden sind die Algorithmen zur automatisierten Erkennung von Manövern und Bewegungskonstellationen aus natürlichen Fahrdaten abgebildet. Im Anschluss jeder Grafik sind die Werte der Parameter beschrieben.

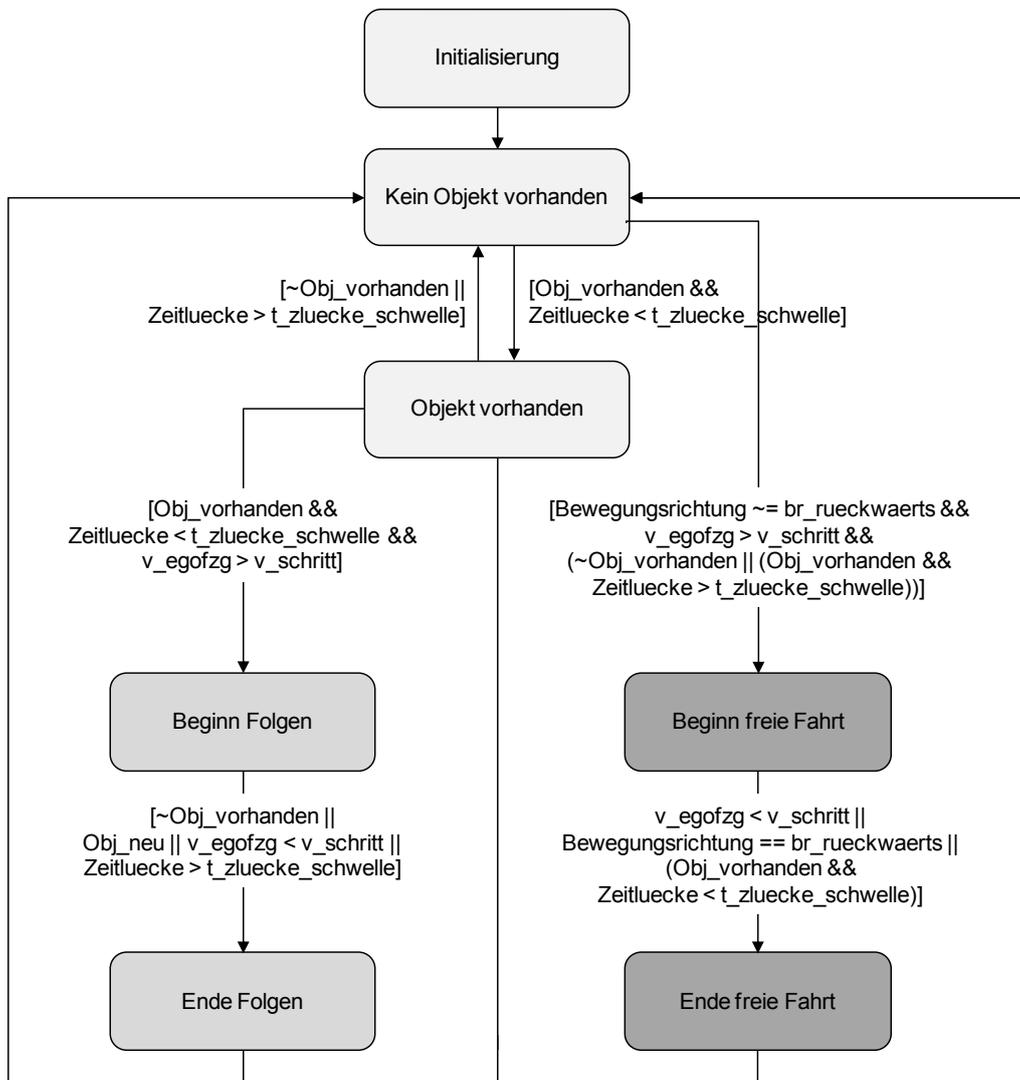


Bild K-1: Algorithmus zur Erkennung der Manöver Folgefahrt und freie Fahrt [106]

Parameterwerte der Manöver Folgefahrt und freie Fahrt:

- Schrittgeschwindigkeit: $v_schritt = 7$ [km/h]
- Folgezeitllücke: $t_zluecke_schwelle = 2,5$ [s]

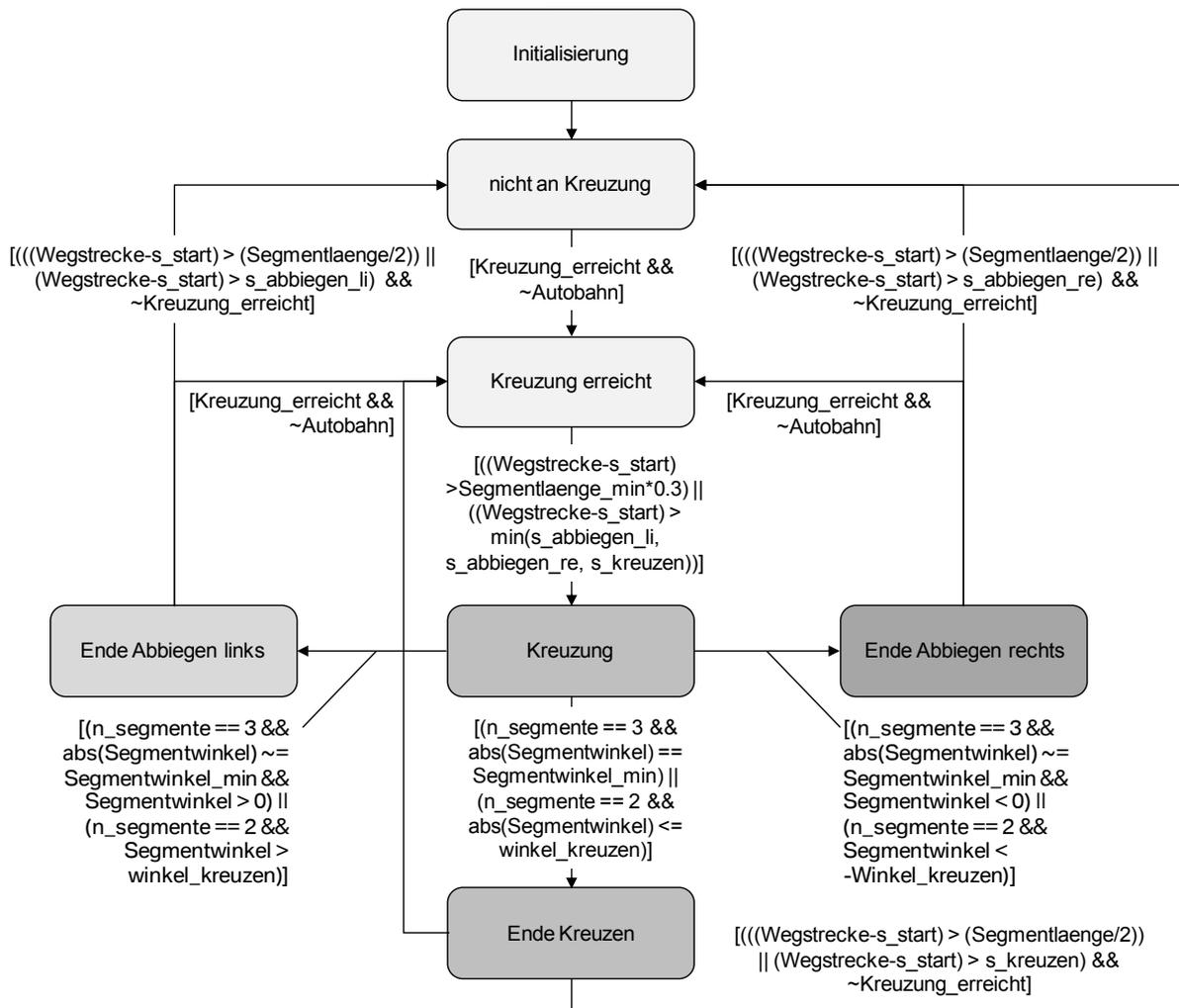


Bild K-2: Algorithmus zur Erkennung der Manöver Abbiegen und Kreuzen [106]

Parameterwerte der Manöver Abbiegen und Kreuzen:

- Zeit vor einer Kreuzung: $t_vor_krz = 2,0$ [s]
- Wegstrecke Linksabbiegen: $s_abbiegen_li = 15$ [m]
- Wegstrecke Rechtsabbiegen $s_abbiegen_re = 10$ [m]
- Wegstrecke Kreuzen: $s_kreuzen = 15$ [m]
- Winkel Kreuzen: $winkel_kreuzen = 45$ [°]

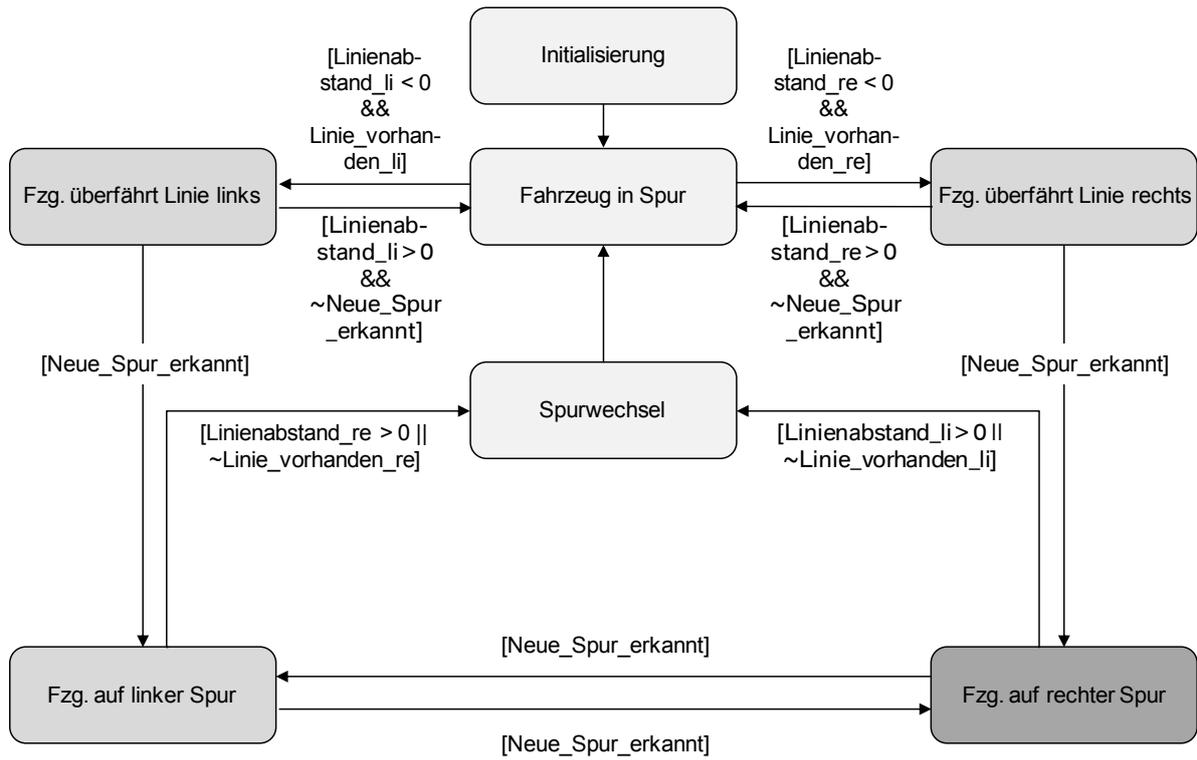


Bild K-3: Algorithmus zur Erkennung des Manövers Spurwechsel [106]

