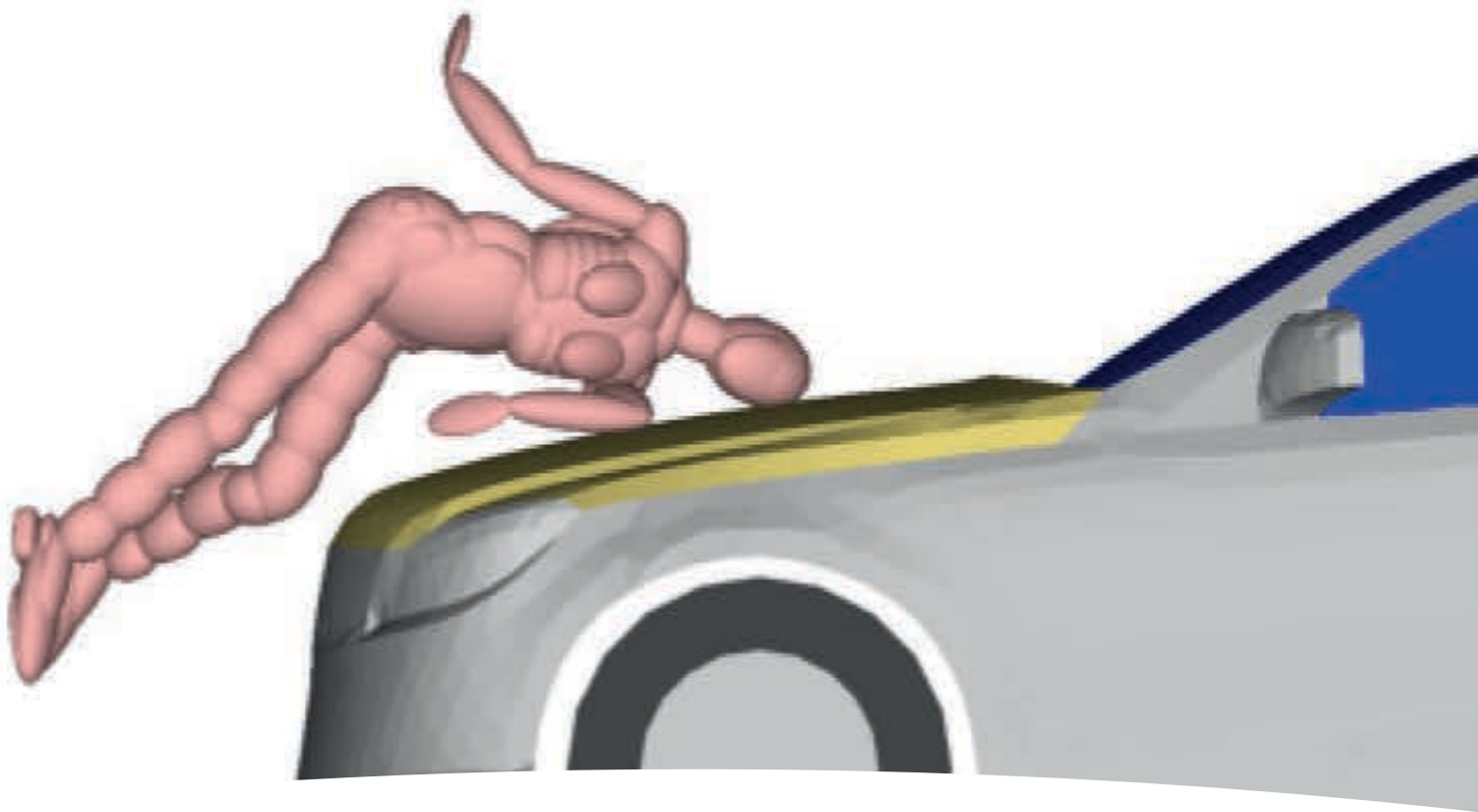




Unfallforschung kompakt

Bewertung von Fußgängerschutzmaßnahmen

Unfallforschung
der Versicherer



Impressum

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
Unfallforschung der Versicherer

Wilhelmstraße 43 / 43G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
unfallforschung@gdv.de
www.udv.de

Redaktion: Dipl.-Ing. Thomas Hummel
Layout: Franziska Gerson Pereira
Bildnachweis: Unfallforschung der Versicherer

Erschienen: 09/2012

Vorbemerkung

Im Rahmen eines zweijährigen Forschungsprojektes hat die Unfallforschung der Versicherer (UDV), gemeinsam mit der Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen (fka), von 2008 bis 2010 ein neues Bewertungsverfahren zum Fußgängerschutz entwickelt. Ziel dieses Verfahrens war es, sowohl passive (z. B. aufstellende Motorhaube) als auch aktive Maßnahmen (z. B. automatische Notbremse) zur Erhöhung des Fußgängerschutzes an Pkw anhand eines Indexes vergleichbar zu machen.

In der UDV-Schriftenreihe „Unfallforschung kompakt“ sind im Jahr 2011 die wesentlichen Elemente des Verfahrens in konzentrierter Form von Kühn [1] beschrieben worden. Die vorliegende Publikation geht vertieft auf die einzelnen Module des Bewertungsverfahrens ein und liefert konkrete Bewertungen von 19 Fahrzeugen, die in den Jahren 2010/11 von Euro NCAP getestet wurden.

Inhalt

Vorbemerkung	2
Beschreibung des Bewertungsverfahrens	4
Einteilung der Fahrzeugfront	4
Simulation und Unfallkinematik	6
Validierung der Simulationsparameter	6
Fahrzeugklassenspezifische Unfallkinematik	7
Struktureigenschaften und Schutzsysteme	9
Fahrzeugmodellspezifische Struktureigenschaften	9
Berücksichtigung implementierter passiver Schutzsysteme	12
Gewichtung und Anpassung der Struktureigenschaften	14
Indexberechnung Kopfbelastung	16
Verletzungsrisiko	17
Berechnungsformel	17
Geschwindigkeitsabhängige Indexberechnung	18
Anwendung der Bewertungsmethode	18
Zusammenfassung	22
Literatur	24

Beschreibung des Bewertungsverfahrens

Das im Zuge des Projektes „Fußgängerschutz am Kraftfahrzeug“ erarbeitete Bewertungsverfahren zeichnet sich durch einen modularen Aufbau aus. Generell können die einzelnen Module unabhängig voneinander weiterentwickelt oder ausgetauscht werden, wodurch das Verfahren jederzeit an aktuelle Entwicklungen bzw. neue Daten angepasst werden kann. Das Bewertungsverfahren gliedert sich in einen fahrzeugspezifischen Teil, in dem die für die Bewertung notwendigen Fahrzeugeigenschaften ermittelt werden sowie einen zweiten Teil, in dem, basierend auf den ermittelten Fahrzeugeigenschaften, die eigentliche Bewertung erfolgt. Die beiden Teile umfassen folgende Module:

- Vermessung und Einordnung in eine Fahrzeugklasse
- Simulation und Unfallkinematik
- Struktureigenschaften und Schutzsysteme sowie
- Gewichtung und Anpassung der Struktureigenschaften
- Indexberechnung.

Die Vermessung und Einordnung eines zu bewertenden Fahrzeugmodells in eine Fahrzeugklasse erfolgt anhand der geometrischen Parameter „Höhe der Fronthaubenvorderkante (h_{BLE})“, „Abwickellänge (WAD)“, „Haubenwinkel (α_F)“ (Abbildung 1) und führt zu sechs unterschiedlichen Fahrzeugklassen. Die Klassen dienen zur Abgrenzung der verschiedenen Frontgeometrien und repräsentieren generelle, klassenspezifische Unfallkinematiken. Abbildung 2 veranschaulicht die Vorgehensweise bei der Fahrzeugeinteilung. Die Einordnung eines zu bewertenden Fahrzeuges in eine Klasse bestimmt, welche Simulationsdaten im nächsten Modul zur Unfallkinematik für die Bewertung herangezogen werden. Alternativ können im Vorfeld auch fahrzeugmodellspezifische Simulationen durchgeführt werden, so dass eine Verwendung klassenspezifischer Daten nicht erforderlich ist.

Einteilung der Fahrzeugfront

Die Nutzung von Euro-NCAP-Daten stellt einen zentralen Bestandteil des hier beschriebenen Bewertungsverfahrens dar. Die definierte Einteilung der Fahrzeugfront orientiert sich daher

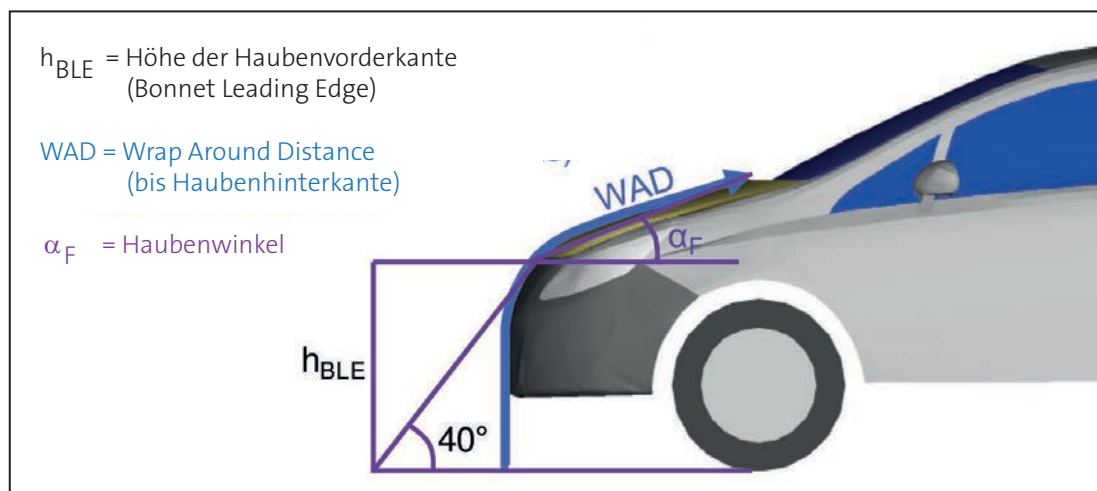


Abbildung 1:
Geometrische Parameter zur Fahrzeugkategorisierung

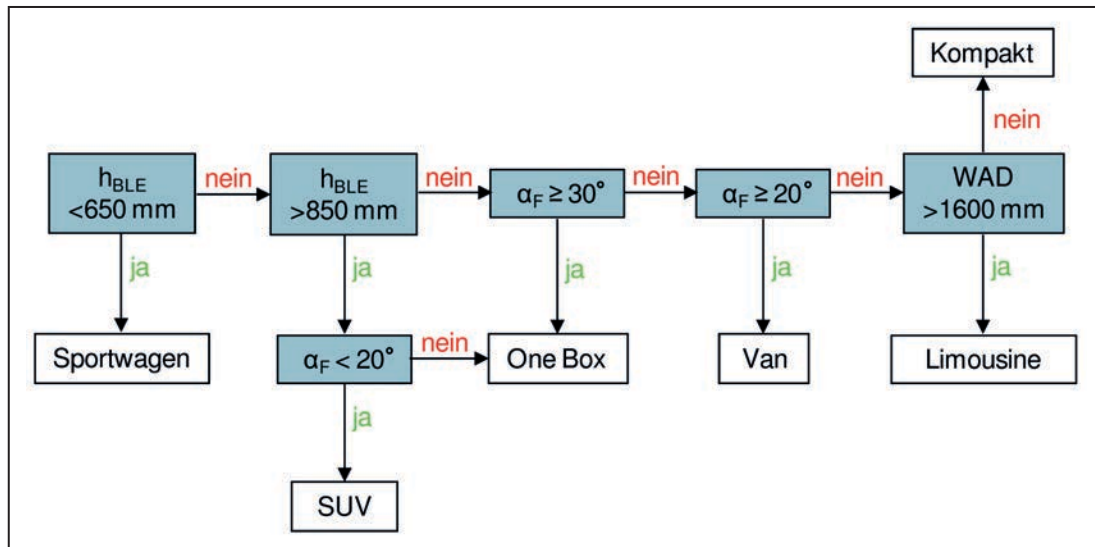


Abbildung 2:
Flussdiagramm zur Fahrzeugeinteilung

in erster Linie am Euro-NCAP-Netz. Für die Abbildung der relevanten Aufprallbereiche ist allerdings eine Ausdehnung sowie eine feinere Rasterung des Netzes in Längsrichtung notwendig. Dazu wurden die vier WAD-Bereiche des Euro-NCAP-Netzes jeweils geteilt und um zwei weitere Bereiche erweitert, so dass die neue Einteilung insgesamt zehn Bereiche umfasst. Die zwei zusätzlichen Bereiche der Fahrzeugeinteilung wurden in Abhängigkeit von der Frontgeometrie definiert. Bereich 9

verläuft, ausgehend vom Ende des Euro-NCAP-Netzes bei WAD 2100, bis zum oberen Windschutzscheibenrahmen und deckt somit den durch die Euro-NCAP-Einteilung nicht berücksichtigten Teil der Windschutzscheibe ab. Der obere Windschutzscheibenrahmen wird aufgrund seiner deutlich höheren Steifigkeit dem Bereich der Dachvorderkante (Bereich 10) zugeschrieben. Die Breite des Windschutzscheibenrahmens wurde mit 120 mm einheitlich festgelegt. In Abbildung 3 ist die Einteilung

