

Ansatzpunkte für ein System zur Fahrerassistenz in Überholsituationen

Dipl.-Ing. Roman Mannale*, Dipl.-Ing. Andree Hohm**, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Ken Schmitt*,
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Rolf Isermann*, Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner**

*Technische Universität Darmstadt
Institut für Automatisierungstechnik
64283 Darmstadt
Tel.: +49(6151)167412

Mail: {rmannale, kschmitt, risermann}@iat.tu-darmstadt.de

**Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Fahrzeugtechnik
64287 Darmstadt
Tel.: +49(6151)166577

Mail: {hohm, winner}@fzd.tu-darmstadt.de

Zusammenfassung—Überholvorgänge auf Landstraßen sind häufig Ursache schwerer Verkehrsunfälle. In diesem Beitrag werden mögliche Ansatzpunkte zur Fahrerassistenz in Überholsituationen dargestellt und deren prinzipielle Umsetzbarkeit untersucht. Im Fokus steht dabei die Problematik der maschinellen Erfassung des Gegenverkehrs. Es wird aufgezeigt, dass eine Gefährdung durch Gegenverkehr prinzipiell während der Einleitung des Überholmanövers erkannt werden kann, solange ein Abbruch noch möglich ist.

I. EINFÜHRUNG

Auf Grund der stetig steigenden Anforderungen an die Fahrzeugsicherheit erhalten immer mehr aktive Sicherheitssysteme Einzug in das Automobil, um die Unfallrisiken im Straßenverkehr zu mindern. Während der Fokus in der Vergangenheit auf Systemen zur Fahrzeugstabilisierung lag, unterstützen neuartige Fahrerassistenzsysteme den Fahrer auch zunehmend bei Aufgaben der Fahrzeugführung.

In der Forschungskoooperation PRORETA zwischen der Technischen Universität Darmstadt und der Continental AG wird untersucht, welche Assistenzfunktionen zur Vermeidung von Unfällen beim Überholen auf Landstraßen aussichtsreich sind.

Von den 5091 auf deutschen Straßen Getöteten im Jahr 2006 starben rund 60% auf Landstraßen¹. Die größte Unfalltypen²-Klasse bilden hierbei Fahrnfälle (51%), d. h. Unfälle bei denen der Fahrer ohne Konfliktsituation mit anderen Verkehrsteilnehmern oder Hindernissen die Kontrolle über das Fahrzeug verliert. Derartige Unfälle werden insbesondere durch Fahrdynamik-Regelsysteme wie Electronic Stability Control (ESC), aber auch von Systemen zur Spurverlassenswarnung adressiert, deren zunehmende Marktdurchdringung einen weiteren Rückgang dieses Unfalltyps erwarten lässt. Den zweithäufigsten Unfalltyp bei den auf Landstraßen Getöteten

bilden Unfälle, die durch Konfliktsituationen mit in gleicher oder entgegengesetzter Richtung fahrenden Verkehrsteilnehmern ausgelöst wurden (Unfälle im Längsverkehr, 22%), s. Bild 1. Neben Auffahrunfällen, bei welchen bereits im Markt befindliche (Not-)Bremsassistenten oder prototypisch untersuchte Notausweichsysteme (s. bspw. [1]) helfen können, umfassen diese im Wesentlichen Unfälle im Begegnungsverkehr sowie Unfälle in Überholsituationen.

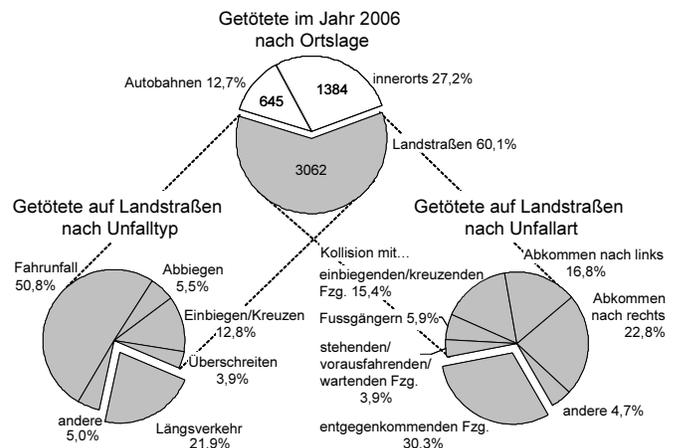


Bild 1. Auf deutschen Straßen im Jahr 2006 Getötete und deren Aufteilung nach Unfalltyp und Unfallart (Daten: Statistisches Bundesamt [2])

Zwar geben die Statistiken keine unmittelbare Auskunft über die Zahl der in Überholsituationen Getöteten, sie geben jedoch Anhaltspunkte, die auf eine hohe Relevanz von Überholsituationen innerhalb der Unfälle im Längsverkehr hinweisen: Gemäß einer im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BaSt) durchgeführten Erhebung und Auswertung von Landstraßenunfällen basieren rund 42% aller Unfälle im Längsverkehr auf Auffahrsituationen, 37% auf Überholsituationen und 18% auf Fahrsituationen im Begeg-

¹d. h. außerorts, ohne Autobahn

²Der Unfalltyp beschreibt unabhängig von der Unfallursache und der herbeigeführten Art der Kollision die Konfliktsituation, die zum Unfall führte.

nungsverkehr [3], s. Bild 2. Diese Zahlen beziehen sich auf die Zahl der Unfallgeschehnisse mit Personenschaden unabhängig von der Schwere der Verletzungen. Im Hinblick auf die auftre-

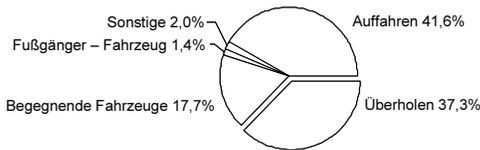


Bild 2. Landstraßenunfälle im Längsverkehr (Daten: Bundesamt für Straßenwesen [3])

tenden Relativgeschwindigkeiten ist die Annahme begründet, dass sich die entsprechende Verteilung der Getöteten deutlich in Richtung der Unfälle in Überholsituationen und Fahrsituationen im Begegnungsverkehr verschiebt. Dafür spricht auch eine Auswertung der Zahl der Getöteten auf Landstraßen hinsichtlich der Art des Zusammenstoßes bzw. des Abkommens von der Fahrbahn (sog. Unfallart³). Hier bilden Kollisionen mit dem Gegenverkehr mit rund 30% die zweitgrößte Gruppe, s. Bild 1.

Auf Basis der hier dargestellten Daten lässt sich abschätzen, dass in Deutschland über 5% der Todesfälle im Straßenverkehr ihren Ursprung in Überholsituationen auf Landstraßen haben. Die Größenordnung dieser Abschätzung wird durch entsprechende Untersuchungen in anderen Ländern gestützt: In Holland wurden 2,6% der Todesfälle im Straßenverkehr zwischen 1995 und 2000 durch Fehler beim Überholen verursacht [4] und in einer englischen Studie wurde der auf Überholsituationen zurückzuführende Anteil tödlicher Verkehrsunfälle auf 7,9% beziffert [5].

II. BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN UND STAND DER TECHNIK

Trotz des hohen Risikos, das beim Überholen besteht, gibt es lediglich eine geringe Zahl von Forschungsansätzen, die sich mit fahrerunterstützenden Funktionen für dieses Manöver befassen. Forschungsarbeiten, die sich der Sicherheitsproblematik beim Überholen widmen, lassen sich in drei Gruppen einteilen:

- Betrachtungen zur Anlage von Straßen
- Makroskopische Betrachtungen der Überholsituation auf Landstraßen
- Assistenzkonzepte und Funktionsentwicklungen für Teilbereiche des Überholvorgangs

In der Fachliteratur über Richtlinien zur Gestaltung von Landstraßen werden bei der Ermittlung bestimmter Größen Gesichtspunkte des Überholens einbezogen [6]. Ein Beispiel hierfür ist die Ermittlung minimaler Überholsichtweiten, die für einen sicheren Überholvorgang erforderlich sind.

Im Jahr 2005 wurde von HEGEMAN ET. AL. im Rahmen des Projektes „ROADAS“ (Research on Overtaking and ADAS) eine Analyse zu Überholvorgängen auf Landstraßen

³Die Unfallart beschreibt den Ablauf des Unfalls hinsichtlich der Art der Kollision bzw. des Abkommens von der Fahrbahn

veröffentlicht [7]. Das Ergebnis zeigt die Aufteilung der Fahraufgabe „Überholen“ in verschiedene Unteraufgaben. Nach der Aussage der Autoren besitzen die zur Studie herangezogenen Unfalldaten jedoch nicht die notwendige Präzision, um aus diesen Unteraufgaben jene zu identifizieren, bei denen der Fahrer besonders anfällig für Fehler ist und die somit für die Unterstützung durch ein Überholassistentensystem prädestiniert sind. Um den gesamten Überholvorgang sicher zu gestalten, wird daher die Anforderung einer Fahrerunterstützung bei sämtlichen Unteraufgaben abgeleitet. In der ersten Skizze eines möglichen Überholassistenten werden hierfür Informationsquellen wie eine digitale Karte (in Zusammenhang mit GPS) genannt, die Daten über Überholverbote oder Beschränkungen von Überholmöglichkeiten durch topologische Gegebenheiten wie Kuppen oder Kurven enthält. Im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit aktueller Umfeldsensoren wird hingegen die Akquise der folgenden Umfeldinformationen als „nicht realisierbar“ bezeichnet:

- Ermittlung der Distanz zum ersten, entgegenkommenden Fahrzeug
- Überwachung von Lateralbewegungen des überholten Fahrzeugs
- Ermittlung der Lücke zum Wieder-Einscheren auf den eigenen Fahrstreifen.

Der Automobilhersteller BMW hat im Jahr 2006 ein Überholassistentensystem im Forschungsstadium vorgestellt [8]. Dieses als „Dynamic Pass Predictor“ bezeichnete System informiert den Fahrer über die prinzipielle Eignung des vorausliegenden Streckenprofils für Überholmanöver. Hierbei dient eine digitale Karte als zentrale Datenquelle, auf welcher die Position des eigenen Fahrzeugs mit Hilfe eines GPS-Empfängers bestimmt wird. Durch einen Algorithmus wird der Streckenverlauf ermittelt, den das Fahrzeug mit der höchsten Wahrscheinlichkeit fahren wird. Ergänzt durch Sensordaten über das eigene Fahrzeug, wie bspw. Geschwindigkeit oder Längsbeschleunigung wird entschieden, ob z. B. die Sichtweite bis zur nächsten Kurve ausreicht, um die zum Überholen notwendige Strecke zu überblicken. Das System berücksichtigt jedoch keinen entgegenkommenden Verkehr, diesbezüglich erhält der Fahrer keine Unterstützung bei der Einschätzung der aktuellen Verkehrssituation.

Beim Ausscheren während des Überholbeginns gibt es zwei Situationen, in denen Seriensysteme den Fahrer unterstützen können: Zum einen kann sich ein Fahrzeug im Toten Winkel befinden. Eine weitere Möglichkeit ist die rasche rückwärtige Annäherung eines bereits überholenden Fahrzeugs. Diese Problematik wird durch einige Seriensysteme adressiert, die den relevanten Bereich neben und hinter dem eigenen Fahrzeug überwachen. Hierbei kommen beim System „side assist“ von Audi 24 GHz-Radarsensoren oder beim als BLIS (Blind Spot Information System) bezeichneten System von Volvo Videosensoren zum Einsatz [9] [10]. SAKURAI ET. AL. (2006) und BLANC ET. AL. (2007) bieten Beispiele für die stetige Weiterentwicklung der hierbei genutzten Algorithmen [11] [12].

Von KRETSCHMER ET. AL. wird ein Assistenzkonzept beschrieben, das sich der Erkennung der Fahrerabsicht „Überholen“ sowie der Vorhersage der Überholdauer widmet [13]. Aus den Datenquellen wie bspw. Lenkwinkel, Längsbeschleunigung und Informationen der Adaptive Cruise Control (ACC) wird der Beginn und die Dauer des Überholmanövers präzisiert. Dies kann zu einem Zeitpunkt geschehen, in dem sich das Fahrzeug noch in einer nicht kritischen Situation befindet, so dass eine rechtzeitige Warnung des Fahrers ermöglicht wird. Um die Entscheidung zu treffen, ob in der vorliegenden Situation eine Fahrerwarnung ausgelöst wird, ist eine robuste Erkennung und Klassifikation des Gegenverkehrs notwendig. Mit Verweis auf Maximalreichweiten verfügbarer Sensoren von höchstens 200 m wird die Aussage getroffen, dass die gewünschte Assistenzfunktion nicht vollständig realisiert werden kann.

BLASCHKE ET. AL. entwickelten eine weitere Methode zur Erkennung der Fahrerabsicht [14]. Aus den Eingangsdaten Bremsdruck, Fahrpedalstellung und -geschwindigkeit, Abstand zu einer Kreuzung und den ACC-Informationen wird versucht, mit Hilfe eines Fuzzy-Logik Ansatzes die drei Fahrerabsichten „Abbiegen“, „Straße folgen“ und „Überholen“ zu erkennen. In einer standardisierten Fahrsituation gelingt dies mit einer Erfolgsquote von 93 % für die Weiterführung der Folgefahrt, zu 95 % beim Überholen und zu 92 % bei der Abbiegeabsicht.

