

Unfallrekonstruktion

Selbstschutz ist kein Partnerschutz

Das Ungleichgewicht von Kraft und Weg

von Dipl.-Ing. Martin Kornau, Lüdenscheid*

Geht es bei der Pkw-Konstruktion um Sicherheit, steht neben aktiven Systemen wie ABS, ESP oder sonstigen Fahrerassistenzsystemen in erster Linie die passive Sicherheit im Vordergrund. Sie ist es, die die Fahrzeuginsassen vor Verletzungen schützen soll, wenn der aktive Part nicht mehr zur Wirkung kommt. Der Selbstschutz wird dabei groß geschrieben und soll sich ausdrücken durch geringe Insassenbelastung bei verschiedenen Unfallkonstellationen, unabhängig von der Schwere der Kollision und dem Kollisionspartner. Maßgeblich ist dabei aber auch die Kompatibilität zwischen den kollidierenden Fahrzeugen. Denn sie ist ein Gradmesser für den Selbstschutz, ohne den Partnerschutz außer Acht zu lassen und allzu aggressiv gegenüber anderen Straßennutzern zu sein.

Am Beispiel einer Auffahrkollision zweier Pkw sollen nachfolgend obige Zusammenhänge verdeutlicht und die Schwierigkeiten dargestellt werden, die sich bei der Berechnung der Relativgeschwindigkeit und damit der kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung ergeben können.

I. Relativgeschwindigkeit, EES, Geschwindigkeitsänderung

Dem regelmäßigen Leser der Artikel zur Unfallrekonstruktion im VRR sind die o.g. Begriffe zwar geläufig, dennoch möchte ich sie hier noch einmal definieren.

Allgemein beschreibt die **Relativgeschwindigkeit** die Differenz der Kollisionsgeschwindigkeiten zweier Fahrzeuge, weshalb sie auch oft als Differenzgeschwindigkeit bezeichnet wird. Sie ist unabhängig von den Absolutgeschwindigkeiten der Fahrzeuge. Bei einer Auffahrkollision spielt es also keine Rolle, ob das gestoßene Fahrzeug 30 km/h und das stoßende 50 km/h fährt, oder aber ein Verhältnis von 10 km/h zu 30 km/h besteht – die Relativgeschwindigkeit beträgt in beiden Fällen 20 km/h. Steht das vordere Fahrzeug, ist die Kollisionsgeschwindigkeit des auffahrenden Fahrzeuges mit der Relativgeschwindigkeit identisch. Bestimmt wird sie allerdings aus den Schäden an beiden Pkw.

Als Maß für die Deformationsenergie, die bei einer beliebigen Verformung eines Fahrzeuges von der Struktur aufgenommen wird, gilt die energie-äquivalente Geschwindigkeit (EES – energy equivalent speed). Dieser EES-Wert liegt jedoch nicht als Berechnungsergebnis vor, sondern ergibt sich aus einem Beschädigungsvergleich der Unfallfahrzeuge mit im Versuch gecrashten Fahrzeugen.

Relativgeschwindigkeit beschreibt die Differenz der Kollisionsgeschwindigkeiten zweier Fahrzeuge und wird bestimmt anhand der Schäden

EES-Wert ergibt sich aus Beschädigungsvergleich mit im Versuch gecrashten Fahrzeugen

* Der Autor ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßerverkehrsunfälle (SIHK zu Hagen) im Ingenieurbüro Schimmelpfennig + Becke Lüdenscheid.

Geschwindigkeitsänderung beschreibt die auf die Fahrgastzelle und die Insassen einwirkende Belastung

Zur Bedeutung solcher **EES-Versuche** ist durch BECKE, (VRR 2008, 174) bereits ausführlich beschrieben worden, welche Schwierigkeiten sich bspw. bei der Abschätzung der EES-Werte ohne visuellen Vergleich ergeben können. Noch schwieriger gestaltet sich die Eingrenzung der Deformationsenergie durch EES-Werte allerdings dann, wenn nicht von beiden Fahrzeugen Beschädigungsfotos vorliegen und sich daher nur bedingt Rückschlüsse auf die Kompatibilität ziehen lassen (s. Kap. II).

Die **Beschreibung** der während einer Kollision auf die Fahrgastzelle bzw. die Insassen einwirkenden Belastungen gelingt insbesondere mit der Angabe der kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung. Diese hat sich in der internationalen Literatur und im Rahmen des Gutachtenwesens durchgesetzt. Dabei handelt es sich um die Geschwindigkeitsdifferenz eines kollisionsbedingt beschleunigten Fahrzeuges zwischen der Phase unmittelbar vor und unmittelbar nach einem Anstoß. Sie darf nicht mit der Differenzgeschwindigkeit respektive der Relativgeschwindigkeit verwechselt werden, aus der sich die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung unter Berücksichtigung der Fahrzeugmassen und des Stoßfaktors berechnen lässt.

