

Entwicklung von Assistenzkonzepten an Straßenkreuzungen

Jesse Ehlers
(Matrikelnummer: 70096039)

Eingereichte Abschlussarbeit

zur Erlangung des Grades

Bachelor of Science

im Studiengang

Wirtschaftsingenieurwesen Fachrichtung Verkehrsmanagement

an der

Karl-Scharfenberg-Fakultät

der Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften

Erster Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Wolf-Rüdiger Runge

Zweiter Prüfer: Dipl.-Psych. Firas Lethaus, M.Sc.

Eingereicht am: 15.07.2014

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	VI
Zusammenfassung.....	VII
1 Einleitung.....	1
1.1 Unfallstatistik.....	1
1.2 Problemstellung und Zielsetzung	3
1.3 Aufbau der Arbeit	4
2 Motivation.....	5
2.1 Unfalltypen an Kreuzungen.....	5
2.2 Konflikte/Probleme an Kreuzungen.....	14
2.2.1 Einfluss der Infrastruktur	21
2.2.2 Einfluss des Menschen	26
3 Aktueller Stand der Technik	31
3.1 Kreuzungsassistenz	31
3.2 Systeme und Konzepte der Kreuzungsassistenz.....	37
3.2.1 STOP-Schild-Assistenz.....	37
3.2.2 Ampelassistenz.....	42
3.2.3 Einbiegen-/Kreuzen-Assistenz.....	57
3.2.4 Abbiegeassistenz.....	69
3.3 Forschungskreuzung.....	75
4 Eigene Idee eines Gesamtkonzepts.....	81
5 Diskussion und Ausblick.....	90
Literaturverzeichnis	96
Anhang.....	105
Eidesstattliche Erklärung	112

Abkürzungsverzeichnis

C2C	Car-to-Car
C2I	Car-to-Infrastructure
Destatis	Statistisches Bundesamt
DGPS	Differential Global Positioning System
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DTC	Distance-to-Collision (Abstand bis zur Kollision)
FAS	Fahrerassistenzsystem
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft
HMI	Human-Machine-Interface (Mensch-Maschine-Schnittstelle)
HTW	Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
HUD	Head-Up-Display
LRR	Long-Range-Radar
LSA	Lichtsignalanlage
MSS	Multi-Sensor-System
ÖV	Öffentlicher Verkehr
RSU	Road-Side-Unit
RVL	Rechts-vor-Links
SENV	System zur Erfassung nicht-motorisierter Verkehrsteilnehmer
SRR	Short-Range-Radar
StVO	Straßenverkehrsordnung
TTC	Time-to-Collision (Zeit bis zur Kollision)
UNKA	Unfalltypenkatalog
VA	Vorfahrt achten
VW	Volkswagen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl der Unfälle mit Personenschäden verschiedener Unfalltypen 2012 (Destatis, 2013, S. 284).....	2
Abbildung 2: Ausschnitt des Unfalltypenkatalogs (GDV, 1998, S. 13).....	6
Abbildung 3: Unfalltypen 202 und 211 (GDV, 2014).....	7
Abbildung 4: Unfalltypen 221-224 und 241-244 (GDV, 1998, S. 11)	8
Abbildung 5: Unfalltypen 251 und 252 (GDV, 1998, S. 11)	8
Abbildung 6: Unfalltypen 301-303 (GDV, 2014)	9
Abbildung 7: Unfalltypen 321-323 (GDV, 1998, S. 13)	9
Abbildung 8: Unfalltypen 341-344 (GDV, 1998, S. 13)	10
Abbildung 9: Unfalltypen 306 und 326 (GDV, 1998, S. 13)	10
Abbildung 10: Unfallhäufigkeit der Einbiegen/Kreuzen-Unfälle in Abhängigkeit vom Unfalltyp im Jahr 2005 (Mages, 2008, S. 15).....	11
Abbildung 11: Unfalltypen 431 und 451 (GDV, 2014).....	12
Abbildung 12: Unfalltypen 461 und 471 (GDV, 1998, S. 15)	12
Abbildung 13: verschiedene Überschreiten-Unfalltypen mit Sichtbehinderung (GDV, 1998, S. 15).....	13
Abbildung 14: Frühe Aufzeichnung psychophysischer Umfelder (Sylwan, 1919, S. 360)	15
Abbildung 15: Bereich des sicheren Fahrens (Gibson & Crooks, 1938, S.455) ..	16
Abbildung 16: Feld des sicheren Fahrens an einer Kreuzung mit Sichtbehinderung (Gibson & Crooks, 1938, S. 466).....	17
Abbildung 17: Envelope-Zonen (Bellet et al., 2012, S. 1491).....	18
Abbildung 18: Phasenmodell des Linksabbiegevorgangs von Bellet (Bellet et al., 2012, S. 1491).....	19
Abbildung 19: Phasenmodell des Linksabbiegevorgangs von Fastenmeier (Gstalter & Fastenmeier, 2010, S. 227).....	20
Abbildung 20: Beispiel für ein komplexes Kreuzungslayout (BELLIS, 2008).....	24
Abbildung 21: Zwei Beispiele für einen Unfallmechanismus, übersetzt aus Malaterre, 1990, S. 1413 (Vollrath, 2006, S. 17)	28
Abbildung 22: Modell des Handlungsablaufs bei Fehlern in Anlehnung an Rasmussen, 1982 (Vollrath et al., 2006, S. 11)	30

Abbildung 23: Interaktionskanäle zwischen Mensch und Maschine (König, 2009, S. 35).....	34
Abbildung 24: Vergleich von Fahrerverhalten und spätmöglichstem Warnpunkt (Mages et al., 2007, S. 6)	35
Abbildung 25: Einflussfaktoren bei der Entwicklung von FAS (König, 2009, S. 35)	36
Abbildung 26: Warnung im Head-Up-Display (Klanner, Thoma & Winner, 2008, S. 9)	39
Abbildung 27: Stereokameras hinter der Frontscheibe (DaimlerChrysler AG, 2005)	40
Abbildung 28: Farbkamera zur Ampelerkennug hinter der Frontscheibe (DaimlerChrysler AG, 2005)	42
Abbildung 29: Fahrbahnmarkierung als LSA-Assistenz (Yan et al., 2009, S. 52)	43
Abbildung 30: Informations- und Warnungssymbol im HUD des Rotlichtassistenten von INTERSAFE (Chen et al., 2007, S. 144).....	45
Abbildung 31: Systemarchitektur des Rotlichtassistenten von INTERSAFE (Priemer, 2010, S. 23)	46
Abbildung 32: Anzeigeelemente im Kombiinstrument und Infrarotsensoren im Fahrzeug und an LSA (Zimdahl, 1983, zitiert nach Priemer, 2010, S. 23)	48
Abbildung 33: Restrotanzeige (links) und Geschwindigkeitsempfehlung (rechts) im AUDI Demonstrator von Travolution (Menig, 2008, zitiert nach Priemer, 2010, S. 25)	49
Abbildung 34: Systemarchitektur von Travolution (Menig, 2008, zitiert nach Priemer, 2010, S. 25)	50
Abbildung 35: Geschwindigkeitsempfehlungen bei INTERSAFE (Chen et al., 2007, S. 144).....	51
Abbildung 36: Geschwindigkeitsempfehlungen in Tacho eingeblendet (Thoma et al., 2008, S. 2).....	52
Abbildung 37: Schnittstellenkonzept UR:BAN (UR:BAN, 2014b, S. 3)	54
Abbildung 38: Beeinflussung des Verkehrs durch Kreuzungslotsenassistenz (UR:BAN, 2014b, S. 17)	55
Abbildung 39: Komponenten eines Laserscanners (Obojski & Meinecke, 2008, S. 19)	60

Abbildung 40: Verarbeitung von Rohdaten eines Laserscanners (Unger, 2010, S. 3)	60
Abbildung 41: Warnsymbole in unterschiedlichen Situationen (Unger, 2008, S. 1)	61
Abbildung 42: Risikovisualisierung des Einbiegen-/Kreuzenassistent von INTERSAFE (in Anlehnung an Obojski & Meinecke, 2008, S. 25f)	63
Abbildung 43: Systeminfrastruktur bei INTERSAFE (Fürstenberg, 2005, S. 3) ...	66
Abbildung 44: Erkennung sichtverdeckter Objekte durch C2I (Obojski & Meinecke, 2008, S. 22).....	66
Abbildung 45: Sensorik und dessen Reichweiten im BMW-Demonstrator für INTERSAFE-2 (Wimmershoff, 2013, S. 2)	68
Abbildung 46: Funktionsweise der Linksabbiege-assistenz von VW (Obojski & Meinecke, 2008, S. 7)	72
Abbildung 47: HMI der Linksabbiegeassistenz von VW, Änderung der Blinkerfarbe und Anzeige im Navigationsdisplay (Obojski & Meinecke, 2008, S. 9).....	73
Abbildung 48: Sensoren des VW-Demonstrators für INTERSAFE-2 (Wimmershoff, 2013, S. 2).....	74
Abbildung 49: Positionierung und Verkabelung des MSS für die Erfassung motorisierter Objekte auf der Forschungskreuzung (JENOPTIK, 2014, S. 4)	76
Abbildung 50: Position und Detektionsbereich des SENV auf der Forschungskreuzung (JENOPTIK, 2013, S. 11).....	77
Abbildung 51: Systemarchitektur der AIM Forschungskreuzung (Knake-Langhorst, 2014, S. 5).....	78
Abbildung 52: Visualisierung der Ampelphasenassistenz (eigene Darstellung in Anlehnung an Thoma et al., 2008, S. 2).....	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Häufigkeiten von Abbiegen-Unfalltypen in Braunschweig 2009-2011 (Staubach, 2012, S. 4)	8
Tabelle 2: Häufigkeiten verschiedener Überschreiten-Unfalltypen in Braunschweig 2009-2011 (Staubach, 2012, S. 5)	13
Tabelle 3: Anforderungen an einen Einbiege-/Kreuzenassistent (Mages, 2008, S. 21)	32
Tabelle 4: Warnsymbole für verschiedene Situationen (in Anlehnung an Thoma et al., 2008, S. 4)	88

Zusammenfassung

Die Unfallstatistik wird durch ein deutliches Bild kreuzungsrelevanter Konflikte mit hohen Anteilen geprägt. Die Unfallursachen sind zum einen durch infrastrukturbedingte Einflussfaktoren wie Geometrie, Größe, Art der Vorfahrtsregelung und durch weitere Ausstattungsmerkmale, wie die Bebauung um die Kreuzung herum bedingt. Wesentlich einflussreicher sind die menschlich bedingten Faktoren, wie zum Beispiel Alter und Erfahrenheit, sowie psychologische Aspekte wie emotionale Einstellung, welche das Auffassungsvermögen des Fahrers beeinflussen. Als häufigste Unfallursachen lassen sich Sichtverdeckung, Unaufmerksamkeit und Fehlinterpretationen erkennen, welche die Anforderung an Kreuzungsassistenzsysteme stellen. Daneben gibt es gewisse Grundanforderungen und -regeln, die Kreuzungsassistenten erfüllen sollten bzw. müssen.

Diese Arbeit fokussiert sich auf die Untersuchung von existierenden Konzepten und Systemen, die einem Fahrer assistierende Maßnahmen im Kreuzungsbereich heutzutage bieten können. Dabei unterteilen sich Systeme und Konzepte zum einen in Einzelapplikationen, welche nur für bestimmte Fahrmanöver, bezüglich der Vorfahrtsregelung (zum Beispiel STOP-Schild-geregelte Vorfahrt) und Zielsituation des Fahrers (zum Beispiel Einbiegen/Kreuzen), mit dafür spezialisierter Technik entwickelt worden sind. Hierbei unterscheiden sich Systeme, die auf einer Intelligenz im Fahrzeug beruhen oder Systeme, bei denen die Intelligenz in der Infrastruktur liegt. Zum anderen gibt es Ansätze, die mehrere Assistenzelemente bündeln und sich für verschiedene Situationen einsetzen lassen, wobei kommunikative Applikationen, zum Austausch von Daten zwischen Infrastruktur und Fahrzeug, zum Einsatz kommen. Letztlich wurde festgestellt, dass die aktuellsten Konzepte und Systeme versuchen, möglichst viele Kreuzungsmanöver mit einer technischen, diversifizierten Grundlage zu assistieren. Fahrzeugbasierte Technik wird dabei mit infrastrukturellen Applikationen kombiniert.

Anschließend wird ein eigenes Konzept vorgestellt, welches aus den aufgedeckten Ansätzen die sinnvollsten Konzepte in einem System bündelt, um dem Endverbraucher eine möglichst großzügig anwendbare Wirkung zu bieten.

Zudem werden nicht-existierende Ansätze beschrieben, welche zur Verbesserung des eigenen Konzepts beitragen könnten. Dabei ist dieses Konzept auf die Unterstützung der Annäherung und der Durchfahrt, durch Einbiegen, Kreuzen oder Abbiegen an Lichtsignalgeregelten Kreuzungen getrimmt. Eine Ampelphasenassistenz mit eigener Idee der zu visualisierenden Ausgaben und eine Kollisionsvermeidungsassistenz, mit Intelligenz in Fahrzeugen und Infrastruktur sowie einem diversifiziertem Kommunikationssystem, sind dabei die Schwerpunkte. Aus den vielfältigen technischen Komponenten, die dafür nötig sind, ergeben sich auch unterstützende Maßnahmen für Kreuzungen, die eine andere Vorfahrtsregelung aufweisen.

Die Diskussion zeigt, dass einige der aufgedeckten Ansätze bereits hochentwickelt sind und teilweise schon in Serienfahrzeugen verbaut werden. Weiterhin wurde festgestellt, dass das eigene Gesamtkonzept mit den heutigen, zu Verfügung stehenden Mitteln, prinzipiell umzusetzen wäre. Ausblickend werden ähnliche Gesamtsysteme in das Verkehrsgeschehen von morgen einziehen, um aktiv kritische Situationen vermeiden zu können.

1 Einleitung

Dieses Kapitel gilt der Einführung in das Thema Entwicklung von Assistenzkonzepten an Straßenkreuzungen. Ein kurzer Einblick in die aktuellen Unfallstatistiken dient als Ausgangspunkt für das Thema. In einer kurzen Problemstellung werden die Auslöser und die Ziele dieser Arbeit erklärt. Anschließend folgt ein kurzer Überblick zum Aufbau dieser Arbeit.

1.1 Unfallstatistik

Im Jahr 2012 wurden in Deutschland insgesamt 2,4 Millionen Unfälle erfasst (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2013, S. 42). Erfasste Daten zu Verkehrsunfällen aus einem einheitlichen Erfassungskonzept werden vom Statistischen Bundesamt in Wiesbaden jährlich aufbereitet und veröffentlicht. Umfangreiche Statistiken zu Unfalltypen, Unfallarten, Unfallursachen und unfallrelevanten Kombinationen von Merkmalen sind das Endprodukt des Statistischen Bundesamtes. Aus der aktuellen Unfallstatistik gehen unter anderem viele Details zu den kreuzungsrelevanten Unfallgeschehen hervor.

Der *Unfalltyp* beschreibt die Art der Konfliktauslösung, welche zum Unfall führte. Das heißt, nicht eine wirkliche Kollision wird beschrieben, sondern die Phase des Verkehrsgeschehens, die zur Konfliktsituation führte (Destatis, 2013, S. 16). In Deutschland wird in sieben verschiedene Unfalltypen unterschieden, hier dargestellt in Abbildung 1.

Die *Unfallart* beschreibt in der statistischen Erfassung die Bewegungsrichtung der beteiligten Verkehrsteilnehmer zueinander, während der ersten mechanischen Einwirkung in einer Konfliktsituation. Dabei werden zehn unterschiedliche Unfallarten als Kategorisierung verwendet:

1. Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das anfährt, anhält oder im ruhenden Verkehr steht
2. Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet
3. Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt
4. Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das entgegenkommt
5. Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt

6. Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger
7. Aufprall auf ein Hindernis auf der Fahrbahn
- 8./9. Abkommen von der Fahrbahn nach rechts/links
10. Unfall anderer Art

(Destatis, 2013, S. 17)

Laut Statistischem Bundesamt war 2012 die Unfallart „*Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt*“ mit 33,1% im innerörtlichen Bereich die häufigste Unfallart. Auch nach Unfalltyp war der „**Einbiegen/Kreuzen-Unfall**“ mit 26,5% am Zahlreichsten (Destatis, 2013, S. 43). 250.895 Unfälle wurden durch Fehlverhalten von PKW-Fahrern ausgelöst. Mit einem Anteil von 17,2% war die „**Missachtung der Vorfahrt bzw. des Vorranges**“ die zweithäufigste Unfallursache. Häufigste Unfallursache war „**Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Anfahren**“ mit 18,1% (Destatis, 2013, S. 49). In Abbildung 1 sind die Häufigkeiten verschiedener Unfalltypen gegenübergestellt:

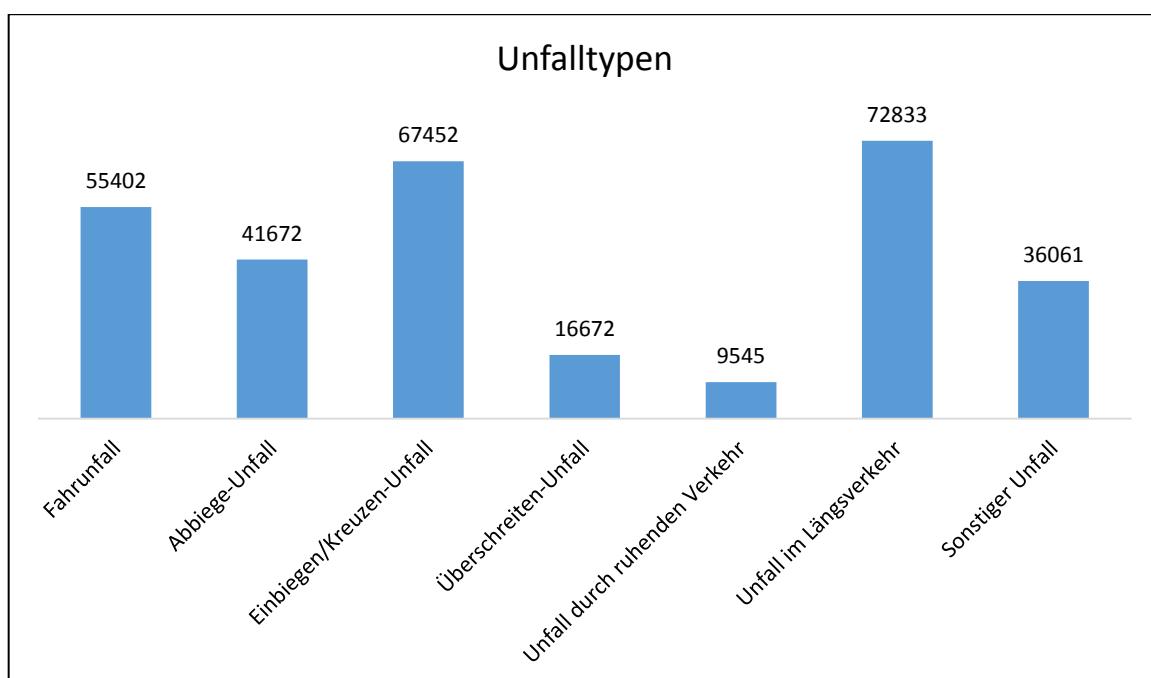


Abbildung 1: Anzahl der Unfälle mit Personenschäden verschiedener Unfalltypen 2012 (Destatis, 2013, S. 284)

Das Diagramm verdeutlicht den hohen Anteil von Unfällen der kreuzungsrelevanten Unfalltypen gegenüber den anderen. Addiert man die Anzahl von Abbiege- und Einbiege/Kreuzen-Unfällen, ist dies die größte Menge aller

Unfalltypen. Die verschiedenen Ansichten zeigen deutlich, dass ein enormes Gefahrenpotential von kreuzungsbedingten Verkehrssituationen ausgeht.

1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Kreuzungen gehören zu den unfallreichsten Orten im Straßenverkehr (vgl. Kapitel 1.1). Das Fehlverhalten von Verkehrsteilnehmern beim Queren oder Abbiegen an Kreuzungen führt oft zu gefährlichen Zuständen und nicht selten zu Kollisionen. Auslöser und Gründe dieser kritischen Situationen sollen in dieser Arbeit ermittelt werden.

Fahrerassistenzsysteme (FAS) sind in Kraftfahrzeugen installierte Systeme, die den Fahrer in der Bedienung des Kraftfahrzeugs unterstützen und ihm die Fahraufgabe erleichtern. Unterstützende Maßnahmen sind in Stabilisierung, Bahnführung und Navigation kategorisiert. Durch FAS können in erster Linie Unfälle vermieden und Unfallfolgen verringert werden, aber auch der Fahrkomfort kann gesteigert werden (Winner, Hakuli & Wolf, 2009, S. 1). FAS mit den verschiedensten Funktionen wie automatischer Abstands- und Geschwindigkeitsregelung (Adaptive Cruise Control - ACC) oder Spurhalteassistenz gehören bereits in vielen modernen Automobilen zur Standardausstattung. Ein serienreifes Kreuzungsassistenzsystem scheint es dabei noch nicht zu geben. Grund dafür ist wohl die Vielzahl komplexer Situationen, die im Kreuzungsbereich auftreten können. Mit heutigem Stand der Sensortechnik ist die Erfassung solcherart komplexer Zustände hingegen möglich. Die Herausforderung besteht darin, die erfassten Daten sinnvoll auszuwerten, um dem Fahrer angemessene Hilfestellung zu bieten.

Welche Konzepte dafür bereits existieren, wie weit die Entwicklung von Systemen in ihren Einzelkomponenten ist und wie notwendig solche Kreuzungsassistenten überhaupt sind, wird in dieser Arbeit diskutiert. Dabei werden einzelne Konzepte und schon existierende Systeme untersucht und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile, bzw. Stärken und Schwächen, bewertet. Zudem wird auf die Funktionsweise von Sensortechnik und der verarbeitenden Software, sowie die Anzeige- und Warnstrategien eingegangen. Die schlüssigsten Ansätze und Ideen werden in einem eigenen Konzept zusammen mit noch

wünschenswerten, nicht-existierenden Komponenten zusammengefasst und als zukunftsweisendes Gesamtkonzept dargestellt.

1.3 Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung durch Unfallstatistik, Problemstellung und Zielsetzung folgt die Motivation dieser Arbeit, worin allgemeine Aspekte zum Unfallgeschehen, die möglichen Unfallursachen und Konfliktpunkte an Kreuzungen behandelt werden. Anschließend wird der aktuelle Stand der Technik erläutert, indem erklärt wird, welche Kreuzungskonflikte, mit welchen Maßnahmen assistiert werden sollten. Zudem werden die technischen Komponenten, die für solche Assistenzvorhaben nötig sind, dargestellt und in ihrer Funktion beschrieben. Des Weiteren werden bereits existierende Konzepte der Kreuzungsassistenz beschrieben und in ihren Spezifikationen dargestellt. Auch nicht-existierende Ansätze für Kreuzungsassistenten werden aufgezeigt. Folgend wird ein Forschungssystem zur Erfassung von motorisierten und nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmern des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) vorgestellt, das für Aufgaben der Kreuzungsassistenz genutzt werden könnte. Diesbezüglich wird ein Experiment zur Verhaltenserkennung von Autofahrern bei Abbiegevorgängen an Kreuzungen präsentiert, aus dessen Studienergebnissen Empfehlungen für Kreuzungsassistenzkonzepte resultieren. Aus den vorliegenden optimalen Ansätzen wird schließlich ein eigenes Gesamtkonzept zusammengefasst und in seinen Spezifikationen erklärt. Zum Schluss erfolgt eine Diskussion mit anknüpfendem Ausblick auf Potentiale künftiger Assistenzsysteme.

2 Motivation

In diesem Kapitel wird die Arbeit motiviert, das heißt die Themenfelder, die in Kapitel 1.2 Problemstellung und Zielsetzung diese Arbeit veranlasst haben, werden hier präsentiert.

2.1 Unfalltypen an Kreuzungen

In Kapitel 1.1 wurde bereits der Begriff des Unfalltyps definiert, wie er in der statistischen Erfassung verstanden wird. Auch die sieben Unfalltypen, welche verschiedene Konfliktauslöser unterscheiden, wurden oben aufgelistet. Eine Kategorisierung in Unfalltypen ist erforderlich, da es eine Vielzahl an Möglichkeiten von Konfliktsituationen gibt, aus denen ein Verkehrsunfall resultieren kann.

Diese Vielzahl möglicher Konfliktsituationen wurde in dem sogenannten Unfalltypenkatalog (UNKA) vom Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) festgehalten. Der UNKA bildet gut 230 Feinunfalltypen unter den sieben Unfalltypen-Kategorien des statistischen Bundesamtes ab, um die Komplexität möglicher Konflikt auslöser voneinander abzugrenzen und zu unterscheiden.

Die einzelnen Feinunfalltypen werden auch 3-stellige Unfalltypen genannt, da jedem Typ eine eindeutige 3-stellige Nummer zugewiesen ist. Die erste Ziffer der 3-stelligen Nummer zeigt dabei von „1“ bis „7“ die Unfalltypen-Kategorien des statistischen Bundesamtes. Jeder Feinunfalltyp ist zudem als Symbol dargestellt, welches die jeweilige Konfliktsituation veranschaulicht.

Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt des UNKA als Beispiel für die Darstellung der Feinunfalltypen. Die Pfeile zeigen die Fahrtrichtung der Fahrzeuge an und das „W“ steht für die wertepflichtige Seite.

	30	301	302	303	304	305	306	309
Bevorrechtiges Fahrzeug	von links							Fahrt-richtung unklar
	31							319 Fahrt-richtung unklar
	32							329 Fahrt-richtung unklar
	33							339 Fahrt-richtung unklar

Abbildung 2: Ausschnitt des Unfalltypenkatalogs (GDV, 1998, S. 13)

Im Beispiel ist zu sehen, dass einzelne Unfalltypen noch einmal zeilenspezifisch unterkategorisiert sind. Außerdem bezieht sich die letzte Spalte allein auf Unfalltypen, die den abgebildeten Beispielen nicht zugeordnet werden konnten, bzw. bei Unklarheit über die Unfallsituation. Unklare Unfalltypen sind mit der letzten Ziffer der 3-stelligen Bezeichnung immer durch eine „9“ gekennzeichnet. Der UNKA wird hauptsächlich von der Polizei und von Versicherungen genutzt, um ein Unfallgeschehen für weitere Untersuchungen besser abzugrenzen und darzustellen (GDV, 2014).

Im Folgenden wird auf die Konfliktsituationen eingegangen, die speziell im Kreuzungsbereich häufig auftreten. Dazu werden die für diese Arbeit relevanten 3-stelligen Unfalltypen aufgeführt. Das Statistische Bundesamt kategorisiert kreuzungsspezifische Konflikte in die drei Unfalltypen **Abbiegen**, **Einbiegen/Kreuzen** und **Überschreiten**.

Abbiegen-Unfall:

Es handelt sich um einen Abbiegen-Unfall, wenn ein Konflikt zwischen einem Abbieger und einem sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegenden Verkehrsteilnehmer besteht. Das gilt an Kreuzungen, Einmündungen und Zufahrten von Grundstücken oder Parkplätzen (Destatis, 2013, S. 16), wobei hier nur Kreuzungen relevant sind. Das folgende Beispielbild verdeutlicht die Situation.

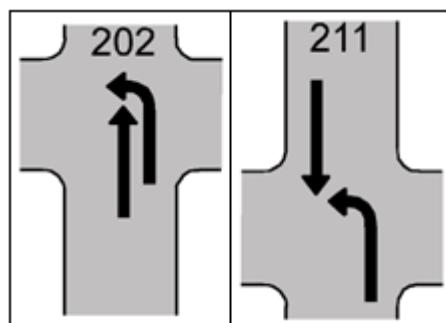


Abbildung 3: Unfalltypen 202 und 211 (GDV, 2014)

Die Definition des statistischen Bundesamtes lautet folgendermaßen:

„Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Abbieger und einem aus gleicher oder entgegengesetzter Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer (auch Fußgänger) an Kreuzungen [...].“ (aus: Destatis, 2013, S. 16)

Die typischsten Abbiegen-Unfälle sind die der Linksabbieger, die mit einem entgegenkommenden Fahrzeug kollidieren und die der folgenden Fahrzeuge in gleicher Richtung, welche auf den Linksabbieger auffahren (siehe Tabelle 1). Diese Unfalltypen mit der UNKA-Nr. 202 und 211 sind bereits oben in Abbildung 3 dargestellt. Außerdem verzeichnet die Statistik das Auffahren auf Rechtsabbieger (UNKA-Nr. 232) ebenfalls als sehr häufig.

Die folgende Tabelle 1 zeigt die Häufigkeiten der verschiedenen Abbiegen-Unfalltypen von 1709 erfassten Unfällen in Braunschweig im Zeitraum 2009-2011.

	 20 Nachfolgender	 21 Gegenverkehr Fahrbaahn	 22	 23 Nachfolgender	 24	 25 zwei Abbieger
Anzahl	400	390	95	352	160	147
Prozent	2,1	2,0	0,5	2,0	0,8	0,8

Tabelle 1: Häufigkeiten von Abbiegen-Unfalltypen in Braunschweig 2009-2011 (Staubach, 2012, S. 4)

Darüber hinaus ist der Konflikt zwischen dem Abbieger und Fußgängern oder Radfahrern, welche die Zufahrt zur Abbiegestrasse überqueren, ebenso von Bedeutung. Das betrifft sowohl Linksabbieger, als auch Rechtsabbieger. Im UNKA sind diese Unfalltypen mit den Nummern 221-224 und 241-244 hinterlegt und hier in Abbildung 4 dargestellt. Das „F“ mit dem gestrichelten Pfeil symbolisiert dabei den Fußgänger.

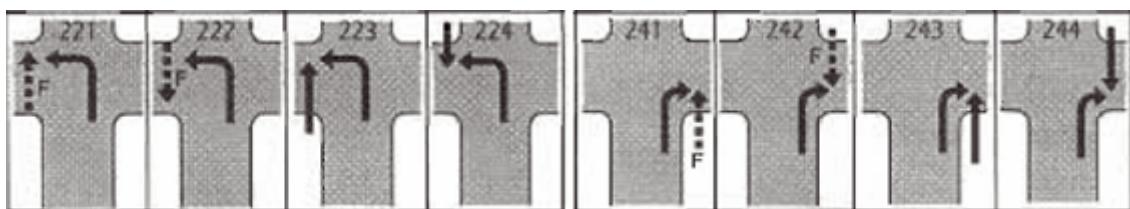


Abbildung 4: Unfalltypen 221-224 und 241-244 (GDV, 1998, S. 11)

Des Weiteren gibt es erfahrungsgemäß oft Konflikte beim Abbiegen mit zwei oder mehreren Fahrspuren in dieselbe Richtung. Hierbei verursachen meist lange Fahrzeuge wie LKW oder Busse Unfälle durch manchmal unvermeidbares Schneiden anderer Fahrspuren, wodurch Fahrzeuge auf den innenliegenden Fahrspuren mit den Fahrzeugen der außenliegenden Fahrspuren kollidieren. Im UNKA sind dies die Unfalltypen mit der Nummer 251 und 252, deren Darstellung folgt in Abbildung 5.

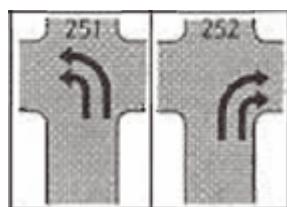


Abbildung 5:
Unfalltypen 251 und 252
(GDV, 1998, S. 11)

Einbiegen/Kreuzen-Unfall:

Ein Unfalltyp der Kategorie Einbiegen-Kreuzen gilt dann, wenn ein Vorfahrtsberechtigter mit einem kreuzenden oder einbiegenden Wartepflichtigen in Konflikt gerät. Das gilt an Kreuzungen, Einmündungen und Ausfahrten von Grundstücken oder Parkplätzen (Destatis, 2013, S. 16), wobei hier ebenfalls nur Kreuzungen von Bedeutung sind. Die folgende Darstellung soll den Einbiegen/Kreuzen-Unfall veranschaulichen. Das „W“ in Abbildung 6 symbolisiert jeweils die wartepflichtige Seite:

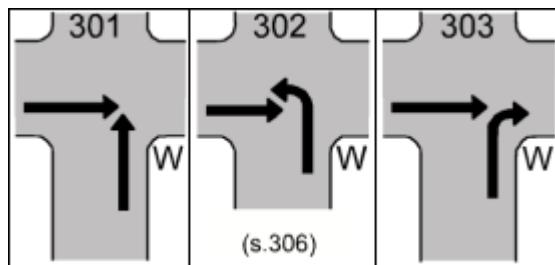


Abbildung 6: Unfalltypen 301-303 (GDV, 2014)

Die Originaldefinition des Statistischen Bundesamtes lautet: „*Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem vorfahrtsberechtigten Fahrzeug an Kreuzungen [...].*“ (aus: Destatis, 2013, S. 16).

Die Unfalltypen in Abbildung 6 zeigen unter anderem die typischsten Unfalltypen der Einbiegen/Kreuzen-Unfälle, welche im Allgemeinen als erstes mit dem Begriff „Kreuzungsunfall“ in Verbindung gebracht werden. Dabei gibt es unterschiedliche Varianten, die im UNKA in dessen feinen Unterschieden voneinander einzeln aufgeführt sind. Ergänzend zu Abbildung 6 sind die weiteren Unfalltypen zunächst in den gleichen Situationen wie in Abbildung 6 gezeigt, nur mit dem Vorfahrtsberechtigten von rechts kommend (siehe Abbildung 7).

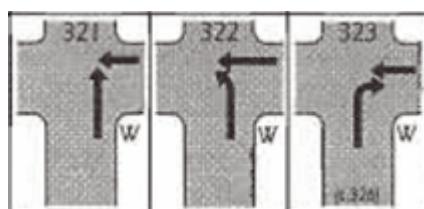


Abbildung 7: Unfalltypen 321-323 (GDV, 1998, S. 13)

Diese Unfalltypen beziehen sich ebenso auf Radfahrer. Wenn speziell ein Radfahrer der Vorfahrtsberechtigte ist, gibt es dafür im UNKA gesonderte Unfalltypen. Diese werden in Abbildung 8 gezeigt, wobei das „R“ jeweils den Radfahrer kennzeichnet.

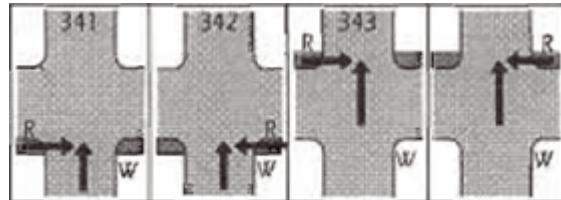


Abbildung 8: Unfalltypen 341-344 (GDV, 1998, S. 13)

Darüber hinaus kann es zu Konflikten zwischen abbiegenden und einbiegenden Verkehrsteilnehmern, ähnlich wie die oben aufgeführten Abbiege-Unfalltypen mit der UNKA-Nr. 251 und 252 (siehe Abbildung 5) geben. Im UNKA sind diesbezüglich die Unfalltypen 306 und 326:

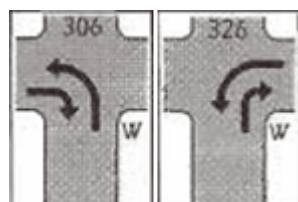


Abbildung 9:
Unfalltypen 306 und 326
(GDV, 1998, S. 13)

Hier kommt es durch Schneiden oder zu weites Einfahren in Fahrspuren anderer Verkehrsteilnehmer zu Konflikten. Laut der folgenden Abbildung kommen diese Unfalltypen aber eher selten vor.

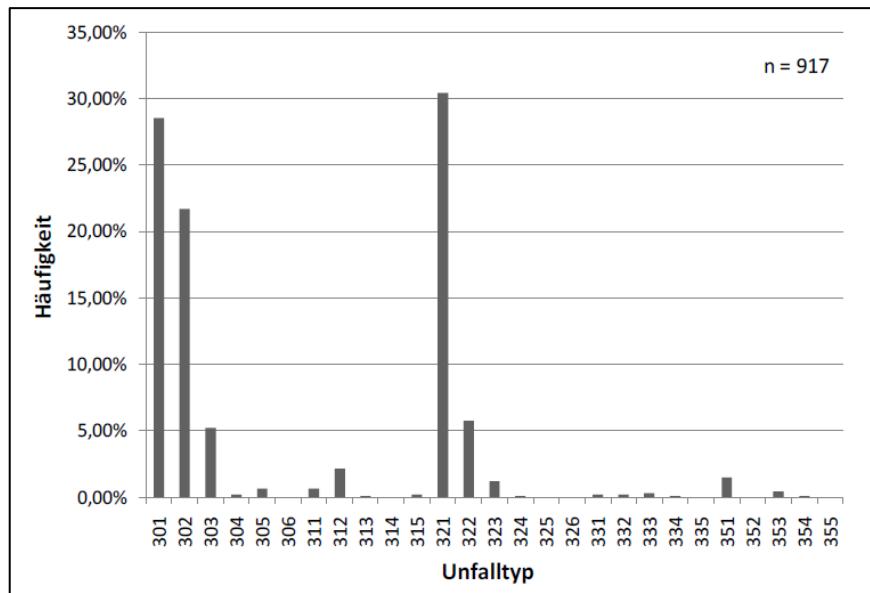


Abbildung 10: Unfallhäufigkeit der Einbiegen/Kreuzen-Unfälle in Abhängigkeit vom Unfalltyp im Jahr 2005 (Mages, 2008, S. 15)

Die Unfalltypen 301, 302, 303 (siehe Abbildung 6), 321 und 322 (siehe Abbildung 7) treten am Häufigsten auf und machen zusammen etwa 93% aller Einbiegen/Kreuzen-Unfälle aus.

Konflikte mit Fußgängern zählen nicht zu der Kategorie Einbiegen/Kreuzen. Dafür gibt es die fußgängerspezifische Kategorie der Überschreiten-Unfalltypen. Diese werden nachstehend behandelt.

Überschreiten-Unfall:

Diese Unfalltypen-Kategorie bezieht sich ausschließlich auf Konflikte zwischen Fahrzeugen und Fußgängern, die die Fahrbahn überschreiten. Dabei muss der Fußgänger nicht zwingend angefahren worden sein. Ging der Fußgänger längs zur Fahrtrichtung oder ist das Fahrzeug abgebogen, spricht man nicht vom Überschreiten-Unfall (Destatis, 2013, S. 16).

Dieser Unfalltyp bezieht sich nicht nur auf den Kreuzungsbereich, sondern auch auf Konflikte auf der Strecke. Da hier nur die kreuzungsrelevanten Unfalltypen von Bedeutung sind, wird in Abbildung 11 zur Veranschaulichung aus dem Kreuzungsbereich gezeigt, welches die Unfalltypen mit den UNKA-Nummern 431 und 451 sind.

