



# Ein fortgeschrittenes Kollisionsvermeidungssystem

Fahrerassistenzsysteme haben wesentlich zur Erhöhung der Fahrzeugsicherheit beigetragen. Langfristiges Ziel dieser Entwicklungen stellen Kollisionsvermeidungssysteme dar. In Zusammenarbeit zwischen der Volkswagen AG und der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg entstand im Rahmen des Invent-Projektes ein System, das autonom Brems- oder Ausweichmanöver ausführen kann.

## 1 Einleitung

Die Entwicklung der aktiven und passiven Fahrzeugsicherheit hat in den letzten Jahrzehnten einen erheblichen Anstieg der Verkehrssicherheit bewirkt [1]. Die Zahl der bei Unfällen getöteten Personen ging dadurch von 1970 bis 2002 trotz einer Verdreifachung des Fahrzeugbestandes um 68 % zurück. Eine Untersuchung der Unfallursachen belegt hierbei [2], dass in über 90 % aller Fälle menschliches Versagen einen Unfall verursacht. Diese Erkenntnis führt zur Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen, die in Zukunft bis hin zu einem elektronischen Copiloten führen können. Diese Form eines virtuellen Beifahrers warnt in kritischen Situationen oder übernimmt autonom bestimmte Fahrzeugführungsaufgaben. Erfahrungen auf dem Gebiet der autonomen Fahrzeugführung hat die Volkswagen AG mit mehreren Projektpartnern aus Forschung und Industrie in dem mit Mitteln des Landes Niedersachsen geförderten Projekt „Autonomes Fahren“ gewinnen können [3]. Hier sind auch verschiedene Ansätze für einen elektronischen Copiloten erprobt worden, die eine Grundlage für das langfristige Entwicklungsziel eines Kollisionsvermeidungssystems darstellen.

Aus dieser Motivation heraus entstand in Zusammenarbeit zwischen der Volkswagen AG und dem Institut für Automatisierungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg die Idee eines Advanced Collision Avoidance Systems (ACA). Dieses umfasst folgende Eigenschaften:

- Zur Informationsgewinnung wird ein Fahrumgebungserfassungssystem eingesetzt, das mittels einer Datenfusion aus Sensordaten ein konsistentes, digitales Lagebild erzeugt.

- Die statistische Unfallanalyse weist gut ausgebaute Bundes- und Landstraßen sowie Autobahnen als relevante Verkehrsumgebung aus. Wenn in einer solchen Umgebung eine Kollision droht, ohne dass der Fahrer auf geeignete Weise reagiert, soll das System autonom im Sinne eines Notsystems zum letztmöglichen Zeitpunkt eingreifen.

- Der diesbezügliche Eingriff hat so zu erfolgen, dass ein Unfall fahrphysikalisch gerade noch ausgeschlossen werden kann.

- Das damit verbundene Manöver endet mit dem Fahrzeugstillstand.

- Die aufgezeigten Anforderungen lassen sich durch Brems- oder Ausweichmanöver realisieren, bei denen die Eingriffe Lenken und Bremsen gleichzeitig stattfinden. Aus Sicherheitsaspekten bleiben fahrzeuginterne Funktionen wie ABS oder ESP weiter dominant.

- Um keine Verschlechterung der eigenen Situation oder der anderer Verkehrsteilnehmer infolge eines ACA-Manövers hervorzurufen, müssen Ereignisse wie das Abkommen von der Fahrbahn oder Folgekollisionen ausgeschlossen werden.

## 2 Versuchsträger, Sensordatenfusion und Umfeldmodell

Aus den bisher geschilderten Eigenschaften wird der hohe Informationsbedarf für das ACA deutlich. Die Konsequenz besteht im Einsatz einer Kombination verschiedener Sensorarten und einer Bündelung ihrer Möglichkeiten in Form einer Sensordatenfusion. Dies ermöglicht die ganzheitliche Betrachtung der Fahrumgebung sowie die Erzeugung eines konsistenten Lagebildes [4, 5].

Die verwendete Sensordatenfusion wird von der Volkswagen AG im Rahmen des BMBF-Förderprojekts „Invent“ (Intelligenter Verkehr und nutzergerechte Technik) entwickelt, an dem 24 deutsche Automobilhersteller und Zulieferer beteiligt sind.

**Bild 1** zeigt den eingesetzten Versuchsträger. Die Umfeldwahrnehmung basiert auf einem 77-GHz-Fernbereichsradar aus der ACC-Anwendung, einem Laserscanner, einem Mono-Visionssystem sowie der Fahrzeugsensorik. Deren Messdaten werden vorverarbeitet und gelangen asynchron über ein CAN-Netzwerk zum Umfeldserver, **Bild 2**. Die eingehenden Informationen

## Die Autoren



Dr.-Ing. Alexander Kirchner ist in der Volkswagen-Elektro-nikforschung in Wolfsburg tätig und verantwortet den Bereich

Umfeldwahrnehmung für Fahrerassistenzsysteme.



Prof. Dr.-Ing. Klaus Krüger ist am Institut für Automatisierungstechnik der Helmut-Schmidt-

Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg Professor für Prozessdatenverarbeitung.



Oberstleutnant Dr.-Ing. Frank Mildner war Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Automatisierungstechnik an der Helmut-

Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg und ist heute an der Technischen Schule des Heeres in Aachen tätig.



Dr.-Ing. Rolf Schmidt ist zuständig für Forschungsaktivitäten im Bereich Elektronik bei der Volkswagen Group Japan.