Parameterwerte des Manövers Spurwechsel:

- Fahrzeugbreite: breite_fzg = 1,86 [m]

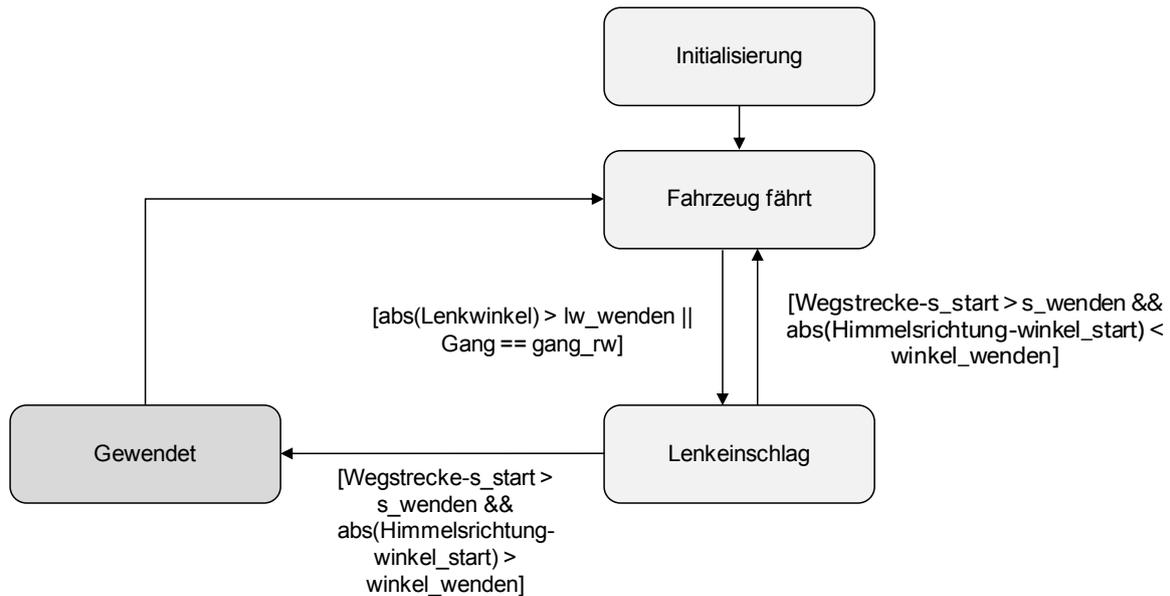


Bild K-4: Algorithmus zur Erkennung des Manövers Wenden [106]

Parameterwerte des Manövers Wenden:

- Winkel Wenden: $winkel_wenden = 150 [^\circ]$
- Wegstrecke Wenden: $s_wenden = 20 [m]$
- Radlenkwinkel Wenden: $lw_wenden = 10 [^\circ]$

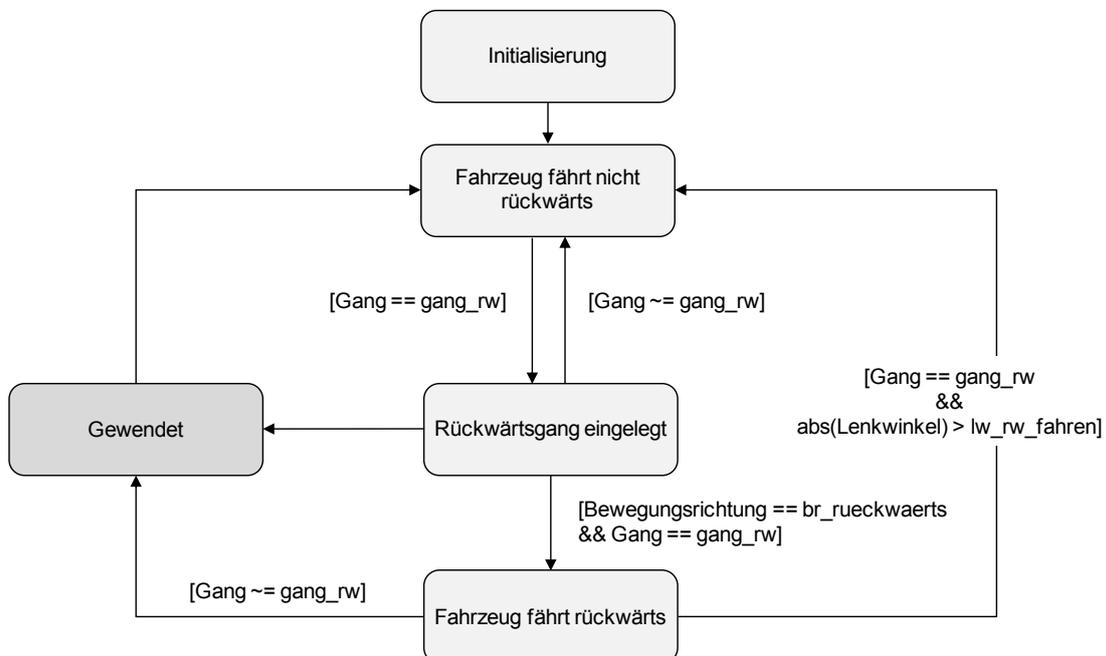


Bild K-5: Algorithmus zur Erkennung des Manövers Rückwärtsfahren [106]

Parameterwerte des Manövers Rückwärtsfahren:

- Radlenkwinkel Rückwärtsfahren: $lw_rw_fahren = 3 [^\circ]$

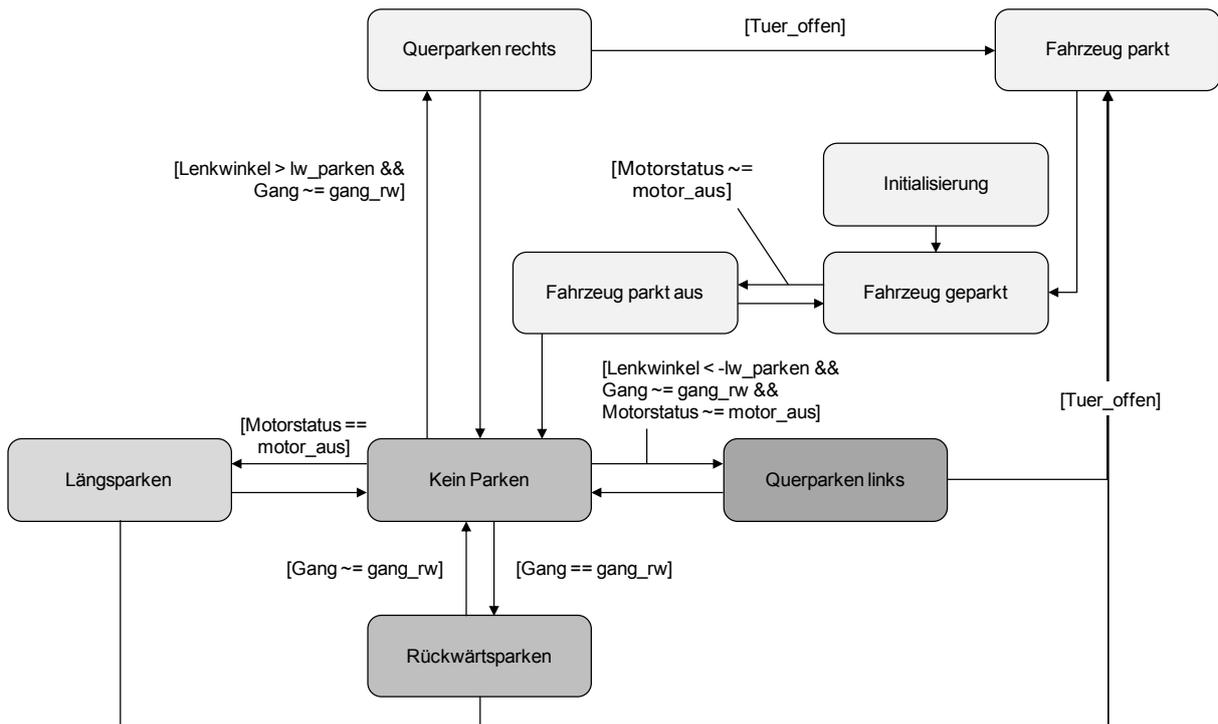


Bild K-6: Algorithmus zur Erkennung des Manövers Parken [106]

Parameterwerte des Manövers Parken:

- Wegstrecke Parken: $s_{\text{parken}} = 15$ [m]
- Wegstrecke kein Parken: $s_{\text{kein_parken}} = 20$ [m]
- Wegstrecke Ausparken: $s_{\text{ausparken}} = 10$ [m]
- Radlenkwinkel Parken: $lw_{\text{parken}} = 10$ [°]

L Daten zu unkritischen Referenzszenarien aus natürlichen Fahrdaten

Tabelle L-1: Verteilung von Freifahrt und Folgen

Manöver	Anzahl	Anteil
Folgen	65.877	30,4%
Freifahrt	150.777	69,6%
Summe	216.654	100,0%

Tabelle L-2: Verteilung der Manöver

Manöver	Anzahl	Anteil
Spurwechsel links	15.697	8,9%
Spurwechsel rechts	16.231	9,2%
Ausparken	2.746	1,6%
Einparken	3.403	1,9%
Rechtsabbiegen	7.991	4,5%
Linksabbiegen	7.093	4,0%
Kreuzen	121.947	69,2%
Wenden	290	0,2%
Rückwärtsfahren	708	0,4%
Summe	176.106	100,0%

