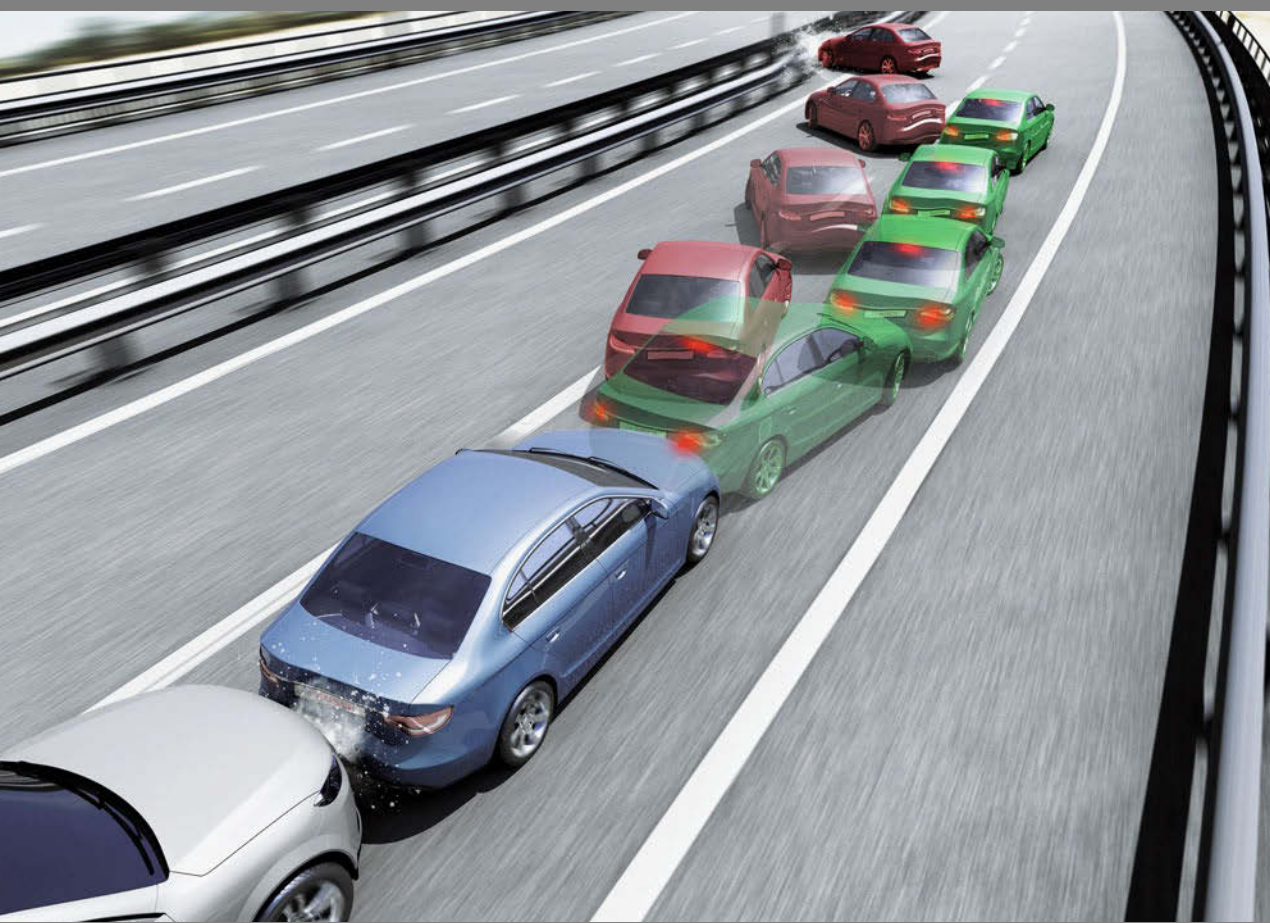


Vernetzung zwischen Airbag und ESP zur Vermeidung von Folgekollisionen

DIPL.-ING. ALEXANDER HÄUSSER | DIPL.-ING. RALF SCHÄFFLER | DIPL.-ING. ANDREAS GEORGI |
DR.-ING. STEPHAN STABREY



Mit der geschickten Vernetzung von Airbag und ESP gelang es Bosch, ein Notbremsssystem zu integrieren, mit dem verheerende Folgekollisionen nach Unfällen teils vermieden werden. Das Assistenzsystem Secondary Collision Mitigation (SCM) basiert auf der Sensorfusion, greift automatisch ein und bricht nicht ab, wenn die Datenübertragung durch den Erstaufprall gestört wird.

Unfallfreies Fahren

Mit dem Ziel des unfallfreien Fahrens entwickelt die Automobilindustrie immer leistungsfähigere Fahrerassistenzsysteme, die den Fahrer in kritischen Situationen unterstützen und somit Unfälle vermeiden helfen. Bereits während einer normalen Fahrt lassen sich Faktoren überwachen, die die Fahrsicherheit beeinflussen können. Beispielsweise erkennen aktuelle Assistenzsysteme eine zunehmende Schläfrigkeit des Fahrers und empfehlen eine Pause.

Kritischere Fahrsituationen wie eine drohende Kollision können entsprechende Assistenzsysteme frühzeitig über Umfeldsensoren erkennen. In Stufen wird der Fahrer zunächst durch Warnhinweise und dann gegebenenfalls auch durch eine automatische Notbremsung sowie einen Ausweichassistenten unterstützt. Darüber hinaus kann das aktive