II. Kompatibilität

Der **Begriff Kompatibilität** steht in der Unfallanalyse zum einen für die Zuordnung von Beschädigungen und Kontaktpuren, um u.a. den Überdeckungsgrad und den Fahrzustand des auffahrenden Fahrzeuges bestimmen zu können. Mit der Höhenzuordnung lässt sich bspw. herausarbeiten, ob der Pkw gebremst gegen das Heck des vorausfahrenden Fahrzeuges gefahren ist. Das Bild 1 zeigt exemplarisch das Ergebnis eines Crashversuches aus dem Internetportal „*crashtest-service.com*“, bei dem ein Ford Escort mit einer Geschwindigkeit von 12 km/h voll gebremst auf das Heck eines baugleichen Pkw gefahren ist. Die Kontaktpuren sind deutlich zu sehen und lassen sich sehr gut zur Höhenzuordnung heranziehen.



Bild 1 (Quelle: *www.crashtest-service.com*)

Bei einem Zusammenstoß sollte idealerweise jedes Fahrzeug seine eigene Energie aufnehmen

Zum anderen spricht man von Kompatibilität bzw. kompatibelem Verhalten, wenn die Strukturen (bestehend aus Deformationselementen, Quer- und Längsträgern) verschiedener Fahrzeuge optimal aufeinander abgestimmt sind, wobei jedes Fahrzeug bei einem Zusammenstoß idealerweise seine eigene Energie aufnehmen sollte. Dann sind sowohl die Vorgaben für den Selbstschutz als auch den Partnerschutz erfüllt.

Grds. ist zu berücksichtigen, dass in den **kontaktierenden Fahrzeugbereichen** unterschiedliche **Steifigkeiten** vorliegen können. Trifft eine sehr steife Fahrzeugzone auf eine weiche, ergeben sich zwingend unterschiedliche Eindringtiefen und damit Verformungsintensitäten. Im Extremfall kann es dazu kommen, dass bei einem Fahrzeugteil überhaupt keine Verformungen erkennbar sind, obwohl in einer deutlich weicheren Zone des Kollisionspartners tiefe Eindringungen vorhanden sind.

Ein Negativbeispiel hinsichtlich Kompatibilität geben nach wie vor die Lifestyle-Geländewagen, die „Sport Utility Vehicles“ ab. Bei den kurz SUV genannten Fahrzeugen wird der Partnerschutz stark vernachlässigt. Das liegt maßgeblich an dem Masseverhältnis und der bauart-typisch höher liegenden Struktur dieser Fahrzeuge, die aus funktionellen Erfordernissen eine große Bodenfreiheit benötigen. Das führt bei einem Heckaufprall zwangsläufig zum Unterfahren der Energie aufnehmenden Crashstrukturen, selbst wenn der auffahrende Pkw ungebremst kollidiert, die Front also nicht eingefedert ist. Bild 2 zeigt ein Beispiel, bei dem ein Audi A4 mit 20 km/h gegen das Heck eines stehenden Jeep Grand Cherokee prallt. Der aus der Internet-Crash-Datenbank der Arbeitsgruppe für Unfallmechanik in Zürich, kurz AGU, stammende Versuch macht deutlich, dass die Frontstruktur des Audi den Rahmen des Geländewagens schlichtweg unterfährt und es zu tiefgehenden Deformationen an der Limousine kommt.



Bild 2 (Quelle: www.agu.ch)

Neben der Widerstandskraft der Fahrgastzelle, die einen wesentlichen Aspekt des Selbstschutzes darstellt, beeinflusst ein weiterer Faktor die Kompatibilität, nämlich die strukturelle Wechselwirkung. Sie ist ein abstraktes Maß des Wirkungsgrades, mit dem die Strukturen eines Fahrzeuges bei einer Kollision deformiert werden.

III. Struktursteifigkeit

Vergleicht man den Deformationsumfang bei Pkw, lässt sich besonders seit Beginn der 90er Jahre feststellen, dass mit der Zeit die Steifigkeit der Fahrzeuge zugenommen hat. Davon profitieren natürlich die Insassen, weil von neueren Pkw ein reduziertes Verletzungsrisiko ausgeht.

Hinsichtlich der Steifigkeit wird zwischen „harten“ und „weichen“ Fahrzeugen unterschieden, wobei eine harte Pkw-Struktur geringere Deformationen zulässt und damit weniger Energie aufnimmt. Das wiederum führt dazu, dass der EES-Wert schlecht abzuschätzen ist.