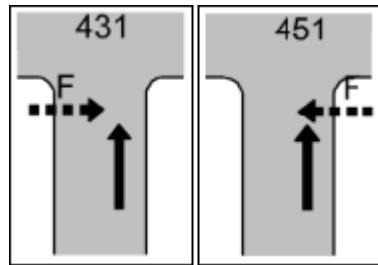
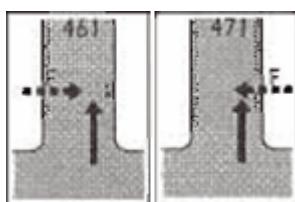


Abbildung 11: Unfalltypen 431 und 451 (GDV, 2014)

Im Anschluss die Originaldefinition des statistischen Bundesamtes: „*Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Fahrzeug und einem Fußgänger auf der Fahrbahn, sofern dieser nicht in Längsrichtung ging und sofern das Fahrzeug nicht abgebogen ist. Dies gilt auch, wenn der Fußgänger nicht angefahren wurde.* [...].“ (aus: Destatis, 2013, S. 16)

Im UNKA wird bei den kreuzungsrelevanten Unfalltypen differenziert in Konflikte vor der Kreuzung und nach der Kreuzung. Außerdem wird jeweils in von rechts oder von links kommenden Fußgängern und in Konflikte ohne und mit Sichtbehinderung unterschieden. Die Unfalltypen 431 und 451 in Abbildung 11 zeigten bereits die Konflikte vor einer Kreuzung ohne Sichtbehinderung. Die nachfolgende Abbildung 12 zeigt analog dazu die Konfliktbeispiele nach einer Kreuzung.



**Abbildung 12:
Unfalltypen 461 und 471
(GDV, 1998, S. 15)**

Im Anschluss werden in Abbildung 13 einige Beispiele von Überschreitungs-Unfalltypen mit Sichtbehinderung gezeigt.

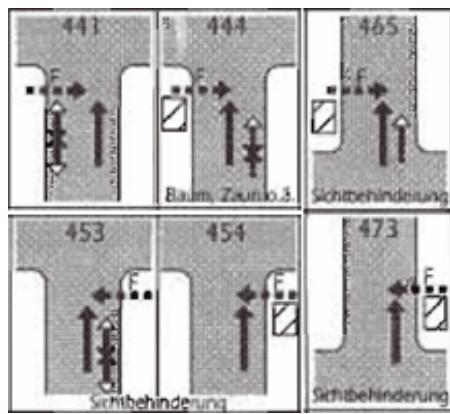


Abbildung 13: verschiedene Überschreiten-Unfalltypen mit Sichtbehinderung (GDV, 1998, S. 15)

Die durchgestrichenen Pfeile stellen haltende bzw. parkende Fahrzeuge und die schraffierten Quadrate Bäume, Zäune oder Ähnliches dar. Es kommt zum Unfall, weil der Fahrer des Fahrzeugs durch Sichtbehinderung den Fußgänger nicht erkennt, bzw. der Fußgänger durch Sichtbehinderung das herannahende Fahrzeug nicht sieht.

Tabelle 2 zeigt die Häufigkeit einiger Unfalltypen von 220 erfassten Überschreiten-Unfällen in Braunschweig, wobei die Unfalltypen 401, 411 und 421 aufgrund ihres geringen Vorkommens vernachlässigbar sind.

	401	411	421	431	441	451	461	471
Anzahl	50	19	77	8	8	23	12	9
Prozent	0,3	0,1	0,4	0	0	0,1	0,1	0
Prozent leicht Verletzter	1,2	0,4	2,5	0,3	0,2	0,7	0,4	0,4
Anzahl schwer Verletzter	4,4	2,2	5,5	0,3	0,8	0,8	1,1	0,3

Tabelle 2: Häufigkeiten verschiedener Überschreiten-Unfalltypen in Braunschweig 2009-2011 (Staubach, 2012, S. 5)

Außer diesen und den anderen bereits oben aufgeführten Konflikten gibt es noch eine Reihe zusätzlicher Unfalltypen, die nicht weiter diskutiert werden sollen, da sie erstens eher selten auftreten und zweitens außerhalb der Zielsetzung dieser Arbeit liegen. Zusammenfassend geschehen häufig folgende Konflikte im Kreuzungsbereich, auf die sich diese Bachelorarbeit im weiteren Verlauf fokussiert.

1. Links Abbiegen, wobei ein Konflikt mit dem entgegenkommenden Verkehr entsteht
2. Links oder rechts Abbiegen, wobei ein Konflikt mit den querenden Fußgängern oder Radfahrern auf der Straße, in die eingebogen wird, entsteht
3. Abbiegen mit mehreren parallelen Fahrspuren, wobei Verkehrsteilnehmer die Fahrspur nicht einhalten, bzw. in andere Fahrspuren einfahren
4. Queren der Kreuzung, wobei Konflikte durch kreuzende oder einbiegende Fahrzeuge und Radfahrer entstehen
5. Queren der Kreuzung, wobei Konflikte durch überschreitende Fußgänger entstehen

Schon allein die präsentierten Unfalltypen in diesem Unterkapitel zeigen die Komplexität der Situationen, die im Kreuzungsbereich herrschen können. Nun stellt sich die Frage, was genau die Gründe und Auslöser für diese Konflikte sind. Dieses Thema wird im anschließenden Unterkapitel behandelt.

2.2 Konflikte/Probleme an Kreuzungen

Im Kapitel 2.1 wurden verschiedene typische Konflikte im Kreuzungsbereich aufgezeigt. Wie es zu diesen Problemen und Konflikten kommt, soll im Folgenden geklärt werden. Dazu werden zunächst die Grundlagen der Verkehrssicherheitsforschung kurz erläutert.

Verkehrssicherheit war sehr früh ein Thema in der Geschichte des Automobils. Schon 1919 beschäftigte sich, womöglich erstmals, der schwedische Ingenieur Chr. Sylwan konkret mit diesem Thema und schrieb darüber einen Artikel für ein Industrie-Magazin. Unter anderem notierte er, dass jeder Verkehrsteilnehmer ein psychophysisches Umfeld mit sich trägt, welches die Bewegungsbedürfnisse und den Raum für die sichere Fortbewegung abbildet. Die nachfolgende Abbildung 14 zeigt Sylwans Theorie zur Umfeldpsychologie verschiedener Verkehrsteilnehmer an einer Kreuzung.

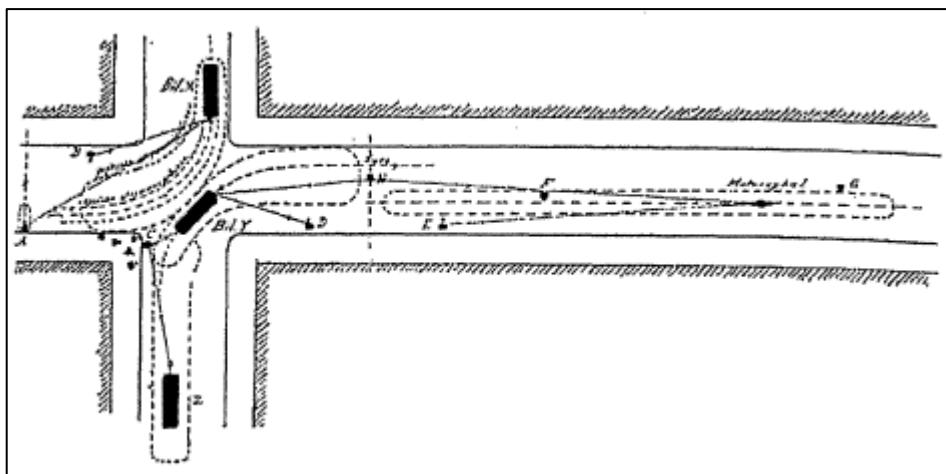


Abbildung 14: Frühe Aufzeichnung psychophysischer Umfelder
(Sylwan, 1919, S. 360)

Das Thema der Umfeldpsychologie wurde ebenfalls von James J. Gibson und Laurence E. Crooks aufgegriffen. Laut Gibson und Crooks (1938) gibt es ein Feld des sicheren Fahrens, das den Bereich der möglichen Pfade, die ein Auto ungehindert nehmen kann, abbildet und somit die sichere Fortbewegungszone eines Fahrzeugs darstellt. Wie sich so ein Feld zusammensetzt und definiert, wird im Folgenden erläutert.

Zunächst wird das Feld nur von der Straße begrenzt und erstreckt sich in eine unbestimmte Länge. Weiterhin wird dieses Feld von vielen Faktoren beeinflusst und begrenzt. Gibson und Crooks definieren es als positive und negative Wertigkeiten, die die Grenzen des Feldes erweitern oder verengen. Das Feld selbst hat eine positive Wertigkeit und wird durch negative Wertigkeiten, wie sämtliche Hindernisse oder auch Objekte, die kein Hindernis darstellen, aber von

der Fahraufgabe ablenken (z.B. ein Hot-Dog-Wagen), geformt. So begrenzen frontale Hindernisse, wie andere Fahrzeuge, Polizisten oder Bremsleuchten, das Feld vorwiegend in der Tiefe. Die Breite des Feldes wird von seitlichen Einflüssen, wie Bordsteinen, Gräben, Wänden, geparkten Autos, Fußgängern oder Fahrbahnmarkierungen, begrenzt. Folgernd bildet sich in der Draufsicht ein zungenartiges Feld auf der Straße ab, das im Fahrer selbst verankert ist und sich ständig mit der Fortbewegung des Fahrzeugs mit bewegt. Dabei wird es vom Straßenverlauf und -geschehen und den oben genannten Einflüssen geprägt (Gibson & Crooks, 1938, S. 454–456). Abbildung 15 zeigt eine Situation mit einem zungenartigen Feld in der Draufsicht.

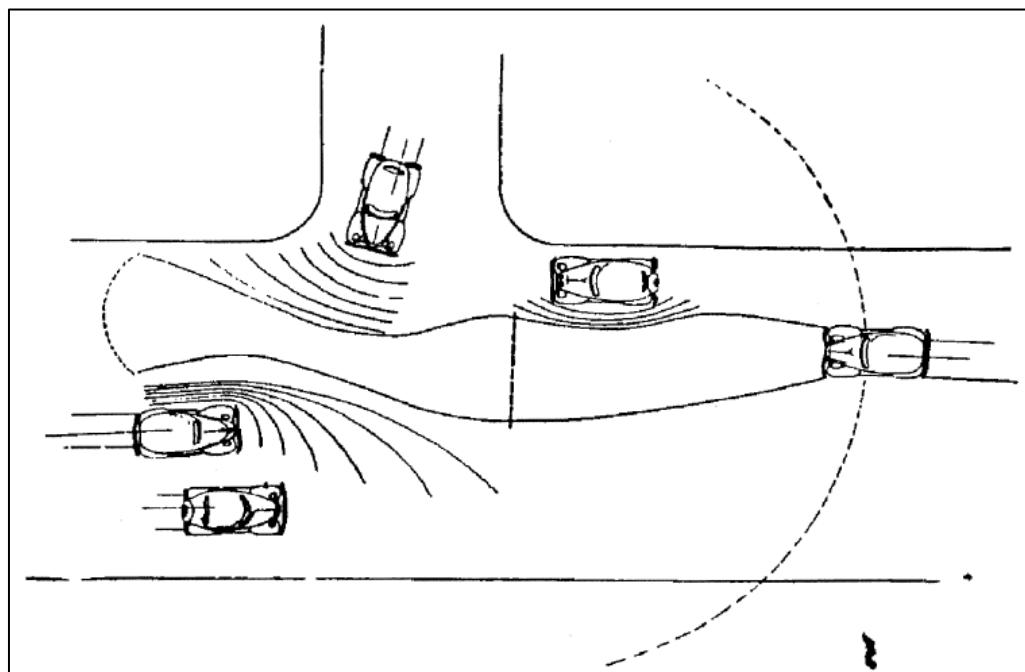


Abbildung 15: Bereich des sicheren Fahrens (Gibson & Crooks, 1938, S.455)

Das Feld im Bild zeigt den Bereich, in dem das Auto sicher geführt werden kann. Außerdem ist zu sehen, wie das Feld von anderen Fahrzeugen negativ beeinflusst wird.

Vor allem an Kreuzungen kann das Feld des sicheren Fahrens durch verschiedene Faktoren stark beeinflusst werden. Das Sichtfeld des Fahrers spielt dabei die wichtigste Rolle. Wird beispielsweise die Einsicht einer Kreuzung von Häuserwänden oder ähnlichen Objekten am Straßenrand verdeckt, entstehen tote Winkel in den Querstraßen. Der Fahrer kann die sichere Querung der Kreuzung

erst bei genügender Sicht auf die Querstraßen beurteilen. Entsprechend wird das Feld des sicheren Fahrens durch diese negativen Wertigkeiten begrenzt (Gibson & Crooks, 1938, S. 465). Gibson und Crooks (1938) haben dies in Abbildung 16 dargestellt.

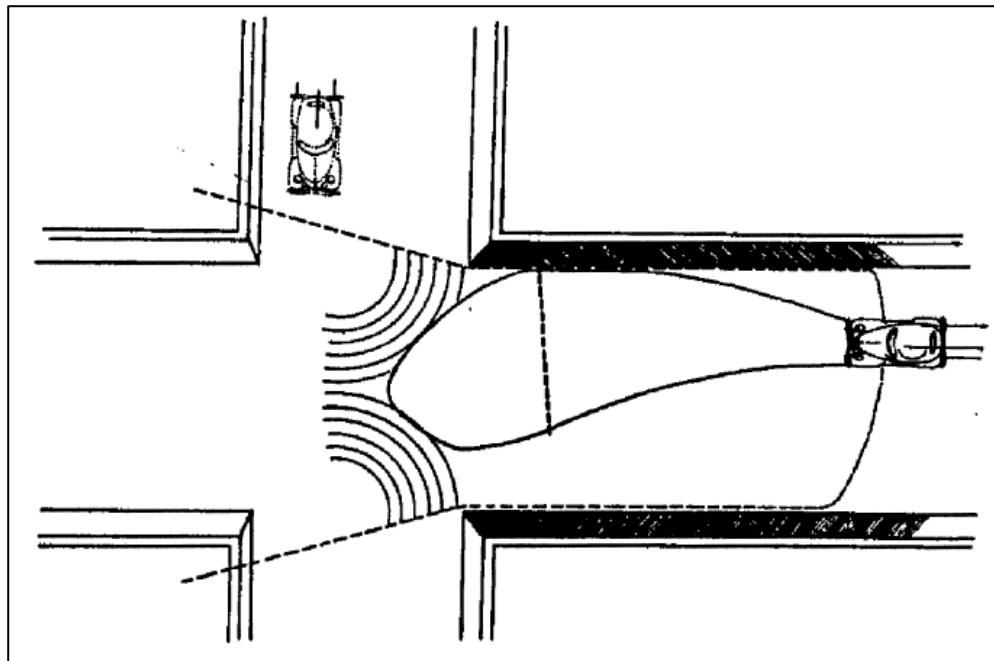


Abbildung 16: Feld des sicheren Fahrens an einer Kreuzung mit Sichtbehinderung (Gibson & Crooks, 1938, S. 466)

Durch die Kenntnisse über die positiven und negativen Wertigkeiten auf einer Strecke und der weiteren oben genannten Definitionen eines Feldes des sicheren Fahrens, lassen sich die möglichen Handlungen für einen Fahrer in verschiedenen Situationen ableiten. Dadurch wird es möglich, über die Fahrweise eines Fahrers hinaus, die Alternativen für einen Fahrer und die Steuerung eines Fahrzeugs vorherzusagen. Die Erkenntnisse von Gibson und Crooks (1938), wie auch die Aufzeichnungen von Sylwan (1919), dienen somit als erste psychologische Modelle der Fahrzeugführung. Dies ist die Grundlage für die Entwicklung von Assistenzsystemen in der Bahnführungsebene.

Heutzutage existieren bereits die unterschiedlichsten Fahrzeugführungs-Modelle auf psychologischer und technischer Ebene, da in den letzten 50 Jahren immer intensiver in diesen Gebieten geforscht wurde (Lindberg, 2012, S. 5). Die Theorien der psychophysischen Umfelder, bzw. Felder des sicheren Fahrens sind auch

heute noch von großer Bedeutung und wurden weiterentwickelt. So definieren Bellet, Mayenobe, Bornard, Gruyer und Claverie zum Beispiel die sogenannten „Envelope-Zones“. Die Envelope-Zonen ähneln den Ideen von Gibson & Crooks (1938) und Sylwan (1919), wurden aber um einige Aspekte erweitert. Envelope-Zonen zeigen um ein Fahrzeug herum den Sicherheitsbereich an, unterschieden in drei verschiedene Gefahrenzonen, die sichere Zone, die bedrohliche Zone und die gefährliche Zone. Sie zeigen dabei den Bereich, in den kein anderer Verkehrsteilnehmer eindringen sollte. Ist dies der Fall, reagiert der Fahrer normalerweise bereits selbst und leitet eine Bremsung ein oder konzentriert sich voll auf die folgenden Handlungen des eingedrungenen Verkehrsteilnehmers. Das folgende Bild zeigt, wie sich die drei Zonen in einer Simulation um ein Fahrzeug hüllen (Bellet, Mayenobe, Bornard, Gruyer & Claverie, 2012, S. 1491).

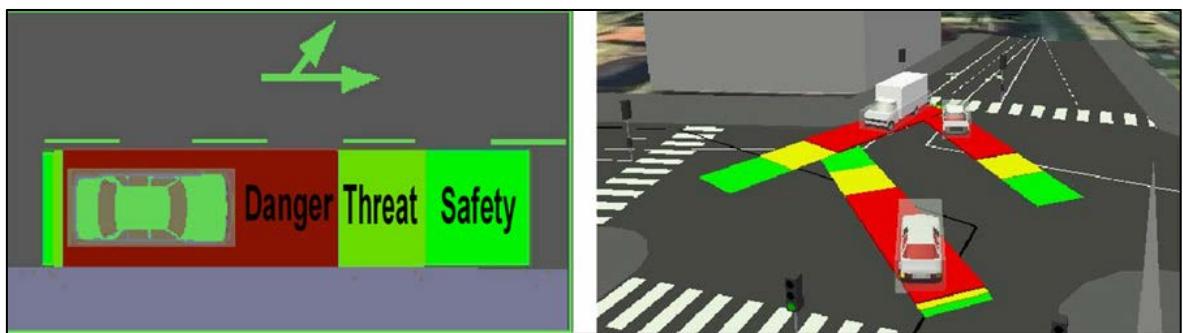


Abbildung 17: Envelope-Zonen (Bellet et al., 2012, S. 1491)

Die Envelope-Zonen sind Relativzonen, da ihre Größe von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs abhängt. Je schneller das Fahrzeug, desto weiter sich die Zonen aus (Bellet et al., 2012, S. 1491). Wenn die genauen Definitionen der Zonen bekannt sind, können diese in FAS zur Regulierung und Überprüfung des Abstands benutzt werden (Bellet et al., 2012, S. 1498). Envelope-Zonen bieten Ansätze und Lösungen für Kreuzungsassistenzkonzepte, um Fahrer zu warnen, wenn ein anderes Fahrzeug oder Objekt in die Sicherheitszonen des eigenen Fahrzeugs eindringt.

Die Grafiken aus Abbildung 17 sind Teil des kognitiven Fahrermodells „COSMODRIVE“, welches von Bellet et al. (2012) zur besseren Simulation von Fahr- und Fehlerverhalten entwickelt wurde (Bellet et al., 2012, S. 1488).

Diese Fahrermodelle beinhalten auch die Einteilung von verschiedenen Fahrsituationen bzw. Fahraufgaben in einzelne Phasen, in denen auf einen Fahrer verschiedene Einflüsse wirken und Entscheidungen getroffen werden müssen. Links Abbiegen auf einer Kreuzung ist beispielsweise die Fahrsituation, für die ein Fahrer die meiste Konzentration leisten muss (Lord, Smiley & Haroun, S. 3). Hier muss der Fahrer viele einzelne Teilaufgaben (Phasen) bewältigen, um die vielen verschiedenen Möglichkeiten von Unfalltypen zu vermeiden. Bellet et al. (2012) unterteilt dabei im Modell (zu sehen in Abbildung 18) vier Hauptphasen und vier Unterphasen, welche jeweils eine Teilaufgabe des Linksabbiegevorgangs darstellen.

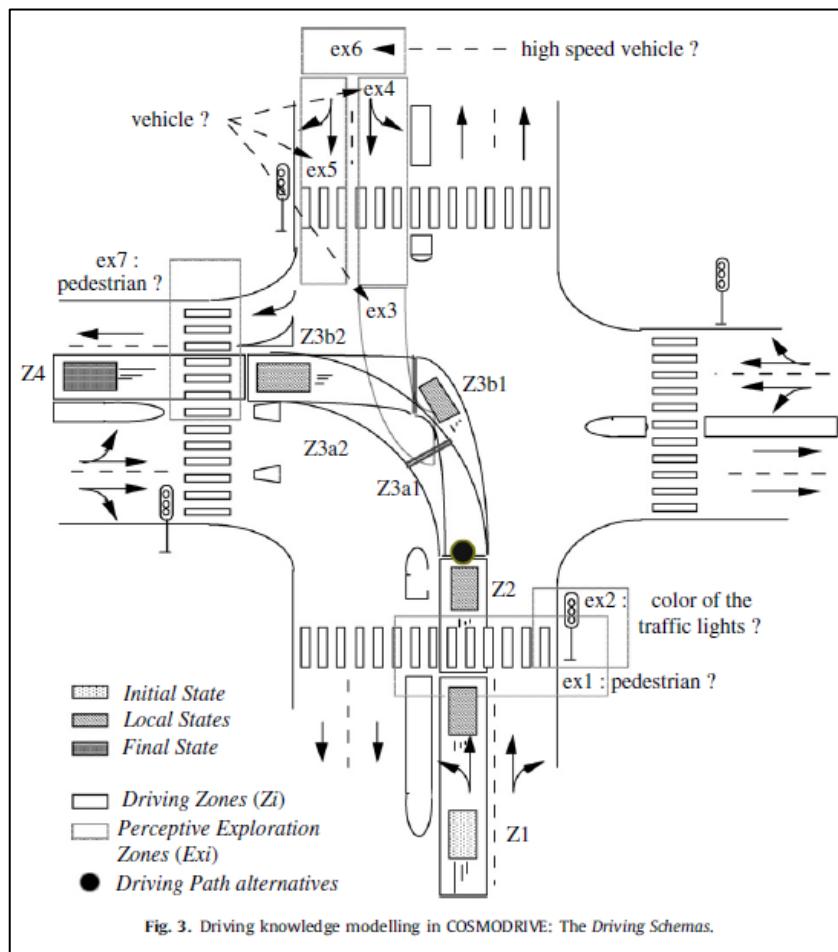


Abbildung 18: Phasenmodell des Linksabbiegevorgangs von Bellet (Bellet et al., 2012, S. 1491)

Zu sehen sind die Phasen Z1 bis Z4, welche jeweils zu bestimmten Unfalltypen führen können. Die Beschriftungen ex1 bis ex7 markieren die Einflüsse, bzw. Hindernisse, auf die ein Fahrer in den einzelnen Phasen achten muss. Jede

Phase bietet somit zu zuordnende Unfallpotentiale. Nähert sich in Phase Z1 beispielsweise ein Fahrzeug der Kreuzung an, besteht hier ein erstes Unfallpotential, da das Fahrzeug auf andere stehende Fahrzeuge auffahren könnte. Des Weiteren muss der Fahrer für die nächste Phase Z2, zum Einfahren in die Kreuzung, feststellen, ob ein Fußgänger die Fußgängerfurt überschreitet und ob die Lichtsignalanlage (LSA) „Fahrt“ zeigt. Dabei kann wiederum ein Konflikt mit überschreitenden Fußgängern entstehen (Unfalltypen 431 und 451 im UNKA). Ebenso geht es in den folgenden Phasen weiter. Phase Z3 hat ein sehr hohes Unfallpotential, da sich hier die Fahrwege verschiedener Verkehrsströme mehrfach überschneiden. Es kann zum Konflikt mit kreuzendem Verkehr (UNKA-Nr. 302, 306 und 322) und entgegenkommenden Verkehr (UNKA-Nr. 202 und 211) kommen. Phase Z4 bietet zuletzt Unfallpotential mit querenden Fußgängern auf der Straße, in die eingebogen wird (UNKA-Nr. 221-224).

Phasenmodelle existieren jedoch nicht nur von Bellet et al. (2012). Frühere Ansätze lieferten beispielsweise Gstalter & Fastenmeier (2010). Allerdings besteht deren Modellierung aus einer Unterteilung in mehrere Phasen. Abbildung 19 zeigt dieses Modell.

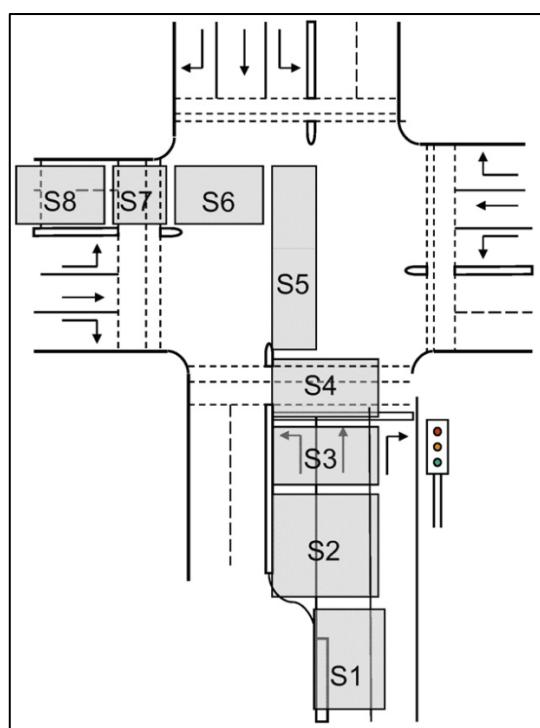


Abbildung 19: Phasenmodell des Linkssabbiegevorgangs von Fastenmeier (Gstalter & Fastenmeier, 2010, S. 227)

Auch hier ist jede Phase auf verschiedene Unfalltypen bezogen. Mit Hilfe solcher Modelle können in Simulationsfahrten, die die Handlungen der Probandenfahrer in den einzelnen Phasen beobachten und aufzeichnen, anschließend Fehlverhalten von Fahrern identifiziert und abgegrenzt werden (Gstalter & Fastenmeier, 2010, S. 228).

Im Fahrerexperiment des Projekts OptiSiLK (**O**ptimierung der Verkehrssicherheit und -leistung an **K**reuzungen verschiedener Verkehre) des DLR werden unter anderem auch Phasenmodelle verwendet. Im Rahmen des Experiments wird zudem auch der Rechtsabbiegevorgang in Phasen modelliert. Die Erläuterung des Experiments folgt in Kapitel 3.3.

Im Folgenden sollen nun die Ursachen der verschiedenen Kreuzungskonflikte im Einzelnen geklärt werden. Dabei wird unterschieden in Ursachen, die dem menschlichen Verhalten zu Grunde liegen und in Infrastruktur- und technisch bedingte Ursachen. Zunächst werden Letztere behandelt.

2.2.1 Einfluss der Infrastruktur

Die Ursachen für die in Kapitel 2.1 *Unfalltypen an Kreuzungen* aufgeführten Konflikte an Kreuzungen können vielseitig sein und sollen hier geklärt werden. Unter anderem spielen infrastrukturelle Gegebenheiten und Umweltfaktoren dabei eine Rolle. Diese lassen sich in viele einzelne Einflussfaktoren differenzieren, die jeweils Unfallursache sein können.

Der laut Statistik typische Querverkehrsunfall auf einer Kreuzung (ermittelt durch vermehrt auftretende Einflussfaktoren), ereignet sich bei Tageslicht und keinem Niederschlag auf einer 4-armigen, rechtwinkligen Kreuzung, mit jeweils einem Fahrstreifen pro Fahrtrichtung (Mages, 2008, S. 18). Die Bauform einer Kreuzung kann Grund für ein vermehrtes Unfallaufkommen sein. Speziell für Fußgänger sind T-Kreuzungen generell gefährlicher (Lord et al., S. 1). Kreuzungen treten in verschiedensten Geometrien auf, je nach den territorialen Umständen zu denen eine Kreuzung gebaut wurde. Typischerweise versteht man unter einer Kreuzung einen X-förmigen Knotenpunkt mit vier rechtwinklig zueinanderstehenden

Einmündungen. Doch kann eine Kreuzung auch mehrere Einmündungen bzw. Arme haben, mindestens jedoch drei (T-Kreuzung). Ebenso kann eine Kreuzung unterschiedliche Winkel zwischen den Kreuzungsarmen zueinander haben. Des Weiteren ist die Ausstattung einer Kreuzung mit Rad- und Fußgängerüberwegen möglich. Letztlich gibt es Kreuzungen in verschiedenen Größen, bzw. mit einer unterschiedlichen Anzahl an Fahrstreifen. Dabei können die verschiedenen Einmündungen einer Kreuzung die gleiche Anzahl an Fahrstreifen, oder jede Einmündung unterschiedlich viele Fahrstreifen aufweisen. Beispielsweise hat der vorfahrtsberechtigte Verkehr meist mehrere Fahrstreifen als der Verkehr auf den Wartepflichtigen Einmündungen. Sind mehrere Fahrstreifen auf einem Kreuzungsarm vorhanden, führen diese normalerweise in unterschiedliche Fahrtrichtungen.

Zusammengefasst sind die Anzahl der Kreuzungsarme, die Winkel zwischen den Kreuzungsarmen, vorhandene Rad- und Fußgängerfurten und die Anzahl der Fahrstreifen an jeder Kreuzung anders ausgeprägt. Insbesondere ortsunkundige Fahrer müssen sich immer wieder erneut einstellen und erhöhte Aufmerksamkeit ist gefragt. Außerdem entscheiden diese Kreuzungsgeometrien an jeder einzelnen Kreuzung, wie gut eine Kreuzung einsehbar, bzw. überschaubar ist.

Häufig werden andere Verkehrsteilnehmer oder Hindernisse durch Sichtbehinderungen an einer Kreuzung übersehen (Mages, 2008, S. 17-18). Statische Faktoren, welche die Sicht auf eine Kreuzung einschränken, können Gebäude, Zäune, Vegetation oder ähnliche Objekte am Straßenrand einer Kreuzung sein. Speziell Bäume oder Büsche könnten die vorfahrtsregelnden Schilder verdecken. Häufiger jedoch schränken geparkte Fahrzeuge am Straßenrand vor einer Kreuzung die Sicht auf die Kreuzung, bzw. auf vorfahrtsregelnde Zeichen ein (Hoppe, Zobel & Schlag, 2007, S. 121-137 zitiert nach Mages, 2008, S. 17). Beispielsweise verdeckt ein LKW ein STOP-Schild, wodurch andere Verkehrsteilnehmer das Zeichen nicht wahrnehmen und ungebremst auf die Kreuzung fahren. Auch innerhalb des Fahrzeugs könnten im ungünstigen Fall die A-Säulen die Sicht des Fahrers auf Passanten oder Ähnliches verdecken.

Unvorteilhafte Umwelteinflüsse können ebenfalls die Fahraufgabe negativ beeinflussen und Unfallursache sein (Hubacher & Allenbach, 2004, S. 745; Larsen & Kines, 2002 zitiert nach Vollrath, Briest, Drewes, Schießl & Becker, 2006, S. 15). Beispielsweise könnte die tief stehende Sonne den Wartepflichtigen, links abbiegenden Fahrer blenden oder ein heftiger Niederschlag die Sichtverhältnisse des Fahrers so einschränken, dass ein entgegenkommendes Fahrzeug oder überschreitender Fußgänger übersehen wird. Zudem verschlechtern sich bei Niederschlag, Schnee und Eis die Straßenverhältnisse, wodurch sich Bremswege verlängern.

Auch die Abhängigkeit der Tageszeit bzw. der Lichtverhältnisse spielen eine Rolle beim Unfallpotential. Bei Dunkelheit können unbeleuchtete Objekte schlechter wahrgenommen werden, dadurch könnte es zum Beispiel beim Abbiegen zu Konflikten mit überschreitenden Fußgängern kommen. Ebenfalls ist die Gefahr groß, von entgegenkommenden Fahrzeugen mit zu hoch eingestellten Abblendlichtern geblendet zu werden. Es könnte durch die eingeschränkte Sicht zum Konflikt mit Hindernissen oder anderen Verkehrsteilnehmern kommen. Schlechte Sichtverhältnisse, bzw. Sichtbehinderungen aller Art können also Unfallursache sein.

„Schlechte Sicht“ kann außerdem durch verringerte Aufmerksamkeit des Fahrers begründet sein. Speziell an einer großen, komplexen Kreuzung muss der Fahrer sehr viele Informationen und Reize gleichzeitig schnell und korrekt verarbeiten (Breitlinger, 2010). Je größer eine Kreuzung ist, desto vielfältiger können auch die Unfallursachen sein. Mit der Größe der Kreuzung nehmen die Aktionsbereiche, auf die sich ein Fahrer konzentrieren muss (Kreuzungsarme, Fahrstreifen, Lichtzeichen, Fußgängerfurten und andere sich fortbewegende Verkehrsteilnehmer) zu. Zudem geschehen die meisten Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle an innerörtlichen Kreuzungen (Mages, 2008, S. 17).

Die Kreuzung Hagenring/Brucknerstraße in Braunschweig ist ein Beispiel für solch ein komplexes Kreuzungslayout mit vielen Fahrspuren und vielseitigen LSA-Phasen, zu sehen in Abbildung 20. Gleichzeitig ist diese Kreuzung eine Forschungsanlage des DLR, diesbezüglich später in Kapitel 3.3 beschrieben.

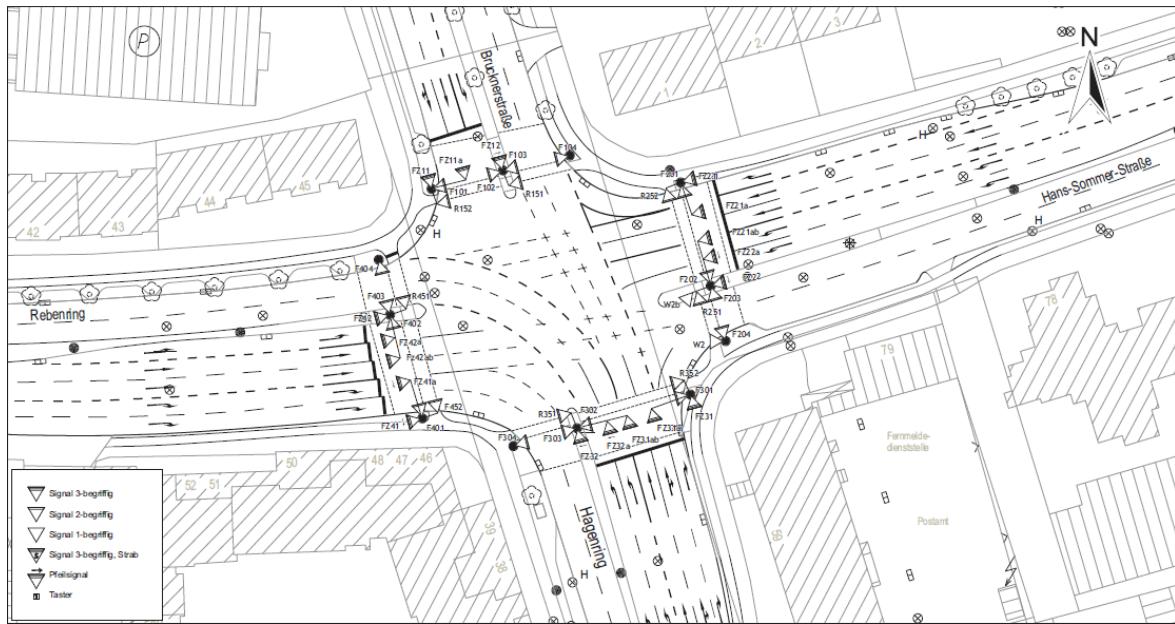


Abbildung 20: Beispiel für ein komplexes Kreuzungslayout (BELLIS, 2008)

Diese Kreuzung hat durch jeweils fünf Fahrstreifen auf jeder Einmündung, außer der nördlichen, ein recht kompliziertes Layout. Die LSA-Phasen sind ebenfalls sehr komplex ausgebildet. Alle Fahrtrichtungen haben ihr eigenes Lichtzeichen und können sich somit nicht gleichzeitig kreuzen. Mit Ausnahme der Linksabbieger auf der westlichen Einmündung. Diese haben kein eigenes Lichtzeichen, sondern unterliegen denselben Lichtzeichen wie dem der Geradeausfahrer, wodurch beim Linksabbiegen auf den Gegenverkehr der östlichen Relation geachtet werden muss. Außerdem bekommen die Rechtsabbieger der nördlichen und östlichen Einmündungen, sowie die Linksabbieger der westlichen Einmündung gleichzeitig ein grünes Signal mit den Rad- und Fußgängerfurten auf den Straßen, in die eingebogen wird (eigene Beobachtung). Diese LSA-Regelungen könnten damit ein zusätzliches Unfallpotential bilden, wobei sich unterschiedliche Regelungsstrategien von LSA eher sekundär auf das Unfallrisiko auswirken. Wetter-, Tageszeit-, und Sichtumstände, sowie menschliche Faktoren wie Alter, Geschlecht und Verhalten sind eher von Bedeutung (Hubacher & Allenbach, 2004, S. 745).

Generell haben die Vorfahrtsregelungen an einer Kreuzung unterschiedlichen Einfluss auf das Unfallpotential (Mages, 2008, S. 18-19). Möglich ist die Regelung durch *Rechts-vor-Links* (RVL), im Normalfall an kleinen Kreuzungen mit jeweils

einem Fahrstreifen pro Fahrtrichtung zu finden. Weiter gibt es schildgeregelte Kreuzungen, welche typischerweise ebenfalls an kleineren Kreuzungen auftreten. Zuletzt wird die Vorfahrt auch, vor allem an größeren Kreuzungen, mit mehreren Fahrstreifen, durch LSA geregelt. Jede Vorfahrtsregelung stellt unterschiedliche Aufgaben an den Fahrer. Bei schildgeregelten Kreuzungen sind die Anforderungen an die Informationsverarbeitung durch das zusätzliche Beachten von anderen Verkehrsteilnehmern (vorausfahrender Verkehr, Querverkehr, Fußgänger, Radfahrer) besonders hoch (Fastenmeier, 1995, S. 76 zitiert nach Mages, 2008, S. 19). Problematisch kann der Wechsel der LSA-Phasen, vor allem von Grün über Gelb auf Rot, sein. Durch unterschiedliche Einschätzungen von Fahrmöglichkeiten der Fahrer bei angezeigtem Gelblicht, kann es zu Auffahrunfällen kommen, wenn ein Fahrer nicht mit dem Halt eines vorausfahrenden Fahrzeugs rechnet. Der Bereich vor einer LSA, in welchem Fahrer unterschiedliche Entscheidungen zum Anhalten oder Weiterfahren treffen können, nennt sich *Dilemma-Zone* (Allos & Al-Hadithi., 1992, S. 312).

