

Probleme, Fehler und Besonderheiten bei der EES-Einstufung

Von Manfred Becke*

Der Unfallanalytiker verwendet zur Berechnung der Kollisionsgeschwindigkeiten oft den EES-Wert (Energy Equivalent Speed). Die Bestimmung der EES-Werte führt häufig zu Problemen oder Fehlern. Dieser Aufsatz beschäftigt sich mit einigen der möglichen Probleme, Fehler und Besonderheiten bei der EES-Einstufung. Zurzeit können nicht alle Probleme gelöst werden, aber es wird auf ihre Existenz hingewiesen¹.

1 Überdeckung

Zur Berechnung der Relativgeschwindigkeit ist es erforderlich, den EES-Wert einzugrenzen. Dies geschieht in der Regel anhand von Vergleichsversuchen.

Wenn nun für einen bestimmten Fall eine 100%ige Überdeckung vorliegt, BILD 1 rechts, während der zur Verfügung stehende Vergleichsversuch mit passender Intensität der Schäden lediglich eine Überdeckung von 40 % aufweist, Bild 1



Fotos: AZT

BILD 1: Versuch mit 100 % und und mit 40 % Überdeckung

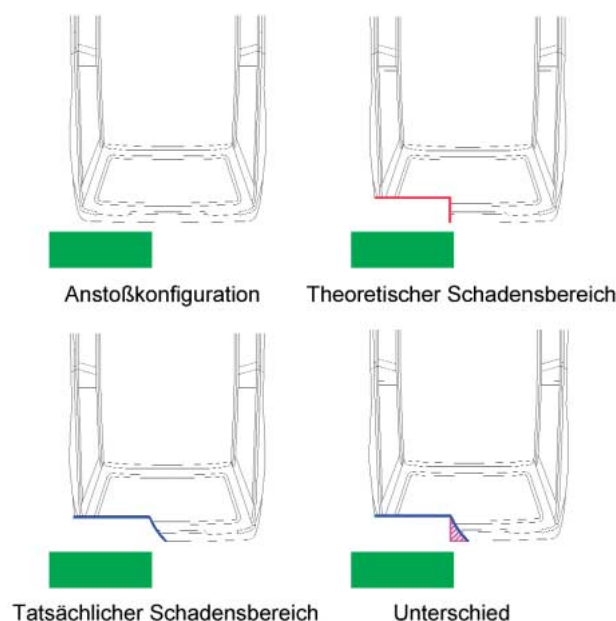


BILD 2: Theoretischer und tatsächlicher Schadensbereich

links, könnte der EES-Wert des Versuches auf den Fall umgerechnet werden. Es wurde für das linke Schadensbild des Versuchsfahrzeugs des Bildes 1 ein EES-Wert von 11,2 km/h bestimmt. Bei der Umrechnung dieses EES-Wertes auf eine volle, also 100%ige Überdeckung, müsste man zwei Annahmen berücksichtigen, und zwar, dass die Massen der Fahrzeuge (Unfallfahrzeug und Versuchsfahrzeug) gleich sind und dass das Verhältnis der Deformationsenergien grob dem Verhältnis der Überdeckung entspricht. Das heißt, wenn das Versuchsfahrzeug bei einer halben Überdeckung eine Deformationsenergie E aufweist, weist das Auto bei der gleichen Schadensintensität über die gesamte Fahrzeugbreite eine Deformationsenergie von 2·E auf.

Unter Berücksichtigung dieser Annahmen kann der Zusammenhang zwischen EES-Wert und unterschiedlicher Überdeckung geschrieben werden, siehe Gl. (1).

$$EES_{\text{Fall}} \approx \sqrt{\frac{\%_{\text{Fall}}}{\%_{\text{Versuch}}} \cdot EES_{\text{Versuch}}^2}$$

$$EES_{\text{Fall}} \approx \sqrt{\frac{100}{40} \cdot 11,2^2} \approx 17,7 \text{ km/h}$$

GLEICHUNG 1: Korrektur des EES-Wertes für Überdeckung

Auf das abgebildete Beispiel angewandt bedeutet dies, dass dem mit voller Überdeckung belasteten Fahrzeug ein EES-Wert von 17,7 km/h zugeordnet werden könnte.

