

Zukünftige Entwicklungen von Fahrerassistenzsystemen und Methoden zu deren Bewertung

Future Development of Driver Assistance Systems and Tools for Assessment

Dipl.-Ing. Dirk **Ehmanns**, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Henning **Wallentowitz**

Institut für Kraftfahrwesen Aachen, RWTH Aachen

Dipl.-Psych. Dr. Christhard **Gelau**, Dipl.-Ing. Frank **Nicklisch**,

Bundesanstalt für Straßenwesen

Zusammenfassung

In dem vorliegenden Beitrag wird die zukünftige Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen aufgezeigt. Solche Systeme werden Fahrer bei der Erfüllung der Fahraufgabe in Zukunft immer mehr entlasten. Es werden unterschiedliche Ebenen der Fahrerassistenz unterschieden. Sie erstrecken sich von der Information und Warnung über verbindliche Anweisungen, korrigierende Eingriffe bis hin zur Übernahme der Fahraufgabe. Die Entwicklung der Systeme beginnt bei den heute erhältlichen Navigationssystemen und führt zum vollautomatischen Fahren in der Zukunft. Zur Bewertung der Sicherheit von Fahrerassistenzsystemen sind bereits im frühen Entwicklungsstadium umfangreiche Analysen durchzuführen. Hierbei reicht die isolierte Betrachtung der Systemsicherheit nicht mehr aus. Es müssen in zunehmendem Maße Interaktionssicherheit und verkehrliche Auswirkungen berücksichtigt werden. Die zur Entwicklung genutzten Werkzeuge wie Fahrsimulatoren und Verkehrsflusssimulationsprogramme werden in dem Beitrag angesprochen.

Summary

The article on hand shows the future development of driver assistance systems. In the future, such systems will more and more make life easier for drivers when fulfilling the driving task. It is distinguished between different levels of driver assistance. They extend from information and warning over binding orders and correcting intervention to taking over the driving task. The systems' development starts with the navigation systems available today and leads to fully automatic driving in the future. In order to assess the safety of driver assistance systems, already at an early stage of development there have to be extensive examinations. In this case it is not enough to consider the system's safety in an isolated way. To an increasing extent, interaction safety and effects on traffic have to be considered. This article deals with the methods used for this, such as driving simulators and traffic flow simulation programs.

1 Einführung

In der Fahrzeugentwicklung haben sich in den letzten Jahren neben den klassischen Themen Fahrwerk, Karosserie und Antriebstrang neue Schwerpunkte ergeben. Die Wechselbeziehungen zwischen den Elementen des Verkehrs: Fahrer, Fahrzeug und Umwelt, spielen durch die erhöhte Verkehrsbelastung eine immer größere Rolle (Abb. 1-1).

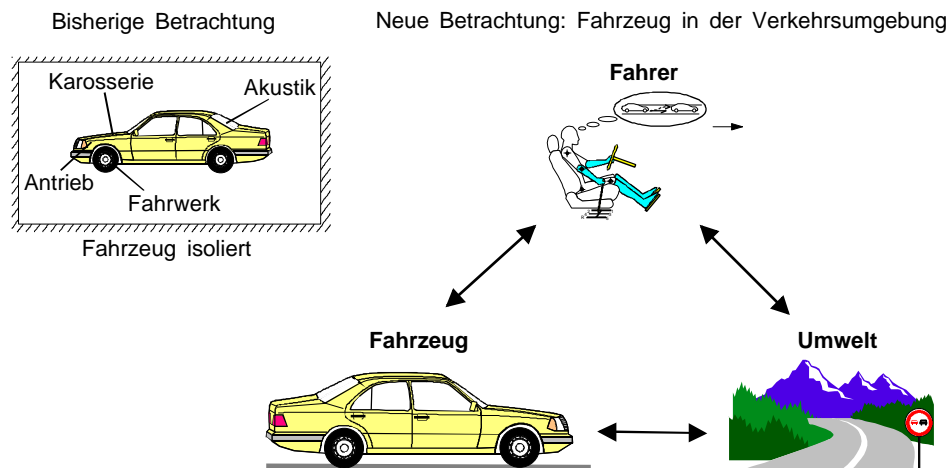


Abb. 1-1: Verschiebung der Entwicklungsschwerpunkte durch Einbeziehung der Elemente des Verkehrs

Bedingt durch die steigenden Anforderungen an die Fahrer werden vermehrt Systeme entwickelt, die bei der Bewältigung der Fahraufgabe unterstützen. Diese Fahrerassistenzsysteme müssen neben den notwendigen technischen Gesichtspunkten auch unter den Aspekten der Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug, der Auswirkungen auf den Verkehrsfluss sowie unter juristischen Aspekten betrachtet werden. Die folgende Analyse der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen und ihren Bewertungsmethoden greift auf Ergebnisse eines von der Bundesanstalt für Straßenwesen beauftragten Projektes zurück.

2 Stufen der Fahrerassistenzsysteme

Bei der Entwicklung von Systemen zur Fahrerunterstützung ist zunächst eine Auseinandersetzung mit der Fahraufgabe sinnvoll. Eine Einteilung der Fahraufgabe kann entsprechend dem 3-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung nach [1] erfolgen. Navigations-, Führungs- und Stabilisierungsebene werden von einander unterschieden. (Abb. 2-1)

In der Navigationsebene führen die Fahrer z. B. die Routenfestlegung durch. Hier sind verschiedene Routen unter Aspekten wie z. B. erwartete Fahrtzeit, Fahrtzweck bzw. deren Kombination, Wünsche von Mitfahrern zu analysieren, und die geeignete

Route auszuwählen. Während der Fahrt kann durch äußere Umstände wie z. B. aufgrund Unfällen die Notwendigkeit aufkommen, eine Alternativroute zu bestimmen.