## 2 Versuchsträger, Sensordatenfusion und Umfeldmodell



**Bild 1:** Versuchsträger für automatische Unfallvermeidung mit Sensorik zur Umfeldwahrnehmung und Lenkaktuatorik

*Figure 1: Experimental vehicle for automatic accident avoidance with sensors for evaluating the environment and steering actuators*

werden dort zunächst zeitlich richtig sortiert und anschließend über Sensormodelle einer ereignisgesteuerten Sensordatenfusion zugeführt. Nach jeder neuen Messung erfolgt die Fusion der Daten mit Hilfe eines adaptiven, erweiterten Kalman-Filters. Ergebnis ist das Umfeldmodell, welches die Fahrzeuge und die Fahrbahn der lokalen Verkehrssituation enthält.

In der darauf aufbauenden Klassifikation werden die erfassten Objekte hinsichtlich ihrer Bewegungen klassifiziert, um ihre Dynamik optimal und wirklichkeitsnah zu beschreiben. Zu diesem Zweck wird jedem Objekt jeweils ein Dynamikmodell zugeordnet, das zum Beispiel stationär oder bewegt sein kann. Mittels statistischer Tests wird die aktuelle Klassifizierung laufend überprüft und bei Bedarf ein Modellwechsel durchgeführt [6].

Das nun klassifizierte Umfeldmodell, wird schließlich an die Fahrerassistenzapplikationen gesendet und dort weiterverarbeitet.

Basis der Fahrbahnbeschreibung des Umfeldmodells ist das in der Mitte des eigenen Fahrstreifens befindliche, fahrbahn-feste, aber mit dem eigenen Fahrzeug mitbewegte Koordinatensystem. Die anderen Fahrstreifen schließen sich hieran an und besitzen den gleichen Verlauf.

Das Fahrzeug und die Objekte werden im Umfeldmodell als Quader modelliert, deren Lage relativ zum Fahrbahnkoordinatensystem festgelegt ist. Dazu besitzen sie jeweils ein eigenes körperfestes Koordinatensystem. Neben dieser geometrischen Beschreibung verfügen beide je nach Dynamikmodell über charakteristische kinematische Eigenschaften.

In Verbindung mit den bekannten und feststehenden technischen Daten des Fahrzeugs stellt das beschriebene Umfeldmodell die verfügbare Datenbasis für das vorzustellende Kollisionsvermeidungssystem dar.

Wenn ein Kollisionsvermeidungsmanöver ausgeführt werden soll, gibt das System entsprechende Stell- und Regelgrößen an die Brems- und Lenk-Aktuatorik weiter, die das zu realisierende Manöver umsetzt [7]. Das Manöver endet mit dem Fahrzeugstillstand, so dass der Fahrer nach einer angemessenen Zeitspanne die Fahrzeugführung sicher übernehmen kann.

### 3 Modul „Kollisionserkennung“

Die logische Abfolge von Maßnahmen ausgehend von einer Verkehrssituation bis hin zum eigentlichen ACA-Manöver wird in die Phasen Kollisionserkennung, Planung der Kollisionsvermeidung und schließlich Ausführung aufgeteilt.

## 2 Versuchsträger, Sensordatenfusion und Umfeldmodell

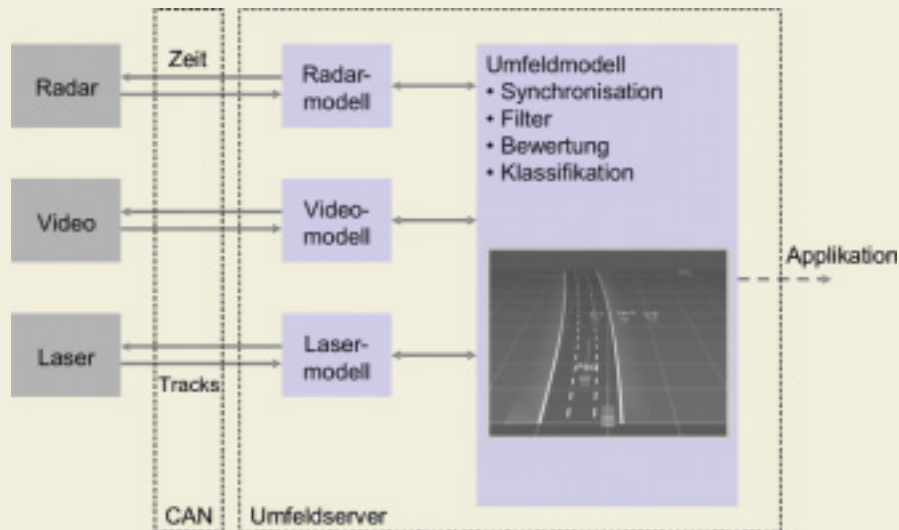


Bild 2: Architektur der Umfeldwahrnehmung bestehend aus Sensoren und Umfeldserver

Figure 2: Environment evaluation architecture consisting of sensors and the environment server

