



Mobilität und Transport im intermodalen Verkehr

Abbiege- und Spurwechselassistentz

Abschlussbericht



September 2000

Projektpartner:

Bayerische Motorenwerke AG
Robert Bosch GmbH
MAN Nutzfahrzeuge AG
Adam Opel AG
Volkswagen AG

gefördert vom



Bundesministerium für Bildung und
Forschung
Förderkennzeichen: FIZ 45003

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

KURZFASSUNG

In dem Projekt "Abbiege- und Spurwechsellassistenten" (ASA) sind erstmals Fahrerassistenzsysteme gemeinsam durch die Firmen BMW, Bosch, MAN, Opel und VW entwickelt worden, die den Fahrer in kritischen Verkehrssituationen beim Abbiegen innerorts und beim Spurwechsel auf Autobahnen und vergleichbar ausgebauten Schnellstraßen unterstützen und damit einen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit leisten können.

Auf der Grundlage von verschiedenen Datenbasen sind Unfälle im Zusammenhang mit dem Abbiegen und dem Spurwechsel untersucht worden. Die Untersuchungen sind durch die DEKRA, den Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. sowie mit umfangreichen Fahrversuchen durch das Institut Diagnose&Transfer durchgeführt worden.

Als kritisch bei einem Spurwechsel auf der Autobahn sind insbesondere die folgenden Verkehrssituationen zu nennen:

- Beim Ausscheren zum Überholen werden Fahrzeuge, die sich auf der Zielspur befinden, übersehen oder der Abstand und die Annäherungsgeschwindigkeit werden falsch eingeschätzt.
- Beim Einordnen nach dem Überholen werden Fahrzeuge auf der rechten Zielspur übersehen.
- Das Einfädeln in den Verkehr auf den Autobahnauffahrten stellt ähnliche Anforderungen an den Fahrer wie das oben beschriebene Ausscheren.

Als kritisch beim Abbiegen wurden die folgenden drei Verkehrssituationen herausgearbeitet:

- Langsame, rechts neben dem Fahrzeug sich bewegende Zweiräder, die vom Fahrzeug mit geringem Seitenabstand (< 1 m) überholt werden.
- Zweiräder, die sich beim Abbiegen von hinten auf das Fahrzeug zu bewegen.
- Zweiräder, die sich rechts neben das stehende Fahrzeug einordnen.

In den genannten drei Situationen sind neben Motorradfahrern und Fahrradfahrern auch sich rasch bewegende Personen, z.B. auf Inline-Skates, gefährdet.

Aufbauend auf den genannten drei Untersuchungen wurde jeweils eine Systemdefinition für den Abbiegeassistenten und den Spurwechsellassistenten erstellt.

Die Sensoren beim Spurwechsellassistenten sollen die seitlichen Bereiche links und rechts vom Fahrzeug mit einer Reichweite von 5 m überwachen. Der rückwärtige Nahbereich soll mit einer Reichweite von 75 m und der rückwärtige Fernbereich mit einer Reichweite von 150 m überwacht werden.

Die Sensoren beim Abbiegeassistenten sollen die seitlichen Nahbereiche vom Fahrzeug mit einer Reichweite von 30 m überwachen.

Eine Reihe von Sensoren wurden für ihre Verwendung im ASA-System weiter entwickelt:

- Radarsensoren im 24-GHz Spektrum zur seitlichen Nahbereichsüberwachung
- Radarsensoren im 77-GHz Spektrum zur rückwärtigen Fernbereichsüberwachung
- Videosensoren für die Überwachung des seitlichen und hinteren Nahbereiches, sowohl monokular wie auch binokular
- Laserscanner zur Überwachung des seitlichen und hinteren Nahbereiches
- Mehrstrahlige Laser zur Überwachung des seitlichen Nahbereiches und des hinteren Fernbereiches

Die Grundlage der Situationsbewertung beim Spurwechsel bilden die Kennwerte time-to-collision und Zeitlücke, die aus den Sensordaten Eigengeschwindigkeit, Relativgeschwindigkeit und Abstand berechnet werden. Über die Warnstrategie wird das Bild der Fahrzeugumgebung mit den Handlungen des Fahrers, wie z.B. Blinken, Lenkradeinschlag und Überfahren der Fahrspurbegrenzung, verknüpft. In der Warnstrategie wurden dynamische Schwellwerte festgelegt, wann und wie der Fahrer zu informieren, bzw. zu warnen ist.

Von den fünf ASA Partnern wurde je ein Versuchsträger mit einem System ausgerüstet und getestet.

Die Mensch Maschine Schnittstelle für das ASA-System wurde eingehend untersucht und Fahrversuche mit Probanden sowohl in den ASA-Versuchsträgern wie auch im Fahrsimulator durchgeführt.

Die meisten Versuchsfahrer hielten ein ASA-System für sinnvoll und hätten ein solches perfektes System gern in ihrem Auto. Die Versuchspersonen hätten gern ein ASA-System, das sowohl auf Autobahnen wie auch im Stadtverkehr unterstützt.

Es zeigte sich, dass die eingesetzten Sensoren im Verbund im wesentlichen die Anforderungen der Systemdefinition erfüllen. Weitere Verbesserungen sind insbesondere notwendig für die hintere Fernbereichsüberwachung, die von der Automobilindustrie geforderte Rüttelfestigkeit und die Funktionsfähigkeit auch bei kritischen Wetterbedingungen. Weiterhin müssen Fehlwarnungen des ASA-Systems minimiert werden.

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle sollte hinsichtlich der Anpassung an Fahrer und Fahrsituation weiter verbessert werden. Die Anpassung des ASA-Systems an den Fahrer ist wichtig, da die Fahrer die Informationen des ASA-Systems nur dann annehmen, wenn sie gemäß ihren eigenen Präferenzen gewarnt werden.

INHALTSVERZEICHNIS

1	VORWORT	9
2	EINFÜHRUNG	10
2.1	Zielsetzung	10
2.2	Projektstruktur	11
2.3	Arbeitspakete	13
2.3.1	AP1: Herausarbeiten des Arbeitsgebietes	13
2.3.2	AP2: Systemdefinition	13
2.3.3	AP3: Human Machine Interface (HMI)	14
2.3.4	AP4: Komponentenentwicklung Hard- und Software	14
2.3.5	AP5: Algorithmenentwicklung	14
2.3.6	AP6: Systemrealisierung	14
2.3.7	AP7: Systemvalidierung	15
2.4	Zeitplan	15
2.5	Beziehungen zu anderen MOTIV Teilprojekten	16
3	EINSATZGEBIET	17
3.1	Abbiegeassistenten	18
3.1.1	Funktion	18
3.1.2	Zu erkennende Verkehrsteilnehmer	18
3.1.3	Straßengeometrien	18
3.1.4	Adressierte Verkehrssituationen	19
3.1.5	Relevante Objekte	20
3.1.6	Systemnutzen	20
3.2	Spurwechselassistenten	20
3.2.1	Zu erkennende Verkehrsteilnehmer	20
3.2.2	Parameter zur Beurteilung von Spurwechselrisiko und Machbarkeit	21
3.2.3	Adressierte Verkehrssituationen	21
3.2.4	Kriterien für die Spurwechselentscheidung	22
3.2.5	Verhaltensmuster, Fehler und Fahrerdefizite beim Spurwechsel	22
4	SYSTEMDEFINITION	23
	Abbiegeassistenten	23
4.1.1	Daten vom eigenen Fahrzeug	24
4.1.2	Umfelderfassung	24
4.1.3	Detektionsfeld	24
4.1.4	Detektionsobjekte	25
4.1.5	Objektattribute	26
4.1.6	Objektliste	26
4.1.7	Sensorauswertefunktion	26

4.1.8	Warnstrategie.....	27
4.1.9	Anzeige	28
4.1.10	Sensoranordnung.....	28
4.2	Spurwechsellasistenz	29
4.2.1	Anforderungen an Sensoren	30
4.2.2	Daten des eigenen Fahrzeugs	31
4.2.3	Umfelderfassung	32
4.2.4	Detektionsfeld	33
4.2.5	Detektionsobjekte.....	33
4.2.6	Objektattribute.....	33
4.2.7	Objektliste	34
4.2.8	Warnstrategie.....	35
4.2.9	Anzeige	36
4.2.10	Sensoranordnung.....	36
4.2.11	Systemgrenzen	37
5	MENSCH MASCHINE SCHNITTSTELLE	38
5.1	Optisches MMI	39
5.2	Akustisches MMI.....	41
5.3	Haptisches MMI.....	42
6	KOMPONENTENENTWICKLUNG.....	43
6.1	Umfelderfassung	43
6.1.1	Module im Fahrzeug.....	
6.2	Laser.....	44
6.3	Radar	47
6.4	Video.....	49
7	ALGORITHMEN	53
7.1	Sensorfusion.....	53
7.1.1	Die Notwendigkeit zur Sensorfusion.....	54
7.1.2	Übermittelte Daten	54
7.1.3	Messung der Geschwindigkeit.....	56
7.1.4	Messung der Winkelgeschwindigkeit.....	56
7.1.5	Fusionierung mittels Abstandszuordnung.....	57
7.1.6	Fusionierung mittels gemessener Geschwindigkeiten	57
7.2	Warnstrategie.....	57
7.2.1	Zweistufige Warnstrategie mit farbigen LEDs.....	57
7.2.2	Dreistufige Warnstrategie mit farbigen LEDs und Warntönen	58

8	SYSTEMREALISIERUNG	59
8.1	Fahrzeugprototypen	59
8.1.1	Opel	59
8.1.2	MAN	61
8.1.3	BMW	62
8.1.4	Bosch	63
8.1.5	VW	64
8.2	BMW Fahrsimulator	65
9	VALIDIERUNG	67
9.1	Meßsysteme zur Validierung.....	69
9.2	Ergebnisse der Versuchsfahrten.....	70
9.2.1	Eindrücke der externen Probanden bei kleiner Stichprobe	70
9.2.2	Zum Systemkonzept.....	70
9.2.3	Zu den Sensoren.....	70
9.2.4	Zur Mensch-Maschine-Schnittstelle.....	71
9.2.5	Zu den Verkehrssituationen.....	71
9.2.6	Fehldeutungen der Fahrerabsicht.....	71
10	ZUSAMMENFASSUNG	73
11	SCHRIFTTUM.....	77

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Bild 1	Kritische Situation beim Abbiegen	10
Bild 2	Projektstruktur und Beteiligung der ASA-Firmen an den Arbeitspaketen	12
Bild 3	Zeitplan	15
Bild 4	Verknüpfung von ASA mit anderen MOTIV Teilprojekten	16
Bild 5	Systemaufbau	23
Bild 6	Skizze zum Detektionsfeld	25
Bild 7	Struktogramm der Auswertestrategie	27
Bild 8	Beispiel LKW-Sensoranordnung	28
Bild 9	Beispiel für PKW-Sensoranordnung	29
Bild 10	Detektionsfeld	33
Bild 11	Datenfusion und Datenanalyse	35
Bild 12	LED Balken im Aussenspiegel [BMW]	39
Bild 13	Spurwechselfeile im frei programmierbaren Kombi-Display [Opel]	39
Bild 14	Farbige LED im LKW Aussenspiegel [MAN]	40
Bild 15	LED Kette als Warndreieck [VW]	41
Bild 16	Akustische Warnung bei Gefahr im toten Winkel [VW]	41
Bild 17	Überwachungsbereiche beim Spurwechsellasistenz	43
Bild 18	ASA-Komponenten im Fahrzeug	43
Bild 19	Messprinzip des Laserscanners	45
Bild 20	Laserscanner der ersten Generation [MAN]	45
Bild 21	Laserscanner der zweiten Generation [VW]	46
Bild 22	Mehrstrahliger Laser [Opel]	46
Bild 23	77 GHz Radar-Sensor [Bosch]	48
Bild 24	24 GHz Radar-Sensor [Bosch]	48
Bild 25	Videosensor [Bosch]	51
Bild 26	Videokamera in der Windschutzscheibe [VW]	51
Bild 27	Signal einer Videokamera mit überlagerter Fahrspur- und Objekterkennung [VW]	52
Bild 28	Sensorfusion	53
Bild 29	Vermessung eines Fahrzeuges mit zwei Sensoren an verschiedenen Einbauorten	55
Bild 30	Zeitlicher Verlauf der Winkelgeschwindigkeit bei einem Überholvorgang	56
Bild 31	ASA-Prototyp bei Opel	59
Bild 32	Fahrzeugausrüstung bei Opel	60
Bild 33	ASA-Prototyp bei MAN	61
Bild 34:	Lasersensor bei MAN	61
Bild 35	ASA-Prototyp bei BMW	62
Bild 36	ASA-Prototyp bei Bosch	63
Bild 37	ASA-Prototyp bei VW	64
Bild 38	Funktion des Fahrsimulators [BMW]	65
Bild 39	Fahrsimulator [BMW]	66
Bild 40	Testsystem zur Aufzeichnung und Auswertung von Messdaten	69
Bild 41	Zeitsynchrone Videoaufnahme der Fahrzeugumgebung	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Autoren	9
Tabelle 2	Eigenschaften	24
Tabelle 3	Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Verzögerung für 30 m Anhalteweg	25
Tabelle 4	Detektionsattribute für Fußgänger	26
Tabelle 5	Anforderungen an Fahrzeugdaten	31
Tabelle 6	Anforderungen an Sensoren für die Bestimmung der Fahrzeugposition	31
Tabelle 7	Anforderungen an Sensoren für die Erfassung der Fahrumgebung	32
Tabelle 8	Objektattribute Nahbereich seitlich	34
Tabelle 9	Objektattribute Fernbereich hinten	34
Tabelle 10	Objektattribute Nahbereich hinten	34
Tabelle 11	Mehrzielfähigkeit	35

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Δv	Differenz der Geschwindigkeit
τ	Zeitlücke
ACC	Adaptive Cruise Control
AP	Arbeitspaket
ASA	MOTIV Projekt Abbiege- und Spurwechsellasistenz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAN	Controller Area Network
D&T	Institut Diagnose & Transfer
FAS	MOTIV Projekt Fahrerassistenzsysteme
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
HMI	Human Machine Interface
Laser	Light amplification by stimulated emission of radiation
LCD	Liquid crystal display
LED	Light Emitting Diode
MMI	Man Machine Interface
Radar	Radio detection and ranging
SIM	MOTIV Projekt Simulation
Ttc	Time to collision

1 VORWORT

Der vorliegende Abschlußbericht stellt den Projektinhalt und die Ergebnisse der Arbeiten für ein vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Vorhaben dar.

Verantwortlich für den Inhalt dieses Berichtes sind die Autoren.

Der Bundesminister für Bildung und Forschung übernimmt keine Gewähr, insbesondere für die Richtigkeit, die Gesamtheit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Im Rahmen dieses Projektes sind vier Patentanträge gestellt worden /12, 13, 14, 21/, um die Ergebnisse für die ASA-Projektpartner zu sichern.

Die Laufzeit des Projekts betrug ca. 4 Jahre (1996 bis 2000). Die Projektumfänge orientierten sich an den MOTIV-ASA-Projektanträgen.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Bearbeitung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photo-mechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, dem BMBF vorbehalten.

An dieser Stelle möchten sich die Autoren bei allen Projektbeteiligten für die erfolgreiche Zusammenarbeit bedanken.

Tabelle 1 Autoren

Name	Firma / Institut	Anschrift	Telefon
Dr. Zahn	Bayerische Motorenwerke AG EW-10 (BMW)	Postfach 40 02 40 80788 München	089-382-45003
Hr. Garnitz	Robert Bosch GmbH FV/SLH (Bosch)	Postfach 77 77 77 D-31132 Hildesheim	05121-49 31 14
Dr. Schiehlen	MAN Nutzfahrzeuge AG TVV (MAN)	Dachauer Str. 667 80995 München	089 -15804995
Hr. Simm	Adam Opel AG TDC/AE Electronics (OPEL)	Postfach 1710 Abteilung 80-17 65407 Rüsselsheim	06142 - 775744
Hr. Anders Dr. Obojski	Volkswagen AG Elektronik-Forschung (VW)	Brieffach 1776 38436 Wolfsburg	05361 - 9 76697

2 EINFÜHRUNG

2.1 Zielsetzung

Es sollte ein Spurwechsel- und ein Abbiegeassistenzsystem (ASA) entwickelt und im Prototyp demonstriert werden, welches Fahrer in kritischen Situationen beim Spurwechsel und Abbiegen unterstützt, um die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Der Spurwechselassistent soll Hinweise und Warnungen an den Fahrer geben. Es war kein Eingriff beim Gaspedal oder bei der Bremse des Fahrzeugs geplant. Der Fahrer soll immer die vollständige Kontrolle über und auch die ungeteilte Verantwortung für sein Fahrzeug behalten. Der Spurwechselassistent soll das Verhalten des Fahrers so beeinflussen, dass kritische Verkehrssituationen vermieden werden.

Der Abbiegeassistent soll den Fahrer beim Abbiegevorgang, insbesondere innerhalb von Ortschaften, unterstützen. Da die ungeschützten Verkehrsteilnehmer, also Fußgänger und Zweiradfahrer, besonders gefährdet sind, sollen mit dem Assistenzsystem besonders Unfälle mit diesen Verkehrsteilnehmern vermieden werden.

Es sollten Sensoren mit den Technologien Radar, Lidar, Video und Ultraschall zur schnellen und intelligenten Situationserfassung und –bewertung beim Spurwechsel und Abbiegen weiter entwickelt und zur Umfelderkennung eingesetzt werden.



Bild 1 Kritische Situation beim Abbiegen

Im Rahmen des Projektes sollten die Anforderungen an die Sensorik ermittelt werden. Eine prototypische Implementierung von Sensorik und adäquaten Algorithmen in den Steuergeräten im Fahrzeug sollte die Umsetzbarkeit des Konzepts nachweisen. Eine geeignete Fahrerschnittstelle sollte geschaffen werden. Die Interaktion soll für den Fahrer intuitiv und schnell verständlich sein, damit er die Hinweise des Abbiege- und Spurwechselassistenten auch tatsächlich bei seinen Fahrmanövern berücksichtigt.

2.2 Projektstruktur

Im Projekt ASA im Teilprogramm "Sichere Straße" im Rahmen des nationalen Forschungsvorhabens „Mobilität und Transport im intermodalen Verkehr“ (MOTIV) arbeiteten die Automobilhersteller Bayerische Motoren Werke AG, Adam Opel AG, MAN Nutzfahrzeuge AG und Volkswagen AG sowie der Automobilzulieferer Robert Bosch GmbH zusammen.

Schwerpunkte waren dabei

- Spurwechsellassistent:
 - Bayerische Motoren Werke AG, Adam Opel AG,
Volkswagen AG sowie Robert Bosch GmbH
- Abbiegeassistent
 - MAN Nutzfahrzeuge AG und
Volkswagen AG.

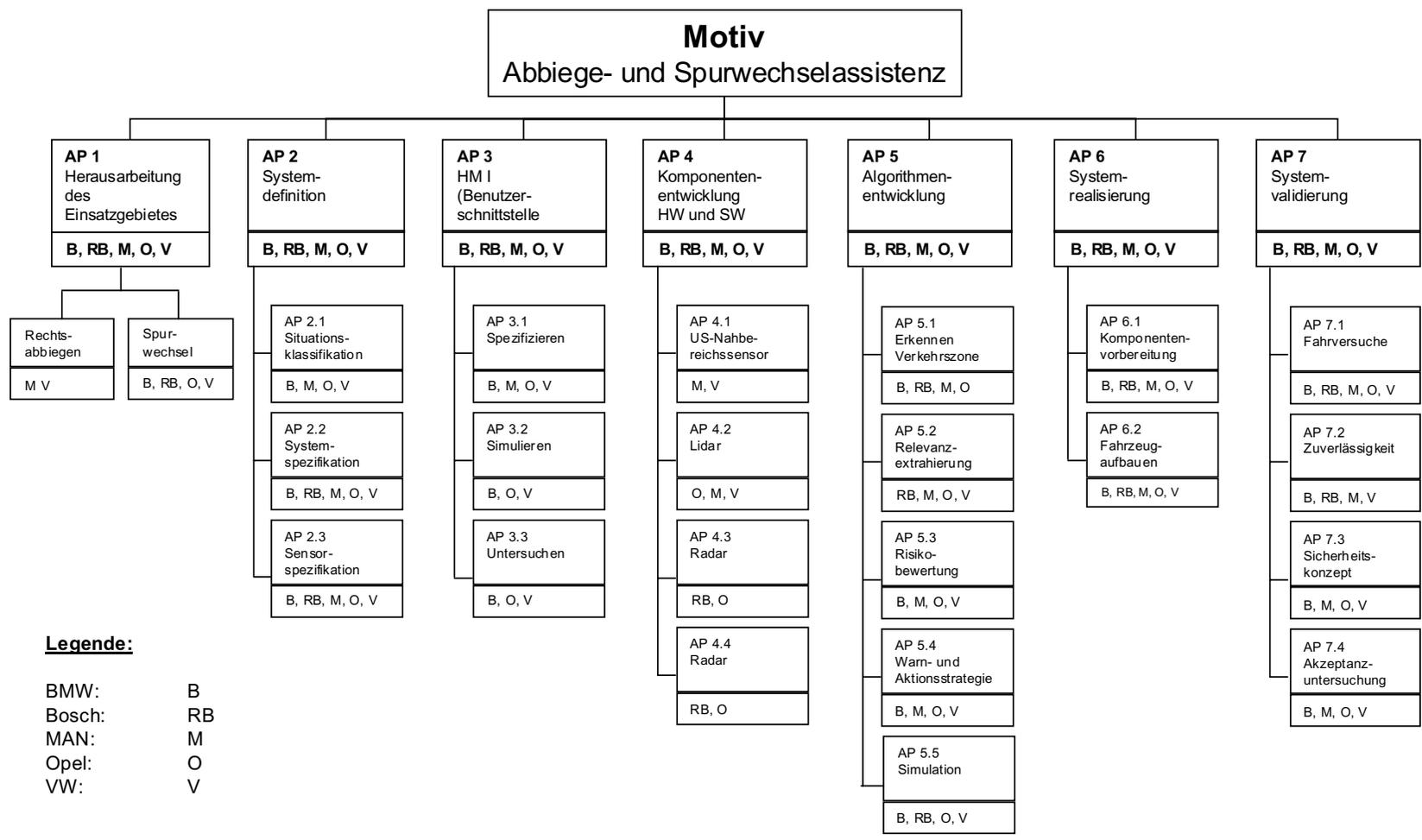


Bild 2 Projektstruktur und Beteiligung der ASA-Firmen an den Arbeitspaketen

2.3 Arbeitspakete

Das Projekt gliederte sich in folgende 7 Arbeitspakete:

- AP 1 Herausarbeiten des Arbeitsgebietes;
- AP 2 Systemdefinition;
- AP 3 Human-Machine-Interface;
- AP 4 Komponentenentwicklung Hard- und Software;
- AP 5 Algorithmenentwicklung;
- AP 6 Systemrealisierung;
- AP 7 Systemvalidierung.