Die Führungsebene wird dadurch charakterisiert, dass die Fahrtroute umgesetzt wird. Die Fahrweise wird dem wahrgenommenen Straßenverlauf und dem umgebenden Verkehr angepasst. Die Führungsebene schließt damit Teilaufgaben wie Spurhaltung, Folgefahren, Überholen und Reaktion auf Verkehrszeichen ein.

In der Stabilisierungsebene werden die Zielgrößen des Fahrerwunsches in Bezug auf Quer- und Längsführung in Fahrzeugbewegungen umgesetzt. Fahrzeugseitige Stellgrößen wie Lenkbewegung, Gaspedal, Bremse und Gangstellung werden hier festgelegt.

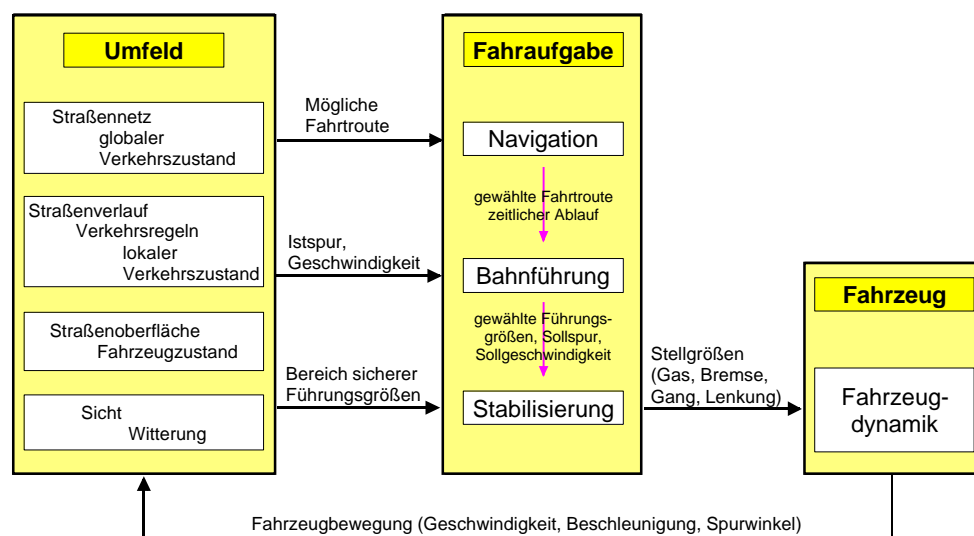


Abb. 2-1: 3-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung [1]

Beim Vergleich der Tätigkeiten auf den unterschiedlichen Ebenen der Fahraufgabe fällt auf, dass die für die Bearbeitung zur Verfügung stehende Zeit der einzelnen Aufgaben von der Navigations- über die Führungs- bis hin zur Stabilisierungsebene abnimmt. Sind es bei der Routenwahl noch mehrere Minuten vor Fahrtbeginn, so sind es auf der Stabilisierungsebene z. B. bei Ausweichmanövern nur noch Bruchteile von Sekunden.

Eine Einteilung der Fahrerassistenzsysteme kann einerseits entsprechend der Ebene der Fahraufgabe und andererseits entsprechend dem Grad der Fahrerunterstützung erfolgen. Eingeteilt nach dem Grad der Fahrerunterstützung ergeben sich:

- Warnungen und Informationen,
- Verbindliche Anweisungen,
- Korrigierende Eingriffe,
- Übernahme der Fahraufgaben.

Bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen sind zunächst die Ebenen der Fahraufgaben zu definieren, auf denen die Fahrer unterstützt werden sollen. An-

schließlich ist der Umfang der Unterstützung festzulegen. In Abb. 2-2 ist exemplarisch die Zuordnung von Fahrerassistenzsystemen zu Fahraufgaben sowie dem Grad der Fahrerunterstützung dargestellt.

Grad der Fahrerunterstützung	Navigationsebene	Bahnführungsebene	Stabilisierungsebene
Information/Warnung	Navigationssystem	Spurwechselassistent	
Verbindliche Anweisung		Schildererkennung	
korrigierender Eingriff			Fahrdynamikregelung
Übernahme der Fahraufgabe		Automatisches Fahren Kollisionsvermeidung	

Abb. 2-2: Beispiele für die Einteilung von Fahrerassistenzsystemen.

3 Übersicht über Fahrerassistenzsysteme

In den letzten Jahren sind unterschiedliche Fahrerassistenzsysteme entwickelt worden. Sie umfassen die reinen Fahrerinformationen und auch Visionen zum automatischen Fahren. Bei den folgenden Betrachtungen wird der Schwerpunkt auf Systeme gelegt, die Informationen über die Umgebung nutzen. So wird auf Telekommunikationssysteme und Radschlupfregelsysteme nicht näher eingegangen.

Aus dem europäischen Forschungsprojekt PROMETHEUS (PROgraM for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety) gingen Systeme hervor, die zum Teil in heutigen Serienfahrzeugen Einsatz finden. Eine Auswahl wird im Folgenden beschrieben.

Zu nennen sind hier Informationssysteme wie die Navigationssysteme, die die Routenauswahl während der Fahrt übernehmen. Sie sind im Rahmen von PROMETHEUS nahezu bis zur Serienreife entwickelt worden. Heute sind sie auch in unteren Fahrzeugklassen erhältlich. Auf Basis der GPS-Ortung wird mit Hilfe von digitalisierten Landkarten die aktuelle Position ermittelt und die zurückzulegende Route berechnet. Während der Fahrt werden berechnete Route und tatsächliche gefahrener Kurs verglichen. Bei Abweichungen wird eine Alternativroute für die aktuelle Position ermittelt. Durch die heute mögliche hohe Genauigkeit der GPS-Ortung hängt die Systemgüte vor allem von der Qualität des Kartenmaterials ab.