## 3.2 Kollisionswahrscheinlichkeit

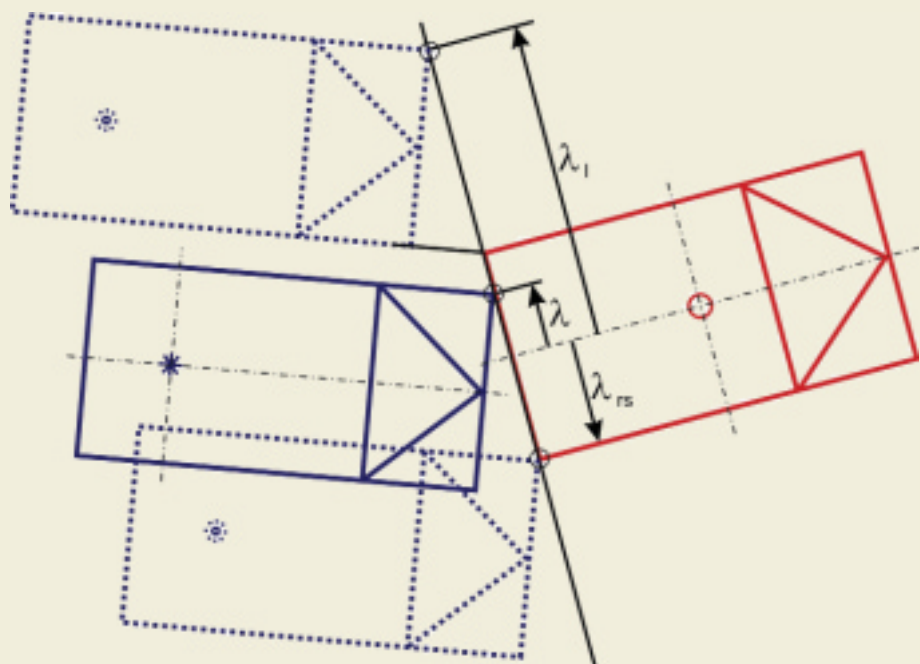


Bild 3: Definition des Kollisionsbereichs/-intervalls

Figure 3: Definition of the collision area/interval



### 3.1 Modellbildung und Kollisionserkennung

Die Notwendigkeit einer Kollisionsanalyse bedingt dabei die Entwicklung geeigneter Modelle für das eigene Fahrzeug und die Objekte. Diese ergeben sich aus den Zustandsgrößen des Umfeldmodells, wobei das Bewegungsverhalten entweder auf rein kinematischen Größen basiert oder im Einklang mit dem Verhalten realer Verkehrsteilnehmer an den gegebenen Straßenverlauf gebunden ist.

Mit diesen Voraussetzungen lässt sich für alle möglichen Kombinationen „Fahrzeug – Objekt“ feststellen, ob eine Kollision eintritt. Dieser Zustand gilt dann als gegeben, wenn es zu einer Berührung von Fahrzeugecke und Objektkante oder umgekehrt kommen kann.

Mit den sich ergebenden Größen Kollisionszeit und -ort in Form einer Ablage  $\lambda$  ist die jeweilige Kollisionssituation eindeutig festgelegt.

### 3.2 Kollisionswahrscheinlichkeit

Da die berechneten Kollisionsparameter auf Messwerten basieren, sind sie mit Unsicherheiten behaftet, was zu einem falschen Auslösen des Systems führen kann. Dieser Umstand erfordert die Einführung eines Maßes für das Kollisionsrisiko, die Kollisionswahrscheinlichkeit.

**Bild 3** stellt eine zu erwartende Kollisionssituation am Beispiel der Paarung „vordere linke Fahrzeugecke – Objekthinterkante“ dar. Die Ablage  $\lambda$  besitzt hierbei den Charakter eines Erwartungswertes. Dieser Zustand der Kollisionspaarung ist solange gegeben, wie es zu einer ganz oder teilweise stattfindenden Überdeckung der gegenüberliegenden Kanten, hier Fahrzeugfront und Objekthinterkante, kommt. Das Ergebnis dieser Überlegungen bilden die gestrichelt dargestellten Positionen des Fahrzeugs, zu denen jeweils ein linkes und rechtes  $\lambda$  ( $\lambda_l$  und  $\lambda_{rs}$ ) gehört.

Die Zustandsgrößen des Umfeldmodells werden als normalverteilt angenommen. Darüber hinaus ergeben sich neben den Erwartungswerten die zugehörigen Standardabweichungen. Somit lässt sich die Kollisionswahrscheinlichkeit entsprechend Gl. (1) ermitteln.

$$p_{kol} = P(\lambda \in [\lambda_l, \lambda_{rs}]) \quad \text{Gl. (1)}$$

Damit liegt als dritte wesentliche Kenngröße neben Kollisionszeit und -ort die Kollisionswahrscheinlichkeit vor. Die Kollisionszeit und -wahrscheinlichkeit ermöglichen es dem System, zum einen aus mehreren Objekten das Kritische herauszufiltern und zum anderen nur auf solche Ereignisse zu reagieren, bei denen ein Zu-

sammenstoß hinreichend gesichert stattfindet.

## 4 Modul „Planung der Kollisionsvermeidung“

### 4.1 Kraftschlusspotenzial und Hierarchie der Kräfte

Wie zu Beginn postuliert, soll das zu planende Manöver den Charakter eines Notmanövers besitzen und im fahrphysikalischen



schen Grenzbereich dimensioniert werden. Dies bedeutet bestmögliches Ausschöpfen der verfügbaren Haftung für die Längs- und Querkraft, ohne sie zu überschreiten. Die zugehörigen Kraftschlussbedingungen werden durch den so genannten Kamm'schen Kreis beschrieben [8], der in der Realität die Form einer geschwindigkeitsabhängigen Ellipse mit der Stauchung  $\kappa$  besitzt.

Da der Kreis im Prinzip eine Ungleichung beinhaltet, muss festgelegt werden, welche der beiden Kräfte dominant sein soll. Hierzu analysiert man mögliche Folgen bei Überschreiten der Kraftschlussgrenze. Dabei stellt sich heraus, dass es günstiger ist, die Querkraft vorrangig zu bedienen. Das gemäß Gl. (2) verbleibende Potenzial kann dann für die Längsverzögerung eingesetzt werden.

$$a_x = \sqrt{(\mu \cdot g)^2 - \left(\frac{a_y}{\kappa}\right)^2} \quad \text{Gl. (2)}$$

