

fußgängerschutz

entwicklung von schutzsystemen für die fahrzeugfront

DIPL.-ING. JENS BOVENKERK – Institut für Kraftfahrwesen Aachen der RWTH Aachen (ika)



Dipl.-Ing. Jens Bovenkerk ist seit 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Karosserie am Institut für Kraftfahrwesen Aachen der RWTH Aachen (ika).

1 Simulation der Fahrzeug-Fußgänger-Kollision mit aktuellen Fahrzeugen (Testergebnisse nach Euro NCAP)

» Maßnahmen der passiven Sicherheit haben neben dem erfolgreichen Einsatz von Systemen der aktiven Sicherheit, z. B. zur Fahrerassistenz und der integrierten Sicherheit als Bindeglied, auch in Zukunft einen hohen Stellenwert. Der Partnerschutz, insbesondere der Fußgängerschutz, weist jedoch noch erhebliches Verbesserungspotenzial auf. Während der Insassenschutz bereits hoch entwickelt ist, war der Fußgängerschutz für lange Zeit von untergeordneter Priorität. In den meisten Fällen ist der Käufer des Fahrzeugs der Insasse selbst, sodass das Interesse des Insassenschutzes klar dominiert.

Existierende Prüfverfahren: Diese Situation erfuhr durch die Einführung der zweistufigen Europäischen Richtlinie 2003/102/EC zum „Schutz von Fußgängern und anderen ungeschützten Verkehrsteilnehmern vor und bei Kollisionen mit Kraftfahrzeugen“ deutliche Veränderungen. Seit dem 1. Oktober 2005 ist die Phase I der Richtlinie verbindlich für die Typzulassung neuer Fahrzeugmodelle im Europäischen Markt. Japan führte einen Monat zuvor eine ähnliche Regelung ein. Zurzeit wird seitens der UN-ECE-Expertengruppe „Passive Sicherheit“ (GRSP) eine Globale Technische Regelung (GTR) unter der Einbeziehung weiterer Industriestaaten mit dem Ziel erarbeitet, eine weltweite Harmonisierung zu schaffen.

Die Bewertung wird in diesen Verfahren durch Verwendung von Subsystemen für Kopf, Hüfte und Bein vorgenommen. Phase I der aktuellen EU-Richtlinie schreibt Grenzwerte für den Beinaufprall am Stoßfänger und den Kopfaufprall auf der Motorhaube vor. Phase II (EEVC-WG 17) dieser Richtlinie soll am 1. September 2010 eingeführt wer-

den. Sie sieht zusätzliche Tests für den Anprall der Hüfte an die Haubenvorderkante, eine Unterteilung in Kinder- und Erwachsenenkopfaufprallbereich sowie verschärfte Grenzwerte vor.

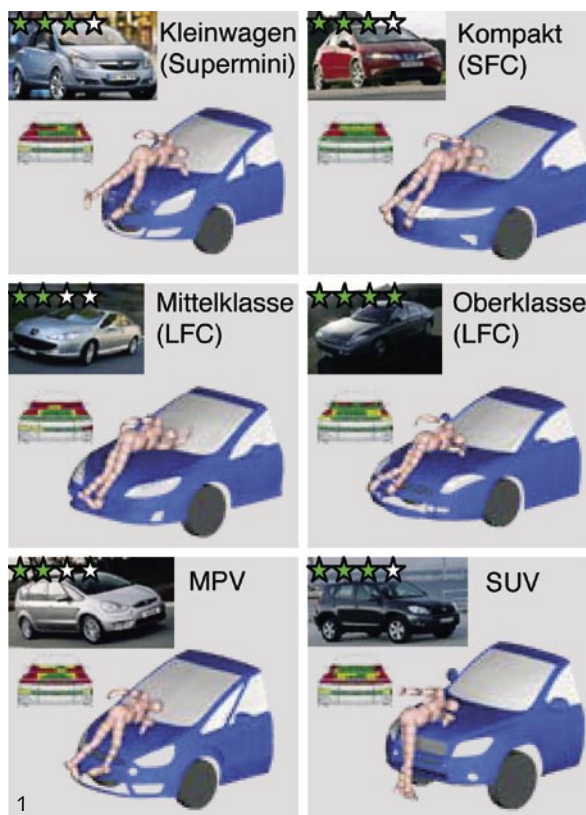
Derzeit steht die Zustimmung des Europäischen Parlaments für ein Angebot zur Änderung der Phase II basierend auf Machbarkeitsstudien aus. In dieser geänderten Prüfvorschrift sollen die passiven Anforderungen abgeschwächt werden und bei gleichzeitigem Einsatz des Bremsassistenten als aktives System ein ebenso hohes bzw. verbessertes Schutzpotenzial gewährleistet werden. Für den im realen Unfall häufig vorzufindenden Kopfaufprall im Windschutzscheibenbereich sind derzeit weder Prüfverfahren ausgearbeitet noch Grenzwerte definiert worden.