AHLE ET. AL. befassen sich mit der Entwicklung eines Überholautomaten zur Fahrerüberwachung [15]. Zu diesem Zweck wird ein sog. Situations-Operator-Modell verwendet, das Änderungen der Realwelt als Folgen von Szenen und Aktionen beschreibt. Ein solches Modell wird für den Überholvorgang verwendet und zu jedem Zeitpunkt überprüft, ob die Fahrerhandlungen Modell-konform sind. Begeht der Fahrer eine Verletzung der Modellannahmen, bspw. durch die Betätigung des Blinkers zu einem Zeitpunkt, an dem dies nicht vorgesehen ist, so wird er hierüber informiert und gewarnt. Die Aktionen des Fahrers werden somit durch den parallel geschalteten Automaten überwacht.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass im Bereich der Fahrerassistenzsysteme für Überholsituationen bislang keine Machbarkeitsanalyse existiert, die den Gegenverkehr berücksichtigt. Daher fehlt diesbezüglich eine Darstellung, ob und für welche Randbedingungen eine wirksame Unterstützung des Fahrers während des Überholvorgangs gestaltet werden kann.

Zentral für das große Gefährdungspotential beim Überholen sind hohe Relativgeschwindigkeiten in Bezug auf den Gegenverkehr. Dennoch ist keine Veröffentlichung bekannt, die den Gegenverkehr im Rahmen einer Assistenz für Überholsituationen als Systemeingang explizit einbezieht.

III. ANSATZPUNKTE FÜR EINE ÜBERHOLASSISTENZFUNKTION

A. Beschreibung des Überholvorgangs

Ein System zur Fahrerassistenz in Überholsituationen muss erkennen können, ob ein Überholvorgang als gefährlich ein-

zustufen ist. Dazu sind zunächst die Bedingungen für sicheres Überholen darzustellen.

In dieser Untersuchung werden nur ein Überholer und ein zu überholendes Fahrzeug betrachtet. In Anlehnung an [6] können beim Überholen einzelne Phasen unterschieden werden, s. Bild 3. Das Überholmanöver beginnt zum Zeit-

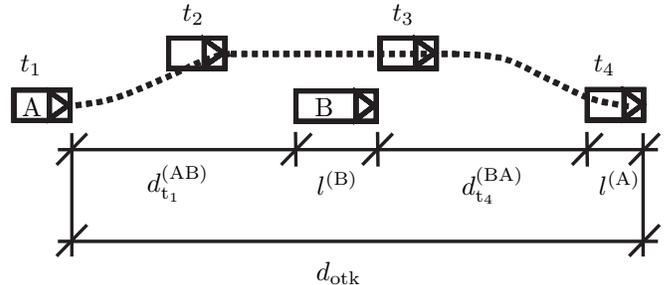


Bild 3. Geometrie und charakteristische Zeitpunkte des Überholvorgangs

punkt t_1 mit dem Ausscheren. Das Ausscheren beginnt, sobald das Fahrzeug einen Abstand von 25 cm zur Leitlinie (Mittelmarkierung) unterschreitet, und endet bei t_2 mit dem Erreichen des linken Fahrstreifens, ebenfalls im Abstand von 25 cm zur Leitlinie. Hier beginnt die Vorbeifahrt am zu überholenden Fahrzeug. Abgeschlossen wird der Überholvorgang mit dem Einscheren, das bei t_3 beginnt und bei t_4 endet. Die Zeit zwischen dem Überholbeginn t_1 und dem Überholende t_4 wird als Überholdauer Δt_{otk} bezeichnet. Die insgesamt vom Überholer relativ zum zu überholenden Fahrzeug zurückzulegende Strecke d_{otk} setzt sich aus dem Ausschereabstand $d_{t_1}^{(AB)}$, dem Einscherabstand $d_{t_4}^{(BA)}$ und den Fahrzeuglängen $l^{(A)}$ und $l^{(B)}$ zusammen.

Beim Auftreten von Gegenverkehr ergibt sich für das Abschließen eines Überholmanövers eine zeitliche Obergrenze t_5 , bei der ein Einscheren zwischen dem zu überholenden und dem entgegenkommenden Fahrzeug gerade noch möglich ist. Die geometrischen Verhältnisse sind in Bild 4 dargestellt.

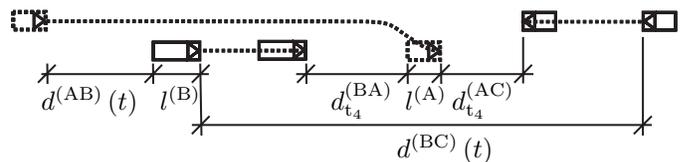


Bild 4. Einschränkung des Überholmanövers durch Gegenverkehr

Ist die verbleibende Zeit bis t_5 kürzer als die Überholdauer, so ist Überholen als kritisch zu bewerten und kann zu einer Kollision führen.

B. Mögliche Eingriffszeitpunkte

Bei Sensierung von Gegenverkehr ist zu überprüfen, ob bei Durchführung bzw. Fortsetzung des Überholvorgangs eine Kollision zu erwarten ist. Erscheint eine Kollision mit dem Gegenverkehr während des Überholens als wahrscheinlich, sind Handlungsalternativen zu bewerten und die am ungefährlichsten erscheinende Handlungsalternative zu wählen.

Zum Zeitpunkt des Überholbeginns t_1 ist zu entscheiden, ob ein Überholen durchgeführt wird, oder der Vorgang unterlassen wird. Bei bereits begonnenem Überholen ist eine naheliegende Handlungsalternative zum Fortsetzen eines kritischen Überholvorgangs das *Wieder-Einscheren* hinter das zu überholende Fahrzeug. Das Wieder-Einscheren beinhaltet zum einen einen Fahrstreifenwechsel zum Ausweichen vor dem Gegenverkehr und zum anderen ein Abbremsen des Fahrzeugs, was in erster Linie die Kollision mit dem zu überholenden Fahrzeug verhindert. Hier können zwei Fälle unterschieden werden:

- Im ersten Fall bleibt die Vorderkante des Überholers während des Bremsvorgangs hinter der Hinterkante des Vorderfahrzeugs. Um ein Auffahren zu verhindern, wird die Geschwindigkeit hier lediglich bis auf die Geschwindigkeit des Vordermanns reduziert.
- Im zweiten Fall hat der Überholer schon so weit aufgeholt, dass das überholende Fahrzeug nicht unmittelbar auf den rechten Fahrstreifen zurück wechseln kann. Ein Wieder-Einscheren wird nur möglich, wenn der Überholer unter die Geschwindigkeit des Vorderfahrzeugs abbremst und dadurch wieder hinter dieses gelangt.

C. Sensoranforderungen

Unabhängig davon, ob der Fahrer auf Grund einer Systemwarnung selbst reagiert, oder ein autonomer Eingriff mittels Aktorik erfolgt, erfordert eine Assistenz beim Überholen zunächst eine Einschätzung der Situation und dafür wiederum die Erfassung des Umfeldes. Die Erfassung muss hierzu derart gestaltet sein, dass das Assistenzsystem erstens eine potentielle Kollision beim Überholen vorhersehen kann, und zweitens die Gefahr früh genug erkennt, um einen kollisionsvermeidenden Abbruch des Überholmanövers herbeizuführen. Zur Erfassung eines Fahrzeugs, welches sich auf Kollisionskurs mit dem eigenen Fahrzeug befindet, muss eine ausreichende Sensorreichweite und zusätzlich im Fall von Strahlsensorik eine freie Sicht auf das Fahrzeug gegeben sein.