### 4.2 Ausweichmanöver

Neben der Möglichkeit des Bremsens stellen Ausweichmanöver die zweite Option zur Kollisionsvermeidung dar. Während das Fahrzeug beim Bremsen auf seiner präzisierten Trajektorie verbleibt, **Bild 4**, soll es beim Ausweichen zusätzlich um einen gewissen seitlichen Versatz nach links beziehungsweise rechts geführt werden. Die Ausweichtrajektorie soll dem Fahrzeug ein sicheres Passieren des Objektes ermöglichen, was in Verbindung mit der Parallelität von Lenken und Bremsen hohe Anforderungen an die Fahrdynamik stellt. Die Ausweichbreite hängt neben den geometrischen Abmessungen der Kollisionspartner in hohem Maß von der Kollisionskonstellation und damit auch von der Fahrbahnkrümmung ab. Zusätzlich gehen ein lateraler Sicherheitsabstand sowie die Relativbewegung des Objektes während der Vorbeifahrt in die Kalkulation mit ein. Aus Sicherheitsgründen muss dieser Zielzustand hergestellt sein, wenn sich die Fahr-

### 4.2 Ausweichmanöver

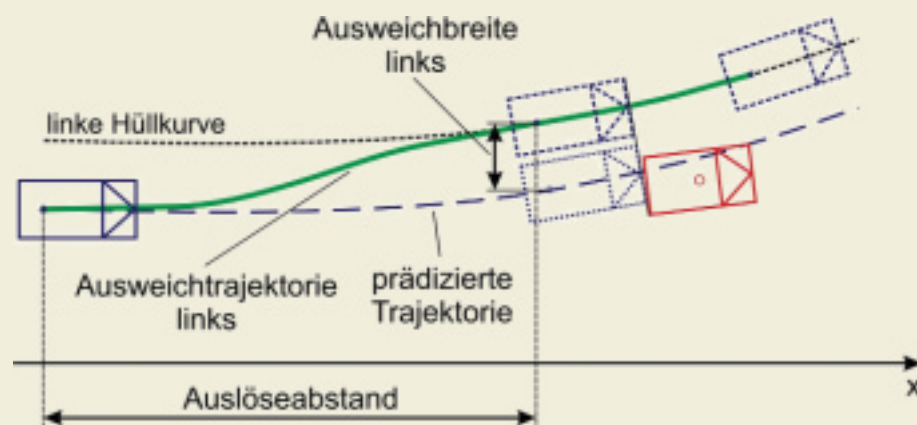


Bild 4: Ausweichmanöver  
Figure 4: Avoidance manoeuvre

zeugfront auf Höhe der zugewandten Objektkante befindet. Dies definiert den zeitlichen und räumlichen Auslösezustand.

Wenn dieser Versatz hergestellt ist, muss er auf der sich anschließenden Teilstrecke gehalten werden. Aufgrund der Bewegungsanbindung an den Fahrbahnverlauf entspricht dieser Abschnitt einer in y-Richtung verschobenen Fahrbahnmittellinie, linke beziehungsweise rechte Hüllkurve genannt.

Während des gesamten Prozesses soll das Fahrzeug parallel in Abstimmung mit dem auftretenden Querkraftbedarf verzögert werden. Hierbei fließen Fahrwiderstände in die Gesamtverzögerung ein. Das Manöver endet schließlich mit dem im Bild markierten Fahrzeugstillstand.

Im Gegensatz zu früheren Arbeiten [9] löst der gewählte Ansatz die Aufgabe von Seiten der Querdynamik. Das heißt, es wird ein definiertes Querbeschleunigungsprofil vorgegeben und daraus die gesuchte Trajektorie entwickelt. Dieses Profil soll im Wesentlichen

- einen stetigen Verlauf besitzen, um Lenkwinkelsprünge und damit Instabilitäten auszuschließen
- eine maximal zulässige, geschwindigkeitsabhängige Querbeschleunigung nicht überschreiten und
- ein angenähert zeitoptimales Verhalten besitzen.

Diese Bedingungen werden durch die Sinusfunktion erfüllt. Daraus ergibt sich eine inhomogene, nichtlineare Differenzialgleichung 2. Ordnung, Gl. (3), deren vollständige Lösung ein Polynom 5. Ordnung als Bahntrajektorie beinhaltet. Damit hängt die Trajektorie  $y(x)$  hauptsächlich von der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_x$ , der maximal

zulässigen Querbeschleunigung  $a_{y,max}$  sowie der Ausweichbreite ab.

$$a_y(x) = v_x^2(x) \cdot \frac{y''(x)}{\sqrt{1 + (y'(x))^2}} = a_{y,max} \cdot \sin(c \cdot x) \quad \text{Gl. (3)}$$

Hierdurch ist sowohl die Ausweichbahn als auch das Querbeschleunigungsprofil mit den zugehörigen Maximalgrenzen eindeutig bestimmt, vgl. Beispiel in **Bild 5**.

Um nun das Kraftschlusspotenzial auszuschöpfen, müsste für die parallel erfolgende Längsverzögerung die theoretische

Längsverzögerung vorgegeben werden. Dies impliziert gleichzeitig den kürzestmöglichen Anhalteweg. Unter den gegebenen Randbedingungen war eine kontinuierliche Anpassung des Bremsdrucks nicht praktikabel. Daher wurde eine segmentweise Anhebung der Soll-Längsverzögerung gewählt. Das erste Segment erstreckt sich vom Startpunkt des Manövers bis zum Wendepunkt der Ausweichtrajektorie. Infolge der Abbremsung verringert sich die Fahrzeuggeschwindigkeit ständig und somit auch die Lateralbeschleunigung im Segment II, das vom Wendepunkt bis zum