LSA-Schaltungen werden meist komplexer, wenn eine Kreuzung größer ist bzw. mehrere Einmündungen und Fahrstreifen in unterschiedliche Fahrtrichtungen hat. Mit Zunahme der Anzahl verschiedener Lichtzeichen wird dem Fahrer erhöhte Aufmerksamkeit abverlangt, seine Konzentrationsfähigkeit könnte an die Grenzen stoßen und das Unfallrisiko steigt (Hubacher & Allenbach, 2004, S. 746).

Sämtliche Situationen, welche die Konzentration, bzw. Informationsverarbeitung und Aufmerksamkeit des Fahrers angehen, sind den menschlichen Einflüssen zugeordnet. Solche und andere Auslöser für Unfälle, welche menschlichen Einflüssen unterliegen, werden im nächsten Unterkapitel behandelt.

Zuletzt kann es vorkommen, dass die Technik des Wartepflichtigen Fahrzeugs versagt und es beispielsweise durch eine defekte Bremse zum Unfall kommt. Hierauf hätten aber selbst FAS keinen Einfluss (Vollrath et al., 2006, S. 11).

2.2.2 Einfluss des Menschen

Menschliche Einflüsse spielen bei Unfallhergängen eine ganz wichtige Rolle, wobei die Ursachen für Fehlhandlungen, ebenso wie die infrastrukturellen Faktoren, vielseitig sein können (Vollrath et al., 2006, S. 7). Die wichtigsten menschlichen Faktoren, welche Unfallursache sein können, werden im Folgenden geklärt. Als erstes wird kurz auf die Charakteristika des Gesamtverkehrs eingegangen, der aus verschiedenen Verkehrsteilnehmern, mit jeweils unterschiedlichen Einflüssen besteht.

Zunächst gibt es die Fußgänger, die im Normalfall immer neben der Fahrbahn auf einem Fußweg geführt werden. Im Kreuzungsbereich gibt es für die Überquerungsmöglichkeit an großen Kreuzungen meistens markierte Fußgängerfurten, welche die Straße kreuzen. Die Bewegungseigenschaften von Fußgängern sind sehr unterschiedlich. Das Bewegungstempo beispielsweise ist eher langsam und liegt, abhängig vom Alter, zwischen ca. 0,97 und 1,35 Metern pro Sekunde (m/s) (Lord et al., S. 5).

Hinzu kommt der Radverkehr. Oft auf eigenen Fahrbahnen geführt, müssen auch Radfahrer Straßen kreuzen. Auf weniger befahrenen Straßen, bzw. kleineren Nebenstraßen, fahren Radfahrer häufig auf der Fahrbahn der KFZ, da dort meist keine Radfahrbahnen vorhanden sind. In solchen Bereichen kreuzt ein Radfahrer wie die KFZ eine Kreuzung. An Relationen mit viel Verkehr, beispielsweise an Hauptstraßen im Stadtbereich, gibt es meistens für den Radverkehr eigene Radwege. Diese führen oft neben, oder auf den Fußgängerfurten über eine Kreuzung. Radfahrer sind, wie auch Motorradfahrer, durch keine Karosserie umhüllt wie der Fahrer im Auto. Sie stellen in einem Konflikt mit dem Autoverkehr immer die schwächere Position der Beteiligten dar. Zudem ist es die Verkehrsgruppe neben den Autos und Fußgängern, welche die meisten Beinahe-Unfälle hat (Wood, Lacherez, Marszalek & King, 2009, S. 772). Fußgänger sind allen äußeren Einflüssen noch schutzloser ausgesetzt und können im Konflikt mit KFZ schnell schwere Verletzungen erleiden oder gar getötet werden (Lord et al., S. 5). Somit sind sie die schwächsten Verkehrsteilnehmer gegenüber dem Rad- und KFZ-Verkehr.

Bei dieser Arbeit steht der Verkehr der KFZ im Vordergrund. Zum Führen eines Fahrzeugs sind viele Fähigkeiten gefragt, wie die korrekte Suche visueller

Eindrücke, Wahrnehmung und Urteilsvermögen. Ein Fahrer muss ständig neue Informationen verarbeiten, auf verschiedene Anforderungen seiner Umwelt reagieren und sachgerechte Entscheidungen treffen um das Unfallrisiko zu minimieren (Lord et al., S. 2). Dabei sollten Autofahrer als stärkstes Glied der Verkehrsteilnehmer besonders aufmerksam sein. Dennoch gilt für jeden Verkehrsteilnehmer, sei es Fußgänger, Radfahrer oder Autofahrer, aufmerksam auf seine Umwelt zu achten und gegenseitig Rücksicht auf andere Verkehrsteilnehmer zu nehmen, um Unfälle zu vermeiden. Jedoch scheint dies nicht immer zu funktionieren und es passieren Handlungsfehler, die zu Unfällen führen. Im Weiteren sollen nun die bedeutendsten Unfallursachen, ausgelöst durch menschliche Einflüsse, im Einzelnen geklärt werden.

Wie im vorigen Kapitel bereits dargestellt, ist eine der häufigsten Unfallursachen im Kreuzungsbereich, dass andere Verkehrsteilnehmer nicht wahrgenommen werden. Ursache dafür ist Sichtverdeckung oder eine verminderte Wahrnehmung des Fahrers, ausgelöst durch menschliche bzw. psychologische Faktoren, wie beispielsweise der bereits genannte Konzentrationsnachlass durch Informationsüberflutung.

Nach Troutbeck (1986) sind etwa 50% der Kreuzungsunfälle dadurch ausgelöst worden, dass ein Fahrer zwar in die richtige Richtung geschaut hat, aber trotzdem vorfahrtsberechtigte Verkehrsteilnehmer nicht oder zu spät wahrgenommen hat (Troutbeck, 1986, S. 272-286, zitiert nach Mages, 2008, S. 17). Durch eine fehlerhafte Repräsentation der Situation werden andere Verkehrsteilnehmer nicht antizipiert und somit übersehen, obwohl sie gut sichtbar sind. Das ist das Ergebnis einer Studie von Malaterre (1990), in der 72 Unfälle mit 115 Fahrern detailliert untersucht wurden. Das Ergebnis verdeutlicht, dass vor allem im Bereich der Wahrnehmung (zu 37%) und Informationsverarbeitung (zu 33%) Fehler passieren (Malaterre, 1990, zitiert nach Vollrath, 2006, S. 16-17). Ähnliches zeigen auch Ergebnisse aus Nordamerika mit Unaufmerksamkeit des Fahrers (29%) und Fehlinterpretation (34%) als Hauptunfallursachen beim Einbiegen/Kreuzen (Lloyd, Bittner & Pierowicz, 1996, zitiert nach Mages, 2008, S. 17). Auch aktuellere Untersuchungen zeigen noch die gleichen Werte (Fürstenberg, Hopstock, Obojski, 2007, S. 10, zitiert nach Mages, 2008, S. 17).

Abbildung 21 zeigt beispielhaft den Unfallmechanismus dieser beiden Fehlerkategorien.

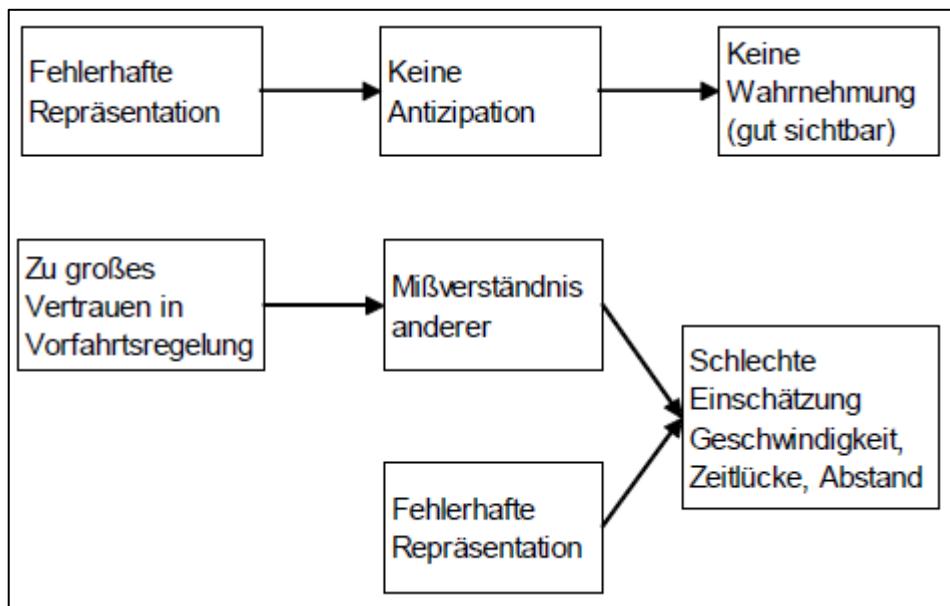


Abbildung 21: Zwei Beispiele für einen Unfallmechanismus, übersetzt aus Malaterre, 1990, S. 1413 (Vollrath, 2006, S. 17)

Das Missverständnis des Verhaltens Anderer und ein vorweggenommenes, zu großes Vertrauen in die Vorfahrtsregelung führen zu Fehleinschätzungen der Geschwindigkeit und des Abstands anderer sich näherrnder Verkehrsteilnehmer (Malaterre, 1990, zitiert nach Vollrath, 2006, S. 17). Auch Tijerina, Chovan, Pierowicz und Hendricks (1994) bestätigen Fehleinschätzungen von Geschwindigkeit und Abstand anderer als häufige Unfallursache im Querverkehr (Tijerina et al., 1994, zitiert nach Mages, 2008, S. 19). Speziell beim links Abbiegen können diese Faktoren beim entgegenkommenden Verkehrsteilnehmer falsch eingeschätzt werden (Larsen et al., 2002, zitiert nach Vollrath, 2006, S. 15).

Geringeren, aber dennoch relevanten Einfluss haben die Fehler in den Kategorien Handlungsplanung, bzw. Entscheidung (zu 16%), beispielsweise die Missachtung vorfahrtsregelnder Zeichen wie *Vorfahrt achten* (VA), eines STOP-Schilds oder einer rot zeigenden LSA, und Ausführung (zu 14%), in der zum Beispiel die Umsetzung einer Fahraufgabe in einzelne Handlungsschritte nicht gelingt (Malaterre, 1990, zitiert nach Vollrath, 2006, S. 16). Weitere verschiedene Ursachen fanden sich bei einer Untersuchung von Linksabbieger-Unfällen, die

sich wahrscheinlich auch auf andere Kreuzungsunfälle übertragen lassen. Erstens zählt überhöhte Geschwindigkeit des Wartepflichtigen als Unfallursache (Larsen et al., 2002, zitiert nach Vollrath, 2006, S. 15), zweitens könnte eine zu hohe Annäherungsgeschwindigkeit des Entgegenkommenden vom Wartepflichtigen nicht erkannt werden und zum Unfall führen, da er sich nur auf Erfahrungswerte in Bezug zum Abstand des Anderen verlässt.

Außerdem spielt der Zustand des Fahrers eine entscheidende Rolle. Beispielsweise könnte einerseits der Fahrer unter Faktoren wie starker Müdigkeit leiden, wodurch er seine Umwelt weniger wahrnehmen könnte. Andererseits könnte der Fahrer zum Beispiel emotional erregt sein. Es könnten Alkohol und Medikamente den Zustand des Fahrers beeinflussen (Larsen et al., 2002, zitiert nach Vollrath, 2006, S. 15). Diese Mittel wirken sich meist negativ auf alle körperlichen und psychischen Faktoren aus, so ist beispielsweise durch Alkoholeinfluss das Reaktionsvermögen eines Menschen eingeschränkt und die Risikobereitschaft erhöht (Bartsch, 2009, S. 1-2).

Unerfahrenheit ist ebenfalls eine Unfallursache, da sämtliche Situationen an einer Kreuzung noch nicht eingeschätzt werden könnten und somit Handlungsfehler resultieren (Larsen et al., 2002, zitiert nach Vollrath, 2006, S. 16). Zuletzt können falsche Erwartungen über Ampelschaltungen zu Unfällen führen. Es könnte der Wartepflichtige denken, dass die LSA des entgegenkommenden Verkehrs bereits rot zeigt und anfahren, obwohl ihm noch Fahrzeuge entgegen kommen.

Auch das Alter des Fahrers ist von Bedeutung. Ältere Fahrer sorgen für ein erhöhtes Unfallrisiko beim Einbiegen/Kreuzen (Vollrath, 2007, S. 139-150, zitiert nach Mages, 2008, S. 18), aufgrund höherer Beanspruchung an Kreuzungen (Grubb, 1986, S. 251-255, zitiert nach Mages, 2008, S. 18). Dabei könnten ältere Fahrer besonders stark von einem Kreuzungsassistenzsystem profitieren (Vollrath, 2007, S. 139-150, zitiert nach Mages, 2008, S. 18).

Zusammengefasst lassen sich vier bedeutende Einflussfaktoren kategorisieren (Unaufmerksamkeit, Fehlinterpretation, Fehlplanung/-entscheidung, Fehlausführung), die als menschliche Fehlhandlungen zu Unfällen führen können. Eine ähnliche Kategorisierung von Unfallursachen bietet ein Modell von Vollrath et

al. (2006) in Anlehnung an Rasmussen (1982), welches Fehlhandlungen in einem Handlungsablauf darstellt (siehe Abbildung 22).

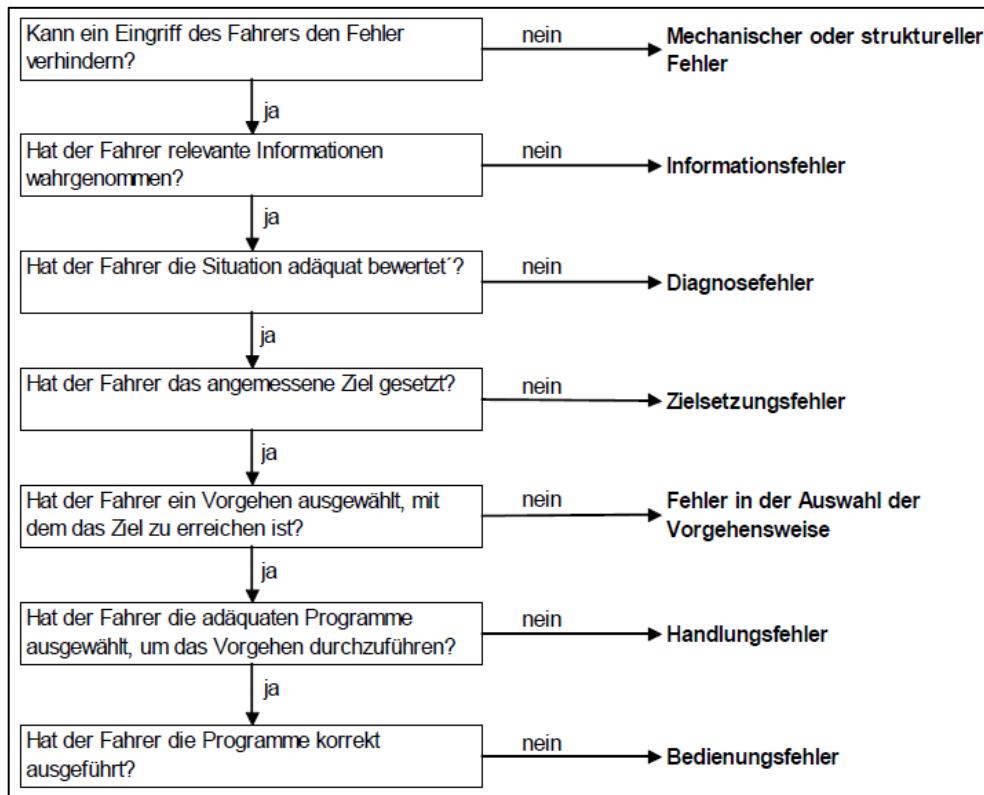


Abbildung 22: Modell des Handlungsablaufs bei Fehlern in Anlehnung an Rasmussen, 1982 (Vollrath et al., 2006, S. 11)

Mit dieser Top-Down-Auflistung kann die Fehlhandlung eines jeden Unfalls durch die Fragestellung identifiziert werden. Wenn beispielsweise ein Radfahrer übersehen wird, liegt ein Informationsfehler vor, da eine Information nicht richtig erfasst wurde. Vertauscht ein Fahrer Gas mit Bremse, liegt ein Bedienungsfehler vor, da die motorische Ausführung fehlerhaft war.

Abschließend lässt sich feststellen, dass die meisten Ursachen für einen Unfall auf die menschlichen Einflüsse zurückzuführen sind. Die infrastrukturellen Umstände gelten meist nur sekundär als Unfallursache, weil es ohne die menschlichen Faktoren gar nicht zum Unfall gekommen wäre. Die größten Einflussfaktoren, die an einer Kreuzung zum Unfall führen sind Sichtverdeckung, Unaufmerksamkeit und Fehlinterpretationen, welche sich als Hauptassistentenbedarf an Kreuzungsassistenten adressieren.

3 Aktueller Stand der Technik

Im vorigen Kapitel wurden die bedeutendsten Ursachen aufgedeckt, die im Kreuzungsbereich zu Unfällen führen können und gleichzeitig als Anforderungen an Kreuzungsassistenzsysteme gelten. Dieses Kapitel befasst sich mit den bereits existierenden Kreuzungsassistenzsystemen und -konzepten. Ob diese den Anforderungen gerecht werden, um oben genannte Unfälle zu vermeiden, soll hier geklärt werden. Dabei werden zunächst die Kreuzungsassistenz und ihre Komponenten im Allgemeinen beschrieben und anschließend verschiedene Systeme und Konzepte, sowie dessen Aufbau und Funktionen präsentiert. Dazu wird die vorhandene, bzw. benötigte Technik und Sensorik dargestellt und auf die Hersteller und Betreiber der Systeme eingegangen.

3.1 Kreuzungsassistenz

Das Ziel von Kreuzungsassistenten ist, die Fahraufgaben im Bereich einer Kreuzung sicherer zu machen, bzw. das Unfallrisiko zu reduzieren. Um dieses Ziel zu erreichen, muss bekannt sein, welche Anforderungen solche Systeme erfüllen sollten oder müssen. Kapitel 2.2 hat die Informationsvielfalt verdeutlicht, die auf einen Fahrer während einer Kreuzungsdurchfahrt wirkt. Deshalb sollen Kreuzungsassistenten den Fahrer allgemein dabei unterstützen, Situationen richtig zu interpretieren und potenzielle Kollisionen zu vermeiden.

Neben der Informationsvielfalt, wurden auch die vielen Möglichkeiten von kritischen Situationen, zu denen es im Kreuzungsbereich kommen kann, dargestellt. Aufgrund dessen sind auch die Aufgaben eines Kreuzungsassistenten, bezogen auf die unterschiedlichen Verkehrssituationen, vielseitig. Ein Kreuzungsassistent kann aus mehreren unterschiedlichen Komponenten bestehen, die jeweils eine oder mehrere der möglichen Konfliktsituationen assistieren. Eine Unterteilung kann zum Beispiel in die unterschiedlichen Fahraufgaben und vorliegenden Vorfahrtsregelungen erfolgen, die im Kreuzungsbereich möglich sind. Eine jeweilige Assistenz wird dabei in Überfahren einer Kreuzung (Einbiegen-/Kreuzenassistent), Rechts- oder Linksabbiegen, Erkennung von STOP-Schildern oder die Interaktion mit LSA unterschieden. Jede Komponente eines Kreuzungsassistenten sollte dabei generelle Anforderungen

erfüllen. Tabelle 3 fasst die Anforderungen verschiedener Bereiche an einen Einbiege-/Kreuzenassistenten zusammen, die sich auch auf andere Assistenten beziehen lassen.

Gliederung	Art der Forderung	Anforderungen	
		Bezeichnung	Werte, Daten, Erläuterungen
Zuverlässigkeit	FF	Die Systemfunktionalität steht in typischen Unfallszenarien (Unfalltypen 301, 321, 302, 303 und 322, bei Tageslicht und Trockenheit an X-förmigen, einspurigen Kreuzungen...) zur Verfügung.	
	WF	Die Systemfunktionalität steht in vom Fahrer als schwierig empfundenen Situationen (Sichtbehinderung, hohe Komplexität von Kreuzungen) zur Verfügung	
	WF	Die Systemfunktionalität ist für alle potentiellen Kollisionspartner gewährleistet.	
	FF	Die Quote der Fehlwarnungen ist so gering, dass sie nicht zu einer Störung des Fahrers führt.	
HMI	FF	Systemeingriffe sind durch den Fahrer übersteuerbar.	
	FF	Berechtigte Systemeingriffe stören den Fahrer nicht.	
Gefahrenerkennung	FF	Die Kollisionsgefahr wird mit einer Mindestgenauigkeit bestimmt, die der Gefahrenwahrnehmung des Fahrers entspricht. Der vom Fahrer als kritisch eingestufte Bereich steht für Maßnahmen zur Verfügung.	Fahrer schätzt Lücken im QV < 4,3s als kritisch ein.
	FF	Die Unfallszenarien „ausbleibende Reaktion auf die Kreuzung bzw. Vorfahrtsregelung“ und „fehlerhafte Reaktion auf vorfahrtberechtigten Querverkehr“ werden rechtzeitig erkannt und vermieden.	
Sensorik	WF	Es werden keine aufwändigen, kostenintensiven Sensoren eigens zur Kreuzungsassistenz eingesetzt.	

Tabelle 3: Anforderungen an einen Einbiege-/Kreuzenassistent (Mages, 2008, S. 21)

„FF“ steht für *Festforderung* und bezieht sich auf die Anforderungen, die ohne Einschränkungen erfüllt sein müssen. „WF“ gekennzeichnete Anforderungen sind *Wunschforderungen*, die nach Möglichkeit erfüllt werden sollten.

Wie die Tabelle verdeutlicht, hat ein Kreuzungsassistent eine gewisse Zuverlässigkeit zu erfüllen. Dabei muss der jeweilige Assistent zunächst für die am häufigsten auftretenden Unfallszenarien der jeweiligen Fahraufgabe funktionieren. Beim Einbiegen-/Kreuzenassistent gilt dies für die am häufigsten auftretenden Unfalltypen mit der UNKA-Nr. 301 und 321 (Mages, 2008, S. 14).

Weiter sollte ein System an den Stellen funktionieren, an denen Situationen vom Fahrer als besonders schwierig eingestuft werden. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn eine große, komplexe Kreuzung oder Sichtbehinderung vorliegt (Vollrath, Brünger-Koch, Schießl, Waibel, 2004, S. 98ff, zitiert nach Mages, 2008, S. 9). Außerdem wäre wünschenswert, dass die Funktion eines Assistenten für alle potentiellen Konfliktpartner in einer Situation gewährleistet ist. Teilweise hat diese Anforderung zur Bedingung, dass alle Beteiligten mit einem entsprechenden System ausgerüstet sein müssen, wenn das System beispielsweise auf einer Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation basiert (Mages, 2008, S. 9).

Wichtig ist besonders auch die Akzeptanz eines Kreuzungsassistenten durch den Fahrer. Warnhinweise dürften zum Beispiel nicht als störend empfunden werden. Ein häufiges Auftreten von Fehlwarnungen (sog. False Positives) lässt das Vertrauen in die Zuverlässigkeit eines Systems sinken (Berndt, Wender, Dietmayer, 2007, S. 387- 398 zitiert nach Mages, 2008, S. 7) und würde den Fahrer dazu verleiten im Fall einer echten Bedrohung, die Warnungen zu ignorieren (Dingus, McGehee, Manakkal, 1997, S. 216-229, zitiert nach Mages, 2008, S. 7). Deshalb ist eine möglichst komplette Vermeidung von Fehlwarnungen, durch eine geschickte Wahl von Warnstrategien, anzustreben. Allerdings ist aufgrund unsicherer Parameter, die solche Warnsysteme prognostizieren müssen, eine vollständige Vermeidung von Fehlwarnungen niemals möglich (Zabyshny & Ragland, 2003, zitiert nach Mages, 2008, S. 7).

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle (gängiger ist der englische Begriff Human-Machine-Interface (HMI)) ist ein wichtiges Thema zur Erfüllung bestimmter Anforderungen, damit der Fahrer die Assistenzsysteme akzeptiert. Dazu sollten schon im Entwicklungsprozess solcher Systeme, die menschlichen Bedürfnisse als Fahrer immer im Vordergrund stehen und ergonomische Regeln berücksichtigt werden (Plavsic, 2010, S. 10). Die wichtigsten Faktoren sind dabei wie folgt: der Fahrer muss jegliche Systemeingriffe übersteuern können, um jederzeit die volle Kontrolle über das Fahrzeug zu haben (Kompass & Werner, 2006, zitiert nach Plavsic, 2010, S. 11). Außerdem darf ein berechtigter Systemeingriff den Fahrer keineswegs in seiner Entscheidungsfreiheit einschränken oder zusätzlich belasten. Warnelemente müssen dafür mit der Verkehrssituation vereinbar sein,

damit auch die Aufmerksamkeit des Fahrers nicht reduziert wird (Mages, 2008, S. 8). Zusätzlich sollte das System so ausgelegt werden, dass der Fahrer auf einem mittleren Aktivitätslevel gehalten wird, um einer Ermüdung oder Überlastung entgegenzuwirken. Dafür sollte die Funktionalität der Assistenz leicht und intuitiv zu erlernen sein (Kompass & Werner, 2006, zitiert nach Plavsic, 2010, S. 11).

Ebenfalls sollte die Informations- bzw. Warnungsausgabe solcher Assistenten so ausgelegt werden, dass ein Fahrer nicht zu höherer Risikofreudigkeit verleitet wird. Es wurde belegt, dass Fahrer zu einem gleichbleibenden Risikolevel neigen, weshalb Merkmale, die dem Fahrer Sicherheit vermitteln, den Fahrer zum riskanteren Fahren bringen (Hoyos, Fastenmeier, Gstalter, 1995, S. 11-29, zitiert nach Mages, 2008, S. 8).

Abbildung 23 zeigt die Interaktionskanäle zwischen Fahrer und FAS, welche die möglichen Übermittlungsoptionen von Informationen und Warnungen für Kreuzungsassistenten darstellen.

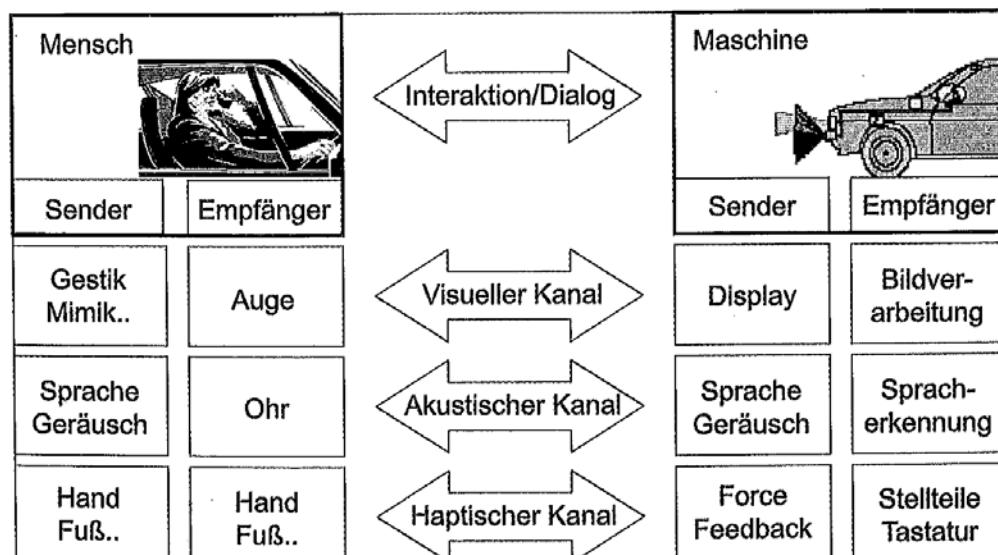


Abbildung 23: Interaktionskanäle zwischen Mensch und Maschine
(König, 2009, S. 35)

Bereitstellungen von Informationen oder Warnungen, vor allem über den visuellen Kanal, sind so auszurichten, dass der Fahrer sie schnell erfassen und verstehen kann und davon nicht negativ beeinflusst wird (Mages, 2008, S. 101).

Einen weiteren Anforderungsbereich stellt die Gefahrenerkennung und Sensorik dar. Die Gefahrenerkennung muss zunächst die, für die entsprechende Assistenz,

benötigten Informationen erfassen. Bei der Erfassung mit der entsprechenden Sensorik muss eine Mindestgenauigkeit erfüllt werden und zudem sollte die Erkennung der Empfindung für kritische Situationen des Fahrers entsprechen, um einerseits die Akzeptanz des Fahrers zu gewinnen und andererseits damit zusammenhängend, das sogenannte *Warndilemma* möglichst lange zu beherrschen (Mages, Hopstock & Klanner, 2009, S. 579f). Fährt beispielsweise ein Fahrzeug auf ein Hindernis zu, muss erkannt werden, ob der Fahrer selbstständig abbremsen wird, oder ob er gewarnt werden muss, um das Hindernis zu erkennen. Diese Erkennung muss noch zu einem Zeitpunkt erfolgen, bevor der Bremsweg (incl. der Reaktionszeit) zum Hindernis zu lang wäre (Meitinger et al., 2004, zitiert nach Mages, Winner & Hopstock, 2007, S. 5). Ungenaue Sensordaten, wie Geschwindigkeits- oder Positionsdaten, würden dabei die Erkennung unsicher machen (Mages et al., 2009, S. 580). Die folgende Grafik verdeutlicht diesen Zusammenhang.

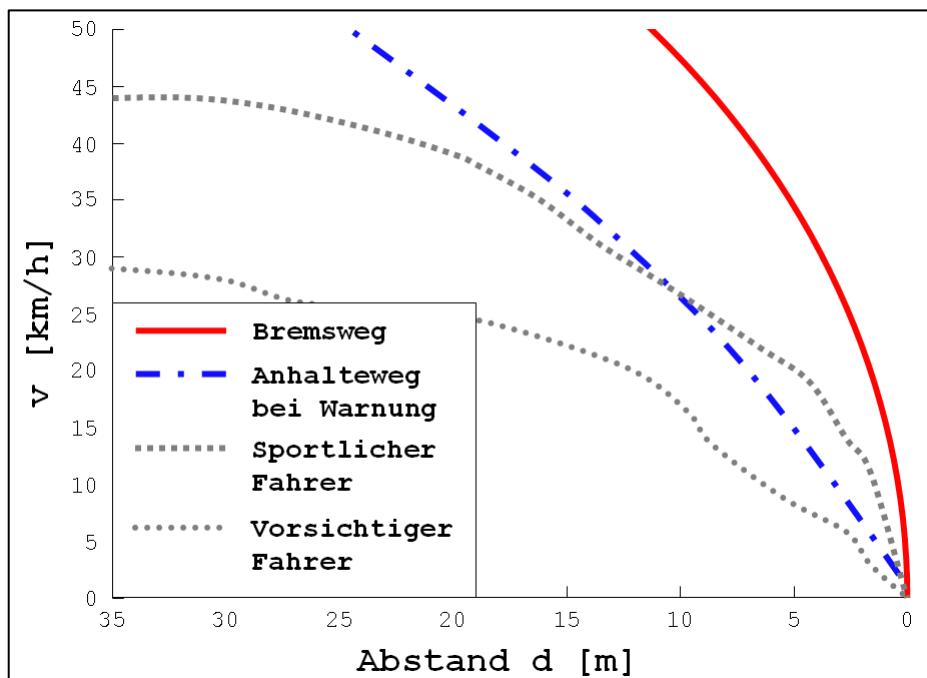


Abbildung 24: Vergleich von Fahrerverhalten und spätmöglichstem Warnpunkt (Mages et al., 2007, S. 6)

Die Grafik zeigt, wie sich die Kurve des spätmöglichsten Warnpunktes der Kurve des spätmöglichsten Bremspunktes annähert, je geringer die Geschwindigkeit und der Abstand werden. Das heißt, je geringer die Geschwindigkeit, desto höher die Anforderung an die Sensorgenaugkeit, um die Bewegung und Position eines

Fahrers genau zu bestimmen. Zudem sind die typischen Anhalte-Vorgänge Wartepflichtiger Fahrer an einer VA-Kreuzung, sowohl mit der Charakteristik eines eher vorsichtigen Fahrers, als auch der eines sportlichen Fahrers aufgezeigt. Ein eher vorsichtiger Fahrer kann relativ lange vor dem Hindernis gewarnt werden, wenn dieser nicht reagiert. Derselbe Warnungszeitpunkt wäre für einen sportlichen Fahrer, dem das Hindernis bewusst ist, unnötig. Das Warnsystem sollte also das Fahrverhalten mit berücksichtigen (Wilhelm, 2006, S. 553-562, zitiert nach Ovcharova, 2013, S. 14).

Die verbaute Sensorik für entsprechende Assistenten sollte aus der Serienherstellung stammen, um die Kosten für ein Gesamtsystem gering zu halten. Meist wird die individuelle Brauchbarkeit von Sicherheitssystemen unterschätzt mit dem Argument, dass Unfälle ausschließlich den Anderen passieren (Sömen, 1985, S. 89-112, zitiert nach Mages, 2008, S. 10). Dadurch sinkt folglich die Zahlungsbereitschaft für ein solches System.

Für die Entwicklung von Kreuzungsassistenten spielen über die zahlreich genannten Anforderungen an die Eigenschaften der Systemfunktionen hinaus, auch noch andere Einflussfaktoren eine Rolle, die für den Rahmen dieser Arbeit aber nachrangig sind. Dennoch werden diese Einflussfaktoren, die allgemein auf FAS zu beziehen sind, in Abbildung 25 zusammengefasst.

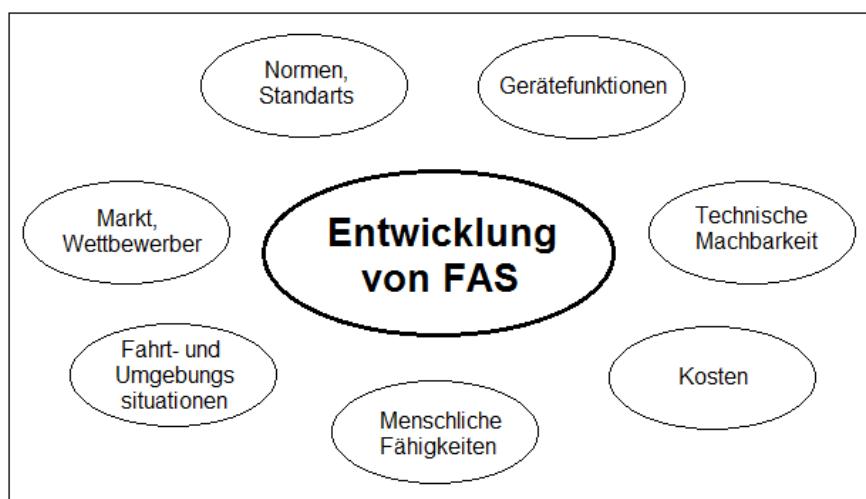


Abbildung 25: Einflussfaktoren bei der Entwicklung von FAS
(König, 2009, S. 35)

3.2 Systeme und Konzepte der Kreuzungsassistenz

In diesem Unterkapitel wird nun auf die bereits existierenden Systeme und Konzepte von Kreuzungsassistenten eingegangen. Dabei gelten Systeme als schon tatsächlich existierende Assistenten mit funktionierenden Komponenten und Konzepte als geplante bzw. nicht existierende Assistenten. Es werden jeweils die Funktionen einzelner Systeme, bzw. Konzepte beschrieben, wie diese in welchen Situationen assistieren und welche Technik und Sensorik dabei notwendig ist, oder bereits verwendet wird. Zudem werden, wenn bekannt, Hersteller und Betreiber genannt.

Im vorigen Unterkapitel wurde bereits eine Unterteilung von einzelnen Assistenzkomponenten eines Kreuzungsassistenten nach den verschiedenen Verkehrssituationen gemacht, die in diesem Unterkapitel weiter als Abgrenzung für verschiedene Systeme und Konzepte dient. Assistenten, die sich speziell auf LSA-geregelte Straßenkreuzungen beziehen, sollen dabei im Vordergrund stehen und detaillierter beschrieben werden. Zunächst wird jedoch ein Überblick auf Assistenten für schildgeregelte Kreuzungen gegeben.

3.2.1 STOP-Schild-Assistenz

Dieser Assistent hat die Aufgabe, den Fahrer vom versehentlichen Überfahren eines STOP-Schildes an einer Kreuzung abzuhalten. So ein System grenzt sich von anderen Assistenzansätzen durch die geringste Komplexität in Bezug auf die vorliegende Verkehrssituation ab. Beispielsweise liegt durch das STOP-Zeichen eine statische Form des Haltegebots vor, im Gegensatz zu den LSA-geregelten Kreuzungen, an denen sich das Haltegebot ständig zyklisch ändert. Der STOP-Schild-Assistent hat keine anderen Verkehrsteilnehmer zu beachten, da laut Straßenverkehrsordnung (StVO) das STOP-Zeichen bedeutet, dass jedes Fahrzeug an der Haltelinie halten und Vorfahrt gewähren muss. Häufig ist jedoch zu beobachten, dass viele Fahrer an STOP-Schildern nicht zum vollständigen Stillstand kommen. Oft wird bei geringem Querverkehr nur die Geschwindigkeit reduziert, um dann ohne Halt direkt die Kreuzung zu passieren. Die Schwierigkeit für einen Assistenten ist dabei die richtige Erkennung und Unterscheidung der Fahrerabsicht, also ob ein Fahrer vorsätzlich ohne Halt in die Kreuzung einfährt,

oder ob ein Fahrer ohne Absicht die Haltelinie überfährt. Letztere Situation müsste durch eine vorangehende Handlung des STOP-Schild-Assistenten verhindert werden (Mages et al., 2009, S. 573f). Geeignete Kriterien zur Erkenntnis der Fahrerabsicht stellen die Zustände der Bedienelemente Gaspedal und Bremspedal dar. Speziell das Lösen des Gaspedals und die Betätigung des Bremspedals geben Hinweise auf die Fahrerabsicht (Lloyd, Witherow & Pierowicz, 1997, S. 63-67, zitiert nach Mages, 2008, S. 31).

Um für einen aufmerksam und angemessen operierenden Fahrer keine unnötigen Systemeingriffe (Warndilemma) zu generieren, wird als Eingriffsstrategie eine Kombination aus Information und Warnung vorgeschlagen. Dies stellt einen guten Kompromiss zwischen erwartender Wirksamkeit und erforderlicher Erkennungssicherheit dar (Meitinger et al., 2004, zitiert nach Mages et al., 2009, S. 573).