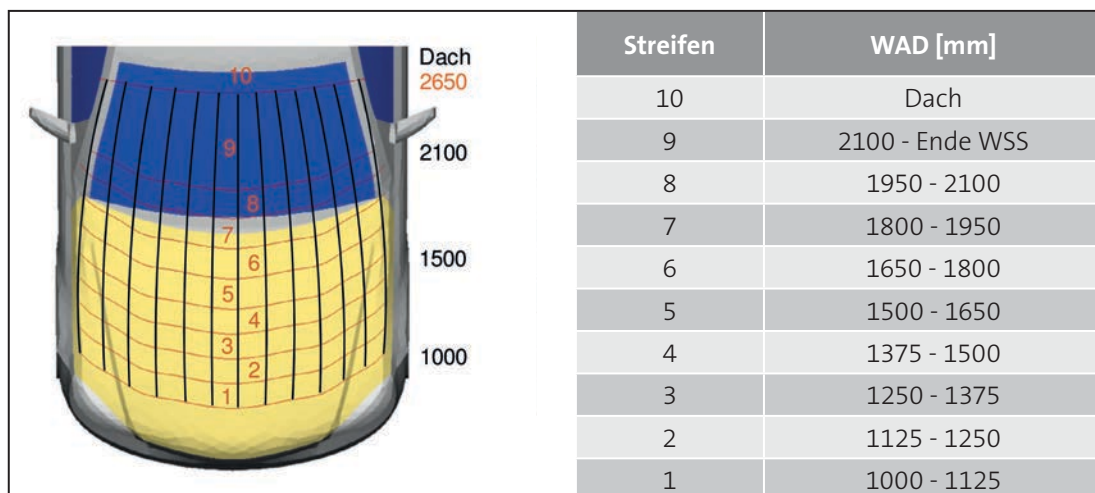


Abbildung 3:
Einteilung der Fahrzeugfront (Beispielfahrzeug: Mercedes C-Klasse)

der Fahrzeugfront am Beispiel der Mercedes C-Klasse verdeutlicht. Das definierte Netz umfasst zehn Bereiche bzw. Streifen in Längs- sowie zwölf in Querrichtung. Der Netzaufstand in Längsrichtung beträgt im Kinderkopfprüfbereich 125 mm, während er im Erwachsenenkopfprüfbereich bei 150 mm liegt. In Querrichtung ist der Abstand konstant, wobei der Betrag abhängig von der Fahrzeugbreite ist.

Simulation und Unfallkinematik

Entscheidend für die Bewertung eines Fahrzeuges hinsichtlich des Fußgängerschutzes ist die Kenntnis über die hervorgerufene Unfallkinematik. Diese wurde anhand von Simulationen mit repräsentativen Fahrzeugmodellen ermittelt. Im Rahmen des Bewertungsverfahrens erfolgte die Berücksichtigung der Unfallkinematik fahrzeugklassenspezifisch, d.h. dass für jede Klasse die Kinematik einer typischen

Frontgeometrie hinterlegt ist. Dies ermöglicht eine einfache und schnelle Anwendung des Verfahrens. Die verwendeten 3D-Simulationsmodelle basieren auf typischen Klassenvertretern und wurden als generische Modelle betrachtet (Abbildung 4). Die in den jeweiligen Front-Bereichen zugewiesenen Steifigkeiten beruhen auf den im APROSYS-Projekt hergeleiteten Steifigkeitskorridoren [2]. An dieser Stelle sind noch keine fahrzeugmodellspezifischen Steifigkeiten hinterlegt, da die Kinematik primär nur von globalen Steifigkeiten und der Fahrzeuggeometrie beeinflusst wird.

Validierung der Simulationsparameter

Die für die Simulationen mit den generischen Modellen verwendeten Parameter wurden anhand zweier Realunfälle validiert, in denen der Fußgänger von rechts kommend die Straße

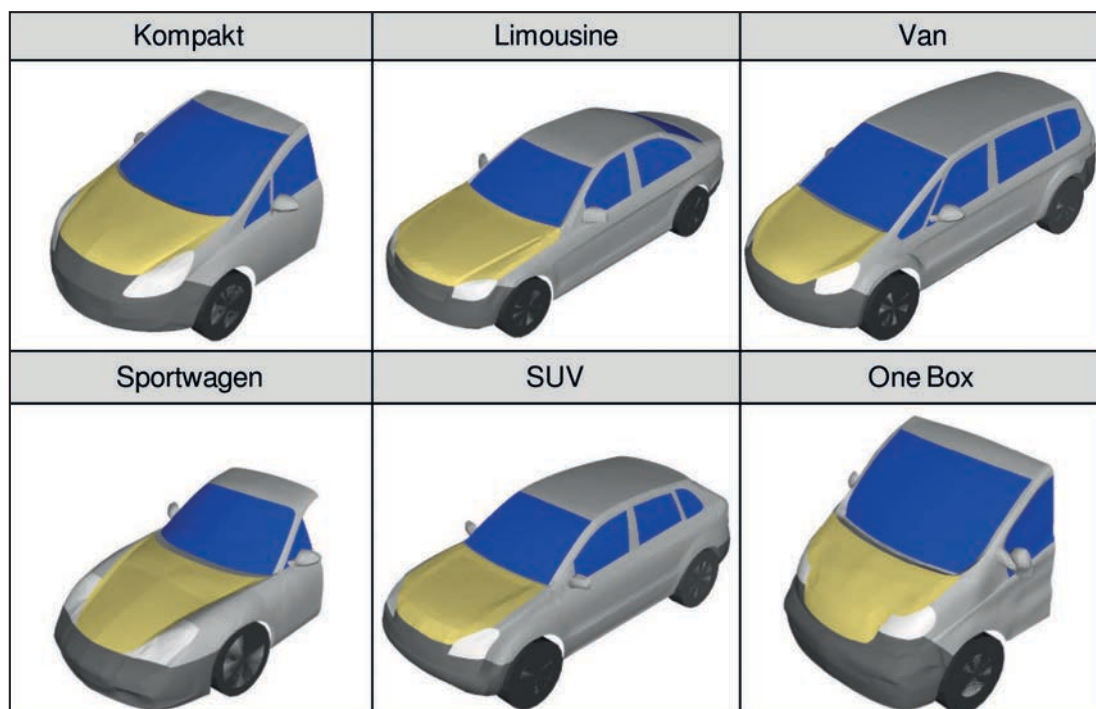


Abbildung 4:
Generische Simulationsmodelle

überquert. Der eine Fall stammt aus dem APROSYS-Projekt, der zweite aus der Unfalldatenbank der UDV. In beiden Fällen ist das Unfallfahrzeug ein Opel Vectra B. Das entsprechende Simulationsmodell wurde ebenfalls dem APROSYS-Projekt entnommen und ist hinsichtlich der Kontaktsteifigkeitsdefinition mit den generischen Modellen vergleichbar. Sowohl die fahrzeugseitigen Kontaktstellen als auch die Längs- und Querschnittsweiten konnten in der Simulation realitätsgetreu abgebildet werden (Abbildung 5). Generell wurde für jeden generischen Klassenvertreter allein das Basismodell mit vier Kollisionsgeschwindigkeiten simuliert, während die vorgesehenen Simulationen zum adaptiven Stoßfänger sowie der aktiven Haube nur mit einer Kollisionsgeschwindigkeit von 40 km/h durchgeführt wurden. Im Rahmen aller Arbeiten zum Bewertungsverfahren ergaben sich insgesamt mehr als 1.000 Simulationen.

Die Auswertung und Dokumentation der Simulationsdaten erfolgte über entsprechende Excel-Tools, welche jeweils für das Basisfahr-

zeug, die berücksichtigten reduzierten Kollisionsgeschwindigkeiten sowie für jedes zu bewertende crashaktive System angelegt wurden. Ausgewertet wurden Kopfaufprallbereich, -geschwindigkeit, -winkel und -zeit. Bewertungsgrundlage für die Kopfbelastung bilden die maximalen Kopfaufprallgeschwindigkeiten und -winkel. Diese wurden aus den ausgewerteten Simulationsdaten für jedes Fußgängermodell bestimmt.

Fahrzeugklassenspezifische Unfallkinematik

Im Modul „Simulation und Unfallkinematik“ werden alle notwendigen kinematischen Eingangsgrößen für das Bewertungsverfahren bereitgestellt. Dazu zählen die Kopfaufprallwahrscheinlichkeiten sowie die maximalen Kopfaufprallgeschwindigkeiten und -winkel der einzelnen WAD-Bereiche. Diese Werte wurden, gegliedert in die Gruppe der Kinder und die Gruppe der Erwachsenen, für alle

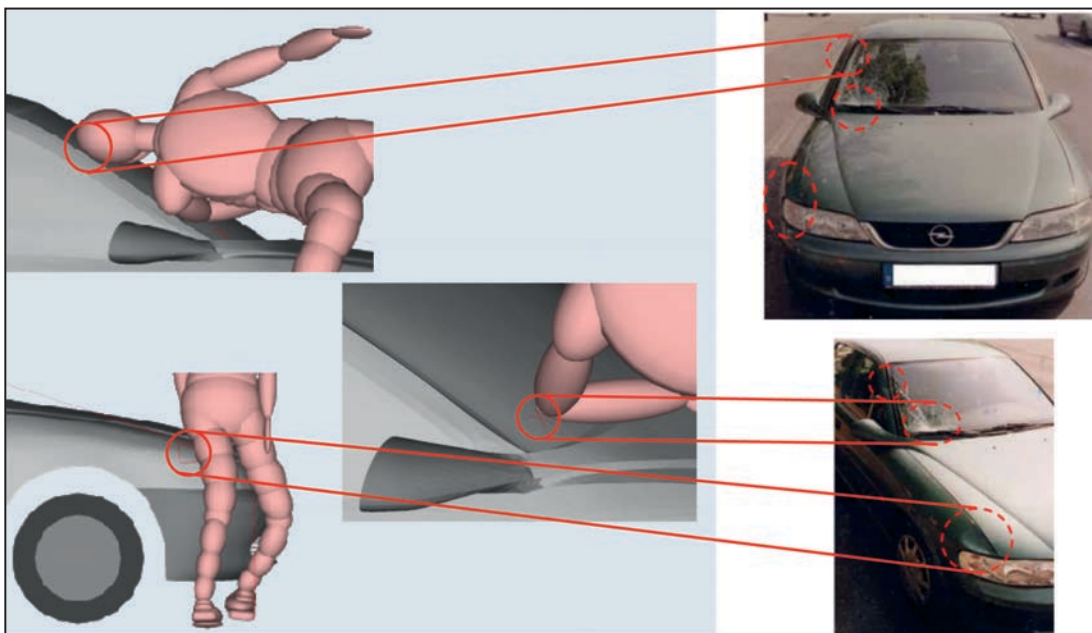


Abbildung 5:
Vergleich der Kontaktstellen zwischen Simulation und Realunfall

generischen Modelle ermittelt und stehen für die Fahrzeugbewertung zur Verfügung. Die Bestimmung der Aufprallwahrscheinlichkeiten in den einzelnen WAD-Bereichen erfolgte durch Kombination des Aufwurfverhaltens mit einer Fußgängergrößenverteilung, welche jeder Körpergröße eine entsprechende Relevanz zuweist. Mit Hilfe des kinematischen Zusammenhanges zwischen Körpergröße und WAD lässt sich diese auf die Anprallbereiche des generischen Modells übertragen und schafft gleichzeitig eine Schnittstelle zum realen Unfallgeschehen. Für die beiden betrachteten Fußgängergruppen wurde jeweils eine separate Größennormalverteilung verwendet. Bei der Gruppe der Kinder (Abbildung 6) sind diese Parameter an die Werte aus Flügel et al. [3] angepasst.