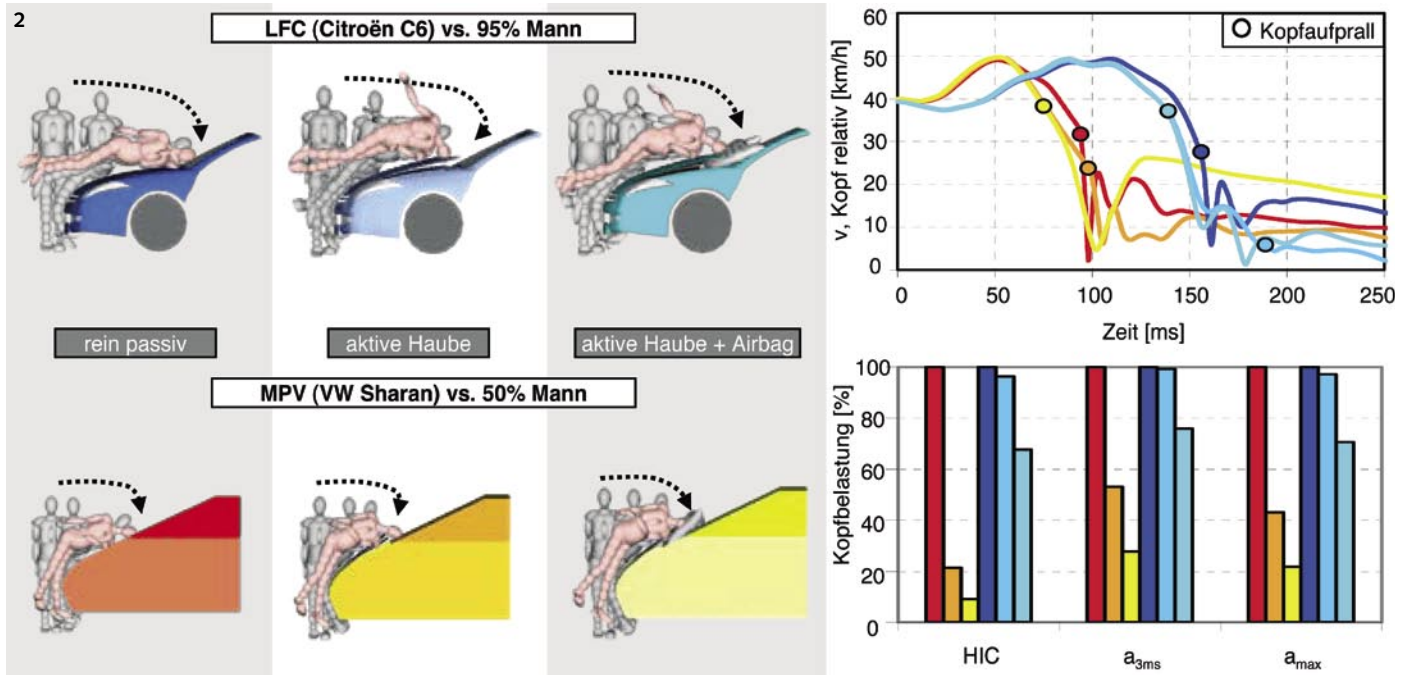
Parallel zu den gesetzlichen Vorschriften wird die Prüfung des Fußgängerschutzes von der Verbraucherschutzorganisation Euro NCAP