Diese konnte in den letzten Jahren deutlich verbessert werden, so dass aktuelle Systeme weitestgehend fehlerfrei arbeiten.

Neben dieser Form von Information wird der Fahrer in Zukunft auf eine Kraftschlussüberwachung zurückgreifen können. Der Reibwert zwischen Reifen und Fahrbahn kann einerseits akustisch und andererseits optisch ermittelt werden. Eine weitere Form der Reibwerterkennung ist der in der Vorentwicklung befindliche Sensor im Reifenprofil. Aus der Verformung der Profilblöcke wird hier der Reibwert bestimmt [2]. Fahrern kann mit diesen Systemen jederzeit der aktuelle Reibwert angezeigt werden. Kritische Straßenabschnitte werden damit deutlich gemacht.

Eines der vielversprechendsten Systeme, das aus PROMETHEUS hervorgegangen ist, ist das sog. Adaptive Cruise Control (ACC). Dieser intelligente Tempomat übernimmt im Gegensatz zu einem herkömmlichen Tempomaten in Grenzen die längsdynamische Steuerung des Fahrzeugs. Solche Systeme sind auf dem europäischen Markt erstmals seit 1999 bei Mercedes-Benz für die aktuelle S-Klasse erhältlich. Andere Hersteller von Oberklassefahrzeugen wie BMW und Jaguar tragen zur weiteren Verbreitung bei. Abhängig vom Abstand und der Differenzgeschwindigkeit zu vorausfahrenden Fahrzeugen werden Drosselklappe und Bremse gesteuert. Die Schlüsseltechnologie des Systems stellt die Sensorik dar. Abstand und Differenzgeschwindigkeit können grundsätzlich auf drei Arten ermittelt werden: mit einem Radarsensor, einem Lidarsensor oder mittels Bildverarbeitung. Derzeit findet der Radarsensor aufgrund seiner Vorteile (z.B. geringe Verschmutzungsempfindlichkeit, Mehrzielfähigkeit) Einsatz bei den Seriensystemen. Die Bildverarbeitung wird bislang aufgrund der vergleichsweise ungenauen Abstands- und Geschwindigkeitsermittlung nicht eingesetzt, zumal eine komplexe Auswertung der Daten erfolgen muss, die entsprechend hohe Systemanforderungen mit sich bringt.

Aufgrund des eingeschränkten Sensorsichtfeldes, das sich auf ein vorausfahrendes Fahrzeug in der eigenen Fahrspur konzentriert, sind heutige Systeme für den Einsatz auf Autobahnen und autobahnähnlichen Landstraßen ausgelegt. Als reine Komfortsysteme verzögern und beschleunigen sie nur in engen Grenzen und schalten sich zudem bei langsamen Geschwindigkeiten ab. Werden starke Verzögerungen zur Unfallvermeidung benötigt, muss der Fahrer eingreifen und das System überstimmen.

Eine deutliche Erweiterung auf Basis dieser ACC-Auslegung stellt das im Rahmen des nationalen Forschungsprojektes MoTiV (MObilität und Transport im Intermodalen Verkehr) entwickelte ACC für den Ballungsraum dar. Es erweitert den Einsatzbereich durch geeignete Regelstrategien, die den niedrigen Geschwindigkeitsbereich sowie den Stop and Go Verkehr berücksichtigen. Es soll den Fahrer in den stark belasteten Situationen im Stau oder im dichten Verkehr auf innerstädtischen Haupttrouten unterstützen. Hierzu wird eine Erweiterung der Umfeldsensorik notwendig, die auch versetzt fahrende Fahrzeuge im Nahbereich erfassen muss (Abb. 3-1).

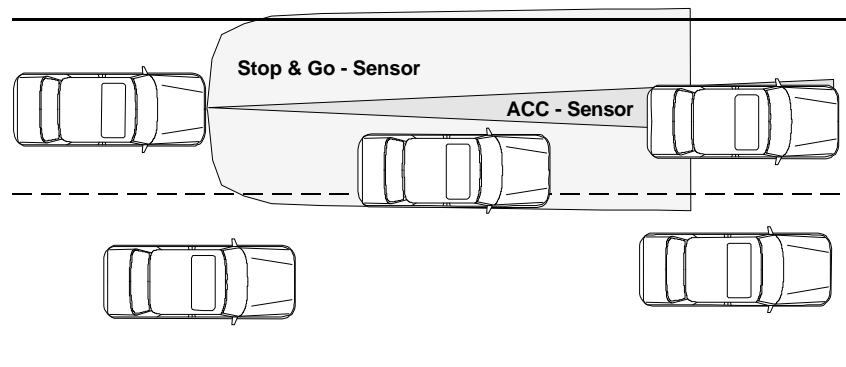


Abb. 3-1: Beispiel für Erfassungsprobleme bei einscherenden Fahrzeugen

Neben den längsdynamischen Fahrerassistenzsystemen sind auch Systeme für die Querverführung in der Entwicklung. So kann mit Hilfe eines Spurhalteassistenten dem Fahrer die Führung auf der Fahrspur erleichtert werden. Unter Einsatz eines Bildverarbeitungssystems werden dabei die Spurgrenzen ermittelt und die optimale Linienführung wird aus den Bewegungsdaten des Fahrzeugs bestimmt. Es besteht auch die Möglichkeit, die Position des Fahrzeugs auf der Straße mit Lasersensoren zu ermitteln, die das von Randmarkierungen reflektierte Licht auswerten. Je nach Strategie kann durch ein Moment im Lenkrad eine Rückmeldung über die optimale Spurführung an den Fahrer gegeben oder der Lenkwinkel direkt durch das System eingestellt werden [3,4].