1) *Modellbildung zur Ermittlung erforderlicher Sensorreichweiten:* Die erforderliche Mindestreichweite der Sensorik hängt davon ab, wie früh Gegenverkehr zur Erkennung einer gefährlichen Überholsituation prinzipiell sichtbar sein soll, und lässt sich durch einfache kinematische Beziehungen für die jeweilige Überholsituation bestimmen. Die vom Sensor zu erfassende Strecke entspricht der Summe aus der noch zurückzulegenden Wegstrecke des eigenen Fahrzeugs bis zum Überholende t_4 , der Strecke, die der Gegenverkehr in dieser Zeit zurücklegt sowie einzuhaltenen Sicherheitsabständen. Da die zu fordernden Sicherheitsabstände geschwindigkeitsabhängig sind, ist eine im Folgenden dargestellte Betrachtungsweise mit Zeiten/Zeitdauern vorzuziehen, wodurch Sicherheitsabstände durch Zeitdauern ähnlich der Time-To-Collision (TTC) dargestellt werden.

Ob es sich um eine gefährliche Überholsituation handelt, hängt von der Überholdauer und der verfügbaren Zeit bis zu t_5 ab. Die Überholdauer $\Delta t_{\text{otk}} = t_4 - t_1$ hängt zum einen vom Verlauf der Relativgeschwindigkeit $v_{\text{rel}}^{(\text{AB})}$ des überholenden

bezüglich des zu überholenden Fahrzeugs ab:

$$v_{\text{rel}}^{(\text{AB})}(t) = v^{(\text{A})}(t) - v^{(\text{B})}(t) \quad (1)$$

Zum anderen wird nach dem Überholbeginn bei t_1 das Ende des Überholvorgangs zum Zeitpunkt t_4 erreicht, wenn das Zeitintegral über die Relativgeschwindigkeit $v_{\text{rel}}^{(\text{AB})}$ der insgesamt aufzuholenden Strecke $d_{\text{otk}} = d_{t_1}^{(\text{AB})} + l^{(\text{B})} + d_{t_4}^{(\text{BA})} + l^{(\text{A})}$ gleicht, s. Bild 3. Somit lässt sich die Überholdauer durch Auswertung der Gleichung

$$d_{\text{otk}} = \int_{t_1}^{t_4} v_{\text{rel}}^{(\text{AB})}(\tau) d\tau \quad (2)$$

ermitteln.

Neben der Abschätzung der Überholdauer soll erkannt werden, wenn die bis zu t_5 verbleibende Zeit (s. Bild 4) für ein Überholen nicht ausreicht, also wenn $t_5 < t_4$ ist.

Der Zeitpunkt t_5 ist dadurch charakterisiert, dass das zu überholende Fahrzeug gerade noch so weit vom Gegenverkehr entfernt ist, dass die Geometrie ein Einscheren eines überholenden Fahrzeuges zulassen würde. Gemäß Bild 4 ist der entsprechende Abstand zwischen dem zu überholenden und dem entgegenkommenden Fahrzeug dann $d_{t_5}^{(\text{BC})} = d_{t_4}^{(\text{BA})} + l^{(\text{A})} + d_{t_4}^{(\text{AC})}$.

Aus diesen Abstandsverhältnissen zum Zeitpunkt t_5 und der Kinematik bis zu diesem Zeitpunkt lässt sich auf die entsprechenden Verhältnisse für frühere Zeitpunkte $t < t_5$ rückschließen: So setzt sich der Abstand $d^{(\text{BC})}(t)$ aus dem Abstand zum späteren Zeitpunkt t_5 und jener Strecke zusammen, die die Fahrzeuge in der Zwischenzeit aufeinander zu gefahren sind.

$$d^{(\text{BC})}(t) = d_{t_5}^{(\text{BC})} + \int_t^{t_5} (v^{(\text{B})}(\tau) + v^{(\text{C})}(\tau)) d\tau \quad (3)$$

Der Grenzfall, bei dem die Zeit gerade zum Überholen ausreicht, ergibt sich für $t_5 = t_4$. Um diesen Grenzfall und alle Fälle, in denen die Zeit nicht ausreicht, erkennen zu können, muss der Gegenverkehr über den gesamten Fahrstreifen bis zum Abstand $d_{\text{min}}^{(\text{BC})}(t) = d^{(\text{BC})}(t)|_{t_5=t_4}$ zum vorausfahrenden Fahrzeug sensierbar sein. Zur Erkennung der Gefahrensituation zum Zeitpunkt t ergibt sich daher für die Umfeldsensorik des überholenden Fahrzeugs als *Mindestreichweite*

$$R_{\text{S,min}}(t) = d^{(\text{AB})}(t) + l^{(\text{B})} + d_{\text{min}}^{(\text{BC})}(t), \quad (4)$$

mit dem aktuellen Abstand zwischen dem überholenden und dem zu überholenden Fahrzeug $d^{(\text{AB})}(t)$, der Länge des zu überholenden Fahrzeugs $l^{(\text{B})}$ und dessen aktuellen Mindestabstand zum entgegenkommenden Fahrzeug $d_{\text{min}}^{(\text{BC})}(t)$.

2) *Modellierung der Verdeckung von Strahl- und Kamerasensorik:* Unabhängig von Sensorreichweiten besteht bei Strahl- und Kamerasensorik das Problem der Abschattung durch Objekte vor dem Sensor. In Überholsituationen wird das zu überholende Fahrzeug in vielen Fällen die Sicht auf den weiteren Fahrbahnverlauf und hier befindliche Fahrzeuge verdecken. Ein potentiell gefährliches Gegenverkehrsfahrzeug

wird erst beim Heraustreten aus der Abschattung detektiert. Diese Freigabe der Sicht auf den Gegenverkehr erfolgt durch das Herannahen des Gegenverkehrs, durch Freigabe der Sicht durch das zu überholende Fahrzeug (Bewegung nach rechts), das Ausscheren des eigenen Fahrzeugs oder Kombination dieser Bewegungen.