bereits seit langer Zeit berücksichtigt. Die hier enthaltenen Anforderungen zum Fußgängerschutz orientieren sich bereits heute an Phase II der EU-Richtlinie. Der Bereich der Windschutzscheibe wird in der Prüfung mit einbezogen.

Systemlösungen am Fahrzeug: Durch die Digitalisierung unterschiedlicher Fahrzeugfrontkonturen und Übersetzung in Facettenmodelle können die realen Fahrzeug-Fußgänger-Kollisionen mit aktuellen Fahrzeugen in Madymo nachgebildet werden (Bild 1). Verschiedene Studien sowie eigene Untersuchungen haben

gezeigt, dass diese Simulationen den Unfallverlauf im Bezug auf die Kinematik gut nachbilden können. Aufprallorte und -zeiten der Fußgängermodelle geben Aufschluss über das Schutzpotenzial der bereits implementierten Systeme bzw. den Bedarf für eine Erweiterung, um beispiels-





weise unvermeidbar steife Bereiche wie Windlauf und A-Säulen abzudecken.

Insbesondere aktive Haubensysteme, die bereits in den Serienfahrzeugen Honda Legend, Jaguar XK und Citroën C6 vorzufinden sind, sowie Airbags, die als vielversprechende zukünftige Erweiterung erscheinen, stehen im Fokus aktueller Arbeiten im Rahmen des Forschungsprojekts APROSYS („Advanced PROtection SYStems“) Sub Project 3 „Pedestrian Accidents“ aus dem 6. Rahmenprogramm der EU. Benchmark der Untersuchungen bilden das derzeit einzige 4-Sternefahrzeug im Euro-NCAP-Test (Citroën C6) sowie passive Lösungen weiterer aktueller Fahrzeuge.

Ausgehend von einer Serienlösung wird untersucht, inwiefern eine solche aktive Haube das Verletzungsrisiko senken kann oder ob sie möglicherweise sogar zusätzliche Gefahren in sich birgt. Passive Strukturauslegung für die Anforderung Fußgängerschutz ist auch bei aktiven Hauben Voraussetzung für ausreichenden Schutz der Systeme. Die Implementierung zusätzlicher Außenairbags kann für einige Fahrzeugfronten im realen Unfallgeschehen Vorteile bieten.

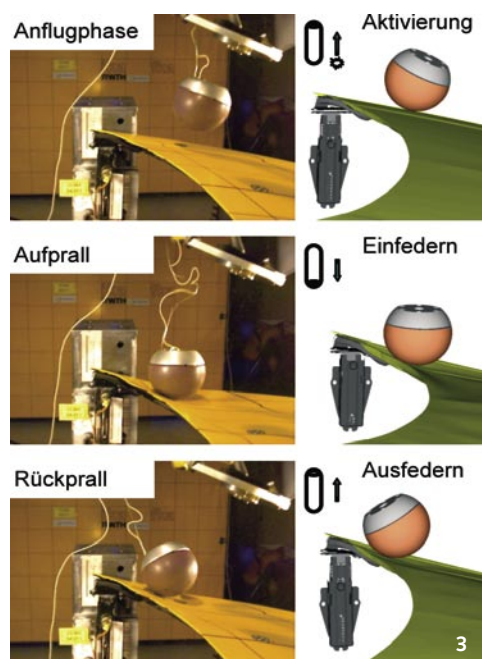
Bild 2 zeigt am Beispiel der aktiven Serienhaube aus dem durchgeführten Benchmark, dass diese Systeme beim Kopfaufprall im hinteren Bereich keine Vorteile aufweisen. Beispiel-