Allgemein gelten folgende **Richtlinien** für das Einstufen der Steifigkeit:

- Die Front ist i.d.R. steifer als das Heck.
- Das Heck von Kompaktfahrzeugen, Kombis und Vans ist härter als bei Limousinen.
- Konstruktionsabhängig erhöht sich die Hecksteifigkeit durch den Einbau einer Anhängerkupplung.
- Anders als bis Anfang der 90er, ist die Front leichter und kleinerer Fahrzeuge heute sehr steif, um den Überlebensraum zu erhalten. Die Struktur schwererer Pkw hingegen ist inzwischen weicher und damit weniger aggressiv.

Bei der Bewertung der Struktursteifigkeit ist zu beachten, dass die Aufteilung der Deformationsarbeit durch die Federsteifigkeiten beeinflusst wird. Veranschaulicht wird dieser Zusammenhang schematisch in Bild 3 mit einem Kraft-Weg-Diagramm. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Kontaktkraft bzw. das auftretende Kraftniveau für beide Fahrzeuge gleich groß ist – es gilt das Newtonsche Wechselwirkungsgesetz „actio = reactio“.

Steifigkeit der Fahrzeuge
hat zugenommen

Aufteilung der Deformationsarbeit wird durch die Federsteifigkeiten beeinflusst

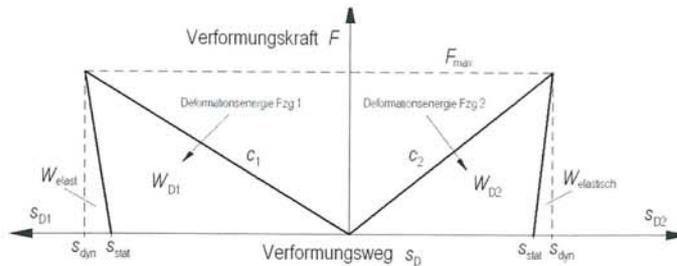


Bild 3: Kraft-Weg-Kennung

Nicht gleich sind jedoch die Federsteifigkeiten c_1 und c_2 , was bei dem weniger steifen Fahrzeug zwangsläufig zu einem längeren Verformungsweg und damit zu einer größeren Deformationsarbeit führt. Letztere steht in quadratischer Abhängigkeit zur EES, sodass mithilfe der Kraft-Weg-Kennung das Verhältnis der EES-Werte der Fahrzeuge als die Wurzel aus dem Verhältnis der Massen und der Deformationswege beschrieben werden kann:

$$\frac{m_1 \cdot EES_1^2}{m_2 \cdot EES_2^2} = \frac{s_{D1}}{s_{D2}} \quad \frac{EES_1}{EES_2} = \sqrt{\frac{m_2 \cdot s_{D1}}{m_1 \cdot s_{D2}}}$$

Es müssen Lichtbilder des weicheren Fahrzeuges vorliegen

Stehen nur Schadenfotos des härteren Fahrzeuges zur Verfügung, muss eine große EES-Bandbreite vorgegeben werden, was wiederum zu einer großen Ergebnistoleranz bei der Berechnung der Relativgeschwindigkeit und der kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung führt. Soll für die Beschreibung der Insassenbelastung eine möglichst kleine Bandbreite der Grenzwerte angegeben werden, müssen also insbesondere Lichtbilder des weicheren Fahrzeuges vorliegen.

Das nachfolgende Beispiel macht die **Problematik** deutlich. Bild 4 zeigt einen Ford Galaxy, der einen heckseitigen Anstoß mit voller Überdeckung erfahren hat. Äußerlich zu erkennen ist ein verkratzter Nationalitäten-Aufkleber, Kontaktsuren in der Lackoberfläche und eine leichte Deformation der Heckklappe. Selbst nach der Demontage der Stoßfängerverkleidung sind keine gravierenden Verformungen zu sehen, wobei der Fall, dass eine Dokumentation des Schadenbildes unterhalb der Kunststoffabdeckungen vorliegt, in der Praxis eher selten vorkommt. Man kann daher oft nur vermuten, dass das Deformationselement unter der sich reversibel – rückbildend – verhaltenden Verkleidung bleibend verformt wurde.



Bild 4: Beschädigungen Ford Galaxy (Quelle: www.agu.ch)

Erkennbare plastische Verformungen spätestens ab einer EES von 10 km/h

Die Belastbarkeit der Stoßfänger aktueller europäischer Pkw ist häufig schon bei einer EES im Bereich von niedriger Schrittgeschwindigkeit ausgeschöpft. Außerdem kann als Anhaltswert davon ausgegangen werden, dass spätestens ab einer EES von 10 km/h erkennbare plastische Verformungen entstehen, die auch ohne Demontage der Verkleidungsteile sichtbar sind.