Tabelle L-3: Verteilung der Ortslage

		Ortslage / Straßenart				
		innerorts	Autobahn	Landstraße	Sonstige	gesamt
Wenden	Anzahl	173	2	17	98	290
	Anteil	59,70%	0,70%	5,90%	33,80%	100,00%
Rückwärtsfahren	Anzahl	556	13	48	91	708
	Anteil	78,50%	1,80%	6,80%	12,90%	100,00%
Ausparken	Anzahl	1.302	55	200	1.189	2.746
	Anteil	47,40%	2,00%	7,30%	43,30%	100,00%
Einparken	Anzahl	2.737	97	333	236	3.403
	Anteil	80,40%	2,90%	9,80%	6,90%	100,00%
Rechtsabbiegen	Anzahl	6.247	145	1.599	0	7.991
	Anteil	78,18%	1,81%	20,01%	0,00%	100,00%
Linksabbiegen	Anzahl	5.628	114	1.350	1	7.093
	Anteil	79,30%	1,60%	19,00%	0,00%	100,00%
Kreuzen	Anzahl	84.011	2.664	35.243	29	121.947
	Anteil	68,90%	2,20%	28,90%	0,00%	100,00%
Spurwechsel	Anzahl	7.147	13.018	2.526	88	22.779
	Anteil	31,40%	57,10%	11,10%	0,40%	100,00%
Freifahrt	Anzahl	91.327	36.889	17.354	5.207	150.777
	Anteil	60,60%	24,50%	11,50%	3,50%	100,00%
Folgen	Anzahl	38.576	18.005	7.466	1.830	65.877
	Anteil	58,60%	27,30%	11,30%	2,80%	100,00%
gesamt	Anzahl	237.704	71.002	66.136	8.769	383.611
	Anteil	62,00%	18,50%	17,20%	2,30%	100,00%

Tabelle L-4: Verteilung des Niederschlags

		Niederschlag		
		nein	Regen	gesamt
Wenden	Anzahl	280	10	290
	Anteil	96,6%	3,4%	100,0%
Rückwärtsfahren	Anzahl	650	58	708
	Anteil	91,8%	8,2%	100,0%
Ausparken	Anzahl	2.645	101	2.746
	Anteil	96,3%	3,7%	100,0%
Einparken	Anzahl	3.143	260	3.403
	Anteil	92,4%	7,6%	100,0%
Rechtsabbiegen	Anzahl	7.236	755	7.991
	Anteil	90,6%	9,4%	100,0%
Linksabbiegen	Anzahl	6.486	607	7.093
	Anteil	91,4%	8,6%	100,0%
Kreuzen	Anzahl	109.892	12.055	121.947
	Anteil	90,1%	9,9%	100,0%
Spurwechsel	Anzahl	20.665	2.114	22.779
	Anteil	90,7%	9,3%	100,0%
Freifahrt	Anzahl	136.296	14.481	150.777
	Anteil	90,4%	9,6%	100,0%
Folgen	Anzahl	59.118	6.759	65.877
	Anteil	89,7%	10,3%	100,0%
gesamt	Anzahl	346.411	37.200	383.611
	Anteil	90,3%	9,7%	100,0%

Tabelle L-5: Verteilung der Tageszeit

		Tageszeit			
		Tag	Nacht	Dämmerung	gesamt
Wenden	Anzahl	170	81	39	290
	Anteil	58,6%	27,9%	13,4%	100,0%
Rückwärtsfahren	Anzahl	406	217	85	708
	Anteil	57,3%	30,6%	12,0%	100,0%
Ausparken	Anzahl	1.735	662	349	2.746
	Anteil	63,2%	24,1%	12,7%	100,0%
Einparken	Anzahl	2.250	741	412	3.403
	Anteil	66,1%	21,8%	12,1%	100,0%
Rechtsabbiegen	Anzahl	5.264	1.718	1.009	7.991
	Anteil	65,9%	21,5%	12,6%	100,0%
Linksabbiegen	Anzahl	4.645	1.571	877	7.093
	Anteil	65,5%	22,1%	12,4%	100,0%
Kreuzen	Anzahl	79.502	27.071	15.374	121.947
	Anteil	65,2%	22,2%	12,6%	100,0%
Spurwechsel	Anzahl	13.650	6.470	2.659	22.779
	Anteil	59,9%	28,4%	11,7%	100,0%
Freifahrt	Anzahl	98.935	32.679	19.163	150.777
	Anteil	65,6%	21,7%	12,7%	100,0%
Folgen	Anzahl	45.045	12.424	8.408	65.877
	Anteil	68,4%	18,9%	12,8%	100,0%
gesamt	Anzahl	251.602	83.634	48.375	383.611
	Anteil	65,6%	21,8%	12,6%	100,0%

Tabelle L-6: Verteilung der Ausgangsgeschwindigkeit

v0	Wen- den	Rück- wärts- fahren	Aus- par- ken	Ein- par- ken	R.- ab- bie- gen	Links- ab- bie- gen	Kreu- zen	Spur- wech- sel	Frei- fahrt	Fol- gen
<=0	14,5%	14,1%	33,5%	4,3%	0,2%	0,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
>0<=10	37,6%	84,5%	13,6%	40,1%	3,9%	4,6%	0,8%	0,2%	17,6%	11,0%
>10<=20	45,2%	1,4%	12,1%	47,8%	26,5%	27,1%	3,7%	0,5%	10,0%	16,5%
>20<=30	2,4%	0,0%	13,0%	7,6%	32,4%	35,2%	8,8%	1,4%	10,3%	9,7%
>30<=40	0,3%	0,0%	11,3%	0,1%	16,6%	13,8%	14,7%	3,5%	10,2%	9,4%
>40<=50	0,0%	0,0%	7,4%	0,0%	7,7%	6,3%	19,5%	5,5%	9,6%	8,2%
>50<=60	0,0%	0,0%	4,1%	0,0%	4,9%	4,6%	17,2%	6,8%	6,9%	5,8%
>60<=70	0,0%	0,0%	1,8%	0,0%	3,0%	3,4%	11,3%	6,1%	3,8%	3,7%
>70<=80	0,0%	0,0%	1,1%	0,0%	1,9%	1,7%	8,0%	5,0%	2,7%	2,8%
>80<=90	0,0%	0,0%	0,9%	0,0%	1,2%	1,1%	5,5%	4,3%	2,1%	2,4%
>90<=100	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,6%	0,7%	4,2%	4,8%	2,0%	2,4%
>100<=110	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,6%	0,5%	3,2%	5,5%	2,3%	2,8%
>110<=120	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,3%	0,3%	1,5%	6,8%	2,8%	3,2%
>120<=130	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,7%	8,2%	3,6%	3,8%
>130<=140	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,3%	9,9%	3,8%	4,0%
>140<=150	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	9,6%	3,6%	3,7%
>150<=160	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	6,2%	2,6%	2,8%
>160<=170	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	4,1%	1,8%	2,0%
>170<=180	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,4%	1,5%	1,7%
>180<=190	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	1,1%	1,4%
>190<=200	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,8%	0,8%	1,0%
>200<=210	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,4%	0,5%	0,8%
>210<=220	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%	0,3%	0,5%
>220<=230	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,2%	0,3%
>230<=240	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,1%	0,1%
>240<=250	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,1%
>250	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%

Tabelle L-7: Verteilung der Endgeschwindigkeit

v1	Wenden	Rückwärtsfahren	Ausparken	Einparken	R.-abbiegen	Linksabbiegen	Kreuzen	Spurwechsel	Freifahrt	Folgen
<=0	0,0%	39,5%	0,0%	97,9%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%
>0<=10	15,5%	60,3%	8,7%	2,1%	2,2%	2,7%	0,9%	0,3%	16,2%	18,5%
>10<=20	41,7%	0,1%	37,2%	0,0%	12,5%	13,0%	3,5%	0,9%	11,1%	11,1%
>20<=30	33,4%	0,0%	24,3%	0,0%	33,3%	29,7%	8,2%	2,1%	9,8%	10,2%
>30<=40	7,2%	0,0%	12,7%	0,0%	27,9%	30,5%	14,5%	3,8%	10,3%	9,1%
>40<=50	1,4%	0,0%	7,7%	0,0%	10,7%	10,8%	20,1%	5,0%	9,7%	7,9%
>50<=60	0,0%	0,0%	4,3%	0,0%	5,6%	5,3%	17,5%	5,9%	7,0%	5,4%
>60<=70	0,3%	0,0%	1,9%	0,0%	3,1%	3,3%	11,5%	5,5%	4,0%	3,3%
>70<=80	0,0%	0,0%	1,0%	0,0%	1,9%	1,8%	8,0%	5,2%	2,7%	2,6%
>80<=90	0,0%	0,0%	1,0%	0,0%	1,1%	1,1%	5,6%	4,0%	2,1%	2,3%
>90<=100	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,7%	0,7%	4,2%	4,6%	2,1%	2,2%
>100<=110	0,3%	0,0%	0,4%	0,0%	0,6%	0,5%	3,2%	5,6%	2,3%	2,9%
>110<=120	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,2%	0,3%	1,5%	7,1%	2,6%	3,5%
>120<=130	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,7%	8,3%	3,4%	4,2%
>130<=140	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,3%	10,2%	3,7%	4,3%
>140<=150	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	9,5%	3,5%	3,7%
>150<=160	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	6,2%	2,6%	2,7%
>160<=170	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	4,2%	1,9%	1,8%
>170<=180	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,4%	1,6%	1,5%
>180<=190	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,2%	1,2%	1,0%
>190<=200	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,9%	1,0%	0,7%
>200<=210	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%	0,7%	0,5%
>210<=220	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%	0,4%	0,3%
>220<=230	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,2%	0,2%
>230<=240	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,1%	0,1%
>240<=250	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%
>250	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%