haft ist dieses Modell sowohl durch verschiedene Arten von Windlaufairbagsystemen erweitert als auch durch Weglassen der Haubenaktuatorik auf eine einfachere Variante reduziert worden. Auf diese Weise kann dann ausgewertet werden, wie sich diese Systeme bei unterschiedlich großen Fußgängern (5%-Frau bis 95%-Mann) auf die Unfallkinematik und das Verletzungsrisiko auswirken. Im Vergleich zum Citroën C6 ist eine allgemeine Fahrzeugfront vom Typ „MPV“ aufgeführt. Insbesondere fällt die deutlich abweichende Aufprallzeit auf.

Diesen Untersuchungen der Auswirkung der gesamten Aufprallkinematik folgt eine detaillierte Analyse eines aktiven Serienhaubensystems (Citroën C6). Anhand der genauen Bauteil- und Materialdaten sowie statischen Belastungstests ist ein LS-Dyna-Simulationsmodell von Haubenbereich und Aktuatorik erstellt worden. Auf diese Weise können mithilfe von Subsystemsimulationen mit Kopffimpaktoren eine Validierung durchgeführt sowie Aussagen über Auslegung und Performance getroffen werden (vgl. **Bild 3**).

Zur Validierung des Modells dient eine Reihe von Impaktorversuchen, die am Stoßkolbenprüfstand des ika durchgeführt worden sind. Dabei sind die in der EU-Richtlinie festgelegten EEVC-Impaktoren für den Kinder- und Erwachsenenkopf

- 2 Einfluss aktiver Systeme auf die Aufprallkinematik und Kopfbelastung
- 3 Analyse einer aktiven Serienhaube in Versuch und Simulation



(2,5 kg bzw. 4,8 kg, Phase II) und der 3,5 kg schwere ACEA-Impaktor (Phase I) zum Einsatz gekommen. Der Vergleich von Simulation und Versuch zeigt hier eine sehr gute Übereinstimmung.

Bei diesen Untersuchungen kann festgestellt werden, dass aktuelle Fahrzeuge im Bereich des Windschutzscheiben- und Haubenrands, insbesondere aber im Windlaufbereich noch deutliche Schwachstellen aufweisen. Der Schutz beim Kopfaufprall kann hier in den meisten Fällen nicht gewährleistet werden. Auch bei aktiven Haubensystemen liegt in der Regel nur dann ein erhöhter Schutz vor, wenn der Kopf auf die Haube selbst aufprallt. Dies ist jedoch in vielen Konstellationen nicht der Fall, sodass das System dann keinen Schutz bietet oder im Extremfall beim Aufprall direkt im Bereich der hinteren Haubenöffnung nachteilig wirkt.

Durch diese gewonnenen Erkenntnisse wird derzeit im APROSYS-Projekt ein Prototyp auf Basis eines Kompaktklassefahrzeugs aufgebaut, der eine möglichst hohe Bandbreite von effektiven Maßnahmen zum Fußgängerschutz enthalten soll. Die Arbeiten werden in Kooperation mit OEMs, Zulieferern und Forschungsinstituten sowie Universitäten aus Europa durchgeführt.

Verbesserte Prüfverfahren: Im APROSYS-Projekt sollen sowohl Prüfverfahren als auch Schutzsysteme für den Aufprall von Fußgängern am Pkw erweitert und verbessert werden. Als Basis wurden dazu aktuell existierende Prüfverfahren sowie Systemlösungen an Fahrzeugen für den Kopfaufprall von Fußgängern analysiert. Aufgrund der Interdependenz können Prüfverfahren und Systemlösungen bei der Entwicklung nicht unabhängig voneinander betrachtet werden.