Ein weiteres System zur Unterstützung des Fahrers bei der Fahrzeugquerführung befasst sich mit dem Spurwechsel. Das Spurwechseln stellt für den Fahrer eine hohe Beanspruchung dar. Er muss im Gegensatz zur Längsführung nicht nur das Führungsfahrzeug auf der eigenen Fahrspur, sondern den gesamten Verkehr vor und hinter dem Fahrzeug auf Fahr- und Zielspur berücksichtigen. Um dem Fahrer bei der Umfeldüberwachung zu helfen, wurde im Rahmen von MoTiV ein Spurwechselassistent entwickelt. Mit Hilfe geeigneter Sensorik werden Fahrzeuge im kritischen Bereich erkannt und die Fahrer durch optische (z. B. Leuchten im Außenspiegel), akustische oder haptische (z. B. Vibration des Blinkerhebels) Signale gewarnt. Ein sicherheitskritischer Spurwechsel kann auf diese Art verhindert werden.

Die Warnung vor möglichen Kollisionen durch Collision Warning Systems (CW) geht über die Unterstützung hinaus. Dazu müssen in die Umfelderkennung auch stehende Ziele aufgenommen werden. Die Situationsinterpretation wird durch die Sicherheitsrelevanz sehr komplex. Es sind dann unkritische Hindernisse, wie innerstädtisch parkende Autos, von gefährlichen wie plötzlich auftretenden Stauenden zu unterscheiden. Eingesetzt werden zu diesen Zweck sog. scannende Sensoren auf Radar- oder Lidarbasis, die einen großen Erfassungsbereich haben. Anhand ihrer Daten lassen sich Hindernisse erkennen und ihre Lage genau ermitteln. Das Bremsmanöver selbst ist von den Fahrern einzuleiten. Akustische und optische Warnungen fordern diese dazu auf. Aktuatoren, die die Fahrmanöver autonom durchführen, sind bei dieser Ausbaustufe nicht notwendig.

Diese findet ihren Einsatz bei der Erweiterung des CW zum automatischen Kollisionsvermeidungssystem (auch: Collision Avoidance = CA). Hierbei werden Brems- und Ausweichmanöver automatisch eingeleitet. Das bedeutet, dass eine automatische Bremsenansteuerung (z.B. durch einen elektronisch geregelten Bremsbooster, Brake-by-Wire-Systeme) notwendig wird. Die Funktionsweise der Bremse ist prinzipiell dieselbe wie beim ACC, nur dass beim CA mit maximaler Verzögerung bis in den Stillstand abgebremst werden muss.

Eine deutliche Erweiterung stellt die automatische Lenkung dar, die die Ausweichmanöver steuert. Eine aufgeschnittene Lenksäule, wie in Abb. 3-2 dargestellt, ist ebenso denkbar wie ein Steer-by-Wire-System.

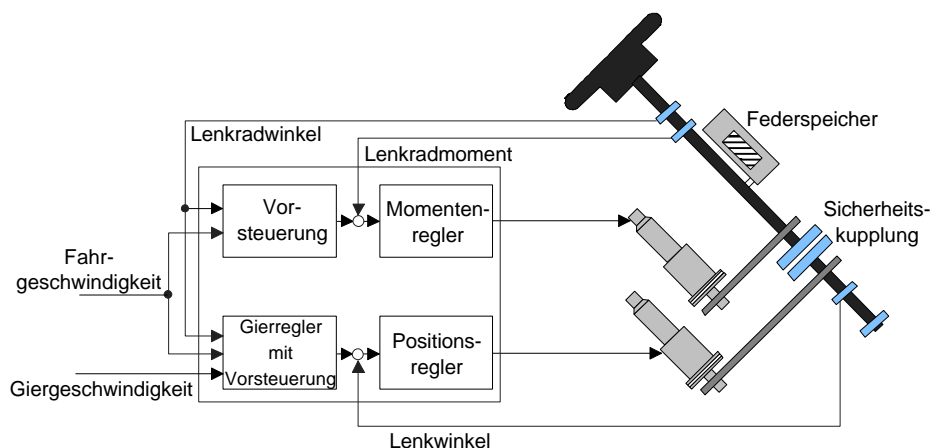


Abb. 3-2: Experimentalaufbau einer aktiven Lenkung nach [5]

Bedingt durch die autonome Durchführung von Notfallmanövern steigen die Anforderungen an die Situationsinterpretation und damit an die Umfeldsensorik. Hier kann auf Sensorfusion zurückgegriffen werden. Unter Sensorfusion ist die kombinierte Auswertung unterschiedlicher Sensordaten (z. B. aus Bildverarbeitung und Radar-/Lidarsensoren) zu verstehen, um auf eine möglichst breite Datenbasis zurückgreifen zu können. Über Bildverarbeitungssysteme ist es z.B. möglich, eine umfassende Analyse der Umgebung durchzuführen. Diese Informationen werden mit einem Radar- oder Lidarsensor verknüpft, der die genauen Bewegungsdaten der erkannten Objekte liefert.