Sicherheitssystem ESP das Fahrzeug während eines kritischen Fahrmanövers innerhalb der physikalischen Grenzen stabilisieren. Kommt es dennoch zu einer Kollision, unterstützen bislang nur die passiven Sicherheitssysteme wie beispielsweise Airbags.

Wie Untersuchungen zeigen, ziehen viele dieser Erstkollisionen weitere Folgekollisionen nach sich, die maßgeblich durch den Fahrer beeinflusst werden können. Allerdings ist jeder Unfall für den Fahrer ein seltenes Ereignis und führt nach einem Erstanprall in der Regel zu einer verlängerten Schrecksekunde. In dieser ist der Fahrer kaum handlungsfähig und durch einhergehende Verletzungen oftmals weiter beeinträchtigt. Hier setzt die Funktion Secondary Collision Mitigation (SCM, Verminderung des zweiten Aufpralls) an.

Durch die Vernetzung der Airbaginformationen mit dem ESP wird eine automatische Verzögerung nach der Erstkollision eingeleitet. Folgekollisionen lassen

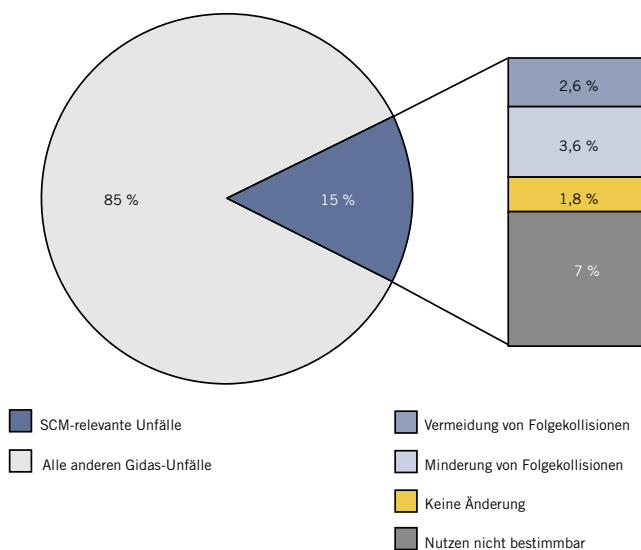
sich dadurch vermeiden oder deren Unfallfolgen zumindest deutlich reduzieren. Ein wesentlicher Bestandteil bei der Entwicklung dieser Funktion war eine detaillierte Analyse von Unfalldaten im Rahmen der Unfallforschung. Hierbei wurde eine Auswertung statistisch relevanter Situationen (Wirkfeldanalyse) mit anschließender Nutzen- und Risikoanalyse durchgeführt, deren Erkenntnisse in die Funktionsentwicklung eingeflossen sind.