2.3.1 AP1: Herausarbeiten des Arbeitsgebietes

In diesem AP wurde eine Analyse typischer Unfälle, die beim Spurwechsel und beim Rechtsabbiegen auftreten, durchgeführt. Dazu wurden Unfallsituationen klassifiziert, der Ablauf von Unfallereignissen detailliert beschrieben, die Belastung des Fahrers bei den genannten Unfallszenarien herausgearbeitet und das individuelle, wie auch das volkswirtschaftliche Sicherheitspotential, das ein Abbiege- und Spurwechsellassistent bieten kann, beschrieben. Die Unfallanalyse diente der Vorbereitung der Arbeiten zur Systemdefinition im AP 2 vor.

Die Struktur der Unfallanalyse und deren Umfang wurde gemeinsam mit den Projektpartnern festgelegt. Zur Durchführung der beschriebenen Unfallanalyse haben die Projektpartner gemeinsam Institutionen beauftragt, die sich kompetent mit Verkehrssicherheit beschäftigen und aus den Bereichen Versicherungswesen, Straßenwesen oder auch Unfallpsychologie stammen.

2.3.2 AP2: Systemdefinition

An die Unfallanalyse aus AP 1 hat sich in diesem AP eine detaillierte Systemdefinition angeschlossen, die die Fähigkeiten eines Abbiege- und Spurwechsellassistenten festlegt hat, um eine Reduktion der Unfallwahrscheinlichkeit in den o. g. Szenarien zu realisieren. Damit ergaben sich Anforderungen an die einzusetzenden Sensoren, die mit den verfügbaren Technologien abgeglichen werden mussten.

Dieser AP schloss mit der Spezifikation der Sensoren, der Algorithmen und der Testverfahren ab. Nur die vielversprechendsten Technologien wurden in den folgenden APs weiter bearbeitet.

2.3.3 AP3: Human-Machine-Interface (HMI)

Das HMI ist für die Wirksamkeit des Abbiege- und Spurwechsellassistenten entscheidend. Nachdem im AP 1 die Belastung und Überlastung des Fahrers herausgearbeitet worden war, wurde in diesem AP die mögliche Unterstützung des Fahrers zur Erfüllung seiner Aufgaben spezifiziert. Das Human-Machine-Interface soll das Verständnis für den Abbiege- und Spurwechsellassistenten beim Fahrer fördern, so dass der Fahrer die Empfehlungen und, sofern notwendig, auch die Eingriffe des Systems nachvollziehen kann. Die Eingriffe des Fahrers übersteuern aber immer die Signale des Abbiege- und Spurwechsellassistenten. Sowohl aktive Stellteile wie auch optische und akustische Anzeigen wurden betrachtet und in ihrer Funktionalität verglichen. In diesem AP wurden die möglichen HMI-Technologien miteinander verglichen. Die besonders geeigneten Techniken wurden spezifiziert.

2.3.4 AP4: Komponentenentwicklung Hard- und Software

In Zusammenarbeit mit der Zulieferindustrie wurde eine auf der in AP 2 erarbeiteten Spezifikation beruhende Sensorik entwickelt. Hierfür kamen Ultraschall-, Radar-, Video- und Lasersensoren in Betracht. Während der Hardwareentwicklung wurden erste Erprobungen der Sensorik vorgenommen.

2.3.5 AP5: Algorithmenentwicklung

In diesem AP wurden Algorithmen zur zuverlässigen Gefahrenwarnung entwickelt. Die Algorithmen mussten die Sensordaten der Ultraschall-, Video- und Lidarsysteme aus dem AP 4 gegenseitig aufeinander abstimmen und eine dynamische Objekt- und Situationserkennung realisieren. Insbesondere die frühzeitige Erkennung von Gefahrensituationen und die darauf abgestimmte Erfassung des Verhaltens des Fahrers war wesentlich.

Entsprechend der Sensordaten aus AP 4 wurden die Algorithmen so ausgelegt, dass sie die aktuelle Gefahrensituation gemäß AP 2 erkennen und, je nach Situation, die Steuerung von Aktuatoren und der optischen/akustischen Anzeigen übernehmen.

2.3.6 AP6: Systemrealisierung

Die Komponenten zur Sensorsignalaufnahme und zur Auswertung wurden in einen Versuchsträger eingebaut, in Betrieb genommen und abgeglichen.

2.3.7 AP7: Systemvalidierung

Mit Fahrversuchen sowie den Simulationswerkzeugen aus dem AP 5 wurden die Auswirkungen des Systems Abbiege- und Spurwechsellasistenz untersucht. Gemäß der Unfallklassifizierung aus AP 2 wurde die individuelle Fahrsicherheit mit und ohne Abbiege- und Spurwechsellasistenz einander detailliert gegenübergestellt.

Das Assistenzsystem wurde auch im realen öffentlichen Verkehr erprobt. Grenzsituationen konnten auf dem Versuchsgelände getestet werden.

2.4 Zeitplan

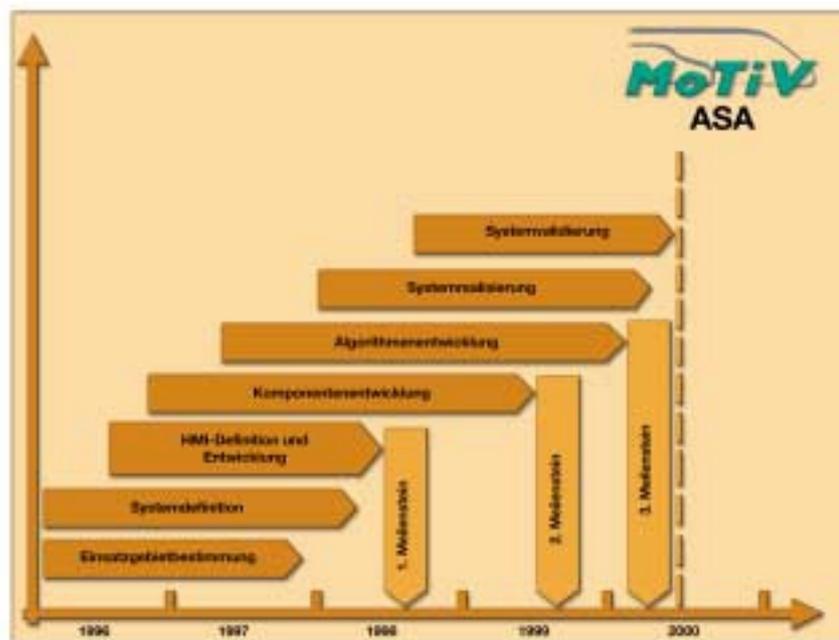


Bild 3 Zeitplan

Das Projekt begann im Juni 1996. Der erste Meilenstein wurde mit der Systemdefinition im Juni 1998 erreicht. Am 2. August 1999 wurde das Arbeitspaket Komponententwicklung abgeschlossen. Im Mai 2000 wurden die Projektergebnisse dem BMBF und der Öffentlichkeit präsentiert, so dass das Projekt im Juni 2000 abgeschlossen werden konnte.

2.5 Beziehungen zu anderen MOTIV Teilprojekten

Vom Projekt Abbiege- und Spurwechsellasistenz gab es eine Reihe von Querverbindungen sowohl zum Teilprogramm "Sichere Straße" wie auch zum Teilprogramm "Mobilität im Ballungsraum".

Im AP 1, Herausarbeiten des Arbeitsgebietes, und beim AP 2, Systemdefinition, wurde mit den Teilnehmern des Projektes ACC abgestimmt, wie die jeweils eingesetzten Fahrzeugkomponenten zusammenarbeiten müssen, damit der Nutzen für den Fahrer möglichst groß wird. Mit dem Projekt FAS wurde die Systemauslegung abgestimmt, damit die vorgesehenen Rahmenbedingungen für das Assistenzsystem eingehalten werden.

Das AP 3, Human-Machine-Interaktion, hatte starke Verbindungen zum Projekt MMI. Die dort erzielten Ergebnisse und die festgelegten Vereinbarungen sind im AP 3 für die Realisierung des Abbiege- und Spurwechsellasistenten eingeflossen.

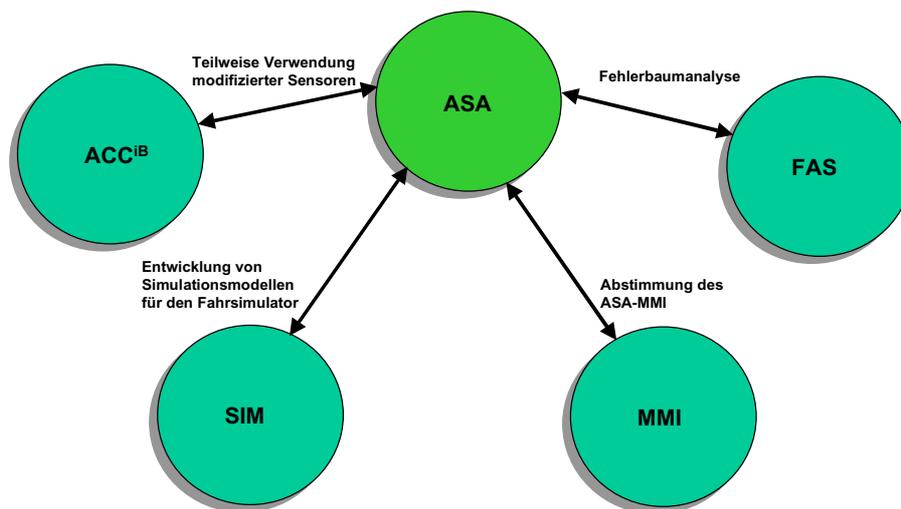


Bild 4 Verknüpfung von ASA mit anderen MOTIV Teilprojekten

Die Aktivitäten im AP 5, Algorithmenentwicklung, wurden mit den entsprechenden Aktivitäten im Projekt ACC und im Projekt MMI koordiniert, damit eine spätere gemeinsame Nutzung von Fahrzeugressourcen möglich wurde. In enger Zusammenarbeit mit dem Motiv-Teilprojekt SIM (Simulation) wurde dazu das im Rahmen des Verkehrssimulationsprogramms PELOPS vom fka Aachen und BMW entwickelte Fahrermodell neu in C++ implementiert und mit modularen Schnittstellen versehen. Anschließend wurde das Modell in den Fahrsimulator integriert und dort weiter verbessert und verifiziert.

Der AP 7 hatte starke Verbindungen zum Projekt SIM. Die Systemvalidierung des Abbiege- und Spurwechsellasistenten erfolgte u. a. mit Hilfe der Simulationswerkzeuge.

3 EINSATZGEBIET

Die erfolgreiche Realisierung eines Assistenzsystems erfordert eine möglichst detaillierte Kenntnis der ganzen Vielzahl der in der Verkehrsrealität möglichen Situationen beim Abbiegen und Spurwechsel. Diese sind zwar jedem Autofahrer durch seine subjektive Verkehrserfahrung im Grundsatz bekannt, jedoch bislang kaum systematisch untersucht und in Form prototypischer Szenarien klassifiziert. Dieses Wissen ist jedoch notwendig, um die für konkrete Systemlösungen relevanten Szenarien für die Systemfunktion zu ermitteln, die entsprechenden Situationsmodelle abzuleiten und zu entwickeln und den Anwendungsbereich einer Systemlösung zu spezifizieren und abzugrenzen.

Im Rahmen von MOTIV-ASA wurden Unteraufträge vergeben, um die Anwendungsbereiche einzugrenzen:

1. Am „DIAGNOSE & TRANSFER“ - Institut für Angewandte Psychologie, München, im folgenden kurz „D&T“ genannt, wurde ein Unterauftrag zur Analyse der Fahrsituationen beim Spurwechsel vergeben. Er umfasste neben der Entwicklung grundsätzlicher systematischer Beschreibungen auch Fahrversuche auf einem von der BMW AG zur Verfügung gestellten Versuchsträger, in deren Rahmen zahlreiche Spurwechsellvorgänge mit Video- und Abstandssensoren aufgezeichnet und von mitfahrenden Beobachtern protokolliert wurden. Die dabei gewonnenen Informationen führten zusammen mit den theoretischen Überlegungen zu einer qualitativen Beschreibung und Klassifikation typischer Spurwechselsituationen und -konflikte. Darauf aufbauend wurde eine Priorisierung der für den Spurwechsellassistenten relevanten Szenarien vorgenommen.
2. An die DEKRA-Unfallforschung wurde ein Unterauftrag vergeben zur Bestimmung und systematischen Auswertung von Situationsparametern des dort verfügbaren Kollektivs an durch DEKRA-Sachverständige begutachteten Spurwechselunfällen. Darauf aufbauend konnte eine erste Einschätzung der Relevanz einzelner Situationsparameter für das spurwechselbedingte Unfallgeschehen gewonnen werden.
3. Die umfangreichste Datenbank an LKW-Unfällen hatte der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV), weshalb diesem von der MAN eine Beauftragung erteilt wurde. Der GDV untersuchte dabei alle LKW Unfälle mit Fußgängern und Zweiradfahrern in Bayern aus dem Jahr 1984. Die Unfallakten wurden gesichtet und hinsichtlich der Unfallsituation neu bewertet. Von MAN zusammen mit dem GDV wurden die Unfälle in Hinblick auf die Unfallursachen und den Unfallablauf eingehend untersucht und typische Unfallsituationen herausgearbeitet.

Außerdem wurde eine PKW-Unfallanalyse beim Abbiegen auf der Grundlage der Daten der Medizinischen Hochschule Hannover erarbeitet.

Die Abschlussberichte der Untersuchungen finden sich in /1, 2, 5/

3.1 Abbiegeassistenten

3.1.1 Funktion

Das Fahrerunterstützungssystem dient der Unfallvermeidung bei Abbiegevorgängen. Dazu ist der Fahrer bei dem Vorhandensein potentieller Konfliktpartner im (hinteren) Seitenraum zu warnen. Der Fahrer kann dann schneller reagieren, weil seine Aufmerksamkeit schneller zu einem drohenden Konflikt hingelenkt wird. Zur genauen Beurteilung der Gefährdung dienen dem Fahrer weiterhin die konventionellen Spiegel.

3.1.2 Zu erkennende Verkehrsteilnehmer

Vor allem sollen Zweiräder direkt neben dem eigenen Fahrzeug erkannt werden. Die Zweiräder befinden sich entweder auf der Straße oder fahren auf dem Fuß- bzw. Radweg.

Neben Zweirädern kommen als Verkehrsteilnehmer ebenso Fußgänger in Betracht. In den seitlichen Verkehrsraum können auch Busse oder Taxis hineinfahren, die aus Haltestellen, bzw. vom Parkstreifen aus losfahren.

Da der Fahrer entgegenkommende Verkehrsteilnehmer gut erkennen kann, sind diese als nicht so kritisch anzusehen.

3.1.3 Straßengeometrien

Es wird davon ausgegangen, dass bei mehreren Fahrspuren das eigene Fahrzeug in der rechten Fahrspur fährt und dann ggf. nach rechts abbiegen möchte.

An Kreuzungen/Einmündungen/Ein&Ausfahrten/Kreisverkehren können die Straßen in einem stumpfen, rechten oder spitzen Winkel einmünden. Fuß- bzw. Radwege können vor oder hinter einem Grün- oder Parkstreifen liegen.

Um Kreuzungen möglichst übersichtlich zu halten, ist dort das Parken verboten und die Radwege verlaufen meistens direkt neben der Fahrbahn. In fast allen Unfällen sind (bis auf die Ampelmasten) keine Verdeckung durch Bäume oder parkende Autos feststellbar, d.h. der Sensor hat ein freies Sichtfeld.

3.1.4 Adressierte Verkehrssituationen

Beim Überholen gilt:

Stehende Objekte, wie Pfosten und parkende Autos, sind unkritisch und dürfen auch in geringem Abstand (0,2m) überholt werden. Jedoch bei Zweiradfahrern oder Fußgängern ist mindestens ein Abstand von 1m einzuhalten. Da sich diese meistens bewegen, sind sie auch leicht von ortsfesten Objekten zu unterscheiden.

Der Rechtsabbiegevorgang läuft typischerweise wie folgt ab:

- Vor dem Abbiegen in engen Straßen müssen Lkws gelegentlich weit nach links ausholen, wodurch sich rechts viel Platz ergibt. Zweiradfahrer können rechts vorbeifahren und sich in die entstandene Lücke drängen. Manchmal kommt für die Radfahrer dann das Abbiegen sogar unerwartet. Auch kann der Fahrer in diesem Fall evtl. sein rechtes Anhängende nicht sehen. Wenn sich der Radfahrer erst neben dem LKW bewegt, während der LKW verkehrsbedingt wartet, hat der LKW Fahrer den Radfahrer nicht einmal im vorherigen Vorbeifahren gesehen.
- Das Fahrzeug verzögert und muss evtl. verkehrsbedingt anhalten. Der LKW-Fahrer beginnt rechts abzubiegen, übersieht das Zweirad und fährt es an. Das Zweirad, das geradeaus weiterfahren möchte, steht neben dem Fahrerhaus des LKWs und fährt an oder nähert sich von hinten.
- Wartet ein Zweirad rechts neben dem Fahrzeug (oder wartet ein Fußgänger an der Ampel der Kreuzung oder am Fußgängerüberweg), so muss der Fahrer diese stehenden Verkehrsteilnehmer vorbeilassen, da sie bevorrechtigt sind. Da der Seitenraumsensor diese Bevorrechtigung nicht erkennen kann, muss dies dem Fahrer überlassen bleiben.
- Da das Fahrzeug beim Abbiegen die Kurve schneidet, kann es auch vorkommen, dass wartende Verkehrsteilnehmer oder Hindernisse angefahren werden. Dies passiert, wenn es zu eng wird (und der Fahrer nicht weit genug ausscheren kann) oder die Verkehrsteilnehmer zu nah an der Straße stehen.
- Nun kann es vorkommen, dass das eigene Fahrzeug in der Kreuzung stehen bleiben muss (z.B. um an einer Ampel Fußgänger vorbeizulassen). Der Fahrer übersieht das von rechts hinten (evtl. auf dem Fahrradweg) kommende Zweirad. Durch die Schrägstellung des Fahrzeugs kann es vorkommen, dass das Zweirad sich im toten Winkel befindet. Ähnlich sieht es an Kreuzungen mit einem stumpfen Winkel aus. An großen Kreuzungen mit Verkehrsinseln und einer Abbiegespur wird auch meist nur links auf den Verkehr geachtet, während evtl. von rechts kommende Zweiräder übersehen werden.

Aus diesen Verkehrssituationen wird deutlich, dass durch den eingeschränkten Sichtbereich des Lkws das Zweirad übersehen und angefahren werden kann.

3.1.5 Relevante Objekte

Folgende Objekte sind relevant und sollen erkannt werden:

- Beim Überholen ist auf Zweiräder hinzuweisen, die sich rechts neben dem Fahrzeug bewegen und meist langsam sind. Beim Abbiegen (wie auch bei Querverkehr) sind Objekte kritisch, die sich auf das eigene Fahrzeug zubewegen, da diese immer einen gewissen Anhalteweg benötigen. Besonders kritisch sind schnelle Zweiräder, da diese erst spät im Sichtbereich des Fahrers erscheinen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein mit 40 km/h fahrendes Zweirad, das mit 5 m/s^2 verzögern kann und eine Reaktions- bzw. Ansprechzeit von 0,7s hat, einen Anhalteweg von 20 m und eine Anhaltezeit von 3 s benötigt.
- Stehende Objekte werden jedoch auch interessant, wenn sie so nahe sind, dass sie durch das Schneiden der Kurven der Hinterachse bzw. des Anhängers mitgenommen werden. Zusätzlich sind bei stehenden Fahrzeugen, die abbiegen möchten, sich rechts direkt neben dem Fahrzeug einordnende Zweiradfahrer oder Fußgänger interessant, die dann beim Abbiegen übersehen werden könnten.

3.1.6 Systemnutzen

Mit dem Abbiege-Assistenzsystem ist auch beim Überholen eine gesteigerte Sensibilität für die schlecht geschützten Verkehrsteilnehmer zu erwarten. Eine stärkere Beachtung der Zweiradfahrer wird wahrscheinlich einerseits zu einer besseren Beachtung der Problematik von in die Straße einmündenden Radwegen und andererseits zu einem besseren Einhalten eines ausreichenden Sicherheitsabstands gegenüber diesen führen. Dadurch ist zu erwarten, dass die Unfallrate gesenkt werden kann.

Da die Fahrerbelastung gerade beim Abbiegen besonders groß ist, kann es hierbei leicht vorkommen, dass ein Verkehrsteilnehmer übersehen wird. Erschwerend kommt hinzu, dass der rechte Seitenraum schlecht bis gar nicht einsehbar ist. Ein Assistenzsystem für das Abbiegen, das den Fahrer auf Verkehrsteilnehmer, die direkt neben dem Fahrzeug stehen oder von hinten angefahren kommen, hinweist, hilft, Unfälle zu vermeiden.

3.2 Spurwechsellassistenten

3.2.1 Zu erkennende Verkehrsteilnehmer

Zu erkennen sind PKW, LKW und Motorräder. Gerade Motorräder, die gegenüber PKW/LKW die schwächeren Verkehrsteilnehmer sind, müssen erkannt werden.

3.2.2 Parameter zur Beurteilung von Spurwechselrisiko und Machbarkeit

Die primären physikalischen Parameter zur Einschätzung der „physikalischen Machbarkeit“ von Spurwechseln sind naturgemäß die Relativabstände und Relativgeschwindigkeiten zu den Fremdfahrzeugen sowie die Eigengeschwindigkeit des Versuchsfahrzeuges. Für die Relativabstände und -geschwindigkeiten kann eine von der Lage des absoluten Geschwindigkeitsniveaus unabhängige Darstellung gewonnen werden, indem man diese bezüglich des Geschwindigkeitsniveaus normiert:

1. Das auf die Eigengeschwindigkeit des Versuchsfahrzeugs normierte Abstandsmaß $\tau = d / v_e$ wird als *Zeitlücke* bezeichnet, dabei ist d der Abstand und v_e die Eigengeschwindigkeit.
2. Als normiertes Maß für die Relativgeschwindigkeit wird die sogenannte „time to collision“, kurz t_{tc} verwendet, d.h. die Zeitdauer bis zu einer Kollision unter der Annahme, dass die Beteiligten ihre aktuelle Geschwindigkeit unverändert beibehalten würden. Sie errechnet sich zu $t_{tc} = d / \Delta v$, dabei ist d wieder der Abstand und Δv die Relativgeschwindigkeit zwischen den Fahrzeugen.

3.2.3 Adressierte Verkehrssituationen

Für die Spurwechselassistenten sind die folgenden Verkehrssituationen von Bedeutung.