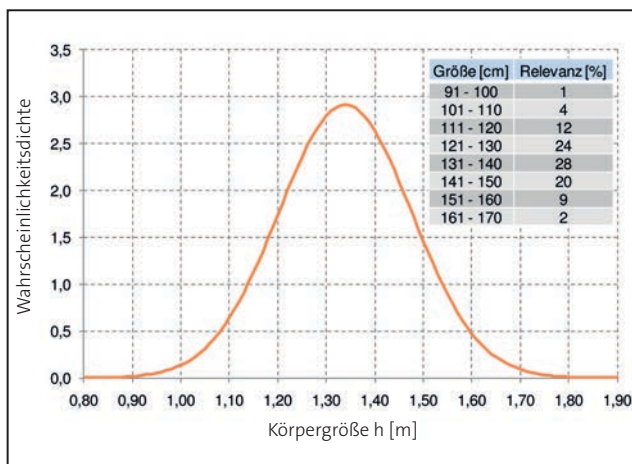


Abbildung 6:
Fußgängergrößenverteilung für die Gruppe der Kinder

Erwartungswert und Standardabweichung sind dabei so gewählt, dass der Größenwert, der laut Normalverteilung eine Relevanz von 5% ergibt, der Körpergröße des sechsjährigen 5%-Mädchens entspricht und der Wert mit einer Relevanz von 95% gleichzeitig mit der Körpergröße des zehnjährigen 95%-Jungens korrespondiert. Die Körpergröße des 5%-Kindes liegt bei 1,10 m, während das 95%-Kind eine Größe von 1,56 m aufweist.

Die Fußgängergrößenverteilung der Erwachsenen (Abbildung 7) orientiert sich an der DIN-Norm 33402 und wurde mit Unfalldaten abgeglichen. Dabei handelte es sich um 72 Realunfälle der UDV sowie einer GIDAS-Auswertung zur Verteilung der Fußgängergrößen bei Frontunfällen aus Meinecke und Obojski [4]. Die Bestimmung des Erwartungswertes und der Standardabweichung erfolgte analog zur zuvor beschriebenen Vorgehensweise für Kinder.

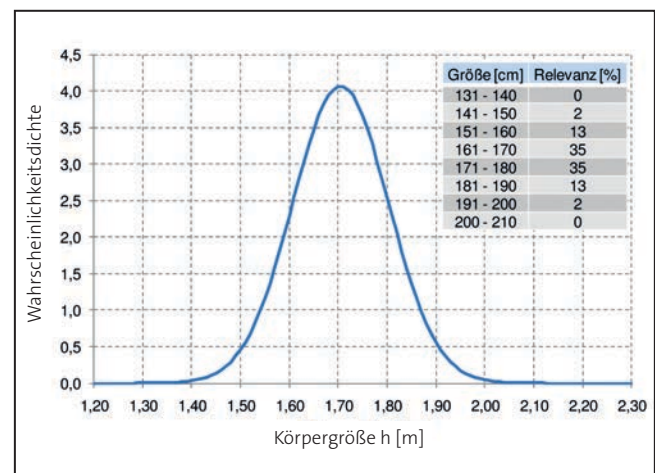


Abbildung 7:
Fußgängergrößenverteilung für die Gruppe der Erwachsenen

Maßgeblich sind hier die Körpergrößen der 5%-Frau und des 95%-Mannes gemäß DIN Norm, die 1,535 m bzw. 1,855 m betragen. Der resultierende Erwartungswert entspricht mit 1,705 m in etwa dem Durchschnitt aus den genormten Größen des 50%-Mannes (1,75 m) und der 50%-Frau (1,625 m). Abbildung 8 gibt eine Übersicht über die im Rahmen des Moduls „Simulation und Unfallkinematik“ ermittelten Daten. Die aufgeführten Werte charakterisieren die Kinematik des generischen Limousinenmodells bei einer Kollisionsgeschwindigkeit von 40 km/h und bilden die kinematischen Eingangsgrößen für das Bewertungsverfahren. Entsprechende Daten wurden auch für die reduzierten Kollisionsgeschwindigkeiten sowie crashaktive Systeme errechnet. Die generischen Simulationsmodelle bilden typische

	WAD [mm]	Aufprallwahrscheinlichkeit		Max. Kopfaufprallgeschwindigkeit [km/h]		Max. Kopfaufprallwinkel [°]	
		Kinder	Erw.	Kinder	Erw.	Kinder	Erw.
10	Dachbereich	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	2.100 - 2.650	0,00	0,11	0,00	44,3	0,00	60,8
8	1.950 - 2.100	0,00	0,55	0,00	34,6	0,00	76,0
7	1.800 - 1.950	0,00	0,32	0,00	35,5	0,00	76,9
6	1.650 - 1.800	0,01	0,03	36,3	36,3	77,9	77,9
5	1.500 - 1.650	0,07	0,00	36,0	0,00	80,8	0,00
4	1.375 - 1.500	0,27	0,00	34,2	0,00	86,2	0,00
3	1.250 - 1.375	0,34	0,00	32,6	0,00	91,2	0,00
2	1.125 - 1.250	0,23	0,00	31,0	0,00	96,1	0,00
1	1.000 - 1.125	0,08	0,00	30,2	0,00	98,6	0,00

Abbildung 8:
Kinematische Eingangsgrößen für das Bewertungsverfahren (Beispielfahrzeug: Mercedes C-Klasse; 40 km/h)

Vertreter ihrer Klasse und ermöglichen somit eine klassenspezifische Beschreibung der Unfallkinematik. Durch Implementierung dieser Daten in die Indexberechnung sind keine weiteren Simulationen zur Bewertung eines neuen Fahrzeugmodells erforderlich. Die Zuweisung der Kinematikparameter erfolgt durch die Einordnung in die jeweilige Klasse bzw. die Verwendung des zugehörigen Berechnungstools. Somit wird innerhalb einer Klasse für jedes Fahrzeug die gleiche Unfallkinematik zugrunde gelegt. Über die vorgegebene Simulationsmatrix und die beschriebene Auswerteroutine ist es jederzeit möglich, auch eine fahrzeugmodellspezifische Unfallkinematik in die Bewertung zu integrieren. Die Übertragung klassenspezifischer Kinematikparameter auf die Fahrzeugeinteilung bildet eine wesentliche Säule des Bewertungsverfahrens. Die zweite zentrale Eingangsgröße zur Beschreibung der Fahrzeugeigenschaften stellt die Erfassung der fahrzeugmodellspezifischen Struktureigenschaften dar.

Fußgängers beim Primäraufprall verantwortlich. Aufgrund der hohen Steifigkeiten sind die A-Säulen sowie der Windlauf- und obere Kotflügelbereich als besonders kritisch anzusehen. Durch Strukturoptimierungen kann vor allem im Haubenbereich das Verletzungsrisiko reduziert werden, während dies für die A-Säulen aufgrund der Anforderungen an die Karosseriesteifigkeit und seitens des Insassenschutzes nicht möglich ist. Der Fußgänger kann hier strukturseitig nur durch ein entsprechendes passives Schutzsystem, wie beispielsweise einen Airbag, geschützt werden. Die Einbindung der Struktureigenschaften in das Bewertungsverfahren erfolgt fahrzeugmodellspezifisch über die Euro-NCAP-Ergebnisse der zu bewertenden Front. Die im Rahmen der entsprechenden Komponententests ermittelten HIC-Werte stehen in direktem Bezug zur Steifigkeit der jeweiligen Prüfbereiche. Zusätzliche passive Systeme werden durch Reduktion der Werte im adressierten Schutzbereich berücksichtigt.

Struktureigenschaften und Schutzsysteme

Die Struktureigenschaften einer Fahrzeugfront sind maßgeblich für die Kopfbelastung des

Fahrzeugmodellspezifische Struktureigenschaften

Die Beschreibung der fahrzeugmodellspezifischen Struktureigenschaften basiert auf

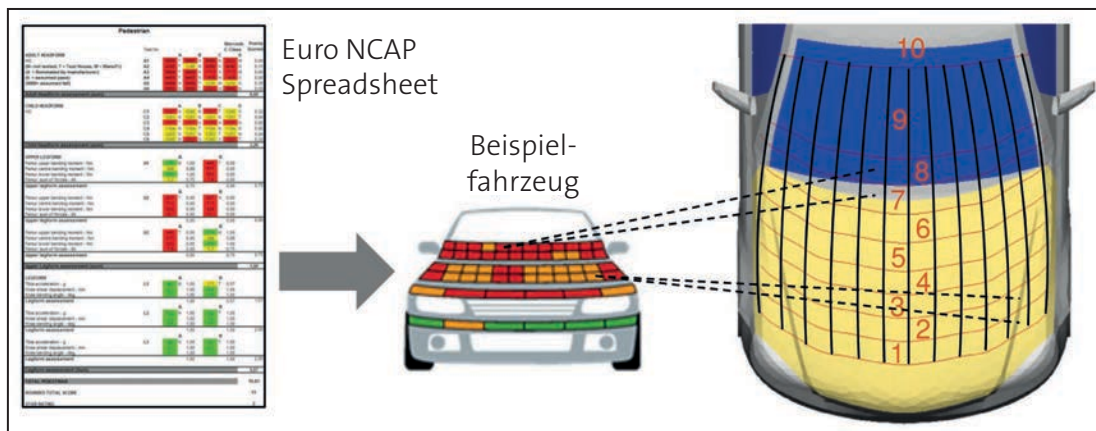


Abbildung 9:
Übertragung der Euro-NCAP-Ergebnisse auf die Einteilung der Fahrzeugfront

den im Euro-NCAP-Spreadsheet zusammengefassten Daten zur Fußgängerschutzbewertung. Die darin aufgeführten HIC-Werte werden auf die Fahrzeugeinteilung übertragen (Abbildung 9). Da die definierte Fahrzeugeinteilung die vier WAD-Bereiche des Euro-NCAP-Netzes nochmals unterteilt, erhalten die jeweiligen Streifen die gleichen HIC-Werte, weisen dabei jedoch unterschiedliche Aufprallwahrscheinlichkeiten auf. Seitens Euro NCAP werden einige Bereiche pauschal als „grün“ oder „rot“ bewertet, so dass längst nicht alle Felder der Front abgeprüft werden. Da der Euro-NCAP-Prüfbereich zudem nur bis zu einer Abwickellänge von 2.100 mm

reicht, gehen aus den Spreadsheets auch keine HIC-Werte für die Streifen 9 und 10 der Fahrzeugeinteilung hervor. Eine lückenlose Übertragung der HIC-Werte ist somit nicht trivial und erfordert die Definition einheitlicher Regeln (Abbildung 10). Die aufgeführten Regeln orientieren sich an sogenannten A-Profilen, die für jedes generische Modell definiert wurden. Sie stellen eine generalisierte, klassenspezifische HIC-Verteilung dar, die auf Versuchsdaten und Auswertungen von Euro-NCAP-Ergebnissen basiert. Der strukturstreife Windschutzscheibenrahmenbereich, bestehend aus der Dachvorderkante, den A-Säulen und dem Windlauf, formt zusammen mit