Fahrzeuge, in denen die Funktion eines CW oder CA integriert ist, gibt es derzeit nur als Prototypen. So ist z. B. von Mitsubishi ein Advanced Safety Vehicle gebaut worden, das neben anderen Funktionen auch ein CA-System integriert hat [6]. Im europäischen Forschungsprojekt AC-Assist (Anti-Collision-Assist) sind verschiedene Untersuchungen von Fahrzeugen mit CW im Vergleich zu CA und ACC durchgeführt worden [7]. Abb. 3-3 zeigt die notwendigen Komponenten eines Fahrzeugs mit CA.

Ein anderes System, das Ziel zukünftiger Entwicklungen sein wird, ist das autonom fahrende Auto. Im Rahmen von PROMETHEUS ist ein solches Fahrzeug von Mercedes-Benz entwickelt worden. Das VITA II (Vision Technology Application) [8] genannte Fahrzeug ist mit insgesamt 10 Kameras zur Erfassung der Umgebung wie

auch der Straßenbeschilderung ausgerüstet worden. Über die Aktuatorik können Lenkradstellung, Lenkmoment, Beschleunigung, Verzögerung und Geschwindigkeit eingestellt werden. Ein autonomes Fahren ist mit diesem Prototyp bereits möglich. Die dabei eingesetzten Steuercomputer nehmen jedoch wegen der notwendigen hohen Rechenleistung den gesamten Kofferraum des auf einer S-Klasse basierenden Fahrzeugs ein. Dieses Fahrzeug zeigt eine zukünftig mögliche Realisierung der Vision des automatischen Fahrens.

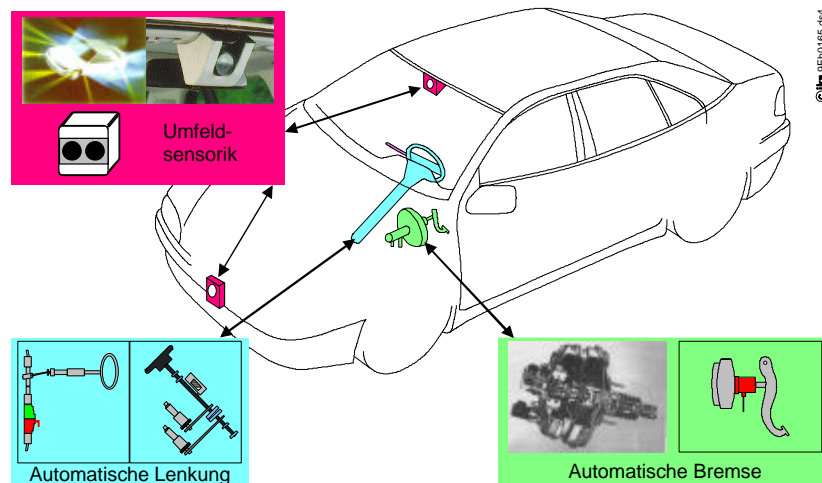


Bild 3-3: Komponenten einer CA

Insgesamt kann hier nur ein Überblick der vielversprechendsten Systeme gegeben werden. Die Entwicklungslinie der vorgestellten Systeme wird in Abb. 3-4 zusammengefasst.

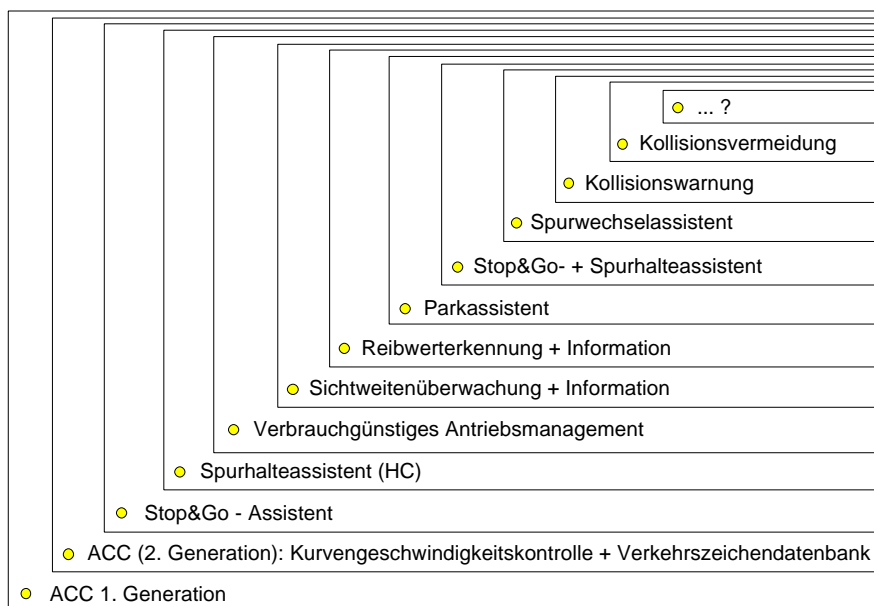


Abb. 3-4: Entwicklungslinie von Fahrerassistenzsystemen hin zum automatischen Fahren [9]

4 Bewertungsmethoden für Fahrerassistenzsysteme

Da neuartige Systeme in ihrer Wirkung auch andere Verkehrsteilnehmer beeinflussen können (z. B. durch Brems- und Ausweichmanöver), reicht eine ausschließliche Betrachtung der Systemsicherheit bei Neuentwicklungen nicht mehr aus. Auch rechtliche Rahmenbedingungen spielen eine Rolle. Dementsprechend sind Methoden zur Bewertung von System-, Interaktions- und Verkehrssicherheit im Folgenden aufgeführt. Die juristische Betrachtung wird an dieser Stelle nicht berücksichtigt, da in diesem Bereich in der nächsten Zeit umfangreiche Änderungen zu erwarten sind. Hier kann auf das europäische Forschungsprojekt RESPONSE verwiesen werden.