1. Überholsituationen nach links und freie Spurwahl nach rechts dominieren hinsichtlich der Risikoeinschätzung gegenüber Spurwechseln infolge von Einfädelvorgängen, Ausweichvorgängen und gewünschter Fahrtrichtung.
2. Überholsituationen nach links beinhalten insbesondere beim Nachordnen und Einordnen ein höheres Risikopotential (wenn also die Zielspur teilweise belegt) ist. Zu beachten ist, daß auch bei hinten freier Zielspur beim Nachordnen hinter ein Fahrzeug auf der Zielspur kritische Zeitlücken nach vorne zu beobachten sind, welche nach der hier verwendeten Hypothese ein entsprechendes Risikopotential mit sich führen. Es ist jedoch offen, ob die Vorausabstände vom Spurwechselassistenten beeinflusst werden sollen bzw. in fahrerakzeptabler Weise beeinflussbar sind.
3. Bei freier Spurwahl nach rechts (z.B. nach dem Überholen) beinhalten ebenfalls die mit Nachordnen verbundenen Spurwechselvorgänge das höchste Risikopotential gemäß dieser Abschätzung, auch hier zum Teil durch knappe Zeitlücken nach vorne bedingt.
4. Generell werden beim Ausordnen und Einordnen, d.h. beim Wechseln aus und in Lücken geringere Zeitlücken und t_{tc} -Werte in Kauf genommen als wenn Start- bzw. Zielspur nur in einer Richtung durch Fremdfahrzeuge belegt sind.

Die Auswertung einzelner „priorisierter“ Spurwechsel im Rahmen der Untersuchung durch D&T zeigte ferner, dass auch kritische Zeitlücken nach hinten öfters durch ein vom Testfahrzeug und damit auch Spurwechselassistenten wenig zu beeinflussendes Fremdfahrzeugverhalten entstehen, beispielsweise durch enges Auffahren eines Folgefahrzeuges während des Wiedereinordnens nach rechts nach einem Überholvorgang.

3.2.4 Kriterien für die Spurwechselentscheidung

Zu den vom Fahrer selbst tatsächlich verwendeten Kriterien können auch nach Durchführung der Versuchsfahrten kaum Aussagen gemacht werden, da diese auch durch die mitfahrende Beobachtung des Fahrerhaltens kaum indirekt zu erschließen waren. Dies gilt sowohl für die Kriterien zur Ableitung des Spurwechselwunsches wie für die Kriterien zur Beurteilung der Spurwechsellassistenten bzw. Kritikalität.

Eine Bestimmung von Kriterien zur Spurwechsellassistenten kann sich daher im wesentlichen nur auf indirekte Informationsquellen stützen:

1. Zum einen auf die subjektive Einschätzung des Spurwechselrisikos durch fahrfähige menschliche Beobachter.
2. Auf die Analyse der Bewegungsabläufe der beteiligten Fahrzeuge mit Hilfe der protokollierten Video- und Messdaten (Abstände, Relativgeschwindigkeiten, Beschleunigungen und Verzögerungen). Unter Kenntnis der möglichen Fahrzeugkinematik und sowie mit Hilfe von Annahmen über die Fremdfahrzeuge in der jeweiligen Situation „zumutbaren“ Verzögerungen sowie das Reaktionsverhalten der beteiligten Fahrer kann eine Grenze für „zulässige“ physikalische Parameterbereiche bestimmt werden.

Aus diesen Quellen wurde wie oben beschrieben von D&T das Kriterium für die Einschätzung eines Spurwechsels als kritisch wie folgt festgesetzt:

Ein Spurwechsel ist dann „kritisch“ (d.h. es sollte aufgrund zu großen Risikopotentials von seiner Durchführung abgeraten werden), wenn

- entweder während seiner Durchführung die Zeitlücke zu einem Umgebungsfahrzeug kleiner als 0,6 s wird
- oder während der Durchführung die Zeitlücke zu irgendeinem Umgebungsfahrzeug kleiner 1,2 s und die ttc („time to collision“) < 3 s ist.

3.2.5 Verhaltensmuster, Fehler und Fahrerdefizite beim Spurwechsel

Bei der Suche nach spurwechsellassistenten Verhaltensweisen und Fahrfehlern muss berücksichtigt werden, dass auch diese Untersuchung selbst im am ausführlichsten untersuchten Testbereich Autobahn mit knapp 20 Stunden Messdaten nur ein Fahrerkollektiv von etwa 10 Fahrern umfasst. Dieses setzt sich überwiegend aus der Gruppe „geübter Fahrer“ zusammen und kann naturgemäß nicht repräsentativ für die gesamte Zielgruppe eines Spurwechsellassistenten sein.

Generell kann festgestellt werden, dass die geübten Fahrer Spurwechsel im allgemeinen sehr zuverlässig durchführen und wenige kritische Situationen und Konflikte beobachtet wurden.

Der Blinker wurde sowohl bei Spurwechseln nach links wie nach rechts in gut der Hälfte der Fälle gesetzt (Autobahn), auf der Landstraße in 70% der Fälle¹. Eine daran angekoppelte Assistenzfunktionalität erscheint also für dieses Fahrerkollektiv grundsätzlich denkbar, zumal die Betätigungsrate durch einen damit verbundenen Zusatznutzen vermutlich noch gesteigert werden könnte und das Blinken bei diesem Fahrerkollektiv typischerweise in den ausgesprochen unkritischen Situationen unterlassen wurde (z.B. keine relevanten Fremdfahrzeuge in der Nähe).

Typischerweise wird der Blinker etwa 3 Sekunden vor Spurwechselbeginn (definiert als das erstmalige Berühren der Spurberandung zur Zielspur) gesetzt, in ca. 10% der Fälle betrug der Abstand jedoch lediglich 1 Sekunde oder weniger. Dies gilt gleichermaßen für Fahrspurwechsel nach links und nach rechts.

Die Zeitlücken beim Überholen nach links auf Autobahnen liegen typischerweise im Bereich 0,6 bis 1,5 Sekunden. Dies gilt gleichermaßen für Fremdfahrzeugabstände nach vorne und nach hinten, es wird also beim Einordnen nach vorne und hinten etwa die gleiche Zeitlücke eingehalten.

Beim Einfädeln auf Autobahnen liegen trotz der dort typischerweise etwas höheren Differenzgeschwindigkeiten die Zeitlücken im gleichen Bereich.

Bei der Spurwahl nach rechts (z.B. Wiedereinordnen nach Überholvorgang) liegen die Zeitlücken ebenfalls in diesem Bereich, wobei tendenziell nach hinten knappere minimale Zeitlücken in Kauf genommen werden als nach vorne. Da beim Wiedereinordnen nach Überholvorgängen in der Regel eine deutliche positive Differenzgeschwindigkeit vorliegt und somit keine Kollisionsgefahr besteht, erscheint dieses Verhalten naheliegend und gut interpretierbar. Ein Risiko ist mit diesen Zeitlücken nur bei plötzlichen Änderungen der Verkehrssituation verbunden, welche das Vorausfahrzeug zu kurzfristigen Verzögerungsmanövern zwingen könnten.

4 SYSTEMDEFINITION

4.1 Abbiegeassistenz

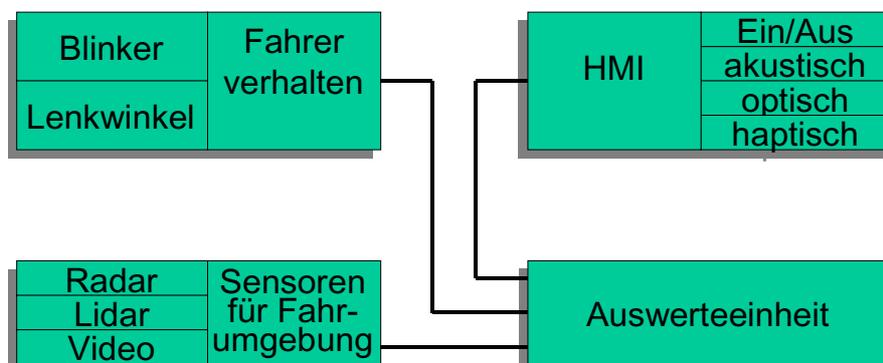


Bild 5 Systemaufbau

¹ dort allerdings nur 1-2 verschiedene Testfahrer!

Ein ASA-Warnsystem ist prinzipiell wie in Bild 5 aufgebaut. Mit einem EIN/AUS Schalter wird es aktiviert/deaktiviert. In der Auswerteeinheit werden die Signale von den Sensoren zur Erfassung der Fahrumgebung und der Fahrer-/Fahrzeugsituation zusammengeführt und die Signale zur Ansteuerung des ASA-HMI berechnet und ausgegeben.

4.1.1 Daten vom eigenen Fahrzeug

Folgende Daten vom eigenen Fahrzeug werden zur Erfassung des Fahrzeug- und Fahrer- verhaltens benötigt:

Tabelle 2 Eigenschaften

Parameter	Messbereich	Genauigkeit
Geschwindigkeit (V)	0 ... 60 km/h	<1 km/h
Blinker rechts	An / Aus	- - -

Ist auch der Lenkwinkel bekannt, so kann der eingeleitete Abbiegevorgang auch ohne Blinker erkannt werden.

4.1.2 Umfelderkennung

Da der Bereich direkt rechts neben dem Fahrzeug am kritischsten ist, ist besonders dieser zu überwachen. Bereits ein Sensor mit einem kleinen Überwachungsbereich (der damit für Objekte mit niedrigen Differenzgeschwindigkeiten geeignet ist) kann relativ viele kritische Situationen erkennen. Schnell ankommende Zweiradfahrer sind jedoch nur mit einem Sensor mit großer Reichweite und Öffnungswinkel zu erkennen.

Auch ist ein Multi-Sensorkonzept, mit mehreren Sensoren um das Fahrzeug verteilt, denkbar, wobei diese Sensoren dann auch gleichzeitig für andere Systeme wie Spurwechsellassistenten, ACC und Kollisionswarner verwendet werden können.

4.1.3 Detektionsfeld

Das Assistenzsystem hat die Aufgabe andere Verkehrsteilnehmer, die den eigenen Weg kreuzen werden, zu erkennen und zu warnen, wenn diese schon so nahe sind, dass sie trotz Bremsung nicht mehr anhalten können. Eine so bevorstehende Kollision kann so durch den rechtzeitigen Abbruch des Abbiegevorgangs verhindert werden.

Generell bleibt der Fahrer selbst dafür verantwortlich den bevorrechtigten Längsverkehr zu beobachten und vor dem Abbiegen vorbeizulassen.

Bei freiem Nahbereich muss er zügig abbiegen, um auch eventuell weiter entfernten Längsverkehr nicht zu behindern. Ein langsamer Abbiegevorgang würde die Überwachung eines weitaus größeren Bereichs benötigen, da sich sehr weit entfernte Verkehrsteilnehmer in der Zwischenzeit nähern können und dann auf ihrem Weg behindert werden. Der Ausschluss jeglicher Behinderung ist mit heutiger Sensorik nicht erreichbar. Da jedoch das nicht Gewähren des Vorrangs in dieser Situation unkritisch ist, da die Verkehrsteilnehmer noch bremsen können, ist eine Sensorüberwachung überflüssig.

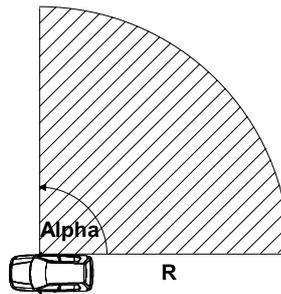


Bild 6 Skizze zum Detektionsfeld

Die Sensorreichweite, die sinnvoll ist, um kritische Situationen zu entschärfen, bestimmt sich wie folgt: Bei folgenden Anfangsgeschwindigkeiten und Verzögerungsvermögen von Zweiradfahrern ergibt sich mit der Reaktionszeit von 1 Sekunde ein Anhalteweg von 30 m.

Tabelle 3 Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Verzögerung für 30 m Anhalteweg

Geschwindigkeit	20 km/h	30 km/h	40 km/h	50 km/h
Verzögerung	0,6 m/s ²	1,6 m/s ²	3,3 m/s ²	6 m/s ²

Da schnellere Fahrzeuge auch ein besseres Verzögerungsvermögen besitzen, reicht eine Sensorreichweite von 30 m, um in den kritischen Situationen warnen zu können.

4.1.4 Detektionsobjekte

Es sollen mindestens Objekte erkannt werden, die sich mit einer Geschwindigkeit größer als 2 m/s (7.2 km/h) bewegen. Damit werden Jogger, Skater, Fahrradfahrer und andere Zweiradfahrer erfassbar.

Bewegte Objekte sollen von stehenden Objekten unterscheidbar sein, wenn sie sich mit mehr als 2 m/s bewegen.

Es sollen zwei Objekte voneinander unterschieden werden können, wenn

- die Entfernung um mehr als 0,4 m differiert oder
- die Relativgeschwindigkeit um mehr als 0,4 m/s differiert.

Folgende Objekte sollen nicht detektiert werden:

- Fahrbahnerhebungen
- Objekte oberhalb 4 m der Fahrbahn

4.1.5 Objektattribute

Der Abbiegeassistent soll von den Objekten Zweiradfahrer und sich rasch bewegende Passanten die Eigenschaften Entfernung zum Sensor, Winkel zum Sensor, Relativgeschwindigkeit und Quergeschwindigkeit zum Sensor detektieren.

Tabelle 4 Detektionsattribute

Parameter	Messbereich	Genauigkeit
Abstand (R)	0,2 ... 30 m	<0,1 m
Winkel (ϕ)	0 ... 90 °	<0,5 °

Aus den Positionsmessungen lassen sich die Geschwindigkeiten berechnen. Von vorn kommende Verkehrsteilnehmer müssen nicht vom Abbiegeassistenten erfasst werden, da diese im Sichtfeld des Fahrers liegen.

4.1.6 Objektliste

Es sollen mindestens 10 Objekte gleichzeitig erfasst und verfolgt werden können. Bei mehr als 10 Objekten sollen die Objekte gemäß ihrem Abstand priorisiert werden. Der Sensor soll eine Liste mit maximal 10 relevanten Objekten erstellen. Die Objektliste mit allen Attributen soll per Schnittstelle an das übergeordnete System gesendet werden.

Die Daten sollen mit einem Messzyklus aktualisiert werden, der schneller als 0.1 Sekunde arbeitet.

4.1.7 Sensorauswertefunktion

Die Verkehrsteilnehmer im für das Abbiegen/Überholen relevanten Verkehrsraum (Seitenraum) sind zu erkennen, wobei nicht relevante Objekte in diesem Bereich zu unterdrücken sind. Zur Unterscheidung von relevanten (andere gefährdete Verkehrsteilnehmer, die sich in etwa in dieselbe Richtung bewegen) und nicht relevanten Objekten (z.B. entgegenkommende Verkehrsteilnehmer, parkende Fahrzeuge, Leitplanken, Schilder, Pfosten, Laternen, Bäume und Büsche) gibt es z.B. folgende Möglichkeiten:

- nur sich bewegende Objekte,

- nur Objekte, die sich in diesen Bereich von hinten hineinbewegt haben (z.B. seit dem Warten an der Ampel),
- alle Objekte, die sich bewegt haben,
- alle Objekte, die durch das Schneiden der Kurven vom Fahrzeug bzw. Anhänger wahrscheinlich überrollt werden (Annahme über Lenkung erforderlich),
- alle Objekte, die sich sehr nahe am Fahrzeug befinden.

Zur Deutung der Sensordaten kann die Eigengeschwindigkeit hilfreich sein.

Untersuchungen mit Fahrern haben gezeigt, dass für die Akzeptanz des Warnsystems eine niedrige Rate von unnötigen bzw. falschen Alarmen wichtig ist. Der Sensor soll also eine möglichst niedrige Falschalarmrate bei hoher Erkennungssicherheit (niedriger Fehlalarmrate) bieten. Auch sollte die Verzugszeit, d.h. die Dauer vom Eintreten eines Objekts in den Messbereich bis zur Erkennung klein ($<0,1s$) sein.

4.1.8 Warnstrategie

Es ist wichtig, dass der Abbiegeassistent bereits die Vorbereitung des Fahrers zum Abbiegen unterstützt. Dies soll über eine ständig aktive optische Anzeige erfolgen. Diese Anzeige kann der Fahrer in den Verkehrssituationen, bei denen ein Abbiegen nicht beabsichtigt ist, leicht ignorieren. Damit wird die Aufmerksamkeit des Fahrers nicht unnötig belastet. Wenn der Fahrer eine Information zum Seitenraum wünscht, kann er diese an einer ihm bekannten Anzeigeposition ablesen.

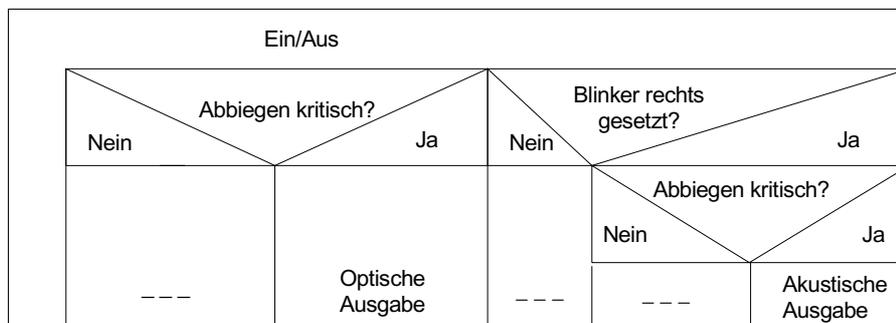


Bild 7 Struktogramm der Auswertestrategie

Sobald der Fahrer den Blinker setzt, macht er seine Absicht zur Änderung der Fahrspur oder zum Abbiegen deutlich. Mit dem Setzen des Blinkers wird die zweite Stufe der Fahrerinformation aktiviert. Falls der Abbiegeassistent Risiken für einen Abbiegevorgang erkennt, wird eine akustische Warnung ausgegeben.

Das Systemkonzept sieht für die Warnung beim Abbiegen und beim Spurwechsel dasselbe Mensch-Maschine-Interface vor. Dadurch wird das intuitive Verständnis des Fahrers für das System gefördert.

4.1.9 Anzeige

Die Anzeige ist nahe beim Außenspiegel zu montieren und zeigt an, ob ein relevantes Objekt erkannt wurde. Auch sind Anzeigen direkt im Innenspiegel denkbar, eventuell sogar mit Hinweis, wo das Objekt erkannt wurde.

Zusätzlich gibt es eine Anzeige für 'System bereit' und 'Systemfehler'. Fehlermeldungen können eventuell auch im normalen Fahrzeugdisplay angezeigt werden.

Eine akustische Warnung ist ggf. auch vorzusehen, die jedoch nur aktiv ist, wenn der Blinker gesetzt ist (und kein Rückwärtsgang gewählt ist) und evtl. nur bei niedrigen Geschwindigkeiten. Auch ist es möglich einen kurzen Ton nur bei jeder Veränderung auszugeben.

4.1.10 Sensoranordnung

Das System soll unabhängig vom Anhänger bzw. Auflieger funktionieren, was der Fall ist, wenn der Sensor im Bereich des Fahrerhauses montiert wird. Ein Assistenzsystem mit einem Laser-scanner könnte wie folgt aussehen:

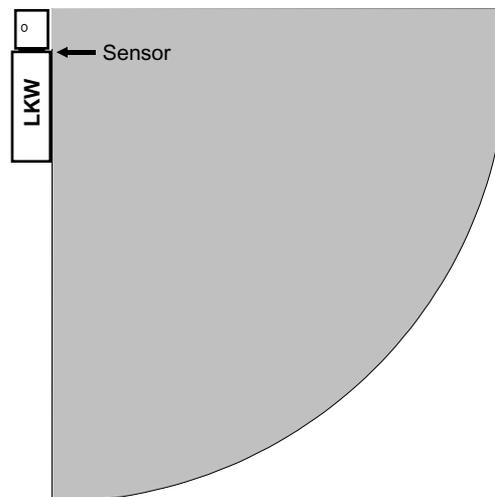


Bild 8 Beispiel LKW-Sensoranordnung

Ein Multisensorsystem für PKW's sieht z.B. wie folgt aus:

Das im folgenden Bild gezeigte System geht über die Anforderungen in der Systemdefinition hinaus. Neben dem Seitensensor zeigt es zusätzlich einen Videosensor, der seitlich nach vorn ausgerichtet ist.

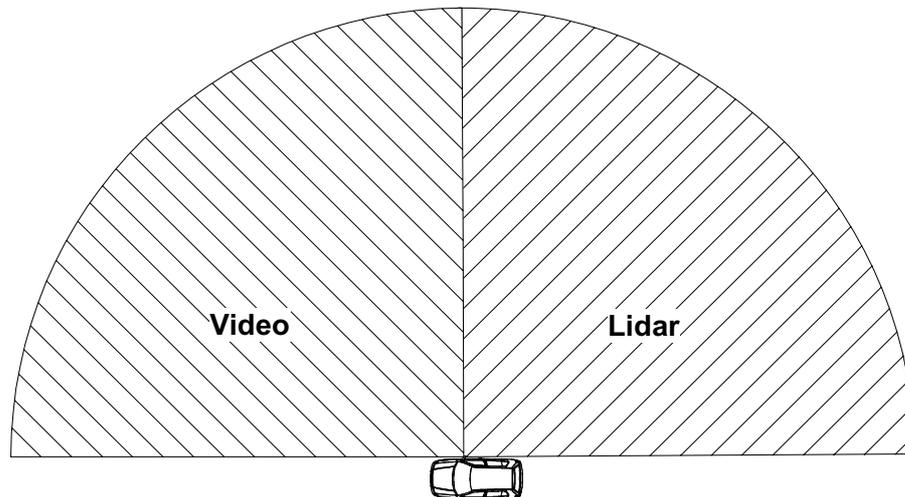


Bild 9 Beispiel für PKW-Sensoranordnung

Als Seitensensor ist ein Lidarsensor gewählt, der nach hinten ausgerichtet ist.

Der Videosensor schließt nahtlos an den Lidar an. Er hat die Aufgabe, Ein-/Ausfahrten und Straßeneinmündungen zu detektieren. Mit dieser Detektion wird es möglich, die Area of Interest beim Abbiegen einzugrenzen. Manche Autofahrer blinken bereits 30 m vor der Kreuzung, an der sie abbiegen werden. Mit der Detektion der Kreuzung werden unnötige akustische Warnungen vermieden, die ohne solche Detektion wegen des frühen Blinkens unvermeidlich sind.

Zusätzlich kann der Videosensor zur Objektdetektion im vorderen Bereich des Verkehrsraumes verwendet werden.

4.2 Spurwechsellassistenten

Ein System zur Spurwechselabsicherung soll den Fahrer bei seiner Fahraufgabe Spurwechsel unterstützen. Ziel ist es, die Gefahren für die Verkehrsteilnehmer in diesen Situationen zu verringern bzw. erst gar nicht entstehen zu lassen und dadurch gleichzeitig die Sicherheit und den Komfort zu erhöhen.

Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die Fahrer unterschiedliches Fahrverhalten zeigen und ihre Wahrnehmungsfähigkeit verschieden ausgeprägt ist. Einfluss haben auch wechselnde Sichtbedingungen und sich ändernde Witterungsverhältnisse.

Der Einsatz eines solchen Systems ist grundsätzlich für Autobahnen, Landstraßen und im Stadtverkehr vorgesehen.

Der Spurwechsellassistent der "Ersten Generation" soll jedoch ausschließlich für Autobahnen oder vergleichbare Straßen ausgelegt werden.

Auf Autobahnen werden in der Regel Kurvenradien von 500 m nicht unterschritten.

Das System soll daher aktiviert werden, falls

- die Geschwindigkeit größer als 70 km/h **und**
- der Kurvenradius größer 500 m ist.

Das System soll deaktiviert werden, falls

- die Geschwindigkeit kleiner als 60 km/h ist **oder**
- der Kurvenradius kleiner 500 m ist.

Die Erweiterung auf die vorher genannten Anwendungsgebiete wird dann stufenweise mit der Verbesserung und Weiterentwicklung der technischen Rahmenbedingungen erfolgen.

Das System greift zu keinem Zeitpunkt in die Führung des Fahrzeuges ein. Es handelt sich um ein reines Warnsystem. Der Fahrer ist jederzeit voll für das Fahrzeug verantwortlich.

Die Funktionalität des Spurwechsellassistenten muss für den Fahrer jederzeit voll einsichtig und nachvollziehbar sein. Dies führt ansonsten zu einer sinkenden Fahrerakzeptanz oder, was noch gravierender ist, zur Entstehung gefährlicher Verkehrssituationen.

4.2.1 Anforderungen an Sensoren

Die Sensoren haben die Aufgabe, das rückwärtige und seitliche Fahrzeugumfeld zu überwachen und alle sich dort befindenden Fahrzeuge zu erfassen. Auf die Beobachtung des vorderen Fahrzeugbereiches wird momentan verzichtet. Diese könnte zwar zusätzliche nützliche Informationen liefern, aber besonders die Erfassung des gesamten vorderen Verkehrsszenarios ist momentan technisch zu aufwendig.

Die Sensoren müssen auch die benötigten Bewegungsparameter der detektierten Objekte ermitteln. Heute vorhandene Sensoren können den Abstand und die Relativgeschwindigkeit eines Objektes wesentlich genauer bestimmen, als dies dem Menschen möglich ist.

Als Technologien können Radar, Lidar, Ultraschall und Bildverarbeitung eingesetzt werden.

Durch Beobachtung des nahen bis fernen rückwärtigen Fahrzeugraums müssen alle sich dort befindenden Fahrzeuge erfasst werden. Primär interessierende Daten sind Abstand oder Relativgeschwindigkeit der sich nähernden oder folgenden Fahrzeuge. Weitere Parameter wie zum Beispiel die genaue Spurzuordnung können zur Interpretation der Fahrsituation herangezogen werden, sind aber nicht unbedingt erforderlich.

Die vollständige Beobachtung der nahen Seitenbereiche des Fahrzeuges muss ebenfalls gewährleistet werden. Hierzu ist es prinzipiell ausreichend, wenn ermittelt wird, ob sich ein Fahrzeug in diesem Bereich befindet. Informationen bezüglich des seitlichen Abstandes und der Lage des Objektes relativ zum eigenen Fahrzeug können die Datenfusion verbessern, sind aber nicht zwingend notwendig.

Zur Ermöglichung einer Fahrspurzuordnung kann eine Kamerabeobachtung des rückwärtigen Fahrzeugraumes erfolgen. Hiermit können auch zusätzliche Informationen über die Trajektorien der nachfolgenden Fahrzeuge erhalten werden. Darüber hinaus kann durch das so ermittelte Spurverhalten des eigenen Fahrzeuges auf eine eventuelle Spurwechselabsicht des Fahrers geschlossen werden. Diese Spurwechselabsicht des Fahrers kann aber auch mit einer nach vorne gerichteten Kamera erfasst werden.

4.2.2 Daten des eigenen Fahrzeugs

Die Begründung zu allen Anforderungen findet sich in /3/.

Sensorik des Ego-Fahrzeugs

Tabelle 5 Anforderungen an Fahrzeugdaten

Parameter		Messgröße	Genauigkeit
Zurückgelegte Strecke in x-Richtung	d_x	0,3 m	0,3 m
Geschwindigkeit	v	17 m/s .. v_{max}	1 %
Drehrate	$d\psi/dt$	-0,1 .. 0,1 1/s	10^{-4} 1/s

Erkennung der Spurwechselabsicht des Fahrers

Tabelle 6 Anforderungen an Sensoren für die Bestimmung der Fahrzeugposition

Parameter	Messgröße	Genauigkeit
Blinkersignal	Links an / aus Rechts an / aus	---
Fahrspurbreite	2,0 .. 4,0 m	± 5 - ± 10 cm
Lateraler Versatz von der Fahrspurmitte	-2,0 .. +2,0 m	± 5 - ± 10 cm

4.2.3 Umfelderkennung

Das System muss, um hilfreich agieren zu können, die typischen im Verkehrsgeschehen auftretenden Spurwechselsituationen rechtzeitig erkennen. Es handelt sich hierbei um folgende relevanten Situationen auf der Autobahn:

- Spurwechsel zum Überholen nach links
- Spurwechsel zum Einscheren nach rechts
- Einfädeln auf die Autobahn an Auffahrten
- Ausfädeln von der Autobahn an Abfahrten

Um diese Aufgabe erfüllen zu können, benötigt das System Informationen über die Bewegung der Fahrzeuge in seiner Umgebung. Dies kann nur durch den Einsatz von Sensoren mit unterschiedlicher Technologie erreicht werden, die das Fahrzeugumfeld in geeigneter Weise beobachten. Es stehen Systeme basierend auf Radar, Lidar, Ultraschall und Bildverarbeitung zur Verfügung.

Fahrspurerkennungsattribute

Tabelle 7 Anforderungen an Sensoren für die Erfassung der Fahrumgebung

Fahrspurerkennungsattribute	Messgröße	Genauigkeit
Fahrspurbegrenzungsklassifikation für die Fahrspur des Ego-Fahrzeugs	"Markierung durchgezogen", "Markierung unterbrochen", "keine Markierung"	---
Spurzuordnung des Ego-Fahrzeugs	"linke Spur", "mittlere Spur", "rechte Spur"	---
Spurzuordnung des Fremdfahrzeugs	"links neben linker Nachbarspur", "linke Nachbarspur", "gleiche Spur", "rechte Nachbarspur", "rechts neben rechter Nachbarspur"	---
Fahrbahnbreite der Fahrspur des Ego-Fahrzeugs und der Nachbarspuren	2 .. 4 m	±5 - ±10 cm
Spurversatz des Ego-Fahrzeugs	- 2 m .. 2 m	±5 - ±10 cm

Für jedes Objektattribut wird ein Gütemaß gefordert (0..1; 0: max. Unsicherheit; 1: max. Genauigkeit).

Witterungsbedingungen

Sollte die Sensorik aufgrund der Witterungsbedingungen nicht zuverlässig funktionieren, muss das System diesen Zustand selber erkennen und der Fahrer sollte informiert werden.

4.2.4 Detektionsfeld

Das Detektionsfeld teilt sich auf in einen linken und rechten seitlichen Nahbereich, in einen linken und rechten rückwärtigen Nahbereich sowie in einen Fernbereich.

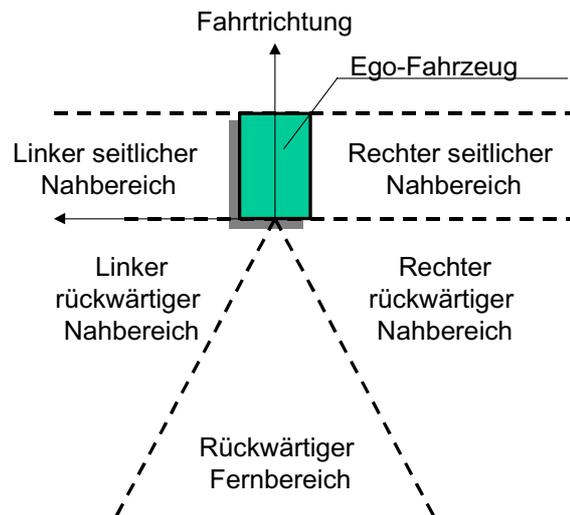


Bild 10 Detektionsfeld

4.2.5 Detektionsobjekte

Es sollen mindestens folgende Objekte detektiert werden:

- PKW
- LKW
- Motorräder

4.2.6 Objektattribute

Es wird allgemein eine Wiederholrate von mindestens 10 Hz (100 ms) gefordert.

Für jedes Objektattribut wird ein Gütemaß gefordert (0,..1; 0: max. Unsicherheit; 1: max. Genauigkeit).

Tabelle 8 Objektattribute Nahbereich seitlich

Objektattribut		Messbereich	Genauigkeit
Abstand	d_x	nicht benötigt	---
Längsgeschwindigkeit	v_x	nicht benötigt	---
Laterale Ablage	d_y	0,3 .. 5 m (Maximalanforderung: 7,5 m)	0,5 m
Quergeschwindigkeit	v_y	-3 m/s .. +3 m/s	0,5 m/s

Tabelle 9 Objektattribute Fernbereich hinten

Objektattribut		Messbereich	Genauigkeit
Öffnungswinkel	2α	25°	---
Abstand	d_x	0,3 .. 1 m 1.. 150 m	reine Detektion < 1 m
Längsgeschwindigkeit	v_x	$v_x < 0$ m/s $v_x > 23$ m/s 0 m/s < $v_x < 23$ m/s	reine Detektion reine Detektion < 1 m/s
Laterale Ablage	d_y	Dem Öffnungswinkel entsprechend; -32 m .. 32 m (bei $d_x = 150$ m)	< 1 m
Quergeschwindigkeit	v_y	-3 m/s .. +3 m/s	0,5 m/s

Tabelle 10 Objektattribute Nahbereich hinten

Objektattribut		Messbereich	Genauigkeit
Öffnungswinkel	γ	$90 - \alpha = 77,5^\circ$	---
Abstand	d_x	0,3 .. 1 m 1.. 75 m	reine Detektion < 1 m
Längsgeschwindigkeit	v_x	$v_x < 0$ m/s $v_x > 23$ m/s 0 m/s < $v_x < 23$ m/s	reine Detektion reine Detektion < 1 m/s
Laterale Ablage	d_y	Dem Öffnungswinkel entsprechend; 0 .. ± 16 m (bei $d_x = 75$ m)	< 0,5 m
Quergeschwindigkeit	v_y	-3 m/s .. +3 m/s	0,5 m/s

4.2.7 Objektliste

Der Sensor soll über seine Schnittstelle eine Objektliste mit den zugehörigen Attributen (incl. Gütemaß) senden. Die Auswahl der relevanten Objekte soll nicht vom Sensor, sondern vom übergeordneten System vorgenommen werden.

In jedem Bereich müssen mindestens die folgende Anzahl an Objekten detektiert werden. Weiterhin ist die Mehrzielfähigkeit für die Unterscheidung von Objekten und deren Hintergrund, wie z.B. der Straße, wichtig.

Tabelle 11 Mehrzielfähigkeit

Bereich	Anzahl der Objekte
Linker und rechter seitlicher Nahbereich	je 10
Linker und rechter rückwärtiger Nahbereich	je 10
Rückwärtiger Fernbereich	10

4.2.8 Warnstrategie

Entscheidend für die Leistungsfähigkeit des Spurwechselassistenten ist eine möglichst wirklichkeitsgetreue Beurteilung der momentanen Fahrsituation und die Schätzung der sich zukünftig entwickelnden Verkehrssituation. Dazu werden die zur Verfügung stehenden Daten nach folgender Methodik analysiert.

Alle Daten, die durch die Sensoren über die Fahrzeuge im Erfassungsbereich ermittelt werden, sowie die Daten über die Bewegung des Fahrzeuges (Gierrate, Beschleunigung, Spurverlauf) und die Daten, die die Spurwechselabsicht des Fahrers signalisieren (Blinker, Lenkwinkel), werden in einem Szenenmodell ausgewertet und auf symbolischer Ebene repräsentiert.

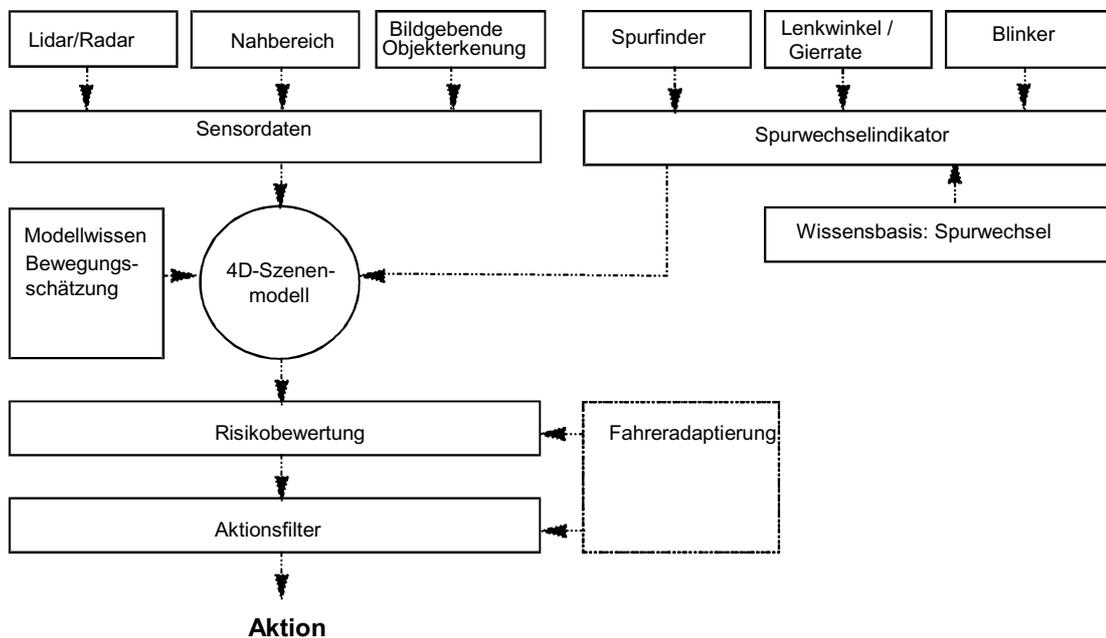


Bild 11 Datenfusion und Datenanalyse

Logische Aussagen und Wissen über das Bewegungsverhalten des auffahrenden Verkehrs prägen stark die erforderliche Verhaltensweise. Daher fließt auch das Modellwissen und die Informationen einer Bewegungsschätzung an dieser Stelle in das Szenenmodell ein. Dies führt zu einer robusten Szenenmodellierung und ermöglicht wiederum den Einsatz einfacherer Sensorik. Ausgehend vom aktuellen Fahrverhalten werden alle detektierten und prognostizierten Objekte hinsichtlich ihrer Relevanz für das momentane Verkehrsszenarium bewertet. Die hypothetische Entwicklung des Verkehrsgeschehens muss hier auch berücksichtigt werden, um rechtzeitig darauf reagieren zu können. Anschließend erfolgt die Risikobewertung der jeweiligen Trajektorien, dabei geht eine Fahreradaptation in die Auswertung mit ein.

Die Risikobewertung ist die Grundlage für die anschließende Aktionsgenerierung. Hierunter ist eine geeignete Rückmeldung durch ein MMI über die derzeitige Verkehrssituation an den Fahrer zu verstehen.

4.2.9 Anzeige

Das HMI hat die Aufgabe, die Informationen bzw. Warnungen an den Fahrer weiterzugeben. Für eine Auslegung des Human-Machine-Interface gibt es dabei grundsätzlich 3 Möglichkeiten. Dies kann durch Weitergabe von visueller, akustischer oder haptischer Information geschehen.

Die Gestaltung des HMI hat so zu erfolgen, dass die ASA-Funktionen für den Fahrer intuitiv verständlich sind. In den realisierten Versuchsträgern wurden unterschiedliche Lösungen eingesetzt, die im Kapitel „Mensch-Maschine-Schnittstelle“ beschrieben sind.

4.2.10 Sensoranordnung

Die in einem Spurwechselassistenten eingesetzte Sensorik sollte den beschriebenen Bereich möglichst vollständig und in der spezifizierten Genauigkeit überwachen. Andererseits ist bei der Realisierung darauf zu achten, dass eine möglichst geringe Anzahl an Sensoren eingesetzt wird, um ein kostengünstiges System verwirklichen zu können.

Für die vollständige Erfassung des rückwärtigen Fernbereichs wird eine Sensorik mit einem Öffnungswinkel von 25° und einer möglichst hohen Reichweite von mindestens 150 m benötigt. Die geforderte Reichweite kann sowohl mit heutzutage verfügbaren Lidar- als auch mit bereits existierenden Radarsensoren erzielt werden. Die verfügbaren Sensoren zeichnen sich üblicherweise durch einen relativ geringen Öffnungswinkel von z.B. 10° aus.

Für die linke und rechte Nahbereichssensorik wird in der Spezifikation von einem Öffnungswinkel von bis zu 80° und einer Reichweite bis zu 70 m ausgegangen. Für diesen Bereich kommen vor allem Lidar- und Videosensoren in Betracht. Mit einer Videosensorik könnte der laterale Versatz der Objekte relativ genau bestimmt und mit Hilfe einer Fahrspurerkennung die Objekte - auch die der Fernbereichssensorik - relativ zuverlässig zugeordnet werden. Die Lidarsensoren könnten im Bereich der Rücklichter und die Videosensorik im Innenraum hinter der Heckscheibe befestigt werden. Für den Einsatz der Videosensorik muss allerdings sichergestellt werden, dass ein Heckscheibenwischer die Scheibe bei Regen und Schnee freihält.

Für den linken und rechten seitlichen Nahbereich können prinzipiell Ultraschall, Laser- und Radarsensoren eingesetzt werden. Sie sollten mindestens eine Reichweite von 5 m haben und den Bereich neben dem Fahrzeug vollständig überwachen. Der Lasersensor könnte z.B. an den Außenspiegeln, der Radarsensor in Höhe der Kotflügel und das Array der Ultraschallsensoren auf halber Fahrzeughöhe an der gesamten Seite des Fahrzeugs angebracht werden.

Optional kann auch ein Videosensor auch für die Spurerkennung nach vorne eingesetzt werden. Damit kann – wie bei einer Kamera nach hinten - sehr genau die Breite der Fahrbahn und der seitliche Versatz des Fahrzeugs zur Fahrzeugmitte bestimmt werden. Er kann damit dazu beitragen, die Spurwechselabsicht des Fahrers vorherzusagen.

4.2.11 Systemgrenzen

Ein Spurwechselassistent überwacht den seitlichen und rückwärtigen Bereich des Ego-Fahrzeugs. Der Fahrer des Ego-Fahrzeugs kann daher nur in den Fällen unterstützt werden, in denen sich die für den Spurwechsel relevante Objekte im Bereich der Sensorik befinden.

Um herannahende Fremdfahrzeuge mit einer hohen Differenzgeschwindigkeit rechtzeitig detektieren zu können, werden Sensoren mit einer hohen Sensorreichweite benötigt. Heute zur Verfügung stehende Sensoren für die Fahrzeugumfelderfassung haben üblicherweise eine maximale Reichweite von etwa 150 m. Mit einer solchen Reichweite können herannahende Fremdfahrzeuge mit einer Differenzgeschwindigkeit bis etwa 70 km/h rechtzeitig detektiert werden. Eine Unterstützung des Fahrers in allen Situationen kann daher mit der gegebenen Sensorreichweite nicht realisiert werden.

Es ist zudem zu beachten, dass sich Sensoren mit einer hohen Reichweite (z.B. 150 m) üblicherweise durch einen relativ kleinen Öffnungswinkel (z.B. 10°) auszeichnen. Für die Überwachung des seitlichen und rückwärtigen Bereichs müssen daher mehrere Sensoren mit in der Regel unterschiedlichen Charakteristiken eingesetzt werden. Der Fernbereichssensor deckt dabei üblicherweise einen Bereich in Längsrichtung hinter dem Fahrzeug ab. Der Bereich zur Seite bzw. schräg zur Seite wird von ihm nicht erfasst. In allen Situationen, in denen das Ego-Fahrzeug seitlich oder schräg zur relevanten Fahrspur steht (z.B. Baustelleneinfahrten), können mögliche relevante Objekte von der Fernbereichssensorik nicht erfasst werden. Abhängig von der Reichweite der hinteren seitlichen Sensorik verringert sich damit die maximale Differenzgeschwindigkeit, bis zu der ein Fremdfahrzeug rechtzeitig detektiert werden kann.

Die detaillierte Betrachtung findet sich in /3/.

5 MENSCH MASCHINE SCHNITTSTELLE

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) hat die Aufgabe, die Informationen bzw. Warnungen an den Fahrer weiterzugeben. Für eine Auslegung des Human-Machine-Interface gibt es dabei grundsätzlich 3 Möglichkeiten. Dies kann durch Weitergabe von visueller, akustischer oder haptischer Information geschehen.

Dabei ist es besonders wichtig, die Rückmeldungen an den Fahrer so zu gestalten, dass der Fahrer die Empfehlungen des Systems nachvollziehen kann. Es darf nicht zu Irritationen und zur Ablenkung des Fahrers vom eigentlichen Verkehrsgeschehen kommen oder dessen Überforderung mit der Handhabung des Spurwechsellassistenten führen. Die Unterstützung darf auch nicht so ausgelegt sein, dass der Fahrer eigene Verantwortung an das System abgibt und vernachlässigt, das Verkehrsgeschehen zu beobachten. Dies würde insbesondere zu Problemen führen, wenn der Fahrer auf ein Fahrzeug wechselt, das nicht mit einem Spurwechsellassistenten ausgestattet ist.

Die vorher genannten Bedingungen führen dazu, die folgenden 2 Konzepte zur Rückmeldung der Information an den Fahrer zu nutzen.

Ein mögliches Konzept besteht darin die Signale in den Seiten- und Innenspiegel zu integrieren. Dies kann durch mehrere Warnlampen geschehen. Der Fahrer vollzieht so den gewohnten Beobachtungsablauf, bekommt aber auch zusätzliche Informationen des Systems angezeigt. Hierbei können natürlich nur wenig Informationen weitergegeben werden. Deshalb sollte vor gefährlichen Situationen auch akustisch gewarnt werden.