Tabelle L-8: Verteilung der minimalen Beschleunigung

a_min	Wenden	Rückwärtsfahren	Ausparken	Einparken	R.-abbiegen	Linksabbiegen	Kreuzen	Spurwechsel	Freifahrt	Folgen
<=-10	0,3%	0,3%	0,4%	0,5%	0,6%	0,9%	1,0%	3,6%	0,6%	0,6%
>-10<=-9	1,0%	0,4%	0,5%	0,5%	0,5%	0,4%	0,4%	1,1%	0,4%	0,5%
>-9<=-8	1,0%	1,3%	1,0%	1,0%	1,4%	1,3%	1,4%	1,6%	0,9%	1,0%
>-8<=-7	0,7%	1,6%	1,5%	1,3%	2,0%	2,1%	2,5%	4,7%	1,6%	2,0%
>-7<=-6	2,8%	3,5%	4,2%	3,9%	5,2%	4,8%	6,0%	9,3%	3,4%	3,7%
>-6<=-5	9,7%	8,5%	9,3%	9,6%	12,9%	14,2%	15,4%	15,1%	8,1%	9,1%
>-5<=-4	31,0%	26,8%	26,5%	27,0%	31,1%	31,1%	34,1%	35,5%	20,6%	22,3%
>-4<=-3	38,6%	38,1%	37,4%	38,4%	37,0%	37,0%	33,5%	26,2%	35,7%	36,5%
>-3<=-2	13,8%	16,4%	16,6%	15,8%	9,1%	7,8%	5,7%	2,9%	21,0%	19,3%
>-2<=-1	1,0%	2,0%	2,2%	1,7%	0,3%	0,2%	0,1%	0,0%	5,6%	3,9%
>-1<=0	0,0%	1,1%	0,4%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,1%	1,0%
>0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

M Daten zu kritischen Referenzszenarien aus natürlichen Fahrdaten

Tabelle M-1: Verteilung der Ortslage in (un)kritischen Folgesituationen

		Ortslage / Straßenart				
		innerorts	Autobahn	Landstraße	Sonstige	gesamt
Folgen	Anzahl	38.576	18.005	7.466	1.830	65.877
	Anteil	58,6%	27,3%	11,3%	2,8%	100,0%
Folgen kritisch	Anzahl	1.452	1.035	371	87	2.945
	Anteil	49,3%	35,1%	12,6%	3,0%	100,0%
Folgen sehr kritisch	Anzahl	30	22	2	1	55
	Anteil	54,5%	40,0%	3,6%	1,8%	100,0%

Tabelle M-2: Verteilung des Niederschlags in (un)kritischen Folgesituationen

		Niederschlag		
		nein	Regen	gesamt
Folgen	Anzahl	59.118	6.759	65.877
	Anteil	89,7%	10,3%	100,0%
Folgen kritisch	Anzahl	2.758	187	2.945
	Anteil	93,7%	6,3%	100,0%
Folgen sehr kritisch	Anzahl	53	2	55
	Anteil	96,4%	3,6%	100,0%

Tabelle M-3: Verteilung der Tageszeit in (un)kritischen Folgesituationen

		Tageszeit			
		Tag	Nacht	Dämmerung	gesamt
Folgen	Anzahl	45.045	12.424	8.408	65.877
	Anteil	68,4%	18,9%	12,8%	100,0%
Folgen kritisch	Anzahl	2.103	427	415	2.945
	Anteil	71,4%	14,5%	14,1%	100,0%
Folgen sehr kritisch	Anzahl	38	13	4	55
	Anteil	69,1%	23,6%	7,3%	100,0%

*Tabelle M-4: Verteilung der Ausgangsgeschwindigkeit in (un)kritischen
Folgesituationen*

v0	Folgen	Folgen kritisch	Folgen sehr kritisch
<=0	0,0%	0,0%	0,0%
>0&<=10	11,0%	11,3%	7,3%
>10&<=20	16,5%	9,9%	5,5%
>20&<=30	9,7%	5,2%	5,5%
>30&<=40	9,4%	5,5%	5,5%
>40&<=50	8,2%	5,4%	7,3%
>50&<=60	5,8%	6,3%	7,3%
>60&<=70	3,7%	5,6%	5,5%
>70&<=80	2,8%	4,6%	5,5%
>80&<=90	2,4%	3,6%	3,6%
>90&<=100	2,4%	2,9%	1,8%
>100&<=110	2,8%	3,2%	1,8%
>110&<=120	3,2%	3,6%	3,6%
>120&<=130	3,8%	4,1%	3,6%
>130&<=140	4,0%	3,2%	0,0%
>140&<=150	3,7%	3,7%	5,5%
>150&<=160	2,8%	3,4%	1,8%
>160&<=170	2,0%	3,1%	1,8%
>170&<=180	1,7%	3,6%	0,0%
>180&<=190	1,4%	3,1%	5,5%
>190&<=200	1,0%	2,7%	5,5%
>200&<=210	0,8%	2,8%	3,6%
>210&<=220	0,5%	1,8%	9,1%
>220&<=230	0,3%	0,8%	1,8%
>230&<=240	0,1%	0,3%	1,8%
>240&<=250	0,1%	0,3%	0,0%
>250	0,0%	0,0%	0,0%

Tabelle M-5: Verteilung der Endgeschwindigkeit in (un)kritischen Folgesituationen

v1	Folgen	Folgen kritisch	Folgen sehr kritisch
<=0	0,0%	0,1%	0,0%
>0&<=10	18,5%	15,9%	10,9%
>10&<=20	11,1%	6,8%	3,6%
>20&<=30	10,2%	7,0%	3,6%
>30&<=40	9,1%	6,1%	1,8%
>40&<=50	7,9%	5,4%	14,5%
>50&<=60	5,4%	5,8%	7,3%
>60&<=70	3,3%	4,6%	3,6%
>70&<=80	2,6%	4,4%	5,5%
>80&<=90	2,3%	3,5%	3,6%
>90&<=100	2,2%	2,3%	0,0%
>100&<=110	2,9%	3,1%	3,6%
>110&<=120	3,5%	3,2%	3,6%
>120&<=130	4,2%	5,3%	1,8%
>130&<=140	4,3%	5,1%	7,3%
>140&<=150	3,7%	4,1%	3,6%
>150&<=160	2,7%	4,2%	9,1%
>160&<=170	1,8%	2,7%	1,8%
>170&<=180	1,5%	3,4%	3,6%
>180&<=190	1,0%	2,2%	3,6%
>190&<=200	0,7%	1,4%	0,0%
>200&<=210	0,5%	1,4%	3,6%
>210&<=220	0,3%	1,0%	3,6%
>220&<=230	0,2%	0,6%	0,0%
>230&<=240	0,1%	0,4%	0,0%
>240&<=250	0,0%	0,1%	0,0%
>250	0,0%	0,0%	0,0%

Tabelle M-6: Verteilung der minimalen Beschleunigung in (un)kritischen Folgesituationen

a_min	Folgen	Folgen kritisch	Folgen sehr kritisch
<=-10	0,6%	2,7%	9,1%
>-10&<=-9	0,5%	0,8%	1,8%
>-9&<=-8	1,0%	3,1%	5,5%
>-8&<=-7	2,0%	5,1%	9,1%
>-7&<=-6	3,7%	8,0%	12,7%
>-6&<=-5	9,1%	18,9%	27,3%
>-5&<=-4	22,3%	29,6%	23,6%
>-4&<=-3	36,5%	24,7%	10,9%
>-3&<=-2	19,3%	6,2%	0,0%
>-2&<=-1	3,9%	0,9%	0,0%
>-1&<=0	1,0%	0,1%	0,0%
>0	0,0%	0,0%	0,0%

Tabelle M-7: Verteilung der Ortslage in (un)kritischen Spurwechselsituationen

		Ortslage / Straßenart				
		innerorts	Autobahn	Landstraße	Sonstige	gesamt
Spurwechsel	Anzahl	7.147	13.018	2.526	88	22.779
	Anteil	31,4%	57,1%	11,1%	0,4%	100,0%
Spurwechsel 50 SWW	Anzahl	3.652	9.671	1.755	22	15.100
	Anteil	24,2%	64,0%	11,6%	0,1%	100,0%
Spurwechsel kritisch	Anzahl	267	309	45	0	621
	Anteil	43,0%	49,8%	7,2%	0,0%	100,0%

Tabelle M-8: Verteilung des Niederschlags in (un)kritischen Spurwechselsituationen

		Niederschlag		
		nein	Regen	gesamt
Spurwechsel	Anzahl	20.665	2.114	22.779
	Anteil	90,7%	9,3%	100,0%
Spurwechsel 50 SWW	Anzahl	13.602	1.498	15.100
	Anteil	90,1%	9,9%	100,0%
Spurwechsel kritisch	Anzahl	564	57	621
	Anteil	90,8%	9,2%	100,0%

Tabelle M-9: Verteilung der Tageszeit in (un)kritischen Spurwechselsituationen

		Tageszeit			
		Tag	Nacht	Dämmerung	gesamt
Spurwechsel	Anzahl	13.650	6.470	2.659	22.779
	Anteil	59,9%	28,4%	11,7%	100,0%
Spurwechsel 50 SWW	Anzahl	9.039	4.345	1.716	15.100
	Anteil	59,9%	28,8%	11,4%	100,0%
Spurwechsel kritisch	Anzahl	424	120	77	621
	Anteil	68,3%	19,3%	12,4%	100,0%

Tabelle M-10: Verteilung der Ausgangsgeschwindigkeit in (un)kritischen Spurwechselsituationen

v0	Spurwechsel	Spurwechsel 50 SWW	Spurwechsel kritisch
<=0	0,0%	0,0%	0,0%
>0<=10	0,2%	0,0%	0,0%
>10<=20	0,5%	0,0%	0,0%
>20<=30	1,4%	0,0%	0,0%
>30<=40	3,5%	0,0%	0,0%
>40<=50	5,5%	0,0%	0,0%
>50<=60	6,8%	6,2%	12,4%
>60<=70	6,1%	7,3%	11,8%
>70<=80	5,0%	6,1%	12,1%
>80<=90	4,3%	5,3%	10,1%
>90<=100	4,8%	5,7%	6,4%
>100<=110	5,5%	6,5%	9,2%
>110<=120	6,8%	8,3%	9,7%
>120<=130	8,2%	9,9%	7,2%
>130<=140	9,9%	11,5%	6,9%
>140<=150	9,6%	11,9%	8,7%
>150<=160	6,2%	7,8%	2,9%
>160<=170	4,1%	4,5%	0,6%
>170<=180	3,4%	3,3%	1,0%
>180<=190	2,3%	1,9%	0,2%
>190<=200	1,8%	1,6%	0,6%
>200<=210	1,4%	1,0%	0,2%
>210<=220	1,0%	0,6%	0,0%
>220<=230	0,7%	0,4%	0,0%
>230<=240	0,5%	0,2%	0,0%
>240<=250	0,3%	0,1%	0,0%
>250	0,1%	0,1%	0,0%