Euro-NCAP-Prüffelder	Bereich	Zugewiesener HIC-Wert
	A-Säulen (A1, A6)	<u>Außen (Felder A, C rechts bzw. B, D links):</u> 6.000 (wenn C, D auf der Haube, dann entsprechende Zuweisung des maximalen Wertes aus C1, C6)
	Dach	<u>Innen (Felder B, D rechts bzw. A, C links):</u> Maximum der angrenzenden Bereiche, aber mind. 3.000
	WSS	800

Abbildung 10:
Festlegung der HIC-Werte in nicht getesteten Bereichen der Fahrzeugfront

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	WAD [mm]
10	6000	3000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	3000	6000	Dach
9	6000	3000	800	800	800	800	800	800	800	800	3000	6000	2100 - WSS
8	6000	3000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	3000	6000	1950 - 2100
7	6000	3000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	3000	6000	1800 - 1950
6	2000	2000	999	999	999	999	999	999	999	999	2000	2000	1650 - 1800
5	2000	2000	999	999	999	999	999	999	999	999	2000	2000	1500 - 1650
4	2000	2000	999	999	999	999	999	999	999	999	2000	2000	1375 - 1500
3	2000	2000	999	999	999	999	999	999	999	999	2000	2000	1250 - 1375
2	2000	2000	999	999	999	999	999	999	999	999	2000	2000	1125 - 1250
1	2000	2000	999	999	999	999	999	999	999	999	2000	2000	1000 - 1125

Abbildung 11:
A-Profil mit generalisierten HIC-Werten für die Fahrzeugklasse „Limousine“

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	WAD [mm]
10	6000	4290	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	4290	6000	Dach
9	6000	4290	800	800	800	800	800	800	800	800	4290	6000	2100 - WSS
8	6000	4290	4290	1246	4465	4465	4465	4465	4290	4290	4290	6000	1950 - 2100
7	6000	4290	4290	1246	4465	4465	4465	4465	4290	4290	4290	6000	1800 - 1950
6	3327	2023	2023	2023	1717	1717	1438	1438	1230	1230	2023	3327	1650 - 1800
5	3327	2023	2023	2023	1717	1717	1438	1438	1230	1230	2023	3327	1500 - 1650
4	3327	1240	1203	1203	1377	1377	1184	1184	1203	1203	1240	3327	1375 - 1500
3	3327	1240	1203	1203	1377	1377	1184	1184	1203	1203	1240	3327	1250 - 1375
2	3327	1240	1203	1203	1377	1377	1184	1184	1203	1203	1240	3327	1125 - 1250
1	3327	1240	1203	1203	1377	1377	1184	1184	1203	1203	1240	3327	1000 - 1125

Abbildung 12:
Verteilung der HIC-Werte auf Basis des Euro-NCAP-Spreadsheets (Beispielfahrzeug: Mercedes C-Klasse)

den ebenfalls kritischen oberen Kotflügelbereichen ein A-Muster, welches in Abbildung 11 für die Klasse Limousine veranschaulicht wird. Mit Hilfe eines solchen generalisierten Musters ist eine fahrzeug-unabhängige Bewertung und damit auch ein objektiver Vergleich der Klassen möglich. Eine Übertragung der Prüfergebnisse aus dem Euro-NCAP-Spreadsheet auf die jeweiligen Felder der Fahrzeugeinteilung führt, unter Beachtung der in Abbildung 10 angegebenen Zuweisungsregeln, zu einem fahrzeugmodellspezifischen Profil. Abbildung 12 zeigt ein entsprechendes Beispiel. Je nach Fahrzeugfront sowie Anzahl der geprüften Felder, sind gegebenenfalls manuelle Anpassungen des modellspezifischen Profils notwendig. Durch den Fahrzeughersteller zusätzlich nominierte Prüfpunkte erhöhen dabei die Abbil-

dungsgenauigkeit der HIC-Verteilung. Generell ist zu beachten, dass die Frontgeometrie des zu bewertenden Fahrzeuges im Rahmen der vorgegebenen Parameterintervalle vom generischen Klassenvertreter abweichen kann und sich dadurch die relative Lage einzelner WAD-Bereiche zur Fahrzeugfront ändert. Abbildung 13 verdeutlicht dies anhand der Fahrzeugeinteilungen des generischen Modells der Limousinen-Klasse und des VW Golf V. Der VW Golf V verfügt über eine deutlich kürzere Abwickellänge und stellt das untere Spektrum der Klasse Limousine dar. Während WAD-Bereich 6 beim generischen Modell auf der Haube liegt, befindet sich dieser beim Versuchsfahrzeug bereits im Windlaufbereich. Dies ist, wie zuvor erläutert, für die Zuweisung der HIC-Werte von entscheidender Bedeutung, da die unteren

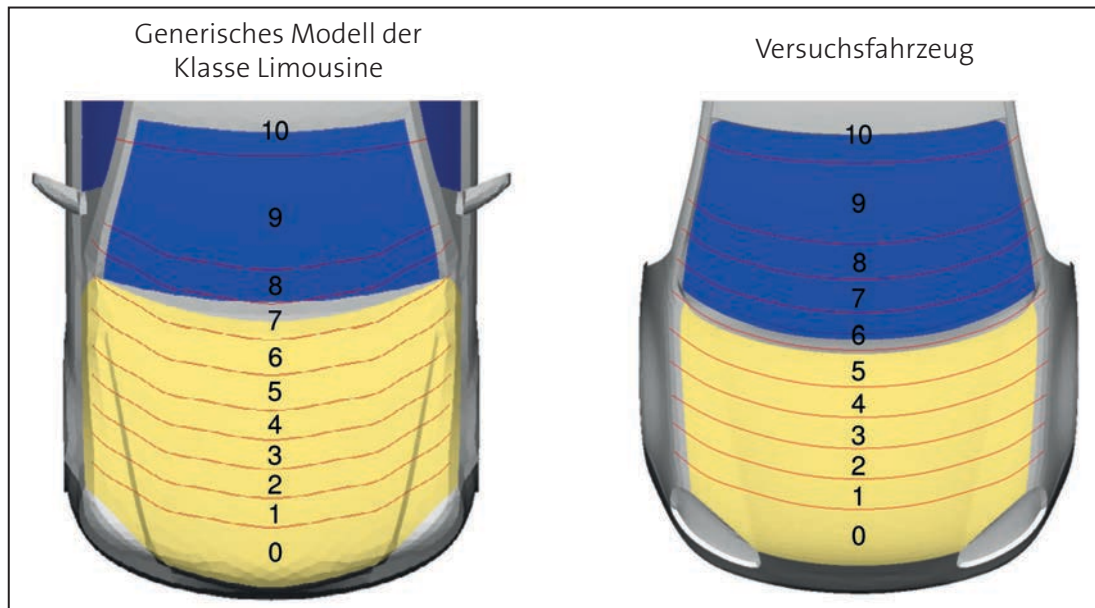


Abbildung 13:
Vergleich unterschiedlicher Einteilungen der Fahrzeugfront innerhalb der Fahrzeugklasse „Limousine“;
links: generisches Modell; rechts: VW Golf V

Teilfelder des Erwachsenenprüfbereichs (C, D) hier jeweils zur Hälfte auf der Haube sowie dem Windlaufbereich liegen. Streifen 5 und 6 erhalten somit nicht die gleichen HIC-Werte.

Neben der Kopfbelastung wird im Modul „Struktureigenschaften und Schutzsysteme“ auch die durch Euro NCAP ermittelte Beinbelastung ausgewertet. Eine Festlegung von Übertragungsregeln ist hier nicht notwendig, da die Definition der Beinanprallbereiche für das Bewertungsverfahren übernommen wurde. Die jeweiligen Werte fließen somit direkt in die vereinfachte Indexberechnung zur Beinbelastung ein. Durch die Erfassung der Kopf- und Beinbelastungen sind die laut Unfalldaten am häufigsten auftretenden Verletzungen im Bewertungsverfahren berücksichtigt. Becken- und Thoraxverletzungen werden hingegen nicht betrachtet, zumal die Haubenvorderkanten moderner, limousinenförmiger Fahrzeuge keine schweren Verletzungen des Beckens hervorrufen. Generell besteht jedoch bei hohen Haubenvorderkanten, d.h. bei einer großen Überdeckung von Fußgänger und Fahrzeugfront, ein erhöhtes Risiko für

Thoraxverletzungen. Eine entsprechende Berücksichtigung wäre somit bei SUV's und One-Box-Fahrzeugen sinnvoll.

Berücksichtigung implementierter passiver Schutzsysteme

Passive Schutzsysteme verbessern in erster Linie die Struktureigenschaften im abgedeckten Schutzbereich, haben aber in der Regel auch Einfluss auf die Unfallkinematik. Zur Erfassung dieses Einflusses waren zusätzliche Simulationen erforderlich. Daraus wurden die systemspezifischen Kopfaufprallwahrscheinlichkeiten, -geschwindigkeiten und -winkel für das zu bewertende Fahrzeug abgeleitet. Eine aktive Haube schafft durch das Aufstellen zusätzlichen Deformationsraum und hat dadurch einen positiven Einfluss auf die HIC-Werte im Haubenbereich. Gehört ein solches System zur Serienausstattung des zu bewertenden Fahrzeuges, so geht dieser Einfluss unmittelbar aus den Euro NCAP-Ergebnissen hervor. Bei einem Fahrzeug mit konventioneller Haube muss, sofern keine

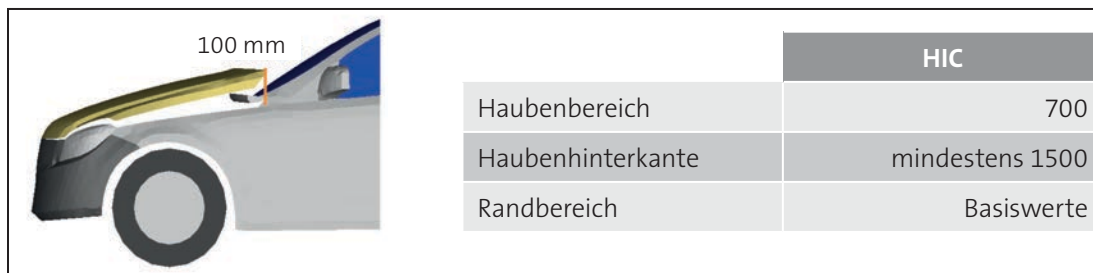


Abbildung 14:
Definition der generischen aktiven Haube und der HIC-Werte

zusätzlichen Komponententests durchgeführt wurden, zur Bewertung einer aktiven Ausführung eine generische Verteilung der HIC-Werte vorgegeben werden. Für die generischen Fahrzeugmodelle wurde vereinfacht eine homogene Verteilung mit einem HIC-Wert von 700 definiert. Die Höhe des HIC-Wertes orientiert sich an den Euro-NCAP-Ergebnissen des Citroen C6 sowie entsprechenden Impaktortests aus APROSYS. Für die generische Abbildung der aktiven Haube werden dem äußersten Randbereich die Werte des Basisfahrzeuges zugewiesen. Hier stehen die Vorteile aufgrund des vor allem im hinteren Bereich gewonnen Deformationsraumes dem erhöhten Verletzungsrisiko durch den Haubenspalt gegenüber. Stärker noch gilt dies für den Bereich der Haubenhinterkante, wo bei fehlendem

Airbagsystem ein qualitativer Mindestwert von 1.500 vorgegeben wurde. Niedrigere Basiswerte wurden entsprechend erhöht. Abbildung 14 fasst nochmals die Anpassung der HIC-Werte für die generische aktive Haube zusammen. Zur Bestimmung des Einflusses auf die Kinematik, wurde die Haube in der Simulation hinten um 100 mm angehoben. Diese Position ist starr, d.h. die Haube senkt sich beim Aufprall des Fußgängermodelles nicht ab. Die Modellierung entspricht damit einem sogenannten „Locking System“, welches über eine Arretierungsfunktion verfügt und trifft auch auf den Fall zu, dass die Haube durch eine Airbagentfaltung aufgestellt und abgestützt wird. In Abbildung 15 ist die im Zuge der Haubenaufstellung hervorgerufene Kinematik exemplarisch dargestellt.