Von der Wirkfeldanalyse zur Nutzen- und Risikobewertung

Das reale Unfallgeschehen zeigt, dass in rund jedem vierten Unfall mit Personenschaden Pkw in mehrere Kollisionen verwickelt werden. Besonders bei primären Kollisionen, bei denen die Airbagauslösschwellen erreicht werden, ist die unterstützende Wirkung einer Funktion zur Vermeidung von Folgekollisionen (SCM) von großer Hilfe. Im deutschen Unfallgeschehen mit Personenschaden entspricht das einem Wirkfeld von 15% (46.000 Unfällen pro Jahr). Die Unfalldatenbank Gidas (German In-depth Accident Study) [1] bietet die Möglichkeit, solche Funktionen hinsichtlich des genannten Wirkfelds, des Nutzens und des Risikos systematisch zu bewerten.

Eine exakte Ermittlung des Funktionsnutzens bei Pkw konnte für etwas mehr als die Hälfte der relevanten Gidas-Unfälle durchgeführt werden. Hier wurde die Wegänderung durch den systeminitiierten Bremseingriff berechnet. Bei der Berechnung wurden beispielsweise die jeweiligen Straßenverhältnisse, eventuelle Fahrerreaktionen oder eine Fahrzeugrotation berücksichtigt. Wie Bild 1 zeigt, führt der Bremseingriff in 2,6% aller Unfälle zu einer Vermeidung der Folgekollision und in 3,6% zu einer deutlichen Geschwindigkeitsreduktion. In 1,8% aller Unfälle hat die Funktion kei-

Bild 1
SCM-Nutzenanalyse
für Pkw auf Basis
von 3148 repräsen-
tativen Unfällen
aus der Gidas-
Datenbank



nen Nutzen; das heißt, hier hat der Fahrer optimal gebremst oder der Weg zwischen den Kollisionen war nur sehr gering. In etwa der Hälfte der durch SCM adressierbaren Unfälle (7 % aller Unfälle) konnte der Nutzen nicht exakt berechnet werden. Hier hatten die Fahrzeuge entweder in der primären Kollision die Fahrbahn verlassen oder es kam zu einer Folgekollision gegen ein weiteres sich bewegendes Fahrzeug. Die Auswirkung von SCM in den sogenannten Abkommensunfällen ist gering, da hier durch die Bremsung der Räder auf losem Untergrund nur wenig zusätzliche Verzögerung aufgebaut werden kann. Weitere detaillierte Einzelfalluntersuchungen zeigten bei Unfällen mit Folgekollisionen gegen fahrende Fahrzeuge, dass auch hier ein nennenswerter Funktionsnutzen zu erwarten ist.

Da SCM mit Erreichen der Auslöseschwelle auch bei Unfällen mit lediglich einer Kollision pro Fahrzeug aktiviert und die Fahrzeuge entsprechend verzögert werden, musste dieser Effekt auch hinsichtlich potenzieller Risiken untersucht werden. Dazu wurden mehr als

2700 weitere Unfälle aus der Gidas Datenbank hinsichtlich der Auswirkungen der Wegänderung nach einer Erstkollision untersucht. Die Risikobetrachtung führte zu dem Ergebnis, dass in fast allen Anprallsituationen eine Vollbremsung sinnvoll ist. Lediglich bei Frontalkollisionen empfiehlt sich eine Reduzierung der Bremsverzögerung, um ein optimales Nutzen/Risiko-Verhältnis realisieren zu können.