Tabelle M-11: Verteilung der Endgeschwindigkeit in (un)kritischen Spurwechselsituationen

v1	Spurwechsel	Spurwechsel 50 SWW	Spurwechsel kritisch
<=0	0,1%	0,0%	0,0%
>0&<=10	0,3%	0,0%	0,0%
>10&<=20	0,9%	0,0%	0,0%
>20&<=30	2,1%	0,0%	0,0%
>30&<=40	3,8%	0,0%	0,0%
>40&<=50	5,0%	0,0%	0,0%
>50&<=60	5,9%	6,2%	11,6%
>60&<=70	5,5%	6,8%	11,3%
>70&<=80	5,2%	6,4%	11,8%
>80&<=90	4,0%	4,9%	10,3%
>90&<=100	4,6%	5,5%	7,4%
>100&<=110	5,6%	6,6%	9,0%
>110&<=120	7,1%	8,5%	9,7%
>120&<=130	8,3%	10,1%	7,9%
>130&<=140	10,2%	11,8%	7,1%
>140&<=150	9,5%	11,8%	8,2%
>150&<=160	6,2%	7,7%	2,9%
>160&<=170	4,2%	4,6%	1,0%
>170&<=180	3,4%	3,3%	0,8%
>180&<=190	2,2%	1,9%	0,3%
>190&<=200	1,9%	1,6%	0,5%
>200&<=210	1,3%	0,9%	0,3%
>210&<=220	1,0%	0,6%	0,0%
>220&<=230	0,7%	0,3%	0,0%
>230&<=240	0,5%	0,2%	0,0%
>240&<=250	0,3%	0,1%	0,0%
>250	0,1%	0,1%	0,0%

Tabelle M-12: Verteilung der minimalen Beschleunigung in (un)kritischen Spurwechselsituationen

a_min	Spurwechsel	Spurwechsel 50 SWW	Spurwechsel kritisch
<=-10	3,6%	1,7%	1,1%
>-10&<=-9	1,1%	1,2%	0,8%
>-9&<=-8	1,6%	1,7%	3,1%
>-8&<=-7	4,7%	2,2%	2,3%
>-7&<=-6	9,3%	10,0%	10,0%
>-6&<=-5	15,1%	15,7%	23,7%
>-5&<=-4	35,5%	37,3%	31,2%
>-4&<=-3	26,2%	27,3%	25,4%
>-3&<=-2	2,9%	2,9%	2,4%
>-2&<=-1	0,0%	0,0%	0,0%
>-1&<=0	0,0%	0,0%	0,0%
>0	0,0%	0,0%	0,0%

Literaturverzeichnis

- [1] Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle, Zeitreihen. Wiesbaden, 2011.
- [2] World Health Organization (WHO): Global status report on road safety: time for action. Genf, 2009.
- [3] United Nations: Global plan for the decade of action for road safety 2011-2020. Genf, 2011.
- [4] Braess, H.-H.: Aktive und Passive Sicherheit im Straßenverkehr: Vorschlag einer übergreifenden Gesamtbetrachtung. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Volume 42, Issue Number 2, Kirschbaum Verlag GmbH, Bonn, 1996.
- [5] Wilfert, K.: Entwicklungsmöglichkeiten im Automobilbau. Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ), Nr. 75, S. 273-278, Wiesbaden, 1973.
- [6] Dietsche, K.-H. (Hrsg.): Kraftfahrtechnisches Taschenbuch. Nr. 26. Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2007.
- [7] Huber, W.; Steinle, J.; Marquardt, M.: Der Fahrer steht im Mittelpunkt - Fahrerassistenz und Aktive Sicherheit bei der BMW Group. 24. VDI / VW-Gemeinschaftstagung - Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, Band 2048 der Reihe VDI-Berichte, S. 123–137, VDI Verlag, Düsseldorf, 2008.
- [8] Ebner, A.; Helmer, T.; Huber, W.: Bewertung von Aktiver Sicherheit: Definitionen, Referenzsituationen und Messkriterien. 1. Automobiltechnisches Kolloquium, VDI Wissensforum GmbH, Garching bei München, 2009.
- [9] Domsch, C.; Huber, W.: Integrale Sicherheit - ein ganzheitlicher Ansatz für die Fahrzeugsicherheit. 17. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, Aachen, 2008.
- [10] Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission an den Rat, das europäische Parlament, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Ein europäischer Raum der Straßenverkehrssicherheit: Leitlinien für die Politik im Bereich der Straßenverkehrssicherheit 2011-2020. SEK (2010) 903, Brüssel, 2010.
- [11] Kühn, M.; Fröming, R.; Schindler V.: Fußgängerschutz - Unfallgeschehen, Fahrzeuggestaltung, Testverfahren. Springer Verlag, Berlin, 2005.

- [12] Helmer, T., Samaha, R.; Scullion, P.; Ebner, A.; Kates, R.: Kinematical, physiological and vehicle-related influences on pedestrian injury severity in frontal car crashes: multivariate analysis and cross-validation. International Research Council on Biomechanics of Injury (IRCOBI), Hannover, 2010.
- [13] Wisselmann, D.; Gresser, K.; Hopstock M.; Huber W.: Präventiver statt passiver Fußgängerschutz. Gesamtzentrum für Verkehr Braunschweig e.v. (Hrsg.), AAET 2009 - Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel, S. 60–76, Braunschweig, 2009.
- [14] Reichart, G.: Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen. Nr. 7 der Reihe 22, Mensch-Maschine-Systeme, VDI Verlag, Düsseldorf, 2001.
- [15] Gründl, M.: Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen. Universität Regensburg, Regensburg, 2005.
- [16] Versteegen, G.: Das V-Modell in der Praxis: Grundlagen, Erfahrungen, Werkzeuge. Dpunkt Verlag, Heidelberg, 1999.
- [17] European New Car Assessment Programme (Euro NCAP): Frontal impact testing protocol. Version 5.2, Brüssel, 2011.
- [18] European New Car Assessment Programme (Euro NCAP): Assessment protocol – adult occupant protection. Version 5.4, Brüssel, 2011.
- [19] Rönitz, R.; Braess, H.-H.; Zomotor, A.: Verfahren und Kriterien zur Bewertung des Fahrverhaltens von Personenkraftwagen - Stand und Problematik - Teil 1 + 2. Automobil-Industrie, Heft 1/77 und 3/77, 1977.
- [20] Zomotor, A.; Braess, H.-H.; Rönitz, R.: Verfahren und Kriterien zur Bewertung des Fahrverhaltens von Personenkraftwagen: Ein Rückblick auf die letzten 20 Jahre, Teil 1 + 2. Sonderdruck aus der Automobiltechnischen Zeitung, Heft 12/97 und 03/98, Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Wiesbaden, 1997.
- [21] International Organization for Standardization (ISO): ISO 3888-2:2011: Passenger cars -- Test track for a severe lane-change manoeuvre -- Part 2: Obstacle avoidance. Genf, 2011.
- [22] Busch, S.: Entwicklung einer Bewertungsmethodik zur Prognose des Sicherheitsgewinns ausgewählter Fahrerassistenzsysteme. Fortschritts-Berichte VDI, Nr. 588 der Reihe 12, VDI Verlag, Düsseldorf, 2005.

- [23] Hannawald, L.: Multivariate Bewertung zukünftiger Fahrzeugsicherheit. Technische Universität Dresden, Dresden, 2008.
- [24] Helmer, T.; Ebner, A.; Jung, O.; Paradies, S.; Huesmann, A.; Praxenthaler, M.: Fahrerverhalten in Fußgängersituationen mit und ohne Unterstützung eines präventiven Sicherheitssystems - Herausforderungen bei der empirischen Bewertung. AAET 2011 - Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel, Braunschweig, 2011.
- [25] Franzke, H. G.: Fahrzeugsimulation zur Untersuchung des Systems Fahrer-Fahrzeug-Straße. Technische Universität Berlin, Institut für Kraftfahrzeuge, Berlin, 1973.
- [26] Angenendt, W.; Erke, H.; Hoffmann, G.; Marburger, E.; Molt, W.; Zimmermann, G.: Situationsbezogene Sicherheitskriterien im Straßenverkehr. Projektgruppe "Situationsbezogene Sicherheitskriterien im Straßenverkehr" der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch Gladbach, 1987.
- [27] Hering, K.: Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr: Literaturübersicht und empirische Felduntersuchung. Universität Köln, Köln, 1999.
- [28] V. Benda, H.: Die Skalierung der Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen, 1. Teil: Ein Klassifikationssystem für Verkehrssituationen aus Fahrersicht. Bericht zum Forschungsprojekt 7320 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch Gladbach, 1977.
- [29] V. Benda, H.; Hoyos, C.; Schaible-Rapp, A.: Klassifikation und Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen. Bericht zum Forschungsprojekt 7320 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch Gladbach, 1983.
- [30] Fastenmeier, W.: Autofahrer und Verkehrssituation: Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme. Verlag TÜV Rheinland, Deutscher Psychologen-Verlag, Bonn, 1995.
- [31] Domsch, C.: Einsatz von Referenzfahrersituationen bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen. 3. Tagung Aktive Sicherheit, Garching bei München, 2008.
- [32] McKnight, J.: Driver Education Task Analysis. Human Resources Research Organization, Alexandria, Virginia, USA, 1970.

- [33] Chaloupka, Chr.; Risser, R.; Antoniadou, A.; Lehner, U.; Praschl, M.: Auswirkungen neuer Technologien im Fahrzeug auf das Fahrverhalten. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 1998.
- [34] Nagel, H.-H.: A vision of 'vision and language' comprises action: an example from road traffic artificial intelligence. Review 8, S. 189-214, Springer Netherlands, Dordrecht, 1994.
- [35] Vollrath, M.; Schießl, C.; Altmüller, T.; Dambier, M.; Kornblum, C.: Erkennung von Fahrmanövern als Indikator für die Belastung des Fahrers. Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Berichte Nr. 1919, VDI Verlag, Düsseldorf, 2005.
- [36] Verwey, W.: Online driver workload estimation. Effects of road situation and age on secondary task measures. Ergonomics, Vol. 43, Nr. 2, S. 187 - 209, Taylor & Francis Online, Abingdon, 2000.
- [37] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV), Institut für Straßenverkehr: Leitfaden zur Bestimmung des Unfalltyps. Köln, 1998.
- [38] Ebner, A.; Samaha, R. R.; Scullion, P.; Helmer, T.: Methodology for the development and evaluation of active safety systems using reference scenarios. International Research Council on Biomechanics of Injury (IRCOBI), Hannover, 2010.
- [39] Ebner, A.; Samaha, R. R.; Scullion, P.; Helmer, T.: Identifying and analyzing reference scenarios for the development and evaluation of active safety: application to preventive pedestrian safety. International journal of intelligent transportation systems research, Springer Verlag, Heidelberg, 2011.
- [40] Zimolong, B.: Verkehrskonflikttechnik: Grundlagen und Anwendungsbeispiele. Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Heft 35, Bergisch Gladbach, 1982.
- [41] Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle 2010. Wiesbaden, 2011.
- [42] German In-Depth Accident Study (GIDAS): Unfallerehebungen vor Ort: Dresden und Hannover. Kooperationsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V., Dresden, 2012.
- [43] National Center for Statistics & Analysis (NCSA): DOT HS 809 249. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, D.C., 2001.