Erst, wenn auch das Schadensbild des auffahrenden Ford Mondeo (s. Bild 5) vorliegt, erkennt man, dass ein Aufprall mit nicht unerheblicher Geschwindigkeit, nämlich 21 km/h, erfolgt ist. Obwohl es hier nicht zu einer stark unterfahrenden Kollision kam (s. Bild 6), ist die Front des offensichtlich weicheren Mondeo sowohl im Bereich der hinter der Stoßfängerverkleidung liegenden Quertraverse als auch oberhalb dieser Struktur

stark deformiert. Laut AGU sind die Schäden mit einer EES von etwa 13,5 km/h zu vergleichen, während für den Galaxy ein Wert von nur etwa 5 km/h ausgewiesen wird. Die Geschwindigkeitsänderung des gestoßenen Van betrug aber immerhin knapp 10 km/h, was allein auf Basis der Schäden an dem Galaxy nicht ersichtlich ist.

Bei diesem Fahrzeug stand die Widerstandskraft der Fahrgastzelle sicherlich im Vordergrund, was dazu führt, dass der Partnerschutz vernachlässigt wird – allerdings zum Schutz der Insassen!

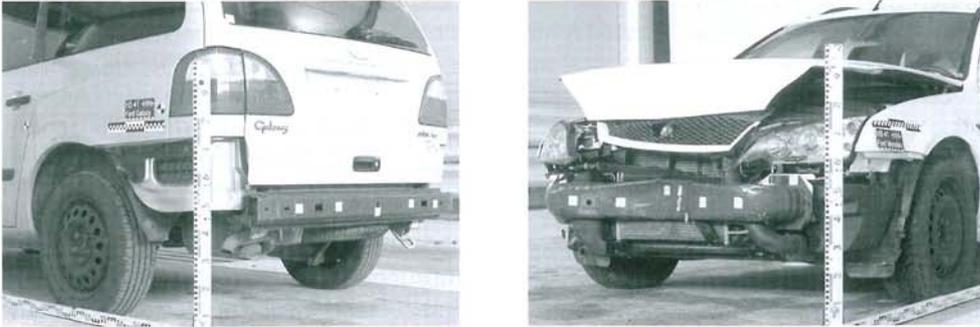


Bild 5: Beschädigungen Ford Mondeo (Quelle: www.agu.ch)



Bild 6: Versuchsablauf (Quelle: www.agu.ch)

IV. Fazit

Ein Hauptfaktor der Kompatibilität bei der Kollision von Pkw ist die strukturelle Wechselwirkung, die von der Steifigkeit der Fahrzeuge beeinflusst wird. Eine harte Struktur lässt nur geringe Deformationen zu und nimmt daher weniger Energie auf. Das führt dazu, dass der EES-Wert schlecht abzuschätzen ist.

Soll für die Beschreibung der Insassenbelastung die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung möglichst eng eingegrenzt werden, müssen Lichtbilder des weicherer Fahrzeuges vorliegen. Stehen nur Schadenfotos des härteren Fahrzeuges zur Verfügung, muss man eine große EES-Bandbreite vorgeben.

VRR-Buchreport

Rechtsanwaltsvergütungsgesetz

Begründet von Dr. Wilhelm Gerold, fortgeführt von Dr. Herbert Schmidt, bearbeitet von Kurt von Eicken (bis zur 17. Aufl.), Madert, Müller-Rabe, Mayer, Burhoff, 18. Aufl. 2008, 1781 S., 98 €, Verlag C.H. Beck

Der bewährte Standardkommentar zum RVG liegt nunmehr in der 3. Aufl. zum RVG vor und berücksichtigt Rechtsprechung und Schrifttum bis zum 1.4.2008. In der Neuauflage sind alle Änderungen infolge des neuen

Rechtsdienstleistungsgesetzes (RDG), das zum Jahresende 2007 das RBerG abgelöst hat, sowie die Änderungen infolge der Reform des WEG und des 2. Justizmodernisierungsgesetzes berücksichtigt. Das gegenüber den Voraufgaben vergrößerte Seitenformat erhöht insbesondere aufgrund der hiermit verbundenen Verringerung der Seitenzahlen von 2.032 Seiten auf 1.781 Seiten die Übersichtlichkeit des Werks, sodass es besser zu handhaben ist.

Für den in Verkehrssachen tätigen Rechtsanwalt ist die Erörterung von diesen Tätigkeitsbereich betreffenden ver-