Als HMI bzw. Anzeigeeinheit wird ein Head-Up-Displays (HUD) empfohlen, wobei die Informationen, bzw. Warnungen visuell für den Fahrer sichtbar in die Frontscheibe eingeblendet werden. Damit kann mit geringer Akkommodation sowohl die bedeutsame Umgebung, als auch die Assistenz wahrgenommen werden (Mages et al., 2009, S. 573). Zudem ziehen Fahrer die Informationsaufnahme über ein HUD, der eines Zentraldisplays im Armaturenbrett vor (Benmimoun & Suzuki, 2006, S. 967-988, zitiert nach Mages, 2008, S. 38). Das folgende Bild soll veranschaulichen, wie die Anzeige eines HUD in der Frontscheibe aussieht. In diesem Beispiel ist eine Querverkehrswarnung angezeigt, im Fall des STOP-Schild-Assistenten würde dort ein entsprechendes STOP-Schild-Symbol angezeigt werden.



Abbildung 26: Warnung im Head-Up-Display
(Klanner, Thoma & Winner, 2008, S. 9)

Die DaimlerChrysler AG forschte und entwickelte im Rahmen der Forschungsinitiative *Invent* an einem STOP-Schild-Assistenten (DaimlerChrysler AG, 2005). Die für diesen Assistenten benötigten Informationen der vorliegenden Vorfahrtsregelung und dem Abstand zur Haltelinie werden durch zwei schwarz-weiß-Kameras hinter der Frontscheibe des Fahrzeugs erfasst. Zusammen ergeben sie eine Stereokamera, mit der das System den Bereich vor dem Fahrzeug dreidimensional erfassen und praktisch räumliches Sehen erzeugen kann. Die dahinterstehende Software kann damit die Entferungen zu erfassten Objekten ermitteln (Franke, Rabe, Gehrig, Badino, Barth, 2008, S. 5). Zudem kann damit die achteckige Schilderform mit der Aufschrift „STOP“ erkannt werden. Bei drohender Missachtung eines STOP-Schildes erfolgt erst eine optische, dann eine akustische und letztlich eine haptische Warnung (DaimlerChrysler AG, 2005). Das folgende Bild zeigt die Anordnung der beiden Kameras hinter der Frontscheibe.



Abbildung 27: Stereokameras hinter der Frontscheibe (DaimlerChrysler AG, 2005)

Die Stereokamera wird bereits serienmäßig in der neuen Mercedes E-Klasse verbaut und garantiert bei einer Gesamtreichweite von 500m ein räumliches Sehen innerhalb 50m vor dem Fahrzeug. Das System erkennt also die Entfernung zu Hindernissen, wie stehenden Fahrzeugen oder sich bewegenden Fußgängern, und das Fahrzeug kann automatisch gebremst werden, falls eine Kollision droht. Mit Hilfe von zusätzlich verbauten Radarsensoren wird sogar ein Fahrzeugintelligenter Querverkehrsassistent möglich, welcher erstmals in der E-Klasse als *Kreuzungsassistent Plus* verbaut wurde. Dieser soll querenden Verkehr erkennen und den Fahrer beim Bremsen unterstützen (n-tv.de, 2013). Querverkehrsassistenten werden allerdings später ausführlich behandelt.

Eine weitere Möglichkeit, einen Fahrer vor einer drohenden STOP-Schild-Missachtung zu bewahren, bieten rein infrastrukturgebundene Systeme. Hierbei können Radarsensoren oder Induktionsschleifen vor einer entsprechenden Kreuzung Fahrzeuge erfassen, die sich mit einer unverhältnismäßig hohen Geschwindigkeit nähern. Ist dies der Fall können Warnelemente am Verkehrszeichen aktiviert werden, um den Fahrer auf die Vorfahrtsregelung aufmerksam zu machen (Frye, 2001, S. 41-46, zitiert nach Mages, 2008, S. 31). Die Funktionsprinzipien von Radar und Induktionsschleifen sollen kurz und stark vereinfacht im Folgenden beschrieben werden.

Radar ist die Abkürzung für *Radio Detection and Ranging*, das übersetzt Funkortung und –Abstandsmessung bedeutet. Ein Radargerät sendet über eine oder mehrere Antennen elektromagnetische Wellen aus, die an Objekten reflektieren und vom Radarsensor empfangen werden. Die Reflektion der Wellen ist unter anderem abhängig von der Geometrie und des Materials des Objekts. Aufgrund des empfangenen reflektierten Anteils und der Laufzeit einer Welle vom Radargerät und zurück, kann das Objekt klassifiziert, die Entfernung vom Radar zum Objekt und die Bewegung eines Objekts bestimmt werden. Dafür sorgen entsprechende Algorithmen in den verbauten Rechenmodulen eines Radargerätes. Die für die Fahrzeugtechnik entwickelten Radarsensoren senden gebündelte Wellen aus, welche unterschiedliche Reichweiten haben. Dabei liegt die maximale Reichweite um bis zu 250 Meter für eine gesicherte Objekterkennung (Winner, 2009, S. 123-171).

Das Funktionsprinzip von Induktionsschleifen ist relativ einfach. Ein im Boden eingelassener Draht fungiert als Induktivität eines hochfrequenten Schwingkreises. Der Schwingkreis kann durch metallische Objekte, wie beispielsweise die Karosserie eines Fahrzeugs, gestört werden, was eine Frequenzänderung zu Folge hat. Diese Frequenzänderung wird von einem Detektor, der an dem Draht angeschlossen ist, registriert und in ein Schaltsignal umgewandelt, wenn die Störung des Schwingkreises groß genug ist (Adam, 2011, S. 1).

Wird die Sicht auf das STOP-Schild verdeckt, sind allerdings beide vorgestellten Systemansätze ohne Funktion. Dem könnte durch einen sekundären Informationsbezug, der STOP-Schild-geregelten Einmündungen einer Kreuzung aus digitalen Kartendaten, entgegen gewirkt werden. Hierzu müssten die Daten allerdings vorher in entsprechende Karten ein gepflegt sein und zusätzlich müsste die Position und Bewegungsrichtung des Fahrzeugs ermittelt werden. Ein weiteres Problem tritt bei Änderungen der Verkehrsregelung auf, da in digitalen Karten diese Änderungen oft erst relativ spät nachgepflegt werden (Mages et al., 2009, S. 580). Es könnte dadurch bei nicht mehr STOP-Schild-geregelten Kreuzungen immer noch zu Warnungen kommen.

Dem STOP-Schild-Assistenten ähnelnde Systeme auf Basis von Kameraerfassung im Fahrzeug (DaimlerChrysler AG, 2005), sowie infrastrukturgebundenen Elementen (Frye, 2001, S. 41-46, zitiert nach Mages, 2008, S. 31; Pierowicz, Pirson & Yuhnke, 2003, zitiert nach Mages, 2008, S. 31; Bishop, 2005, S. 201, zitiert nach Mages, 2008, S. 31), existieren für die Assistenz an LSA gegen versehentliches Rotlichtüberfahren.

3.2.2 Ampelassistenz

Unter dieser Assistenz wird hier zunächst die Unterstützung des Fahrers beim Annähern an eine LSA-geregelte Kreuzung verstanden. Ziel ist es, den Fahrer vor einer Missachtung des Rotlichts zu bewahren, ähnlich den Grundaufgaben der STOP-Schild-Assistenz. DaimlerChrysler hat dafür eine Farbkamera, welche im folgenden Bild zu sehen ist.



Abbildung 28: Farbkamera zur Ampelerkennung hinter der Frontscheibe (DaimlerChrysler AG, 2005)

Da auch hier die Position zur Bestimmung des Abstands zur LSA erforderlich ist, wird bei dem Ansatz von Daimler eine Ortung des Fahrzeugs per DGPS (Differential Global Positioning System) durchgeführt. Zudem bezieht sich das System auf Daten aus einer digitalen Karte, um LSA-geregelte Kreuzungen zu lokalisieren. Die Eingriffsstrategie erfolgt analog zu der STOP-Schild-Assistenz von Daimler (DaimlerChrysler AG, 2005). Eine Anfahrt aus dem Stand an einer rot zeigenden LSA kann mit diesem System nicht verhindert werden, wenn die LSA nicht mehr im Blickfeld der Kamera ist.

Der Bereich der Ampelassistenz bietet noch weitere Möglichkeiten der unterstützenden Maßnahmen bezüglich der Verkehrssicherheit, aber auch des Verkehrsflusses. Da der Phasenwechsel von Grün auf Rot in Bezug auf Auffahrunfälle oft problematisch ist, gibt es dafür einige Ansätze. Infrastrukturbasiert, ohne zusätzliche Hilfsmittel, gibt es die Lösung zwischen der Grün- und Gelbphase eine weitere Phase hinzuzufügen. Dabei wird beispielsweise eine kurze Grün-Gelb-Anzeige, oder ein blinkendes Grünlicht geschaltet. Dieser Ansatz ist nicht neu, die Grün-Gelb-Lösung gab es unter anderem in der DDR, blinkende Grünphasen sind in einigen Ländern, wie z.B. Österreich, immer noch Standard. Kritisch zu sehen ist dabei eine verringerte Durchlassfähigkeit der Kreuzung (Mages et al., 2009, S. 574).

Eine weitere, recht einfach zu realisierende Lösung um Auffahrunfälle zu verringern ist, auf der Straße vor der LSA farbliche Markierungen oder einen Schriftzug aufzubringen, die den Bereich zeigen, in dem die LSA noch sicher überfahren werden kann, sobald die LSA Gelb zeigt. Ist dieser Bereich noch nicht erreicht, muss angehalten werden (Yan, Radwan, Guo, Richards, 2009). Abbildung 29 zeigt ein Beispiel mit einem warnenden Schriftzug auf der Fahrbahn. Die Bilder stammen aus einem Simulatorexperiment.



Abbildung 29: Fahrbahnmarkierung als LSA-Assistenz (Yan et al., 2009, S. 52)

Dieser Ansatz funktioniert nur mit einer festen Geschwindigkeit, denn eine höhere Ausgangsgeschwindigkeit würde z.B. den markierten Bereich vor der LSA verlängern. Damit diese Lösung auch zuverlässig funktioniert, muss ein Fahrer auch die für eine Markierung ausgelegte Geschwindigkeit einhalten (Yan et al.,

2009, S. 52). Solche Markierungen existieren beispielsweise in den USA (Mages et al., 2009, S. 574).

Ebenfalls in den USA verbreitet (auch in anderen Ländern wie z.B. Taiwan) ist der Einsatz von Sekundenanzeigen an den LSA, um Fahrern die Entscheidung *Durchfahren* oder *Anhalten* zu erleichtern. Eine ablaufende Sekundenanzeige weist auf den nächsten Phasenwechsel hin, dadurch kann sich ein Fahrer frühzeitig auf einen Phasenwechsel vorbereiten. Die Probleme von unnötigen Verzögerungen einiger Fahrer bei eintretender Gelbphase, sowie das Überfahren bei Rot, werden damit allerdings nicht beseitigt. Zudem stellen die Sekundenanzeigen in einem meist schon komplexen Umfeld einer LSA-Kreuzung, eine weitere Information dar, auf die sich ein Fahrer konzentrieren muss. Deshalb ist so eine Lösung eher kritisch anzusehen (Mages et al., 2009, S. 574).

Weitaus sinnvoller für die assistierte Annäherung an eine LSA-geregelte Kreuzung und für die Verhinderung von Rotlichtverstößen sind Systeme auf Kommunikationsbasis zwischen Fahrzeug und Infrastruktur. Es sind neben ähnlichen Informationen, wie sie beim STOP-Schild-Assistenten benötigt werden, z.B. Position der Haltelinie, noch weitere Daten der LSA erforderlich, wie Phasenzustand und Information über den nächsten Phasenwechsel, um assistierende Aussagen für den Fahrer zu generieren. Diese Daten müssen in das Fahrzeug übermittelt werden, zum Beispiel mithilfe der sogenannten Car-to-Infrastructure (C2I) Technologie (Mages et al., 2009, S. 574). C2I beschreibt eine Datenübertragungsmöglichkeit, die zwischen Fahrzeugen und infrastrukturellen Elementen agiert, oft auch Vehicle-to-Infrastructure (V2I) genannt (Priemer, 2010, S. 21). Durch die Übertragung der Daten in das Fahrzeug, lassen sich auch die Warnmethoden besser an den Fahrer anpassen, da das HMI ebenfalls in das Fahrzeug übertragen wird (Ferlis, 2002, zitiert nach Mages, 2008, S. 26). Sind alle Daten bekannt und im Fahrzeug verfügbar, sind viele Ansätze der Assistenz möglich.

Zunächst kann die Verhinderung von Rotlichtüberfahrten mit einer konsistenten Vorgehensweise, in Bezug auf Eingriffsstrategie und Warndilemma, wie beim STOP-Schild-Assistenten verwirklicht werden (Mages et al., 2009, S. 574f). Im Rahmen der europäischen Forschungsinitiative *PReVENT* wurde im

Teilprojekt *INTERSAFE* (*Intersection safety*) ein kommunikationsbasierter Rotlichtassistent realisiert (Fürstenberg et al., 2007, zitiert nach Priemer, 2010, S. 23). Das Hauptziel von INTERSAFE ist die Sicherheit im Kreuzungsbereich zu verbessern und dort auf lange Sicht schwerwiegende Unfälle zu reduzieren, wobei in Kooperation mit den Autoherstellern BMW, VW, PSA und Renault gearbeitet wurde (Fürstenberg, 2005). Der entwickelte Rotlichtassistent nutzt als C2I eine WLAN-Datenübertragung mit IEEE 802.11a Standard, um die Daten von den LSA zu empfangen. Wird anhand der Position- und Bewegungsdaten des Fahrzeugs und der empfangenden Restzeiten der LSA festgestellt, dass das Fahrzeug bei Ankunft an der LSA durch ein zu erwartendes rotes Signal halten muss, wird der Fahrer visuell und akustisch informiert, bzw. gewarnt (Priemer, 2010, S. 23). Die visuellen Einblendungen sollen hierbei vorzugsweise durch ein HUD erfolgen. Die Information auf eine rote LSA wird durch ein rotes Ampel-Symbol und die Warnung durch ein größeres Ampel-Symbol mit Ausrufezeichen dargestellt, zu sehen in Abbildung 30 (Chen, Deutschle, Fürstenberg, 2007, S. 144).



Abbildung 30: Informations- und Warnungssymbol im HUD des Rotlichtassistenten von INTERSAFE
(Chen et al., 2007, S. 144)

Die dazugehörige Systemarchitektur ist in Abbildung 31 schemenhaft dargestellt.

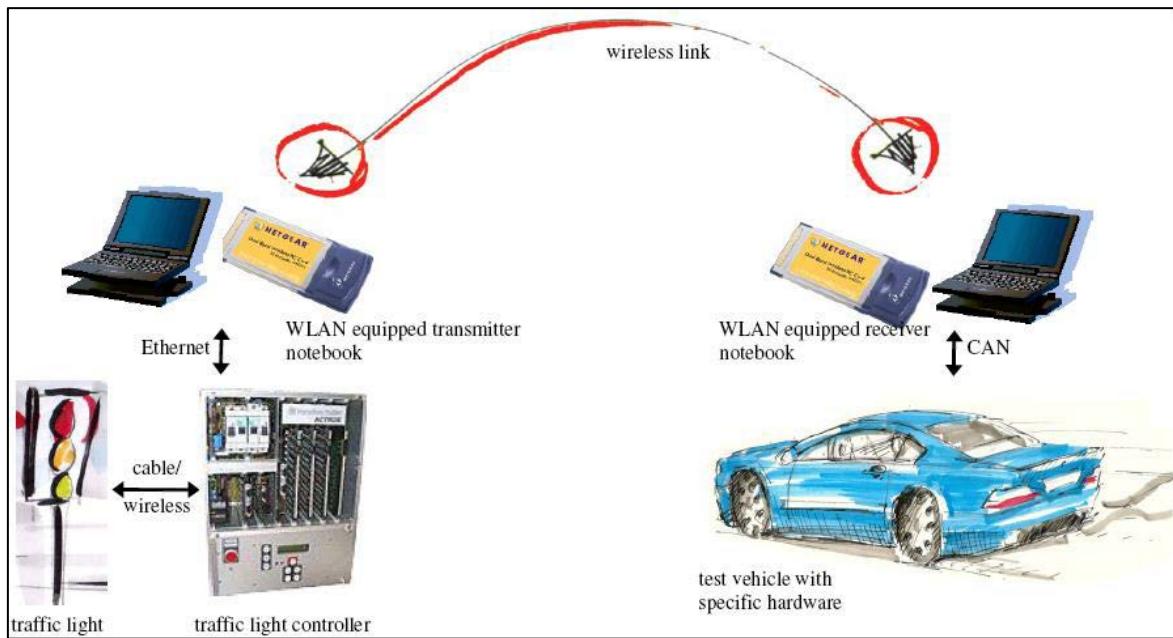


Abbildung 31: Systemarchitektur des Rotlichtassistenten von INTERSAFE
(Priemer, 2010, S. 23)

Dieses System ist allerdings dadurch eingeschränkt, dass es ausschließlich mit Festzeit-gesteuerten LSA funktioniert (Priemer, 2010, S. 23). Zudem setzten dieserart kommunikationsbasierter Systeme eine Verfügbarkeit der Kommunikationseinheiten (WLAN-Module) und Recheneinheiten mit der entsprechenden Software voraus.

Ein weiterer zu assistierender Ansatz auf Basis von bestehender Kommunikation mit der LSA, wäre das Verhindern von Rotlichtüberfahrten aus dem Stand heraus. Oft ausgelöst durch den sogenannten *Mitzieheffekt*, bei dem unterschiedlich signalisierte Fahrstreifen einer Kreuzungseinmündung dafür sorgen können, dass Fahrzeuge auf dem rot signalisierten Fahrstreifen von den anfahrenden Fahrzeugen auf dem grün signalisierten Fahrstreifen beeinflusst und gewissermaßen mitgezogen werden (Mages et al., 2009, S. 575). Für solch eine Assistenz müssten wieder die genaue Position und das LSA-Programm für die positionierte Fahrspur bekannt sein, um das Fahrzeug festzuhalten, falls der Fahrer versehentlich in die Kreuzung einfahren will. Das Festhalten kann dabei nur durch einen Volleingriff geschehen, denn das Auto steht bereits direkt vor der Konfliktzone und es bleibt keine Zeit mehr für eine Warnung (Mages, 2008, S. 38f). Allerdings muss der Eingriff trotzdem übersteuerbar sein, zum Beispiel für

den Fall, dass die Straße für ein Einsatzfahrzeug mit Blaulicht geräumt werden muss. Ein unnötiger Systemeingriff sollte dabei möglichst vermieden werden, um den ohnehin schon gestressten Fahrer in dieser Situation nicht zusätzlich zu belasten (Mages et al., 2009, S. 575). Ein derartiges System, das durch einen Volleingriff das Fahrzeug vor einer roten LSA festhalten kann, scheint allerdings noch nicht zu existieren, da es bei den Recherchen dieser Arbeit nicht gefunden wurde.

Wie beim Rotlichtassistent beschrieben, ist es mit Hilfe einer C2I-Kommunikation möglich, die zu erwartende LSA-Phase bei der Ankunft eines Fahrzeugs am entsprechenden Knotenpunkt zu prognostizieren. Dadurch ergibt sich für den Fahrer zusätzlich der komfortable Aspekt, dass ihm diese Information in Form einer Geschwindigkeitsempfehlung für ein Erreichen der Kreuzung bei grünem Signal, in einer relativ frühen Phase der Annäherung an eine LSA, mitgeteilt werden kann. Dieser Ansatz ist nicht neu. Bereits im Jahr 1983 wurde eine C2I-basierte Assistenz im Zuge eines Demonstrationsprojekts der Volkswagen (VW) AG mit Namen *Wolfsburger Welle* entwickelt. Dabei kommunizierten die mit speziellen Bordrechnern ausgestatteten Fahrzeuge mit insgesamt elf LSA, welche den Fahrzeugen die Umlauf- und Restzeiten übermittelten. Die C2I-Kommunikation erfolgte damals per Infrarot. Die kommunikationsfähigen LSA waren mit einem entsprechendem Sender und die Fahrzeuge mit einem Infrarotempfänger ausgestattet. Ziel dieses Systems war es, den Verkehrsablauf zu verbessern und die Akzeptanz von Geschwindigkeitsempfehlungen gegenüber den damals häufig verwendeten, am Straßenrand aufgebauten Geschwindigkeitssignalen zu erhöhen, (Zimdahl, 1983, zitiert nach Priemer, 2010, S. 21f). Dem Fahrer wurden dabei eine Geschwindigkeitsempfehlung und eine Relativposition innerhalb der Freigabezeit der LSA, auf die er sich zu bewegte, im Kombiinstrument angezeigt (siehe Abbildung 32, linkes Bild).

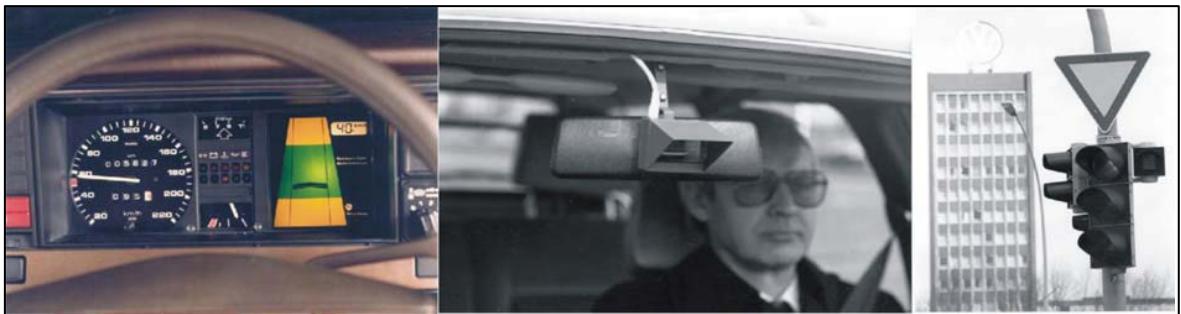


Abbildung 32: Anzeigeelemente im Kombiinstrument und Infrarotsensoren im Fahrzeug und an LSA (Zimdahl, 1983, zitiert nach Priemer, 2010, S. 23)

Die Relativposition innerhalb einer Freigabezeit wurde mit einem Balken auf einem gelb-grün markierten Trapez dargestellt. Liegt der Balken in dem grünen Bereich, kann die LSA mit konstantem Fahren während der Grünphase erreicht werden. Wird beschleunigt, wandert der Balken nach oben. Liegt der Balken im oberen oder unteren gelben Bereich, muss die eigene Geschwindigkeit entsprechend reduziert oder erhöht werden um die LSA bei Grün zu erreichen. Problematisch war dabei, dass die Fahrer dazu verleitet wurden die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten dramatisch zu überschreiten, wenn der Anzeigebalken im unteren gelben Bereich lag. Das System führte allerdings allgemein zur Verringerung von mittleren Reisezeiten und Halten von KFZ, das einen verringerten Kraftstoffverbrauch zur Folge hatte. Doch zeigte die Erprobung, dass das System während Zeiten hoher Verkehrsbelastungen, aufgrund von Staus vor den Knotenpunkten, wenig wirksam war. Das Projekt scheiterte letztlich an zu hohen Kosten für den Endverbraucher, um sein Fahrzeug mit der entsprechenden Technik aufzurüsten (Zimdahl, 1983, zitiert nach Priemer, 2010, S. 21-23; Hoffman, 1989, zitiert nach Priemer, 2010, S. 21-23). Aufgrund der positiven Umweltaspekte, die so ein System neben dem Komfortgewinn mit sich bringt, sind derartige Assistenten sehr positiv zu bewerten (Mages et al., 2009, S. 575).

Mit der WLAN basierten C2I-Kommunikation wurden dieserart Systeme in den letzten Jahren wieder aufgegriffen. Das Forschungsprojekt *Travolution* basiert auf der Idee der Wolfsburger Welle. Dieses Forschungsprojekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie gefördert, mit Fahrzeugen des Automobilherstellers Audi durchgeführt und startete im Jahr 2006. Ziel dieses Konzepts ist die Erhöhung des

individuellen Fahrkomforts und der Verkehrseffizienz, wobei der Fahrer und die Verkehrssicherheit nicht eingeschränkt werden. Wesentliche Unterschiede in der Systemarchitektur zur Wolfsburger Welle sind zum einen die Kommunikation zwischen LSA und Fahrzeug, welche auf einem 802.11 WLAN Standard basiert und zum anderen der Einbezug verschiedener Fahrzeugdaten (wie Blinker-Status) in die Informationsaufbereitung durch die Vernetzung des CAN-Bus (Controller-Area-Network-Bus). Damit lassen sich, unter Einbezug von genauen Positionsdaten des Fahrzeugs, Geschwindigkeitsempfehlungen für unterschiedlich signalisierte Fahrspuren generieren und darstellen. Zudem wird dieses System durch eine Restrotanzeige ergänzt, die dem Fahrer die verbleibende Zeit zum nächsten Phasenwechsel auf grün anzeigt (Menig & Busch, 2006, zitiert nach Priemer, 2010, S. 24; Menig, 2008, zitiert nach Priemer, 2010, S. 24). Die Visualisierung der Geschwindigkeitsempfehlung erfolgt hier analog der des Wolfsburger Modells (siehe Abbildung 33).

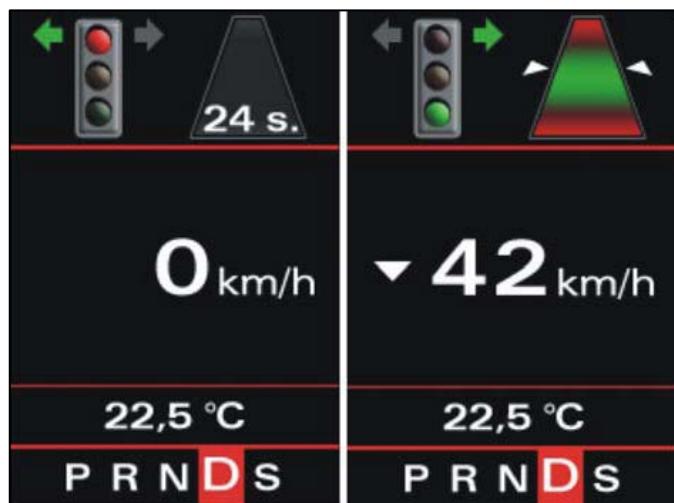


Abbildung 33: Restrotanzeige (links) und Geschwindigkeitsempfehlung (rechts) im AUDI Demonstrator von Travolution (Menig, 2008, zitiert nach Priemer, 2010, S. 25)

Die Restrotanzeige hat den Vorteil, dass egal, wo das Fahrzeug steht, die LSA-Information immer im Fahrzeug zur Verfügung steht, so dass auch bei verdeckter Sicht auf die LSA, das rote Signal immer im Blick ist (Braun, Kemper, Menig, 2009, zitiert nach Priemer, 2010, S. 24). Somit könnte dieser Assistent auch passiv zur Verhinderung des Mitzieheffekts beitragen. Eine Schwierigkeit bilden verkehrsabhängig gesteuerte LSA für die Assistenzkomponenten. Da sich hier die

verschiedenen LSA-Freigabezeiten verkehrsbedingt ändern, können Prognosen zum Schaltbild einer LSA-Phase äußerst schwierig sein. Im Zuge von Travolution, wurde jedoch ein Algorithmus entwickelt, der auf Basis von *Markow-Ketten*, das Schaltbild einer LSA 10-60 Sekunden vorher mit einer Genauigkeit von einer Sekunde prognostizieren können soll (Menig, 2008, zitiert nach Priemer, 2010, S. 24). Die WLAN-basierte C2I-Kommunikation wird in Abbildung 34 der Systemarchitektur von Travolution verdeutlicht.

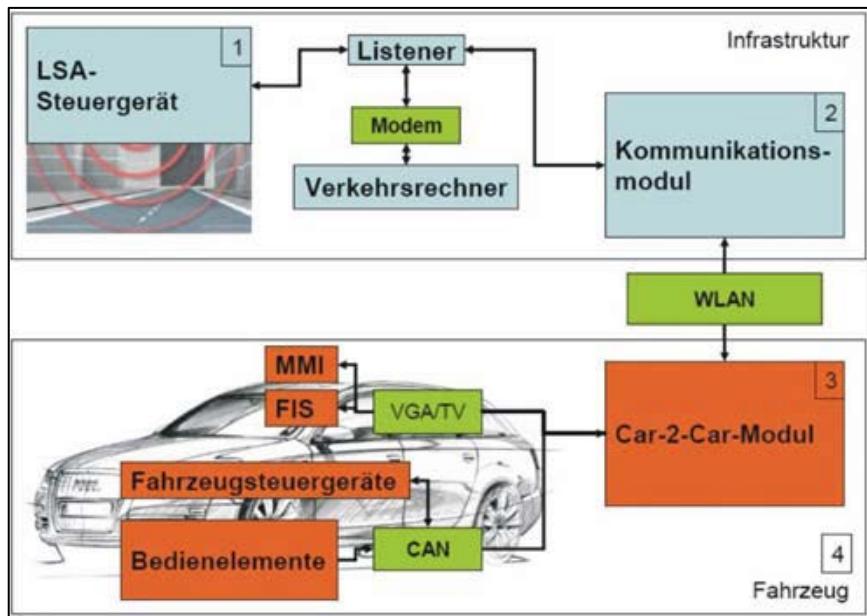


Abbildung 34: Systemarchitektur von Travolution (Menig, 2008, zitiert nach Priemer, 2010, S. 25)

Zu sehen ist hier ein Car-to-Car-Modul. Car-to-Car (C2C) beschreibt die Fähigkeit einer Kommunikation zweier Fahrzeuge untereinander, weshalb die Bezeichnung in dieser Grafik eigentlich fehlerhaft ist. Die Begriffe C2C und C2I werden meist unter dem Begriff Car-to-X (C2X) zusammengefasst, der die Fähigkeit der Kommunikation eines Fahrzeugs mit verschiedenen Kommunikationspartnern, wie Infrastruktur und anderen Fahrzeugen, beschreibt. Ebenfalls, wie das System der Wolfsburger Welle, wird dieser Assistent bei zu hohem Verkehrsaufkommen und daraus resultierenden Staus in den Zufahrten der LSA unbrauchbar. Aus Erfahrungen des Wolfsburger Modells sind damit eine Verringerung der Güte und Akzeptanz zu erwarten. Bei Berechnungen für Geschwindigkeitsempfehlungen werden diese Verkehrssituationen nicht mit einbezogen, hier bedarf es noch weiterer Forschung (Menig, 2008, zitiert nach Priemer, 2010, S. 26). Das zur

Rotlichtassistenz vorgestellte Projekt INTERSAFE entwickelte zur Rotlichtapplikation ebenfalls die Funktion, die dem Fahrer bei der Annäherung an eine kommunikationsfähige LSA Geschwindigkeitsempfehlungen geben kann. Die Systemfunktionalität und Kommunikation ist der von Travolution genau gleich, unterschiedlich ist lediglich, dass das System von INTERSAFE nur mit festzeitgesteuerten LSA funktioniert und andere Visualisierungen für den Fahrer verwendet wurden. Die Visualisierung hängt zudem von dem Automobilhersteller der verwendeten Fahrzeug-Demonstratoren ab. Abbildung 35 zeigt die Anzeigen im BMW-Demonstrator (Chen et al., 2007, S. 144).

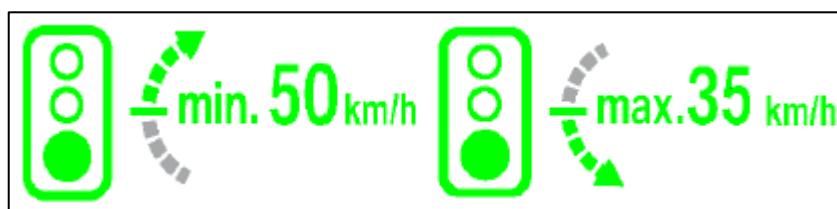


Abbildung 35: Geschwindigkeitsempfehlungen bei INTERSAFE (Chen et al., 2007, S. 144)

Zu sehen sind Empfehlungen für den Fall, dass die Ampel vor dem Phasenwechsel zu Rot erreicht werden soll (linke Anzeige, hierbei wird eine Mindestgeschwindigkeit angezeigt) und für den Fall, dass die Ampel nicht erreicht werden soll, bevor sie auf Grün geschaltet hat (rechte Anzeige, Maximalgeschwindigkeit wird ausgegeben).

Verschiedene Anzeigekonzepte von Ampelassistenten wurden im Rahmen von Travolution und INTERSAFE auf Verständlichkeit, Akzeptanz, Effektivität und Ablenkung in einer Simulator-Studie überprüft (Thoma, Lindberg, Klinker, 2008). Die Ergebnisse dieser Studie ergab, dass eine weitere getestete Anzeigeart, in der die Zielgeschwindigkeit durch farbliche Markierungen in der Tachometer-Skala des Fahrzeugs hervorgehoben wird, die beste Methode ist (Thoma et al., 2008, S. 4). Da die Aufgabe darin besteht, die Geschwindigkeit in einem bestimmten Bereich zu halten um eine LSA bei grün zu erreichen, wird dieser Bereich simpel in der Tachoskala durch die Markierung kenntlich gemacht (Thoma et al., 2008, S. 2). Ein Beispiel dieser Anzeigelösung zeigt Abbildung 36.

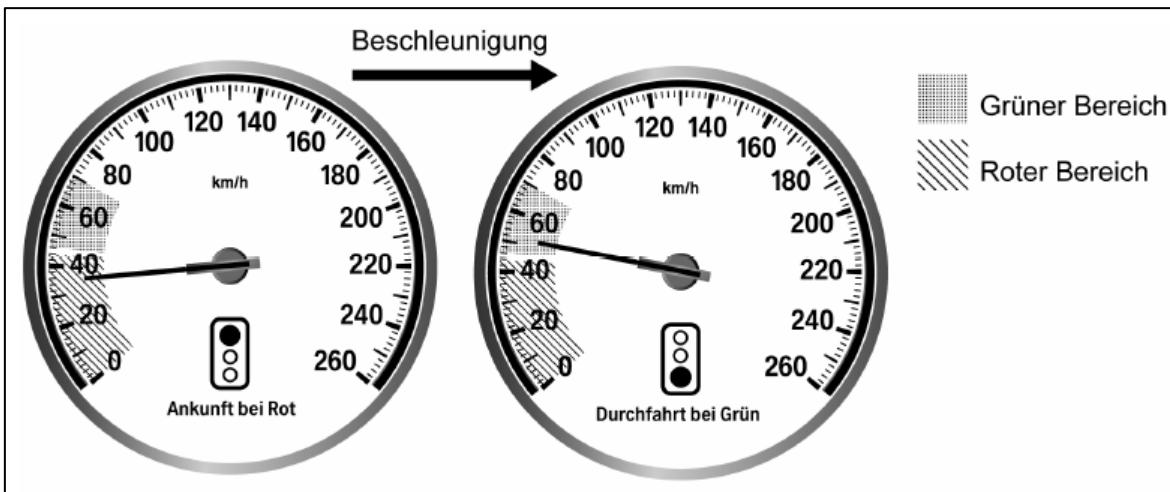


Abbildung 36: Geschwindigkeitsempfehlungen in Tacho eingeblendet (Thoma et al., 2008, S. 2)

Hier ist ein Fall zu sehen, bei dem eine aktuell Grün zeigende LSA durch Beschleunigen noch erreicht werden kann. Positiv gegenüber den anderen Anzeigekonzepten ist, dass der markierte Bereich bei der zulässigen Höchstgeschwindigkeit endet, in diesem Fall 70km/h. Damit wird ein Überschreiten der Höchstgeschwindigkeit nicht provoziert (Thoma et al., 2008, S. 2).

Im Rahmen des Projekts *Ampelinfo online* des Großversuchs *simTD* (sichere und intelligente Mobilität – Testfeld Deutschland), welches das Entwickeln und Testen eines Ampelassistenten beinhaltete, brachte Audi als Konsortialpartner Erfahrungen aus Travolution mit. Die Ampelphasenassistenz wurde innerhalb des Feldversuchs an 20 ausgerüsteten LSA im Raum Frankfurt und einer Testflotte von 400 Fahrzeugen (auto-reporter.net, 2011) der 17 Konsortialpartner, auf Alltags-Tauglichkeit geprüft. Neben Geschwindigkeitsempfehlungen gibt es bei diesem Ampelassistenten auch eine Restrotanzeige für das Warten auf Grün und zusätzlich eine rechtzeitige, akustische Warnung vor Rotphasen. Die Daten werden hierbei über C2X-fähige, sogenannte Road-Side-Units (RSU), neben dem WLAN-Standard auch über UMTS-Antennen an empfangsfähige Fahrzeuge verteilt (simTD, 2013, S. 6). Ende des Jahres 2012 wurde das Projekt abgeschlossen und lieferte Ergebnisse. Das System soll eine CO₂-Reduzierung von bis zu 15% ermöglichen, wobei 900 Millionen Liter Kraftstoff pro Jahr

eingespart werden könnten, wenn das System flächendeckend in Deutschland verbreitet wäre (Auto Clever, 2013).

Es gibt zahlreiche weitere und aktuelle Ansätze ähnlicher Ampelassistenten, wie zum Beispiel von den Forschungsprojekten UR:BAN, AKTIV oder INTERSAFE-2, an denen zum Teil wieder mehrere Automobilhersteller wie BMW, Daimler, Opel, VW oder Volvo beteiligt sind. Volvo beispielsweise zieht dabei die Erfahrungen aus den eigens beteiligten Forschungsprojekten und hat eine serientaugliche Ampelphasenassistenz entwickelt, die als Empfehlungsanzeige die oben gezeigte Tacholösung nutzt (Motor-Talk, 2013). Auch das Projekt INTERSAFE-2 zog die Erkenntnisse aus dem Vorprojekt INTERSAFE (Obojski & Meinecke, 2008, S. 33) und testete unter anderem weiterhin die bereits vorgestellte Ampelassistenz. Wesentlicher Unterschied zum Rotlichtassistenten des Vorprojekts ist die erweiterte Eingriffsstrategie. Neben der akustischen und optischen Warnung im Kombiinstrument und zusätzlich durch ein HUD soll außerdem ein Bremsdruck erfolgen, wenn der Fahrer nicht reagiert (Pudenz, 2011a). Dabei geht es immer mehr in die Richtung von Komplettlösungen, wobei einzelne Assistenzlösungen in einem System zusammengefasst werden.