## 4.2 Ausweichmanöver

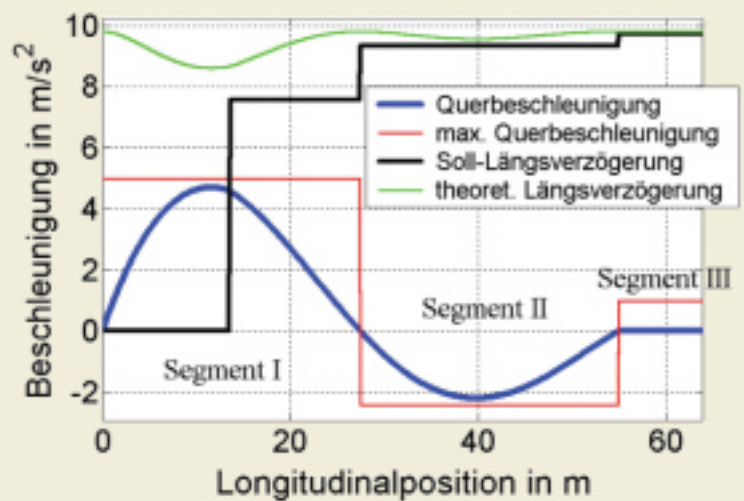


Bild 5: Kopplung von Querbeschleunigung und Längsverzögerung

Figure 5: Link between lateral acceleration and longitudinal deceleration

## 5. Ergebnisse und Erkenntnisse

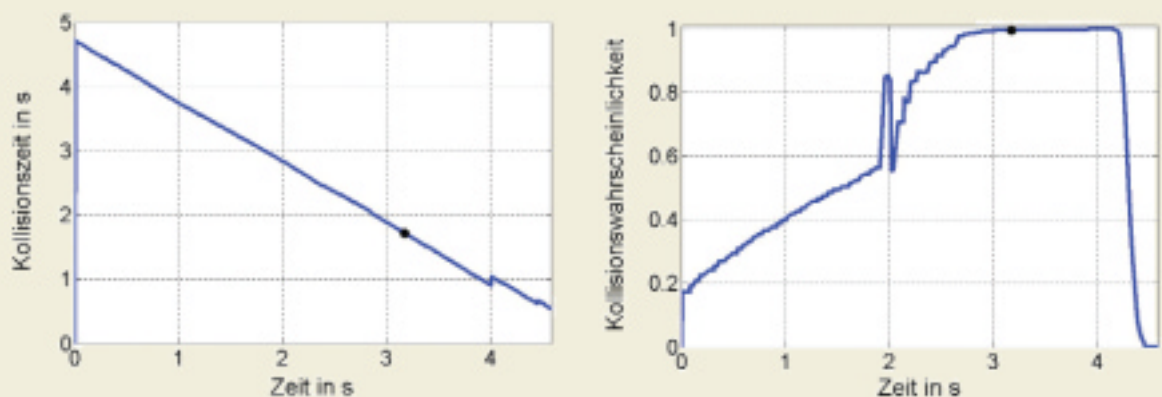


Bild 6: Kollisionszeit und -wahrscheinlichkeit für das Ausweichmanöver

Figure 6: Collision time and probability for the avoidance manoeuvre

Erreichen der Ausweichbreite verläuft. Dies wiederum lässt ein Anheben der Soll-Längsverzögerung zu. Der letzte Abschnitt vom Erreichen des seitlichen Versatzes bis zum Fahrzeugstillstand dient allein zum Verzögern und entspricht der oben genannten Fahrt auf der Hüllkurve, wobei eine bahnkrümmungsabhängige, meist geringe Querbesehleunigung zu beachten ist.

Wie aus Bild 5 zu erkennen ist, erfüllt zum einen das Querbesehleunigungsprofil die eingangs aufgestellten Forderungen, und zum anderen sind mit Ausnahme der Totzeitphase stets hohe Längsverzögerungen möglich.

Bevor es nun bei Überschreiten gewisser Grenzwerte zum Auslösen eines ACA-Manövers kommen kann, wird jeweils die Zulässigkeit aller Varianten geprüft, so dass allein das letztmögliche, zulässige Manöver zur Ausführung gelangen kann [10]. Dazu gibt das Planungsmodul die benötigten Parameter an das Ausführungsmodul weiter, welches in [7] ausführlich vorgestellt wird.

Ein einmal aktiviertes Kollisionsvermeidungsmanöver wird immer bis zum Fahrzeugstillstand ausgeführt.

## 5 Ergebnisse und Erkenntnisse

Abschließend sollen einige Ergebnisse anhand eines Ausweichmanövers vorgestellt werden. Der Versuch umfasst die Anfahrt auf ein stehendes, 1,5 m breites Objekt im rechten Fahrstreifen einer zweispurigen Autobahn. Das eigene Fahrzeug nähert sich im gleichen Fahrstreifen mit einer Geschwindigkeit von 61,2 km/h.

Wie aus Bild 6 links entnommen werden kann, erfasst das ACA-System das Hindernis bei einer berechneten Kollisionszeit von 4,71 s, was einer Entfernung von zirka 82 m entspricht. Die sich anschließende, gleichförmige Annäherung führt nach 3,18 s zu einem Eingriff, welcher im Bild mit einem schwarzen Punkt hervorgehoben ist. Bis zur möglichen Kollision dauert es jetzt noch 1,72 s. Der weitere Verlauf ist aufgrund der Eingriffsphilosophie ohne Belang und daher verkürzt wiedergegeben.

Die Kollisionswahrscheinlichkeit im rechten Teilbild liegt anfangs bei 0,17 und nimmt kontinuierlich zu. Wenn das Objekt nach 2 s neben dem Radar auch vom Laserscanner erfasst wird, steigen die Werte rasch bis nahe Eins an. Zum Auslösezeitpunkt beträgt das Kollisionsrisiko 0,997.