4.1 Systemsicherheit

Hochentwickelte Fahrerassistenzsysteme greifen über ihre Aktuatorik und Sensorik in die Fahrzeugführung ein. Je umfangreicher die Funktionen sind, um so mehr Komponenten muss ein solches System ansteuern. Bei Sicherheitssystemen wie z. B. der aktiven Kollisionsvermeidung müssen Ausfälle einzelner Komponenten vermieden werden. Gefährliche Fahrsituationen können deren Folge sein. Bereits in der frühen Entwicklungsphase ist zu berücksichtigen, dass ein hohes Maß an Systemsicherheit gewährleistet werden muss.

Potentielle Schwachstellen können zu frühen Zeitpunkten bereits durch eine umfangreiche Systemanalyse aufgedeckt werden. Dazu müssen zunächst alle Komponenten des Gesamtsystems mit ihren Funktionalitäten analysiert werden.

Um mögliche Ausfallkombinationen von Teilsystemen identifizieren zu können, kann auf die Fehlerbaumanalyse zurückgegriffen werden. Ausgehend von der Definition eines unerwünschten Ereignisses werden in der Baumstruktur die relevanten Bauteilausfälle aufgezeigt. Dabei werden in jeder Ebene von einer Baugruppe hin zu den einzelnen Bauteilen immer detailliertere Betrachtungen angestellt. Belegt man jeden Ast des Fehlerbaumes mit Kennziffern, lassen sich Auftretenswahrscheinlichkeiten des unerwünschten Ereignisses ermitteln. Diesem Vorteil der systematischen Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten steht der große Aufwand bei der Erstellung eines Fehlerbaumes für ein derart komplexes System wie ein Fahrerassistenzsystem gegenüber.

Eine weitere häufig eingesetzte Methode zur frühzeitigen Erkennung und Analyse von potenziellen Ausfallursachen ist die Fehler-Möglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA). Vereinfacht dargestellt werden für die einzelnen zu bestimmenden Komponenten Beschreibungen der Funktionen, Merkmale, Fehlerarten, Fehlerursachen und -auswirkungen zur Fehlervermeidung sowie –entdeckung angegeben. Eine Risikobewertung der Fehler erfolgt über eine Risikoprioritätszahl, die aus Schwere der Auswirkung, Ausfallwahrscheinlichkeit und Entdeckungswahrscheinlichkeit ermittelt wird. Durch die Beschreibung möglicher Systemausfälle und ihrer Folgen lässt sich die Schwere eines solchen Ausfalls erfassen und je nach Detaillierungsgrad

auch quantifizieren. Nachteilig ist der für den hohen Detaillierungsgrad notwendige große Zeitaufwand. Sind Prototypen einzelner Baugruppen vorhanden, können sie durch geeignete Testverfahren bewertet werden. Ein solches Verfahren für ACC-Sensoren stellt der an der fka mit einem Industriekonsortium entwickelte Test dar, der in [10] ausführlich beschrieben wird.

Trotz dieser Analyse- und Bewertungswerkzeuge ist es notwendig, bereits bei der Entwicklung Notfallstrategien für Bauteil- und daraus folgende Systemausfälle vorzusehen. Das System muss durch geeignete Prüfmechanismen selbständig erkennen, welche Baugruppen fehlerhaft arbeiten. In Notlaufprogrammen sind dann die Funktionen – soweit möglich – durch andere Bauteile zu übernehmen.

Die Notwendigkeit von redundanten Systemauslegungen ist von der sicherheitskritischen Bewertung der Baugruppen abhängig. So ist z. B. eine redundante Auslegung von Abstandssensoren bei ACC-Systemen, die Komfortsysteme darstellen, nicht notwendig und aus Kostengründen auch nicht sinnvoll. Bei einer solchen Systemauslegung behalten die Fahrer auch bei Ausfällen die Möglichkeit der Fahrzeugführung. Ein Ausfall geht lediglich mit einer Komfortverschlechterung einher und ist nicht sicherheitskritisch. Dagegen wäre die Baugruppe der Umfeldsensorik bei automatischen Kollisionsvermeidungen sicherheitsrelevant. Redundanzen sind hier unumgänglich.

4.2 Mensch-Maschine-Interaktion

Von der Information über den Eingriff bis hin zur vollständigen Fahrzeugsteuerung sind zukünftige Systeme in der Lage, den Fahrer zu unterstützen. Die Interaktionen zwischen Mensch und System werden immer wichtiger und zunehmend komplexer.

Es ist unumstritten, dass dem visuellen Kanal bei der Bewältigung der primären Fahraufgabe eine herausragende Bedeutung zukommt (vgl. [11]). Unter dem Gesichtspunkt der Interaktionssicherheit besteht daher eine wesentliche Forderung darin, dass durch Informationsangebote im Fahrzeug keine sicherheitskritischen Ablenkungen der visuellen Aufmerksamkeit von der Fahrbahn, d. h. der primären Fahraufgabe erfolgen dürfen (vgl. [12]). Darüber hinaus müssen Informationen den Fahrern derart aufbereitet zur Verfügung gestellt werden, dass keine Ablenkung von der eigentlichen Fahraufgabe entsteht. Informationsüberlastung sowie zu großer Instrumentenbezug sind zu vermeiden.

In diesem Zusammenhang ist das European Statement of Principles on Human Machine Interface for In-Vehicle Information and Communications Systems formuliert worden [13]. [14] zählt die kritischen Themenbereiche auf, die dort behandelt werden:

- Wie sind Design und Platzierung von Informations- und Kommunikationssystemen auszuführen, damit ihre Nutzung vereinbar mit der Fahraufgabe ist?
- Wie ist die Information aufzuarbeiten, um den visuellen Bezug zur Verkehrsumgebung nicht zu verschlechtern?
- Wie ist die Interaktion zu gestalten, damit die Fahrer sicher das Fahrzeug führen können und auf unerwartete Situationen reagieren können?

