

Kann man aus der Beschädigungsschwere von Fahrzeugen bei Abgleitkollisionen auf ihre kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung Δv schließen?

Von Manfred Becke*

Jeder Betrachter beschädigter Fahrzeuge ist geneigt, dem stärker beschädigten Fahrzeug auch eine höhere Belastung beziehungsweise kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung Δv zuzuordnen. Dies entspricht dem normalen Erfahrungsschatz. Dass dieses nicht immer so ist, wird hier gezeigt.

1 Einführung

Es ist möglich, diese Frage sowohl theoretisch als auch anschaulich durch Versuche zu beantworten. Am übersichtlichsten sind die Verhältnisse bei einer Abgleitkollision eines Pkws an einem feststehenden Hindernis.

Man kann sehr einfach eine Energiebilanz aufstellen, Gl. (1). Für die kinetische Energie setzt man Gl. (2) und Gl.(3) ein und für die Deformationsenergie Gl. (4). Nach Herauskürzen der Massen führt dies schließlich zu dem Zusammenhang in Gl. (5).

Die Geschwindigkeiten des feststehenden Hindernisses vor und nach der Kollision sowie die Energieaufnahme der Barriere sind zu null zu setzen, wodurch sich sehr einfache Zusammenhänge ergeben.

Mithilfe der binomischen Formel lässt sich die Gleichung so umschreiben, dass schließlich nach dem Ausdruck $v - v'$ aufgelöst werden kann. Es handelt sich dabei um Δv . Schließlich ergibt sich die Gl. (6).

Bei genauer Betrachtung dieser Zusammenhänge erkennt man, dass die kollisionsbedingte Geschwindigkeits-

änderung Δv bei gleich bleibender Beschädigung, das heißt gleich bleibendem EES-Wert kleiner wird, je höher das Geschwindigkeitsniveau vor und nach der Kollision ist. Setzt man den EES-Wert konstant voraus, so wird Δv umso kleiner, je größer die Stoßausgangsgeschwindigkeit v' wird. Dieses bedeutet, je höher die Geschwindigkeit des Pkw noch nach dem Barrierenaufprall ist, desto kleiner ist die Geschwindigkeitsänderung bei gleichem EES-Wert und gleicher Kollisionsgeschwindigkeit.

Theoretisch hat man mit dieser Gleichung schon die Titelfrage beantwortet. Durch den Beschädigungsumfang des Pkws kann man nicht auf den Δv -Wert rückschließen.

Um die Art des Stoßes (plastisch, teil-elastisch oder streifend) zu charakteri-

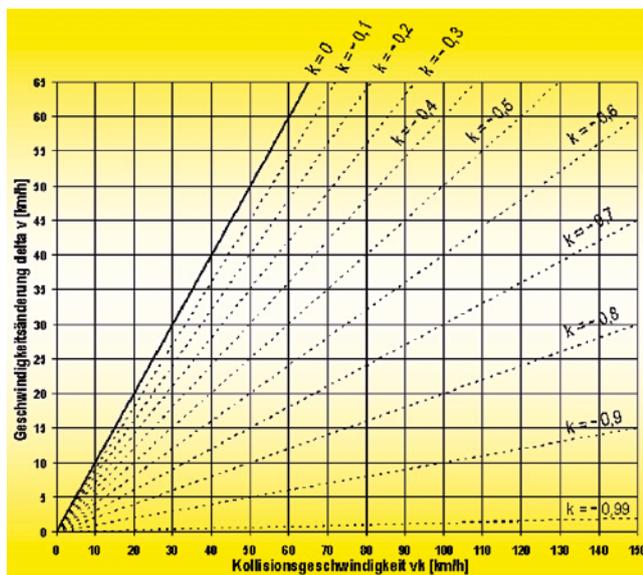


BILD 1: Delta v in Abhängigkeit der Kollisionsgeschwindigkeit
FIGURE 1: Delta v as a function of the collision velocity