Demgegenüber befinden sich die Kollisionswahrscheinlichkeiten bei Passiervorgängen beziehungsweise Vorbeifahrten unter 0,25. Daraus lassen sich zwei Schlussfolgerungen ziehen:

■ Ein Kollisionsvermeidungssystem bedarf

eines konturvermessenden Sensors entsprechender Reichweite.

■ Die Kollisionswahrscheinlichkeit als weitere Kenngröße neben der Kollisionszeit ist geeignet, einen Zusammenstoß zu detektieren und Fehlauflösungen zu unterdrücken.

Der Entscheidungsalgorithmus wählt schließlich Ausweichen nach links aus. Ausweichen nach rechts ist in dieser Situa-

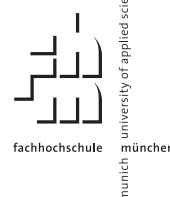
tion aufgrund der rechten Fahrbahnbegrenzung unzulässig, und Bremsen müsste 0,04 s vorher aktiv werden. Die Entscheidung wird also zutreffend gefällt, wobei das kleine Zeitfenster des Auswahlprozesses auffällt.

Die räumliche Situation des geplanten Manövers gibt Bild 7 wieder. Wie zu erkennen ist, erfolgt die Auslösung, wenn die Beteiligten 28,5 m voneinander entfernt sind.

Stellenanzeige

## Die Fachhochschule München

gehört als größte Fachhochschule Bayerns zu den führenden Fachhochschulen in Deutschland. Wir sehen unsere Herausforderung und Verpflichtung in einer aktiven und innovativen Zukunftsgestaltung von Lehre, Forschung und Weiterbildung.



Zum Wintersemester 2005/06 oder später besetzen wir im Fachbereich 03 - Maschinenbau/Fahrzeugtechnik/Flugzeugtechnik - eine

# Professur (Bes.Gr. W2)

für Fahrzeugmechatronik – Kennziffer 0349 –

Das Fachgebiet umfasst die dynamische Auslegung und Regelung von Antriebsstrang und Fahrwerk nach mechatronischen Kriterien. Bewerberinnen/Bewerber besitzen Grundlagenkenntnisse in den Bereichen Mechanik, Elektrotechnik und Informationsverarbeitung sowie Erfahrung auf dem Gebiet der Modellierung und Simulation moderner Antriebsstrang- oder Fahrdynamik-Regelsysteme. Die ausgeschriebene Position wird die Lehr- und Forschungskompetenz des Fachbereichs auf dem Gebiet der Fahrzeugtechnik mit deren vielfältigen Ausprägungen verstärken. Neben einer mehrjährigen Berufserfahrung bei einem Fahrzeughersteller oder Zulieferer sind auch Kenntnisse der produktorientierten Realisierung von Antriebsstrang- und Fahrdynamik-Regelsystemen wünschenswert.

Zum Aufgabengebiet gehört die aktive Mitarbeit in der Selbstverwaltung der Hochschule. Darüber hinaus wird Engagement bei Projekten der angewandten Forschung und im Bereich des Technologie- und Wissenstransfers erwartet. Erwünscht ist die Durchführung englischsprachiger Lehrveranstaltungen.

Für eine Einstellung werden vorausgesetzt:

- Universitäts- oder Fachhochschulabschluss mit Promotion. Bei einem Universitätsabschluss ist anstelle der Promotion ein anderer Nachweis der besonderen Befähigung zu wissenschaftlicher Arbeit (Gutachten über promotionsadäquate Leistungen) möglich.
- Pädagogische Eignung, der Nachweis hierzu ist u.a. durch Probelehrveranstaltungen zu erbringen.
- Besondere Leistungen bei der Anwendung oder Entwicklung wissenschaftlicher Erkenntnisse und Methoden in einer mindestens fünfjährigen beruflichen Praxis, von der mindestens drei Jahre außerhalb des Hochschulbereichs ausgeübt worden sein müssen.

Die Fachhochschule München fördert die berufliche Gleichstellung von Frauen und strebt insbesondere im wissenschaftlichen Bereich eine Erhöhung des Frauenanteils an. Frauen werden daher ausdrücklich zur Bewerbung aufgefordert.

In das Beamtenverhältnis kann berufen werden, wer das 52. Lebensjahr noch nicht vollendet hat. Schwerbehinderte werden bei ansonsten im Wesentlichen gleicher Eignung bevorzugt eingestellt.

Wenn Sie sich für eine Professoreninntätigkeit berufen fühlen, freuen wir uns auf Ihre aussagefähige Bewerbung, die Nachweise zum beruflichen Werdegang und zu wissenschaftlichen Arbeiten beinhalten sollte. Ihre Bewerbungsunterlagen senden Sie bitte innerhalb von einem Monat nach Erscheinen dieser Ausgabe unter Angabe der o.g. Kennziffer an die Personalabteilung der Fachhochschule München.

Für Vorabinformationen steht Ihnen die Personalabteilung, Frau Braun, telefonisch unter 089/1265 1116 oder per E-mail braun@ad.fhm.edu erreichbar, gerne zur Verfügung.