Zur Beantwortung dieser Fragen sind mehrere Ziele definiert worden, die nicht durch Entwicklungshemmnisse oder Zwänge innovative Produktentwicklungen behindern. Sie beziehen sich auf die Gesamtgestaltung, die Anbringung, die Informationspräsentation, die Interaktion mit Display und Einstellelementen, dem Systemverhalten und der Informationen über das System z. B. in der Bedienungsanleitung.

Bei der Forderung nach der benutzergerechten Gestaltung der Interaktion werden beispielsweise folgende Forderungen aufgestellt:

- Die Fahrer müssen während der Interaktion mit dem System mindestens eine Hand am Steuer des Fahrzeugs lassen können.
- Sprachbasierte Kommunikationssysteme sollen sowohl beim Sprechen wie auch beim Zuhören keine Eingabe mit der Hand verlangen.
- Das System sollte keine lange oder ununterbrechbare Interaktionen verlangen.

Um die dargestellten Anforderungen bereits frühzeitig während der Entwicklung überprüfen zu können, bieten sich unterschiedliche Vorgehensweisen an. Zunächst können bereits in einem sehr frühen Entwicklungsstadium Laborexperimente eingesetzt werden. So können geplante Teilfunktionen abgebildet und in ihrer Auswirkung bewertet werden. Weiterhin ist der Einsatz von Checklisten ein mögliches Mittel bereits frühzeitig durch gezieltes Befragen von Probanden die Funktionsweise von Systemen zu bewerten. [15]

Zudem kann die Funktionalität des Systems in einem Fahrsimulator abgebildet werden. Durch Versuche in diesem Simulator sind ohne jede Gefährdung erste Betrachtungen der Mensch-Maschine-Schnittstelle auch in Gefahrensituationen möglich. [16]

Sind diese Versuche vielversprechend, besteht die Möglichkeit, die Untersuchungen mit einem Prototypen auf abgesperrten Teststrecken durchzuführen. Nach Abschluss dieser Tests können Feldversuche auf öffentlichen Straßen folgen, die den realen Einsatz am besten widerspiegeln.

4.3 Bewertung der verkehrlichen Auswirkungen

Die verkehrlichen Auswirkungen von Fahrerassistenzsystemen können bereits in der frühen Entwicklungsphase mit Hilfe von Simulationsprogrammen abgeschätzt werden. Zu diesem Zweck existieren mikroskopische Verkehrsflusssimulationsprogramme, die die einzelnen Fahrer – Fahrzeug – Einheiten nachbilden. Ein solches Programm stellt das von ika/fka in Zusammenarbeit mit der BMW AG entwickelte PELOPS dar. PELOPS orientiert sich in seinem modulartigen Aufbau an den Elementen des Verkehrs: Fahrer, Fahrzeug und Umwelt. (Abb. 4-1)

Durch eine sehr detaillierte Streckenabbildung mit den notwendigen geometrischen Parametern wie Steigung, Kurvigkeit und Spurbreite und der möglichen Beschilderung kann die Umgebung realistisch beschrieben werden.



Abb. 4-1: Modulstruktur von PELOPS

In einem komplexen Fahrermodell werden die Wunschgrößen für jeden Fahrzustand ermittelt. Dabei werden Folge- und Spurwechselvorgänge unterschieden. Die Folgevorgänge sind bestimmt durch die Wahrnehmungsfähigkeit der Fahrer und die motorische Genauigkeit, den gewünschten Abstand durch Gaspedal und Bremse einzustellen. Beim Spurwechseln bildet der Fahrer situationsabhängig über den Fahrverlauf eine Zufriedenheit auf der aktuellen Spur, die mit der auf den Nachbarspuren möglichen verglichen wird. Ist die Zufriedenheit auf einer anderen Spur größer, wird die Spur - wenn möglich – gewechselt. [17]

Zu diesen detaillierten Modellen kommt die Abbildung des Fahrzeugs. Hier wird der Antriebsstrang nach dem Ursache-Wirkungs-Prinzip abgebildet [18]. Motorkennfelder

erlauben die Ermittlung von Emissionen und Verbräuchen. Diese realitätsnahe Darstellung ermöglicht zudem die Abbildung von Fahrerassistenzsystemen wie z. B. dem ACC mit unterschiedlichen Reglern.

Mit Hilfe von PELOPS können für ausgewählte Streckenabschnitte sowohl innerstädtisch als auch auf Außerortsstraßen die Auswirkungen von verschiedenen Ausrüstungsgraden ausgewählter Fahrerassistenzsysteme untersucht werden. Beispielsweise ist im Rahmen des MoTiV Teilprojektes ACC im Ballungsraum der Einfluss verschiedener Reglerauslegungen auf den Verkehrsablauf bewertet worden.

Durch die Möglichkeit, Szenarien am Computer einfach zu variieren, lassen sich Aussagen über Wirkungen treffen, die anhand von Feldversuchen nicht zu erzielen sind. Die für Untersuchungen notwendige Fahrzeuganzahl bei hohen Ausrüstungsgraden ist in der Praxis nicht aufzubringen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Heutige Fahrerassistenzsysteme informieren (z. B. Navigation) und unterstützen den Fahrer durch Eingriff in die Fahrzeugsteuerung (z. B. ACC). Weiterentwicklungen bis hin zur Kollisionsvermeidung oder sogar dem automatischen Fahren werden die Fahrer immer mehr entlasten. Da diese Systeme Einfluss auf das Fahrerverhalten und damit auch auf die Verkehrssituationen haben, sind zusätzlich zu der Systemsicherheit auch die Interaktions- und Verkehrssicherheit – auch bei möglichen Systemausfällen - neuartiger Systeme während der Entwicklung zu berücksichtigen. Aufgrund der Komplexität der Systeme sind die Fahrer über den Funktionsumfang umfangreich zu informieren.