Funktionsauslegung

Die Funktionsauslegung basiert im Wesentlichen auf der im Rahmen der Unfallforschung durchgeführten Nutzen- und Risikoanalyse. Aus dieser wurde die zur Auslösung erforderliche Aufprallstärke sowie abhängig von der Anprallsituation die aufzubauende Bremsverzögerung abgeleitet. Die Funktionsteile zur Auswertung von Aufprallstärke und Anprallsituation sind im Airbag-Steuergerät umgesetzt. Der Bremsdruck, der zum Erreichen der Bremsverzögerung erforderlich ist, wird im ESP-Steuergerät berechnet.

Die aufgebaute Bremsverzögerung bestimmt entsprechend den Richtlinien für die funktionale Sicherheit (ISO 26262) die Sicherheitsanforderungen an das Gesamtsystem. Diese werden aus der Wahrscheinlichkeit und der Auswirkung eines fehlerhaften Verhaltens der Funktion abgeleitet und müssen bei der Integration der SCM-Funktionen in den beiden Steuergeräten berücksichtigt werden. Zur sicheren Übertragung des Auslösesignals vom Airbag-Steuergerät zum ESP-Steuergerät muss beachtet werden, dass das Fahrzeugnetzwerk unfallbedingt gestört sein kann. Tritt eine solche Störung nach der SCM-Auslösung auf, kann die eingeleitete Bremsverzögerung vom Airbag-Steuergerät nicht mehr abgebrochen werden. Das Auslösesignal muss deshalb vor Einleiten der Bremsverzögerung ausreichend gegen Übertragungsfehler verifiziert werden.

Dies kann beispielsweise durch einen gesonderten Handshake-Mechanismus zwischen Airbag-Steuergerät und ESP-Steuergerät erreicht werden, bei dem SCM im ESP-Steuergerät erst dann ausgelöst wird, wenn die Steuergeräte wechselseitig eine Prüfsumme richtig berechnet haben.

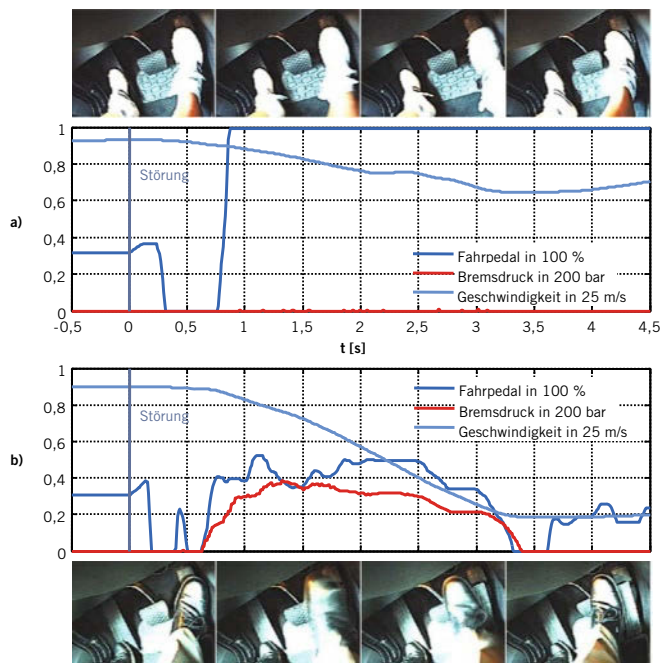
Für die Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen sind neben der funktionalen Sicherheit ein für den Fahrer transparentes Systemverhalten sowie die Möglichkeit, automatische Systemeingriffe überstimmen zu können, von zentraler Bedeutung. Das Wechselspiel zwischen einem automatischen Bremseneingriff durch SCM und dem Fahrerverhalten nach einer Initialkollision wurde daher in einer Probandenstudie [2] ausführlich untersucht.

Obwohl die auf das Fahrzeug wirkenden Kräfte bei dem dabei zur gefahrlosen Simulation einer Initialkollision eingesetzten Lenkeingriff deutlich kleiner waren als bei einer realen Kollision, wurden zum Teil erhebliche Probleme bei der

Bewältigung der überraschend auftretenden Situation beobachtet.