Da es sich bei diesem Fahrzeug nicht um einen realen Unfallwagen handelt, sondern um ein Versuchs-

¹Überarbeiteter Vortrag, gehalten bei der Accident Reconstruction Conference 2003 am 4. und 5. Juli in Wildhaus (Schweiz).

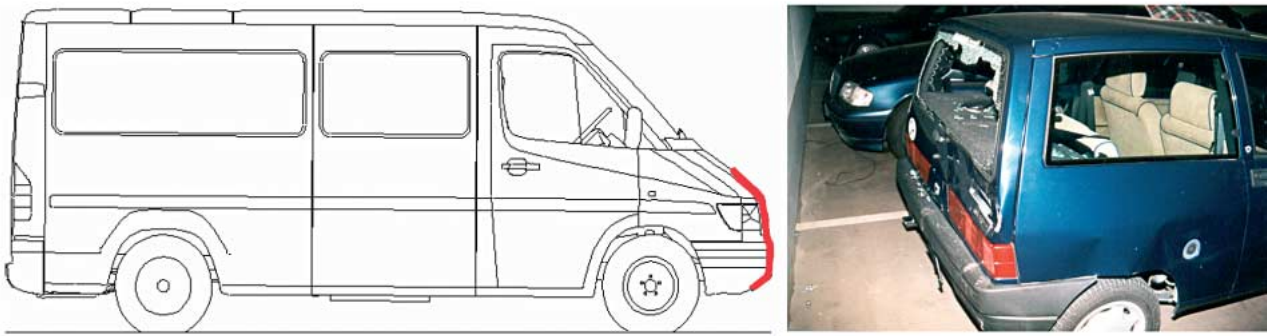


BILD 3: Unbekannte EES des Lkws, bekannte EES des Pkws

fahrzeug, ist bekannt, dass die Schadensintensität bei diesem Fahrzeug einem EES-Wert von 16,7 km/h entspricht und damit der EES-Wert unterhalb des zuvor theoretisch bestimmten Wertes liegt. Eine Erklärung hierfür ist, dass der theoretische Schadensbereich von 40 % der Fahrzeugbreite nicht den tatsächlichen Schadensbereich beinhaltet, siehe BILD 2.

Aufgrund der Beanspruchung nicht direkt beaufschlagter Karosseriestrukturen kommt es zu einer größeren Verformung, wobei also tatsächlich mehr als 40 % der Fahrzeugbreite beschädigt wurde. Bei der theoretischen Hochrechnung, die auf einer 40%igen Überdeckung basiert, würde man auf diese Art und Weise zwangsläufig eine zu hohe Deformationsenergie und damit einen zu hohen EES-Wert berechnen.

2 Ableitung des zweiten EES-Wertes

Wenn im Rahmen einer Fallausarbeitung der EES-Wert eines der beiden Fahrzeuge hinreichend genau ermittelt werden konnte und über

das andere Fahrzeug nähere Informationen nicht zur Verfügung stehen, entsteht das Problem, auch für dieses unbekanntes Fahrzeug einen EES-Wert einzugrenzen, BILD 3.

Eine Lösung für dieses Problem liegt in der Kraft-Weg-Kennung, BILD 4. Bei der Kraft-Weg-Kennung verwendet man die Verhältnisse der Massen und der Verformungswege unter der Voraussetzung, dass die während der Kollision auftretenden Kraftpegel auf beide Fahrzeuge gleich sind (actio = reactio).

Da die Fläche unterhalb der Kraft-Weg-Kurve der Deformationsenergie eines Fahrzeuges entspricht, kann man das Verhältnis der EES-Werte der Fahrzeuge als die Wurzel aus dem Verhältnis der Massen und der Deformationswege beschreiben [1], Gl. (2).