Ein weiteres Konzept sieht vor, dass die Informationen so dargestellt werden, dass die Rückmeldung mit steigender Gefahr immer stärker wird (d.h. bei Leuchtdioden zum Beispiel durch schneller werdendes Blinken, bei einem Warnton durch ansteigende Lautstärke). Bei Situationen, die einen Spurwechselvorgang nicht erlauben, sollte der Fahrer, wenn er trotzdem die Absicht erkennen lässt, die Spur zu wechseln, durch eine haptische Lenkmomentmodulation davor gewarnt werden. Die Modulation der Lenkung muss natürlich jederzeit übersteuerbar sein.

Mit einem Konzept, bei dem die Seiten- und Rückspiegel durch Displays ersetzt werden, können die Informationen des Systems ebenfalls prägnant übermittelt werden. Wesentlich ist, dass die Darstellung der Information die Aufnahmefähigkeit des Fahrers nicht überfordert.

Wenn sich Fahrzeuge aus dem rückwärtigen Bereich nähern oder sich im Seitenbereich befinden, wird das Kamerabild auf dem entsprechenden Display eingeblendet. Hierbei können einzelne Fahrzeuge je nach Gefährlichkeit unterschiedlich farbig hervorgehoben oder durch Symbole markiert werden, genauso kann der Abstand oder die Geschwindigkeit zum Beispiel über eine Balkengraphik dargestellt werden.

Bei gefährlichen Situationen kann auch hier wieder ein akustisches Signal verwendet werden. Der Einsatz einer haptischen Modulation des Lenkwinkels kann einen Fahrer zusätzlich davor warnen, die Spur in einer gefährlichen Situation zu wechseln.

5.1 Optisches HMI

Das folgende optische HMI wurde bei BMW realisiert. Optische Anzeigen wurden in jeden Außenspiegel als 2 zweistufig gelb/rot schaltbare Leuchtanzeigen integriert, eine weitere zweistufige Leuchtanzeige wurde am Innenspiegel angebracht. Das Cockpit-Instrument des Fahrzeugs wurde durch eine computergesteuerte Projektion ersetzt und an unterschiedlichen Orten wurden programmierbare farbige Warnsymbole eingeblendet.



Bild 12 LED Balken im Außenspiegel [BMW]

In Form eines LED Balkens im Außenspiegel wird eine Gefährdung an den Fahrer übermittelt.

- LED Balken dunkel: Kein Objekt im Umfeldbereich
- LED Balken hell: Objekt im kritischen Bereich, Spurwechsel sollte zurückgestellt werden



Bild 13 Spurwechselfeile im frei programmierbaren Kombi-Display [Opel]

Die Größe und die Farbe des Spurwechselfeils signalisieren die Stärke der Gefährdung an den Fahrer:

- Großer grauer Spurwechselfeil: Kein Objekt im Umfeldbereich
- Mittelhoher gelber Spurwechselfeil: Ein Objekt im überwachten Bereich, Vorsicht beim Spurwechsel
- Kleiner roter Spurwechselfeil: Ein Objekt im kritischen Bereich, Spurwechsel sollte zurückgestellt werden



Bild 14 Farbige LED im LKW Außenspiegel [MAN]

Eine preisgünstige Lösung stellt die Verwendung farbiger LED's im Außenspiegel dar. Mit zwei LED's unterschiedlicher Farbe wird dem Fahrer das Ergebnis der Seitenraumüberwachung angezeigt (MAN):

- Keine LED leuchtet: Kein Verkehrsteilnehmer im kritischen Überwachungsbereich
- Gelbe LED leuchtet: Soeben war ein Verkehrsteilnehmer im kritischen Bereich erkannt worden
- Rote LED leuchtet: Ein möglicherweise kritischer Verkehrsteilnehmer wurde erkannt



Bild 15 LED Kette als Warndreieck [VW]

Alternativ ist im Spiegel auch die Darstellung einer roten LED Kette in Form eines Warndreiecks möglich (VW). Dies bedeutet für den Fahrer:

- Kette nicht sichtbar: Kein Objekt im kritischen Bereich
- Kette sichtbar: Ein Objekt im kritischen Bereich, Spurwechsel sollte zurückgestellt werden

5.2 Akustisches HMI



Bild 16 Akustische Warnung bei Gefahr im toten Winkel [VW]

Die akustische Information kann so gestaltet werden, dass sie vom Fahrer kaum überhört werden kann. Folgende Abstufungen sind machbar (VW):

- Deutlicher Ton: Ein Objekt im überwachten Bereich
- Lauter Ton: Objekt im kritischen Bereich
- Sehr lauter Ton: Gefahr im Verzug

Eine ähnliche Abstufung ist durch Einsatz einer maschinellen Sprachausgabe machbar.

Damit der Fahrer die akustische Warnung sofort intuitiv versteht, sollte das Warngeräusch geeignet gewählt werden. Für den Abbiegeassistenten wird deshalb bei MAN ein „Fahrradklingeln“ eingesetzt.

Bei BMW wurden akustische Anzeigen durch vier um das Simulatorfahrzeug angeordnete Lautsprecher genutzt, um computergeneriert unterschiedliche Warntöne programmierbarer Richtung und Stärke zu erzeugen und in den Auswirkungen auf das Fahrverhalten zu untersuchen.

5.3 Haptisches HMI

Eine haptische Rückmeldung an den Fahrer kann am Lenkrad oder am Blinkerhebel erfolgen. Die haptische Wirkung kann elektromechanisch oder elektrohydraulisch erzeugt werden.

Im BMW Fahrsimulator konnten mit einem in der Lenksäule angebrachten Stellmotor frei programmierbare Drehmomente auf das Lenkrad geschaltet werden. Damit konnten sowohl einseitige Drehmomente ("weg von der Gefahrenseite") wie auch Vibrationen erzeugt werden.

Des Weiteren wurde bei BMW ein aktiver Blinker entwickelt. Ein Vibrationsmotor wurde in den Stellhebel für den Fahrtrichtungsanzeiger integriert. Damit kann bei Blinkerbetätigung der Fahrer durch Vibrieren des Stellhebels vor gefährlichen Spurwechseln gewarnt werden.

Haptische Warnungen haben den Vorteil, dass sie den Fahrer direkt bei der Durchführung der kritischen Handlung erreichen, ohne dass die Mitfahrer durch die Warnungen behelligt werden.

Eine Einschätzung der unterschiedlichen Anzeigekonzepte durch Testpersonen findet sich im Kapitel Validierung.

6 KOMPONENTENTWICKLUNG

6.1 Umfelderkennung

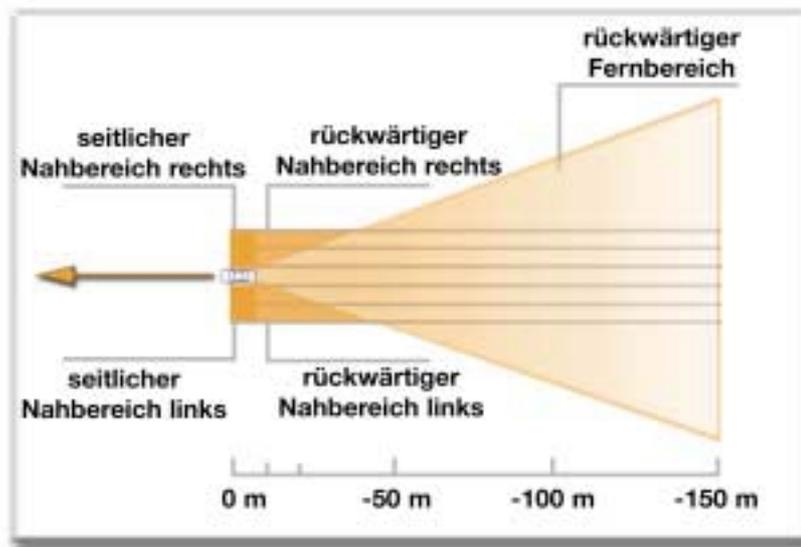


Bild 17 Überwachungsbereiche beim Spurwechsellasistenz

Für die oben dargestellten Überwachungsbereiche müssen Sensoren am Fahrzeug eingesetzt werden, die die Anforderungen der Systemdefinition aus dem vorigen Kapitel erfüllen.

In [7] ist eine Marktrecherche dokumentiert. Die verfügbaren Sensoren erfüllten nur teilweise die Anforderungen. Daher wurden die Sensoren gemeinsam mit der Zulieferindustrie weiter entwickelt und sind im folgenden dargestellt.

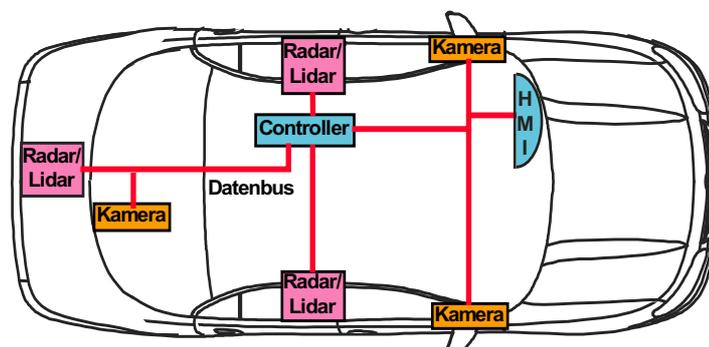


Bild 18 ASA-Komponenten im Fahrzeug

Bevor einzelne Komponenten vorgestellt werden, oben ein Bild mit einem Überblick zum Einbau von ASA-Komponenten am Fahrzeug. Ein einzelner Sensor kann nicht alle Anforderungen der ASA-Systemdefinition erfüllen, daher muss ein Verbund von Sensoren eingesetzt werden. Die einzelnen Sensoren werden über einen Datenbus mit der Verarbeitungseinheit, dem Controller, und der Mensch-Maschine-Schnittstelle, dem HMI, verbunden.

Die folgenden Sensoren und Technologien kamen zum Einsatz.

6.2 Laser

Abstände lassen sich über die Laufzeit von Lichtimpulsen messen. Hierbei wird als Lichtquelle ein Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) verwendet. Im Gegensatz zu den üblichen Lichtquellen sendet ein Laser kohärentes, polarisiertes, im sichtbaren Bereich oft monochromatisches Licht (meist ein Linienspektrum) aus, das ohne Zusatzgeräte stark gebündelt und von extrem hoher Strahlungsdichte ist.

Die seit etwa 1960 gebauten Laser kann man im Hinblick auf die als aktive Materialien verwendeten Stoffe im wesentlichen in vier Gruppen einteilen:

- a) Festkörper-Laser
- b) Gas-Laser
- c) Halbleiter-Laser
- d) Flüssigkeits- bzw. Farbstoff-Laser

Bei den in der Automobiltechnik verwendeten Laser handelt es sich um Halbleiter-Laser, die sich durch kleine Abmessungen und hohen Wirkungsgrad auszeichnen. Die Halbleiter-Laserdiode emittiert infrarote, für den Menschen nicht sichtbare Lichtpulse. Diese Pulse des Lasers werden in der Optik so geleitet, dass inkohärentes Licht emittiert wird, welches für das menschliche Auge unschädlich ist. Mit Hilfe einer aus Linsen bestehenden Optik wird dann die jeweils gewünschte Abstrahlcharakteristik erreicht.

Eine hohe laterale Auflösung sowie die Abdeckung eines weiten Erfassungsbereiches kann durch die Aneinanderreihung mehrerer Laserkanäle oder durch ein abtastendes System realisiert werden. Hierbei erfolgt durch eine Mechanik das kontinuierliche Ablenken des Laserstrahles über den gewünschten Bereich.

Abstandsmessungen eines Lidarsystems können momentan im Fernbereich bis ca. 150 m erfolgen. Im Nahbereich sind diese typischerweise ab 10 cm möglich. Der Abstand zu dem detektierten Objekt wird aus der Messung der Laufzeit, des ausgestrahlten und vom Objekt reflektierten Lichtstrahles beim Empfang, bestimmt. Die Geschwindigkeit des Objektes kann nicht direkt gemessen werden, sondern wird durch Differenzieren der Abstandswerte ermittelt.

Da die Reichweite eines Laser-Sensors mit der Reduzierung der visuellen Sichtweite ebenfalls abnimmt, besteht die Möglichkeit eine sichtweitenäquivalente Größe hieraus abzuleiten. Durch diese Abhängigkeit ist allerdings die Reichweite des Sensor bei sehr schlechten Witterungsbedingungen, wie zum Beispiel dichtem Nebel, starker Gischt oder starkem Schneefall, ebenso wie die Sichtweite des Menschen eingeschränkt.

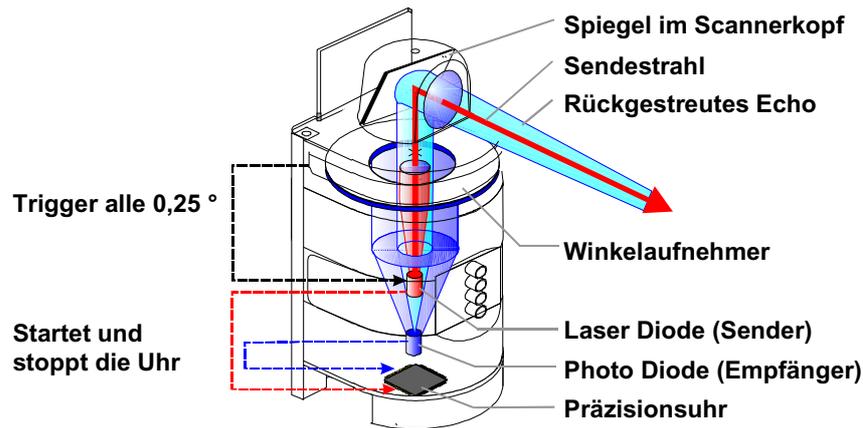


Bild 19 Messprinzip des Laserscanners

Beim scannenden Laser wird der Laserstrahl von einem rotierenden Spiegel in einer Scanebene abgelenkt. Licht, das von Objekten in dieser Ebene zurückgestrahlt wird, wird durch eine Linsenoptik auf eine Photodiode gelenkt und dort detektiert. Der scannende Laser kann Winkel und Entfernung von Objekten in der Scanebene direkt messen.



Bild 20 Laserscanner der ersten Generation [MAN]



Bild 21 Laserscanner der zweiten Generation [VW]



Bild 22 Mehrstrahliger Laser [Opel]

6.3 Radar

Der Begriff RADAR (Radio Detection And Ranging) beinhaltet grundsätzlich Methoden zur Entdeckung von Objekten und zur Bestimmung ihrer Parameter (Lage, Bewegungszustand, Beschaffenheit) mit Hilfe elektromagnetischer Wellen. Bei einem Radarsystem strahlt eine Antenne die von einem Sender erzeugte elektromagnetische Energie gebündelt in den Raum ab. Trifft das abgestrahlte Feld auf ein Objekt, wird ein geringer Teil der Energie zum Radar reflektiert und bildet das Streufeld, das von der Empfangsantenne erfasst wird. Nach entsprechender Verstärkung können aus dem Empfangsfeld die Objektparameter ermittelt werden.

Beim Radar existieren eine Vielzahl von Messverfahren (Dauerstrichradar, nichtkohärentes Pulsradar, kohärentes Pulsradar, etc.) und unterschiedlicher Antennenkonzepte (Planare Antenne, Linsen-Antenne, Reflektor-Antenne, Mehrstrahl-Antenne, etc.), die an dieser Stelle aber nicht weiter erläutert werden sollen. Für weitere Ausführungen wird auf die einschlägige Literatur der Hochfrequenz- und Radartechnik verwiesen.

Entwicklungen für Radarsensoren für die Fahrzeugumfelderfassung konzentrieren sich heutzutage auf die Frequenzbereiche 24 GHz sowie 76 bis 77 GHz (mm-Wellen Radar). Das 77 GHz-Band ist das einzige, das übergreifend in den wichtigsten Automobilmärkten USA, Europäische Union und seit 1997 auch in Japan für den Einsatz von automobilem Radar zugelassen ist. Weiteren zulassungsfähigen Bändern in den USA (49 GHz, 94 GHz) und in Japan (60 GHz) wird praktisch keine Bedeutung zugemessen.

Das Reflexionsverhalten eines Objekts (auch: Radarrückstrahlfläche) kann allgemein durch die Reflexionsfläche und die elektrische Eigenschaft des Objektes beschrieben werden. Die Rückstrahlfläche wächst mit steigender Dielektrizitätszahl des Objektes und ist für leitende Objekte am größten. Besonders gut werden daher metallische Gegenstände detektiert. Dies können Fahrzeuge und Leitplanken, aber auch eine Getränkedose auf der Fahrbahn sein. Kleinere Motorräder, Mopeds und Fahrrädern sind in der Regel schwieriger zu detektieren. Die maximale Entfernung, ab der sie erkannt werden, ist daher in der Regel geringer als bei gut reflektierenden Objekten. Bäume können ebenso wie Menschen wegen des Wasseranteils prinzipiell detektiert werden, dies aber nur in vergleichsweise sehr geringem Abstand zum Radarsensor. Problematisch ist ferner die Detektion von Objekten, deren Flächen schräg zum Radar-Strahl stehen. Auf die Straße gemalte Fahrbahnmarkierungen, Grasnarben, Bordsteine etc. können von einem Radarsystem nicht erkannt werden. Auch ist eine Klassifikation der Objekte nach Größe oder Form nicht möglich.

Besonders hervorzuheben bei der mm-Wellen-Technik ist die direkte Bestimmung der Relativgeschwindigkeit über die Nutzung der Doppler-Verschiebung. Während bei Lidar- und Videosensoren die Relativgeschwindigkeit über eine Differenzierung der Abstandsmessung berechnet werden muss, kann bei der mm-Wellen-Technik die Relativgeschwindigkeit sehr genau über die Doppler-Verschiebung gemessen und dadurch eine hohe Trennfähigkeit der Objekte erreicht werden.

Die im Vergleich zu Lidar-Sensoren ($\lambda = 800 \text{ nm}$) große Wellenlänge bei mm-Wellen Radar, die Voraussetzung für die Messung der Doppler-Verschiebung ist, bringt jedoch Beschränkungen hinsichtlich der lateralen Trennschärfe mit sich. Durch Vergrößerung des Sensors können prinzipiell sowohl die laterale Trennschärfe als auch die Reichweite des Sensors erhöht werden, wobei allerdings zu beachten ist, dass der Sensor aus Design-Gründen eine bestimmte Größe nicht übersteigen darf.

Verglichen mit einem Lidar-Sensor besitzt ein mm-Wellen-Radar eine geringere Abstandsabhängigkeit. Zwar gilt für beide Sensoren, dass die empfangene Leistung proportional zu d^{-4} abfällt. Beim Lidar-Sensor bedeutet dies aber auch, dass der Photostrom und damit die elektrische Amplitude in gleicher Weise mit d^{-4} abfällt. Bei doppeltem Abstand steht daher nur noch $1/16$ der Signalamplitude zur Verfügung, beim mm-Wellen-Radar jedoch $1/4$.

Eine besondere Eigenschaft bei einer aktiven Sensorik wie z.B. Radar ist die Mehrwegeausbreitung. Damit können Objekte detektiert werden, die durch andere Gegenstände verdeckt werden (z.B. das Fahrzeug vor dem vorausfahrenden Fahrzeug). Andererseits können die Interferenzen zwischen dem direkt und indirekt (z.B. Reflexion an Straßenoberfläche) reflektierten Signal zu Fehlmessungen führen.



Bild 23 77 GHz Radar-Sensor [Bosch]



Bild 24 24 GHz Radar-Sensor [Bosch]

Im Vergleich zu optischen Systemen besitzt Radar eine hohe Robustheit gegen schlechtes Wetter. Normaler Regen und Nebel dämpfen die Ausbreitung der mm-Wellen nur gering. In der Praxis stärker einschränkend ist eine Wasserschicht auf dem Sensor. Wegen der großen Dielektrizität von Wasser kann eine Wasserschicht von etwa 1 mm Dicke zu stark veränderten Ausbreitungsverhältnissen bis hin zu starken Reichweiteeinbußen führen. Der Vermeidung einer solchen Wasserschicht muss bei der Wahl des Einbauortes und der Sensorgeometrie in besonderem Maße Rechnung getragen werden. Schmutz dagegen ist für den Radar-Sensor weitgehend unkritisch, solange er nicht zuviel Wasser enthält.

6.4 Video

Prinzipiell besteht ein Bildverarbeitungssystem aus einem Bildaufnahmesystem (z.B. einer Kamera), einem Bildspeicher (Framegrabber), der die elektrischen Signale (normalerweise eines analogen Videosignals) vom Bildaufnahmesystem in ein digitales Bild umwandelt und dieses in den Hauptspeicher des Auswerterechners transferiert, einem solchen Auswerterechner und einer entsprechenden Bildverarbeitungssoftware zur Analyse der digitalen Bilder. Ein Bildverarbeitungssystem im Fahrzeug benötigt ferner eine Schnittstelle (z.B. CAN), über die Daten (z.B. Geschwindigkeit für die Bildauswertung) empfangen bzw. gesendet (z.B. Ergebnis der Fahrspurerkennung, Objektdetektion, etc.) werden.

Die am weitesten verbreiteten Halbleiter-Bildsensoren, die in Kameras eingesetzt werden, sind die sogenannten Charge Coupled Devices oder CCDs. Solch ein Sensor besteht aus einer großen Zahl photosensitiver Elemente und hat typischerweise eine Matrix von 756 x 582 (Europäische Norm CCIR) Photoelementen. Je nach Größe des Chips liegt die Größe der Sensorelemente zwischen $6,5 \mu\text{m} \times 6 \mu\text{m}$ und $11 \mu\text{m} \times 13 \mu\text{m}$. Während der Akkumulationsphase sammelt jedes Sensorelement elektrische Ladungen, die von absorbierten Photonen erzeugt werden. Damit ist die erzeugte Ladung der Beleuchtung proportional. In der Auslesephase werden diese Ladungen in elektrische Spannungen umgewandelt, die wiederum von einem Framegrabber in ein digitales Bild mit einer Auflösung von typischerweise 8 bis 10 Bit umgewandelt werden. Idealerweise übernimmt der Framegrabber auch grundlegende Bildverarbeitungsoperationen (z.B. einfache Filteroperationen), um den Prozessor des Auswerterechners zu entlasten. Schließlich transferiert der Framegrabber die digitalen Bilder in den Hauptspeicher des Auswerterechners.

In Bildverarbeitungssystemen für das Fahrzeug werden sowohl monochrome als auch Farbkameras eingesetzt. Farbbilder können die Auswertung einer Szene erheblich erleichtern (z.B. gelbe Fahrspurmarkierungen bei Baustellen, Detektion des roten Randes von Verkehrsschildern). Auf der anderen Seite haben Farbkameras in der Regel eine geringere Auflösung, eine geringere Dunkelempfindlichkeit und sind teurer als monochrome Kameras, was bei der Realisierung von kostengünstigen Bildverarbeitungssystemen berücksichtigt werden muss.