- [44] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA): National Automotive Sampling System (NASS GES, NASS CDS). DOT HS 807 304, Washington, D.C., 2008.
- [45] Smist, T.: Pedestrian Injury Causation Study. U.S Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, D.C., 1982.
- [46] University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI): National Automotive Sampling System Pedestrian Crash Data Study (NASS PCDS). Ann Arbor, 2005.
- [47] National Highway Traffic Administration (NHTSA): Fatality Analysis Reporting System (FARS). DOT HS 809 726, 2005.
- [48] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA): Event Data Recorder, Final Rule. 49 CFR Part 563, 2006.
- [49] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA): Event Data Recorder, Notice of proposed rulemaking. 49 CFR Part 571, 2012.
- [50] Neale, V.; Dingus, T.; Klauer, S.; Sudweeks, J.; Goodman, M.: An overview of the 100-car study and findings. ESV Conference 2005, Washington, D.C., 2005.
- [51] Hanowski, R.; Olson, R.; Hickman, J.; Dingus, T.: The 100-car naturalistic driving study: a descriptive analysis of light vehicle - heavy vehicle interactions from the light vehicle driver's perspective, data analysis results. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, D.C., 2006.
- [52] Neale, V.; Klauer, S; Knipling, R.; Dingus, T.; Holbrook, G.; Petersen, A.: The 100-car naturalistic driving study: phase 1- experimental design. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, D.C., 2002.
- [53] Dingus, T.; Klauer, S; Neale, V.; Petersen, A.; Lee, S.; Sudweeks, J.; Perez, M.; Hankey, J.; Ramsey, D.; Gupta, S.; Bucher, C.; Doerzaph, Z.; Jermeland, J.; Knipling, R.: The 100-car naturalistic driving study, phase II - results of the 100-car field experiment. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, D.C., 2006.
- [54] Virginia Tech Transportation Institute: 100-car naturalistic driving study fact sheet. Blacksburg, Virginia, 2010.

- [55] Strategic Highway Research Program: SHRP 2 tackles the human side of reducing crashes and congestion. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2011.
- [56] Strategic Highway Research Program: SHRP 2 safety program brief. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2010.
- [57] FOT-NET: Field Operational Tests – Evaluating ITS-applications in a real-world environment, Brüssel, 2011.
- [58] Kessler, C.; Etemad, A.: FOT Data - Deliverable D6.8. Quelle: http://www.eurofot-ip.eu/en/library/deliverables/sp_6_d68_fot_data .htm, Stand: 30.12.2013.
- [59] Sayer, J.; LeBlanc, D.; Bogard, S.; Funkhouser, D.; Bao, S.; Buonarosa, M. L.; Blankespoor, A.: Integrated vehicle-based safety systems field operational test final program report. U.S. Department of Transportation, Research and Innovative Technology Administration, ITS Joint Program Office, Washington, D. C., 2011.
- [60] Sichere Intelligente Mobilität Testfeld Deutschland (SIM TD) Projektteam: SIM TD Projektprofil, Frankfurt am Main, 2011.
- [61] Hoffmann, S.; Buld, S.: Darstellung und Evaluation eines Trainings zum Fahren in der Fahrsimulation. VDI -Berichte Nr. 1960, Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2006.
- [62] Allen, R. W.; Jex, H. R.: Driving Simulations - Requirements, Mechanization and Application. Congress and Exposition, Cobi Hall, Detroit, 1980.
- [63] Drosdol, J; Panik, F.: The Daimler-Benz Driving Simulator - A Tool for Vehicle Development. International Congress and Exposition, Detroit, 1985.
- [64] Fiala, E.: Die Wechselwirkungen zwischen Fahrzeug und Fahrer als kybernetisches Funktionsprinzip. Technische Universität Berlin, Institut für Kraftfahrzeuge, Berlin, 1966.
- [65] Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie: Statischer Fahrsimulator. Quelle: <http://www.lfe.mw.tum.de/de/research/labs/static-simulator>, Stand: 15.07.2012.
- [66] Kobiela, F; Engeln, A. Schlag, B.: Fahrerverhalten während autonomer Notbremseingriffe mit und ohne begleitende Warnung. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Nr. 2, Bonn, 2011.

- [67] Hoffmann, J.; Winner, H.: EVITA - Das Untersuchungswerkzeug für Gefahrensituationen. 3. Tagung: Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, Garching bei München, 2008.
- [68] Uftring, J.; Duschek, D.: Testtools für Aktive Sicherheit und Fahrerassistenz. VEK Verlag, Stadecken-Elsheim, 2011.
- [69] Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V. (ADAC): Vergleichstest von Notbremsassistenten. ADAC Fahrzeugtests, Landsberg am Lech, 2011.
- [70] Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V. (ADAC): ADAC Test Notbremsassistenten 2012. Quelle: www.adac.de/infotestrat/tests/assistenzsysteme/notbremsassistent_2012, Stand: 31.08.2012.
- [71] Jehu, V. H.: Towards Pedestrian Safety. Transport and Road Research Laboratory, Department of the Environment, 5. Internationale ESV-Konferenz, London, 1974.
- [72] Zomotor, A.: Reaktionszeit von Kraftfahrern. Technische Universität Berlin, Institut für Lichttechnik, Berlin, 1979.
- [73] Bock, T.; Maurer, M. van Meel, F.; Müller, T.: Vehicle in the Loop: Ein innovativer Ansatz zur Kopplung virtueller mit realer Erprobung. Automobiltechnische Zeitung (ATZ), 01/2008, Jahrgang 110, München, 2008.
- [74] Berg, G.; Karl, I.; Färber, B.: Vehicle in the Loop - Validierung der virtuellen Realität. Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI Verlag, Düsseldorf, 2011.
- [75] McCarthy, M.: Development of a generic assessment methodology for advanced safety systems. APPROSYS, Washington, D.C., 2009.
- [76] Grover, C.; Knight, I.; Okoro, F.; Simmons, I.; Couper, G.; Massie, P.; Smith, B.: Automated Emergency Brake Systems: Technical requirements, costs and benefits. Europäische Kommission, Brüssel, 2008.
- [77] Deutsche, S.: CHAMELEON - Pre-Crash Anwendungen rund um das Fahrzeug. RWTH Aachen, Institut für Kraftfahrzeuge, Aachen, 2010.
- [78] Lesemann, M.; Zlocki, A.; Isasi, L.; Aparicio, A.; Jacobson, J.; Eriksson, H.; Bruzelius, F.; Nordström, L.: Testing and evaluation methods for ICT-based safety systems. eVALUE Consortium, Aachen, 2011.

- [79] McCarthy, M.; Fagerlind, H.; Heinig, I.; Langner, T.; Heinrich, S.; Sulzberger, L.; Schaub, S.: Assessment of integrated vehicle safety systems for improved vehicle safety (ASSESS) - D1.1 Preliminary test scenarios. European Commission, Seventh Framework Programme, Brüssel, 2010.
- [80] Najm, W.; Smith, J.: Development of Crash Imminent Test Scenarios for Integrated Vehicle-Based Safety Systems. U.S. Department of Transportation, NHTSA, Washington, D.C., 2007.
- [81] DaSilva, M.; Smith, J.; Najm, W.: Analysis of Pedestrian Crashes - DOT HS 809 585. U.S. Department of Transportation, NHTSA, Washington, D.C., 2003.
- [82] German In-Depth Accident Study: GIDAS Codebook. Dresden, 2010.
- [83] Gabler, C.; Digges, K; Fildes, B.; Sparke, L.: Side Impact Injury Risk for Belted Far Side Passenger Vehicle Occupants. SAE Technical Paper, 2005-01-0287, Washington, D.C., 2005.
- [84] Bundesanstalt für Straßenwesen: Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland 2008. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe „Mensch und Sicherheit“, Heft M 208, Bergisch Gladbach, 2010.
- [85] Statistisches Bundesamt: Verkehr - Verkehrsunfälle 2008, Fachserie 8 Reihe 7. Wiesbaden, 2009.
- [86] Schöneburg, R.: Die "Neue Passive Sicherheit" am Beispiel der E-Klasse - Steigerung der Insassensicherheit durch Nutzung der Vorunfallphase. Verband der Automobilindustrie (VDA), Technischer Kongress, Wolfsburg, 2009.
- [87] Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle Zeitreihen 2009. Wiesbaden, 2010.
- [88] U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration: Traffic safety facts 2001 – overview. DOT HS 809 476, Washington, D.C., 2002.
- [89] U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration: Traffic safety facts 2009 – overview. DOT HS 811 392. Washington, D.C., 2010.
- [90] European New Car Assessment Programme (Euro NCAP): Pedestrian testing protocol. Version 5.2, Brüssel, 2010.

- [91] Ebner, A.; Samaha, R. R.; Scullion, P.; Helmer, T.: Identifying and analyzing reference scenarios for the development and evaluation of preventive pedestrian safety systems. Intelligent Transport Systems and Services (ITS) World Congress, Busan, 2010.
- [92] Helmer, T.; Ebner, A.; Huber, W.: Präventiver Fußgängerschutz - Anforderungen und Bewertung. 18. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, Aachen, 2009.
- [93] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration: Road Function Classifications. FHWA Safety, Washington, D.C., 2000.
- [94] Association for the Advancement of Automotive Medicine: The abbreviated injury scale (AIS) 2005 – update 2008. Association for the Advancement of Automotive Medicine, Des Plaines, Illinois, USA, 2008.
- [95] Kramer, F.: Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen. S.97, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, 2006.
- [96] Willke, D; Summers, S.; Wang, J.; Lee, J.; Partyka, S.; Duffy, S.: Ejection Mitigation Using Advanced Glazing: Status Report II. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, D.C., 1999.
- [97] Blincoe, L.; Seay, A.; Zaloshnja, E.; Miller, T.; Romano, E.; Luchter, S.; Spicer, R.: The economic impact of motor vehicle crashes 2000. U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, D.C., 2002.
- [98] KidsandCars.org: Backover incidents - US fatalities by type. Nontraffic fatalities involving children < 15 years old. Quelle: www.kidsandcars.org, Stand: 17.09.2011.
- [99] Huang, S.; Yang, J.; Eklund, F.: Evaluation of remote pedestrian sensor system based on the analysis of car-pedestrian accident scenarios. Safety Science, Nr. 46, Amsterdam, 2008.
- [100] Martin, A.: Factors influencing pedestrian safety: a literature review. TRL Limited, published project report PPR214, Berkshire, 2006.
- [101] Unselt, T.; Breuer, J. Eckstein, L.: Fußgängerschutz durch Bremsassistentz. Daimler Chrysler AG, Sindelfingen, 2004.
- [102] Eberhardt, W.; Himbert, G.: Bewegungsgeschwindigkeiten - Versuchsergebnisse nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer. Der Verkehrsunfall, Nr. 4, München, 1977.