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot EES_1^2 &= E_{D1} = \int_0^{s_{D1}} F \cdot ds_D = F_m \cdot s_{D1} \\ \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot EES_2^2 &= E_{D2} = \int_0^{s_{D2}} F \cdot ds_D = F_m \cdot s_{D2} \\ \Downarrow \\ \frac{m_1 \cdot EES_1^2}{m_2 \cdot EES_2^2} &= \frac{s_{D1}}{s_{D2}} \Rightarrow \frac{EES_1}{EES_2} = \sqrt{\frac{m_2 \cdot s_{D1}}{m_1 \cdot s_{D2}}} \end{aligned}$$

GLEICHUNG 2: Verhältnis der EES-Werte

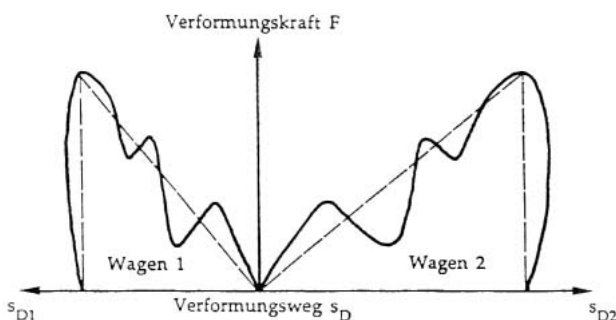


BILD 4: Kraft-Weg-Kennung der Fahrzeuge [1]

3 Streifkollisionen

Bei einer Streifkollision zwischen zwei Fahrzeugen, BILD 5, tritt das Problem auf, dass für diese Fahrzeuge die Einstufung der EES-Werte sehr schwierig ist. Es gibt zurzeit keine geeigneten Vergleichsversuche, bei denen die EES-Werte der Fahrzeuge bestimmt wurden. In so einem Fall könnte man besser auf einen Pkw/Pkw-Kollisionsversuch zurückgreifen.

Auch bei einer Streifkollision von einem Pkw gegen eine Leitplanke hat man das Problem, dass für den Pkw ein EES-Wert aufgrund fehlender Vergleichsversuche sehr schwer abzuschätzen ist, BILD 6. Auch wenn man einen passenden Vergleichsversuch findet, bleibt das Problem, dass die Energieaufnahme der Leitplanke unbekannt ist. Vor allem bei Leitplanken, deren Pfosten in relativ weichem Grund verankert wurden, lässt sich kaum rekonstruieren, wie viel Energie bei der Verschiebung des Pfostens im Erdboden umgewandelt wurde.

4 Unterschiedliche Fahrzeuge

Bei unterschiedlichen Fahrzeugen wäre es plausibel, die unterschiedlichen Struktursteifigkeiten zu berücksichtigen. Durch die kosten senkende Plattformstrategie der Automobilhersteller sind die Chassisstrukturen einiger Pkw jedoch nahezu identisch. Ein Beispiel hierfür geben die Kleinwagen von Seat und VW, BILD 7.

Der Seat Arosa lässt sich optisch deutlich von dem VW Lupo unter-

scheiden, weist jedoch bei abgebauter Frontstoßfängerverkleidung, **BILD 8**, eine weit gehende Übereinstimmung mit dem anderen Pkw auf.

Der strukturversteifende Querträger des Frontstoßfängersystems ist für beide Fahrzeuge identisch konzipiert.

Die enge Verwandtschaft der beiden Fahrzeuge zeigt sich auch dann, wenn die Fahrzeuge unter gleichen Testbedingungen einem Crashversuch unterzogen werden, **BILD 9**.

Unterschiede können aber auch innerhalb einer Modellreihe auftreten, wie dies z. B. bei dem VW Golf III der Fall ist. Bei diesem Fahrzeug wurden anfangs so genannte Pralltöpfe am Ende der beiden Längsträger montiert, **BILD 10**, während bei den späteren Ausführungen ein Pallelement montiert wurde. Der abweichende Aufbau des Heckstoßfängersystems führt zu einem anderen Verformungsverhalten bei einer Heckkollision. Bei der EES-Einstufung müsste man den Aufbau des Heckstoßfängers des VW Golf III beachten.