Im Rahmen des Projekts *Vernetztes Verkehrssystem*, der durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsinitiative *UR:BAN* (Urbaner Raum: Benutzeroptimierte Assistenzsysteme und Netzmanagement), wird zum Beispiel mit 31 Partnern aktuell an vielen einzelnen Projekten gearbeitet, die das Verkehrsmanagement und die Fahrerassistenz im städtischen Bereich grundlegend verbessern sollen (UR:BAN, 2014a). Dabei sollen einzelne Teilkomponenten unter einer kooperativen Infrastruktur zusammengefasst werden, damit alle Applikationen untereinander und mit externen Systemen interagieren können (UR:BAN, 2014b, S. 1). Abbildung 37 zeigt das Schnittstellenkonzept von UR:BAN.

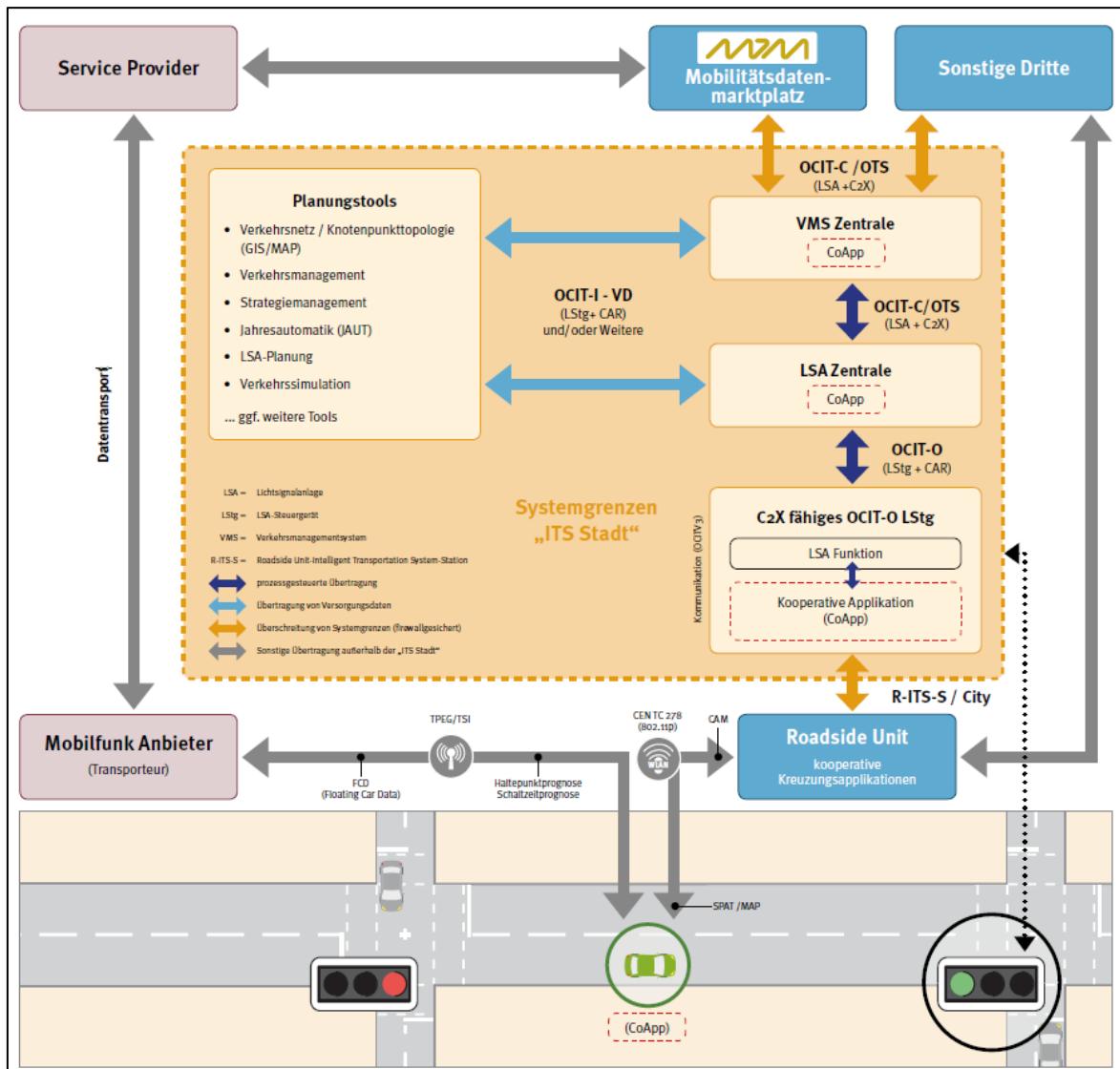


Abbildung 37: Schnittstellenkonzept UR:BAN (UR:BAN, 2014b, S. 3)

UR:BAN startete 2012 und ist mit einer Laufzeit von vier Jahren geplant (UR:BAN, 2014c). Unter dem Projektnamen *Smarte Kreuzung* laufen mehrere Teilprojekte zum Thema Ampelassistenz, die ähnliche Grundlagen der bereits oben aufgezeigten Systeme aufweisen, aber um einige Aspekte erweitert wurden. Neben dem Konzept der Ampelphasenassistenz, durch Geschwindigkeitsempfehlungen Anhalten zu vermeiden, gibt es den Ansatz unvermeidbares Anhalten zu organisieren und die Durchfahrt bei Grün zu optimieren. Dafür steht zum Beispiel das Teilprojekt *Kreuzungslotse*, das erstens ein Einfahr- und Halteassistenzkonzept beinhaltet, in dem der Fahrer durch Informationen, Fahrempfehlungen und zusätzlich eine aktive Längsregelung zunächst optimal an die Kreuzung heran geführt und im Fall des unvermeidbaren

Anhaltens emissionsmindernd und organisiert an einer Kreuzung mit anderen Verkehrsteilnehmern aufgestellt werden soll. Zweitens soll ein Einfahr- und Startassistenzkonzept mit denselben Eingriffen die Grünphase optimal ausschöpfen, dass durch ein zügiges Queren mit gleichen Abständen mehrerer Fahrzeuge realisiert werden soll. Ist es dann doch zum Halt gekommen, soll dieser Assistent auch beim Anfahren helfen, wobei ein zügiger Start der stehenden Fahrzeuge zu mehr Kapazität im Straßennetz führen soll. Diese Konzepte zielen bereits darauf ab, dass die breite Masse der Fahrzeuge mit solchen Assistenzfunktionen ausgestattet sein wird. Ansonsten wären die Konzepte des organisierten Aufstellens und der optimierten Ausschöpfung einer Grünphase weniger wirksam. Die folgenden Diagramme der Abbildung 38 zeigen wie die Assistenzfunktionen den Verkehr beeinflussen sollen, um Rückstaus zu vermindern und den Verkehrsfluss und somit auch die Umwelt-Effizienz zu erhöhen (UR:BAN, 2014b, S. 17f).

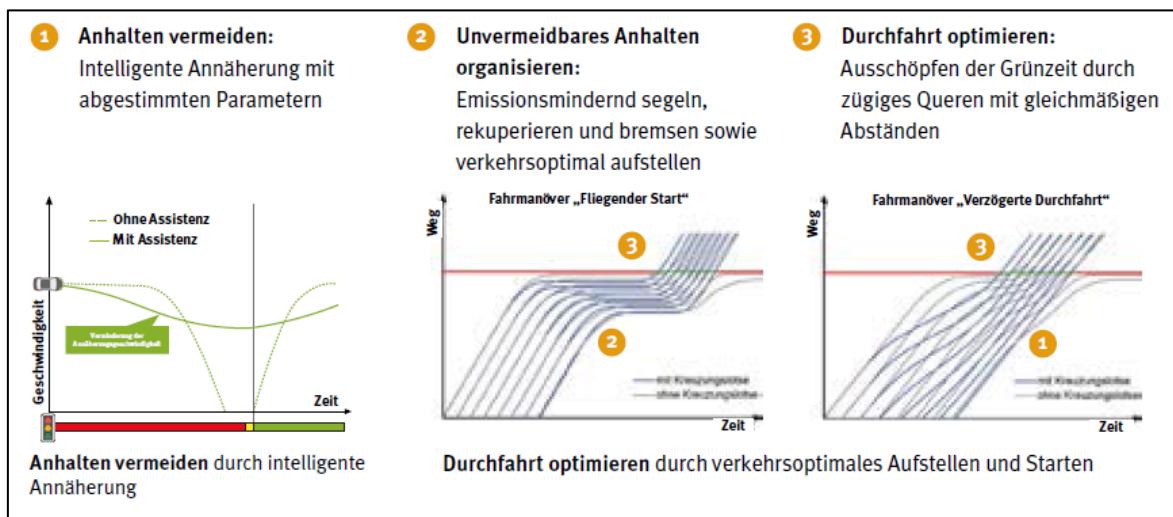


Abbildung 38: Beeinflussung des Verkehrs durch Kreuzunglotsenassistenz
(UR:BAN, 2014b, S. 17)

Standardmäßig wird sich, zur Übertragung der Daten zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur, an den Vorgaben des oben angesprochenen Projekts simTD orientiert. Das heißt Kommunikation ist über WLAN oder UMTS möglich (UR:BAN, 2014b, S. 13). Auch Smartphones sollen in eine Grüne-Welle-Assistenz mit einbezogen werden. Dabei sieht das Konzept vor, die Informationsübermittlung der LSA-Daten über den Mobilfunk durchzuführen. Zudem muss das Smartphone

dafür mit dem Fahrzeug in ständigem Austausch stehen, um relevante Fahrzeugdaten wie Position und Geschwindigkeit zu erhalten. Die Kommunikation zwischen LSA, Smartphone und Fahrzeug wurde dabei bereits erfolgreich getestet. Die Funktionen der Ampelphasenassistenz sind dabei gleich der anderen Konzepte: durch Geschwindigkeitsempfehlungen Anhalten vermeiden und bei unvermeidbarem Anhalten, optimiertes Verzögern durch frühzeitige Informationen erreichen (UR:BAN, 2014b, S. 24). Das Konsortialprojekt *AKTIV* (Adaptive und kooperative Technologien für den intelligenten Verkehr) hatte in der Vergangenheit bereits ein funktionierendes ähnliches Konzept mit der Verwendung eines Personal Digital Assistant (PDA) zum Empfang von LSA-Phasen entwickelt, wobei die C2I-Kommunikation hier allerdings wieder auf WLAN-802.11g-Standard basiert (Priemer, 2010, S. 25).

Das Gesamtkonzept UR:BAN orientiert sich an einer integrierten Netzplanung, das bedeutet, dass das Verkehrsgeschehen eines gesamten Umfelds betrachtet wird, um letztlich durch verschiedene Maßnahmen einen homogenen und emissionsarmen Verkehrsfluss herzustellen (UR:BAN, 2014b, S. 1-23). So gibt es als weiteren interessanten Ansatz das LKW-Pulk-Management. Da beladene LKW ein niedrigeres Beschleunigungsvermögen als PKW haben, woraus sich ein häufigeres Anhalten und Anfahren bei auf PKW optimierten Grünen Wellen und daraus eine erhöhte Emission ergibt, sollen nach diesem Konzept LKW-Kolonnen einen Einfluss auf LSA-Schaltungen bekommen. Dabei soll eine LKW-Pulk-Erkennung durch Positions- und Bewegungsdaten funktionieren und durch Berücksichtigung des Gesamtverkehrs optimale Schaltzeiten für die LSA auf der Strecke des Pulks generiert werden. Das Prinzip ähnelt einer Bevorrechtigung des Öffentlichen Verkehrs (ÖV) (UR:BAN, 2014b, S. 18f). Die Betrachtung des Gesamtverkehrs geschieht durch das Sammeln aller zur Verfügung stehenden Daten aus dem Verkehrsraum (LSA, PKW, LKW, ÖV, Einsatzfahrzeuge, Baustellen), welche in Verkehrsmanagementzentralen laufen und dort für entsprechende Maßnahmen ausgewertet werden (UR:BAN, 2014b, S. 4-23). Eine Erklärung, wie dies im Einzelnen funktioniert, würde allerdings den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Die vorgestellten Forschungsprojekte UR:BAN, INTERSAFE, INTERSAFE-2, simTD und AKTIV beinhalten nicht nur das Thema Ampelassistenz, sondern stehen meistens für Komplettlösungen der Assistenz im Kreuzungsbereich und teilweise auch in weiteren Umfeldern (AKTIV, 2010; Fürstenberg, 2005; UR:BAN, 2014a; Wimmershoff, 2013). Im Vordergrund der Kreuzungsassistenz liegt meist die Assistenz zur Vermeidung von Unfällen mit dem kreuzenden Verkehr, sei es beim Queren oder beim Abbiegen einer Kreuzung. Doch diese Szenarien gehören nicht mehr zum Thema Ampelassistenz. Im Prinzip zählt alles das, was hinter der Haltelinie einer Kreuzung passiert, zu den Aufgaben eines Einbiegen-/Kreuzen- bzw. Abbiegeassistenten.

3.2.3 Einbiegen-/Kreuzen-Assistenz

Hierbei wird die Antikollisionsassistenz beim Einbiegen oder Queren einer Kreuzung verstanden. Diese richtet sich hauptsächlich an die Vorfahrtsregelungen RVL, VA und STOP-Schild-geregelte Kreuzungen, da LSA-geregeltere Kreuzungen das Einbiegen und Kreuzen im Sinne der Kollisionsvermeidung schon assistieren. Trotzdem liegt das Hauptaugenmerk weiterhin auf LSA-geregeltere Kreuzungen. RVL- und VA-geregeltere Kreuzungen sind dennoch die wichtigeren Ziele für eine solche Assistenz aufgrund der Tatsache, dass vor der Kreuzung nur angehalten werden muss, wenn vorfahrtsberechtigter Querverkehr vorliegt. Grundlegend benötigt ein Assistent dieserart Informationen des Wartepflichtigen Fahrzeugs (Position und Bewegungsrichtung) und über querende vorfahrtsberechtigte Fahrzeuge, um den Fahrer des Wartepflichtigen Fahrzeugs im Falle einer drohenden, kritischen Situation zu warnen (Mages et al., 2009, S. 575). Des Weiteren wird bei der Einbiegen-/Kreuzenassistenz auch, wie bei den bereits aufgezeigten Assistenten, zwischen Intelligenz in der Infrastruktur und Intelligenz im Fahrzeug unterschieden (Klanner, et al., 2008, S. 4).

Ein Einbiegen-/Kreuzenassistent, dessen Intelligenz in der Infrastruktur liegt, warnt über Sensoren und Anzeige, die in der Infrastruktur verbaut sind, Wartepflichtige Fahrer vor vorfahrtsberechtigtem Verkehr (Mages et al., 2009, S. 575). Solche Systeme werden auf STOP-Schild- oder VA-geregelteren, ländlichen Kreuzungen eingesetzt (Laberge, Creaser, Rakauskas, Ward, 2006, S. 40). Entwickelt für die

Highways in den USA gibt es so einen Ansatz. In diesem werden Fahrzeuge auf dem Highway mit mehreren Sensoren erfasst, um Fahrzeuge auf Nebenstraßen, die die Absicht haben in den Highway einzubiegen oder zu kreuzen, vor zu geringen Zeitlücken des querenden Verkehrs mit aufleuchtenden Schildern zu warnen. Dieses System nennt sich Intersection Decision Support (IDS), zu Deutsch: Kreuzungs-Entscheidungs-Unterstützung (University of Minnesota, 2012). Eine Zeitlücke bezeichnet die Zeit, die zwischen zwei Fahrzeugen vergeht, bis diese jeweils einen bestimmten Punkt (z.B. eine Kreuzung) erreicht haben (Mages, 2008, S. 11). Die Erfassung der Fahrzeuge auf der Hauptstraße erfolgt dabei ähnlich dem infrastrukturbasierten STOP-Schild-Assistenten, wobei mit Radarsensoren oder Induktionsschleifen die Position und Geschwindigkeit der Fahrzeuge detektiert wird, um zu prognostizieren, wann ein Fahrzeug im Kreuzungsbereich sein wird. Darüber hinaus werden die Zeitlücken zwischen aufeinanderfolgenden Fahrzeugen berechnet. Die wertepflichtigen Fahrzeuge auf der Nebenstraße werden mit einem Kamerasystem erfasst (Mages et al., 2009, S. 575) und nach Fahrzeugtyp kategorisiert aufgrund unterschiedlicher Beschleunigungsvermögen (Motorrad, PKW oder LKW). Anhand dieser Informationen entscheiden die Algorithmen des Rechnersystems, ob ein Einbiegen oder Kreuzen möglich ist. Wenn nicht, wird eine entsprechende Warnung über die Warntafeln an der Nebenstraße an den Wertepflichtigen gegeben (Klanner, 2008, S. 6f).

Im Bereich der fahrzeugintelligenten Assistanten sind die Ansätze schon etwas komplexer und unterscheiden sich hauptsächlich in der Informationsbeschaffung, also der Sensorik für eine entsprechende Assistenz (Mages et al., 2009, S. 575). Grundsätzlich erfasst die im Fahrzeug verbaute Sensorik ständig das Umfeld und warnt bei drohender Kollision den Fahrer. Hierbei sind die Herausforderungen größer als bei Infrastruktur-basierten Systemen. Zum einen muss die Situation bewertet werden, ob bei ausbleibendem Eingriff durch Fahrer oder Assistenzsystem, eine Kollision mit dem Querverkehr bevorstehen würde. Dabei müssen aus den erfassten Bewegungsdaten der Fahrzeuge und unter Berücksichtigung der vorliegenden Kreuzungsgeometrie jeweils die Trajektorien beider Fahrzeuge ermittelt und auf Schnittbereiche überprüft werden, um die Kollisionswahrscheinlichkeit zu bestimmen. Um dabei genauere Vorhersagen über

die Bewegung eines Fahrzeugs zu treffen, sollte das Fahrverhalten des Fahrers im Voraus bestimmt werden, um die typische Verhaltensweise beim Annähern und Durchfahren einer Kreuzung zu kennen. Im besten Fall kennt ein System das Fahrverhalten des Ego- und des Fremdfahrzeugs, wozu eine Kommunikation zwischen den Fahrzeugen (C2C) herrschen muss. Zum anderen stellt, wie bei der STOP-Schild-Assistenz, die Erkennung ausbleibender Fahrerreaktionen bei drohender Gefahr die weitere Herausforderung, wobei in Verbindung mit einer Eingriffsstrategie die gleichen Voraussetzungen und Anforderungen bezüglich des angesprochenen Warndilemmas (siehe Kapitel 3.1 Kreuzungsassistenz) gelten (Mages et al., 2007, S. 4f). Die Eingriffsstrategie unterscheidet sich durch die jeweils vorliegenden Situationen, ob ein Fahrzeug in der Annäherung ist oder ob es vor der Kreuzung steht. Über Information und Warnung vor bevorstehenden Kollisionen hinaus, muss letztlich ein Volleingriff stattfinden, wenn eine Kollision nicht mehr durch den Fahrer zu verhindern ist. Dies ist vor allem der Fall, wenn der Fahrer aus dem Stand anfahren will, obwohl querender Verkehr vorliegt (Mages et al., 2009, S. 576).

Ein relativ einfacher aber wirkungsvoller Ansatz wurde als Prototyp von der *Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden* entwickelt. Hierbei erfasst ein an der Front des Versuchsfahrzeugs der Marke Citroën angebrachter Laserscanner mit einem Öffnungswinkel von 164°, 1,8° Winkelauflösung und einer Reichweite von 200 Metern das Umfeld (HTW Dresden, 2014). Laserscanner, auch *Lidar* genannt (englisch für *Light detecting and ranging* (frei übersetzt: Lichtortung und -abstandsmessung)), funktionieren ähnlich dem Prinzip von Radarsensoren, nur unter der Verwendung von Laserstrahlen, statt Funkwellen. Laserimpulse werden ausgesendet, die an Objekten reflektieren. Der reflektierte Anteil, welcher zum Lidar zurückkehrt, wird vom Gerät erkannt und gibt durch die gemessene Zeitspanne eines Laserstrahls Aufschluss über die Entfernung zu den Objekten. Die ermittelten Entfernungen können in Form von Messpunkten ausgegeben werden. Abbildung 39 zeigt die Komponenten und verdeutlicht die Funktionsweise eines Laserscanners.

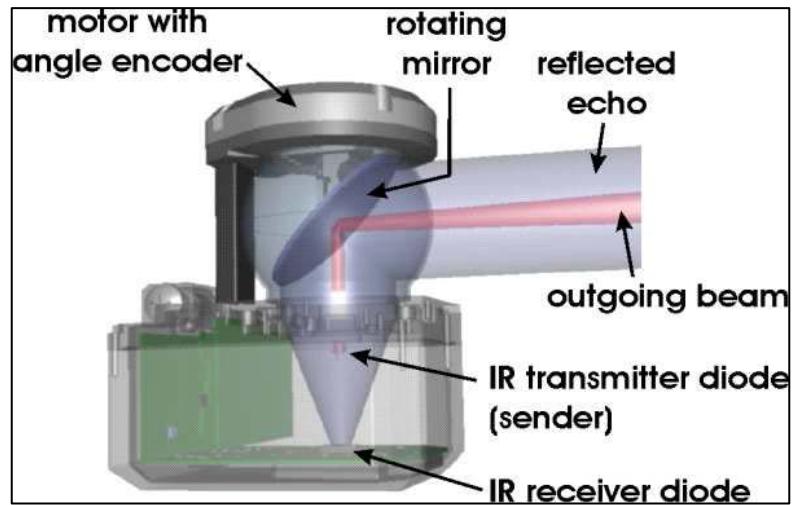


Abbildung 39: Komponenten eines Laserscanners
(Obojski & Meinecke, 2008, S. 19)

Die Rohdaten werden über eine CAN-Verbindung zu einem Rechner geleitet, der zugleich Fahrzeugeigenen CAN-Bus-Schnittstelle erhält. Der Rechner verarbeitet die Rohdaten des Laserscanners zu einem Umfeldmodell und klassifiziert detektierte Objekte durch herkömmliche Tracking-Algorithmen (Unger, 2010, S. 3). Abbildung 40 zeigt Rohdaten aus einem gezeigten Umfeld und die Verarbeitungsschritte zu brauchbaren Trackingdaten.

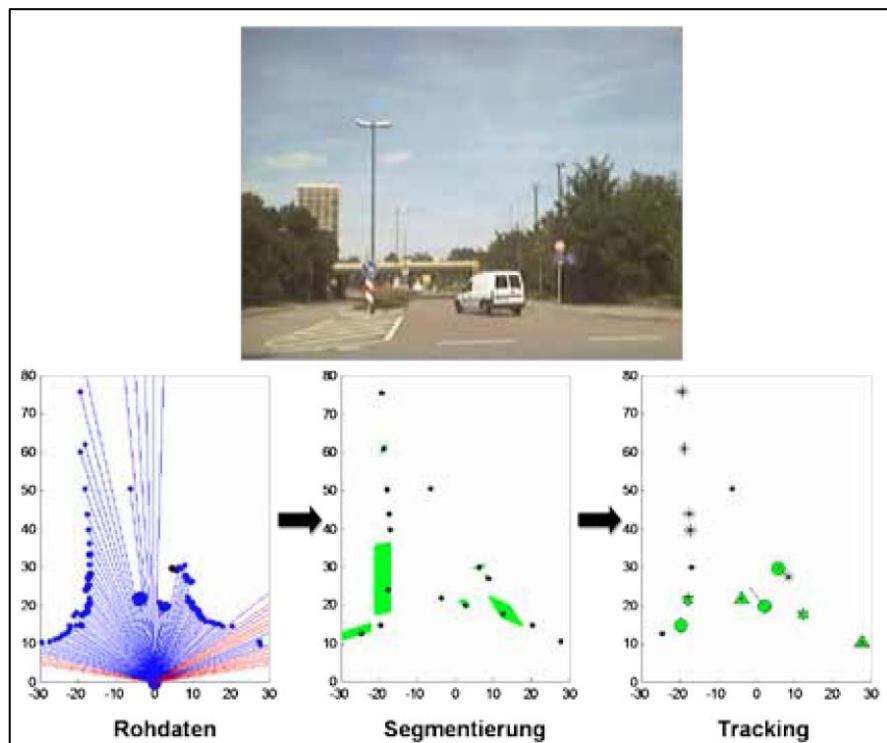


Abbildung 40: Verarbeitung von Rohdaten eines Laserscanners
(Unger, 2010, S. 3)

Position und Bewegung der erkannten Objekte werden errechnet, mit der fahrzeugeigenen Bewegung abgeglichen und auf Gefahrenpotential untersucht. Wird eine Gefahr erkannt, wird dem Fahrer eine Warnung über ein TFT-Display ausgegeben, das die Richtung, aus der die Gefahr kommt, anzeigt. Droht eine Kollision, wird die elektromechanische Feststellbremse autonom angesteuert und das Fahrzeug kommt zum Stillstand. Dieses System funktioniert für die Detektion von querendem und entgegenkommendem Verkehr, deshalb ist auch eine Assistenz beim Linksabbiegen möglich (Unger, 2010). Linksabbiegeassistenz wird allerdings erst im weiteren Verlauf des Textes ausführlicher behandelt. Abbildung 41 zeigt die beiden Situationen und das Layout der dazugehörigen visuellen Warnungen im TFT-Display.

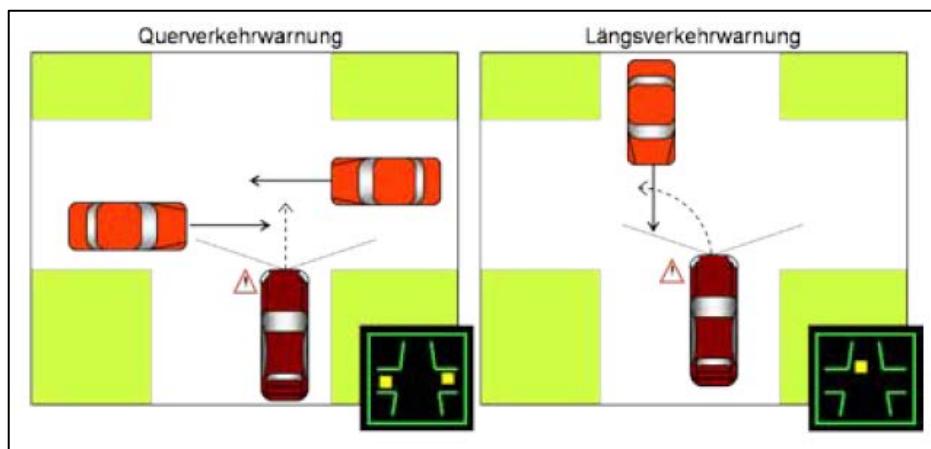


Abbildung 41: Warnsymbole in unterschiedlichen Situationen
(Unger, 2008, S. 1)

Dieses System analysiert kein typisches Fahrerverhalten, wodurch es zu unnötigen Warnungen kommen könnte. Da Warnungen allerdings nur visuell erfolgen, ist das Empfinden von der Assistenz gestört zu werden eher gering. Empfohlene Warnstrategie wäre, bei genügender Entfernung zum Kollisionspunkt und genügender Zeit für eine Fahrerreaktion, die hier verwendete visuelle Vorwarnung als Information auf die bevorstehende Situation. Zur besseren Wahrnehmung allerdings über ein HUD angezeigt. Bleibt eine Fahrerreaktion aus, oder tritt die Erkennung der Gefahrensituation erst zu einem späteren Zeitpunkt ein, sollte durch einen visuellen Hinweis auf dem HUD mit einem zusätzlichen akustischen Warnton eine Akutwarnung gegeben werden. Außerdem könnte ein Teileingriff in Form einer Anbremsung erfolgen, wodurch der Fahrer eine größere

Zeitspanne zur Reaktion gewinnt (Mages et al., 2009, S. 576). Bei dem aufgezeigten System werden diese Warnstrategien allerdings nicht verwendet. Außerdem ist das System auf den Öffnungswinkel des Laserscanners begrenzt. Kollisionserkennungen sind nur möglich, wenn freie Sicht zu dem Querverkehr besteht.

Es gibt weitere Systeme, auf dem Grundprinzip des gerade vorgestellten Systems basierend, die aber durch eine vielfältigere Sensorik ausgestattet sind und sich durch weitere Merkmale unterscheiden. Der in der neuen Mercedes E-Klasse zum Einsatz kommende Kreuzungsassistent Plus wurde bereits im Abschnitt der STOP-Schild-Assistenz angesprochen, welcher einen rein fahrzeugintelligenten Assistenten darstellt. Anstatt Laserscanner verwendet dieser Assistent Radarsensoren und Kameras, die sogar das komplette Umfeld abbilden und somit auch vor Heckkollisionen gewarnt werden kann. Der Schwerpunkt bei diesem Assistenten liegt auf der Fußgängererkennung (n-tv.de, 2013). Im Rahmen des ebenfalls bereits vorgestellten Projekts INTERSAFE wurde ein Einbiegen- und Kreuzenassistent mit zwei Laserscannern und zusätzlich einem Kamerasystem entwickelt und getestet. Dabei war VW Basispartner (Obojski & Meinecke, 2008, S. 12-31). Von diesem System wird eine exakte Position des eigenen Fahrzeugs gefordert, um Entfernung zum querenden Verkehr hochpräzise zu bestimmen. Dazu wird eine entsprechende digitale Karte verwendet, in der Straßenmarkierungen und natürliche Landmarken des Umfelds einer Kreuzung (wie z.B. Pfeiler von Signalmasten) mit einer Genauigkeit von 0,1 Metern eingetragen sein müssen. Das Kamerasystem erfasst dann die Straßenmarkierungen und die Laserscanner neben dem Querverkehr, die Landmarken, woran sich das System orientiert. Die Entfernung zum Querverkehr kann mit einer Genauigkeit von 0,3 Metern bestimmt werden. Die Ortung durch GPS wird bewusst nicht benutzt, da dies vor allem im städtischen Bereich zu großen Ungenauigkeiten führen kann. Die Risikobeurteilung erfolgt analog dem vorigen System, nur dass hierbei die Fahrerabsicht mit einbezogen wird. Als HMI wird hier ein Navigationsdisplay benutzt, das permanent den Risikograd der vorliegenden Situation anzeigt (Klanner, 2008, S. 7). Abbildung 42 zeigt diese Visualisierung.



Abbildung 42: Risikovisualisierung des Einbiegen-/Kreuzenassistent von INTERSAFE (in Anlehnung an Obojski & Meinecke, 2008, S. 25f)

Die potentielle Realisierung dieser sensorbasierten Assistenz wurde anhand eines Sensortests, Systemtests und Probandentests positiv bestätigt. Die Funktion dieses Assistenten setzt allerdings wiederum die Sichtbarkeit des Querverkehrs, sowie das Vorhandensein der hochgenauen Karten mit allen benötigten Einträgen (z.B. Landmarken) voraus (Klanner, 2008, S. 7f). Empfohlene Warnstrategien und HMI wurden hier allerdings ebenfalls nicht umgesetzt.

Eine andere Möglichkeit Informationen der Umgebung zu erhalten, bietet die sogenannte kooperative Sensorik, bzw. eine C2C-Kommunikation, welche Daten aus Fremdfahrzeugen ins eigene Fahrzeug überträgt (Klanner, 2008, S. 5). Bisher werden vorwiegend C2C-Kommunikationen im Fernstraßennetz genutzt, um zum Beispiel vor Unfällen, Hindernissen oder Stauenden zu warnen (Priemer, 2010, S. 21). C2C kommt zum Einsatz, um beispielsweise Positions- und Bewegungsdaten von allen beteiligten Fahrzeugen im Umfeld zusammenzufassen, wie es bei einem System der General Motors R&D Center Forschung geschieht. Die Positionserfassung erfolgt dabei lediglich durch herkömmliches GPS. Basierend auf den Bewegungsdaten des eigenen Fahrzeugs und der Fremdfahrzeuge, werden über die Zeit und den Abstand jedes Fahrzeugs zur Kreuzung, Kollisionswahrscheinlichkeiten errechnet. Die wesentlichen, zu errechnenden Parameter nennen sich *Time-to-Collision* (TTC) und *Distance-to-Collision* (DTC), übersetzt: Zeit und Abstand zur Kollision. Errechnet sich eine potentielle Kollision, wird dem Fahrer eine optische Warnung auf einem Bildschirm ausgegeben. Besteht keine Zeit mehr für eine Fahrerreaktion, können mittels der C2C-

Kommunikation beide Fahrzeuge aktiv gebremst werden (Klanner, 2008, S. 8f). Der große Vorteil der Kommunikation zwischen Fahrzeugen ist, dass auch bei eingeschränkter Sicht eine Assistenz möglich ist. Außerdem lassen sich die Daten mehrere hundert Meter weit übertragen, wodurch relativ frühzeitige Prognosen über kritische Situationen und somit auch frühzeitige Warnungen möglich sind (Klanner et al., 2008, S. 4).

Dieses System ist zwar machbar, allerdings werden die eventuell ungenau erfassten Daten nicht in den Berechnungen von Kollisionen berücksichtigt. Zudem gab es keine Evaluierung zur Akzeptanz und Wirksamkeit des Assistenten, vor allem in Bezug auf den Einfluss ungenauer Daten durch die Nutzung von GPS, weshalb man dieses System nicht besonders positiv bewerten kann (Klanner, 2008, S. 9).

Im Rahmen des Projekts AKTIV wurde ein Assistent entwickelt, der exakt die gleiche Funktionsweise des gerade beschriebenen Assistenten von General Motors aufweist. Hierbei werden jedoch ungenaue Daten in den Kollisionsberechnungen und Warnzeitpunkten berücksichtigt und die jeweiligen Fahrzeugabmessungen mit in die Berechnungen einbezogen, um korrekte Prognosen über mögliche Kollisionsbereiche zu stellen. Diese werden zusätzlich über die C2C-Kommunikation übertragen. Akzeptanz und Wirksamkeit wurden bei diesem System ebenfalls untersucht. Zur Akzeptanz konnte eine Warnstrategie bezüglich des Warnzeitpunkts entwickelt werden, die zu 95% akzeptiert wurde.

Als HMI wurde dabei eine Kombination aus visueller (Warnsymbol in HUD und Kombiinstrument), akustischer und haptischer Warnung gewählt, bei dem der Fahrer am letztmöglichen Warnzeitpunkt einen plötzlichen Bremsdruck mit einer Dauer von einer Sekunde erfährt und zeitgleich die visuelle und akustische Warnung auftritt, um dem Fahrer die kritische Situation mitzuteilen. Diese Assistenzstrategie wurde im Akzeptanztest von den Versuchspersonen bevorzugt.

Die Wirksamkeit wurde in einem weiteren Versuch zur Ermittlung, ob dieses System die Kreuzungssicherheit erhöhen kann, ebenfalls bewiesen (Klanner et al., 2008, S. 19). Weiterer Unterschied zum vorigen beschriebenen System ist die Verwendung einer C2X-Kommunikation, wobei die Fahrzeuge nicht nur über einander kommunizieren können, sondern auch über infrastrukturgebundene Funkmodule. Vorteil gegenüber reiner C2C-Kommunikation ist, dass

sichtverdeckte Fahrzeuge immer miteinander kommunizieren können, auch wenn kein drittes Fahrzeug die Verbindung an einer Sichtverdeckung vorbei herstellen kann. Dafür sorgt ein fest installiertes C2I-Modul an der Kreuzung, das in alle Einmündungen senden kann, um Fahrzeuge mit eingeschränktem Funkkontakt miteinander zu verbinden (Klanner et al., 2008, S. 5-13). Ein wesentlicher Nachteil dieser Systeme ist, dass die Funktionalität nur für ausgerüstete Fahrzeuge mit C2C- bzw. C2X-Modulen gewährleistet ist. Auch wenn 20% aller Fahrzeuge mit so einem System ausgestattet wären, lassen sich nur 4% aller adressierten Unfälle vermeiden (Benmimoun, Chen & Neunzig, 2005, zitiert nach Mages, 2008, S. 25f).

Des Weiteren gibt es Assistenten, die das Einbiegen und Kreuzen durch eine Kombination aus infrastrukturbasierter und fahrzeugbasierter Sensorik besonders unterstützen. So ein System ist für sehr unfallreiche Kreuzungen geeignet. Um die Sensorik von Fahrzeugen und Infrastruktur miteinander wirken zu lassen, bietet sich eine Kommunikation der Sensorträger über ein C2I-System an. Die aus der Infrastruktur erfassten Daten können so an die beteiligten Fahrzeuge im Umfeld verbreitet werden. Voraussetzung für den Empfang der Daten ist wieder die Ausstattung mit dem entsprechenden C2I-Kommunikationssystem im Fahrzeug (Mages et al., 2009, S. 576).

Die im Projekt INTERSAFE entwickelten Applikationen, wie der vorgestellte Rotlicht- und Grünphasenassistent (siehe Ampelassistenz), sind auf Basis einer WLAN-C2I-Kommunikation entstanden. Der zuletzt beschriebene, auf fahrzeugautarker Sensorik basierende Antikollisionsassistent, war im gleichen System mit eingebunden, allerdings nicht für eine C2I-Kommunikation, um Positions- und Bewegungsdaten zu erhalten, vorgesehen, sondern höchstens für die Übertragung von informierenden Aspekten wie Straßen-, Wetter-, und Verkehrskonditionen (Fürstenberg, 2005, S. 2). Abbildung 43 zeigt die gesamte Systeminfrastruktur für die Applikationen von INTERSAFE. Es ist zu ersehen, dass die Kommunikationseinheit nicht für die Wahrnehmung anderer Verkehrsteilnehmer genutzt wird.