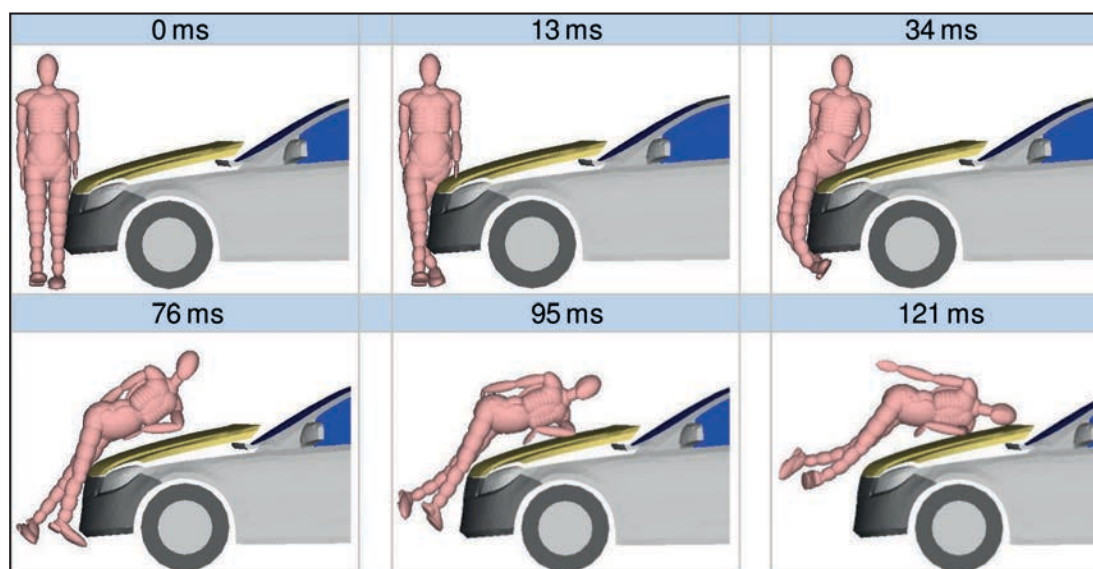


Abbildung 15:
Simulative Abbildung der generischen aktiven Haube (Beispielfahrzeug: Mercedes C-Klasse; 40 km/h, 50%-Mann)

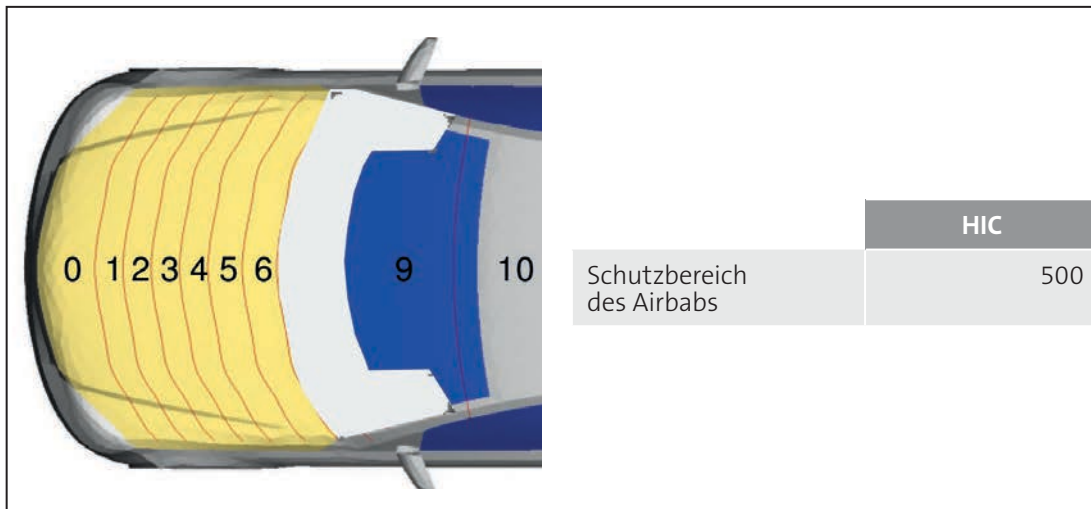


Abbildung 16:
Definition des generischen Windschutzscheibenairbags (inkl. aufstellender Haube) und des HIC-Wertes (Beispielfahrzeug: Mercedes C-Klasse)

Wird die aktive Haube um einen Windschutzscheibenairbag erweitert, sind weitere Anpassungen der HIC-Werte erforderlich. Dazu müssen die Abmessungen des Airbags bzw. der abgedeckte Schutzbereich bekannt sein. Für die generischen Fahrzeugmodelle wurde hier wiederum ein einheitliches Design definiert und auf die Fahrzeugeinteilung übertragen. Der generische Airbag hat die typische u-förmige Geometrie eines Windschutzscheiben-Airbags und erstreckt sich im A-Säulenbereich über eine Länge von 600 mm, welcher bezogen auf die Fahrzeugeinteilung jeweils durch die beiden äußeren Längsstreifen abgebildet wird. Im Bereich des Windlaufes werden zwei Querstreifen der Fahrzeugeinteilung abgedeckt, was für den Erwachsenenkopfprüfbereich einer Ausdehnung von 300 mm entspricht. Abbildung 16 zeigt das generische Airbagdesign für das Beispielfahrzeug. Bei der Definition eines HIC-Wertes von 500 im Schutzbereich des Airbags wird von einer optimalen Airbagauslegung ausgegangen, d.h. einem angepassten Airbaginnendruck und idealerweise auch einer Ausstattung mit Auslassöffnungen. Durchgeführte Komponententests und auch Tests mit dem Polardummy zeigten, dass ein HIC-Wert

von 500 bereits mit einem Prototypenairbag erreicht werden kann und rechtfertigen die vorgegebene Definition. Die Modifizierung der HIC-Werte erfolgte in allen Feldern, die vom Airbag vollständig abgedeckt werden. Der Windschutzscheibenairbag bildet eine Erweiterung der aktiven Haube, die in erster Linie den Windlaufbereich sowie die A-Säulen adressiert. Das Risiko durch die Hinterkante der aufgestellten Haube wird dabei minimiert. Optimal ist in diesem Zusammenhang ein Zweikammerairbag, der die Haubenhinterkante mit einer zweiten Kammer umschließt. Eine kombinierte Anwendung der Definitionen zur aktiven Haube und zum Windschutzscheibenairbag hat eine umfassende Anpassung der HIC-Verteilung des Basisfahrzeugs zur Folge.

Gewichtung und Anpassung der Struktureigenschaften

Im Modul „Gewichtung und Anpassung der Struktureigenschaften“ werden die HIC-Werte mittels verschiedener Faktoren modifiziert. Diese Faktoren sind in die Formel zur Indexberechnung integriert und werden im Folgenden

kurz erläutert. Jeder Faktor repräsentiert dabei einen der im Modul zur Unfallkinematik ausgewerteten Parameter.

Über die Relevanzfaktoren erfolgt eine Gewichtung der einzelnen Felder der Fahrzeugfronteinteilung und damit gleichzeitig auch der zugewiesenen HIC-Werte. Grundlage bilden die ermittelten Aufprallwahrscheinlichkeiten. Diese werden für die Gruppe der Kinder sowie der Erwachsenen durch den Relevanzfaktor $R_{i,WAD}$ abgebildet, welcher die Aufprallwahrscheinlichkeit in Längsrichtung angibt. In Fahrzeugquerrichtung sind die Anprallorte laut Unfalldaten näherungsweise gleichverteilt, so dass der zugehörige Relevanzfaktor ($R_{j,lateral}$) einen konstanten Wert erhält. Abbildung 17 zeigt die Definition der Relevanzfaktoren am Beispiel der Mercedes C-Klasse. Die Werte des Relevanzfaktors $R_{i,WAD}$ entsprechen hier den Aufprallwahrscheinlichkeiten bei einer Kollisionsgeschwindigkeit von 40 km/h. Bei anderen Geschwindigkeiten

bzw. einer Ausstattung des Fahrzeugs mit zusätzlichen passiven Schutzsystemen ändern sich die Werte des Relevanzfaktors $R_{i,WAD}$. Die Indexberechnung basiert auf einer Summenformel, bei der das von den HIC-Werten abhängige Verletzungsrisiko der einzelnen Fahrzeugfelder aufsummiert wird. Mittels der Relevanzfaktoren geht jedes Feld entsprechend seiner Kopfaufprallwahrscheinlichkeit in diese Summe ein. Der Index i bezieht sich dabei auf die Felder in Längsrichtung, während der Index j die Felder in Fahrzeugquerrichtung adressiert.

Der Geschwindigkeitsfaktor $V_{i,j}$ dient der Anpassung der standardisierten Euro-NCAP-Impaktortestergebnisse an die maximalen Kopfaufprallgeschwindigkeiten aus der Unfallkinematikanalyse. Die Definition des Geschwindigkeitsfaktors beruht auf analytischen Ansätzen sowie Impaktorsimulationen mit einem validierten Haubenmodell. Ausgehend von einem unter festen Randbedingungen er-

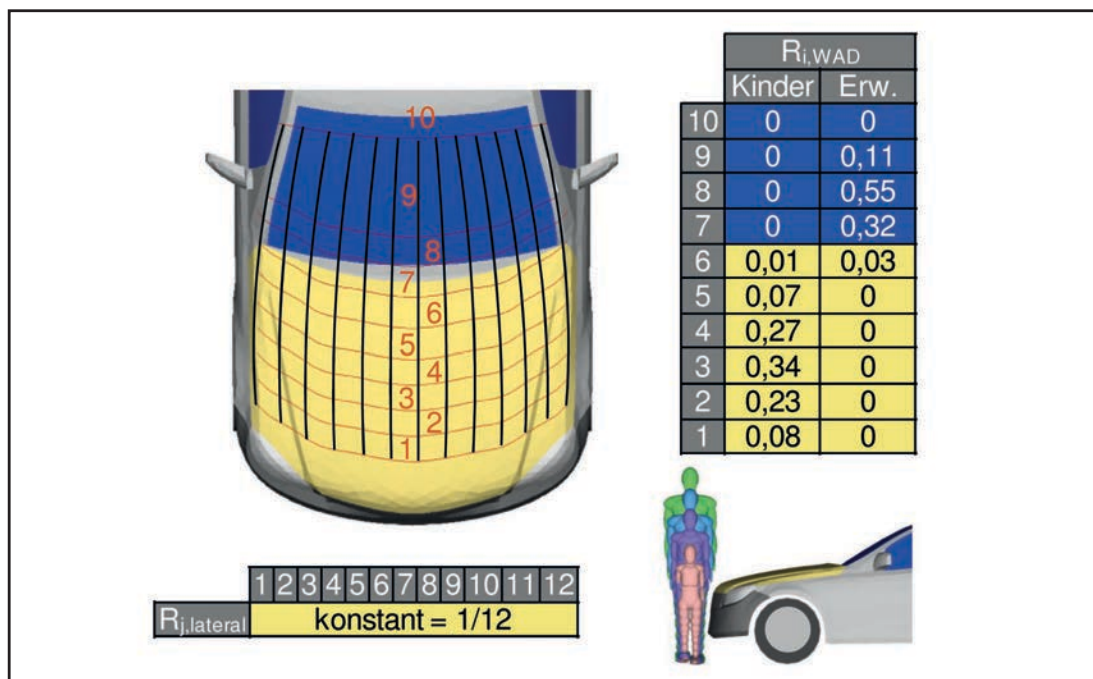


Abbildung 17:
Relevanzfaktoren für Kinder und Erwachsene (Beispielfahrzeug: Mercedes C-Klasse; 40 km/h)

mittelten Impaktortestergebnis, können für die gleiche Stelle entsprechende HIC-Werte sowohl für reduzierte als auch erhöhte Kopfaufprallgeschwindigkeiten bestimmt werden, ohne weitere Tests durchzuführen.