5 Längsträger-Problematik

Bei der Analyse eines Offset-Gegenverkehrsunfalls darf nicht der Fehler gemacht werden, die Deformationen eines der teilüberdeckten Fahrzeuge mit der Überdeckung eines anzuwendenden Vergleichsversuchs gleichzusetzen [2].

Das **BILD 11** zeigt deutlich, dass die Überdeckung des Vergleichsversuchs geringer als die Überdeckung des Falles gewählt werden sollte. Grund hierfür ist, dass die steifen Karosseriestrukturen des Kollisionspartners sich nicht bis zur äußersten Ecke des Fahrzeugs erstrecken.

6 Unfall- und Testmasse

Wenn die Unfallmasse eines verunfallten Fahrzeugs deutlich von der Masse eines Versuchsfahrzeugs abweicht, besteht die Gefahr, fehlerhafte Relativgeschwindigkeiten zu berechnen. Die Ursache hierfür liegt



BILD 5: Schadensbeispiel einer Pkw/Pkw-Streifkollision



BILD 6: Beispiel einer Pkw/Leitplankenkollision



BILD 7: Seat Arosa (links) und VW Lupo (rechts)



BILD 8: Aufbau Seat Arosa und VW Lupo



BILD 9: Crashversuch Seat Arosa und VW Lupo

Fotos: AZT



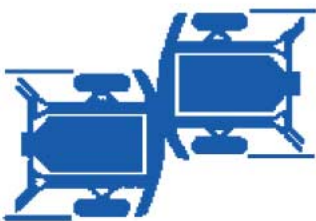
BILD 10: Pralltöpfe und Prallelemente beim VW Golf III

Fotos: AZT

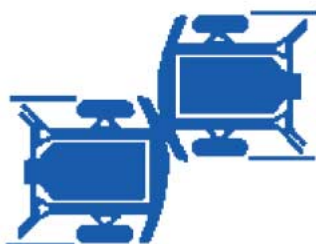
Pkw/Pkw-Kollision



60-70% Überdeckung



40-60% Überdeckung



30-40% Überdeckung

Barrierenanprall



50% Überdeckung



40% Überdeckung



30% Überdeckung

BILD 11: Längsträgerproblematik [2]

in der Tatsache, dass in dem Energieerhaltungssatz der Mechanik zur Berechnung der kinetischen Energie immer die Unfallmassen angesetzt werden sollten und dass zur Berechnung der Deformationsenergie die Masse des Versuchsfahrzeugs eingetragen werden sollte, Gl. (3).

$$\frac{1}{2} \cdot m_{1, \text{Fall}} \cdot (v_1^2 - v_1'^2) + \frac{1}{2} \cdot m_{2, \text{Fall}} \cdot (v_2^2 - v_2'^2)$$

Kinetische Energie (Unfallmasse)

$$= \frac{1}{2} \cdot m_{1, \text{Test}} \cdot \text{EES}_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{2, \text{Test}} \cdot \text{EES}_2^2$$

Deformationsenergie (Masse Versuchsfahrzeug)

GLEICHUNG 3: Energieerhaltungssatz angewendet für zentralen Stoß

Wenn das Schadensbild der (beteiligten und Versuchs-) Fahrzeuge vergleichbar ist, ist auch die Deformationsenergie der Fahrzeuge die gleiche. Das Einsetzen der Unfallmasse würde zur Berechnung der Deformationsenergie bei bekanntem EES-Wert des Versuchsfahrzeugs zu einer fehlerhaften Deformationsenergie für die weitere Berechnung führen.

Ein weiteres Problem ist, in welchem Maße sich die Masse der Beladung auf die Kollisionsmasse auswirkt.