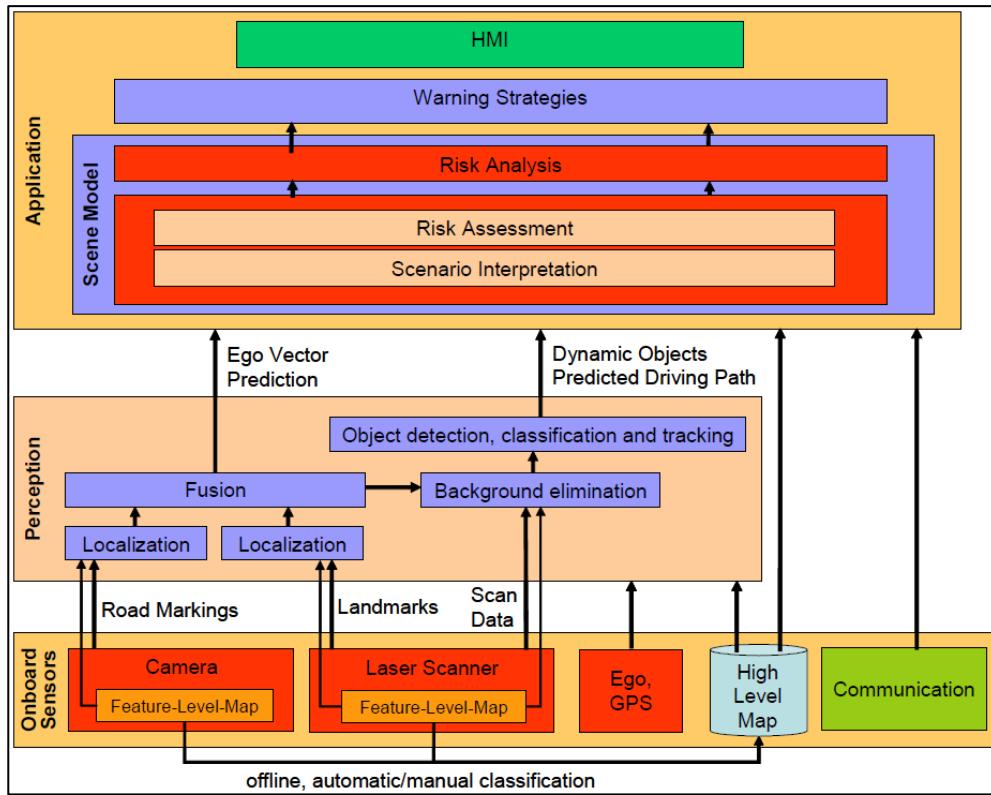


Abbildung 43: Systeminfrastruktur bei INTERSAFE (Fürstenberg, 2005, S. 3)

Der Vorteil, über die vorhandene C2I-Kommunikation Daten von infrastrukturbasierten Sensoren zur Erfassung anderer Verkehrsteilnehmer auf der Kreuzung zu erhalten, wurde von VW (Konsortialpartner von INTERSAFE) relativ zeitgleich neben dem INTERSAFE-Projekt erkannt. Dabei ist eine mögliche Erkennung sichtverdeckter Objekte möglich, die von der fahrzeugbasierten Sensorik nicht erfasst werden können. Abbildung 44 verdeutlicht dieses Prinzip.

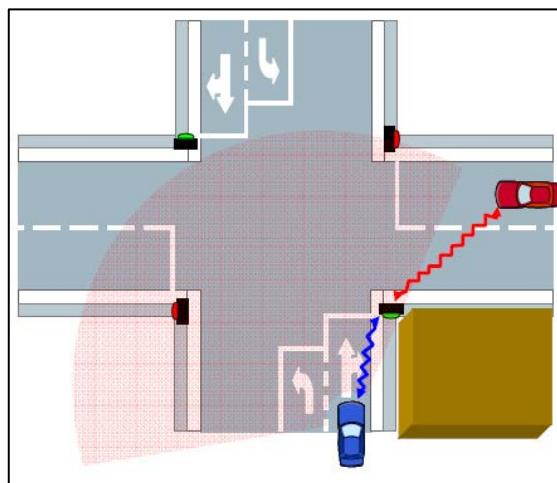


Abbildung 44: Erkennung sichtverdeckter Objekte durch C2I (Obojski & Meinecke, 2008, S. 22)

Zusätzlich können die von der infrastrukturbasierten Sensorik erfassten Positions- und Bewegungsdaten der verdeckten Objekte in das Egofahrzeug übertragen werden (Obojski & Meinecke, 2008, S. 22). VW entwickelte und testete zeitgleich zum Projekt INTERSAFE einen auf dieser Basis funktionierenden Linksabbiegeassistenten (Obojski & Meinecke, 2008, S. 6-10), der später beschrieben wird (siehe Kapitel 3.2.4). Das Ergebnis brachte VW mit in das Projekt INTERSAFE-2 ein, indem der auf fahrzeugautarker Sensorik basierende Einbiegen- und Kreuzenassistent über die WLAN-C2I-Kommunikation mit infrastrukturbasierter Sensorik gekoppelt wurde. Während des Projekts INTERSAFE wurde dieser Ansatz bereits für einen Fahrsimulator entwickelt und getestet und die dort gesammelten Erfahrungen für die Entwicklung des realen Assistenten unter INTERSAFE-2 genutzt (Klanner, 2008, S. 9).

Für die infrastrukturierte Erfassung aller Verkehrsteilnehmer an einer Kreuzung (Fahrzeuge, Fußgänger, Radfahrer) sieht das Konzept Laserscanner, Infrarotsensoren und Kameras vor, deren Informationen verrechnet werden, um als Positions- und Bewegungsdaten über WLAN an dafür ausgestattete Fahrzeuge übermittelt zu werden. Dieses System wurde zu Testzwecken im realen Verkehr an einer Kreuzung in Wolfsburg installiert (Focus Online, 2010).

Die Fahrzeug-Sensorik der zum Testen verwendeten Fahrzeug-Demonstratoren von BMW und VW, wurden in diesem Rahmen gegenüber dem Projekt INTERSAFE ebenfalls aufgestockt. Neben der Laserscanner-Sensorik und der Monokamera in der Front, wurde die Sicht durch eine Stereokamera ergänzt, um ebenfalls Objekte wie Fußgänger, Radfahrer, KFZ und dessen Entfernung zu erfassen. Zusätzlich wurden verschiedene Radarsensoren im VW-Demonstrator verbaut, die aber vorwiegend der ebenfalls entwickelten Abbiegeassistenz dienen (Honsel, 2010) und später beschrieben werden (siehe Abbiegeassistenz). Auch das Kommunikationsmodul wurde durch ein C2C-Modul ergänzt, woraus ein C2X-Modul entsteht und somit ein kooperatives System integriert ist. Dadurch sollen die Fahrzeuge direkt miteinander kommunizieren können, um Fahrzeugtyp, Position und Geschwindigkeit sowie Fahrdynamikdaten auszutauschen (Pudenz, 2011b). Abbildung 45 verdeutlicht die verschiedenen Reichweiten von Lidar- und Kameradetektion sowie der C2C- bzw. C2X-Übertragung (dort als V2V bezeichnet) am BMW-Demonstrator-Fahrzeug.

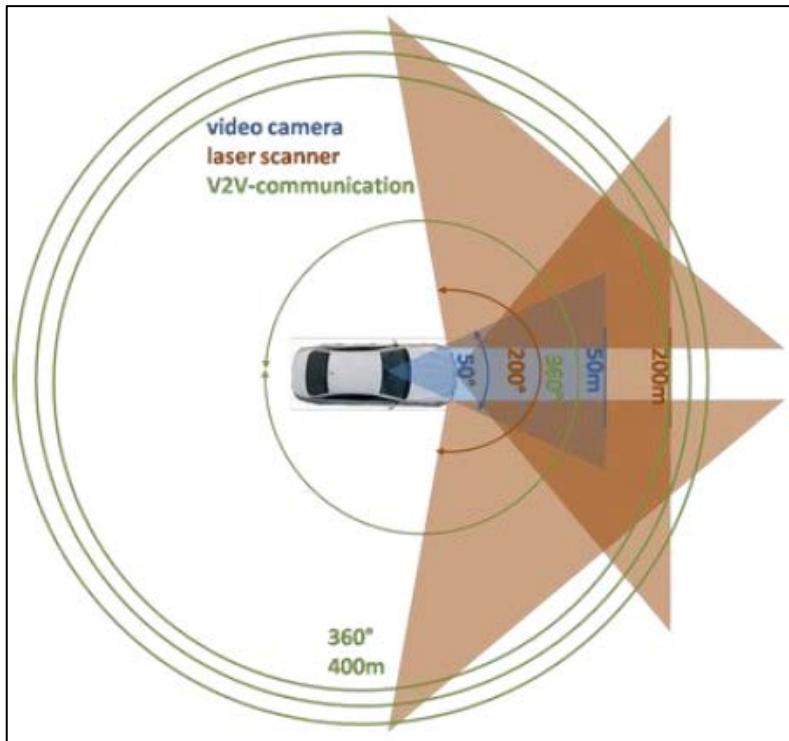


Abbildung 45: Sensorik und dessen Reichweiten im BMW-Demonstrator für INTERSAFE-2 (Wimmershoff, 2013, S. 2)

Das System prognostiziert aus allen erhaltenen Daten mögliche Trajektorien aller erfassten Verkehrsteilnehmer und errechnet für jede sich schneidende Trajektorie ein Kollisionsrisiko. Wird eine Kollision immer wahrscheinlicher, werden entsprechende Maßnahmen zur Kollisionsvermeidung eingeleitet. Die Eingriffsstrategie erfolgt analog der kurz vorgestellten Rotlichtassistenz von INTERSAFE-2 (siehe Ampelphasenassistenz). Zunächst eine akustische und optische Warnung und anschließend ein autonomer Eingriff in Form eines Bremsdrucks, je nachdem, ob im Falle einer drohenden Kollision eine Fahrerreaktion ausbleibt (Pudenz, 2011a). Damit kann auch das Anfahren aus dem Stand verhindert werden, falls eine Zeitlücke im Querverkehr zu klein wäre. Ein autonom eingeleiteter Bremseingriff kann durch genügende Betätigung des Bremspedals abgeschaltet werden. Bei einem Festhalten aus dem Stand heraus, kann durch erneutes Betätigen des Gaspedals der Eingriff im Fall einer Sondersituation übersteuert werden.

Die hier angestrebte Antikollisionsassistenz von INTERSAFE-2 legt die Hauptaufgabe allerdings auf das Vermeiden von Abbiegeunfällen (Pudenz, 2011b). Systeme zur Abbiegeassistenz werden im nächsten Kapitel behandelt.

Vorteil der Systeme mit kombinierter Sensorerfassung aus Infrastruktur und Fahrzeug ist, dass auch die nicht-ausgestatteten Fahrzeuge von der Kreuzungssensorik erfasst und dessen Daten verbreitet werden, so dass selbst bei einer geringen Ausstattungsrate so ein System zu einem Sicherheitsgewinn für ausgestattete Fahrzeuge führen kann (Mages et al., 2009, S. 576). Nachteilig zu betrachten ist der Aspekt, dass ebenso wie die Fahrzeuge auch die Kreuzungen eine entsprechende Sensorik und die Kommunikationsmittel für die Funktion aufweisen müssen. Zudem müsste die zusätzliche Technik für die Kreuzungen, anders als die Komponenten für das Fahrzeug, von der zuständigen Kommune beschafft und gewartet werden. Bei den allgemein bekannten Schuldenproblemen vieler Kommunen, sind finanzielle Ausgaben seitens der Kommunen für dieserart Technik eher fragwürdig (Honsel, 2010).

Alle hier beschriebenen Erfassungsmethoden lassen sich, wie bereits angesprochen, ebenfalls für eine Abbiegeassistenz einsetzen. Gerade für die Detektion von entgegenkommendem Verkehr, bieten die meisten Systeme hervorragende Voraussetzungen für eine Unterstützung beim Linksabbiegen.

3.2.4 Abbiegeassistenz

Im Folgenden werden Assistenzsysteme beschrieben, welche die Vorgänge bei Abbiegemanövern unterstützen, sowohl beim Linksabbiegen als auch beim Rechtsabbiegen. Vor allem Assistenten für das Linksabbiegen sind besonders gefordert, da allein schon beim Einfahren in eine Kreuzung, anders als bei anderen Situationen, vielfache Trajektorien möglich sind, da meist kein fest definierter Abbiegpunkt existiert. Deshalb sind diese Assistenten in der Erkennung des Abbiegewunsches und der Analyse des Fahrerverhaltens besonders gefordert.

Auch für Fahrer ist gerade das Linksabbiegen eine komplexere Aufgabe. Sie müssen zunächst den Gegenverkehr beachten und zudem den Abstand und die Geschwindigkeit der Fahrzeuge richtig einschätzen. Oft kommen Fußgänger und Radfahrer hinzu, welche die Straße überqueren, in die man einbiegt und müssen ebenfalls beachtet werden. Aufgrund dessen wird hier die Linksabbiegeassistenz vorwiegend behandelt.

Die Situationen *Anfahren aus dem Stand*, oder *direkte Fahrt ohne Halt* werden hier, wie bei den vorigen Assistenten, ebenfalls unterschieden. Beide Situationen stellen jeweils verschiedene Anforderungen an einen Assistenten. Fährt beispielsweise ein Fahrzeug zum Linksabbiegen in eine Kreuzung ein und bleibt in der Kreuzungsmitte mit gesetztem Blinker stehen, ist für ein System der Abbiegewunsch nahezu 100%ig erkennbar. Aufgrund des meist geringen Raumbudgets innerhalb einer Kreuzung, wird das Fahrzeug allerdings direkt an der Grenze zur Gegenfahrbahn stehen. Das bedeutet, es bleibt keine Zeit einen Fahrer zu warnen, falls er bei zu kritischem Gegenverkehr anfahren möchte. In diesen Situationen muss also durch einen Volleingriff das Anfahren unterbunden werden. Das Festhalten eines Fahrzeugs muss der Fahrer übersteuern können. Es wird empfohlen den Fahrer bereits beim Warten visuell über kritische Zeitlücken im Gegenverkehr zu warnen und ihn bei der Wahl einer ausreichenden Lücke zu unterstützen. Für die Anzeige dieser Informationen sollte aus bereits bekannten Gründen (siehe STOP-Schild-Assistenz) wieder ein HUD verwendet werden.

Eine andere Situation spielt sich beispielsweise folgendermaßen ab: Ein Fahrer will links abbiegen und sieht eine Lücke im Gegenverkehr, in die er ohne anzuhalten abbiegen will. Das Problem für eine Assistenz ist die sichere Erkennung des Abbiegewunschs, denn sicher ist der Wunsch erst zu erkennen, wenn bestimmte Schwellenwerte, wie der Winkel des Lenkradeinschlags, überschritten werden. Aufgrund dieser Tatsache bleibt keine Zeit für Informationen, bzw. Warnungen über eine kritische Abbiegesituation. Als optimaler Eingriff wird eine ebenfalls übersteuerbare, autonome Abbremsung des Fahrzeugs angesehen, um einen Unfall zu vermeiden. Im Optimalfall sollte ein System dafür die typische Beurteilung von Zeitlücken eines Fahrers berücksichtigen (Mages et al., 2009, S. 577).

Im Folgenden werden verschiedene Systemansätze präsentiert, die sich in verschiedenen Assistenzaufgaben, wie Erfassung des Gegenverkehrs beim Linksabbiegen oder Erfassung des Fuß- und Radverkehrs auf den Überwegen beim Links- und Rechtsabbiegen unterscheiden.

Im Abschnitt der Einbiegen-/Kreuzen-Assistenten wurden Systeme die auf reiner Fahrzeugsensorik basieren vorgestellt. Außerdem wurde angekündigt, dass diese Systeme ebenfalls die Fähigkeit haben Gegenverkehr und teilweise sogar Fußgänger und Radfahrer zu erkennen.

Das entwickelte System der HTW funktioniert dabei, wie im obigen Abschnitt beschrieben, mit einem Laserscanner, der entgegenkommende Fahrzeuge detektieren kann, wodurch das Linksabbiegen unterstützt werden kann. Falls das System eine bevorstehende Kollision errechnet, wird automatisch die elektrische Feststellbremse betätigt. Im Voraus erscheint bereits eine Warnung auf einem Bildschirm (Unger, 2010).

Die fahrzeugautarken Sensorsysteme von Mercedes, sind durch Radar und Stereokamera auf schwächere Verkehrsteilnehmer spezialisiert. Beim Rechts- und Linksabbiegen kann das Fahrzeug z.B. vor einem detektierten Fußgänger in der Fußgängerfurt stehenbleiben (n-tv.de, 2013).

Auch die vorgestellte Querverkehrsassistenz des Projekts Intersafe basiert auf fahrzeugautarker Sensorik. Mit gleicher Systematik, wie oben beschrieben, durch exakte Positionierung mit Hilfe von Kamera und Laserscanner, kann ebenfalls ein Linksabbiegeassistent hervorgebracht werden. Wie im System der HTW erfassen Laserscanner dabei den Gegenverkehr. Das System zeigt dem Fahrer im Navigationsdisplay den Risikograd für das aktuelle Linksabbiegemanöver. Wie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt, erscheint hier statt des VA-Zeichens ein „Achtung, Gegenverkehr!“-Zeichen mit Linksabbiegepfeil (Chen et al., 2007, S. 143).

Ein System mit Intelligenz in der Infrastruktur, wurde im Rahmen der *Safespot-Initiative* entwickelt und an einer realen Kreuzung getestet. Es soll vor Unfällen mit überschreitenden Fußgängern und Radfahrern beim Rechts- und Linksabbiegen schützen. Dafür werden durch mehrere Laserscanner, die an einer Kreuzungcke platziert sind, alle Fußgängerüberwege und einmündende Radwege abgetastet. Außerdem erhält das System mithilfe eines C2I-WLAN-Moduls Daten von sich nähernden C2I-fähigen Fahrzeugen über die jeweilige GPS-basierte Position und Bewegung, sowie den Status des Blinkers. Setzt nun ein herannahendes Fahrzeug den Blinker nach rechts oder links, wird mittels der Laserscanner überprüft, ob sich Fußgänger in der entsprechenden Furt befinden

oder sich Radfahrer der Furt nähern, in welche eingebogen werden soll. Ist dies der Fall, wird über die WLAN-Schnittstelle eine Warnung an das Fahrzeug gesendet, woraufhin dem Fahrer eine optische und akustische Warnung ausgegeben wird. Die vom Laserscanner ermittelten Positions- und Bewegungsdaten von Fußgängern und Radfahrern werden mit Hilfe eines hinterlegten hochgenauen Umgebungsplans der Kreuzung mit den Daten der sich nähernden Fahrzeuge abgeglichen, um das Kollisionsrisiko zu berechnen. Nachteil dieser Lösung ist, dass die Laserscanner an der Ecke einer Kreuzung bei Verdeckung keine Daten liefern können. Dies war der Fall bei der Präsentation des Konzepts, als das große Medienaufgebot die Sicht des Laserscanners auf einen fahrradfahrenden Stuntman behinderte. Dadurch kam keine Warnung im nahenden Fahrzeug zustande (Borchers, 2010). Durch ein Anbringen von Laserscannern an jeder Kreuzungsecke, könnte diesem Problem entgegengewirkt werden. Vermutlich könnte das Lidar-basierte System auch zur Erkennung von Gegenverkehr auf der Fahrbahn eingesetzt werden. Der folgende Ansatz zeigt eine ähnliche Realisierung.

VW forschte und entwickelte konzernintern ebenfalls an einem Abbiegeassistenten, der wie das vorige System auf infrastrukturgestützte Sensorik mit gekoppelter C2I-Kommunikation basiert. Neben Fußgängern und Radfahrern wird ebenfalls der Gegenverkehr von der Infrastruktur detektiert (Obojski & Meinecke, 2008, S. 6). Dies geschieht mit Kameras, die in jede Einmündung der Kreuzung schauen (VW AG, 2012, S. 1). Abbildung 46 verdeutlicht die Funktion der Erkennung.

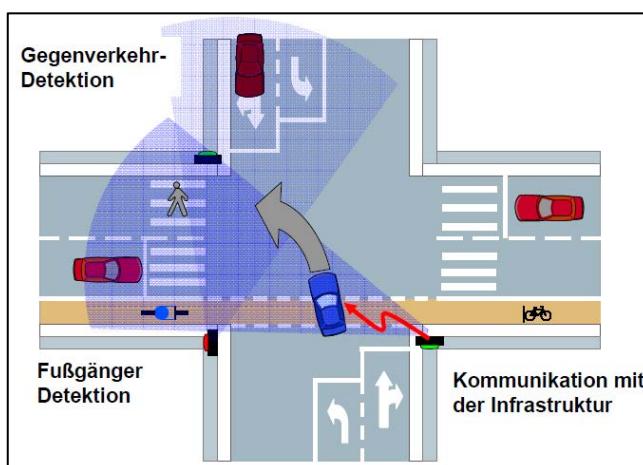


Abbildung 46: Funktionsweise der Linksabbiege-assistenz von VW (Obojski & Meinecke, 2008, S. 7)

Der Vorteil der oben am Signalmast angebrachten Kameras ist, dass diese nicht wie die Laserscanner im oben beschriebenen System leicht zu verdecken sind. Die weitere Funktionsweise ist gleich dem vorigen System, außer dass zusätzlich vor entgegenkommenden Verkehr gewarnt wird (VW AG, 2012, S. 1). Als Anzeigekonzept verändert sich die Blinkerfarbe von Grün auf Rot, falls das Abbiegen aufgrund von Fußgängern in der Furt, sich nähernden Radfahrern oder entgegenkommenden Fahrzeugen zum Unfall führen würde. Zusätzlich werden Warnungen im Navigationsdisplay eingeblendet (Obojski & Meinecke, 2008, S. 8-10), dargestellt in Abbildung 47.



Abbildung 47: HMI der Linksabbiegeassistenz von VW, Änderung der Blinkerfarbe und Anzeige im Navigationsdisplay (Obojski & Meinecke, 2008, S. 9)

Die empfohlene Anzeigestrategie mittels HUD wird hier nicht umgesetzt, deshalb ist dieses Anzeigekonzept eher negativ zu bewerten. Ein Fahrer soll schließlich seinen Blick, vor allem beim Abbiegen, auf die Verkehrssituation lenken und nicht auf das Navigationsdisplay, bzw. auf das Blinkersymbol. Die empfohlenen Eingriffsstrategien werden ebenfalls nicht umgesetzt. Bei diesem und dem vorigen System wird der Fahrer nur durch Warnungen unterstützt, ein aktiver Eingriff findet nicht statt. Bereits bekannt aus den vorangegangenen Abschnitten ist die Problematik bei kommunikationsbasierten Systemen, dass die Funktion eine Ausstattung mit dem entsprechenden C2I-System voraussetzt.

Die im Abschnitt Einbiegen-/Kreuzenassistenz angesprochene Abbiegeassistenz aus dem Projekt INTERSAFE-2 soll Unfälle beim Rechts- und Linksabbiegen, durch die Erkennung aller Verkehrsteilnehmer im Kreuzungsumfeld (Fußgänger, Radfahrer, Fahrzeuge), vermeiden. Das Rundum-System besteht aus kombinierter Sensorik in Infrastruktur und Fahrzeugen. Die Gesamtfunktion der Abbiegeassistenz basiert auf dem beschriebenen System der Antikollisionsassistenz aus dem Kapitel Einbiegen-/Kreuzenassistenz. Für die Abbiegeassistenz kommen allerdings noch weitere Sensoren im Fahrzeug zum Einsatz. Neben der Lidarsensorik, welche die gesamte Kreuzung vor dem Fahrzeug erfassen kann; der Stereokamera, die ebenfalls den Bereich vor dem Fahrzeug einsieht; werden zusätzlich ein 77-Gigahertz Long-Range-Radar (LRR) mit schmalem, aber sehr weitem Detektionsbereich für die frühe Erfassung von Gegenverkehr und vier 24-Gigahertz Short-Range-Radargeräte (SRR) für die Nahdetektion im Seiten- und Heckbereich zum Beispiel von Fahrradfahrern verwendet (Honsel, 2010). Abbildung 48 zeigt die Abdeckungsbereiche und ungefähre Reichweiten der verbauten Sensoren.

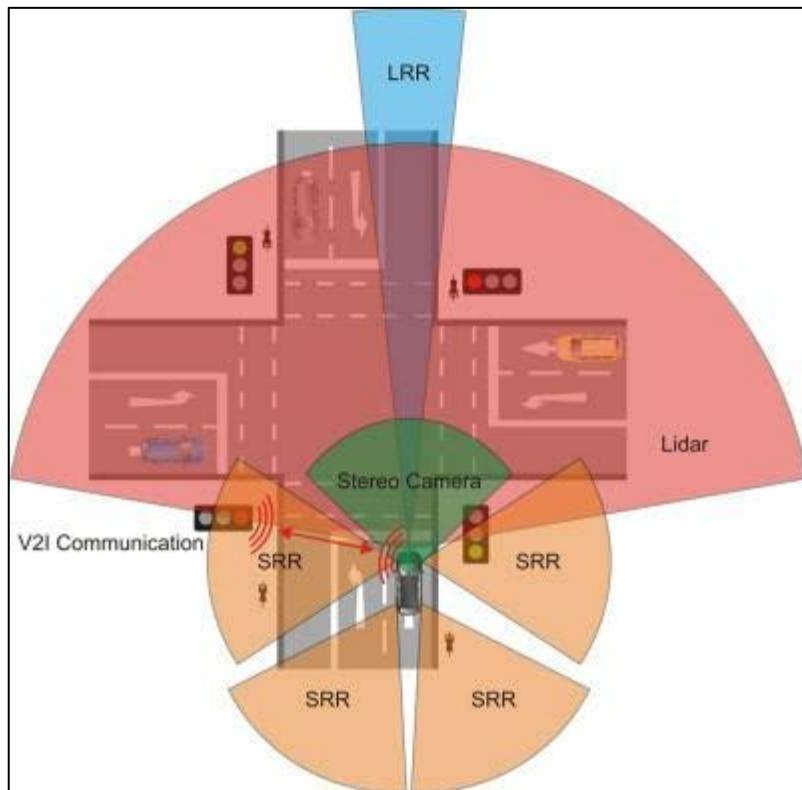


Abbildung 48: Sensoren des VW-Demonstrators für INTERSAFE-2 (Wimmershoff, 2013, S. 2)

Das Zusammenspiel dieser Sensorvielfalt, sowie Warn- und Eingriffsstrategie funktionieren wie bereits im Kapitel Einbiegen-/Kreuzenassistenz beschrieben. Die Erkennung des Abbiegewunschs erfolgt unter anderem, wenn die Sensoren Kamera und Lidar (mit Hilfe der hochgenauen Digitalkarte) die Fahrzeugposition auf einer Linksabbiegerspur, durch beispielsweise die Detektion des Linksabbiegepfeils auf der Fahrbahn, erkennen. Zusätzlich bestätigt ein gesetzter Blinker den Abbiegewunsch, die absolute Bestätigung erfolgt jedoch erst durch Detektion eines Lenkradeinschlags. Ein gesetzter Blinker reicht allerdings für die Aktivierung der Abbiegeassistenz aus.

Der Linksabbiegeassistent für die Bewahrung vor Unfällen mit dem Gegenverkehr wurde dennoch nur bis zu einer Geschwindigkeit von 10km/h des wortepflichtigen Fahrzeugs ausgelegt. Das bedeutet, dieser Assistent kann mehr oder weniger nur das Anfahren aus dem Stillstand unterbinden, um eine Kollision mit dem Gegenverkehr zu verhindern (Pudenz, 2011b).

Vor- und Nachteile des allgemeinen Systems wurden ebenfalls bereits in den vorangegangenen Kapiteln genannt. Zusätzlich zu entsprechenden Kommunikationsmodulen im Fahrzeug werden natürlich auch alle anderen Sensoren benötigt, um die komplette Assistenz zu gewährleisten. Tatsächlich ist in den meisten Serienfahrzeugen bereits heute eine Vielzahl an Sensoren verbaut, die unter anderem zum Teil für dieses System genutzt werden könnten (Honsel, 2010).

Ein weiteres Beispiel der Abbiegeassistenz wird anhand eines aktuellen Forschungsprojekts des DLR, mit Bezug auf die sogenannte Forschungskreuzung in Braunschweig, im folgenden Unterkapitel gezeigt.

3.3 Forschungskreuzung

Im Rahmen des Forschungsprojekts AIM (Anwendungsplattform Intelligente Mobilität) des DLR in Braunschweig wurde das Teilprojekt *Forschungskreuzung* entwickelt. Dabei wurde die bereits oben gezeigte Kreuzung Hagenring/Brucknerstraße (siehe Kapitel 2.2.1) mit der LSA-Nr. K047 mit einer umfassenden Sensorik zu einer Forschungsanlage ausgerüstet. Ziel dabei ist es, die verbauten Messsysteme selbst ausgiebig auf ihre Funktionsmöglichkeiten zu

testen und zudem Erkenntnisse über den gesamten Verkehrsablauf unter Erfassung der motorisierten und nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmer zu gewinnen. Die Grundaufgabe des Gesamtsystems aus Sensorik, Kommunikationsinfrastruktur, Software und Rechentechnik besteht darin, jeden Verkehrsteilnehmer innerhalb des Kreuzungsumfelds zu erkennen, zu verfolgen und zu klassifizieren, um eine Gesamtszene des Verkehrsablaufs zu bestimmen und diese Daten für verschiedene Applikationen bereit zu stellen. Das System unterteilt sich dabei in die Detektion von motorisiertem und nicht-motorisiertem Verkehr durch teilweise gleiche Sensorik, die aber auf unterschiedliche Verkehrsteilnehmer ausgerichtet ist. Beide Systeme sind allerdings miteinander verknüpft. Das Multi-Sensor-System (MSS) für die Erfassung motorisierter Verkehrsteilnehmer auf der gesamten Kreuzungsfläche benötigt die Ausrüstung von vier Positionen innerhalb der Kreuzung mit jeweils einem 24-Gigahertz Radargerät; einer Übersichtskamera für die reguläre Erfassung des gesamten Kreuzungsbereichs; einer Detailkamera mit höherer Auflösung, die unter anderem der besseren Erfassung des Fernbereichs dient und einem Hochleistungs-Infrarot-LED-Blitz, um bei schlechten Sichtbedingungen oder bei Nacht die Kreuzung künstlich auszuleuchten (JENOPTIK, 2014, S. 3-5). Die Positionierung der Sensoren innerhalb der Kreuzung zeigt Abbildung 49.

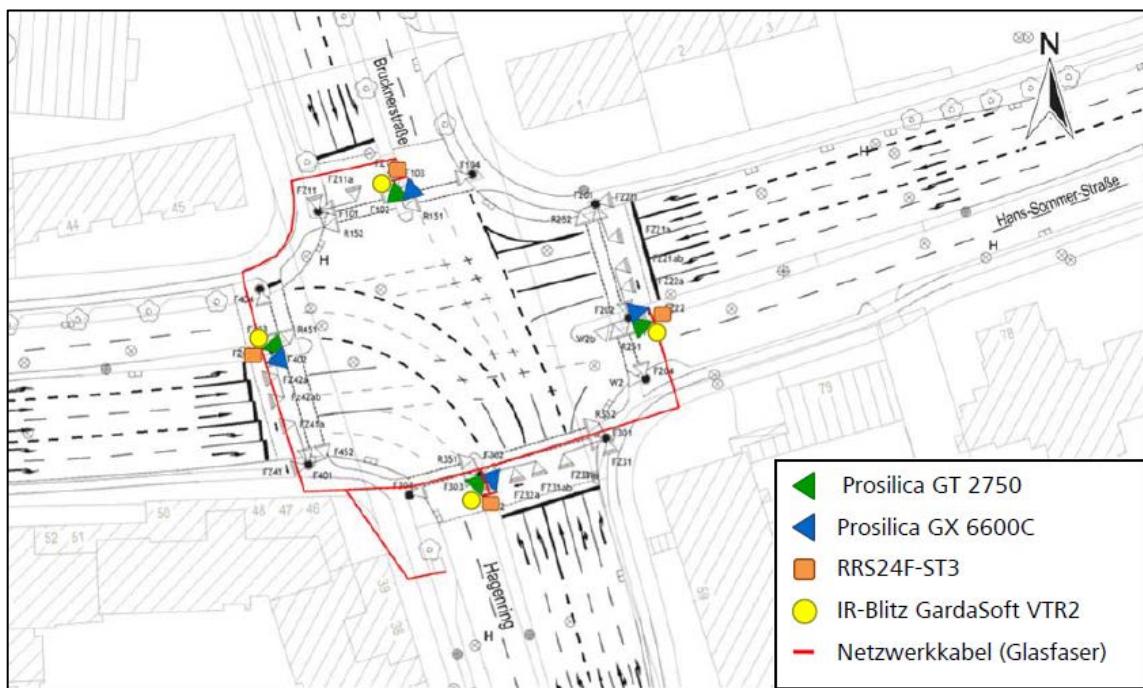


Abbildung 49: Positionierung und Verkabelung des MSS für die Erfassung motorisierter Objekte auf der Forschungskreuzung (JENOPTIK, 2014, S. 4)

Die beiden unterschiedlichen Kameratypen sind jeweils horizontal, leicht versetzt nebeneinander angebracht, wodurch eine Stereovision möglich ist. Das System zur Erfassung nicht-motorisierter Verkehrsteilnehmer (SENV) ist bisher nur für die Detektion der südlichen und westlichen Fußgänger- und Radfahrerfurten, inklusive der einmündenden Umgebungen, montiert. Dabei kommen ebenfalls an vier Positionen jeweils zwei Übersichtskameras und ein Hochleistungs-Infrarot-LED-Blitz zum Einsatz. Die beiden gleichartigen Kameras sind ebenfalls horizontal nebeneinander angeordnet, um direkt eine Stereovision zu erzielen (Knake-Langhorst, 2014, S. 5). Abbildung 50 zeigt die Position und die erfassten Bereiche der Kameras innerhalb der Kreuzung.



Abbildung 50: Position und Detektionsbereich des SENV auf der Forschungskreuzung (JENOPTIK, 2013, S. 11)

Außerdem hat die Kreuzung die Fähigkeit, ihre Daten zusammen mit den Daten des LSA-Signalprogramms über C2X-Module zu übertragen. Dies geschieht über RSU, die nach den Übertragungsstandards des Projekts simTD funktionieren, also per WLAN-Standard oder UMTS (siehe Ampelassistenz, Kapitel 3.2.2). Mit diesen Voraussetzungen bietet die Kreuzung großes Potential für die Verwendung und Entwicklung von Kreuzungsassistenzsystemen im urbanen Raum. Abbildung 51 zeigt die Systemarchitektur der Forschungskreuzung.

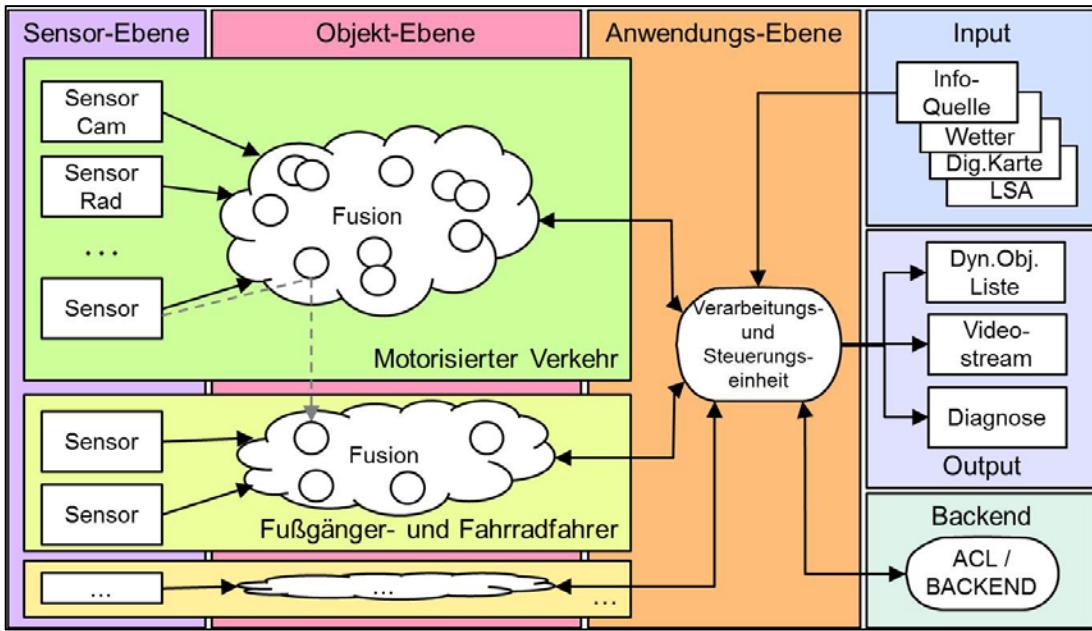


Abbildung 51: Systemarchitektur der AIM Forschungskreuzung
(Knake-Langhorst, 2014, S. 5)

Die bereits mehrfach zitierte Forschungsinitiative UR:BAN nutzt für ihre Forschungs- und Entwicklungsaspekte die Forschungskreuzung in Braunschweig. Im Kapitel Ampelassistenz wurden einige Ansätze des Projekts *Smarte Kreuzung* von UR:BAN beschrieben. Da die Forschungskreuzung durch die umfassende Sensorik bereits eine ‚smarte Kreuzung‘ darstellt, wird die Anwendbarkeit der verschiedenen Applikationen des Projekts unter realen Bedingungen an der Forschungskreuzung getestet. Ein Ampelassistent ließe sich mit der Forschungskreuzung umsetzen (UR:BAN, 2014b, S. 13).

Wie aus dem vorangegangenem Kapitel ersichtlich, könnte die Forschungskreuzung mit den verbauten vielzähligen Sensoren ebenfalls die Assistenz in der Quer- und Längsführung ermöglichen. Mit Detektion der motorisierten Verkehrsteilnehmer durch das MSS, und die anschließende Berechnung des Bewegungsverlaufs, wird zudem ein Bewegungsmodell mit den zu erwartenden Trajektorien einzelner Objekte errechnet. Eine Prognose des weiteren Bewegungsablaufs ist damit für bis zu 5 Sekunden möglich (JENOPIK, 2014, S. 27). In Verbindung mit der verbauten C2X-Kommunikationsfähigkeit wäre die Anwendung eines Einbiegen-/Kreuzenassistenten möglich. Gerade durch das SENV könnte das Anwendungsspektrum auf eine Abbiegeassistenz erweitert werden, indem die Forschungskreuzung Informationen zum Rechts- oder

Linksabbiegen, von Fußgängern oder Radfahrern in den Furten, übertragen könnte. Zudem könnten durch den Einblick in jede Einmündung der Kreuzung mittels MSS, Daten zu entgegenkommenden Fahrzeugen für die Warnung von Linksabbiegen übertragen. Insgesamt bietet die Forschungskreuzung damit eine vielseitige Anwendungsplattform, die zur Verkehrssicherheit beitragen kann.

Die Forschungskreuzung wird unter anderem auch für das Forschungsprojekt OptiSiLK des DLR, das bereits in Kapitel 2.2 kurz angesprochen wurde, genutzt, um verschiedene Experimente zur Verhaltensbeobachtung von unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern an komplexen Kreuzungen unter dem Einfluss äußerer Einwirkungen durch verschiedene Verkehre, durchzuführen (Lethaus, Kaul, Drewitz, Baumann, 2014).

Dazu wird derzeit ein Probandenexperiment im Simulator durchgeführt, in dem explizit die Wahrnehmung der Versuchspersonen während des Abbiegevorgangs an einer komplexen Kreuzung beobachtet und aufgezeichnet wird, um festzustellen welche Anlässe eine Person in Abbiegesituationen dazu verleitet so zu handeln, wie sie handelt. Zusätzlich wird speziell die Beeinflussung, durch verschiedene Verhaltensweisen von Fußgängern im komplexen Situationsumfeld, auf die Aufmerksamkeitssteuerung eines Probanden untersucht. Der Fokus liegt dabei auf Linksabbiegesituationen. Die im Simulatorexperiment dargestellten komplexen Kreuzungen sind dabei der Forschungskreuzung nachempfunden (Kaul, Lethaus, Drewitz, Baumann, 2014).