Während bei Ultraschall, Lidar oder Radar elektromagnetische Wellen ausgestrahlt und deren reflektierter Anteil interpretiert wird, wird bei einem Bildverarbeitungssystem allein die Beleuchtung der von dem Sensor erfassten Umgebung ausgewertet. Es handelt sich bei einem Bildverarbeitungssystem im Fahrzeug also in der Regel um eine passive Sensorik. Dies hat u.a. den Vorteil, dass Öffnungswinkel und Reichweite der Sensorik allein durch Verändern der Brennweite des Objektivs geändert und so preisgünstig und komfortabel der jeweiligen Anwendung angepasst werden können.

Auf der anderen Seite erfordert die Komplexität der Auswertung der digitalen Bilder Prozessoren mit hohen Rechenleistungen. Obwohl in den letzten Jahren in der Mikroprozessortechnik ein enormer Fortschritt vollzogen worden ist und heutzutage Standard-Prozessoren in der Echtzeitbildverarbeitung für die Fahrzeugumfelderfassung zum Einsatz kommen, ist die Rechenleistung der Prozessoren weiterhin ein limitierender Faktor.

Objekte und Konturen können um so zuverlässiger detektiert werden, je besser sie sich und ihre Kanten von der unmittelbaren Umgebung abheben. Bei der Auswertung von Farbbildern wird dazu die Information der Farben und ihrer Intensität genutzt, bei Graubildern lediglich die des Grauwerts. Bei "normalen" Beleuchtungsbedingungen können z.B. Fahrspurbegrenzungsmarkierungen sehr gut detektiert werden, aber auch andere Übergänge wie Straße zu Bordstein oder Straße zu Grasnarbe. Falls eine solche Fahrspur gefunden worden ist, können auch die Fahrspurweite, der laterale Versatz des Fahrzeugs zur Fahrbahnmitte, der Winkel zwischen Längsachse des Autos und Fahrspurbegrenzung und andere Parameter sehr genau bestimmt werden. Ebenfalls können die Begrenzungen klassifiziert werden (z.B. "durchgezogene Fahrspurbegrenzung", "unterbrochene Fahrspurbegrenzung"). Aussagen zur Situation (Durchgezogene Fahrspurbegrenzung: Überholen nicht zulässig; monoton steigender lateraler Versatz: Fahrzeug wird mit hoher Wahrscheinlichkeit überholen) sind dadurch möglich. Je nach Komplexität der Fahrspurerkennung sind Wiederholraten von 25 Hz (< 40 ms) auf einem Standard-PC (Pentium 200 MHz) möglich.

Auch Objekte wie PKW's, NKW's, Motorräder, Fahrräder und Personen können bei "normalen" Beleuchtungsbedingungen in der Regel gut detektiert und zudem ihre Ortskoordinaten bestimmt werden. Es ist aber zu beachten, daß Objekte wie auch Fahrspurbegrenzungsmarkierungen um so kleiner im Bild abgebildet werden, je größer ihre Entfernung zur Kamera ist. Die Zuverlässigkeit der gefundenen Objekte und Konturen sowie die Genauigkeit der bestimmten Ortskoordinaten nimmt daher mit der Entfernung ab. Eine Grobklassifikation der Objekte nach Größe und Form ist grundsätzlich möglich. Es ist aber zu beachten, dass z.B. eine Person von einer stehenden Tonne nicht ohne weiteres unterschieden werden kann. Eine Mustererkennung, wie sie der Mensch auszuführen imstande ist, ist beim heutigen Stand der Technik nicht möglich. Je nach Komplexität der Objekterkennung für die Fahrzeugumfelderfassung sind Wiederholraten größer 10 Hz (< 100 ms) auf einem Standard-PC (Pentium 200 MHz) möglich.

Die Relativgeschwindigkeit von Objekten muss bei der Bildverarbeitung über eine Differenzierung der Abstandsmessung erfolgen und kann deshalb, verglichen mit Radar, in der Regel nur mit geringerer Genauigkeit bestimmt werden. Die Genauigkeit nimmt zudem mit der Entfernung stark ab.

In welchem Maße eine 3D-Szene im Bild aufgelöst wird, hängt von der Auflösung des Sensor-Chips und der verwendeten Optik ab. Typische Seitenverhältnisse von Sensor-Chips sind $x : y = 1 : 1$ bis $2 : 1$. Die Reichweite und Genauigkeit eines Video-Sensors kann zudem erhöht werden, wenn die Kamera möglichst hoch im Fahrzeug angebracht wird.

Handelsübliche CCD-Kameras liefern bei extremen Bedingungen wie Blendung durch Gegenlicht und Spiegelungen, bei starker Sonneneinstrahlung und gleichzeitigem Schattenwurf sowie Tunnellein- und Ausfahrten aufgrund des geringen Dynamikumfangs nur unzureichendes Bildmaterial, das für eine Auswertung oft keine zuverlässigen Informationen mehr beinhaltet. Eine alltagstaugliche Sensorik muss sich deshalb durch einen hohen Dynamikumfang auszeichnen, die um einige Größenordnungen oberhalb des Dynamikumfangs von CCD-Kameras liegt.

Ein Bildverarbeitungssystem kann keine zuverlässigen Informationen mehr liefern, wenn keine Konturen mehr sichtbar sind (z.B. Fahrspurbegrenzungen unter einer Schneedecke oder bei sehr starkem Regen). Auch wird die Reichweite eines Bildverarbeitungs-Systems durch Nebel, Regen oder Schnee eingeschränkt. Andererseits kann diese Charakteristik auch zur Bestimmung der Sichtweite genutzt werden. So können z.B. sicherheitskritische Anwendungen (z.B. "Blindflug bei ACC") mit dieser Information abgeschaltet werden. Weiterhin können Schmutz auf dem Objektiv sowie Schmutz, Reflexionen und Eis auf der Autoscheibe das Bildmaterial stark beeinflussen. Für diese Fälle sind deshalb besondere Vorkehrungen zu treffen.



Bild 25 Videosensor [Bosch]



Bild 26 Videokamera in der Windschutzscheibe [VW]

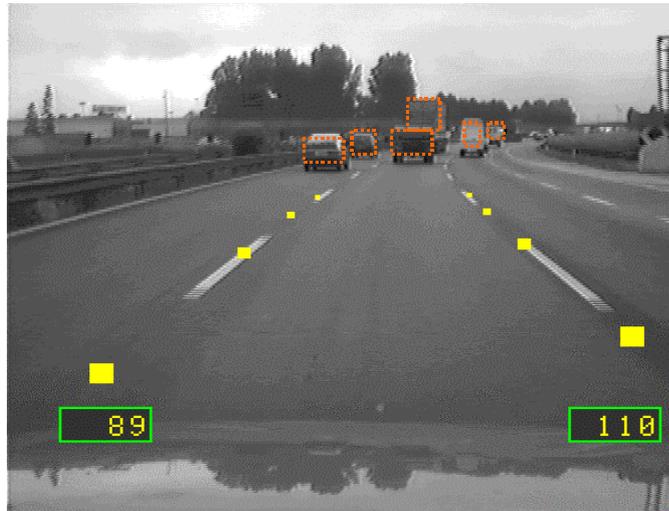


Bild 27 Signal einer Videokamera mit überlagelter Fahrspur- und Objekterkennung [VW]

7 ALGORITHMEN

7.1 Sensorfusion

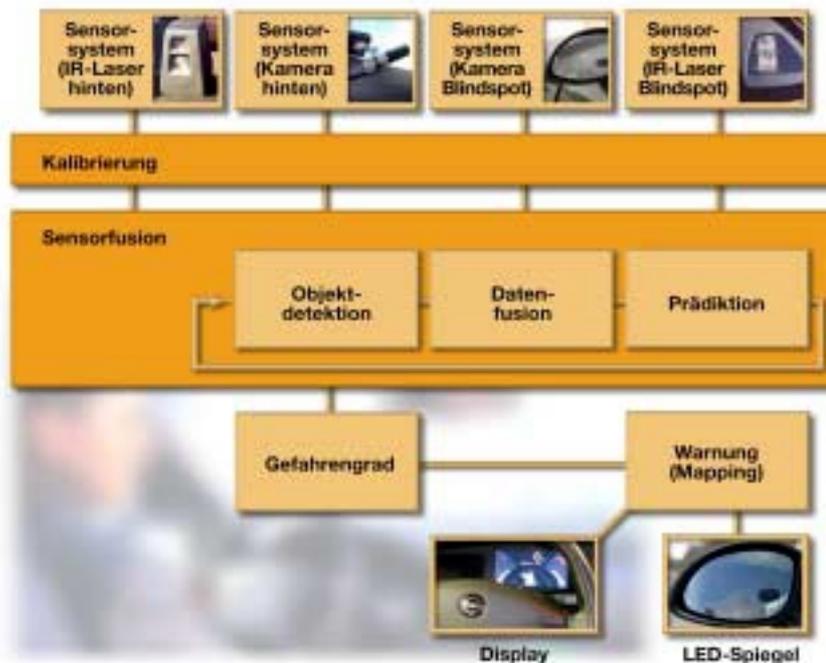


Bild 28 Sensorfusion

Jeder einzelne Sensor ist typischer Weise über eine schnelle Datenverbindung mit einer Datenvorverarbeitung ausgestattet. Die Datenvorverarbeitung besteht aus einem automobiltauglichen Prozessor, dessen Algorithmen speziell auf den angebotenen Sensor ausgelegt sind. Am Ende der Datenvorverarbeitung steht eine Liste von Objekten, die der Sensor aktuell detektiert, mit den zugehörigen Attributen (incl. Gütemaß). Die Auswahl der relevanten Objekte soll nicht von der Datenvorverarbeitung, sondern vom übergeordneten System, im obigen Bild Sensorfusion genannt, vorgenommen werden.

Die Sensorfusion wird ebenfalls auf einem automobiltauglichen Prozessor durchgeführt und besteht in Algorithmen zur Verknüpfung von Sensor-Rohdaten und der Objektlisten aller Sensoren und der Fahrzeugsignale inklusive der Fahrerbeobachtung. Aus den relevanten Objekten wird – getrennt für jede Fahrspur – das mit der geringsten Entfernung und das, welches die höchste Verzögerung aufbringen müsste, um eine Kollision zu vermeiden, ermittelt.

Die so ermittelten Objekte der einzelnen Sensoren werden verglichen. Für jede Fahrspur wird so das Objekt mit der kritischsten Entfernung und das mit der kritischsten notwendigen Verzögerung ermittelt.

Am Ende der Sensorfusion steht die Beurteilung des aktuellen Gefahrengrades und die weitere Bearbeitung durch die Algorithmen zur Ansteuerung der Mensch-Maschine-Schnittstelle in der Warnstrategie.

7.1.1 Die Notwendigkeit zur Sensorfusion

Es ist zur Zeit kein Sensor auf dem Markt, der die vollständige Verkehrssituation allein erfassen kann. Aufgrund der Baugröße der Sensoren, ist es auch nicht möglich alle am selben Einbauort zu integrieren bzw. befestigen. Bedingt durch den Einbauort wird der Sensor durch Verdeckung von z.B. Glas- und Metallteilen in seinem Erfassungsbereich begrenzt. Die Einbauorte müssen so gewählt werden, dass alle Sensoren zusammen das geforderte Umfeld abtasten. Einzelne Abtastbereiche der Sensoren müssen sich überschneiden, damit die für sicherheitskritische Systeme notwendige Redundanz erreicht wird und es keine unerfassten Bereiche gibt.

Deshalb müssen für moderne Sicherheits- und Komfortsysteme in Zukunft unterschiedliche Sensoren an den verschiedensten Einbauorten im Fahrzeug integriert werden. Jeder dieser Sensoren bezieht alle seine gemessenen Daten auf sein eigenes Koordinatensystem. Um ein Gesamtbild aus diesen Daten zu gewinnen, müssen diese fusioniert werden.

Definition: Sensorfusion

Sensorfusion ist ein Zusammenführen von Messdaten, die von verschiedenen Sensoren stammen. Dabei werden diese Daten so transformiert, dass sie sich auf ein gemeinsames Koordinatensystem beziehen und eine gemeinsame Objektbeschreibung verwenden.

7.1.2 Übermittelte Daten

Für den Spurwechsel- und Abbiegeassistenten ist es notwendig, Sensoren zu verwenden, die sowohl Nahfeld- als auch Fernfeldeigenschaften besitzen.

Nahfeldsensor:

- hohes Auflösungsvermögen (Winkel und Distanz)
- hohe Objekttrennfähigkeit

Fernfeldsensor:

- hohes Auflösungsvermögen bezogen auf Distanzmessung
- geringe Objekttrennfähigkeit

Die Sensoren müssen den gesamten Verkehr überwachen. Es müssen über die im Erfassungsbereich des Sensors befindlichen Objekte folgende Daten ermittelt werden:

- Abstand vom Sensor zum Objekt
- Winkel zwischen Sensor und Objekt
- Relativgeschwindigkeit des Objektes

Diese Daten können in beliebigen Koordinatensystemen gemessen werden. Die Sensoren messen meistens in kartesischen und/oder Polarkoordinaten.

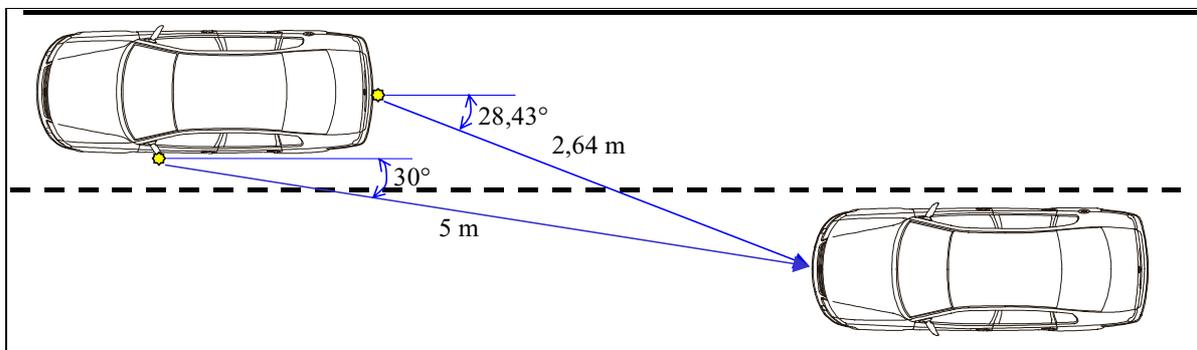


Bild 29 Vermessung eines Fahrzeuges mit zwei Sensoren an verschiedenen Einbauorten

Jeder Sensor bezieht die von ihm gemessenen Daten auf sein eigenes Koordinatensystem. Im Ursprung des Koordinatensystems liegt der Sensor. Aufgrund der verschiedenen Einbauorte wird ein und dasselbe Objekt von den verschiedenen Sensoren in Bezug auf Abstand, Relativlage und Geschwindigkeit unterschiedlich vermessen. Dies ist an einem typischen Beispiel im obigen Bild dargestellt. Ein Sensor liefert typischer Weise für ein Objekt die folgenden Informationen:

- Messzeitpunkt (gemessen ab dem Einschalten des Sensors);
- Objektnummer (nach oben gestaffelt, beginnend mit dem Objekt des kürzesten Objektabstandes);
- Trackingnummer (Objektnummer im Zyklus zuvor);
- Zyklusnummer (jedes Objekt wird mit allen Messdaten einzeln ausgegeben, nachdem alle Objekte ausgegeben wurden, wird dieser inkrementiert);
- Abstand linkes und rechtes Objektende sowie den kürzesten Objektabstand;
- Winkel linkes und rechtes Objektende sowie den Winkel für den kürzesten Objektabstand;
- Winkel- und Radialgeschwindigkeit des Objekts.

7.1.3 Messung der Geschwindigkeit

Am Pkw können Sensoren in einem maximalen Abstand von 2 m montiert bzw. integriert werden. Aufgrund der verschiedenen Einbauorte wird ein und dasselbe Objekt mit unterschiedlichen Ergebnissen vermessen. Dies ist anhand einer Abstandsmessung einfach nachzuvollziehen. Aufgrund dieses Sachverhaltes ist ein Abstandsoffset zwischen den Sensoren gegeben. Der Abstandsmesswert wird also sensorabhängig variieren. Das ist nicht auf eine Geschwindigkeitsmessung übertragbar, denn in weiten Bereichen ist das Ergebnis der Geschwindigkeitsmessung unabhängig vom Einbauort. Die verwendeten Sensoren messen Radial- und Winkelgeschwindigkeiten.

7.1.4 Messung der Winkelgeschwindigkeit

Ein aus großer Entfernung sich annäherndes Fahrzeug erzeugt durch seine Vorwärtsbewegung zunächst eine geringe Winkeländerung in bezug auf den Sensor. Daher ist die Winkelgeschwindigkeit bei großen Entfernungen nahezu Null. Mit der Annäherung nimmt die Winkelgeschwindigkeit zu. Ihr Maximum erreicht die Winkelgeschwindigkeit in Höhe des Sensors, denn genau in diesem Bereich hat die Winkeländerung pro Zeiteinheit ihr Maximum.

Trägt man den Graphen für die Winkelgeschwindigkeit über der Zeit auf, so ist das Maximum der Funktion gut zu sehen (siehe folgendes Bild).

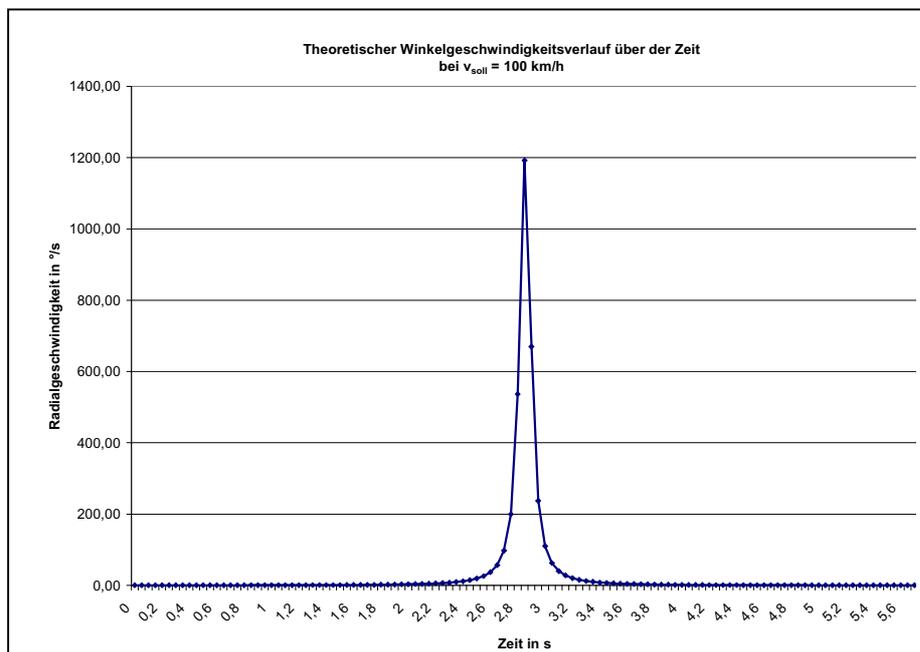


Bild 30 Zeitlicher Verlauf der Winkelgeschwindigkeit bei einem Überholvorgang

7.1.5 Fusionierung mittels Abstandszuordnung

Die verwendeten Sensoren, haben eine hohe Genauigkeit in bezug auf Entfernungsmessung und Winkelmessung. Die Messgenauigkeit jedes Sensors ist aufgrund seiner Quantisierung und der Auflösungsfähigkeit begrenzt. Bei der Fusionierung müssen diese Messungenauigkeiten durch einen geeigneten Toleranzbereich berücksichtigt werden.

Zum Fusionieren werden die Objektdaten, die in ein gemeinsames Koordinatensystem transformiert worden sind, miteinander verglichen (Abstand und Winkel). Sind Abszissen- und Ordinatenwert gleich bzw. im Toleranzbereich, so handelt es sich um dasselbe Objekt. Ist das Objekt außerhalb dieses Toleranzbereiches, so handelt es sich um ein anderes Objekt.

7.1.6 Fusionierung mittels gemessener Geschwindigkeiten

Theoretisch ist auch die Fusionierung von Sensordaten über gemessene Geschwindigkeiten möglich. Aber leider ist diese Art von Fusion an Randbedingungen geknüpft, die zur Zeit von den Sensoren nicht erreichbar sind. Die derzeit nicht erreichbare Randbedingung lautet, dass die Sensoren Entfernung, Relativwinkel, Winkel- und Radialgeschwindigkeit mit einem Fehler $< 0,1\%$ messen können.

7.2 Warnstrategie

Unter dem Begriff Warnstrategie wird die situationsadäquate Ansteuerung der Mensch-Maschine-Schnittstelle zusammengefasst.

Bei jedem ASA-Partner wurden verschiedene Realisierungen der Mensch-Maschine-Schnittstelle untersucht. Angepasst an die Realisierungen wurden die Warnstrategien realisiert.

Modulare Algorithmen zur Situationsbewertung und Warnstrategie wurden mit applikationsunabhängiger Schnittstelle entwickelt. Sie konnten daher sowohl innerhalb von Rechnersimulationen wie auch im BMW Fahrsimulator bewertet und verbessert werden und sind auch für den Einsatz im Realfahrzeug verfügbar. Bewertung und Warnstrategie können im Fahrsimulator über eine graphische Oberfläche parametrisiert werden.

Es folgen zwei erläuternde Beispiele einer abgestuften Warnstrategie.

7.2.1 Zweistufige Warnstrategie mit farbigen LEDs

1. Liegen die Werte für Entfernung oder notwendiger Verzögerung außerhalb der in der Systemdefinition definierten Grenzwerte, so wird die Situation als kritisch eingeschätzt. Dann wird eine optische Warnung über eine orange LED generiert.
2. Zeigt der Fahrer durch Betätigung des Blinkers einen Spurwechsel an und liegen die Werte außerhalb der Grenzwerte, wird eine optische Warnung über eine rote LED generiert.

7.2.2 Dreistufige Warnstrategie mit farbigen LEDs und Warntönen

1. Liegen die Werte für Entfernung oder notwendiger Verzögerung außerhalb definierter Grenzwerte, wird eine optische Warnung generiert.
2. Zeigt der Fahrer durch Betätigung des Blinkers einen Spurwechsel an und liegen die Werte ober-, bzw. unterhalb der Grenzwerte, wird zusätzlich zur optischen die akustische Warnung „Stufe I“ generiert.
3. Wechselt der Fahrer die Spur (Ergebnis der Spurerkennung) und liegen die Werte ober-, bzw. unterhalb der Grenzwerte, wird zusätzlich zur optischen die akustische Warnung „Stufe II“ generiert.

Die Berechnungen werden für die linke, die rechte und die eigene Fahrspur durchgeführt. Die Warnungen werden den linken bzw. rechten HMI-Komponenten zugeordnet. Warnungen für die eigene Fahrspur sind beiden Seiten zugeordnet. Akustische Warnungen werden für den Spurwechsellassistenten nur oberhalb einer minimalen Eigengeschwindigkeit und für den Abbiegeassistenten nur unterhalb einer max. Geschwindigkeit generiert.