Ist bei einem voll beladenen Transporter z. B. die gesamte Masse der Beladung als zusätzliche Kollisionsmasse anzurechnen oder nimmt nur ein Teil der Beladung als Masse an der Kollision teil? Die Beantwortung dieser Frage übersteigt den Rahmen dieser Ausführungen.

7 Motorplatzbedarf beim Pfahlanprall

Wenn ein Fahrzeug (mit längs eingebautem Motor) bei einem Pfahlanprall mittig getroffen wird, ist der Motorplatzbedarf zu beachten. BILD 12 zeigt einen mittig getroffenen Pkw mit längs eingebautem Motor.

So wird bei einem 6-Zylinder-Reihenmotor, der in Längsrichtung eingebaut ist, deutlich weniger Freiraum unter der Motorhaube vorhanden sein als bei einem Pkw mit einem in Längsrichtung eingebauten 4-Zylindermotor. Vor allem bei

den etwas längeren in Längsrichtung eingebauten Reihenmotoren kann man bei einem Pfahlanprall das Beschädigungsbild zur Bestimmung des EES-Wertes nicht ohne weiteres mit einem Versuch vergleichen, bei dem ein Pkw mit quer eingebautem Motor einen Pfahlanprall erlitt. Versuche mit vergleichbaren Fahrzeugen stellen hier eine Lösungsmöglichkeit dar.



BILD 12: Mittig getroffener Pkw mit Verschiebung des in Längsrichtung eingebauten Motors

8 Hohe EES-Werte

Bei (extrem) großen Fahrzeugdeformationen kann man nicht mehr auf die in der Literatur befindlichen Industrierversuche zurückgreifen, weil die EES-Werte der getesteten Fahrzeuge in der Regel einen Wert von ca. 55 km/h nicht übersteigen. Für das in BILD 13 gezeigte Schadensbild des Audi 100 kann man in der Literatur wahrscheinlich keinen passenden Versuch finden. Der Versuch in BILD 14 zeigt einen Audi mit einem EES-Wert von ca. 55 km/h, ein Wert, der deutlich zu gering ist im Vergleich zum zu rekonstruierenden Unfall.



BILD 13: Unfall mit großen Fahrzeugdeformationen

In diesem Fall gibt nur ein Hochgeschwindigkeitsversuch Auskunft. Anhand der Ergebnisse dieses oder eines solchen Versuchs, BILD 15, kann man dann einen für die weitere Analyse des Unfalls erforderlichen EES-Wert ermitteln.

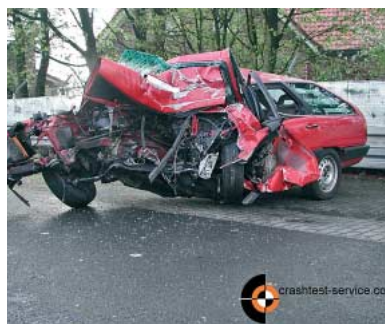


Foto: ams

BILD 14: Literaturversuch mit geringerem Beschädigungsniveau (EES = ca. 55 km/h)

9 Konstruktive Unterschiede

Es gibt Fahrzeuge, bei denen Besonderheiten zu berücksichtigen sind. Eines dieser Fahrzeuge ist der Mercedes W 124. Crashversuche zeigen, dass dieses Fahrzeug auf der linken und rechten Heckseite anscheinend eine andere Struktursteifigkeit aufweist.



Fotos: AZT

BILD 15: Passender Hochgeschwindigkeitsversuch (EES = 87 km/h)

Die Fotos in BILD 16 lassen einerseits einen Versuch sehen, bei dem der Mercedes auf der linken Seite belastet wurde und dabei eine bestimmte Intensität des Schadens erlitt, während andererseits bei gleicher Schadensintensität auf der rechten Seite der Heckpartie das



Fotos: AZT

BILD 16: Links- und rechtsseitige Belastung eines Mercedes W 124

Fahrzeug eine geringere Deformationsenergie aufnahm. Das erste Schadensbild, mit einer Belastung der linken Seite, entspricht einem EES-Wert von 10 km/h, während das Schadensbild bei der Belastung der rechten Seite einen EES-Wert von 9 km/h aufweist.