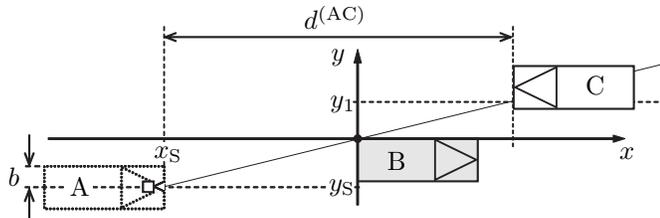


Bild 5. Abschattung von Strahl- und Kamerasensorik durch vorausfahrendes Fahrzeug

Der Abstand, in dem ein Gegenverkehrsfahrzeug zum ersten Mal durch die Strahl- oder Kamerasensorik detektiert werden kann, ist abhängig von der relativen Lage des Sensors zum verdeckenden, vorausfahrenden Fahrzeug und ergibt sich gemäß Bild 5 für gerade Fahrbahnen zu

$$d^{(AC)} = \begin{cases} \min\left(\frac{y_1 - y_S}{y_S} x_S, R_S\right), & \text{für } x_S, y_S < 0 \\ R_S, & \text{sonst.} \end{cases} \quad (5)$$

Dabei gibt x_S die longitudinale und y_S die laterale Position des Sensors relativ zur verdeckenden linken Kante des vorausfahrenden Fahrzeugs an. Über y_1 lässt sich parametrieren, ab welchem lateralen Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug die volle Einsehbarkeit gefordert wird. Durch Werte von $y_1 > 0$ lässt sich berücksichtigen, dass der Gegenverkehr im Regelfall einen lateralen Abstand zum zu überholenden Fahrzeug einhält, und je nach Art des verwendeten Sensors auch dann bereits detektiert werden kann, wenn er nur teilweise aus der Abschattung hervortritt. An den Stellen, wo die Sicht nicht durch das vorausfahrende Fahrzeug eingeschränkt wird, ergibt sich der Abstand des Gegenverkehrs zum Zeitpunkt der ersten möglichen Detektion aus der Reichweite des Sensors R_S . In Bild 6 ist für unterschiedliche Abstände $d^{(AC)}$ bis $R_S = 400\text{m}$ die laterale Lage des Sensors zum vorausfahrenden Fahrzeug y_S über der longitudinalen Lage x_S für $y_1 = 1\text{m}$ dargestellt.

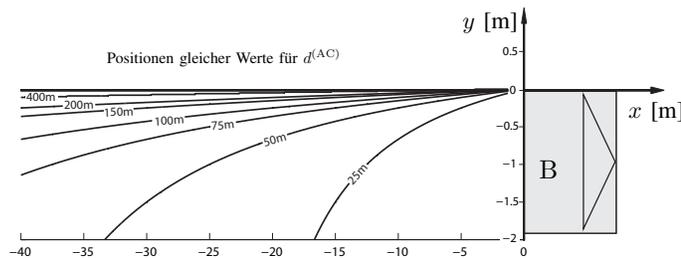


Bild 6. Sensorpositionen (x_S, y_S) und Abstände zum Gegenverkehr $d^{(AC)}$ bei Detektion für $y_1 = 1\text{m}$ und $R_S = 400\text{m}$

Wenn das vorausfahrende Fahrzeug weit genug von der Leitlinie entfernt fährt, können auch bei einem mittig montierten

Sensor weite Teile der vorausliegenden Fahrbahn eingesehen werden. Fährt das vorausfahrende Fahrzeug jedoch nah an der Leitlinie und ist der Abstand b des Sensors von der linken vorderen Ecke groß, muss das Fahrzeug die Leitlinie überschreiten, um dem Sensor eine größere Sichtweite zu ermöglichen.

Für diese Fälle lässt sich aus dem Abstand unter Berücksichtigung der eigenen Geschwindigkeit und unter Annahme einer für Landstraßen maximalen Geschwindigkeit des Gegenverkehrs eine untere Schranke für die Time-To-Collision (TTC) bezüglich des Gegenverkehrs bestimmen zu

$$TTC_{\min} = \frac{d^{(AC)}}{v_{\text{rel,max}}^{(AC)}} = \frac{d^{(AC)}}{v^{(A)} + v_{\text{max}}^{(C)}}. \quad (6)$$

Wenn sich das eigene Fahrzeug in einer Position befindet, in der es bei unveränderter Fortführung des Manövers zu einer Kollision mit dem Gegenverkehr kommt, lässt sich die TTC_{\min} als die mindestens zur Kollisionsvermeidung verbleibende Zeit nach Detektion des Gegenverkehrs interpretieren.

Durch Vergleich der TTC_{\min} mit notwendigen Zeitdauern zur Erfassung, Auswertung und notwendigenfalls Vermeidung einer ggf. vorliegenden Konfliktsituation, lassen sich die in Bezug auf den Gegenverkehr kritischen und weniger kritischen Phasen im Überholmanöver erkennen.

3) *Sensoranforderungen für betrachtete Eingriffszeitpunkte:*
a) *Vollständiger Überholvorgang:* Zu Beginn des Überholens zum Zeitpunkt t_1 ergeben sich unter den in Bild 7 und Tabelle I

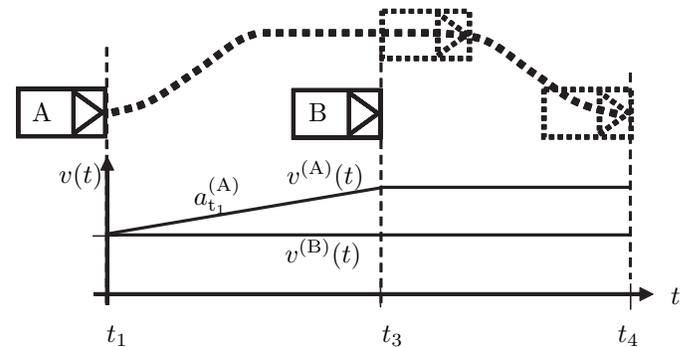


Bild 7. Annahmen zu den Geschwindigkeitsverläufen des überholenden und des zu überholenden Fahrzeugs

dargestellten Annahmen zum vollständigen Überholmanöver die im oberen Teil der Tabelle II aufgeführten Mindestreichweiten $R_{S,\min}(t_1)$ zur Einschätzung des begonnenen Überholmanövers, wobei für die jeweiligen Startgeschwindigkeiten des Überholers plausible Beschleunigungswerte aus einer Simulationsfahrt⁴ angenommen wurden.

Der ungünstigste betrachtete Fall ergibt sich beim Überholen eines Fahrzeugs, welches 90km/h schnell fährt. Hier beträgt die Mindestreichweite bei 120km/h schnellem Gegenverkehr 521m .

⁴Simulation eines Fahrzeugs mit 104kW Leistung und $1,3\text{t}$ Gewicht in IPG CarMaker®