Die Weiterentwicklung von Prüfverfahren zielt darauf ab, sowohl aktuelle Subsystemtests besser dem realen Unfallszenario anzupassen als

auch die Möglichkeiten der Simulation zu nutzen, um aktuelle Schutzsysteme möglichst frühzeitig umfassend bewerten zu können. Schutzsysteme werden in der Regel gemäß den Anforderungen der Prüfverfahren ausgelegt. Im Umkehrschluss dazu müssen allerdings auch Prüfverfahren für neuartige Systemlösungen, wie beispielsweise Airbags, angemessene Ergebnisse liefern.

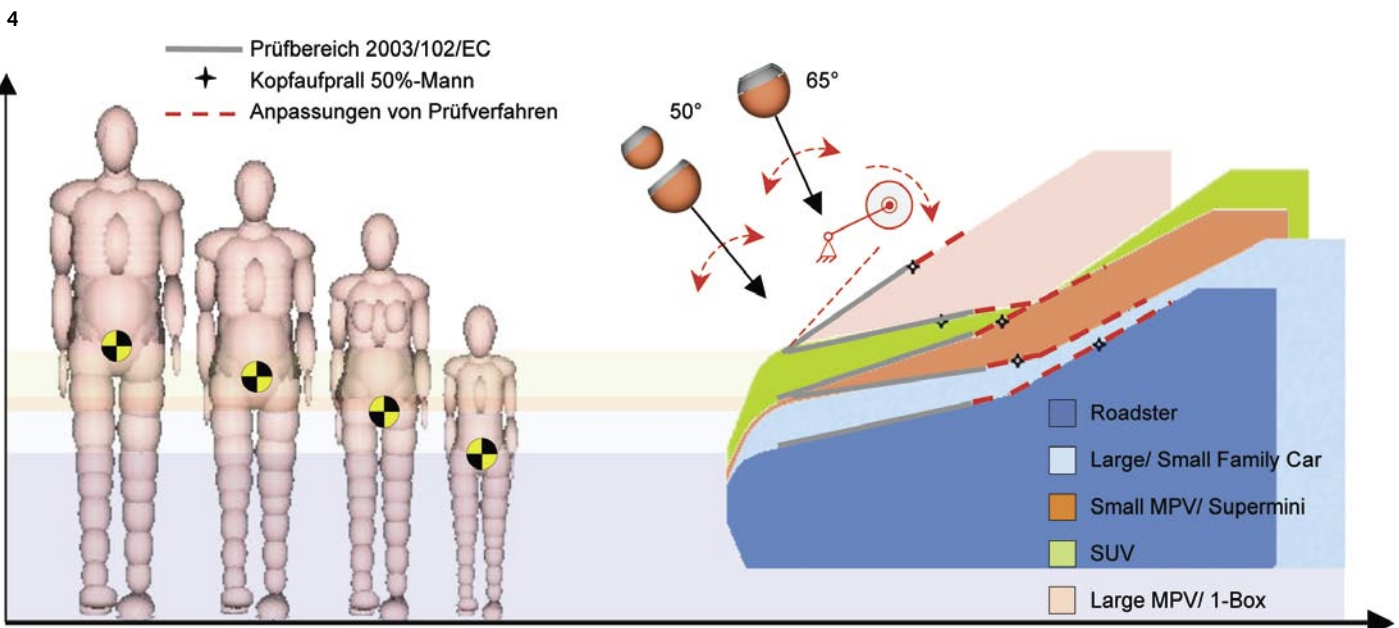
Die auf diese Weise erhaltenen Ergebnisse bilden die Grundlage für Untersuchungen hinsichtlich in Zukunft möglicherweise erforderlicher Änderungen bzw. Erweiterungen von gesetzlichen Vorschriften und Prüfverfahren.

Dabei erscheint eine Klasseneinteilung unterschiedlicher Frontgeometrien hinsichtlich der Aufprallkinematik sinnvoll. Es genügen dann wenige Geometrieparameter des Vorderwagens, um abschätzen zu können, welches Aufprallverhalten (Aufprallgeschwindigkeit, -ort, -zeit) zu erwarten ist und inwiefern z.B. Hauben- oder Airbagsysteme realisiert werden können. Diese sind z.B. an sehr steilen Fronten („1-Box“) kaum einsetzbar, da dort nicht die nötige Zeitdifferenz bis zum Kopfaufprall von ca. 15 ms für den Sensor sowie ca. 40 ms für die Aktuatorik zur Verfügung steht.