Der Grund für diese unterschiedliche Aufnahme der Deformationsenergie liegt in der Tatsache, dass der Mercedes über einen asymmetrischen Aufbau des Hecks verfügt. Ein Blick in den Kofferraum zeigt, **BILD 17**, dass der Kofferraumboden im linken Bereich nicht nur einen Längsträger, sondern auch eine darin integrierte Kofferraumbodenstruktur aufweist. Auf der rechten Seite befindet sich hingegen nur ein isolierter Längsträger. Erwartungsgemäß lässt sich der isolierte Längsträger einfacher verformen bzw. stauchen, so dass sich die unterschiedlichen EES-Werte der Fahrzeuge bei gleicher Schadensintensität erklären lassen.

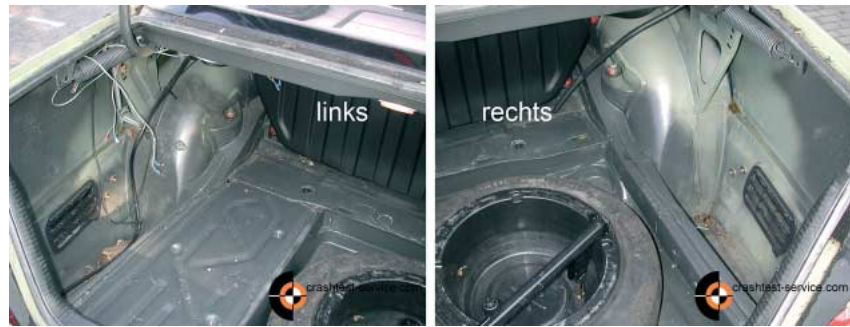


BILD 17: Unterschiedlicher Aufbau der linken und rechten Seite

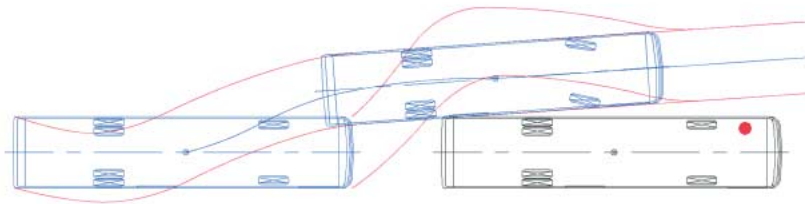


BILD 18: Streifstoß zweier Busse

10 Fehlende Referenzversuche

Für bestimmte Unfallsituationen gibt es keinerlei Vergleichsversuche, mit deren Hilfe man einen EES-Wert einstufen kann. Als erstes Beispiel kann ein Streifstoß zwischen zwei Bussen genannt werden, **BILD 18**.

Beim Rangieren fuhr ein Linienbus mit dem hinteren Türausschnittbereich gegen die linke hintere Ecke eines anderen Linienbuses. Zur Bestimmung der Kollisionsgeschwindigkeit wäre die Berechnung mit Hilfe von EES-Werten nicht empfehlenswert, da die EES-Werte für diese Konstellation kaum abschätzbar sein dürften. In dem oben aufgeführten Beispiel bietet eine Diagrammscheibenauswertung – vorausgesetzt, eine Diagrammscheibe liegt vor – einen besseren Anknüpfungspunkt zur Rekonstruktion der Kollisionsgeschwindigkeit.

Ein weiteres Beispiel, bei dem es bis jetzt kaum verwendbare Referenzversuche gibt, zeigt **BILD 19**.

Bei diesem Fall kollidierte ein Pkw mit der Hinterachse/dem Hin-



BILD 19: Kollision Pkw mit landwirtschaftlichem Fahrzeug

terrad eines landwirtschaftlichen Kippers.

Obwohl man die Schäden am Pkw relativ gut anhand eines EES-Versuches eingrenzen kann, **BILD 20**, tritt ein Problem bei der Beantwortung der Frage auf, wie viel Energie das Rad und die Achse aufgenommen haben.