Die den Warnungen entsprechenden HMI-Elemente (LED-Symbole in den Spiegeln, Summer) werden angesteuert wenn:

1. Das System aktiviert ist.
2. Das System sich nicht im Fehlerzustand befindet.
3. Der Rückwärtsgang nicht eingelegt ist.

Insbesondere im Fahrsimulator sind verschiedene abgestufte Warnstrategien untersucht worden.

8 SYSTEMREALISIERUNG

Bei allen ASA-Partnern wurde ein Fahrzeugprototyp mit einem ASA-System aufgebaut.

Bei BMW wurde zusätzlich ein Fahrsimulator mit einem ASA-System ausgerüstet.

8.1 Fahrzeugprototypen

8.1.1 Opel



Bild 31 ASA-Prototyp bei Opel

Zur Realisierung des Spurwechsellassistenten wurde ein Vectra-Versuchsfahrzeug mit einer Vielzahl von Systemkomponenten ausgerüstet, um Aussagen über das Systemverhalten unter realen Verkehrsbedingungen erlangen zu können.

Die Ausrüstung des Versuchsfahrzeuges umfasst die Integration von 5 Sensoren zur Erfassung des seitlichen und rückwärtigen Fahrzeugumfeldes. Im Einzelnen wurde ein Lidarsystem im Bereich des Heckfensters eingebaut und ein Lidarsystem hinter dem seitlichen, linken Dreiecksfenster angebracht.

Für die Objektdetektion im rückwärtigen Bereich sind 2 Kameras im oberen Bereich des Heckfenster installiert worden. Für das Spurfindersystem wurde eine Kamera hinter der Windschutzscheibe eingebaut. Eine weitere Kamera wurde in den linken Außenspiegel integriert.

Die Mensch-Maschine Schnittstelle ist in zwei Versionen in dem Versuchsfahrzeug realisiert worden. Die erste Variante ist die Integration einer LED-Zeile in das Spiegelglas eines Außenspiegels. Als zweite Lösung wurde die komplette Instrumententafel des Fahrzeuges gegen ein Cockpit mit drei LCD-Displays ausgetauscht.

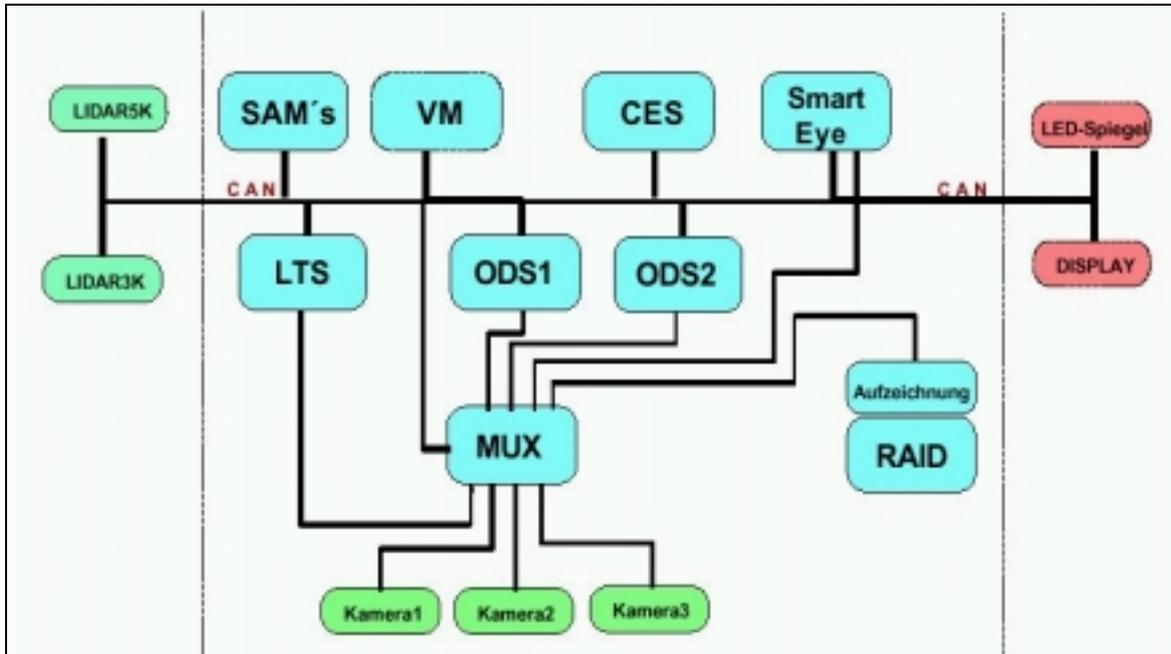


Bild 32 Fahrzeugausrüstung bei Opel

Die Anbindung aller elektrischen Signale an das Cockpit erfolgt über ein spezielles Sensor Adapter Modul (SAM). Für die Umsetzung weiterer benötigter Sensorsignale und Fahrdynamikdaten des Fahrzeuges sind ebenfalls Sensor Adapter Module eingesetzt worden.

Die Kommunikation aller Sensorsysteme, HMI-Einheiten, SAM-Bausteine und aller anderen benötigten Systeme erfolgt über einen im Fahrzeug verlegten CAN-Bus.

Die Algorithmen des Spurwechsellasistenten sind auf einem zentralen Rechner (CES) implementiert worden.

Für die Realisierung der Spurwechselfunktion war es notwendig ein eigenes Entwicklungssystem zu erstellen. Dieses ermöglicht Teilfunktionalitäten flexibel zu überprüfen und Fahrzeug- bzw. Sensordaten digital aufzuzeichnen (RAID). Es besteht aus einem Videomanager (VM), der die Bildverarbeitungssysteme konfiguriert und die Darstellung und Aufzeichnung der Sensor- und Fahrzeugdaten steuert. Über einen Multiplexer (MUX) werden die Kameras den BV-Einheiten frei zugeordnet. Als Visualisierungseinheit für die im ASA-System ermittelten Ergebnisse aus Spur- und Hinderniserkennung wurde eine spezielle Hardware (SmartEye) entwickelt. Dadurch werden die Bildverarbeitungssysteme von dieser Aufgabe entlastet.

8.1.2 MAN



Bild 33 ASA-Prototyp bei MAN

Zur Erprobung des Abbiegeassistenten wurde als Versuchsträger eine Sattelzugmaschine verwendet, um das System auch zusammen mit einem Auflieger testen zu können. Der rechte Seitenraum wird dazu mit einem Laserscanner erfasst, der verdeckt hinter dem Fahrerhaus angebracht ist. Werden kritische Verkehrsteilnehmer neben dem Fahrzeug erfasst, so erfolgt eine optische Warnung im Außenspiegel. Bei gesetztem Blinker wird der Fahrer zusätzlich akustisch gewarnt in Form eines Fahrradklingelns aus dem rechten Radiolautsprecher im Fahrerhaus. Zur Beurteilung des Systems wird eine zusätzliche Kamera, die am Dach des Fahrerhauses montiert ist, verwendet. In dieses Bild werden die Sensor- und Systemdaten eingeblendet, um das System einfach beurteilen zu können.



Bild 34: Laser-Sensor bei MAN

8.1.3 BMW



Bild 35 ASA-Prototyp bei BMW

Ein Versuchsfahrzeug wurde mit Kamera- und Radarsensorik nach vorn und hinten ausgerüstet und in Betrieb genommen. Das Fahrzeug ist mit 2 77 GHz Radarsensoren für die Überwachung des vorderen und hinteren Fernbereichs und 4 Videosensoren für die Überwachung des Mittelbereichs und die Spurzuordnung der erfassten Fahrzeuge ausgerüstet. Die Fahrerschnittstelle ist über einen Leuchtdiodenbalken im linken Außenspiegel sowie eine Vibrationswarnung im „aktiven Blinkerhebel“ realisiert, zusätzlich können akustische Warnungen aus den hinteren Türlautsprechern ausgegeben werden. Zur Visualisierung der Verarbeitungsalgorithmen dient ein auf der Mittelkonsole montierter LCD-Bildschirm

Das Fahrzeug ermöglichte die Portierung und Erprobung des im Simulator entwickelten Spurwechsel-Assistenten.

8.1.4 Bosch



Bild 36 ASA-Prototyp bei Bosch

Für die Überwachung des seitlichen und rückwärtigen Bereichs wurden von der Robert Bosch GmbH folgende Sensoren eingesetzt:

- 2 24 GHz-Radarsensoren für die Überwachung des seitlichen Nahbereichs
- 1 77 GHz-Radarsensor für die Überwachung des hinteren Fernbereichs
- 1 Videosensor für die Überwachung des hinteren Nahbereichs

Die Sensoren liefern Listen mit Daten (z.B. Abstand, Relativgeschwindigkeit) von detektierten Objekten. Die Objektlisten sowie weitere Sensordaten des eigenen Fahrzeugs (Fahrzeuggeschwindigkeit, Blinkerstatus, Lenkwinkel, etc.) werden auf dem CAN-Bus abgelegt. Vom übergeordneten System werden diese Daten eingelesen, fusioniert und schließlich berechnet, ob der Fahrer vor einem Spurwechsel gewarnt werden muss.

Für Entwicklungszwecke sind zusätzliche Videokameras zur reinen Bilddarstellung im Außenspiegel und an der Heckscheibe installiert.

Im Innenraum ist ein LCD-Bildschirm zur detaillierten Beurteilung der Algorithmen sowie ein weiterer Bildschirm installiert, auf dem die Systemzustände des ASA-System angezeigt werden. Zusätzlich ist am linken Außenspiegel eine Leuchtdiode zur Warnung des Fahrers installiert. Auch können bei Bedarf Warntöne eingespielt werden.

8.1.5 VW



Bild 37 ASA-Prototyp bei VW

Für die Applikation des ASA-Konzeptes im Fahrzeug ist bei der Volkswagen AG ein Golf A4 gewählt worden.

Das Fahrzeug ist entsprechend für die Aufnahme der einzelnen Systemkomponenten und ihre Integration mit dem vorhandenen Fahrzeugsteuersystem vorbereitet worden.

Die Lasersensoren sind seitlich unter den jeweiligen Außenspiegeln auf speziellen Trägern montiert. Der hintere Lasersensor wurde auf der Anhängerkupplung montiert.

Die beiden Radarsensoren sind hinten seitlich, links und rechts auf speziellen Vorrichtungen unter der Stoßstange montiert.

Die Videokamera zur Fahrspurerkennung ist im Fahrzeug unter der Windschutzscheibe im Innen Spiegelbereich untergebracht.

Steuer- und Signalausgabemodule sind im Kofferraum des Fahrzeugs platziert. Das VW-ASA-System verfügt über eine eigene Stromversorgungsbatterie, die in der Mulde des Ersatzrades untergebracht wurde.

Die Systembedien- und Zustandsanzeigeelemente befinden sich im Cockpit des Fahrzeugs über dem Radiogerät neben den bereits dort vorhandenen Schaltern für Heckscheibenheizung. Sie sind für den Fahrer speziell gekennzeichnet und gut sichtbar.

Zusätzlich zu dem im Fahrzeug bereits vorhandenen CAN-Antriebsbus sind für die Datenübertragung von einzelnen Sensoren zu der zentralen Steuereinheit und zur Ausgabe von Steuerbefehlen an entsprechende Aktuatoren zwei zusätzliche CAN-Bus-Systeme eingesetzt worden.

Für eine optische Warnung sind unter jedem Spiegelglas ein Dreieck aus LED-s angebracht worden. Die LED-s sind im unaktiven Zustand der Warnung nicht für den Fahrer sichtbar. Erst wenn sie vom System aktiviert werden leuchten sie durch das Spiegelglas durch.

Die Realisierung am Fahrzeug ist in /10/ dokumentiert.

8.2 BMW Fahrsimulator

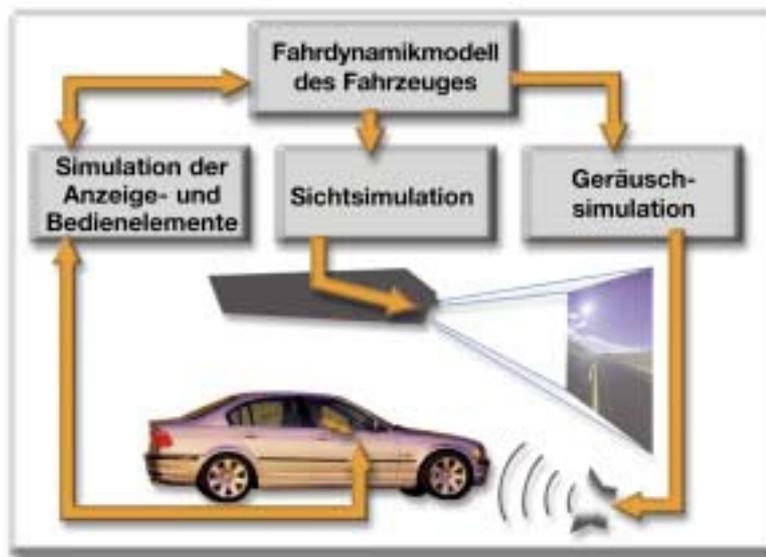


Bild 38 Funktion des Fahrsimulators [BMW]

Für die Spurwechsellasistenz-Versuche wurden im Simulator rückwärtige Ansichten aller Rückspiegel sowie eine linksseitige $\frac{3}{4}$ -Rundumsicht implementiert. Die MMI-Displays wurden in der Simulator-Sitzkiste integriert und getestet.

Der Autobahnring A9/A90/A99 im Münchner Norden wurde als Simulatorstrecke realisiert, darauf konnten 2- und erstmals 3-spurige Autobahnabschnitte im Simulator gefahren werden.

Verkehrsszenarien wurden erzeugt und parametrisiert, die gemäß AP 1 priorisierten Situationen umgesetzt.

Zur Darstellung realistisch dichten Verkehrs im Fahrsimulator wurden die Graphikalgorithmen für die Fahrzeugdarstellung optimiert (z.B. dynamischer Austausch der graphischen Fahrzeugmodelle je nach Abstand und sichtbarer Fahrzeuggröße). Auch das Fahrermodell wurde rechenzeitoptimiert. Eine „Pulksteuerung“ ermöglicht das dynamische Erzeugen und Verschwinden von Fahrzeugen in einem um das sich bewegende Simulatorfahrzeug gelegten Umkreis, so dass die verfügbare Rechenleistung auf den vom Simulatorfahrzeug sichtbaren dichten Verkehr konzentriert wurde.

Algorithmen zur Versuchssteuerung und zur Beeinflussung des Folgeverkehrs per Joystick durch den Versuchsleiter zur gezielten Erzeugung von Spurwechselkonflikten wurden entwickelt. Die Simulation wurde um erweiterte Reaktionsmöglichkeiten des Fremdverkehrs (z.B. Hup- und Leuchthup-Betätigung der Fremdfahrzeuge in kritischen Aus- und Einschler-Situationen) ergänzt.



Bild 39 Fahr Simulator [BMW]

Im Rahmen einer Versuchsserie im Fahr Simulator wurden die Displays von mehreren Versuchspersonen gefahren und bewertet. Basierend auf den Ergebnissen wurden unterschiedliche MMI-Konzepte entwickelt. Diese wurden realisiert und von einem Versuchspersonen-Kollektiv im Fahr Simulator erprobt und bewertet.

Bei weiteren Fahrversuchen wurden auch die per Videokamera registrierten Spiegelblicke des Fahrers detailliert ausgewertet und so über Blickverteilungen, Sicherheitsverhalten und Aufmerksamkeit des Fahrers bei unterschiedlichen MMI-Varianten Aufschlüsse gewonnen.

9 VALIDIERUNG

In den fünf Versuchsträgern wurden ASA Systeme mit unterschiedlichen Sensoren und unterschiedlichen Warnstrategien eingebaut. Versuchsfahrten wurden auf einer gesicherten Teststrecke, z.B. im Fahrzeugprüfgelände, wie auch im öffentlichen Verkehr durchgeführt. Auf der Teststrecke konnten gezielt auch kritische Fahrsituationen gefahren werden.

Im Versuchsträger bei **VW** wurde das Human-Machine-Interface (HMI) für einen Abbiege- und Spurwechsellassistenten eingebaut. Das HMI bestand aus optischen Anzeigen in den Außenspiegeln und einem akustischen Summer.

Die optische Warnung erfolgte in Form eines roten Warndreiecks, das in den halbdurchlässigen Außenspiegel eingeblendet wurde. Diese Warnung wurde immer dann ausgegeben, wenn sich im Gefahrenbereich – auf der benachbarten Fahrspur direkt neben dem eigenen Fahrzeug oder schräg dahinter – ein anderes Fahrzeug oder ein Radfahrer oder ein Fußgänger befand. Dieses Signal sollte den Fahrer darüber informieren, dass zu diesem Zeitpunkt ein Wechseln der Fahrspur oder ein abbiegen nicht ohne Gefährdung möglich war.

Die akustische Warnung, ein deutlich hörbarer Summton, erfolgte zusätzlich, wenn der Fahrer trotz der optischen Warnung einen Fahrspurwechsel durch Blinken einleitete bzw. anzeigte.

Zehn Versuchspersonen wurden für eine standardisierte Fahrtstrecke ausgewählt. Die Fahrtstrecke wurde gemäß den relevanten Verkehrssituationen gewählt. Sie bestand aus jeweils ca. einer Stunde Stadtfahrt und ca. einer Stunde Autobahnfahrt. Die Versuchsfahrten wurden mit vier Videokameras dokumentiert. Vor und nach den Fahrten füllten die Versuchspersonen standardisierte Fragebögen aus.

Zur Validierung und Optimierung des Spurwechsellassistentensystems wurden bei **Opel** verschiedene Tests mit dem Versuchsfahrzeug durchgeführt. Auf dem Opel-Testgelände in Dudenhofen wurden unterschiedliche Spurwechselsituationen mit wechselnden Geschwindigkeiten und Abständen der Fahrzeuge ausgeführt.

In dieser Umgebung konnten auch kritische Fahrmanöver nachgestellt werden. Statische Tests zur Kalibrierung der Sensoren und zur Evaluierung der Sensoreigenschaften, wie z. B. auch die Reflektanz unterschiedlicher Objekte, wurden ausgeführt. Auf Autobahnen wurde dann das System im realen Verkehr weiter optimiert. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf extreme Situationen wie tiefstehende Sonne, Spritzwasser, Nebel und Kurvenfahrt gelegt.

Abschließend wurden Testfahrten mit Versuchspersonen durchgeführt. Mit Hilfe der Versuchspersonen konnten weitere Anpassungen des Systems an ein fahreradäquates Verhalten erzielt werden.

Zusätzlich zu den fünf Versuchsfahrzeugen wurden Fahrten mit Probanden im **BMW**-Fahrsimulator mit dem ASA-System durchgeführt. Neben den zahlreichen internen Evaluierungs- und Validierungsfahrten im Fahrsimulator wurden von einem Psychologen kontrollierte Versuchsserien mit externen Versuchspersonen im Fahrsimulator durchgeführt.

Ein Vorversuch diente primär der physikalischen und logischen Systemvalidierung, d.h. es wurde die korrekte hardwaretechnische und algorithmische Umsetzung der unter AP 3, 5 und 6 entwickelten Konzepte geprüft. Zwei Hauptversuche dienten dagegen der funktionellen Systemvalidierung und der Systembewertung durch unterschiedliche Versuchspersonen im kontrollierten Fahrversuch.

Ziel des ersten Hauptversuchs war primär die Validierung und Bewertung der HMI-Alternativen sowie die Validierung des Warnkonzeptes. 15 Versuchspersonen hatten die Aufgabe, mit unterschiedlichen Varianten des Spurwechsellassistenten auf einer standardisierten Autobahnstrecke eine Reihe von Ausscher- bzw. Überholvorgängen in einem variablen und teilweise dichten Verkehr zu absolvieren. Zunächst erfolgte eine ca. viertelstündige Eingewöhnungsfahrt ohne Assistenz, anschließend wurden in randomisierter Reihenfolge viertelstündige Fahrten mit drei unterschiedlichen Assistenzsystem-Auslegungen durchgeführt. Jede Auslegung wurde vor der Fahrt kurz in ihrer Grundfunktion vorgestellt. Nach der Fahrt wurden im Rahmen eines strukturierten Interviews die mit dem System gemachten Erfahrungen besprochen. Mit Hilfe eines einheitlichen Fragebogens wurde jedes System in standardisierter Weise hinsichtlich der relevanten Kategorien (Wichtigkeit, Nutzen, Akzeptanz, Potential, Warnzeitpunkt, Ablenkungswirkung etc.) bewertet. Für Vergleichszwecke wurde der Versuch zusätzlich mit internen Fachleuten durchgeführt.

Wichtigstes Ziel des zweiten Hauptversuchs war die Bewertung des optimierten Warnkonzeptes und die Untersuchung der Auswirkungen der optimierten MMI-Alternativen auf Fahrverhalten und Fahrsicherheit. Neben der Auswertung der Befragungen wurden dabei vor allem auch die zeitlichen Abläufe von Spiegel- und Schulterblicken, Blinkerbetätigung und Lenkverhalten bestimmt. Die Akzeptanz der optimierten MMI-Alternativen wurde verglichen. Eine eingehende Analyse des Sicherungsverhaltens der Fahrer mit und ohne Unterstützung wurde durchgeführt und daraus Rückschlüsse auf das Sicherheitspotential von Spurwechsellassistentensystemen gewonnen.

Bei **MAN** wurde ein Katalog von typischen kritischen Fahrscenen erstellt, in denen das Abbiegeassistenzsystem warnen soll. Ebenso wichtig ist jedoch auch, dass das System in unkritischen Situationen möglichst nicht warnt, denn zu häufiges Warnen gefährdet die Akzeptanz des Systems. In Versuchsfahrten in der Stadt wie auch in speziellen Testscenarien auf der Teststrecke wurde das System beurteilt, adaptiert und weiterentwickelt.

Von **Bosch** wurden wiederholt statische Tests (d.h. Geschwindigkeit des ASA-Fahrzeugs = 0 km/h) auf einem abgesperrtem Gelände als auch dynamische Tests (d.h. Geschwindigkeit des ASA-Fahrzeugs > 0 km/h) im realen Verkehr vor allem auf Autobahnen durchgeführt. Die statischen Tests wurden mit verschiedenen Fremd-Fahrzeugen (PKW und Motorräder) und unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten durchgeführt. Bei den dynamischen Tests wurden mit mehreren Fahrzeugen gezielt ASA-relevante Situationen gestellt. Die statischen und dynamischen Tests dienten zur Evaluierung der eingesetzten Sensoren, zur Ermittlung der optimalen Sensorkonfiguration, aber auch zur Entwicklung der Fusions- und Warnalgorithmen. Es wurde dazu ein Aufnahmetool entwickelt, das die Bilder der Überwachungskameras sowie alle relevanten Sensordaten in Echtzeit abspeichert. So war es möglich, die Sensoren und das gesamte ASA-System während der Versuchsdurchführung, aber auch später im Labor zu evaluieren und weiterzuentwickeln.