Bewertungen der Systemsicherheit sind mit Fehler-Möglichkeits- und Einflussanalyse, Fehlerbaumanalyse und Hardware-in-the-loop Tests möglich. Beurteilungen der Mensch-Maschine-Interaktion können mit Hilfe von Fahrsimulatoren und Feldtests erfolgen. Abschätzungen der verkehrlichen Auswirkungen können mit Verkehrsflusssimulationsprogrammen und Untersuchungen im fließenden Verkehr durchgeführt werden. (vgl. auch [19]) Diese Maßnahmen eignen sich neben der Aufdeckung möglicher Schwachstellen auch für die Entwicklung von Vorsorgemaßnahmen gegen Systemausfälle.

Aufgrund steigender Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen gewinnt deren Bewertung schon während der Entwicklungsphase immer weiter an Bedeutung. Mögliche Vorgehensweisen sind in diesem Beitrag vorgestellt worden.

6 Literatur

- [1] DONGES, E.
Ein regelungstechnisches Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens im Kraftfahrzeug
Zeitschrift für Verkehrssicherheit 24
1978
- [2] HUININK, H.
Der Reifen weiß am besten, wo es langgeht
Internetseite der Continental AG
Hannover, 2000
- [3] REICHART, G.; HALLER, R.
Mehr aktive Sicherheit durch neue Systeme für Fahrzeug und Straßenverkehr
In: Autofahrer und Verkehrssituation, Hrsg. W. Fastenmeier
Verlag TÜV Rheinland
Köln, 1995
- [4] MEHRING, S.; FRANKE, U.; SUISSA, A.
Optische Spurhaltung – Eine Unterstützung des Fahrers bei der Lenkaufgabe
Automatisierungstechnik, Heft 5
1996
- [5] ACKERMANN, J. et al.
Fahrsicherheit durch robuste Lenkregelung
Automatisierungstechnik, Heft 5
1996
- [6] MIMURO, T.; MIICHI, Y.; MAEMURA, T.; HAYAFUNE, K.
Mitsubishi Advanced Safety Vehicle (ASV)
Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Transport Systems
Berlin, 1997
- [7] BECKER, S.
Experimentelle Analyse von Anwenderbedürfnissen innerhalb der Entwicklung von Fahrerunterstützungssystemen
VDI Berichte 1317
Düsseldorf, 1997
- [8] ULMER, B.
Autonomous Automated Driving in real Traffic
Proceedings of the First World Congress on Applications of Transport Telematics and Intelligent Vehicle Highway Systems, Band 4
Paris, 1994

-
- [9] NAAB, K.
Driver Assistance in Longitudinal and Lateral Vehicle Guidance
EUROMOTOR Seminar on Telematic / Vehicle and Environment
Hrsg.: H. Wallentowitz
Aachen, 1999
- [10] DOMSCH, C.; NEUNZIG, D.
Werkzeuge und Testverfahren zur Entwicklung und Analyse von ACC-Systemen
9. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik
Aachen, 2000
- [11] SIVAK, M.
The information that drivers use: Is it indeed 90 % visual?
Perception, 25, p. 1081-1091
1996
- [12] SPRENGER, A.
Ablenkung durch MMI-Lösungen: Der Blick zu Instrumenten als Unfallursache.
In: F. Meyer-Gramcko (Hrsg.), Verkehrspsychologie auf neuen Wegen:
Herausforderungen von Strasse, Wasser, Luft und Schiene (pp. 148-156)
Deutscher Psychologen Verlag
Bonn, 1999
- [13] N.N.
European Statement of Principles on Human Machine Interface for In-Vehicle
Information and Communication Systems
Task Force HMI
EUROPEAN COMMISSION DG XIII
Brüssel, 1998
- [14] HALLER, R.
HMI – New Technologies and Safety Perspectives
Proceedings of the 10th International Conference “Traffic Safety on Two
Continents”
Malmö, 1999
- [15] BUBB, H.; JASTRZEBSKA-FRACZEK, I.
Systemergonomische Bewertung von Mensch-Maschine-Schnittstellen
In: K.-P. Timpe, H.-P. Willumeit, H. Kolrep (Hrsg.), Bewertung von Mensch-
Maschine-Systemen, 3. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme
VDI Fortschritt Berichte Reihe 22 Nr. 1
Düsseldorf, 2000

- [16] N. N.
Projekt ASA, Abbiege- und Spurwechselassistentz
Kurzdarstellung MoTiV-ASA
Bundesministerium für Bildung und Forschung
2000

- [17] HOCHSTÄDTER, A.; ZAHN, P.; BREUER, K.
Ein universelles Fahrermodell mit den Einsatzbeispielen Verkehrssimulation
und Fahrsimulator
9. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik
Aachen, 2000

- [18] LUDMANN, J.; DIEKAMP, R.; LERNER, G.
PELOPS Ein Programmsystem zur Untersuchung neuer Längsdynamik-
konzepte im Verkehrsfluß
VDI-Berichte 1007
Düsseldorf, 1992

- [19] EHMANN, D.; WALLENTOWITZ, H.
Automatic Collision Avoidance as an Example for Intelligent Car Safety
Systems
Latest Developments in Intelligent Car Safety Systems
London, 1999