Tabelle I
ANNAHMEN FÜR VOLLSTÄNDIGEN (a) UND ABGEBROCHENEN (b)
ÜBERHOLVORGANG

Beschleunigungswerte	
a)	$a^{(A)}(t) = \begin{cases} a_{t_1}^{(A)}, & \text{für } t_1 \leq t < t_3 \\ 0 \text{ m/s}^2, & \text{sonst} \end{cases}$
b)	$a^{(A)}(t) = \begin{cases} a_{t_1}^{(A)}, & \text{für } t_1 \leq t < t_b \\ a_{t_b}^{(A)} = -4 \text{ m/s}^2, & \text{für } t_b \leq t \leq t_e \\ 0 \text{ m/s}^2, & \text{sonst} \end{cases}$
Geschwindigkeitsverläufe	
a)	$v^{(A)}(t) = \begin{cases} v_{t_1}^{(A)}, & \text{für } t < t_1 \\ v_{t_1}^{(A)} + a_{t_1}^{(A)} \cdot (t - t_1), & \text{für } t_1 \leq t < t_3 \\ v^{(A)}(t_3), & \text{für } t_3 < t \end{cases}$
b)	$v^{(A)}(t) = \begin{cases} v_{t_1}^{(A)}, & \text{für } t < t_1 \\ v_{t_1}^{(A)} + a_{t_1}^{(A)} \cdot (t - t_1), & \text{für } t_1 \leq t \leq t_b \\ v^{(A)}(t_b) + a_{t_b}^{(A)} \cdot (t - t_b), & \text{für } t_b \leq t \leq t_e \end{cases}$
Abstände ⁵	
a)	$d_{t_1}^{(AB)} = [1,553 + 0,331 \cdot v_{t_1}^{(A)} / (\text{ms}^{-1})] \cdot 1 \text{ m}$ $d_{t_4}^{(BA)} = [34,81 - 0,587 \cdot v^{(B)} / (\text{ms}^{-1})] \cdot 1 \text{ m}$ $d_{t_4}^{(AC)} = 0 \text{ m}$
b)	$d_{t_4}^{(AB)} = 2 \text{ m}$ $d_{t_e}^{(AB)} = 2 \text{ m}$
Fahrzeuflängen	
	$l^{(A)} = 5 \text{ m}$ $l^{(B)} = 20,75 \text{ m}$ ⁶

Zum Zeitpunkt des Überholbeginns befindet sich das eigene Fahrzeug im Regelfall lateral noch vollständig hinter dem zu überholenden Fahrzeug. Unter der Annahme eines mittig montierten Strahlsensors ergeben sich aufgrund der Abschattung zwar geringere Abstände bzw. TTC_{\min} bei Detektion des Gegenverkehrs, jedoch ist zur Kollisionsvermeidung lediglich dafür Sorge zu tragen, dass das Fahrzeug nicht auf den linken Fahrstreifen fährt.

Im Verlauf des Ausschervorgangs bewegt sich das eigene Fahrzeug in Richtung des linken Fahrstreifens, wodurch die Abstände bei Detektion des Gegenverkehrs größer werden. In Abhängigkeit der Einbaulage des Sensors im Fahrzeug ergibt sich aus den obigen Betrachtungen unmittelbar, wie weit entgegenkommende Fahrzeuge bei Detektion noch entfernt sind, wenn das eigene Fahrzeug bereits seitlich über das zu überholende Fahrzeug hinausragt.

Wenn das zu überholende Fahrzeug im für die Sichtweite ungünstigsten Fall mit der linken Kante an der Mittelmarkierung entlang fährt, muss bei Detektion von Gegenverkehr der in die Gegenfahrbahn hineinragende Fahrzeugteil vollständig zurück auf den eigenen Fahrstreifen geführt werden, um auch im Grenzfall eine Kollision zu vermeiden. Die dazu notwendige Ausweichbreite beträgt $y_S + b$ und entspricht der Strecke, um welche das Fahrzeug in die Gegenfahrbahn ragt. Die Ausweichbreite muss innerhalb der Zeitdauer von TTC_{\min} erreicht werden, da dann der Gegenverkehr im ungünstigsten

⁵Ausscherabstand $d_{t_1}^{(AB)}$ und Einscherabstand $d_{t_4}^{(BA)}$ gemäß Regressionsanalysen auf Basis empirischer Daten [6]

⁶Zulässige Gesamtlänge für ein Fahrzeug oder Gespann inkl. Ladung (Straßenverkehrs-Ordnung, Stand 28.11.2007)

Tabelle II
BERECHNETE MINDESTREICHWEITEN ZUR ERKENNUNG VON
GEFÄHRLICHEM GEGENVERKEHR ZU ÜBERHOLBEGINN (t_1) UND ZUM
LETZTMÖGLICHEN ABRUCHZEITPUNKT (t_b)

$v^{(C)} \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$	$v_{t_1}^{(A)} = v^{(B)} \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right]$						
	30	40	50	60	70	80	90
	3,5	3,2	2,9	2,6	2,3	2,1	1,8
$R_{S,\min}(t_1)$							
30	164	183	207	233	260	289	321
40	181	201	226	252	280	310	344
50	198	219	245	272	301	331	366
60	215	236	263	291	321	352	388
70	233	254	282	311	341	373	410
80	250	272	300	330	361	394	432
90	267	289	319	350	382	415	454
100	284	307	338	369	402	436	476
110	302	325	356	389	422	458	499
120	319	343	375	408	443	479	521
$R_{S,\min}(t_b)$							
30	148	161	176	191	206	220	236
40	163	176	191	206	221	235	251
50	178	191	206	221	236	251	267
60	193	205	221	236	251	266	282
70	208	220	236	251	267	281	297
80	223	235	251	267	282	297	313
90	238	250	266	282	297	312	328
100	253	264	281	297	312	327	344
110	268	279	296	312	327	342	359
120	283	294	311	327	343	358	375

Fall das eigene Fahrzeug erreicht. Ob der Sensor in der Mitte des Fahrzeugs verbaut sein darf, oder wie weit der Sensor ggf. in Richtung der linken Begrenzung des Fahrzeugs montiert sein muss, hängt davon ab, wie groß die erreichbare Ausweichbreite ist, die inklusive der Signalverarbeitung innerhalb der Zeitdauer von TTC_{\min} erreicht werden kann. Können keine großen Ausweichbreiten in kurzer Zeit erreicht werden, muss der Sensor in äußerst linker Lage angebracht werden, um stets eine Kollision mit dem Gegenverkehr vermeiden zu können. Möglich wäre auch, dem Fahrer die Situationseinschätzung zu überlassen, was bei derartigen Situationen durchaus vertretbar ist.

Die Verdeckungsproblematik verliert an Bedeutung, wenn das Fahrzeug bereits weitgehend ausgeschert ist und der Sensor freie Sicht auf den linken Fahrstreifen hat. Unter Umständen muss das Fahrzeug bei Detektion eines Gegenverkehrsfahrzeugs zwar durch ein Überholabbruchmanöver zurück auf den rechten Fahrstreifen geführt werden, jedoch steht hierfür ausreichend Zeit zur Verfügung, da sich der Gegenverkehr bei Detektion noch sehr weit weg befindet. Weiterhin verringert sich im Laufe des Ausschervorgangs die Mindestreichweite zur Beurteilung des Überholmanövers, da sich die Fahrzeuge aufeinander zu bewegen.

b) *Abgebrochener Überholvorgang:* Beim Erkennen von gefährlichem Gegenverkehr wird ein Abbrechen des Überholvorgangs durch Bremsen und Wieder-Einscheren erforderlich. Soll dies unter der Voraussetzung geschehen, dass sich das überholende Fahrzeug nicht erst hinter das zu überholende Fahrzeug zurück fallen lassen muss, und dass

eine maximale Verzögerung (Bremsbeschleunigung) nicht überschritten wird, so ergibt sich ein letztmöglicher Zeitpunkt für den Abbruch t_b . Zur Entscheidung, ob ein Abbruch erforderlich ist, ist die Beurteilung des Überholmanövers und damit eine Mindestreichweite $R_{S,\min}(t_b)$ erforderlich.