Bei kurzen oder steilen Fahrzeugfronten kommt es schon bei Fußgängern mittlerer Größe häufig zum Aufprall des Kopfes im Scheibenbereich. Bei einigen Konstellationen treten im Vergleich zu aktuellen Prüfverfahren sehr steile Kopfaufprallwinkel von mehr als 90° auf. Auch die Aktivierung der Haube hat durch die Anhebung im Aufprallgebiet von Hüfte und Schulter eine Auswirkung auf die Kinematik und darf somit in einer ganzheitlichen Bewertung nicht vernachlässigt werden.

Durch eine Überlagerung von Translation und Rotation entsteht eine komplexe Aufprallkinematik, die sich in einem robusten und kostengünstigen Prüfverfahren nur schwer nachbilden

4 Anpassungen für verbesserte Prüfverfahren



lässt. Die Rotationsbewegung des Kopfes ab dem Schulterkontakt erscheint als eine Abweichung von der linearen Schussbewegung des Subsystems. Diese Bewegung kann bei einem Kopfaufprall im Bereich der Öffnungsfuge bei aktiven Motorhauben zu einem Kontakt mit der Haubenhinterkante führen.

In **Bild 4** sind entsprechend die anzupassenden Parameter aufgetragen. Dazu zählen die Ausweitung des Prüfbereichs, die Abstimmung der Anflugwinkel sowie eine neue Möglichkeit, die komplexe Aufprallkinematik nach dem Schulteranprall besser abzubilden. Diese Anordnung würde gegebenenfalls auch die Überprüfung des Einflusses der geöffneten Haubenhinterkante ermöglichen.

In einem bereits existierenden Zertifizierungsprotokoll (UN ECE INF/PS/141) sind Testvorschriften für „non-static systems“ enthalten. Hier wird vorgeschrieben, mithilfe von Simulationen einen Nachweis über Kopfaufprallzeiten verschiedener Fußgängermodelle zu liefern, um die vollständige Aktivierung des Systems im relevanten Zeitfenster sicherzustellen. Die Aktivierungszeit des Systems und die Funktion des Sensors werden im Zuge des Beinaufpralltests bzw. in einem Dummyversuch ermittelt bzw. geprüft. Daraufhin ist die Prüfung durch einen Impaktortest zum einen quasistatisch im aktivierten Zustand bei permanent aktivem Zustand (z. B. Haube mit Federpaket) und zum anderen dynamisch bei Airbags enthalten. Weiterhin muss die Aktivierungszeit für Systeme mit berührungslosen Sensoren separat ermittelt werden.

Die Überlagerung der Ergebnisse aus den numerischen Simulationen mit den existierenden Prüfverfahren wird im weiteren Verlauf des Projekts zu einer verbesserten, robusten und machbaren Routine verschmolzen. Die virtuelle Bewertung im Rahmen von numerischen Simulationen soll als ein Modul neben dem Versuch mit in das Prüfverfahren einfließen.

Zusammenfassung: Diese existierenden Verfahren und Vorschriften sowie die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt APROSYS sollen zu einer machbaren und effektiven Bewertung und Weiterentwicklung aktueller Systeme zum Schutz von Fußgängern führen. Insbesondere Airbagsysteme für Fußgänger erscheinen bei geeigneten Frontgeometrien Vorteile aufzuweisen. Diese lassen sich nicht nur durch reduzierte Belastungswerte am Kopf, sondern auch durch eine positive Beeinflussung der Aufprallkinematik zeigen. Durch numerische Simulationen können aktuelle Systeme bzw. Fahrzeuge bereits im frühen Entwicklungsstadium umfassend im Hinblick auf die reale Kollision analysiert werden. «