Im Vergleich zur Kopfaufprallgeschwindigkeit ist der Einfluss des Kopfaufprallwinkels auf das Verletzungsrisiko des Fußgängers schwerer zu erfassen, da hier auch Belastungen des Hals-Nacken-Bereichs von Bedeutung sind. Bezogen auf den für die Indexberechnung herangezogenen HIC-Wert erfolgt daher nur eine qualitative Berücksichtigung des Kopfaufprallwinkels. Generell wirken sich kleinere Winkel positiv auf den HIC-Wert aus, da der Kopf, bzw. der Impaktor dadurch stärker abgelenkt. Bei größeren Winkeln wird hingegen mehr kinetische Energie in die Struktur eingeleitet, was zusätzlichen Deformationsraum erfordert und somit das Risiko eines Durchschlagens des Kopfes auf harte Strukturen erhöht. Das Kriterium für die Definition des Winkelfaktors $W_{i,WAD}$ bildet die Abweichung des für den jeweiligen WAD-Bereich ermittelten maximalen Aufprallwinkels vom entsprechenden Euro-NCAP-Impaktorwinkel. Falls diese mehr als 10° beträgt, führt der Winkelfaktor in allen Feldern des WAD-Bereiches

zu einer qualitativen Reduzierung bzw. Erhöhung des HIC-Wertes um 10 % (Abbildung 18).

Indexberechnung Kopfbelastung

Bei der Bewertung des Primäraufpralls wird zwischen dem Kopf- und dem Beinindex unterschieden, wobei im Kapitel „Anwendung der Bewertungsmethode“ ausschließlich der Kopfindex die Bewertungsgrundlage bildet.

Die Bewertung der Kopfbelastung orientiert sich am VERPS-Index, dessen Berechnung in Kühn et al. [5] beschrieben wird. Im Unterschied zum VERPS-Index werden die Simulationsergebnisse jedoch nicht zur Ableitung von Prüfbedingungen für separate Komponententests verwendet, sondern zur Anpassung bereits vorhandener Euro-NCAP-Testergebnisse an die Unfallkinematik. Auch sind die Definitionen der Fahrzeugkategorisierungen, der Fahrzeugeinteilungen sowie der Simulationsrandbedingungen verschieden. Gemeinsamkeiten liegen im prinzipiellen Vorgehen, in der Gewichtung der Fahrzeugbereiche, in der zugrundeliegenden Verletzungsrisikofunktion für die Kopfbelastung und in der letztendlichen Berechnungsvorschrift.

$W_{i,WAD}$	Maximaler Aufprallwinkel α_{max}	
	Kinderkopfprüfbereich (50°)	Erwachsenenkopfprüfbereich (65°)
0,9	$\alpha_{max} < 40^\circ$	$\alpha_{max} < 55^\circ$
1,0	$40^\circ \leq \alpha_{max} \leq 60^\circ$	$55^\circ \leq \alpha_{max} \leq 65^\circ$
1,1	$\alpha_{max} > 60^\circ$	$\alpha_{max} > 65^\circ$

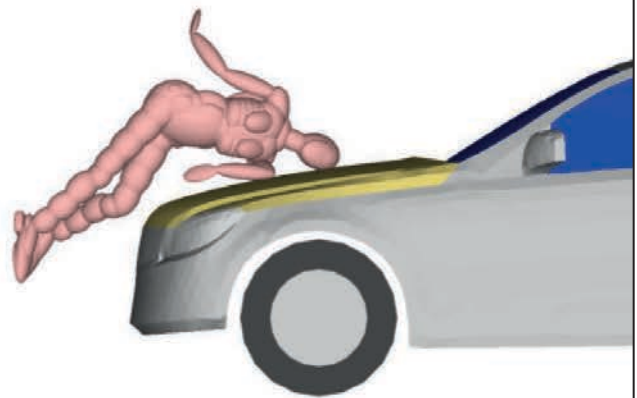


Abbildung 18:
Definition des Winkelfaktors

Verletzungsrisiko

Die AIS (Abbreviated Injury Scale) umfasst sechs Verletzungsschweregrade, welche sich in unverletzt (AIS 0), gering bis mäßig (AIS 1-2), schwer bis kritisch (AIS 3-5) sowie nicht überlebbar (AIS 6) gliedern lassen [6]. Die Bezeichnung AIS 3+ beschreibt dabei alle Schweregrade größer oder gleich AIS 3, also alle schweren bis tödlichen Verletzungen. Die in Abbildung 19 dargestellte S-Kurve ordnet jedem HIC-Wert eine Wahrscheinlichkeit für eine AIS 3+ Kopfverletzung zu. Bei einem HIC-Wert von 1.000 beträgt das Risiko einer AIS 3+ Kopfverletzung beispielsweise 24%. Mittels der zugehörigen Bewertungsfunktion kann sämtlichen Feldern der Fahrzeugeinteilung ein entsprechendes Verletzungsrisiko zugewiesen werden.

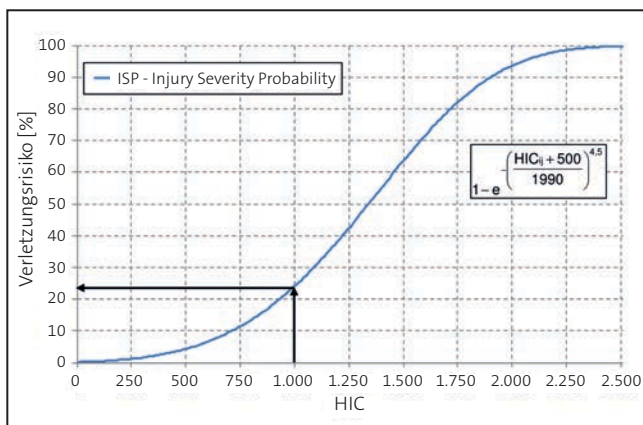


Abbildung 19:
Verletzungsrisikofunktion für eine AIS 3+ Kopfverletzung [7]

Berechnungsformel

Die vorgestellte Verletzungsrisikofunktion bildet den letzten und zentralen Bestandteil der Indexberechnungsformel. Das für jedes Feld der Fahrzeugeinteilung ermittelte Verletzungsrisiko wird darin unter Berücksichtigung der Relevanz der Bereiche aufsummiert und ergibt den Kopfindexwert der Fahrzeugfront I_{Kopf} (Abbildung 20), welcher Werte zwischen 0 und 1 an-

nimmt. Anhand dieser Gleichung wird deutlich, wie die Daten aus den einzelnen Modulen des Bewertungsverfahrens in die Indexberechnung einfließen. Die Definition der Fahrzeugeinteilung spiegelt sich in den Indizes i und j wieder, die die 10 Streifen in Fahrzeuginnenrichtung bzw. die 12 Streifen in Fahrzeugquerrichtung adressieren und über die entsprechenden Faktoren mit der zugehörigen Relevanz versehen. Das Verletzungsrisiko in den einzelnen Feldern der Fahrzeugeinteilung wird zum einen durch die Multiplikation mit den Relevanzfaktoren hinsichtlich der Aufprallwahrscheinlichkeiten gewichtet und zum anderen über die in die Verletzungsrisikofunktion integrierten Kinematikfaktoren gezielt an die Simulationsergebnisse angepasst. Der Geschwindigkeitsfaktor V_{ij} ist dabei abhängig von der maximalen Kopfaufprallgeschwindigkeit im WAD-Bereich sowie dem Euro-NCAP-HIC-Wert des Feldes (HIC_{ij}). Der Winkelfaktor $W_{i,WAD}$ wird hingegen nur durch den maximalen Kopfaufprallwinkel des WAD-Bereiches bestimmt und weist keine Abhängigkeit in Fahrzeugquerrichtung auf.

$$I_{\text{Kopf}} = \sum_{i=1}^{10} R_{i,WAD} \cdot \left(\sum_{j=1}^{12} 1 - e^{-\left(\frac{HIC_{ij} \cdot V_{ij} \cdot W_{i,WAD} + 500}{1990} \right)^{4.5}} \cdot R_{j,lateral} \right)$$

i	Anzahl der Streifen in Fahrzeuginnenrichtung (WAD-Bereiche)
$R_{i,WAD}$	Relevanzfaktor in Fahrzeuginnenrichtung, abhängig vom WAD-Bereich
j	Anzahl der Streifen in Fahrzeugquerrichtung
HIC_{ij}	Euro-NCAP-HIC-Wert im jeweiligen Feld der Fahrzeugeinteilung
V_{ij}	Geschwindigkeitsfaktor im jeweiligen Feld der Fahrzeugeinteilung
$W_{i,WAD}$	Winkelfaktor im jeweiligen WAD-Bereich
$R_{j,lateral}$	Relevanzfaktor in Fahrzeugquerrichtung, konstant = 1/12

Abbildung 20:
Berechnungsformel für den Kopfindexwert der Fahrzeugfront I_{Kopf}

Geschwindigkeitsabhängige Indexberechnung

Über die Berechnung des Kopfindexwertes bei Kollisionsgeschwindigkeiten von 40, 35, 30 und 20 km/h kann ein Zusammenhang zwischen Kollisionsgeschwindigkeit und Indexwert hergeleitet werden. Durch Interpolation zwischen den ermittelten Stützstellen lässt sich ein korrespondierender Indexwert für jede Geschwindigkeitsreduktion angeben. Abbildung 21 veranschaulicht dies anhand der Indexwerte des Beispielfahrzeuges. Für

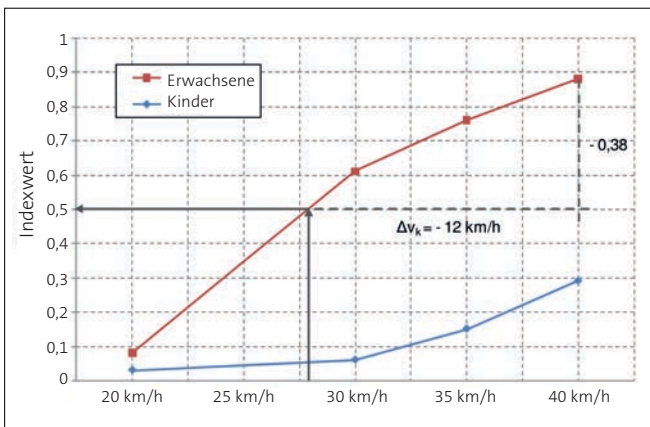


Abbildung 21:
Indexwert über Kollisionsgeschwindigkeit für Kinder und Erwachsene (Beispielfahrzeug: Mercedes C-Klasse)

die Gruppe der Erwachsenen führt ein angenommener Rückgang der Kollisionsgeschwindigkeit um 12 km/h zu einer Reduktion des Indexwertes von 0,88 auf 0,5. Das bei einer Kollisionsgeschwindigkeit von 40 km/h im Vergleich zu den Kindern deutlich höhere Verletzungsrisiko der Erwachsenen, kann durch eine Halbierung der Kollisionsgeschwindigkeit drastisch abgesenkt und auf das Niveau der entsprechenden Kinderwerte gebracht werden. Der Rückgang verläuft dabei nicht gleichmäßig, sondern ist im Intervall zwischen 20 und 30 km/h stärker ausgeprägt als im Intervall zwischen 30 und 40 km/h. Aufgrund des niedrigeren Ausgangswertes halbiert sich der

Indexwert der Kinder bereits bei einer Geschwindigkeitsreduktion von 5 km/h, so dass hier im Intervall zwischen 30 und 40 km/h der größte Rückgang des Verletzungsrisikos erfolgt. Es wird deutlich, dass die Anforderungen hinsichtlich der Verzögerungswerte eines aktiven Systems stark vom passiven Schuttpotenzial abhängig sind. Bei entsprechenden passiven Maßnahmen im Erwachsenenprüfbereich wäre ein gleichwertiger Schutz beider Fußgängergruppen bereits für eine Geschwindigkeitsreduktion von 10 km/h denkbar. Im Falle des Beispielfahrzeuges könnte ein Windschutzscheibenairbag den strukturell unzureichenden passiven Schutz der Erwachsenen ausgleichen. Ein aktives System mit einer Geschwindigkeitsreduktion im Bereich von 10 km/h würde dann für beide Fußgängergruppen einen Indexwert unterhalb von 0,1 erreichen.