Während des Experiments fährt ein Proband auf einer virtuellen Strecke mit zwei Fahrspuren pro Richtung, auf der 44 Abbiegemanöver (20 mal Rechtsabbiegen, 24 mal Linksabbiegen) in verschiedenen Situationen zu bewältigen sind. Unterschiede in den Situationen stellen z.B. eine vorliegende rote oder grüne LSA, ein Abbiegemanöver mit oder ohne Gegenverkehr, sowie eventuelle Abbiegevorgänge des Gegenverkehrs während des eigenen Abbiegemanövers dar. Die Strecke wird während des Experiments von jedem Proband vier mal durchfahren, so dass insgesamt 176 Abbiegemanöver zu absolvieren sind. Dabei wird konkret die visuelle Aufmerksamkeit jedes Probanden anhand von Blick- und Pupillenmaßen während der Manöver erfasst, um ein theoretisches Modell der räumlichen Situationsrepräsentation zu erstellen. Dabei wird zum einen die Verteilung der visuellen Aufmerksamkeit auf KFZ, Fußgänger

und Radfahrer, und zum anderen das Brems- und Beschleunigungsverhalten eines Probanden im Kreuzungsbereich überprüft. Zudem soll während der Fahraufgabe im Abbiegemanöver jeweils eine Zweitaufgabe vom Probanden absolviert werden, die darin besteht, einen im Fahrzeug abgespielten Ton, der richtigen Seite zuzuordnen, aus der dieser abgespielt wurde. Wird der Ton von links abgespielt, muss ein Knopf auf der linken Seite des Lenkrads betätigt werden. Wird er von rechts abgespielt, muss entsprechend rechts gedrückt werden. Die dabei erfassten Reaktionszeiten und Antworten sollen Rückschluss auf den zeitlichen Ablauf während des Erwerbs einer Situationsrepräsentation geben.

Aus den Ergebnissen dieses Experiments lassen sich generelle Fahrermodelle bestimmen, die als Anforderungen für assistierende Maßnahmen im Kreuzungsbereich gelten. Auf dieser Basis kann anschließend ein Kreuzungs- bzw. Abbiegeassistent entwickelt werden, der möglichst allen Ansprüchen von Fahrern gerecht werden kann (Jaschke, Lethaus, Baumann & Drewitz, 2012, S. 4-12).

4 Eigene Idee eines Gesamtkonzepts

In diesem Kapitel soll nun ein eigenes Konzept einer Kreuzungsassistenz beschrieben werden. Das Konzept ist für die Assistenz an LSA-geregelten, urbanen Kreuzungen optimiert, jedoch soll es auch für alle anderen Verkehrsregelungen und Ortslagen funktionieren. Dabei wird sich an den im Vorkapitel beschriebenen Konzepten und Systemen orientiert, welche sich nach eigener Bewertung am sinnvollsten für assistierende Maßnahmen erachten. Außerdem werden auch nicht-existierende Funktionen für eine Assistenz vorgeschlagen, die sich als wünschenswert darstellen. Ähnlich wie in Kapitel 3.2 wird dazu beschrieben, welche Situationen mit welchem Ziel assistiert werden sollen, welche Technischen Komponenten dafür nötig sind und wie letztendlich die Assistenz funktioniert, inklusive Warn- bzw. Eingriffsstrategien.

Das Gesamtsystem baut auf einer Kombination aus fahrzeugbasierter und infrastrukturbasierter Sensorik auf, begründet mit dem erhöhten Sicherheitsaspekt durch die Verwendung mehrerer, unabhängig voneinander arbeitender Systeme (Mages et al., 2009, S. 576). Weiterer Grund ist, dass unausgerüstete Fahrzeuge ebenfalls von solchen Systemen profitieren würden (siehe Kapitel 3.2 Abschnitt Einbiegen-/Kreuzenassistenz). Für die Kooperation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur, soll eine Kommunikation vorzugsweise über standardisierte WLAN-Schnittstellen stattfinden, nach dem Vorbild des Großprojekts simTD (siehe Kapitel 3.2.2). Dabei ist ein Datenaustausch alternativ per Mobilfunk bzw. UMTS möglich, falls das WLAN einmal versagen sollte, oder um im Bedarfsfall weitere Applikationen, welche diese Schnittstelle benötigen, in das eigene System integrieren zu können. Dazu benötigen das Fahrzeug und die Infrastruktur jeweils ein C2X-Modul, das WLAN- und UMTS-Antennen beinhaltet.

Der Datenaustausch soll nicht nur über die Infrastruktur erfolgen können, weshalb ein C2X-System verwendet wird. Das soll dazu dienen, auch kooperative Systemansätze mit anderen kommunikationsfähigen Fahrzeugen zu ermöglichen. Dabei können Daten direkt von beteiligten Fahrzeugen, oder über andere Fahrzeuge bezogen werden (für Beispiele siehe Kapitel 3.2.3). Es soll auch in Bereichen ohne ausgestattete Kreuzungen eine umfangreiche Assistenz möglich

sein, um dem Käufer als Nutzer eines solchen Systems möglichst viel Anwendungsraum zu bieten.

Zunächst beinhaltet das System eine Ampelassistenz, bei der sich an dem Konzept der zu assistierenden Situationen, der Forschungsinitiative UR:BAN orientiert wird (Unterstützung beim Annähern, Durchfahren, Verzögern und Starten, siehe Kapitel 3.2.2). Bei der Annäherung an die nächste LSA, werden dem Fahrzeug so früh wie möglich Informationen über die LSA-Phasen übermittelt, um dem Fahrer rechtzeitig Empfehlungen zur optimalen (emissionsärmsten) Annäherung und Überfahrt anzuzeigen.

Vorweg wird durch infrastrukturseitige Maßnahmen dafür gesorgt, dass möglichst wenige Staus vor LSA-Kreuzungen entstehen und ein homogener Verkehrsfluss in einem betrachteten Gebiet erzielt wird. Dafür werden nach den Prinzipien von UR:BAN alle Daten über die Verkehrslage (sei es von Fahrzeugen oder infrastrukturseitigen Sensoren) in einer Zentrale gesammelt und aufbereitet, um alle beteiligten LSA intelligent schalten zu können.

Für die fahrzeugseitige Assistenz muss zuerst auf Basis der aktuellen Position und Geschwindigkeit des Fahrzeugs und den Daten des LSA-Phasenablaufs berechnet werden, ob eine LSA bei Grün erreicht werden kann. Falls aus den Daten über die aktuelle Verkehrslage die Verkehrsdichte oder ein Stau vor einer LSA hervorgeht, werden diese Informationen mit in die Berechnungen einbezogen, um dem Fahrer korrekte Annäherungsempfehlungen geben zu können. Die fahrzeurelevanten Daten können z.B. über den CAN-Bus ausgelesen werden (Priemer, 2010, S. 24).

Weiterhin beherrscht das System einen Algorithmus, der die Phasenwechsel von verkehrsabhängig gesteuerten LSA prognostiziert, aufgrund der Tatsache, dass weltweit der überwiegende Teil von signalisierten Knotenpunkten auf so einer Steuerung basiert (Priemer, 2010, S. 76). Hierfür bietet sich der Algorithmus, der im Zuge des Forschungsprojekts Travolution entstanden ist, an, um 10-60 Sekunden vorher, mit einer Genauigkeit von einer Sekunde, den nächsten Phasenwechsel zu prognostizieren (siehe Kapitel 3.2.2).

An einigen Kreuzungen können einzelne Fahrstreifen unterschiedlich signalisiert sein (z.B. separate Signalisierung für Links- und Rechtsabbieger), was in dem System berücksichtigt wird. Nähert sich nun ein Fahrzeug, muss also weiterhin bestimmt werden, welchen Fahrstreifen der Fahrer wählen wird, um ihm korrekte Empfehlungen bezüglich der Signalisierung zu geben. Dabei kann sich zum Beispiel an der Stellung des Blinkers orientiert werden (Information aus CAN-Bus). Zusätzlich sollte die Fahrstreifenwahl erkannt werden, falls der Blinker einmal nicht zum Abbiegen gesetzt wird. Dafür bietet sich eine Stereokamera in der Front des Fahrzeugs, auf Basis des Projekts INTERSAFE-2 an, welche die Fahrbahnmarkierungen, inklusive aufgedruckter Richtungspfeile auf der Fahrbahn erkennen kann (siehe Kapitel 3.2.4).

Da das hier vorgestellte Gesamtsystem für weitere Funktionen einer hochgenauen Ortung (siehe unten) im Straßennetz unterliegt, könnte die Fahrstreifenwahl auch damit bestimmt werden.

Ein neuartiger Ansatz für die vorzeitige Erkennung des Fahrtrichtungswunsches, wäre der Bezug von Navigationsdaten, falls eine aktive Navigation stattfindet. Der Vorteil dabei ergäbe sich durch die feststehende Fahrtroute und die daraus resultierende Fahrstreifenbenutzung, wodurch die zu visualisierende Signalisierung sehr frühzeitig bestimmt werden könnte. Ein gesetzter Blinker, hat allerdings höchste Priorität in der Fahrtrichtungswunsch-Erkennung.

Die hierbei zu assistierenden Situationen stellen sich wie folgt dar. Berechnet das System, dass die LSA bei Grün zu erreichen ist, werden dem Fahrer entsprechende Geschwindigkeitsempfehlungen, nach dem Rat von Thoma et al. (2008) mittels Einblendungen, des dafür zu haltenden Geschwindigkeitsbereichs in der Tachoskala gegeben. Wenn Fahrstreifen mit unterschiedlicher Signalisierung vorliegen, werden diese ebenfalls im Kombiinstrument visualisiert. Dabei wird der Fahrstreifen, von dem das System erwartet, dass der Fahrer ihn benutzen wird, immer groß, herausstechend und deutlich dargestellt. Nebenliegende Fahrstreifen werden dafür etwas in den Hintergrund gerückt und etwas blasser dargestellt. Jeder Fahrstreifen wird dabei durch einen Richtungspfeil kenntlich gemacht, und außerdem jeweils mit einem grünen Ampelsymbol und der jeweiligen Geschwindigkeitsempfehlung in Ziffern versehen sein. Ist dabei ein

Fahrstreifen nicht mehr bei grün zu erreichen, wird eine rote Ampel dargestellt und zudem eine Restrotanzeige mit den Ziffern der noch zu wartenden Sekunden, bis der nächste Phasenwechsel auf Grün stattfindet. Errechnet das System für den eigenen Fahrstreifen ein rotes Signal bei Ankunft an der LSA, wird dies dem Fahrer über die Anzeige rechtzeitig mitgeteilt, damit dieser sich auf die Situation einstellen und den Fuß vom Gas nehmen kann. Dazu wird lediglich das Rote-Ampel-Symbol mit der Restrot-Sekundenanzahl (wenn diese schon errechnet werden konnte) dargestellt. Im Projekt simTD wurde ein ähnliches HMI-Konzept angestrebt (simTD, 2013, S. 43). Abbildung 52 zeigt eine eigene Darstellung, wie diese Visualisierungen im Kombiinstrument aussehen könnten.

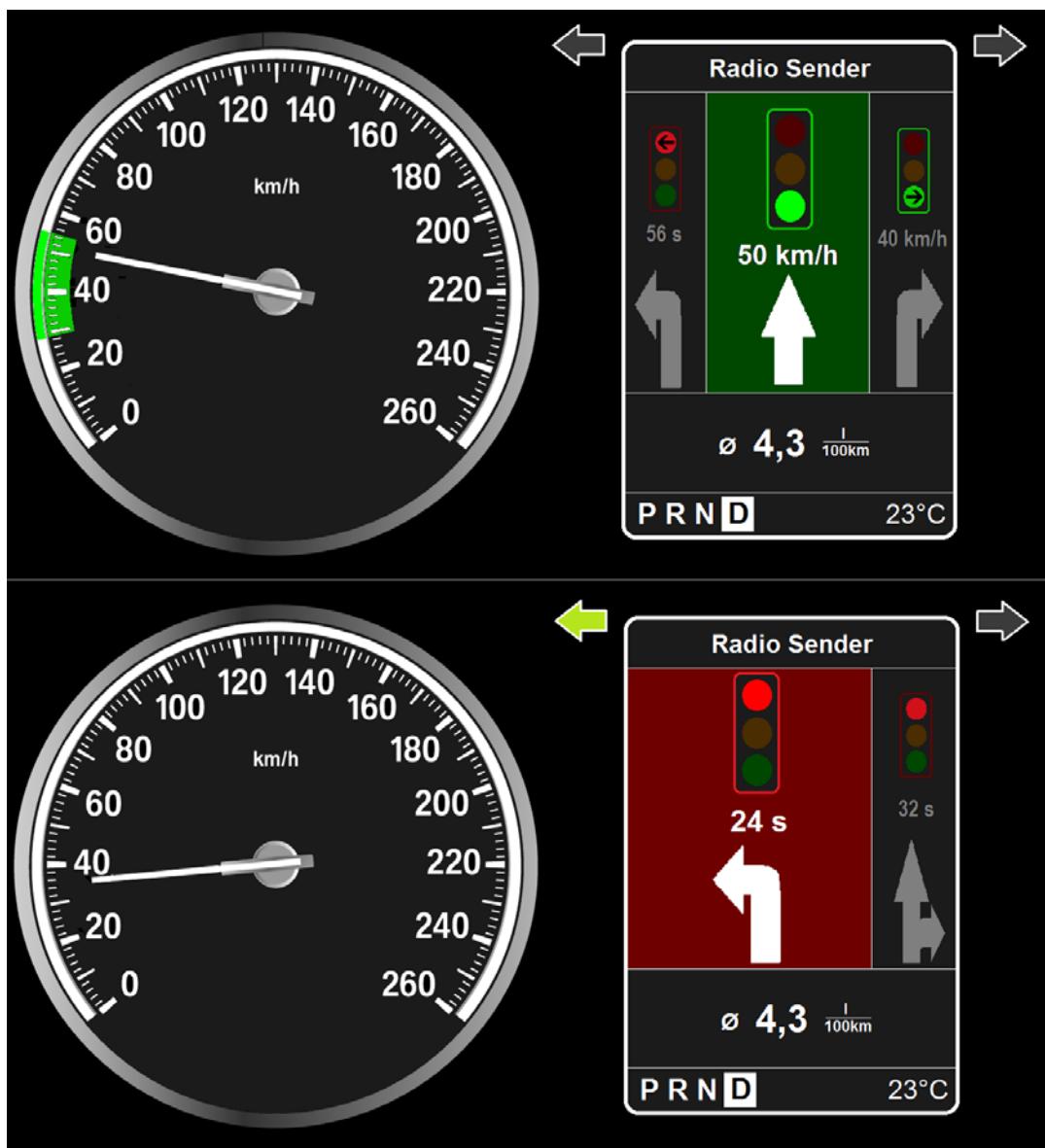


Abbildung 52: Visualisierung der Ampelphasenassistenz
(eigene Darstellung in Anlehnung an Thoma et al., 2008, S. 2)

Der Fahrer darf durch die Anzeige in keiner Weise in der Fahraufgabe beeinträchtigt werden. Des Weiteren soll das System vor ungewollten Rotlichtüberfahrten warnen. Ist eine aktive Kommunikation mit der LSA vorhanden, kann anhand der Bewegungsdaten des Fahrzeugs festgestellt werden, ob eine Rotlichtmissachtung in der Phase der Annäherung droht. Ist dies der Fall, soll durch ein rotes Ampelsymbol über ein HUD mit zusätzlichem Warnton gewarnt werden. Außerdem könnte als weitere Warnung, eine Teilbremsung erfolgen, falls eine Fahrerreaktion ausbleibt. Diese Warnstrategien finden sich unter dem Projekt von INTERSAFE-2 wieder (siehe Kapitel 3.2.2). So eine Warnung bzw. ein Eingriff darf nicht zu früh geschehen, um den Fahrer nicht zu stören. Um den bestmöglichen Warnzeitpunkt zu ermitteln, wird das typische Fahrerverhalten vom System diagnostiziert.

Steht das Fahrzeug bereits an der Haltelinie, kann durch ein Volleingriff das Fahrzeug festgehalten werden, damit kein Rotlichtverstoß aus dem Stand heraus erfolgen kann. Dazu wird ebenfalls das Rote-Ampel-Symbol im HUD angezeigt mit gleichzeitigem Warnton, um den Fahrer darüber zu informieren, warum sein Fahrzeug nicht anfährt. Der Volleingriff muss für Situationen, in denen z.B. Platz für ein Einsatzfahrzeug geschaffen werden muss, durch erneutes Betätigen des Gaspedals übersteuerbar sein, wie es ebenfalls in INTERSAFE-2 umgesetzt wurde (siehe Kapitel 3.2.2).

Mit Hilfe der vorhandenen Stereokamera in Verbindung mit einer Farbkamera, kann die Erkennung einer bevorstehenden Rotlicht- oder STOP-Schild-Missachtung zusätzlich an nicht kommunikationsfähigen Kreuzungen durchgeführt werden.

Der zweite Assistenzteil soll aus der Verhinderung von Kollisionen sich kreuzender Verkehrsteilnehmer bestehen. Dabei soll der Schwerpunkt auf der Unterstützung beim Abbiegen liegen. Beim Rechts- und Linksabbiegen sollen kritische Situationen zum einen mit überschreitenden Fußgängern und Radfahrern, und zum anderen beim Linksabbiegen mit entgegenkommenden Fahrzeugen entschärft werden. Die Detektion dieser Teilnehmer durch infrastrukturell verbaute Sensorik, würde sich dafür sehr eignen, da aufgrund des festen Standortes theoretisch eine durchgehende Erfassung des gesamten Kreuzungsbereichs stattfinden kann. Die Sensorik könnte aus Stereokameras, Laser-, oder Radar-

Scannern bestehen. Das System der Forschungskreuzung beherrscht die Erfassung der Fußgänger und Radfahrer mittels Stereokameras, und die Detektion von Fahrzeugen mittels Kameras und Radar. Durch entsprechende Software kann eine Prognose der Bewegungstrajektorien aller erfassten Verkehrsteilnehmer für bis zu fünf Sekunden erzielt werden. Das ist für eine Berechnung von möglichen, sich kreuzenden Trajektorien und der Kollisionswahrscheinlichkeiten einzelner Verkehrsteilnehmer notwendig. An dem Beispiel der Forschungskreuzung kann sich für diese Assistenz orientiert werden (siehe Kapitel 3.3).

Über die C2X-Verbindung können kommunikationstüchtige Fahrzeuge die Daten für die eigens kritischen Zustände erhalten. Dazu muss das System allerdings wissen, welchem Fahrzeug die Daten zuzuordnen sind. Das betroffene Fahrzeug muss also seine eigene Position kennen, um sie dem Infrastruktursystem mitzuteilen. Wie oben schon beschrieben soll die fahrzeugbasierte Sensorik eine hochgenaue Ortung besitzen, wofür sich z.B. satellitenbasierte Ortungssysteme wie DGPS eignen, wie es die DaimlerChrysler AG in einem Versuchsträger verwendet hat (siehe Kapitel 3.2.2).

Können sich umliegende Fahrzeuge ebenfalls selbst orten und haben die Möglichkeit, die Daten per C2C direkt auszutauschen, soll das fahrzeugbasierte System auch eine Kollisionswahrscheinlichkeitsberechnung anhand dieser Kooperation durchführen können, wie es im Systemansatz des Projekts AKTIV geschieht (siehe Kapitel 3.2.3). Das würde allerdings nur Fahrzeugen untereinander dienen und sich besser für die Einbiegen-/Kreuzenassistenz und die Erkennung entgegenkommenden Verkehrs eignen, denn hierbei werden keine Fußgänger oder Radfahrer erfasst. Diese Assistenzmöglichkeit bietet zudem eine Alternative für Kreuzungen ohne verbaute Sensorik.

Für den Fall, dass alle anderen umliegenden Verkehrsteilnehmer und die vorliegende Kreuzung nicht mit einem derartigen System ausgestattet sind, soll dieses Konzept ebenfalls die Verwendung von fahrzeugautarken Sensoren enthalten. Dafür bietet sich die verwendete Sensorik des VW-Fahrzeugdemonstrators des INTERSAFE-2-Projekts zur Orientierung an (siehe Abbildung 48). Laserscanner und Stereokamera zur Erfassung des gesamten Kreuzungsbereichs, welches der Einbiegen-/Kreuzenassistenz besonders dient, aber auch zur Fußgänger- und Radfahrerdetektion verwendet werden kann; der

weitreichende Radar nach vorne zur frühen Erkennung entgegenkommenden Verkehrs; Nahbereichs-Radarsensoren, die zur Ausleuchtung des seitlichen und hinteren Fahrzeugumfelds, vor allem beim Rechtsabbiegen, dienen können.

Zur genaueren Trajektorien-Prognose sollten, neben den Positions- und Geschwindigkeitsdaten, das typische Fahrerverhalten und weitere Merkmale, wie Blinker-Status und Pedalbetätigung, zur Erkennung des Fahrwunsches, mit einbezogen werden. Auch eventuell auftretende Ungenauigkeiten in der Positionsbestimmung sollen berücksichtigt werden. Errechnet sich nun eine hohe Kollisionswahrscheinlichkeit durch eine der verschiedenen Erfassungsmethoden, soll der Fahrer nach der im Ampelassistenzabschnitt empfohlenen Eingriffsstrategie gewarnt werden (optisch>akustisch>Teilbremsung). Falls sich keine Zeit mehr für Fahrerreaktionen errechnet und eine Kollision bevorsteht, soll das Fahrzeug hierbei allerdings durch einen Volleingriff zum Stehen gebracht werden können. Ebenso soll das Fahrzeug durch den, in der Ampelassistenz beschriebenen, Volleingriff festgehalten werden können, wenn der Fahrer aus dem Stand, vor allem beim Linkabbiegen, in eine zu geringe Zeitlücke einfahren will.

Speziell zur Assistenz beim Rechtsabbiegen soll im rechten Außenspiegel des Fahrzeugs, ähnlich wie im HUD, ein Warnsymbol aufleuchten, wenn der Fahrweg nach rechts, durch Fußgänger oder sich nähernde Radfahrer noch nicht passierbar ist. Warnanzeigen im Außenspiegel werden z.B. bei Mercedes verwendet, um eine Tote-Winkel-Assistenz auf Autobahnfahrten zu bieten (Daimler AG, 2014). Dieser Ansatz könnte auf die Abbiegeassistenz erweitert werden.

Tabelle 4 zeigt wie die Warnsymbole in diesem Konzept für verschiedene Situationen im HUD aussehen könnten.

Situationsbeschreibung					
Generelle Warnung	STOP	Ampel	Fußgänger	Abbiegeass.	Kreuzenass.

Tabelle 4: Warnsymbole für verschiedene Situationen
(in Anlehnung an Thoma et al., 2008, S. 4)

Alle Warnausgaben sollen an bereits vorhandene Assistenz- und Warnsysteme angepasst bzw. zusammengefasst werden, um dem Fahrer eine einheitliche Eingriffsstruktur zu bieten. Eine vernünftige Mensch-Maschine-Interaktion muss bei der Bedienung und Anzeige der Assistenzsysteme gewährleistet sein.

Das vorgestellte System bündelt hauptsächlich bereits umsetzbare Funktionen und Techniken aus verschiedenen Forschungsprojekten, die teilweise schon serienreif sind. Durch die Verwendung mehrerer verschiedener, unabhängig voneinander arbeitender Erfassungs- und Verarbeitungsmethoden können die Nachteile eines Systems durch die Vorteile eines anderen Systems ergänzt werden (Vor- und Nachteile der hier verwendeten Systemansätze sind im Kapitel 3.2 zu den verwiesenen Ansätzen beschrieben). Das System bietet eine perfekte Unterstützung in allen kreuzungsspezifischen Szenarien: die Ampelassistenz kann vorhersehbares Fahren ermöglichen und für weniger Kraftstoffverbrauch und somit weniger Emissionen sorgen. Die Einbiegen-/Kreuzenassistenz sowie die Abbiegeassistenz können zur Vermeidung der häufigsten Unfälle im Kreuzungsbereich, bei jeder Art der Verkehrsregelung (RVL, VA, STOP-Schild, LSA) beitragen. Das System ist dabei auf LSA-gesteuerte, C2X-fähige Kreuzungen im urbanen Raum getrimmt, kann jedoch auch Kreuzungen ohne Kommunikationsmittel sowie an ländlichen Kreuzungen unterstützen. Da vor allem auch unausgerüstete Fahrzeuge von diesem System profitieren, kann ein hoher

Sicherheitsgewinn bei geringer Ausstattungsrate erwartet werden. Die noch nicht existierenden Funktionen, wie eine offene Programmier- und Bauweise um andere Systeme zu integrieren, der Bezug von Navigationsdaten für die Fahrtrichtungswunscherkennung, die Anzeige verschiedener Warnsymbole im Außenspiegel und die Totwinkelassistenz auf Basis der fahrzeugautarken Sensorik für Abbiegevorgänge, sind nicht für die Gesamtfunktion des Systems notwendig, sondern nur wünschenswert, um die Systemwirkung weiter zu verbessern.

5 Diskussion und Ausblick

In diesem Kapitel soll das in dem vorigen Kapitel vorgestellte eigene Konzept diskutiert werden und anschließend ein allgemeiner Ausblick zu Kreuzungsassistenzsystemen erfolgen.

Das im vorigen Kapitel vorgestellte eigene Konzept zielt darauf ab, einen Fahrer in möglichst allen zu assistierenden Bereichen von Kreuzungen, für alle möglichen Situationen, mit einem System zusammengefasst zu unterstützen. Dafür werden die optimalsten und differenziertesten Assistenzfunktionen verwendet, um ein Systemversagen durch eine der vielen unterschiedlichen Situationseinflüsse zu verhindern und somit einen möglichst großen Anwendungsbereich zu gewähren. Der Vorteil ist dabei der Synergieeffekt der verschiedenen Funktionen, wobei zum Beispiel die Einbiegen-/Kreuzen-Assistenz dieselbe technische Grundlage verwenden kann wie die Abbiegeassistenz und nicht jeweils eigene Sensoren benötigt werden. Weiterer Vorteil der Synergie ist, dass dem Fahrer eine einheitliche, aufeinander abgestimmte HMI geboten werden kann, wie es bei mehreren einzelnen Systemen nicht der Fall ist.

Die vorgeschlagene mehrstufige Warn- und Eingriffsstrategie wurde bereits in mehreren Systemen verwendet und auf Akzeptanz seitens Fahrer erfolgreich getestet (Mages, 2008, S. 131). Vor allem der Einsatz durch einen Volleingriff ist sehr wichtig, um Kollisionen bei ausbleibenden Fahrerreaktionen verhindern zu können. Die Akzeptanz der Fahrer dafür wurde ebenfalls bestätigt, weshalb Volleingriffsfunktionen bereits heute schon in Serienfahrzeugen mit fahrzeugautarker Sensorik zum Einsatz kommen und ebenfalls in dem eigenen Gesamtkonzept eingesetzt werden sollen. Beim eigenen Konzept können allerdings die Eingangsdaten, über C2X empfangen, die Software über einen kurzbevorstehenden Zusammenstoß informieren, wodurch eine Vollbremsung ausgelöst werden kann. Da die C2X-Übertragung per WLAN geschieht, muss die Verbindung ausgiebig gesichert werden, damit sich keine außenstehenden Personen in die Systeme ‚hacken‘ können, denn Drahtlos-Netzwerke können leicht abgehört werden (Pößl, 2006, S. 1). Hacker könnten ansonsten das

Fahrzeug voll beeinflussen und dem System beispielsweise einen notwendigen Volleingriff vorgaukeln.

Schwierig ist die Wahl des richtigen Auslösezeitpunkts einer Warnung, um die Fahrerakzeptanz zu gewinnen. Wird ein Fahrer ständig zu früh gewarnt, fühlt er sich gestört. Deshalb fand sich in einigen Ansätzen, wie es auch im eigenen Konzept passieren soll, die Beobachtung des Fahrerverhaltens, um typische Verhaltensbilder des Fahrers in verschiedenen Situationen zu identifizieren, als geeignet. Zudem sind für eine genaue Berechnung des Warnzeitpunktes, möglichst sehr genaue Ausgangsdaten der Situation erforderlich, was hohe Ansprüche an die umgebungserfassenden Sensoren stellt. Unscharfe Daten sollen von dem eigenen entwickelten Gesamtkonzept zwar in der Kollisionsberechnung berücksichtigt werden, können im Endeffekt aber nur zu ungenauerer Warnausgaben führen.

Speziell bei der Ampelassistenz des eigenen Gesamtsystems soll die vorliegende Verkehrsdichte vor einer LSA mit in die Berechnung der Annäherungsempfehlung für den Fahrer einbezogen werden. Denn bei Stau vor der LSA, ist eine Geschwindigkeitsempfehlung ohne Nutzen. Ein existierendes System, welche diese Maßnahme beherrscht, konnte in den Recherchen dieser Arbeit nicht gefunden werden. Hierfür bedarf es also noch weiterer Forschung.

Eine Methode der Verwendung von Navigationsdaten für die Bestimmung des Fahrtrichtungswunsches, um den richtigen Fahrstreifen im Anzeigeelement zu visualisieren, konnte im Rahmen der Recherche für diese Arbeit nicht ausfindig gemacht werden. Scheinbar existiert diese Idee noch nicht und sollte unbedingt weiter verfolgt werden.

Das vorgeschlagene Anzeigekonzept für die Ampelphasenassistenz ähnelt zwar einem Modell von simTD, sollte allerdings speziell hierbei in einer Evaluation auf Verständnis, Anwendbarkeit und Ablenkung überprüft werden. Der Fahrer darf durch die Anzeige in keiner Weise in der Fahraufgabe beeinträchtigt werden. Falls sich Abweichungen ergeben, müssen entsprechende Änderungen vorgenommen werden.

Eine offene Programmier- und Bauweise, um andere, weitere Systeme zu integrieren, wäre sehr wünschenswert, gestaltet sich aber in der Realität als schwierig. Andere, zu integrierende Systeme von Fremdherstellern müssen dafür auf dieselbe „Sprache“ getrimmt sein, damit übermittelte Daten auch verstanden werden. Im Bereich der C2X-Kommunikation wird bei allen aktuellen Projekten zumindest eine Kommunikation über WLAN betrieben. Die weltweit führenden Automobilhersteller befürworten in einem Konsortium die Verwendung von einheitlichen Datenbefehlen aus C2X-Übertragungen (Priemer, 2010, S. 19).

Die zusätzliche, auf Fahrzeugsensoren basierende Totwinkelassistenz, für die Abbiegeassistenz müsste noch entwickelt werden, könnte wahrscheinlich aber aus der Totwinkelassistenz für Autobahnfahrten von Mercedes für diesen Zweck umfunktioniert werden.

Das Zusammenspiel des Gesamtsystems, mit der Verwendung mehrerer Kommunikationssysteme und Bezugsdaten durch infrastrukturbasierte und fahrzeugautarke Sensoren, sowie kooperativer Technologien muss zunächst einmal auf Machbarkeit überprüft werden. Anschließend ist höchstwahrscheinlich zu erwarten, dass Evaluationen zum Sicherheitsgewinn beitragen, denn eine Untersuchung eines kooperativen C2C-Systems, welches ähnlich verwendet wird, ist bereits positiv ausgefallen.

Der Kostenfaktor für ein solches Gesamtsystem wurde im Rahmen des eigenen Konzepts nicht betrachtet, ist aber durchaus für die Käufer eines solchen Systems relevant. Neben Autofahrern müssen Kommunen die Infrastrukturelemente bezahlen, welche aufgrund allgemein bekannter Finanzdefizite wohl weniger dazu bereit wären (vgl. Kapitel 3.2). Dafür muss noch eine Lösung gefunden werden. Ein Autofahrer, der sich ein neues Fahrzeug zulegen will, ist in der Regel ebenfalls weniger bereit, große Summen für so ein System als zusätzliche Ausstattung zu bezahlen (vgl. Kapitel 3.1). Allein der Kostenfaktor kann also die Verbreitung eines Systems verhindern. Autohersteller könnten zur Verbreitung beitragen, indem sie solche Systeme serienmäßig verbauen.

Diese Arbeit sollte zeigen, welche Fahrerassistenzfunktionen für den Kreuzungsbereich zum aktuellen Zeitpunkt theoretisch und praktisch existieren. Zudem wurden vorweg die Anforderungen, vor allem aus Unfalldaten aufgezeigt, die ein Kreuzungsassistent erfüllen sollte. Weiterhin wurde verdeutlicht, dass sich eine Kreuzungssituation, die es zu assistieren gilt, durch viele verschiedene Bedingungen unterscheiden kann. Dabei können sich im Wesentlichen die Vorfahrtsregelung, Ortslage und Geometrie der Kreuzung unterscheiden, sowie verschiedene Einflüsse auf die Fahrensituation, wie Sichtbehinderungen, auftreten. Um Unfälle unter all den möglichen Situationseinflüssen zu verhindern, sind viele einzelne, verschiedene Assistenzmaßnahmen für bestimmte Situationen entwickelt worden. Der Trend führt allerdings dahin, dass ein System für mehrere Kreuzungssituationen anwendbar ist, bis hin zu aktuell laufenden Projekten, die Komplettsysteme für alle Kreuzungssituationen und darüber hinaus teilweise die Integration weiterer Assistenzsparten bieten wollen (UR:BAN, 2014a).

Viele Ansätze haben gezeigt, dass die verschiedenen Assistenzsysteme grundsätzlich möglich sind. Teilweise wurde die Unfallverminderung durch Experimente bestätigt. Einige Kreuzungsassistenzsysteme, diejenigen die lediglich auf einzelne spezielle Assistenzsysteme spezialisiert sind, besitzen bereits den Status der Serienreife und werden teilweise schon in einigen Serienfahrzeugen verbaut. Das sind vorerst zum einen Ampelassistenten und zum anderen Querverkehrsassistenten. Das deutet darauf hin, dass in Zukunft weitere Systeme folgen werden. Da ein Käufer eines Systems natürlich eine gewisse Anwendbarkeit erwartet, werden sich wahrscheinlich Systeme mit direktem hohem Nutzen für den Anwender dabei durchsetzen.

Einen direkten Nutzen haben Systeme, die auf fahrzeugautarker Sensorik basieren, welche sich deswegen in naher Zukunft wahrscheinlich zuerst verbreiten werden. Ebenfalls haben Systeme, die auf einer Kombination aus fahrzeugbasierter Sensorik und infrastruktureller Intelligenz basieren, den großen Nutzen für den Anwender, dass auch nicht ausgestattete Fahrzeuge in nicht sichtbaren Bereichen erfasst werden. Problematisch für einen Anwender ist, dass sämtliche Kreuzungen mit dieser Technologie ausgestattet sein sollten um diesen Nutzen zu erfahren. Andererseits funktioniert die fahrzeugbasierte Sensorik auch ohne ausgestattete Kreuzungen, wodurch der Anwender trotzdem einen direkten

Nutzen erfährt. Deshalb sind auch solche Systemansätze in den nächsten Jahren denkbar. Die Frage, wer dazu die infrastrukturelle Intelligenz bereit stellt, muss allerdings noch geklärt werden.

Rein kooperative Systeme, auf Basis einer C2C-Kommunikation, sind aufgrund vorausgesetzter Ausstattung von Kollisionspartnern mit dem gleichen System, in naher Zukunft eher nicht denkbar. Dafür könnte die Integration solcher Systeme in ein kombiniertes System aus Fahrzeug- und Infrastrukturintelligenz sinnvoll sein, um das kombinierte System mit einer weiteren Bezugsmöglichkeit von Umfeldinformationen zu ergänzen.

Im Bereich der Sensorik könnte sich womöglich die Genauigkeit durch hochauflösende und weitreichendere Technik erhöhen, das der Erfassung von Fußgängern und Radfahrern zugutekäme. Ausblickend werden wahrscheinlich 360°-Kameras, Infrarot- und Ultraschallsensoren zum Schutz von schwächeren Verkehrsteilnehmern eingesetzt werden (Obojski & Meinecke, 2008, S. 39).

Nicht zu vernachlässigen ist das Thema Datenschutz. Speziell in Deutschland gelten gesetzliche Vorschriften in Bezug auf die Erhebung von personenbezogenen Daten. Allerdings wird das Gesetz bezüglich der Sensorerfassung nur auf die Datenaufzeichnung per Videokamera genauer vertieft (Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) §6b). Das DLR musste für den Betrieb der Forschungskreuzung ein Datenschutzkonzept erstellen (DLR, 2012). Zu Sensoren wie Radar oder Lidar, welche ebenfalls Objekte erfassen, verfolgen und teilweise auch klassifizieren können, gibt es keine speziellen Regelungen. Gerade wenn diese Sensoren noch präziser werden, könnte sich das Gesetz in Zukunft noch ausweiten.

In Bezug auf die HMI können sämtliche Warnaussagen (optisch, akustisch, haptisch) von verschiedenen Systemen im Fahrzeug zukünftig wahrscheinlich weiter zusammengefasst werden, wozu allerdings spezieller Forschungsbedarf besteht (Lindberg, 2012, S. 156). Bezuglich optischer Anzeigestrategien wird die Entwicklung von HUD vermutlich voranschreiten, um unter anderem größere Anzeigeflächen zu bieten (Milicic, 2009, S. 148). Darüber hinaus werden zur Anzeige verschiedener Informationen oder Warnungen in Zukunft

höchstwahrscheinlich vermehrt sogenannte kontaktanaloge HUD verwendet (Schneid, 2009, S. 117). Kontaktanaloge HUD können Visualisierungen ortskorrekt anzeigen, sodass sich prinzipiell die Anzeigen an die Umwelt anknüpfen (Israel, Seitz, Senner, Bubb, S. 2). Da aktuell schon Volleingriffe als Eingriffsstrategie in Serienfahrzeugen möglich sind, wird wahrscheinlich die Verwendung weiterer autonomer Eingriffe für Unterstützungen in verschiedenen Fahraufgaben weiter steigen. Das vorgestellte Konzept *Kreuzungslotse* als Teilprojekt der Forschungsinitiative UR:BAN, strebt ebenfalls autonome Eingriffe in der Längsregelung an (siehe Kapitel 3.2.2).

Zusammenfassend gesagt werden Kreuzungsassistenzsysteme mit einer schmaleren Funktionalität weiter in Serienfahrzeuge verbaut werden. Ferner werden zunehmend mehrere Funktionen von Kreuzungsassistenten unterstützt. Vor allem Komfortanwendungen wie Ampelphasenassistenten sind bereits auf einem hohen Stand der Entwicklung und absolut serienreif, weshalb man in naher Zukunft in Cockpits von neuen Fahrzeugen Geschwindigkeitsempfehlungen für das haltefreie Passieren von vereinzelten kommunikationsfähigen LSA-geregelten Kreuzungen bekommen wird. Ausblickend in die fernere Zukunft werden Fahrerassistenzsysteme für den Kreuzungsbereich in den Alltag einkehren. Fahrzeuge mit Komplettassistenzsystemen werden den Fahrern mittels einheitlicher HMI und kontaktanalogen HUD die Unterstützung in sämtlichen Fahraufgaben bieten und Kollisionen im Kreuzungsbereich zur Seltenheit machen. Die Verwendung von autonomen Eingriffen assistierender Systeme wird zur Normalität, wobei der Schritt zum autonomen Fahren dann nicht mehr weit ist. Bis dahin bedarf es aber noch einer Menge Forschungs- und Entwicklungsarbeit.