Der Verlauf der Relativgeschwindigkeit bei einem *abgebrochenen Überholmanöver* entspricht zu Beginn dem des vollständigen Überholvorgangs, wobei das Vorzeichen der Beschleunigung $a^{(A)}$ des Überholers im Gegensatz zum vollständigen Manöver ab dem Zeitpunkt t_b bis zum Ende des Abbruchvorgangs t_e negativ ist. Der Zeitpunkt t_b ergibt sich für konkrete Beschleunigungs- bzw. Geschwindigkeitsverläufe und der Forderung bezüglich des Auffahrens auf den Vordermann:

$$d_{t_1}^{(AB)} - d_{t_e}^{(AB)} = \int_{t_1}^{t_e} v_{\text{rel}}^{(AB)}(\tau) d\tau \quad (7)$$

Entsprechende Werte für $R_{S,\min}(t_b)$ sind unter den in Tabelle I getroffenen Annahmen im unteren Teil der Tabelle II aufgeführt. Hier ergibt sich für die größten betrachteten Geschwindigkeiten eine Mindestreichweite von 375 m.

D. Marktverfügbare Sensorik und deren Erfassungsbereiche

Es existiert eine Vielzahl von Umfeltersensoren, die im Automobilbereich Relevanz besitzen. Das erste umfelderfassende System, welches in Europa in Serie produziert wurde, ist das ACC [16]. In Europa werden für diesen Bereich bis heute vorrangig RADAR-Sensoren verwendet. Gründe hierfür liegen hauptsächlich in der hohen Zuverlässigkeit und in der geringen Empfindlichkeit hinsichtlich widriger Wetterverhältnisse (z. B. Nebel) sowie die hohe Toleranz gegenüber Verschmutzungen der vorderen Sensorabdeckung. Auf dem japanischen Markt werden für die ACC-Anwendung auch LIDAR-Sensoren verwendet [17], die jedoch in den o. g. Punkten Nachteile aufweisen.

Einen sehr breiten Anwendungsbereich besitzen Videosensoren (Kameras), bei denen auf die Rohdaten (Pixelbild des Imagers) verschiedene Algorithmen angewendet werden können. Mit deren Hilfe können Objektdetektion, Objektklassifikation, Fahrbahnmarkierungserkennung, Fußgängererkennung und Verkehrszeichenerkennung realisiert werden [17]. Reichweiten und Öffnungswinkel hängen dabei vom verwendeten Objektiv ab, Grenzen bestehen durch die begrenzte Auflösung der Imager-Chips sowie durch die Bewegungsunschärfe bei endlicher Verschlusszeit.

Im Entwicklungsstadium befindet sich die Car-To-Car Kommunikation (C2C) [18] [19] [20]. Ziel hierbei ist es bspw., andere Fahrzeuge dadurch zu detektieren, dass diese ein entsprechendes Signal senden. Den Vorteilen wie hoher Reichweite und umfassendem Öffnungswinkel stehen Nachteile wie Missbrauchs-Risiko und das Fehlen realitätsnaher Einführungszenarien gegenüber.

In Tabelle III sind typische Eigenschaften der verschiedenen Sensorarten in einer Übersicht zusammengestellt.

An der Darstellung fällt die potentiell hohe Reichweite und der umfassende Öffnungswinkel der C2C-Kommunikation auf.

Tabelle III

EIGENSCHAFTEN UND ERFASSUNGSBEREICHE TYPISCHER SENSOREN.
 ABKÜRZUNGEN: NRS=NEAR-RANGE-SCAN; LRS=LONG-RANGE-SCAN;
 D.M.=DIREKTE MESSBARKEIT.
 QUELLEN: [21] [22] [23] [24] [25]

	RADAR 77 GHz	RADAR 24 GHz	LIDAR	Video (Camera)	C2C (WLAN)
Distanz (d.M.)	x	x	x		x
Rel.-Geschwindigkeit (d.M.)	x	x			x
Öffnungswinkel (max.) [\pm°]	nrs:30 lrs:9	35	20	120	360
Reichweite (max.) [m]	nrs:60 lrs:200	50	50	200	100- 400

Neben den oben genannten Nachteilen sind hier jedoch noch zahlreiche Forschungsfragen ungeklärt. Ein Beispiel hierfür ist die notwendige, permanente An- und Abkoppelung verschiedener Fahrzeuge zueinander (Ad-hoc-Netzwerke). Außerdem widersprechen sich die Veröffentlichungen in den Angaben zur erreichbaren Erfassungsreichweite zum Teil deutlich, woraus das große Intervall in der Tabelle im Bereich von 100-400 m resultiert [18] [25].

Von den übrigen Sensortypen besitzen der Fernbereichs-RADAR (77 GHz) und der LIDAR die höchsten Reichweiten. Für die Detektion von Gegenverkehr bietet ein RADAR-Sensor Vorteile aufgrund der direkten Messbarkeit der Relativgeschwindigkeit. Die Reichweite von 200 m ist das Ergebnis einer Optimierung des Sensors auf die Anwendung ACC. Aufgrund der Methode der Fahrschlauchprädiktion sind hier keine höheren Reichweiten notwendig [26], dies kennzeichnet jedoch keine prinzipielle Reichweiten-Obergrenze. Bei einer Verdopplung der Entfernung, in der ein Objekt detektiert wird, verringert sich das Signal-Rausch-Verhältnis beim LIDAR aufgrund der Wandlung des Lichtstromes in die Diodenspannung einer Photodiode um -24 dB. Beim RADAR hingegen liegt die Verringerung wegen der direkten Verwendung der Leistungsgröße lediglich bei -12 dB. Da entgegenkommende Fahrzeuge möglichst früh und in größerer Entfernung erkannt werden sollen, stellt dies einen weiteren Vorzug des RADAR-Prinzips dar.

IV. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Betrachtung von Unfallstatistiken zeigt, dass eine beträchtliche Zahl von Personen bei Unfällen ums Leben kommt, die im Zusammenhang mit Überholvorgängen geschehen. Für Deutschland wird der Anteil der in Überholssituationen Getöteten auf über 5% der insgesamt im Straßenverkehr Getöteten beziffert. Es gibt zwar erste Ansätze und Funktionen, den Fahrer in Teilaspekten des Überholmanövers mit Assistenzsystemen zu unterstützen, der Gegenverkehr findet in den bisherigen Konzepten jedoch keine Berücksichtigung.

Basierend auf Annahmen zum Ablauf des Überholvorgangs wurden Mindestreichweiten zur Beurteilung der Überholssituation berechnet. Für eine Geschwindigkeit

des Gegenverkehrs von 120 km/h und 90 km/h des zu Überholenden ergab sich für den Überholbeginn eine Mindestreichweite von über 500 m.

Im Falle von Strahlsensorik kann der Gegenverkehr beim Ausscheren möglicherweise nur in verkürzten Distanzen detektiert werden. Spätestens beim Ende des Ausscherens wird der Sensor jedoch nicht mehr verdeckt.