Vor dem Hintergrund der Entwicklung einer intuitiven Überstimmstrategie lieferte die Auswertung der Fahr- und Bremspedalbetätigung wichtige Erkenntnisse. So wurden neben der erwarteten Reaktion „Fuß vom Gas und bremsen“ auch das in Bild 2 (a) gezeigte „Durchtreten“ des Fahrpedals, also ein Kickdown, sowie die in Bild 2 (b) dargestellte gleichzeitige Betätigung von Fahr- und Bremspedal beobachtet. Mit Hilfe der Videoaufnahmen einer im Fußraum verbauten Kamera lässt sich dieses unerwartete Verhalten auf die wirkenden Trägheitskräfte zurückführen. Die Auswertung der Bewegungsabläufe zeigt deutlich, dass die betreffenden Probanden durchaus den Fuß vom Fahrpedal nehmen und bremsen wollten, aufgrund der Wirkung der Trägheitskräfte jedoch den Fuß nicht bis zum Bremspedal bewegen konnten. Für die Überstimmung eines SCM-Eingriffs durch den Fahrer, also die Been-

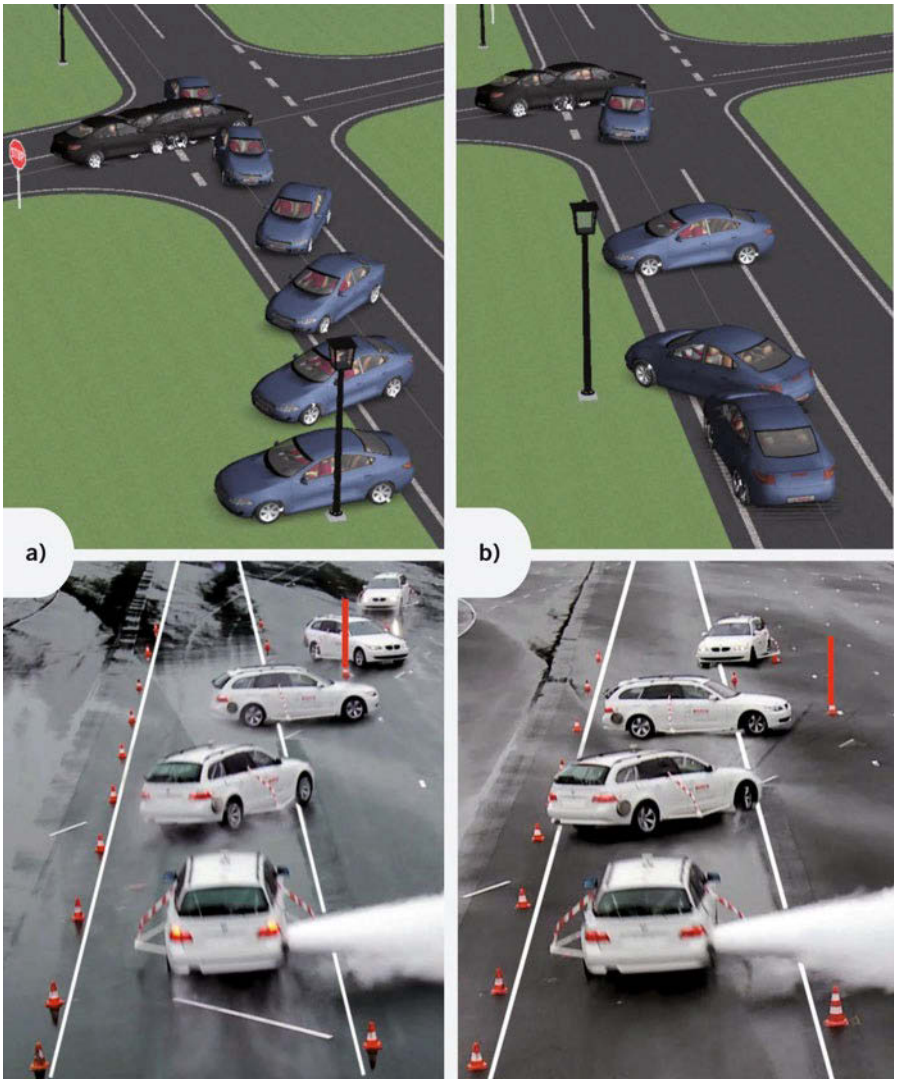
Bild 2
Fahrerreaktionen bei durch Lenkimpuls simulierter Initialkollision; „Durchtreten“ des Fahrpedals (a), gleichzeitige Betätigung von Fahr- und Bremspedal (b)