**Fachhochschule München, HA I - Personal, Lothstraße 34, 80335 München**



## 5 Ergebnisse und Erkenntnisse

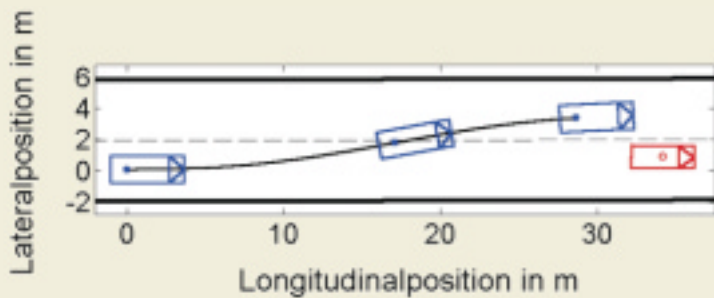
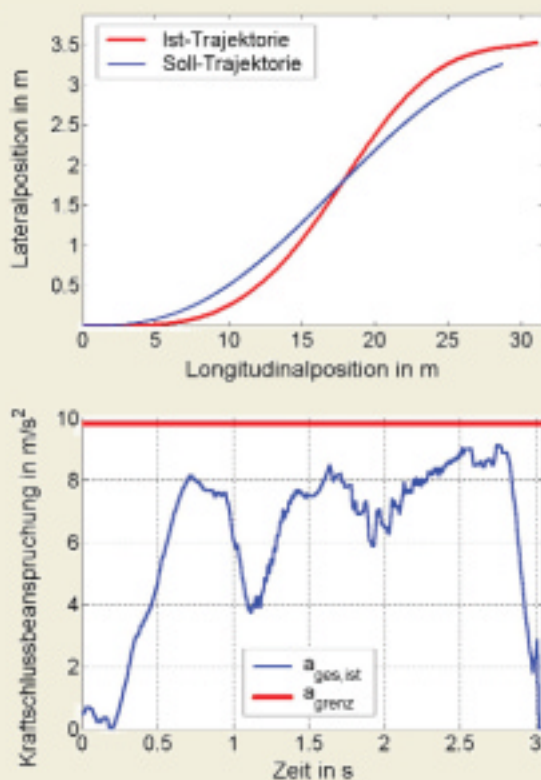


Bild 7: Geplante Ausweichbahn für das Ausweichmanöver  
Figure 7: Planned route for the avoidance manoeuvre

Bild 8: Gegenüberstellung von geplanten und gemessenen Größen für das Ausweichmanöver

Figure 8: Comparison of planned and measured values for the avoidance manoeuvre



Das geplante Manöver ergibt sich mit den Stationen Startpunkt des Manövers, Wendepunkt und Fahrzeugstillstand. Wegen der geringen Geschwindigkeit in Verbindung mit der Ausweichbreite von 3,31 m steht das Fahrzeug nach 28,6 m vor Abschluss des Ausweichvorgangs. Der Nutzen eines Ausweichmanövers infolge Raum- und Zeitgewinn wird deshalb nur eingeschränkt deutlich. Eine Auswertung belegt, dass sowohl die Auslegung als auch die zeitgerechte Auslösung korrekt parametrisiert sind.

Im nächsten Schritt sollen Manöverpla-

nung und realer Fahrversuch anhand von **Bild 8** gegenübergestellt werden.

Die Verläufe der Soll- und Ist-Trajektorie in Bild 8 links stimmen qualitativ überein. Dabei kommt es aufgrund der Dynamik der Lenk-Aktuatorik zu einer geringfügigen zeitlichen Verzögerung beim Einlenken, die jedoch später kompensiert wird. Am Ende steht das Fahrzeug 2,38 m hinter dem geplanten Stillstandspunkt und 0,27 m weiter entfernt vom Hindernis, was in beiden Fällen noch als akzeptabel einzuschätzen ist.

Ein abschließender Vergleich von ausgeschöpftem und bereitgestelltem Kraft-

schlusspotenzial belegt, Bild 8 rechts, dass die Werte stets unterhalb der Maximalgrenze liegen und ein überwiegend guter Wirkungsgrad erreicht wird. Mit verbesserter Brems-Aktuatorik ist hier noch eine deutliche Verbesserung zu erwarten.

Insgesamt konnte bei diesem als auch bei zahlreichen anderen ACA-Manövern ein Zusammenstoß jeweils erfolgreich verhindert und der Funktionsnachweis erbracht werden.

## 6 Fazit und Ausblick

Der vorliegende Artikel stellt ein Fahrumgebungserfassungssystem vor, das mittels einer Sensordatenfusion ein digitales Abbild der Umwelt erzeugt. Ein darauf ausgelegtes, bei Bedarf autonom handelndes Kollisionsvermeidungssystem nutzt diese Informationsbasis, um einen drohenden Unfall zu verhindern. Es besteht aus einer Kollisionserkennung und der Planung von Kollisionsvermeidungs-Manövern. Die entwickelten Verfahren wurden im Versuchsträger implementiert und zeigen in Zusammenarbeit mit einer Fahrzeugführung [7], dass in beschränkter Umgebung eine automatische Unfallvermeidung möglich ist.

Der grundsätzliche Nachweis der Funktionstüchtigkeit eines solchen Systems zeigt andererseits auch größere Entwicklungsschritte auf, die notwendig sind, um es in der Zukunft im realen Straßenverkehr einzusetzen. Hierbei ist zuallererst die Umfeldwahrnehmung zu nennen, die in ihrer jetzigen Form keine ausreichend zuverlässige Information über allgemeine Verkehrssituationen liefern kann. Neben der Sensortechnik ist auch eine Weiterentwicklung auf der Sensorfusionsseite nötig, um ein ausreichend exaktes Abbild der Umgebung zu erhalten. Auf dem Gebiet der Kollisionsvermeidung könnte zum Beispiel eine Objektklassifikation auch Unfälle mit nicht kooperativen Verkehrsteilnehmern wie zum Beispiel Wild verhindern.