Anwendung der Bewertungsmethode

Im Folgenden wird die Anwendung des vorgestellten Ansatzes auf 19 reale Fahrzeuge (Abbildung 22), die im Jahr 2010/11 von Euro NCAP getestet wurden, beschrieben. Dabei werden folgende passiven und aktiven Maßnahmen gegenübergestellt:

- Basis-Fahrzeug; 40 km/h
- aufstellende Haube; 40 km/h
- aufstellende Haube plus Airbag; 40 km/h
- Basis-Fahrzeug; 30 km/h
- Basis-Fahrzeug; 20 km/h.

Grundlage der hier vorgenommenen Bewertung war ausschließlich das Verletzungsrisiko AIS 3+ am Kopf von Erwachsenen und Kindern. In Abbildung 23 sind die entsprechenden Werte der Basisfahrzeuge für eine Testgeschwindigkeit von 40 km/h darge-

Alfa Romeo Giulietta
Audi A1
BMW 5er (mit aufstellender Haube)
BMW X1
Citroën Nemo
Citroën C4
Ford C-Max
Honda CR-Z
Hyundai ix20
Jaguar XF (mit aufstellender Haube)
Mazda CX7
Mercedes E-Klasse (mit aufstellender Haube)
Nissan Cube
Nissan Micra
Opel Meriva
Seat Exeo
Suzuki Swift
Toyota Verso
VW Sharan

Abbildung 22:
Liste der 19 bewerteten Fahrzeuge

stellt, wobei zusätzlich zwischen guten (grüne Farbbalken), mäßigen (gelbe Farbbalken) und schlechten (rote Farbbalken) Ergebnissen differenziert wurde. Diese farbliche Bewertung orientiert sich am Notenschlüssel des Deutschen Industrie- und Handelskammertages (DIHK).

Bei den 19 hier dargestellten Fahrzeugen liegt das Kopfverletzungsrisiko AIS 3+ für Erwachsene zwischen den Werten 0,11 und 0,86, wobei das beste Fahrzeug eine aufstellende Haube besitzt. Ein Vergleich der UDV-Bewertung mit der von Euro-NCAP zeigt tendenziell gute Übereinstimmung, d.h., dass gute Fahrzeuge nach beiden Verfahren gut und schlechte Fahrzeuge schlecht abschneiden. Daneben verdeutlicht Abbildung 23, dass die Kinder- und Erwachsenen-Rankings nicht übereinstimmen und zu einer unterschiedlichen Reihung führen würden. So

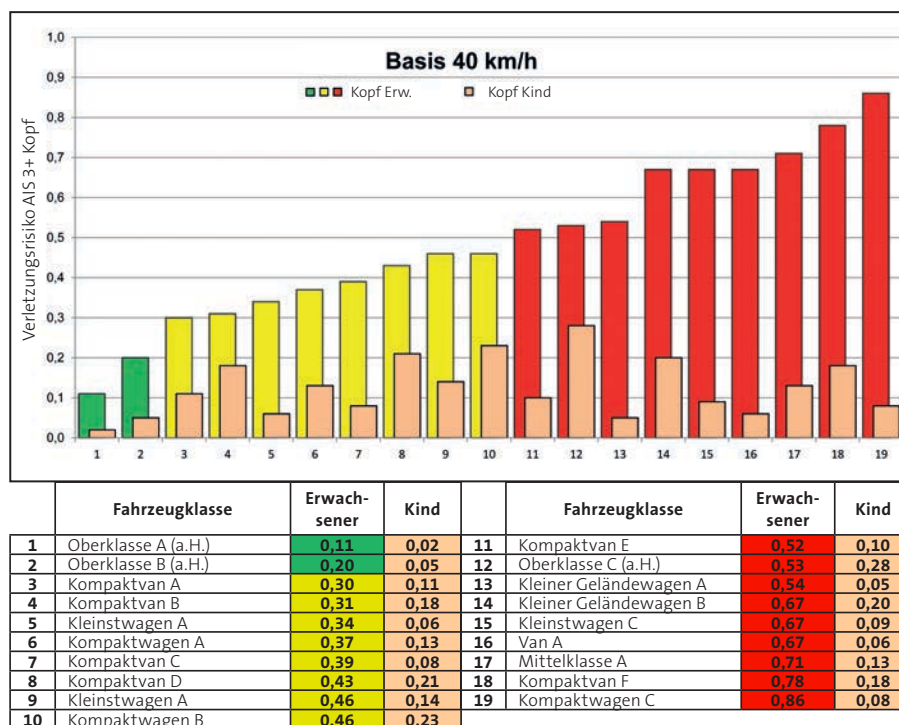


Abbildung 23:
Kopfverletzungsrisiko AIS 3+ für Kinder und Erwachsene bei 19 nach der UDV-Methode bewerteten Fahrzeugen; Basis, 40 km/h

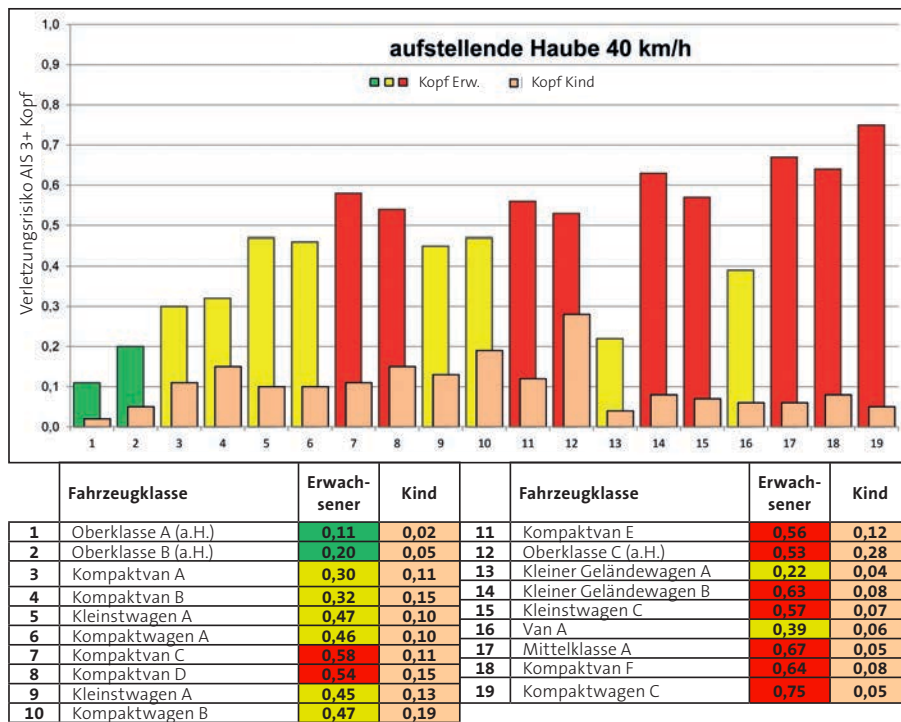


Abbildung 24:
Kopfverletzungsrisiko AIS 3+ für Kinder und Erwachsene bei 19 nach der UDV-Methode bewerteten Fahrzeugen; aufstellende Haube, 40 km/h

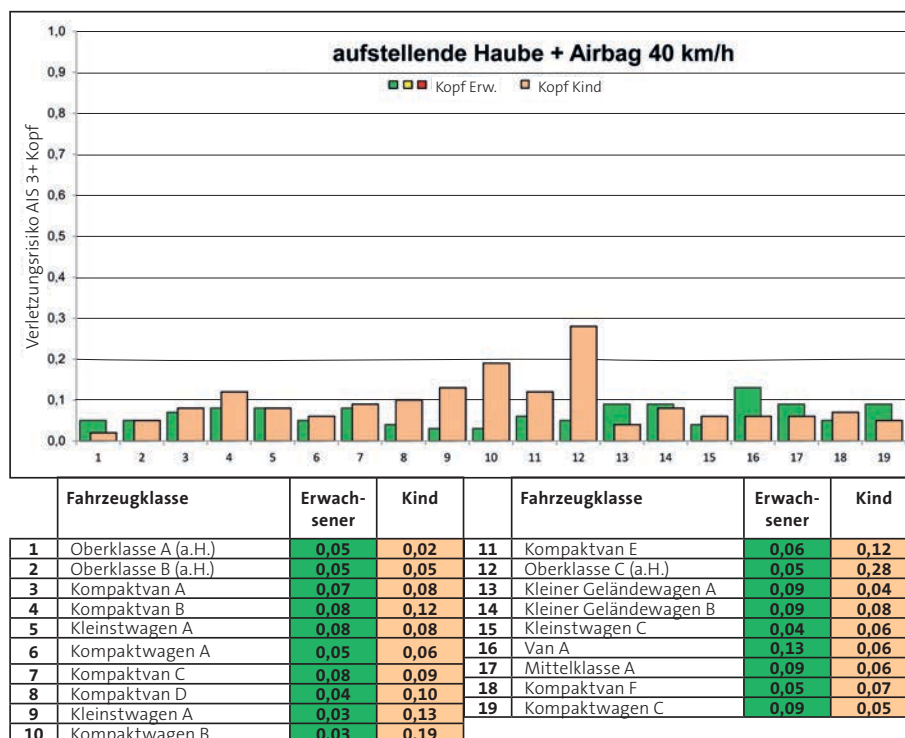


Abbildung 25:
Kopfverletzungsrisiko AIS 3+ für Kinder und Erwachsene bei 19 nach der UDV-Methode bewerteten Fahrzeugen; aufstellende Haube plus Airbag, 40 km/h