derung der automatisch ausgelösten Verzögerung, ist die bloße Betätigung des Fahrpedals daher kein geeignetes Kriterium. Anhand des zeitlichen Verlaufs von Fahr- und Bremspedalbetätigung lässt sich die bereits beschriebene Fehlbedienung jedoch erkennen, sodass ein Abbruch des SCM-Eingriffs bei einem Fahrwunsch nur nach beabsichtigter Fahrpedalbetätigung erfolgt. Von einem Fahrwunsch kann ebenfalls ausgegangen werden, wenn ein zunächst

mit einer starken Bremsung reagierenden Fahrer den Bremsdruck nach Wiedererlangen der Kontrolle wieder reduziert. Ein in diesem Fall aufgrund des SCM-Eingriffs trotz Rücknahme des Bremspedals weiter verzögerndes Fahrzeug könnte den Fahrer erheblich irritieren. Um ein solches unerwartetes Fahrzeugverhalten zu vermeiden, wird ein SCM-Eingriff auch bei einer vom Fahrer ausgeführten starken Bremsung beendet.

Bild 3
Rekonstruktion
eines konkreten
Realunfalls aus der
Gidas-Datenbank in
der Simulation
(obere Zeile) und in
einem Fahrversuch
(untere Zeile): ohne
Eingriff des SCM
(a), mit Eingriff des
SCM (b)



Validierung der Funktion

Zur Analyse der Potenziale von Fahrsicherheitsfunktionen, die wie SCM nach einer Initialkollision in die Fahrzeugbewegung eingreifen, hat die zentrale Forschung der Robert Bosch GmbH ein spezielles Versuchsfahrzeug aufgebaut. Mit Hilfe einer im Fahrzeug integrierten Heißwasserrakete lassen sich für eine Dauer von etwa 100 ms am Fahrzeugheck äußere Kräfte bis zu 45 kN in Querrichtung aufbringen. Dieser Aufbau ermöglicht die zerstörungsfreie, wiederholbare Untersuchung der Auswirkungen von Seitenkollisionen am Heck auf die Fahrzeugbewegung und das Fahrerverhalten sowie den Nachweis der Wirksamkeit von Funktionsprototypen.

Um den Nutzen von SCM im realen Fahrversuch zu verdeutlichen, wurden exemplarisch die Unfallbedingungen eines konkreten in der Gidas-Datenbank erfassten Kreuzungsunfalls nachgestellt. Das am Heck getroffene Fahrzeug geriet bei diesem Unfall ins Schleudern, kam von der Fahrbahn ab, kollidierte im Bereich der Fahrertür mit einer Straßenlaterne und überschlug sich. Die Rekonstruktion des Unfalls in der Simulation sowie die Trajektorie des Fahrzeugs ohne SCM im Fahrversuch, bei dem die Position der Straßenlaterne mit einem Pylon markiert wurde, sind in Bild 3 (a) dargestellt.