Mit einer Einführung eines solchen Systems ist in naher Zukunft noch nicht zu rechnen, da für den Zuverlässigkeitsgrad, der an ein solches Sicherheitssystem gestellt wird, noch weitere intensive Entwicklungsarbeiten notwendig sind. Dennoch lässt sich aus den Projektergebnissen ableiten, dass die verbesserte Informationsgewinnung aus dem Fahrumfeld die notwendige Lagebeurteilung für eine sichere Entscheidungsfindung überhaupt erst ermöglicht. In einem der nächsten Schritte muss auch die Interaktion mehrerer Fahrzeuge mit einem ACA-System betrachtet werden. Hierzu gehören zum Beispiel Regeln für das Systemverhalten und eine Kommunikation

beider Kollisionspartner untereinander zur Abstimmung des Ausweichverhaltens. Als Beispiel sei hier die Luftfahrt genannt, wo heute übliche Airborne Collision Avoidance Systeme die Ausweichbewegung (steigen oder sinken) koordinieren.

Die aufgezeigten Arbeiten stellen damit einen wichtigen Schritt in die richtige Richtung dar und werden langfristig zu einer weiteren Steigerung der Fahrzeugsicherheit beitragen.

#### Literaturhinweise

- [1] Leen, G.; Heffernan, D.: Expanding Automotive Electronic Systems. In: Computer 35 (2002), Nr. 1, S. 88-93
- [2] Kühnen, M. A.; Brühning, E.; Schepers, A.; Schmid, M.: Unfallgeschehen auf Autobahnen – Strukturuntersuchungen. Bergisch Gladbach:

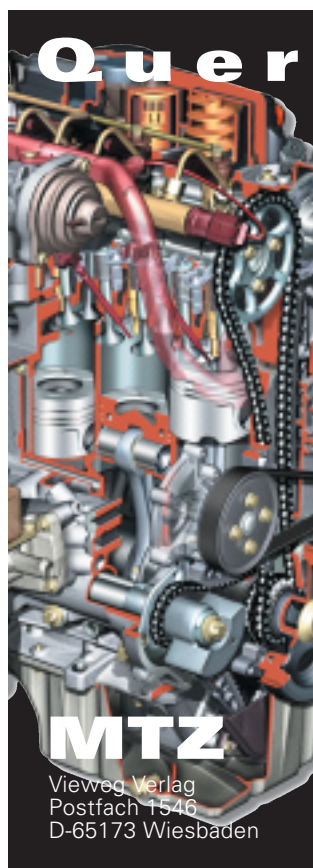
- Bundesanstalt für Straßenwesen, 1995
- [3] N.N.: Autonomes Fahren auf Fahrzeugprüfgeländen. Volkswagen AG, Bestell-Nr. Z00.519.403.00, 2000
- [4] Kirchner, A.; Weisser, H.; Scharnhorst, T.; Stücker, D.: Sensor Fusion – a Research Perspective. Konferenzband Sicherheit im Automobil (Vehicle Safety). München: Verlag Moderne Industrie, 2001
- [5] Specks, W.; Schmidt, R.; Schulenberg, P.: Elektronikkonzepte für zukünftige Fahrerassistenzsysteme. Technischer Kongress 2001 VDA, Bad Homburg v. d. Höhe, 2001, S. 129-138
- [6] Weiss, K.: Sensordatenfusion und adaptive Filterung für die Fahrumgebungserfassung zukünftiger Fahrerassistenzsysteme. 6. Magdeburger Maschinenbautage: Intelligente technische Systeme und Prozesse, Magdeburg, 2003
- [7] Weisen, R: Gekoppelte Quer- und Längsregelung eines Personenkraftwagens im fahrphysikalischen Grenzbereich. Hamburg, Universität der Bundeswehr Hamburg, Dissertation, 2003
- [8] Zomotor, A.: Fahrzeugtechnik: Fahrverhalten. Würzburg: Vogel Buchverlag, 1987

- [9] Ameling, C.: Steigerung der aktiven Sicherheit von Kraftfahrzeugen durch ein Kollisionsvermeidungssystem. Fortschrittsberichte VDI Reihe 12 Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik Nr. 510. Düsseldorf: VDI Verlag, 2002
- [10] Mildner, F.: Untersuchungen zur Erkennung und Vermeidung von Unfällen für Kraftfahrzeuge. Hamburg, Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, Dissertation, 2004

For an English version of this article, see **ATZ worldwide**  
For information on subscriptions, just call us or send an email or fax.



**ATZ** Vieweg Verlag Postfach 1546 D-65173 Wiesbaden  
Hotline 06 11/78 78-151 Fax 06 11/78 78-423  
email: vieweg.service@gvw-fachverlage.de



## Querschau

## MTZ 1/2005

### Titelthema

#### Der neue Dreizylinder-Dieselmotor von Mercedes-Benz für Smart und Mitsubishi

Für das Gemeinschaftsprojekt Smart Forfour und Mitsubishi Colt entwickelte Mercedes-Benz aus einem Vierzylinder-Dieselmotor der A-Klasse eine Dreizylindervariante. Mit 50 und 70 kW Leistung ermöglicht er sehr gute Fahrleistungen bei niedrigem Kraftstoffverbrauch. Der große Einzelhubraum des 1,5-l-Dreizylinder-Dieselmotors führt zu besseren thermodynamischen Verhältnissen als bei einem hubraumgleichen Vierzylindermotor.

### Weitere Themen

#### Entwicklung

Zweistufig geregelte Aufladung für Pkw- und Nfz-Motoren  
PTC-Heizung für die Vorwärmung von Dieselmotoren  
EVCP – Ein neues Verständnis für Nockenwellensteller

#### Forschung

Verdichtungsverhältnis und Zylinderspitzenendruck – Einfluss auf das thermodynamische Verhalten von Nfz-Dieselmotoren  
Wirbelmischer für SCR-Verfahren im Pkw  
Modellabbildung des Antriebsstrangs – Echtzeitsimulation der Fahrzeuglängsdynamik

■ Hotline 06 11/78 78-151 ■ Fax 06 11/78 78-423 ■ EMail: vieweg.service@gvw-fachverlage.de