- [103] v. Benda, H.: Die Häufigkeit von Verkehrssituationen. Bundesanstalt für Straßenwesen, Technische Universität München, München, 1983.
- [104] EuroFOT: Pressemeldung zu den Ergebnissen der euroFOT Studie. Brüssel, 2012.
- [105] BMW Group Forschung und Technik: euroFOT Überblick. Internes Arbeitsdokument. Version vom 29.10.2012.
- [106] Frowein, C.: Situations- und Mustererkennung zur Klassifizierung von Fahrsituationen. Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, München, 2010.
- [107] Schulz, A.: Reaktionszeiten beim Fußgängerunfall unter Berücksichtigung verschiedener Reaktionstypen. Technische Universität Berlin, Fachgebiet Kraftfahrzeuge, Berlin, 2006.
- [108] Burckhardt, M.: Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1985.
- [109] Hoffmann, J.: Das Darmstädter Verfahren (EVITA) zum Testen und Bewerten von Frontalkollisionsgegenmaßnahmen. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, 2008.

Abbildungsverzeichnis

Bild 1-1: Entwicklung des Unfallgeschehens von 1970 bis 2010 [1], [9].....	3
Bild 1-2: Top-Down-Entwicklung und Strukturierung der Aktiven Sicherheit [8]	5
Bild 1-3: Bedarf und Nutzen von Referenzszenarien	8
Bild 1-4: Aufbau und Struktur der Arbeit.....	10
Bild 2-1: Herleitung von Referenzszenarien.....	19
Bild 2-2: Datenquellen für unterschiedliche Phasen der Unfallentstehung	21
Bild 2-3: Relative Anzahl von Unfällen und (un-)kritischen Situationen (qualitativ)	23
Bild 2-4: Statischer Fahrsimulator [65]	36
Bild 2-5: Dynamischer Fahrsimulator (BMW Group).....	36
Bild 2-6: EVITA [67]	38
Bild 2-7: Testwerkzeuge der Bertrandt AG (links, [68]) und des ADAC (rechts, [70]).....	39
Bild 2-8: Prüfstand präventiver Fußgängerschutz (BMW Group).....	40
Bild 2-9: Vehicle in the Loop [73].....	41
Bild 3-1: Häufigkeit der Teilbereiche um das Fahrzeug bei einer Kollision (GIDAS)	46
Bild 3-2: Art des Gegners in Frontal-Kollisionen (Häufigkeit).....	47
Bild 3-3: Aufbau der Bewegungskonstellation von Szenarien für Aktive Sicherheit	48
Bild 3-4: Verteilung der Manöver des Ego-Fahrzeugs (links: Häufigkeit, rechts: Harm).....	52
Bild 3-5: Repräsentative Bewegungskonstellationen (Auswertung Häufigkeit)	54
Bild 3-6: Verteilung von „Tageszeit“ in den Bewegungskonstellationen (Harm)	57
Bild 3-7: Ausgangsgeschwindigkeit in den Bewegungskonstellationen (Häufigkeit)	58
Bild 3-8: Entwicklung von Fußgängerunfällen in Deutschland / USA [87], [88], [89]	61
Bild 3-9: Ableitung der verwendeten Grundmenge von Fußgängerunfällen in GIDAS	63
Bild 3-10: Grundmenge von Fußgängerunfällen in NASS/GES, FARS und PCDS	64
Bild 3-11: Aufbau der Bewegungskonstellation für den präventiven Fußgängerschutz	65
Bild 3-12: KABCO – MAIS Umrechnungsmatrix [96]	66
Bild 3-13: Häufigkeitsverteilung der Lichtverhältnisse.....	73
Bild 3-14: Lichtverhältnisse in den Bewegungskonstellationen (Häufigkeit, GIDAS).....	74
Bild 3-15: Kollisionsgeschwindigkeit in den Bewegungskonstellationen (PCDS)	75
Bild 3-16: TTC zum Bremszeitpunkt (GIDAS)	76
Bild 3-17: TTC bei Sichtbarkeit des Fußgängers (GIDAS).....	77
Bild 3-18: Zeit zwischen Sichtbarkeit des Fußgängers und Bremszeitpunkt (GIDAS).....	77
Bild 3-19: Winkel zum Zeitpunkt der Sichtbarkeit des Fußgängers (GIDAS).....	78
Bild 4-1: Aufbau und Sensorik der BMW Fahrzeuge des euroFOT-Projektes [105].....	88

Bild 4-2: Ablauf der Ergebnisgenerierung aus Fahrdaten	89
Bild 4-3: Erkennung der Manöver Folgefahrt und freie Fahrt [106]	91
Bild 4-4: Videobild zur Ursachenanalyse von kritischen Situationen	95
Bild 4-5: Verteilung von Freifahrt und Folgen	96
Bild 4-6: Verteilung der Manöver	96
Bild 4-7: Verteilung der Ortslage in den Manövern	98
Bild 4-8: Verteilung der Lichtverhältnisse in den Manövern	98
Bild 4-9: Anteil von kritische (links) und leicht / sehr kritische Folgen (rechts)	101
Bild 4-10: Umgebungsbedingungen beim Folgen (gesamt, kritisch, sehr kritisch)	102
Bild 4-11: Anteil an kritischen Spurwechselmanövern	105
Bild 4-12: Umgebungsbedingungen beim Spurwechsel (gesamt, kritisch)	106
Bild 5-1: Teilphasen des Notbremsvorganges [107]	110
Bild 5-2: Versuchsaufbau des dynamischer Fahrsimulators	113
Bild 5-3: Unkritische Situation 1	115
Bild 5-4: Unkritische Situation 2	115
Bild 5-5: Passieren von Fußgängern	116
Bild 5-6: Kritische Situation	117
Bild 5-7: Visuelle Nebenaufgabe	117
Bild 5-8: Unkritische Situation 1: Seitlicher Abstand zum Fußgänger beim Passieren	119
Bild 5-9: Unkritische Situation 1: TTC beim Beginn des Lenkens	119
Bild 5-10: Unkritische Situation 2: TTC zum Bremszeitpunkt	120
Bild 5-11: Zeitverteilung zwischen Bremsbeginn und Vollverzögerung	122
Bild 5-12: Bremsverzögerung im Referenzszenario 1 (pFGS)	123
Bild 5-13: Anhänger mit ausfahrbarem Arm als Zielobjekt	125
Bild 5-14: Messsituation im Fahrsimulator (links) und im Realversuch (rechts)	126
Bild 5-15: Visuelle Nebenaufgabe	127
Bild 5-16: Reaktionszeit (Bremslicht) und minimale Bremszeitreserve (Fahrsimulator)	129
Bild 5-17: Reaktionszeit auf die Verzögerung des Vordermannes (Testgelände)	130
Bild 5-18: Mittlerer maximaler Bremsdruck (Testgelände)	131
Bild 6-1: Qualitativer Anteil der Datenquellen zur Beschreibung des Referenzszenarios	133
Bild 6-2: Datenquellen für das Referenzszenario des präventiven Fußgängerschutzes	134
Bild 6-3: Datenquellen für das Referenzszenario des präventiven Frontschutzes	136
Bild D-1: Ausgangsgeschwindigkeit (Ego-Fzg.) in den Konstellationen des pFS (Häufigkeit)	158
Bild D-2: Ausgangsgeschwindigkeit (Gegner) in den Konstellationen des pFS (Häufigkeit)	159
Bild E-1: Ausgangsgeschwindigkeit (Ego-Fahrzeug) in den Konstellationen des pFS (Harm)	166

Bild E-2: Ausgangsgeschwindigkeit (Gegner) in den Konstellationen des pFS (Harm)	167
Bild K-1: Algorithmus zur Erkennung der Manöver Folgefahrt und freie Fahrt [106]	180
Bild K-2: Algorithmus zur Erkennung der Manöver Abbiegen und Kreuzen [106]	181
Bild K-3: Algorithmus zur Erkennung des Manövers Spurwechsel [106]	182
Bild K-4: Algorithmus zur Erkennung des Manövers Wenden [106]	183
Bild K-5: Algorithmus zur Erkennung des Manövers Rückwärtsfahren [106]	183
Bild K-6: Algorithmus zur Erkennung des Manövers Parken [106]	184

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Klassifikation von Verkehrssituationen nach v. Benda [29]	13
Tabelle 2-2: Klassifikationssystem von Verkehrssituationen nach Fastenmeier [30]	14
Tabelle 2-3: Übersicht von Manöverklassifikationen aus der Literatur	16
Tabelle 2-4: Übersicht verfügbarer Datenquellen	22
Tabelle 3-1: Definition der Teilbereiche um das Fahrzeug	46
Tabelle 3-2: Unfallschwere bei Kollision in den Teilbereichen (GIDAS)	47
Tabelle 3-3: Kostensätze je verunglückte Person bzw. je Unfall (Jahr 2008) [84].....	49
Tabelle 3-4: Kostensätze je beteiligtes Fahrzeug im Jahr 2008 (in Euro) auf Basis von [84] und [85].	50
Tabelle 3-5: Verteilung der Bewegungskonstellationen (Rang)	53
Tabelle 3-6: Beschreibung des Referenzszenarios „Folgen“ (Häufigkeit)	59
Tabelle 3-7: Beschreibung des Referenzszenarios „Folgen“ (Harm).....	60
Tabelle 3-8: Kostensätze auf MAIS Basis aus dem Jahr 2000 in US Dollar [97].....	67
Tabelle 3-9: Bewegungskonstellationen für den präventiven Fußgängerschutz (in %).....	68
Tabelle 3-10: Untersuchte Parameter und Verfügbarkeit in den Datenbanken	72
Tabelle 3-11: Spezifisches Referenzszenario (Häufigkeit)	80
Tabelle 3-12: Spezifisches Referenzszenario (Harm).....	81
Tabelle 4-1: Situationskatalog Fahrt von / zur Arbeit in % [30]	84
Tabelle 4-2: Häufigkeit der verschiedenen Szenarien bei der 100-Car NDS [50].....	85
Tabelle 4-3: Verfügbare natürliche Fahrdaten	88
Tabelle 4-4: Erkennungsqualität der Manövererkennung [106]	92
Tabelle 4-5: Referenzszenario Folgen	99
Tabelle 4-6: Referenzszenario Kreuzen	100
Tabelle 4-7: Referenzszenario Spurwechsel.....	100
Tabelle 4-8: Referenzszenario kritisches Folgen	103
Tabelle 4-9: Ursachen für sehr kritische Folgesituationen	104
Tabelle 4-10: Referenzszenario kritischer Spurwechsel	107
Tabelle 5-1: Reaktionszeiten [s] nach Empfehlung des 20. Deutschen Verkehrsgerichtstages [107]	111
Tabelle 5-2: Reaktionszeiten [s] bei verschiedenen Reaktionsaufforderungen [107].....	111
Tabelle 6-1: Referenzszenario präventiver Fußgängerschutz	135
Tabelle 6-2: Referenzszenario präventiver Frontschutz	137
Tabelle A-1: Liste der Manöver der Unfallbeteiligten	143
Tabelle B-1: Gruppierung der Unfalltypen für den pFS	144
Tabelle C-1: Parameter und Kriterien für die Zuordnung der Manöver (pFS).....	145