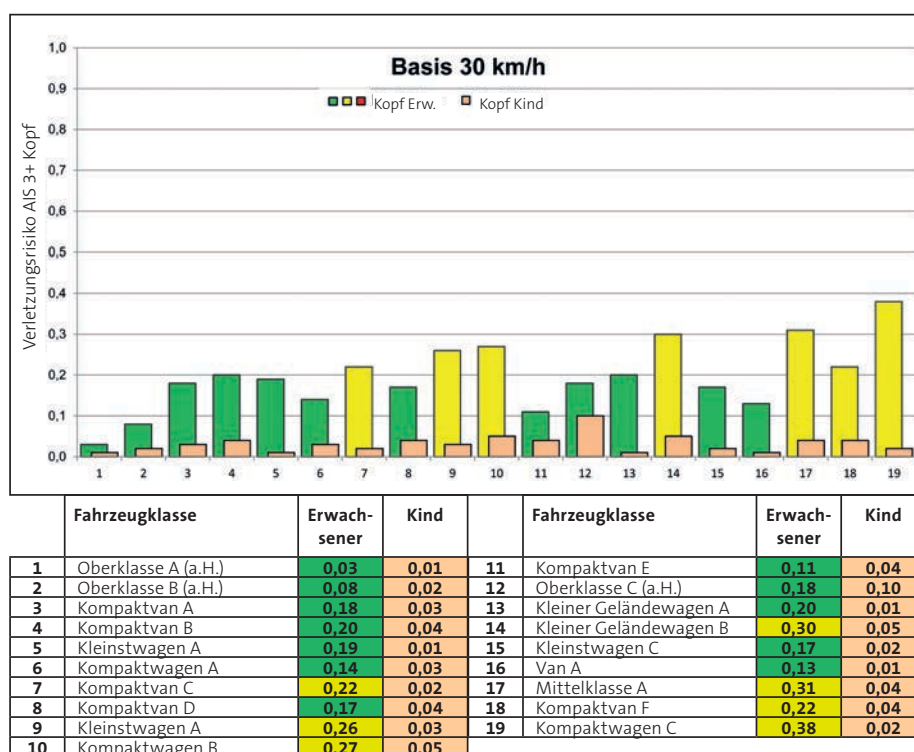


Abbildung 26:
Kopfverletzungsrisiko AIS 3+ für Kinder und Erwachsene bei 19 nach der UDV-Methode bewerteten Fahrzeugen; Basis, 30 km/h

liegt bei dem schlechtesten Fahrzeug (Verletzungsrisiko AIS 3+ Erwachsene = 0,86) der entsprechende Wert für den Kinderkopf bei 0,08 (dieser relativ niedrige Wert ist nur bei fünf Fahrzeugen noch etwas kleiner). Falls die 19 ausgewählten Fahrzeuge mit der im UDV-Bewertungsverfahren hinterlegten generischen aufstellenden Haube ausgestattet wären, so würde sich das AIS 3+ Verletzungsrisiko, wie in Abbildung 24 dargestellt, verändern; die hier angenommene Testgeschwindigkeit liegt wiederum bei 40 km/h. Durch die aufstellende Haube könnten zwar bei manchen Fahrzeugen leichte Verbesserungen eintreten, doch ist bei einigen Fahrzeugen sogar eine Verschlechterung des Kopfverletzungsrisikos AIS 3+ für Erwachsene festzustellen. Der Einfluss der aufstellenden Haube auf die Kopfbelastungen der Kinder ist gering.

Erst durch eine aufstellende Haube und zusätzlich einen Windschutzscheiben-Airbag (Abbildung 25) könnte eine deutliche Verbesserung aller Werte für den Erwachsenen bei einer Testgeschwindigkeit von 40 km/h erreicht werden, das Kopfverletzungsrisiko AIS 3+ für Kinder bliebe jedoch in vielen Fällen praktisch fast unverändert.

Durch ein aktives Notbremssystem, das die Testgeschwindigkeit um 10 km/h auf 30 km/h senken würde, könnten sowohl für Erwachsene (alle AIS 3+ Werte $\leq 0,40$) als auch für Kinder (alle AIS 3+ Werte $\leq 0,10$) deutliche Verbesserungen erreicht werden (Abbildung 26). Selbst beim schlechtesten Fahrzeug könnte, im Vergleich zur Testgeschwindigkeit mit 40 km/h, das Kopfverletzungsrisiko AIS 3+ für Erwachsene mehr als halbiert werden (Rückgang von 0,86 auf 0,38). Der positive Effekt einer

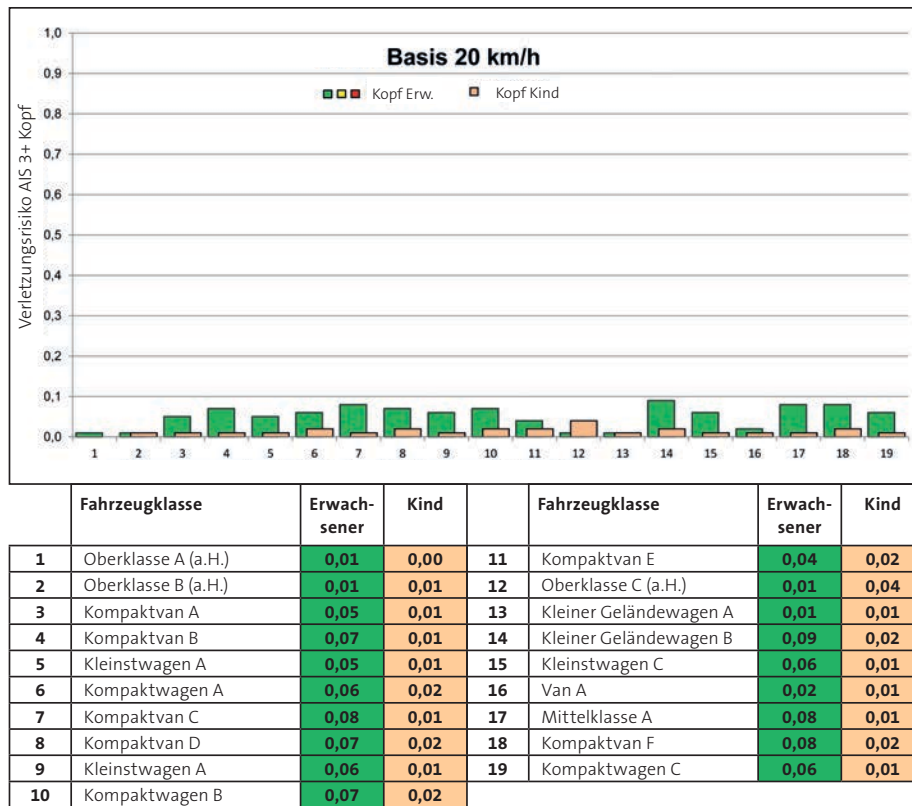


Abbildung 27:
Kopfverletzungsrisiko AIS 3+ für Kinder und Erwachsene bei 19 nach der UDV-Methode bewerteten Fahrzeugen; Basis, 20 km/h

Geschwindigkeitsreduzierung zeigt sich hier über alle unterschiedlichen Fahrzeugfronten und Fußgängergrößen hinweg, negative Auswirkungen, wie möglicherweise bei der aufstellenden Haube, sind hier nicht feststellbar. Zusätzlich wird durch die Reduzierung der bei der Kollision wirkenden kinetischen Energie der Sekundäraufprall positiv beeinflusst.

Ein noch effektiveres Notbremssystem, das in der Lage wäre, die Testgeschwindigkeit von 40 km/h auf 20 km/h zu senken, würde die Fußgängerfreundlichkeit aller hier betrachteten Fahrzeuge nochmals weiter erheblich steigern (Abbildung 27). So könnte das Kopfverletzungsrisiko AIS 3+ für Erwachsene auf unter 10 % gedrückt werden, jenes für Kinder sogar auf unter 5 %.

Zusammenfassung

Um das Schutzz Potenzial aktiver und passiver Fußgängerschutzmaßnahmen auf einer gemeinsamen Skala bewerten und vergleichen zu können, wurde von der UDV, gemeinsam mit der fka, ein Bewertungsverfahren entwickelt und auf verschiedene Frontgeometrien und Maßnahmen angewandt.

Ein wichtiges Merkmal des Bewertungsverfahrens ist sein modularer Aufbau, bei dem Struktureigenschaften der Fahrzeugfront mit der hervorgerufenen Unfallkinematik sowie Daten der Unfallforschung kombiniert werden. Die Module können dabei unabhängig voneinander weiterentwickelt oder ausgetauscht werden. Das Bewertungsverfahren

greift auf die Euro-NCAP-Ergebnisse des zu bewertenden Fahrzeuges zurück und passt die fahrzeugmodellspezifischen HIC-Werte an die reale Unfallkinematik an.

Die Daten zur Unfallkinematik beruhen auf numerischer Simulation. Zur Berücksichtigung der starken Abhängigkeit der Kinematik von der Fahrzeugfrontgeometrie, wurde eine entsprechende Kategorisierung entwickelt. Diese Kategorisierung ermöglicht eine fahrzeugklassenspezifische Zuweisung der Unfallkinematik. Kinematische Parameter bilden dabei die Kopfaufprallgeschwindigkeit, der Kopfaufprallwinkel sowie die Kopfaufprallwahrscheinlichkeit, welche für die jeweiligen Bereiche der Fahrzeugfronteinteilung ermittelt wurden und für jede Fahrzeugklasse verfügbar sind. Das Bewertungsverfahren liefert einen Indexwert, der für eine Kollisionsgeschwindigkeit von 40 km/h und unterschiedliche passive Schutzsysteme das Risiko einer AIS 3+ Kopfverletzung in Folge des Primäraufpralls angibt. Dieser wird, getrennt für Kinder und Erwachsene, auf Basis einer Verletzungsrisikofunktion, berechnet. Aufgrund entsprechender Simulationsdaten ist es zudem möglich, den Indexwert in Abhängigkeit von der Kollisionsgeschwindigkeit darzustellen, um so auch Systeme der aktiven Sicherheit berücksichtigen zu können.

Es konnte gezeigt werden, dass der Nutzen heutiger Schutzmaßnahmen im Bereich der Fahrzeugfront limitiert ist. Die gesetzlichen Prüfverfahren und Verbraucherschutztests geben die hohe klassenspezifische Relevanz einzelner Fahrzeugbereiche nur unzureichend wieder. So heben die Simulationsdaten für Erwachsene den Windlauf, die A-Säulen sowie den unteren Windschutzscheibenbereich hervor, die durch technische Schutzmaßnahmen adressiert werden müssten, in der Gesetzgebung aber keine Berücksichtigung finden.

Fußgängerschutzmaßnahmen sollten für jede Fahrzeugfront separat ausgewählt und abgestimmt werden. Ein Windschutzscheibenairbag kann beispielsweise für Erwachsene die Fußgängersicherheit erheblich erhöhen. Kinder hingegen profitieren davon nur äußerst begrenzt. Das zeigte auch die konkrete Anwendung des von der UDV entwickelten Bewertungsverfahrens auf 19 Fahrzeugmodelle, die in den Jahren 2010/2011 von Euro NCAP getestet wurden. So konnte festgestellt werden, dass es nicht ausreicht, den Aufprall des Fußgängers am Fahrzeug mit passiven Maßnahmen alleine abzumildern, vielmehr muss die Aufprallgeschwindigkeit verringert werden. Diese aktive Maßnahme hat den größten positiven Effekt, unabhängig von der betrachteten Fahrzeugklasse und unabhängig von der Größe des Fußgängers. Dennoch sind neben Notbremsassistenten mit Fußgängererkennung auch passive Schutzmaßnahmen erforderlich, da selbst ein hoch entwickeltes aktives System einen Unfall nicht immer zuverlässig vermeiden kann.

Weitere Informationen unter: www.udv.de

Literatur

- [1] Kühn, M.: Intelligente Fahrzeugbewertung zum Fußgängerschutz. Unfallforschung kompakt, Unfallforschung der Versicherer, Berlin, 2011
- [2] Martinez, L.; Guerra, L. J.; Ferichola, G.; Garcia, A.; Yang, J.; Yao, J.: Stiffness Corridors for the Current European Fleet. APROSYS SP3, Deliverable D3.1.2.B, Report Nr. AP-SP31-009R, Brüssel, 2006
- [3] Flügel, B., Greil, H., Sommer, K.: Anthropologischer Atlas - Alters- und Geschlechtsvariabilität des Menschen. Frankfurt/Main, Edition Wötzel, 1. Auflage, 1986
- [4] Meinecke, M. M., Obojski, M. A.: Unfallanalyse und Funktionsspezifikation (AP1000), Sicherheit für Fußgänger und Radfahrer - SFR, Version 1.10. Forschungsprojekt AKTIV-AS, 2007
- [5] Kühn, M.; Fröming, R.; Schindler, V.: Fußgängerschutz - Unfallgeschehen, Fahrzeuggestaltung, Testverfahren. Springer-Verlag, Berlin, 2007
- [6] Kramer, F.: Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen - Biomechanik - Simulation - Sicherheit im Entwicklungsprozess. 3., überarbeitete Auflage, Vieweg+Teubner, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009
- [7] International Standard: Motorcycles - Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles. Part 5: Injury indices and risk/benefit analysis. Reference number: ISO 13232-5:2005(E), Geneva, 2005



Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

Wilhelmstraße 43/43G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin

Tel.: 030/20 20 - 50 00, Fax: 030/20 20 - 60 00
www.gdv.de, www.udv.de