9.1 Meßsysteme zur Validierung

Für den Test der Abbiege- und Spurwechselfunktion war es notwendig, neue Meßsysteme zu erstellen. Damit konnten Teilfunktionalitäten flexibel überprüft werden. Fahrzeug- wie auch Sensordaten können in Echtzeit digital aufgezeichnet werden. Parallel können Videokameras synchron mit den Messdaten Bilder der Fahrzeugumgebung aufzeichnen.

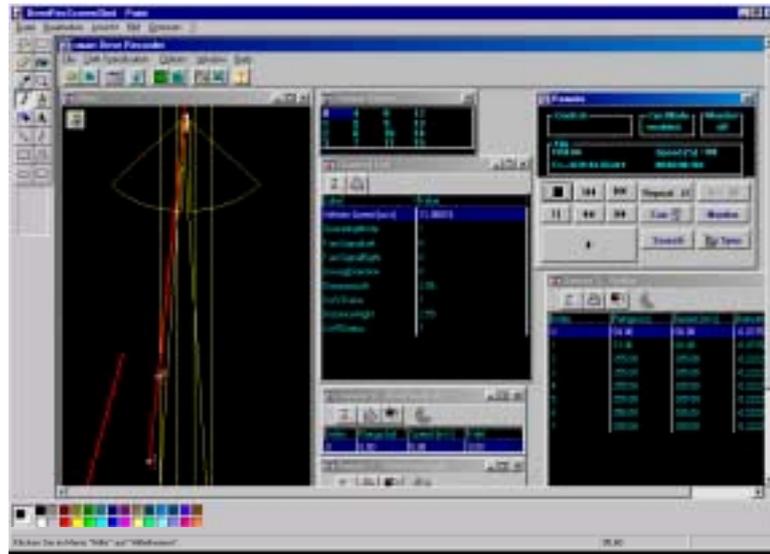


Bild 40 Testsystem zur Aufzeichnung und Auswertung von Messdaten



Bild 41 Zeitsynchrone Videoaufnahme der Fahrzeugumgebung

Im Labor kann man die aufgezeichneten Meßfahrten schrittweise analysieren und die Qualität der Abbiege- und Spurwechselfunktion überprüfen.

9.2 Ergebnisse der Versuchsfahrten

Das Ziel der Versuchsfahrten war die Bewertung der Gestaltung des ASA-HMI, einen ersten Eindruck von der ASA-Systemwirkung auf potentielle Kunden zu bekommen und die Zuverlässigkeit der ASA-Prototypen zu testen.

9.2.1 Eindrücke der externen Probanden bei kleiner Stichprobe

- Die meisten Versuchsfahrer hielten ein ASA-System für sinnvoll und hätten ein perfektes ASA-System gern in ihrem Auto. Die möglichen Gefahren, die beim Abbiegen und bei einem Spurwechsel entstehen können, sind den Fahrern bewusst.
- Die Versuchspersonen hätten gern ein ASA-System, das sowohl auf Autobahnen wie auch im Stadtverkehr unterstützt.
- Aus subjektiver Sicht der Testfahrer beinhalten Spurwechsellassistentensysteme ein hohes Sicherheitspotential. Die objektive Auswertung der Fahrversuchsdaten weist in Richtung einer Reduktion besonders knapper Spurwechsel. Eine verlässliche Quantifizierung des Unfallvermeidungspotentials ist jedoch derzeit aufgrund der hohen Spurwechselzuverlässigkeit aufmerksamer Fahrer und der dementsprechend geringen Fallzahlen kritischer Spurwechsel nicht möglich.

9.2.2 Zum Systemkonzept

- Das Blinken als alleiniger Hinweis auf einen beabsichtigten Wechsel der Fahrspur oder der Fahrtrichtung ist unzureichend. Etwa 30% aller Spurwechsel auf der Autobahn werden ohne Blinken gefahren.
- Das Blinken wurde von den Versuchspersonen auch als Hinweis für den nachfolgenden Verkehr genutzt. Teilweise wurde der Blinker sehr früh vor dem Spurwechsel gesetzt oder der Blinker wurde sehr spät zurückgenommen. Dadurch sind unnötige akustische Warnung ausgelöst worden.

9.2.3 Zu den Sensoren

- Mit Hilfe der eingesetzten Sensoren konnte die Machbarkeit eines ASA-Systems gezeigt werden, jedoch sind weitere Verbesserungen insbesondere in Reichweite, Öffnungswinkel, Auflösung, Zuverlässigkeit und Robustheit notwendig.
- Die ASA-Sensoren erfüllten noch nicht die automobiltechnischen Anforderungen wie Wetterfestigkeit, Rüttelfestigkeit und Unempfindlichkeit gegen Verschmutzung.

9.2.4 Zur Mensch-Maschine-Schnittstelle

- Die ständig verfügbare optische Information in den Außenspiegeln wurde von den Versuchspersonen gut angenommen und als situationsgerecht empfunden.
- Die optische Anzeige befindet sich außerhalb des normalen Blickfeldes. Beim Blick nach vorne wird der Fahrer durch die Anzeige im Außenspiegel möglichst wenig abgelenkt. Sie ist nicht oder kaum sichtbar.
- Bei einem Spurwechsel ist ein Blick in den Außenspiegel zweckmäßig. Der Fahrer erhält hier eine leicht verständliche Zusatzinformation.
- Durch die (beim Blick in den Spiegel) deutlich sichtbare, aber nicht aufdringliche Darstellung wird der Fahrer weder irritiert noch sein Blickfeld im Außenrückspiegel nennenswert eingeschränkt.
- Die akustische Warnung in den Gefahrensituationen muss überdacht werden. In einigen Situationen entsprach die Warnung nicht den Bedürfnissen der Versuchspersonen. Der Ton der Warnung sollte, auch mit Blick auf mögliche Beifahrer, angenehm sein.
- Eine Überfrachtung des Fahrers mit Information ist zu vermeiden.

Anmerkung zur optischen Darstellung:

Bei der Wahl der Farbe für die optische Warnung ist eine mögliche Farbfehlsichtigkeit des Fahrers mit zu berücksichtigen. Ein Versuchsfahrer mit Rot-Grün-Fehlsichtigkeit gab an, das optische Symbol nur gesehen zu haben, als ihm das System zu Beginn der Fahrt erläutert wurde. Während der Fahrt mit seinen wechselnden Lichtbedingungen und dem Zwang, jeweils nur einen kurzen Blick auf den Spiegel werfen zu können, sei die optische Warnung für ihn nicht erkennbar gewesen.

9.2.5 Zu den Verkehrssituationen

- Es gibt doppeldeutige Verkehrssituationen, in denen die Absichten des Fahrers nicht eindeutig zu interpretieren sind. Dazu gehört das zweisepurige Abbiegen an Kreuzungen oder das Fahren auf einer abknickenden Vorfahrtsstraße innerhalb einer Ortschaft.

9.2.6 Fehldeutungen der Fahrerabsicht

- Der Fahrer blinkt, ohne dass er dadurch einen Spurwechsel anzeigen möchte. Gerade in Großstädten bzw. auf den Hauptverkehrsadern auch kleinerer Städte kann zweisepurig abgebogen werden. Wenn ein Fahrzeug sich z.B. auf der rechten von zwei Linksabbiegespuren befindet und diesen Fahrtrichtungswechsel durch Blinken anzeigt, so kann sich im Bereich links neben dem Fahrzeug ein anderes Fahrzeug auf der anderen Abbiegespur befinden und einen akustischen Alarm auslösen. Dieser Alarm wird vom Fahrer in der Regel als Fehlalarm empfunden, da er ja keinen Spurwechsel beabsichtigt.

- Der Fahrer blinkt frühzeitig vor Beginn eines Spurwechsels
In manchen Situationen blinkt der Fahrer, obwohl sich im Gefahrenbereich ein Fahrzeug befindet und der Fahrer dieses auch erfasst hat. Obwohl das System dem Konzept nach korrekt funktioniert (Blinken und Spurwechsel mit Fahrzeug im Gefahrenbereich), wird auch hier der Warnton von den Fahrern als „falsch“ beurteilt.
Gerade bei dichtem Verkehr möchte der Fahrer durch Blinken einen Fahrspurwechsel frühzeitig ankündigen. Er möchte dadurch andere Fahrer dazu bringen, ihm die für einen Spurwechsel notwendige Lücke zu lassen. In diesen Fällen würde er einen möglicherweise lang anhaltenden Warnton als störend empfinden.

Es hat sich gezeigt, dass die Systeme generell den geplanten Zweck erfüllen. Jedoch sind Verbesserungen bei der technischen Umsetzung notwendig.

10 ZUSAMMENFASSUNG

In dem Projekt "Abbiege- und Spurwechsellassistenten" (ASA) sind erstmals Fahrerassistenzsysteme entwickelt worden, die den Fahrer in kritischen Verkehrssituationen beim Abbiegen innerorts und beim Spurwechsel auf Schnellstraßen unterstützen und damit einen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit leisten können.

Auf der Grundlage von verschiedenen Datenbasen sind Unfälle im Zusammenhang mit dem Abbiegen und dem Spurwechsel untersucht worden.

In der Datenbank der DEKRA waren 44 relevante Unfälle beim Spurwechsel verzeichnet. Der Hergang der 44 Unfälle lag als Rekonstruktion durch Unfallsachverständige vor. Im Rahmen des Unterauftrags wurden die Parameter der Unfälle dargestellt und ihre Anforderungen an einen Spurwechsellassistenten herausgearbeitet. Hauptaugenmerk lag auf der Rekonstruktion des Unfallbeginns und welche unzureichenden Reaktionen der Beteiligten zum Unfall geführt hatten. Damit wurde der Grundstein zum Verständnis gelegt, wie denn der Fahrer von einem Assistenzsystem hätte unterstützt werden können, um den Unfall zu vermeiden.

Zum zweiten wurde beim Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) eine Untersuchung zu Unfällen zwischen LKW- und Zweiradfahrern durchgeführt. Unfallhäufigkeit, -hergang und -ursachen wurden detailliert untersucht und typische Unfallsituationen beschrieben.

Zum dritten wurde eine PKW-Unfallanalyse beim Abbiegen auf der Grundlage der Daten der Medizinischen Hochschule Hannover erarbeitet.

Zum vierten wurden durch das Institut Diagnose&Transfer Fahrmanöver mit mehr als 1100 validierten Spurwechseln in einem PKW messtechnisch protokolliert. Dazu wurden Versuchsfahrten im Stadtverkehr, auf der Landstrasse und auf der Autobahn durchgeführt und ergaben insgesamt 40 Stunden Messschriebe bestehend aus Videoaufnahmen des Fahrers, der Fahrzeugumgebung sowie der dynamischen Fahrzeugdaten. Dazu wurden auch Untersuchungen am Fahrsimulator durchgeführt. Aus den relevanten Spurwechseln der Messfahrten wurden charakteristische Merkmale zur Durchführung eines Spurwechsels erarbeitet. Der Bericht nennt die Situationsmerkmale, die zur automatischen Erkennung und Bewertung der genannten Verkehrssituationen herangezogen werden können.

Als kritisch bei einem Spurwechsel auf der Autobahn sind insbesondere die folgenden Verkehrssituationen zu nennen:

- Beim Ausscheren zum Überholen wird der Abstand und die Annäherungsgeschwindigkeit von Fahrzeugen, die sich auf der Zielspur befinden, falsch eingeschätzt.
- Beim Einordnen nach dem Überholen werden Fahrzeuge auf der rechten Zielspur übersehen.
- Das Einfädeln in den Verkehr auf den Autobahnauffahrten stellt ähnliche Anforderungen an den Fahrer wie das oben beschriebene Ausscheren.

Als kritisch und von einem Abbiegeassistenten potentiell beeinflussbar wurden die folgenden drei Verkehrssituationen herausgearbeitet:

- Langsame, rechts neben dem Fahrzeug sich bewegende Zweiräder, die vom Fahrzeug mit geringem Seitenabstand (< 1 m) überholt werden.
- Zweiräder, die sich beim Abbiegen auf das Fahrzeug zu bewegen.
- Zweiräder, die sich rechts neben das stehende Fahrzeug einordnen.

In den genannten drei Situationen sind neben Motorradfahrern und Fahrradfahrern auch sich rasch bewegende Personen, z.B. auf Inline-Skates, gefährdet.

Aufbauend auf den genannten vier Untersuchungen wurde jeweils eine Systemdefinition für den Abbiegeassistenten und den Spurwechsellassistenten erstellt. Die Systemdefinition legt fest, welche Umfeldbereiche des Fahrzeugs zu überwachen und welche Objekte darin zu detektieren sind. Aus den Rohdaten einzelner oder einer Kombination von Sensoren sollen die geforderten Situationsmerkmale extrahiert werden. Mögliche System- und Sensorkonzepte werden vorgestellt. Durch die hohen Anforderungen an die Umgebungserfassung wurde es notwendig, die genannten Assistenzfunktionen in einem Verbund von Sensoren zu realisieren. Ein einzelner Sensor allein kann die gestellten Anforderungen nicht erfüllen.

Die Sensoren beim Spurwechsellassistenten sollen die seitlichen Bereiche links und rechts vom Fahrzeug mit einer Reichweite von 5 m überwachen. Der rückwärtige Nahbereich soll mit einer Reichweite von 75 m und der rückwärtige Fernbereich mit einer Reichweite von 150 m überwacht werden.

Die Sensoren beim Abbiegeassistenten sollen die seitlichen Nahbereiche links und rechts vom Fahrzeug mit einer Reichweite von 30 m überwachen.

Zu den Sensoren der Technologien Radar, Lidar, Video und Ultraschall wurde eine Recherche durchgeführt. Eine Reihe von Sensoren wurden für ihre Verwendung im ASA-System weiter entwickelt:

- Radarsensoren im 24-GHz Spektrum zur seitlichen Nahbereichsüberwachung
- Radarsensoren im 77-GHz Spektrum zur rückwärtigen Fernbereichsüberwachung
- Videosensoren für die Überwachung des seitlichen und hinteren Nahbereiches, sowohl monokular wie auch binokular
- Laserscanner zur Überwachung des seitlichen und hinteren Nahbereiches
- Mehrstrahliger Lasersensor zur Überwachung des seitlichen Nahbereichs und des rückwärtigen Fernbereichs

Die Sensoren an sich liefern Messergebnisse zu Abstand und Relativgeschwindigkeit von Objekten in der Umgebung des Fahrzeugs. Um eine Aussage zu einer Gefährdung durch einen Spurwechsel oder einen Abbiegevorgang zu erhalten, müssen die Messergebnisse der einzelnen Sensoren über eine Sensorfusion zu einem Abbild der Fahrzeugumgebung verknüpft werden. Dies erfolgte in Form von Algorithmen, die auf Rechnerplattformen in die ASA-Versuchsfahrzeuge eingebracht wurden.

Die Grundlage der Situationsbewertung beim Spurwechsel bilden die Kennwerte time-to-collision und Zeitlücke, die aus den Sensordaten Eigengeschwindigkeit, Relativgeschwindigkeit und Abstand berechnet werden. Über die Warnstrategie wurde das Bild der Fahrzeugumgebung mit den Handlungen des Fahrers, wie z.B. Blinken, Lenkradeinschlag und Überfahren der Fahrspurbegrenzung, verknüpft. In der Warnstrategie wurden dynamische Schwellwerte festgelegt, wann und wie der Fahrer zu informieren, bzw. zu warnen ist.

Die Mensch Maschine Schnittstelle muss die schnelle und intuitive Informationsaufnahme des Fahrers unterstützen. Dazu wurden verwendet:

- Optische Darstellungen in Form von farbigen LEDs
- Optische Darstellungen in Form von Grafiken auf LC-Displays;
- Akustische Darstellungen in Form von Warntönen;
- Haptische Darstellungen in Form von Vibrationen am Lenkrad oder am Blinkerhebel;
- Haptische Warnung durch Gegenmoment am Lenkrad.

Bereits die Vorbereitung des Fahrers zum Spurwechsel kann unterstützt werden, indem eine optische Anzeige z.B. im Außenspiegel ständig aktiv ist. Diese Anzeige kann der Fahrer in den Verkehrssituationen, bei denen ein Spurwechsel nicht beabsichtigt ist, leicht ignorieren. Damit wird die Aufmerksamkeit des Fahrers nicht unnötig belastet. Wenn der Fahrer eine Information wünscht, kann er diese an einer ihm bekannten Anzeigeposition ablesen.

Sobald der Fahrer den Blinker setzt, macht er seine Absicht zur Änderung der Fahrspur oder zum Abbiegen deutlich. Mit dem Setzen des Blinkers können Warnungen aktiviert werden, falls der Assistent Risiken erkennt.

Sensoren, Algorithmen, Warnstrategie und Mensch-Maschine-Schnittstelle wurden in vier PKW und einem LKW eingebaut. Mit den Versuchsträgern wurden Messfahrten sowohl im abgesperrten Testgelände wie auch im öffentlichen Verkehr durchgeführt. Im Testgelände konnten auch gezielt kritische Verkehrssituationen gefahren werden.

Es zeigte sich, dass die eingesetzten Sensoren im Verbund im wesentlichen die Anforderungen der Systemdefinition erfüllen. Weitere Verbesserungen sind insbesondere notwendig für die hintere Fernbereichsüberwachung, die von der Automobilindustrie geforderte Rüttelfestigkeit und die Funktionsfähigkeit auch bei kritischen Wetterbedingungen. Die Fehlwarnungen des ASA-Systems müssen weiter minimiert werden, z.B. durch ein verbessertes maschinelles Verständnis der Verkehrssituationen.

Mit externen Probanden wurden Fahrversuche im öffentlichen Verkehr wie auch im Fahrsimulator durchgeführt.

Die meisten Versuchsfahrer hielten ein ASA-System für sinnvoll und hätten ein perfektes ASA-System gern in ihrem Auto, das sie sowohl auf Autobahnen wie auch im Stadtverkehr unterstützt. Die möglichen Gefahren ohne ASA-System, die beim Abbiegen und bei einem Spurwechsel entstehen können, sind den Fahrern bewusst.

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle sollte verbessert werden. Die individuelle Anpassung des ASA-Systems an den Fahrer ist wichtig, da die Fahrer die Informationen des ASA-Systems nur dann annehmen, wenn sie gemäß ihren eigenen Präferenzen gewarnt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im Rahmen der Zusammenarbeit ein System zur Erhöhung der Verkehrssicherheit in verschiedenen Aspekten dargestellt und untersucht werden konnte. Die gewonnenen Ergebnisse zeigen aber auch, dass weitere Entwicklungen zur Umsetzung notwendig sind.

Wichtigste Voraussetzung dafür, dass Abbiege- und Spurwechsel-Assistenzsysteme auch im Realverkehr Akzeptanz finden und ihr Sicherheitspotential entfalten können, sind erhebliche Fortschritte in den Bereichen Sensorik, Sensorfusion und Fahrzeugumfelderfassung. Die Robustheit der von der Umfelderfassung bereitgestellten Umgebungsmodelle ist noch erheblich zu steigern, bevor sie als Basis für sicherheitsrelevante Warnungen mit der erforderlichen geringen Fehlerrate anwendbar sind.

Für die Zukunft erscheint es zweckmäßig, Assistenzsysteme zur aktiven Sicherheit nicht isoliert nach bestimmten Assistenzfunktionen zu entwickeln und zu bewerten. Vielmehr sollten verwandte Assistenzfunktionen zusammengefasst und unter einem gemeinsamen MMI-Konzept integriert, optimiert und hinsichtlich der Fahrsicherheit bewertet werden.

11 SCHRIFTTUM

- /1/ ASA-Bericht, Diagnose&Transfer: Analyse der kritischen Fahrsituationen beim Spurwechsel, August 1998
- /2/ ASA-Bericht, DEKRA: Analyse kritischer Fahrsituationen beim Spurwechsel, März 1999
- /3/ ASA-Bericht: Systemdefinition zur Spurwechselassistenten, Juni 1998
- /4/ ASA-Bericht: Systemdefinition zur Abbiegeassistenten, Juni 1998
- /5/ Analyse der LKW-Unfälle mit Fußgängern und Zweiradfahrern, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV)
- /6/ Systemdefinition: Warnsystem zur Vermeidung von Unfällen im rechten Seitenraum (Abbiegeassistenten), MAN
- /7/ Diplomarbeit M. Irmer: Güte- und Kostenabschätzung von Sensorsystemen für die Realisierung von Abbiege- und Spurwechselassistenten, Januar 1999
- /8/ Diplomarbeit M. Zeise: Sicherheitsanalyse für einen Abbiege- und Spurwechselassistenten, Oktober 1999
- /9/ ASA-Bericht: Handout mit Zusammenfassung der Ergebnisse des Projekts, Mai 2000
- /10/ MoTiV- Abbiege- und Spurwechselassistenten, VW AG, CD mit Projektpräsentation, Mai 2000
- /11/ Anders, P., Neumann, K.-Th., Obojski, M.A., Weisser, H.: "Technologien für Fahrerassistenzsysteme am Beispiel der Abbiege- und Spurwechselassistenten (ASA)", VDI-Tagungsband „Fortschritt-Berichte VDI“, Reihe 12 Automatisierungs- und Assistenzsysteme für Transportmittel, Nr. 431, ISBN 3-18-343112-2, Sept. 2000
- /12/ Patentanmeldung: Anders, P., Engel, Th., Schneider, A.: Assistenzsystem für Fahrzeuge
DE 19835601A1
- /13/ Patentanmeldung: Anders, P., Mai, R., Prang, R.: Verfahren und Vorrichtung zur Fahrerassistenz beim Abbiegen eines Kraftfahrzeugs
DE 19851434A1
- /14/ Patentanmeldung: Anders, P., Mai, R.: Verfahren zur Überwachung eines Fahrspurwechsels eines Kraftfahrzeugs
DE 19937489
- /15/ K.V. Schaller, E. Hipp, J. Schiehlen
Elektronische Abbiegeassistentensysteme für Nutzfahrzeuge
VDI-Berichte 1504, S. 271-294, 1999

-
- /16/ MOTIV-ASA-Abschlussbericht – Firmenbericht MAN
 - /17/ MOTIV-ASA-Abschlussbericht – Firmenbericht BMW
 - /18/ MOTIV-ASA-Abschlussbericht – Firmenbericht Adam Opel AG
 - /19/ MOTIV-ASA-Abschlussbericht – Firmenbericht Volkswagen AG
 - /20/ MOTIV-ASA-Abschlussbericht – Firmenbericht Robert Bosch GmbH
 - /21/ Patentanmeldung BMW AG
Vorrichtung zur Anzeige einer Spurwechselabsicht
Aktenzeichen 19933327.0