Literaturverzeichnis

- Adam, D. (2011).** *Induktionsschleifensystem*. Heras Adronit GmbH, Bocholt.
- AKTIV. (2007).** *Aktiv - gemeinsam die Zukunft erfahren*. Abgerufen am 19.06.2014 von <http://www.aktiv-online.org/deutsch/Downloads/Broschueren/aktiv%20image-deutsch.pdf>
- Allos, A. E., & Al-Hadithi, M. I. (1992).** Driver behaviour during onset of amber at signalised junctions. *Traffic Engineering & Control*, 33(5), 312-317.
- Auto Clever. (2013).** Audi beim Großversuch simTD: Das Projekt Ampelinfo online. *Auto Clever*. Abgerufen am 06.08.2013 von <http://auto-clever.de/61049-audi-beim-grosversuch-simtd-das-projekt-ampelinfo-online>
- auto-reporter.net. (2011).** *Ford mit Visionen für die Verkehrssicherheit von morgen*. Abgerufen am 06.08.2013 von <http://vortraege.atzlive.de/Aktuell/Nachrichten/1/13484/Ford-mit-Visionen-fuer-die-Verkehrssicherheit-von-morgen.html>
- Bartsch, G. (2009).** *Alkohol im Straßenverkehr*. Deutsche Hauptstelle für Suchtfragen e.V., Hamm.
- Ballet, T., Mayenobe, P., Bornard, J.-C., Gruyer, D., & Claverie, B. (2012).** A computational model of the car driver interfaced with a simulation platform for future Virtual Human Centred Design applications: COSMO-SIVIC. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(7), 1488–1504.
doi:10.1016/j.engappai.2012.05.010
- BELLIS. (2008).** *Lageplan K047*. BELLIS GmbH, Braunschweig.
- Benmimoun, A., Chen, J., Neunzig, D., Suzuki, T., Kato, Y. (2005).** Specification and Assessment of Different Intersection Assistance Concepts Based on IVC (Inter-Vehicle-Communication) and RVC (Roadside-Vehicle-Communication). In *12th World Congress on ITS*. San Francisco.
- Benmimoun, A., Suzuki, T. (2006).** Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation für die Kreuzungs-assistenz. In *Kooperationsforum Fahrerassistenzsysteme*. Aschaffenburg.
- Berndt, H., Wender, S., & Dietmayer, K. (2007).** Driver Braking Behavior during Intersection Approaches and Implications for Warning Strategies for Driver Assistant Systems. In *2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (S. 245–251). Istanbul, Türkei.

Bishop, R. (2005). *Intelligent vehicle technology and trends*. Boston, Mass: Artech House.

Borchers. (2010). *Sichere Kreuzung dank Laser-Scanner und WLAN*. Abgerufen am 29.07.2011 von <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Sichere-Kreuzung-dank-Laser-Scanner-und-WLAN-941262.html>

Braun, R., Busch, F., Kemper, C., Hildebrandt, R., Weichemeier, F., Menig, C., Paulus, I., Preßlein Lehle, R. (2009). TRAVOLUTION - Netzweite Optimierung der Lichtsignalsteuerung und LSA-Fahrzeug-Kommunikation. *Straßenverkehrstechnik*, (6), 365-374.

Breitlinger, M. (2010). Unfallverhütung: Kreuzungsassistent. *DIE ZEIT*. Abgerufen am 06.08.2013 von <http://www.zeit.de>

Chen, J., Deutschle, S., & Fuerstenberg, K. C. (2007). Evaluation Methods and Results of the INTERSAFE Intersection Assistants. In *2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium* (S. 142-147). Istanbul, Türkei.

Daimler AG. (2014). *Aktiver Totwinkel-Assistent: der elektronische Schulterblick*. Abgerufen am 09.07.2014 von <http://www.daimler.com/dccom/0-5-1210218-49-1210314-1-0-0-1210228-0-0-135-0-0-0-0-0-0-0.html>

DaimlerChrysler AG. (2005). *Versuchsträger Kreuzungsassistenz der DaimlerChrysler AG*. DaimlerChrysler AG.

Destatis (Statistisches Bundesamt). (2013). *Verkehrsunfälle - Fachserie 8 Reihe 7 - 2012*. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

DLR. (2012). *Datenschutzkonzept: Datenschutzkonzept für das AIM-Teilprojekt „Forschungskreuzungen“ in der Stadt Braunschweig*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. - Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig.

Dingus, T. A., McGehee, D. V., Manakkal, N., Jahns, S. K., Carney, C., & Hankey, J. M. (1997). Human Factors Field Evaluation of Automotive Headway Maintenance/Collision Warning Devices. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 39(2), 216–229.
doi:10.1518/001872097778543930

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

Ferlis, R. A. (2002). *Infrastructure Intersection Collision Avoidance*. Abgerufen am 06.03.2002 von <http://safety.fhwa.dot.gov/index.htm>

FOCUS Online. (2010). Wolfsburg: VW testet Kreuzungsassistent. *FOCUS*.
Abgerufen am 06.08.2013 von http://www.focus.de/auto/news/wolfsburg-vw-testet-kreuzungsassistent_aid_524986.html

Franke, U., Rabe, C., Gehrig, S., Badino, H., Barth, A. (2008). Dynamic Stereo Vision for Intersection Assistance. In *FISITA 2008 World Automotive Congress*. München.

Frye, C. (2001). International Cooperation to Prevent Collisions at Intersections. *Public Roads, Magazine of the Federal Highway Administration*, 65(1), 41-46.

Fürstenberg, K. (2005). Intersection Safety – The EC-Project INTERSAFE. In: *12th World Congress on ITS*. San Francisco.

Fuerstenberg, K., Hopstock, M., Obojski, A., Rössler, B., Chen, J., Deutschle, S., ... de Lara, A.C.M. (2007). In *INTERSAFE - Deliverable 40.75 Final Report*.

GDV (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.). (1998). *Unfalltypen-Katalog*. Köln: MVR-Druck

GDV (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.). (2014). *Interaktiver Unfalltypenkatalog „UNKA“*. Abgerufen am 10.05.2014 von <http://udv.de/de/initiativen-aktionen/unka>

Gibson, J., & Crooks, L. (1938). A Theoretical Field Analysis Of Automobile Driving. *The American Journal of Psychology*, 51(3), 453-471.

Grubb, M. (1986). Driver Behavior At Intersections: An Analysis Of Accident Related Variables. In *30th Annual Meeting, Human Factors Society* (S. 251-255).

Gstalter, H., & Fastenmeier, W. (2010). Reliability of drivers in urban intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 225–234.
doi:10.1016/j.aap.2009.07.021

HTW (Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden). (2014). *Laserscanner*.
Abgerufen am 30.06.2014 von <http://www.htw-mechlab.de/index.php/labor/kernkompetenzen/umfeldsensorik/>

Hoffmann, G. (1989). Geschwindigkeitsempfehlungen im Kraftfahrzeug - Ein Beitrag zur Kraftstoffeinsparung durch das Informationssystem "Wolfsburger Welle". *Straßenverkehrstechnik*, Heft 5, 161-166.

Honsel, G. (2010). *Ampeln mit Weitblick*. Abgerufen am 26.06.2014 von <http://www.heise.de/tr/artikel/Ampeln-mit-Weitblick-1031622.html>

Hoppe, M.; Zobel, R.; Schlag, B. (2007). Identifikation von Einflussgrößen auf Verkehrsunfälle als Grundlage für die Beurteilung von Fahrerassistenzsystemen am Beispiel von Kreuzungsunfällen. In *Fahrer im 21. Jahrhundert* (S. 121-137).

Hoyos, C.; Fastenmeier, W.; Gstalter, H. (1995). Forderungen an verhaltensorientierte Verkehrssicherheitsarbeit. In: Fastenmeier, Wolfgang (Hrsg.): *Autofahrer und Verkehrssituation* (S. 11-26). Köln: TÜV Rheinland

Hubacher, M., & Allenbach, R. (2004). Prediction of accidents at full green and green arrow traffic lights in Switzerland with the aid of configuration-specific features. *Accident Analysis & Prevention*, 36(5), 739–747.
doi:10.1016/j.aap.2003.05.004

Israel, B., Seitz, M., Senner, B., & Bubb, H. (o. J.) Kontaktanaloge Anzeigen für ACC - im Zielkonflikt zwischen Stimulation und Ablenkung. AUDI AG Ingolstadt, Technische Universität München.

Jaschke, K., Lethaus, F., Baumann, M., & Drewitz, U. (2012). *OptiSiLK TP2000*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. - Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig.

JENOPIK. (2013). Q-Gate 2.1 Systembeschreibung: für das System zur Erkennung nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer (SENV) im Teilprojekt „Forschungskreuzung“ für die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM). JENOPIK Robot GmbH.

JENOPIK. (2014). Q-Gate 1.3 Systembeschreibung: für das Multi-Sensor-System (MSS) im Teilprojekt „Forschungskreuzung“ für die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM). JENOPIK Robot GmbH.

Kaul, R., Lethaus, F., Drewitz, U. & Baumann, M. (2014). Der Aufbau räumlicher Repräsentationen komplexer Verkehrskonfigurationen an urbanen Straßenkreuzungen als Funktion kognitiv-räumlicher Ablenkung während der Annäherungsphase. In A. C. Schütz, K. Drewing, & K. R. Gegenfurtner (Hrsg.), *56th Conference of Experimental Psychologists* (S. 130). Lengerich: Pabst Science Publishers.

Klanner, F. (2008). Entwicklung eines kommunikationsbasierten Querverkehrsassistenten im Fahrzeug (Dissertation, Technische Universität Darmstadt). Abgerufen von <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/1168>

Klanner, F., Thoma, S., & Winner, H. (2008). Fahrerverhaltensuntersuchungen und Mensch-Maschine-Interaktionskonzepte für die Kreuzungsassistenz. BMW Group Forschung und Technik München, Technische Universität Darmstadt.

Knake-Langhort, S. (2014). Anwendungsplattform intelligente Mobilität (AIM): Basisdienst Forschungskreuzung. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. - Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig.

Kompass, K. and Werner, H. (2006). Advanced Driver Assistance - How Far Should they go? BMW Group, Germany.

König, W. (2009). Nutzergerechte Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion von Fahrerassistenzsystemen. In H. Winner, S. Hakuli, & G. Wolf (Hrsg.), ATZ-MTZ Fachbuch. Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort (1. Aufl., S. 33–42). Wiesbaden: Vieweg, F.

Laberge, J. C., Creaser, J. I., Rakauskas, M. E., & Ward, N. J. (2006). Design of an intersection decision support (IDS) interface to reduce crashes at rural stop-controlled intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(1), 39–56. doi:10.1016/j.trc.2006.03.001

Larsen, L., & Kines, P. (2002). Multidisciplinary in-depth investigations of head-on and left-turn road collisions. *Accident Analysis & Prevention*, 34(3), 367-380.

Lethaus, F., Kaul, R., Drewitz, U. & Baumann, M. (2014). Kognitiver Abruf komplexer räumlich-situativer Verkehrsinformationen im Kontext urbaner Straßenkreuzungen. In A. C. Schütz, K. Drewing, & K. R. Gegenfurtner (Hrsg.), 56th Conference of Experimental Psychologists (S. 130). Lengerich: Pabst Science Publishers.

Lindberg, T. (2012). Entwicklung einer ABK-Metapher für gruppierte Fahrerassistenzsysteme (Dissertation, Technische Universität Berlin). Abgerufen von <http://opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/>

Lloyd, M., Bittner, A., Pierowicz, J. (1996). Driver-Vehicle Interface (DVI) Design Issues Of An Intersection Collision Avoidance (ICA) System. In 3rd World Congress on Intelligent Transport Systems. Orlando.

Lloyd, M., Witherow, K., Pierowicz, J., & Gawron, V. (1997). Using Driver Primary Control Input to Determine the Timing of Alerts and Warnings. In *Advances in intelligent transportation system design* (S. 63–67). Warrendale, Pa: Society of Automotive Engineers.

Lord, D., Smiley, A., & Haroun, A. (o.J.). *Pedestrian Accidents with Left-Turning Traffic at Signalized Intersections: Characteristics, Human Factors, and Unconsidered Issues*. Human Factors North Inc. Toronto, University of Toronto.

Mages, M. (2008). *Top-Down-Funktionsentwicklung eines Einbiege- und Kreuzenassistenten* (Dissertation, Technische Universität Darmstadt). Abgerufen von <http://www.fzd.tu-darmstadt.de>

Mages, M., Hopstock, M., & Klanner, F. (2009). Kreuzungsassistenz. In H. Winner, S. Hakuli, & G. Wolf (Hrsg.), *ATZ-MTZ Fachbuch. Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (1. Aufl., S. 572–581). Wiesbaden: Vieweg, F.

Mages, M., Winner, H., & Hopstock, M. (2007). *Aktive Sicherheit durch Kreuzungsassistenz Erkennung von Gefahrensituationen, Auswahl von Warnstrategien und Ableitung von Sensoranforderungen*. BMW Group Forschung und Technik München, Technische Universität Darmstadt.

Malaterre, G. (1990). Error analysis and indepth accident studies. *Ergonomics*, 33(10/11), 1403-1421.

Meitinger, K., Ehmanns, D., & Heissing, B. (2004). Systematische Top-Down-Entwicklung von Kreuzungsassistenzsystemen. In *VDI-Berichte: Vol. 1864. Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme. Integrated safety and driver assistance systems* (S. 145–158). Düsseldorf: VDI-Verlag.

Menig, C. (2008). Der informierte Fahrer - Optimierung des Verkehrsablaufs durch LSA-Fahrzeug-Kommunikation. *Heureka '08*. Stuttgart: FGSV-Verlag.

Menig, C., Busch, F. (2006). Innerstädtische Verkehrsoptimierung durch Car-2-X Communication. In *7. Symposium zum Thema Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel*, Braunschweig.

Miličić, N. (2009). *Sichere und ergonomische Nutzung von Head-Up Displays im Fahrzeug* (Dissertation, Technische Universität München). Abgerufen von <http://www.mmk.ei.tum.de/publ/diss.html>

Motor-Talk. (2013). Grüne Welle und Warnungen über WLAN. Abgerufen am 27.06.2014 von <http://www.motor-talk.de/news/neues-sicherheitssystem-bremst-fuer-elche-t4593694.html#gruene-welle-und-warnungen-ueber-wlan>

n-tv.de. (2013). Mercedes macht E-Klasse noch besser. Abgerufen am 06.08.2014 von <http://www.n-tv.de/auto/Mercedes-macht-E-Klasse-noch-besser-article10075681.html>

Obojski, M. A. & Meinecke, M.-M. (2008). Kreuzungsassistenz bei der Volkswagen AG. Volkswagen AG, Wolfsburg.

- Ovcharova, N. (2013).** *Methodik zur Nutzenanalyse und Optimierung sicherheitsrelevanter Fahrerassistenzsysteme. Karlsruher Schriftenreihe Fahrzeugsystemtechnik: Vol. 21.* Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Pierowicz, J., Pirson, H., Yuhnke, D. (2003).** Method and Apparatus for Determination and Warning of Potential Violation of Intersection Traffic Control Devices. *Offenlegungsschrift US 6,516,273 B1*.
- Plavsic, M. (2010).** *Analysis and Modeling of Driver Behavior for Assistance Systems at Road Intersections* (Dissertation, Technische Universität München). Abgerufen von <http://mediatum.ub.tum.de/>
- Pößl. (2006).** *Eine mögliche Sicherheitsinfrastruktur für Vehicular Ad Hoc Networks.* Universität Regensburg.
- Priemer. (2010).** *Kommunikationsdatenbasierte, dezentrale Lichtsignalsteuerung in städtischen Netzen* (Dissertation, Technische Universität Braunschweig). Abgerufen von <http://digisrv-1.biblio/etc.tu-bs.de:8080/docportal/content/below/index.xml>
- Pudenz, K. (2011a).** Volkswagen zeigt Assistenzsysteme für Kreuzungen. *ATZ online*. Abgerufen am 06.08.2013 von <http://vortraege.atzlive.de/Aktuell/Nachrichten/1/13823/Volkswagen-zeigt-Assistenzsysteme-fuer-Kreuzungen.html>
- Pudenz, K. (2011b).** *Intersafe-2: Sicher links abbiegen.* Abgerufen am 02.07.2014 von <http://www.springerprofessional.de/intersafe-2-sicher-links-abbiegen-13820/3950300.html>
- Rasmussen, J. (1982).** Human errors. A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4(2-4), 311–333. doi:10.1016/0376-6349(82)90041-4
- Schneid, M. (2009).** *Entwicklung und Erprobung eines kontaktanalogen Head-up-Displays im Fahrzeug* (Dissertation, Technische Universität München). Abgerufen von <http://mediatum.ub.tum.de/>
- simTD. (2013).** *Fakten. Sichere Intelligente Mobilität - Testfeld Deutschland.*
- Sömen, H. (1985).** Risikoerleben. In ROMPE, Klaus (Hrsg.), *Verkehrssicherheit und Wirksystem Fahrer - Fahrzeug – Umwelt* (S. 89-112). Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Staubach, M. (2012).** *Auswertung von Braunschweiger Unfalldaten 2009-2011.* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. - Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig.

Sylwan, C. (1919). Trafiksaekerheten pa gata och landsvaeg. *Industritidningen Norden* (No. 50), 357-364.

Thoma, S., Lindberg, T., & Klinker, G. (2008). *Gestaltung von Geschwindigkeitsempfehlungen während der Annäherung an eine Ampel.* BMW Group München, Technische Universität München.

Tijerina, L., Chovan, J., Pierowicz, J., Hendricks, D. (1994). *Examination of Signalized Intersection, Straight Crossing Path Crashes and Potential IVHS Countermeasures.* National Highway Traffic Safety Administration.

Troutbeck, R. J. (1986). Average Delay at an Unsignalized Intersection with Two Major Streams Each Having a Dichotomized Headway Distribution. *Transportation Science*, 20(4), 272–286. doi:10.1287/trsc.20.4.272

Unger, E. (o.J.). *Fahrerassistenzsystem für den Kreuzungsbereich.* Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden.

University of Minnesota. (2012). *Rural Unsignalized Intersections.* Abgerufen am 06.08.2013 von <http://www.its.umn.edu/Research/FeaturedStudies/intersections/>

UR:BAN. (2014a). *Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement.* Abgerufen am 29.06.2014 von <http://urban-online.org/de/urban.html>

UR:BAN. (2014b). *Vernetztes Verkehrssystem.* Abgerufen am 29.06.2014 von http://www.urban-online.org/cms/upload/download/allgemein/Halbzeitpraesentation_2014-05-14/Plakate/Poster_VV.pdf

UR:BAN. (2014c). *Halbzeitpräsentation.* Abgerufen am 29.06.2014 von <http://urban-online.org/de/veranstaltungen/urban-halbzeit.html>

Volkswagen (VW) AG. (2012). *Kreuzungsassistenz.* Abgerufen am 29.06.2014 von http://www.volkswagenaq.com/content/vwcorp/content/de/innovation/driver_assistance/intersection_assistant.html

Vollrath, M. (2007). Mobil im Alter - und die Sicherheit? In VDI, Braunschweig, *Fahrer im 21. Jahrhundert.* (S. 139-150).

Vollrath, M., Briest, S., Drewes, J., Schießl, C., & Becker, U. (2006). Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen.* (F 60).

- Vollrath, M., Brünger-Koch, M., Schießl, C., Waibel, F. (2004).** *INVENT Kreuzungsverhalten - Endbericht*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Braunschweig.
- Wimmershoff, M. (2013).** *INTERSAFE-2: Sicherheit an Kreuzungen*. Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen University.
- Winner, H. (2009).** Radarsensorik. In H. Winner, S. Hakuli, & G. Wolf (Hrsg.), *ATZ-MTZ Fachbuch. Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (1. Aufl., S. 123–171). Wiesbaden: Vieweg, F.
- Winner, H., Hakuli, S., & Wolf, G. (Hrsg.). (2009).** *ATZ-MTZ Fachbuch. Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (1. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg, F.
- Wilhelm, U. (2006).** Optimierung des Akzeptanz-Nutzenverhältnisses am Beispiel der Predictive Collision Warning. In *VDI-Berichte* (Nr. 1960, S. 553-562), Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Wood, J. M., Lacherez, P. F., Marszalek, R. P., & King, M. J. (2009).** Drivers' and cyclists' experiences of sharing the road: Incidents, attitudes and perceptions of visibility. *Accident Analysis & Prevention*, 41(4), 772–776.
doi:10.1016/j.aap.2009.03.014
- Yan, X., Radwan, E., Guo, D., & Richards, S. (2009).** Impact of "Signal Ahead" pavement marking on driver behavior at signalized intersections. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(1), 50–67.
doi:10.1016/j.trf.2008.07.002
- Zabyshny, A., Ragland, D. (2003).** *False Alarms and Human-Machine Warning Systems*. U.C. Berkeley Traffic Safety Center.
- Zimdahl, W. (1983).** *Wolfsburger Welle - Ein Projekt der Volkswagen Forschung*. Volkswagen AG Wolfsburg.

Anhang

Statistisches Bundesamt:

Das Straßenverkehrsunfallgeschehen 2012 im Überblick Unfallursachen								
Gegenstand der Nachweisung	Jahr						Veränderung 2012 gegenüber 2011 in %	
	2007	2008	2009	2010	2011	2012		
Ursachen von Unfällen mit Personenschäden								
Unfallbezogene Ursachen								
Insgesamt	39 345	40 068	41 825	48 872	38 229	39 148	+ 2,4	
dar.: Glätte durch Regen	10 032	8 672	8 503	6 698	7 150	7 095	- 0,8	
Glätte durch Schnee, Eis	5 230	6 033	9 784	19 458	6 236	8 097	+ 29,8	
Mitverursachend bei ... % der Unfälle								
Insgesamt	11,7	12,5	13,5	17,0	12,5	13,1	+ 4,7	
dar.: Glätte durch Regen	3,0	2,7	2,7	2,3	2,3	2,4	+ 1,4	
Glätte durch Schnee, Eis	1,6	1,9	3,1	6,7	2,0	2,7	+ 32,7	
Fahrzeugbezogene Ursachen (Technische Mängel)								
Insgesamt	4 436	4 158	3 997	3 918	3 806	3 726	- 2,1	
je 1 000 beteiligte Fahrzeuge	7,3	7,2	7,1	7,5	6,9	6,9	- 0,3	
Personenbezogene Ursachen								
Fehlverhalten der Beteiligten								
Insgesamt	428 628	406 399	394 397	365 799	387 928	378 661	- 2,4	
darunter von:								
Fahren von:								
Güterkraftfahrzeugen	28 474	26 943	25 264	26 439	25 734	24 256	- 5,7	
Personenkraftwagen	281 086	264 168	259 535	242 307	254 120	250 895	- 1,3	
Motorisierten Zweirädern	35 595	33 384	31 786	28 390	31 177	28 687	- 8,0	
Fahrrädern	55 787	55 302	52 704	44 808	51 811	50 518	- 2,5	
Fußgängern	19 099	18 198	16 664	15 476	16 107	15 668	- 2,7	
je 1 000 Beteiligte								
Insgesamt	661	659	662	660	658	656	- 0,3	
darunter von:								
Fahren von:								
Güterkraftfahrzeugen	711	712	723	723	714	716	+ 0,3	
Personenkraftwagen	681	681	687	683	686	684	- 0,3	
Motorisierten Zweirädern	637	636	638	647	638	637	- 0,2	
Fahrräder	647	639	639	630	623	622	- 0,0	
Fußgängern	518	509	481	481	467	459	- 1,8	
Fehlverhalten der Fahrzeugführer								
Insgesamt	409 529	388 201	377 733	350 323	371 821	362 993	- 2,4	
dar.: Alkoholeinfluss	19 443	18 383	16 513	14 237	15 114	14 380	- 4,9	
Nicht angepasste Geschwindigkeit	61 823	55 710	56 874	55 610	49 659	49 276	- 0,8	
Abstand	47 973	44 635	44 437	42 017	43 706	44 468	+ 1,7	
Vorfahrt, Vorrang	60 841	58 192	55 287	50 425	55 289	53 546	- 3,2	
Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Anfahren	63 766	61 035	59 316	53 236	60 262	57 512	- 4,6	
je 1 000 beteiligte Fahrzeugführer								
Insgesamt	671	670	675	673	672	670	- 0,2	
dar.: Alkoholeinfluss	32	32	30	27	27	27	- 2,7	
Nicht angepasste Geschwindigkeit	101	96	102	107	90	91	+ 1,4	
Abstand	79	77	79	81	79	82	+ 4,0	
Vorfahrt, Vorrang	100	100	99	97	100	99	- 1,0	
Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Anfahren	105	105	106	102	109	106	- 2,4	
Fehlverhalten der Fahrer von Personenkraftwagen								
Insgesamt	281 086	264 168	259 535	242 307	254 120	250 895	- 1,3	
dar.: Alkoholeinfluss	11 785	11 035	9 890	8 734	9 335	8 793	- 5,8	
Nicht angepasste Geschwindigkeit	43 640	38 691	40 024	39 719	34 104	34 328	+ 0,7	
Abstand	37 013	34 364	34 359	32 286	33 670	34 817	+ 3,4	
Vorfahrt, Vorrang	48 573	46 382	44 563	40 498	44 305	43 143	- 2,6	
Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Anfahren	50 007	47 606	46 500	41 785	47 287	45 450	- 3,9	
je 1 000 beteiligte Fahrer von Personenkraftwagen								
Insgesamt	681	681	687	683	686	684	- 0,3	
dar.: Alkoholeinfluss	29	28	26	25	25	24	- 4,9	
Nicht angepasste Geschwindigkeit	106	100	106	112	92	94	+ 1,6	
Abstand	90	89	91	91	91	95	+ 4,4	
Vorfahrt, Vorrang	118	120	118	114	120	118	- 1,7	
Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Anfahren	121	123	123	118	128	124	- 2,9	

6 Ursachen von Straßenverkehrsunfällen 2012
6.8 Straßenverkehrsunfälle und Verunglückte nach Unfallursachen *)

Ursache Ortslage	Unfälle mit Personen- schaden	Verunglückte			Schwerw. Unf. mit Sach- schaden 1)	
		Insgesamt	Getötete	Schwer- verletzte		
Nichtbeachten des Vorranges entgegenkommender Fahrzeuge beim Vorbeifahren an haltenden Fahrzeugen, Absperrungen oder Hindernissen	837	1 034	5	127	902	187
innerorts	736	884	3	92	789	154
außerorts	101	150	2	35	113	33
Nichtbeachten des nachfolgenden Verkehrs beim Vorbeifahren an haltenden Fahrzeugen, Absperrungen oder Hindernissen und/oder ohne rechtzeitige und deutliche Ankündigung des Ausscherens	222	269	-	31	238	46
innerorts	171	195	-	20	175	30
außerorts	51	74	-	11	63	16
Nebeneinanderfahren, fehlerhaftes Wechseln des Fahrstreifens beim Nebeneinanderfahren oder Nichtbeachten des Reifverschlussverfahrens	5 517	7 312	18	723	6 571	1 387
innerorts	3 536	4 402	6	345	4 051	621
außerorts	1 981	2 910	12	378	2 520	766
Nichtbeachten der Regel "rechts vor links"	6 388	7 330	11	684	6 935	3 932
innerorts	6 073	7 381	6	790	6 565	3 781
außerorts	315	469	5	94	370	151
Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen	37 602	50 863	274	7 490	43 099	17 299
innerorts	27 769	34 876	70	4 172	30 634	12 734
außerorts	9 833	15 987	204	3 318	12 465	4 565
Nichtbeachten der Vorfahrt des durchgehenden Verkehrs auf Autobahnen oder Kraftfahrtstraßen	614	933	14	158	761	559
innerorts	118	144	-	24	120	52
außerorts	496	789	14	134	641	507
Nichtbeachten der Vorfahrt durch Fahrzeuge, die aus Feld- und Waldwegen kommen	579	794	20	217	557	151
innerorts	139	165	2	36	127	24
außerorts	440	629	18	181	430	127
Nichtbeachten der Verkehrsregelung durch Polizeibeamte oder Lichtzeichen	6 348	9 379	38	1 248	8 093	2 853
innerorts	5 569	8 042	28	1 026	6 988	2 407
außerorts	779	1 337	10	222	1 105	446
Nichtbeachten des Vorranges entgegenkommender Fahrzeuge	1 366	1 945	9	355	1 581	585
innerorts	1 003	1 327	2	210	1 115	450
außerorts	363	618	7	145	466	135
Nichtbeachten des Vorranges von Schienenfahrzeugen an Bahnübergängen	181	299	35	79	185	71
innerorts	127	196	18	46	132	48
außerorts	54	103	17	33	53	23
Fehler beim Abbiegen	30 231	39 331	181	6 055	33 095	8 597
innerorts	24 644	30 197	93	4 043	26 061	6 523
außerorts	5 587	9 134	88	2 012	7 034	2 074
Fehler beim Wenden oder Rückwärtsfahren	10 769	12 587	85	1 864	10 638	3 532
innerorts	9 897	11 286	61	1 584	9 641	3 028
außerorts	872	1 301	24	280	997	504
Fehler beim Einfahren in den fließenden Verkehr (z.B. aus einem Grundstück, von einem anderen Straßenteil oder beim Anfahren vom Fahrbahnrand)	16 355	18 690	62	2 390	16 238	1 149
innerorts	15 403	17 375	36	2 127	15 212	1 029
außerorts	952	1 315	26	263	1 026	120
Falsches Verhalten gegenüber Fußgängern an Fußgängerüberwegen	1 797	1 915	11	500	1 404	2
innerorts	1 797	1 915	11	500	1 404	2
außerorts	-	-	-	-	-	-
an Fußgängerfurten	1 970	2 166	22	475	1 669	-
innerorts	1 926	2 120	22	464	1 634	-
außerorts	44	46	-	11	35	-
beim Abbiegen	3 697	3 955	22	656	3 077	2
innerorts	3 645	3 900	21	840	3 039	2
außerorts	52	55	1	16	38	-
an Haltestellen (auch haltenden Schulbussen mit eingeschaltetem Warnblinklicht)	764	837	13	207	617	-
innerorts	741	809	10	198	601	-
außerorts	23	28	3	9	16	-
an anderen Stellen	8 264	8 983	134	1 785	7 064	2
innerorts	7 780	8 425	109	1 648	6 668	2
außerorts	484	558	25	137	396	-

*) Die Tabelle enthält Mehrfachzählungen, weil bei einem Unfall bis zu acht Ursachen eingetragen werden.
1) Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden (im engeren Sinne).

Deutschland

UJ 44 (1)

6 Ursachen von Straßenverkehrsunfällen 2012

6.9 Straßenverkehrsunfälle und Verunglücks nach Ortslage, Unfalltypen, Lichtverhältnissen, Monaten, Wochentagen und Uhrzeit
6.9.1 Alle Unfälle

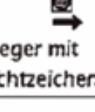
Gegenstand der Nachweisung	Unfälle mit Personen-schaden	Ver-unglückte	Getötete	Schwer-verletzte	Leicht-verletzte	Schwer-wiegende Unfälle mit Sachschaden 1)	Sonstige Unfälle unter dem Einfluss berausgender Mittel
Ortslage							
Innerorts	206 696	251 371	1 062	35 350	214 959	48 571	13 488
Außenorts ohne Autobahn	75 094	108 272	2 151	25 766	80 355	21 610	2 004
auf Autobahnen	17 847	28 335	387	5 163	22 785	11 966	651
Insgesamt	299 637	387 978	3 600	66 279	318 099	82 147	16 143
Unfalltyp							
Fahrerfall	55 402	69 235	1 316	19 777	48 202	24 559	4 590
Abbiege-Unfall	41 572	54 504	219	7 746	46 639	9 746	629
Einbiegen/Kreuzen-Unfall	67 452	87 390	451	12 261	74 624	29 186	889
Überschreiten-Unfall	16 672	18 592	354	5 178	13 060	3 51	54
Unfall durch ruhenden Verkehr	9 545	10 643	29	1 296	9 318	3 026	2 17
Unfall im Längsverkehr	72 833	105 716	869	11 872	92 975	10 547	2 842
Sonstiger Unfall	36 061	41 738	362	6 123	33 253	9 032	5 033
Insgesamt	299 637	387 978	3 600	66 279	318 099	82 147	16 143
Lichtverhältnisse							
Tageslicht	224 730	288 405	2 254	47 423	238 728	51 128	6 808
Dämmerung	14 960	19 132	179	3 243	15 710	4 739	921
Dunkelheit	59 947	80 441	1 167	15 613	63 661	26 280	8 414
Insgesamt	299 637	387 978	3 600	66 279	318 099	82 147	16 143
Monat							
Januar	20 940	27 321	264	4 442	22 615	8 095	1 260
Februar	18 062	24 019	255	3 801	19 963	7 766	1 225
März	23 559	30 503	249	2 920	24 964	5 739	1 207
April	22 193	28 861	251	5 018	23 592	5 838	1 259
Mai	30 255	38 835	340	6 901	31 594	6 111	1 396
Juni	28 420	36 130	334	6 273	29 523	6 280	1 422
Juli	28 817	37 104	369	6 562	30 173	6 567	1 317
August	29 538	38 032	358	6 999	30 675	5 883	1 417
September	28 272	36 505	329	6 311	29 865	6 287	1 427
Oktober	26 662	34 631	332	5 756	28 543	7 416	1 354
November	23 201	29 967	275	4 784	24 908	7 173	1 366
Dezember	19 718	26 070	244	4 142	21 684	8 992	1 493
Insgesamt	299 637	387 978	3 600	66 279	318 099	82 147	16 143
Wochentag							
Montag	46 440	59 100	509	9 606	48 985	11 546	1 600
Dienstag	45 651	57 713	523	9 349	47 841	11 028	1 614
Mittwoch	44 472	56 163	473	9 122	46 508	11 010	1 726
Donnerstag	46 989	59 367	509	9 645	49 213	12 200	1 859
Freitag	50 295	64 975	503	10 460	54 012	13 649	2 431
Samstag	37 509	51 229	552	9 654	41 023	12 275	3 579
Sonntag	28 281	39 491	531	8 443	30 517	10 439	3 334
Insgesamt	299 637	387 978	3 600	66 279	318 099	82 147	16 143
Uhrzeit							
0 Uhr bis 1.59	5 529	7 722	141	1 730	5 851	3 451	1 576
2 Uhr bis 3.59	3 878	5 252	143	1 331	3 778	3 022	1 287
4 Uhr bis 5.59	7 187	9 231	204	2 170	6 877	4 031	1 058
6 Uhr bis 7.59	27 464	34 146	295	5 503	28 348	7 885	769
8 Uhr bis 9.59	26 537	32 789	286	4 875	27 528	7 724	653
10 Uhr bis 11.59	31 856	40 514	344	6 622	33 548	8 290	746
12 Uhr bis 13.59	29 263	50 832	354	6 060	42 428	8 893	924
14 Uhr bis 15.59	46 109	60 232	454	10 004	49 774	10 044	1 265
16 Uhr bis 17.59	51 793	67 564	529	11 132	55 903	10 769	1 982
18 Uhr bis 19.59	34 621	45 477	414	7 946	37 117	7 958	2 182
20 Uhr bis 21.59	15 772	21 000	261	4 070	16 669	5 435	1 880
22 Uhr bis 23.59	9 528	13 179	175	2 736	10 268	4 645	1 821
Zusammen 2)	299 637	387 978	3 600	66 279	318 099	82 147	16 143

1) Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden (im engeren Sinne).

2) Unfälle mit fehlenden Merkmalen wurden nicht ausgewertet.

GDV Unfalltypenkatalog:

Unfalltyp 2 - Abbiegenunfälle

		20	201	202	203	204			209 unklar ob 201-204
Linksabbieger		21	211	212	213	214	215		219 unklar ob 211-215
		22	221	222	223	224	225		229 unklar ob 221-225
Rechtsabbieger		23	231	232	233				239 unklar ob 231-233
		24	241	242	243	244	245		249 unklar ob 241-245
		25	251	252					259 unklar ob 251-252
		26	261	262					269 unklar ob 261-262
		27	271	272	273	274	275		279 unklar ob 271-275
		28	281	282	283	284	285	286	289 Art Verkehrs teilnehmer unklar
sonstige Abbiege-Unfälle									299

Unfalltyp 3 - Einbiegen/Kreuzen-Unfälle

Bevorrechtigtes Fahrzeug	30	301	302	303	304	305	306	309
	von links							Fahrt-richtung unklar
	31	311	312	313	314	315		319
	Überholer von links							Fahrt-richtung unklar
	32	321	322	323	324	325	326	329
	von rechts							Fahrt-richtung unklar
	33	331	332	333	334	335		339
	Überholer von rechts							Fahrt-richtung unklar
	34	341	342	343	R	R		349 Straßenseite/ Fahrt-richtung von R unklar
	vom Radweg							
35		351	352	353	354	355		359 unklar ob 351-355
abkn. Vorfahrt								
36		361	362	363	364			369 Art der Sicherung/ Unfallstelle unklar
Bahnübergang								
37		371	372	373	374			379 unklar ob 371-374
kreuzender/ einfahrender Radfahrer								
sonstige Einbiegen/Kreuzen-Unfälle								399
W = Wartepflicht								

Unfalltyp 4 – Überschreitenunfälle

auf Strecke	401	402	403	404	405		409
von links							unklar ob 401-405
ohne Sichtbehinderung							
41	411	412	413	414			419
von links							unklar ob 411-414
mit Sichtbehinderung							
42	421	422	423	424			429
von rechts							unklar ob 421-424
Sichtbehinderung							
43	431	432	433	434	435	436	439
vor Knoten							unklar ob 431-436
von links							
ohne Sichtbehinderung							
44	441	442	443	444			449
von links							unklar ob 441-444
mit Sichtbehinderung							
45	451	452	453	454	455		459
von rechts							unklar ob 451-455
Sichtbehinderung							
46	461	462	463	464	465		469
nach Knoten							unklar ob 461-465
von links							
Sichtbehinderung							
47	471	472	473				479
von rechts							unklar ob 471-473
Sichtbehinderung							
48	481	482	483	484		bei Regelung durch Lichtzeichen siehe Unfalltyp 2 Abbiege-Unfall	489
							unklar ob 481-484
abkn. Vorfahrt							
auf Knoten	491	492	493	494			499
Diagonales Überschreiten Strab Ein-/ Aussteigen							sonstige ÜS-Unfälle

→ Parker auf Fahrbahn oder Gehweg, Aufstellung längs oder quer

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Braunschweig, 15.07.2014

Jesse Ehlers