Passende Versuche, bei denen die Fahrzeuge mit der entsprechenden Messtechnik ausgestattet sind, bieten hier eine Möglichkeit zur Beseitigung dieser Wissenslücke.

11 Verwendete Ersatzteile

Wenn aus einem Schadensgutachten hervorgeht, dass ein Pkw bereits einen reparierten Vorschaden erlitt, ist es sinnvoll, sich mit der Frage zu beschäftigen, ob die montierten Ersatzteile den Erstausrüstungsteilen entsprechen.

Als Beispiel kann hier ein BMW aus der 5er Reihe (BMW E 34) herangezogen werden. Dieses Fahrzeug verfügt serienmäßig über einen Aluminium- Stoßfängerquerträger

ger. Bei Austausch dieses Querträgers kann wahlweise ebenfalls ein Träger aus Stahl montiert werden. **BILD 21** zeigt den konstruktiven Aufbau eines BMW E 34.

Nun stellt sich die Frage, ob sich dieser unterschiedliche Stoßfängerquerträger bei einer Kollision mit moderater Kollisionsgeschwindigkeit ähnlich verhält. Eine Versuchsreihe ergab, dass ein beachtlicher Unterschied vorhanden ist. **BILD 22** zeigt Schadensbilder zweier Versuche, wobei einerseits ein BMW 5er mit einem Aluminium-Stoßfängerquerträger frontal belastet wurde und andererseits ein BMW 5er mit einem aus Stahl gefertigten Stoßfängerquerträger.

Während der BMW mit Aluminium-Stoßfängerquerträger bei einem EES-Wert von 6,7 km/h kaum sichtbare Schäden davongetragen hat, zeigt das Fahrzeug mit Stahl-Stoßfängerquerträger bei einem EES-Wert von 6,1 km/h ausgeprägtere Schäden. Nach der Demontage der Frontstoßfängerverkleidung wird deutlich, dass der Stoßfängerquerträger aus Aluminium viel stabiler ist als das Stahlteil, Bild 22. Ohne Berücksichtigung der Tatsache, dass sich das aus Stahl gefertigte Stoßfängerquerträgerprofil früher verformt als das aus Aluminium gefertigte Teil, könnte für ein Unfallfahrzeug möglicherweise ein falscher, zu hoher EES-Wert in Ansatz gebracht werden.

12 Unterfahrende Anstoßkonfiguration

In der Literatur lassen sich in der Regel ausschließlich Industrierversuche finden, bei denen ein flacher Wandanprall vorliegt. Als Beispiel kann hier ein Industrierversuch mit einem Ford Scorpio herangezogen werden, **BILD 23**. Falls für eine bestimmte Unfallkonstellation von einer unterfahrenden Situation ausgegangen werden muss, wäre ein Crashversuch gegen eine flache Wand nicht gut vergleichbar. Unter diesen Umständen müsste nach einem Versuch gesucht werden, der den Umständen des rea-



BILD 20: EES-Einstufung der Pkw-Schäden

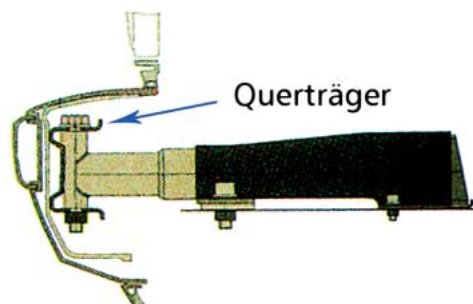


BILD 21: Aufbau der Vorderfront eines BMW E 34



BILD 22: Versuche mit Aluminium- und Stahlträger

Umfassende Fachkompetenz



Braess, Hans-Hermann /
Seiffert, Ulrich (Hrsg.)

Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik

4., vollst. überarb. u. erw. Aufl.
2005. XXXVI, 847 S. Mit 1026
Abb. u. 91 Tab. Geb. € 89,00
ISBN 3-528-33114-3

DER INHALT

Gesetzgebung/Normen - Unfallforschung - Aerodynamik - Klimatisierung - Design - Akustik - Package - Neuartige Antriebe - Ottomotor - Dieselmotor - Aufladesysteme - Kraftübertragung - Treibstoffe - Karosserie - Fahrzeuginnenraum - Sicherheit - Fahrwerk/Auslegung - Elektrik/Elektronik/Software - Bordnetz - EMV - Beleuchtung - Fahrerassistenzsysteme - Werkstoffe - Simultaneous Engineering - Simulationstechnik - Sensorik - Versuchstechnik - Instandhaltung - Rennsportwagen - Verkehr der Zukunft

Ja, ich bin interessiert und bestelle

___ Expl. Braess/Seiffert (Hrsg.)

Vieweg Handbuch

Kraftfahrzeugtechnik

4., vollst. überarb u. erw. Aufl. 2005.
€ 89,00 ISBN 3-528-33114-3

Vorname und Name 321 06 568

Firma Abteilung

Straße (bitte KEIN Postfach)

PLZ/Ort

Datum/Unterschrift



Abraham-Lincoln-Straße 46
D-65189 Wiesbaden
Fax 0611/7878-420
www.vieweg.de

Änderungen vorbehalten. Erhältlich im Buchhandel
oder beim Verlag. Geschäftsführer: Andreas Kösters,
Dr. Heinz Weinheimer, AG Wiesbaden HRB 9754

BESTELL-COUPON

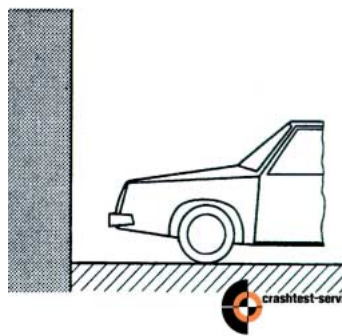


BILD 23: Flacher Wandanprall eines Industrierversuches



BILD 24: Unterfahrende Anstoßkonfiguration

len Unfalls entspricht. So zeigt **BILD 24** einen Versuch, bei dem ein Ford Scorpio unterfahrend gegen eine feststehende Barriere mit vorgehängtem Hartholz-Stoßfängermodell prallt. Wenn man beide Beschädigungsbilder miteinander vergleicht, fällt auf, dass die Beschädigungen des unterfahrenden Pkw deutlich ausgeprägter sind, obwohl beide Fahrzeuge nahezu gleiche EES-Werte aufweisen, und zwar xx km/h und yy km/h.

Bei der Einstufung von EES-Werten für unter- bzw. überfahrende Anstoßkonstellationen müsste man Vergleichsversuche heranziehen, bei denen die entsprechende unter- oder überfahrende Situation ebenfalls vorliegt, da es ansonsten zu einer falschen Einschätzung des EES-Wertes kommen könnte.

13 Weitere Probleme

Als weitere Probleme bei der Einstufung von EES-Werten können noch die folgenden Punkte genannt werden:

- Motorrad-Pkw-Kollision mit hohen Kollisionsgeschwindigkeiten

- Verkehrsunfall, bei dem eine oder mehrere Achsen eines oder mehrerer Fahrzeuge abgerissen werden
- Wie viel Energie wird bei einer Deformation einer Felge umgewandelt?
- Auf welche Weise wirkt sich eine Anhängerkupplung aus?
- die wirksame Überdeckung bei einer Winkelstellung der Fahrzeuge.

Literaturhinweise

- [1] Koob, Jean-Pierre: Vergleich von modernen Unfallrekonstruktionsverfahren für Pkw-Pkw-Kollisionen. TU-Berlin, 1988
- [2] Zeidler, Falk: Die Bedeutung der Energy Equivalent Speed (EES) für die Unfallrekonstruktion und die Verletzungsmechanik. Daimler-Benz AG

* Autor

Dipl.-Ing. Manfred Becke ist Sachverständiger im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke in Münster