Als Beispiel für ein Abbruchmanöver während des Ausscherens wurde gefordert, dass der Überholer gerade noch mit mittlerer Bremsbeschleunigung auf die Geschwindigkeit des Vordermanns abbremst und hinter diesem einscheren kann. Für diesen Zeitpunkt ergab sich eine Mindestreichweite von 375 m. Der Vergleich mit den Leistungsfähigkeiten marktverfügbarer Sensorsysteme zeigt, dass hier allenfalls C2C-Kommunikation ausreichend wäre. Weiterhin lässt sich ein serienverfügbarer RADAR-Sensor, dessen Reichweite für den Einsatzzweck ACC optimiert ist, so modifizieren, dass eine Sensor-Sichtweite von 400 m erreicht wird. Technisch ist die Erkennung von gefährlichem Gegenverkehr daher prinzipiell spätestens zum genannten Abbruchzeitpunkt möglich. Die Detektion des Gegenverkehrs kann bei Strahlsensorik auf Grund von ggf. vorausliegenden Kurven oder Kuppen nicht in jedem Fall gewährleistet werden. Für den Fall, dass das System Gegenverkehr detektiert und auf eine gefährliche Überholsituation schließen kann, ist jedoch eine Systemreaktion möglich.

DANKSAGUNGEN

Die Autoren danken der Continental AG für ihre großzügige Unterstützung der Forschungsarbeiten im Rahmen der Kooperation PRORETA.

LITERATUR

- [1] Bender, E.; Darms, M.; Schorn, M.; Stählin, U.; Isermann, R.; Winner, H.; Landau, K.: *Antikollisionssystem Proreta - Auf dem Weg zum unfallvermeidenden Fahrzeug*, Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ), Heft 04/2007, pp. 336-341, 2007.
- [2] Statistisches Bundesamt der BRD: *Verkehr: Verkehrsunfälle 2006*. Fachserie 8, Reihe 7, Wiesbaden, 2007.
- [3] Otte, D.: *Charakteristika von Unfällen auf Landstraßen. Analyse auf Erhebungen am Unfallort*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 122, 2000.
- [4] Hegeman, G.: *Overtaking Frequency*, Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Parma, 2004.
- [5] Clarke, D.D., Ward, P.J., Jones, J.: *Overtaking Road-Accidents: Differences in Manoeuvre as a Function of Driver Age.*, Accident Analysis & Prevention, Volume 30, Issue 4, pp. 455-467, 2008.
- [6] Durth, W.; Habermehl, K.: *Überholvorgänge auf einbahnigen Straßen*, Schriftenreihe Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik des Bundesministeriums für Verkehr, Heft 489, 1986.
- [7] Hegeman, G.; Brookhuis, K.; Hoogendoorn, S.: *Opportunities of Advanced Driver Assistance Systems towards Overtaking*, European Journal of Transport and Infrastructure Research, pp. 281-296, 2005.
- [8] Loewenau, J.; Gresser, K.; Wisselmann, D.: *Dynamic Pass Prediction - A New Driver Assistance System for Superior and Safe Overtaking*, Advanced Microsystems for Automotive Applications, pp. 67-77, Berlin, 2006.
- [9] Popken, M.: *AUDI side assist*, Hanser Automotive electronics + systems, 7-8, 2006.
- [10] Eidehall, A.: *Tracking and Threat Assessment for Automotive Collision Avoidance*, Linköpings Universitet, Dissertation, 2007.
- [11] Sakurai, K.; Kyo, S.; Okazaki, S.: *Implementation of Overtaking Vehicle Detection Using IMAPCAR Highly Parallel Image Processor*, 13th Congress on Intelligent Transportation Systems and Services, London, 2006.
- [12] Blanc, N.; Streux, B.; Hinz, T.: *LaRASideCam: a Fast and Robust Vision-Based Blindspot Detection System*, Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Istanbul, 2007.
- [13] Kretschmer, M.; König, L.; Neubeck, J.; Wiedemann, J.: *Erkennung und Prädiktion des Fahrerhaltens während eines Überholvorgangs*, 2. Konferenz Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, Garching, 2006.
- [14] Blaschke, C.; Schmitt, J.; Färber, B.: *Fahrmanöver-Prädiktion über CAN-Bus Daten*, Tagung Fahrer im 21. Jahrhundert, pp. 165-177, Braunschweig, 2007.
- [15] Ahle, E.; Söffker, D.: *Entwurf eines Überwachungsautomaten für Überholvorgänge von Kraftfahrzeugen*, GMA-Kongress Automatisierung als interdisziplinäre Herausforderung, pp. 53-60, Baden-Baden, 2005.
- [16] Winner, H. et al.: *Adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung ACC*, Technische Unterrichtung, Gelbe Reihe, Stuttgart, 2002.
- [17] Stiller, C.: *Fahrerassistenzsysteme - Von realisierten Funktionen zum vernetzt wahrnehmenden, selbstorganisierenden Verkehr*, in Maurer, M.; Stiller, C. (Hrsg.): *Fahrerassistenzsysteme mit Maschinellem Wahrnehmung*, pp. 1-20, Springer, Düsseldorf, 2005.
- [18] Nöcker, G.; Mezger, K.; Kerner, B.: *Vorausschauende Fahrerassistenzsysteme*, 3. Workshop Fahrerassistenzsysteme FAS2005, Walting, 2005.
- [19] Eichler, S.; Schroth, C.; Eberspächer, J.: *Car-To-Car Communication*, Proceedings of the VDE Congress - Innovations for Europe, Aachen, 2006.
- [20] Grimm, D. K.; Sadekar, V.; Popp, P.: *A General Motors Perspective on the Deployment of Vehicle to Vehicle Communications based Active Safety and Driver Assistance Applications*, VDI - Elektronik im Kraftfahrzeug, pp. 871-881, Baden-Baden, 2007.
- [21] Stüker, D.: *Heterogene Sensordatenfusion zur robusten Objektverfolgung im automobilen Straßenverkehr*, Dissertation, Carl von Ossietzky-Universität, Oldenburg, 2004.
- [22] Hella KGaA: *Technische Information: Elektronik - Fahrerassistenzsysteme*, Lippstadt, 2005.
- [23] Lüke, S.; Komar, M.; Strauss, M.: *Reduced Stopping Distance by Radar-Vision Fusion*, Advanced Microsystems for Automotive Applications, Berlin, 2007.
- [24] Ibeo Automobile Sensor GmbH: *Seven in one blow: Broschüre Laserscanner „ALASCA XT“*, Hamburg.
- [25] Kosch, T.: *Den Horizont der Fahrerassistenz erweitern: Vorausschauende Systeme durch Ad-hoc Vernetzung*, 1. Konferenz Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, Garching, 2006.
- [26] Winner, H.: *Mit aktiven Sensoren das Kfz-Umfeld erfassen - Funktion und Leistungsfähigkeit von Radar & Co, it - Information Technology*, Heft 01/2007, pp. 17-24, 2007.