Tabelle D-1: Ortslage in den Bewegungskonstellationen des pFS (Häufigkeit)	152
Tabelle D-2: Art des Unfallgegners in den Bewegungskonstellationen des pFS (Häufigkeit)	153
Tabelle D-3: Tageszeit in den Bewegungskonstellationen des pFS (Häufigkeit)	154
Tabelle D-4: Bewölkung in den Bewegungskonstellationen des pFS (Häufigkeit)	155
Tabelle D-5: Niederschlag in den Bewegungskonstellationen des pFS (Häufigkeit)	156
Tabelle D-6: Straßenoberfläche in den Bewegungskonstellationen des pFS (Häufigkeit)	157
Tabelle E-1: Ortslage in den Bewegungskonstellationen des pFS (Harm).....	160
Tabelle E-2: Art des Unfallgegners in den Bewegungskonstellationen des pFS (Harm).....	161
Tabelle E-3: Tageszeit in den Bewegungskonstellationen des pFS (Harm).....	162
Tabelle E-4: Bewölkung in den Bewegungskonstellationen des pFS (Harm).....	163
Tabelle E-5: Niederschlag in den Bewegungskonstellationen des pFS (Harm)	164
Tabelle E-6: Straßenoberfläche in den Bewegungskonstellationen des pFS (Harm).....	165
Tabelle F-1: Referenzszenario 1 des pFS: Folgen (Häufigkeit).....	168
Tabelle F-2: Referenzszenario 2 des pFS: Kreuzen (Häufigkeit).....	168
Tabelle F-3: Referenzszenario 3 des pFS: Gerade Radfahrer überqueren (Häufigkeit)	169
Tabelle F-4: Referenzszenario 4 des pFS: Gerade Gegenverkehr Linksabbiegen (Häufigkeit).....	169
Tabelle F-5: Referenzszenario 5 des pFS: Linksabbiegen Gegenverkehr (Häufigkeit).....	170
Tabelle G-1: Referenzszenario 1 des pFS: Folgen (Harm).....	171
Tabelle G-2: Referenzszenario 2 des pFS: Kreuzen (Harm)	171
Tabelle G-3: Referenzszenario 3 des pFS: Rechtskurve, nicht abgekommen (Harm).....	172
Tabelle G-4: Referenzszenario 4 des pFS: Gerade körperliches Unvermögen (Harm)	172
Tabelle G-5: Referenzszenario 5 des pFS: Begegnende (Harm)	173
Tabelle H-1: Gruppierung der Unfalltypen für den pFGS (GIDAS)	174
Tabelle H-2: Gruppierung des Manövers des Ego-Fahrzeugs für den pFGS (GES).....	174
Tabelle H-3: Gruppierung des Manövers des Fußgängers für den pFGS (GES)	174
Tabelle H-4: Gruppierung des Manövers des Ego-Fahrzeugs für den pFGS (PCDS)	174
Tabelle H-5: Gruppierung des Manövers des Fußgängers für den pFGS (PCDS).....	175
Tabelle H-6: Gruppierung des Manövers des Ego-Fahrzeugs für den pFGS (FARS).....	175
Tabelle H-7: Gruppierung des Manövers des Fußgängers für den pFGS (FARS)	175
Tabelle I-1: Tageszeit in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)	176
Tabelle I-2: Bewölkung in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)	176
Tabelle I-3: Niederschlag in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit).....	176
Tabelle I-4: Straßenoberfläche in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)	176
Tabelle I-5: Sichtbehinderung in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit).....	177
Tabelle I-6: Fußgängerbewegung in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)	177

Tabelle I-7: Kollisionsgeschwindigkeit in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit)	177
Tabelle I-8: Fußgängergröße in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Häufigkeit).....	177
Tabelle J-1: Tageszeit in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm).....	178
Tabelle J-2: Bewölkung in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm).....	178
Tabelle J-3: Niederschlag in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)	178
Tabelle J-4: Straßenoberfläche in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm).....	179
Tabelle J-5: Sichtbehinderung in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)	179
Tabelle J-6: Fußgängerbewegung in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)	179
Tabelle J-7: Kollisionsgeschwindigkeit in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Har.)	179
Tabelle J-8: Fußgängergröße in Bewegungskonstellation 1 des pFGS (Harm)	179
Tabelle L-1: Verteilung von Freifahrt und Folgen	185
Tabelle L-2: Verteilung der Manöver	185
Tabelle L-3: Verteilung der Ortslage	186
Tabelle L-4: Verteilung des Niederschlags.....	187
Tabelle L-5: Verteilung der Tageszeit	188
Tabelle L-6: Verteilung der Ausgangsgeschwindigkeit	189
Tabelle L-7: Verteilung der Endgeschwindigkeit	190
Tabelle L-8: Verteilung der minimalen Beschleunigung	191
Tabelle M-1: Verteilung der Ortslage in (un)kritischen Folgesituationen	192
Tabelle M-2: Verteilung des Niederschlags in (un)kritischen Folgesituationen	192
Tabelle M-3: Verteilung der Tageszeit in (un)kritischen Folgesituationen	192
Tabelle M-4: Verteilung der Ausgangsgeschwindigkeit in (un)kritischen Folgesituationen	193
Tabelle M-5: Verteilung der Endgeschwindigkeit in (un)kritischen Folgesituationen	194
Tabelle M-6: Verteilung der minimalen Beschleunigung in (un)kritischen Folgesituationen.....	195
Tabelle M-7: Verteilung der Ortslage in (un)kritischen Spurwechselsituationen.....	195
Tabelle M-8: Verteilung des Niederschlags in (un)kritischen Spurwechselsituationen.....	195
Tabelle M-9: Verteilung der Tageszeit in (un)kritischen Spurwechselsituationen.....	196
Tabelle M-10: Verteilung der Ausgangsgeschwindigkeit in (un)kritischen Spurwechselsituationen...	196
Tabelle M-11: Verteilung der Endgeschwindigkeit in (un)kritischen Spurwechselsituationen	197
Tabelle M-12: Verteilung der minimalen Beschleunigung in (un)kritischen Spurwechselsituationen .	198

Veröffentlichungen

Ebner, A.; Helmer, T.; Huber, W.: Bewertung von Aktiver Sicherheit: Definitionen, Referenzsituationen und Messkriterien. 1. Automobiltechnisches Kolloquium, VDI Wissensforum GmbH, Garching bei München, 2009.

Helmer, T.; Ebner, A.; Huber, W.: Präventiver Fußgängerschutz - Anforderungen und Bewertung. 18. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, Aachen, 2009.

Ebner, A.; Samaha, R. R.; Scullion, P.; Helmer, T.: Methodology for the development and evaluation of active safety systems using reference scenarios. International Research Council on Biomechanics of Injury (IRCOBI), Hannover, 2010.

Helmer, T., Samaha, R.; Scullion, P.; Ebner, A.; Kates, R.: Kinematical, physiological and vehicle-related influences on pedestrian injury severity in frontal car crashes: multivariate analysis and cross-validation. International Research Council on Biomechanics of Injury (IRCOBI), Hannover, 2010.

Ebner, A.; Samaha, R. R.; Scullion, P.; Helmer, T.: Identifying and analyzing reference scenarios for the development and evaluation of preventive pedestrian safety systems. Intelligent Transport Systems and Services (ITS) World Congress, Busan, 2010.

Helmer, T.; Scullion, P., Samaha, R. R.; Ebner, A., Kates, R.: Predicting the injury severity of pedestrians in frontal car crashes based on empirical, in-depth accident data. Intelligent Transport Systems and Services (ITS) World Congress, Busan, 2010.

Helmer, T.; Samaha, R. R.; Scullion, P.; Ebner, A.; Kates, R.: Injury risk to specific body regions of pedestrians in frontal car crashes modeled by empirical, in-depth accident data. Stapp Car Crash Journal, Vol. 54, Scottsdale, 2010.

Kates, R.; Jung, O.; Helmer, T.; Ebner, A.; Gruber, C.; Kompass, K.: Stochastic simulation of critical traffic situations for the evaluation of preventive pedestrian protection systems. 15. VDI Fachtagung Erprobung und Simulation in der Fahrzeugentwicklung, Baden Baden, 2010.

Ebner, A.; Samaha, R. R.; Scullion, P.; Helmer, T.: Identifying and analyzing reference scenarios for the development and evaluation of active safety: application to preventive pedestrian safety. International journal of intelligent transportation systems research, Springer Verlag, Heidelberg, 2011.

Helmer, T.; Scullion, P.; Samaha, R. R.; Ebner, A.; Kates, R.: Predicting the injury severity of pedestrians in frontal vehicle crashes based on empirical, in-depth accident data. International journal of intelligent transportation systems research, Springer Verlag, Heidelberg, 2011.

Helmer, T.; Ebner, A.; Jung, O.; Paradies, S.; Huesmann, A.; Praxenthaler, M.: Fahrerverhalten in Fußgängersituationen mit und ohne Unterstützung eines präventiven Sicherheitssystems - Herausforderungen bei der empirischen Bewertung. AAET 2011 - Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel, Braunschweig, 2011.