Die Fahrversuche zeigten sehr deutlich, dass selbst erfahrene und vorbereitete Fahrer die induzierte Gierbewegung durch sofortiges schnelles Gegenlenken nicht stabilisieren konnten. In solchen unkontrollierbaren Bewegungszuständen kommt dem Abbau kinetischer Energie zur Minderung der Schwere potenzieller Folgekollisionen besondere Bedeutung zu. Der in Bild 3(b) gezeigte Bewegungsablauf des mit SCM ausgestatteten Fahrzeugs verdeutlicht, dass die Folgekollision mit der Straßenlaterne

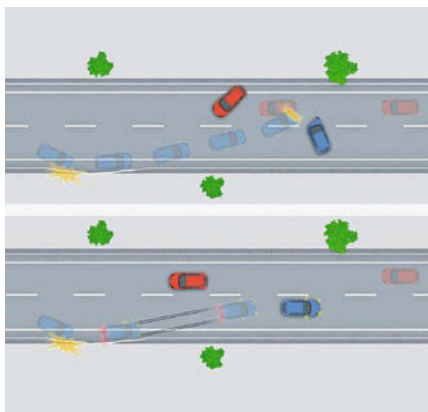


Bild 4
Die unzureichende Reaktion des Fahrers nach einem Unfall kompensiert die Elektronik (Bild © Volkswagen)

durch eine unmittelbar nach der Initialkollision automatisch eingeleitete Vollverzögerung hätte vermieden werden können. Die unzureichende Reaktion des Fahrers nach einem Unfall kann die Elektronik des SCM somit kompensieren, Bild 4.

Zusammenfassung und Ausblick

Aus einer systematischen Unfalldatenanalyse geht hervor, dass es in vielen Unfällen zu mehreren Kollisionen kommt, sodass durch eine gezielte Beeinflussung der Fahrzeugbewegung nach der Initialkollision eine Minderung der Gesamtunfallschwere möglich ist. Als erster Ansatz für derartige Fahrsicherheitsfunktionen ermöglicht die intelligente Vernetzung von Airbag- und ESP-System in Fahrzeugen mit Secondary Collision Mitigation (SCM) von Bosch ein automatisches Verzögern nach der Initialkollision. Wenngleich dadurch Folgekollisionen nicht in allen Unfallsituationen vermieden werden können, führt der erzielte Geschwindigkeitsabbau doch in aller Regel zu einer Minderung des Verletzungsrisikos.

Darüber hinaus erweitert die verlängerte Zeitspanne zwischen Initial- und Folgekollision die Eingriffsmöglichkeiten des Fahrers. Eine auf realen Unfalldaten

basierte Nutzen/Risiko-Abschätzung sowie die Funktionsvalidierung in Simulation und Fahrversuch belegen das Potenzial zur Minderung von Personen- und Sachschäden im Straßenverkehr. Weiterführende Fahrsicherheitsfunktionen, die den Bewegungsablauf zwischen den Kollisionen mit komplexeren fahrdynamischen Eingriffen beeinflussen, versprechen weitere Potenziale und sind Gegenstand aktueller Forschung [3, 4].

Literaturhinweise

- [1] Georgi, A.; Brunner, H.; Scheunert, D.: Gidas – German In-Depth Accident Study, Fisita Congress 2004, Barcelona, Spain, 2004, www.gidas.org
- [2] Stabrey, S.; Georgi, A.; Blank, L.; Marchthaler, R.: Minderung der Schwere von Unfällen mit Mehrfachkollisionen durch automatische Bremseingriffe. In: VDI-Bericht 2009: Autoreg 2008 Steuerung und Regelung von Fahrzeugen und Motoren, Baden-Baden. Düsseldorf : VDI Verlag, 2008
- [3] Derong Yang: Post Impact Vehicle Path Control in Multiple Event Accidents. Technical Report, Department of Applied Mechanics, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, ISSN 1652–8565, 2011
- [4] Salfeld, M.; Stabrey, S.; Trächtler, A.: Optimal Control Inputs to Affect Vehicle Dynamics in Various Driving States. In: IFAC Proceedings Volumes (IFAC Papers Online), pp. 151, 2007

Vernetztes Automobil

Sicherheit - Car-IT - Konzepte

Siebenpfeiffer, W. (Hrsg.)

2014, XIX, 236 S. 192 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-04018-5