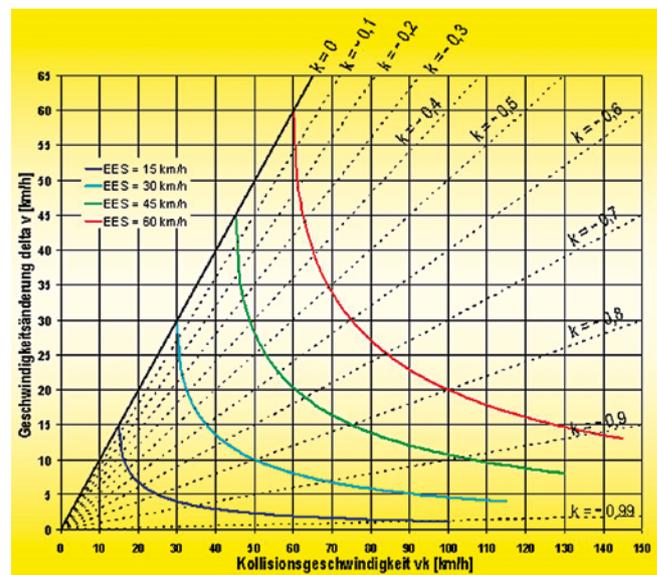


BILD 2: Delta v in Abhängigkeit der Kollisionsgeschwindigkeit für verschiedene EES-Werte
FIGURE 2: Delta v as a function of the collision velocity for different EES values

Gleichungen:

$$E_{kin} = E'_{kin} + E_{Def} \quad \text{Gl. (1)}$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 \quad \text{Gl. (2)}$$

$$E'_{kin} = \frac{1}{2} m v'^2 \quad \text{Gl. (3)}$$

$$E_{Def} = \frac{1}{2} m EES^2 \quad \text{Gl. (4)}$$

$$v^2 - v'^2 = EES^2 \quad \text{Gl. (5)}$$

$$\Delta v = \frac{EES^2}{v + v'} \quad \text{Gl. (6)}$$

$$k = \frac{v'_{Barriere} - v'_{Fahrzeug}}{v_{Fahrzeug} - v_{Barriere}} \quad \text{Gl. (7)}$$

$$k = \frac{-v'_{Fahrzeug}}{v_{Fahrzeug}} \quad \text{Gl. (8)}$$

$$\Delta v = v(k + 1) \quad \text{Gl. (9)}$$

$$\Delta v = v - \sqrt{v^2 - EES^2} \quad \text{Gl. (10)}$$

sieren, wird der sogenannte k-Faktor eingeführt. Für die eindimensionale Kollision lässt sich der k-Faktor in Gl. (7) zusammenfassen.

Für eine starre, unbewegliche Barriere fallen die Geschwindigkeiten der Barriere heraus. Für diese Betrachtung ist der k-Faktor dann nach Gl. (8) definiert.

2 Beispiele

An einem Beispiel sei dieser Zusammenhang näher erläutert. Geht man davon aus, dass der Pkw eine Kollisionsgeschwindigkeit $v_{Fahrzeug} = „1“$ aufweist und nach der Kollision noch eine Stoßausgangsgeschwindigkeit $v'_{Fahrzeug} = „0,7“$, so ergibt sich der k-Faktor zu $k = \frac{-0,7}{1} = -0,7$.

Durch die Verknüpfung der bisher genannten Gleichungen lässt sich ein Ausdruck finden, bei dem v in Abhängigkeit von Δv und dem k-Faktor ausgedrückt ist. Es ist die Gl. (9).

In **BILD 1** sind diese Zusammenhänge in einem Diagramm aufgetragen.

Schließlich kann noch der Ausdruck Δv in Abhängigkeit von v und dem

EES-Wert dargestellt werden, Gl. (10).

Für verschiedene EES-Werte (15 km/h, 30 km/h, 45 km/h und 60 km/h) wurde die Abhängigkeit zwischen der Geschwindigkeitsänderung Δv und der Kollisionsgeschwindigkeit in **BILD 2** dargestellt.

Für einen vollplastischen Stoß ($k = 0$) entspricht der EES-Wert von 60 km/h gerade der Geschwindigkeitsänderung Δv . Dieses Beispiel ist in **BILD 3** eingetragen. Ebenfalls ist hier ein Beispiel für $EES = 30$ km/h und $k = 0$ wiedergegeben.

Geht man nunmehr zu einer streifenden Kollision über, das heißt einem negativen k-Faktor, so lässt sich eine immer kleiner werdende Geschwindigkeitsänderung Δv dem **BILD 4** entnehmen, je weiter sich der k-Faktor dem Wert -1 nähert. Für den gleichen EES-Wert von 60 km/h ergibt sich für $k = 0$ ein Δv -Wert von 60 km/h, für $k = -0,1$ etwa 54 km/h, für $k = -0,2$ etwa 48 km/h und für einen k-Faktor von -0,8 rund 20 km/h. Dieses Diagramm stellt die Zusammenfassung der theoretischen Betrachtung dar, inwieweit es möglich ist, anhand des Schadenbildes eines Fahrzeugs auf

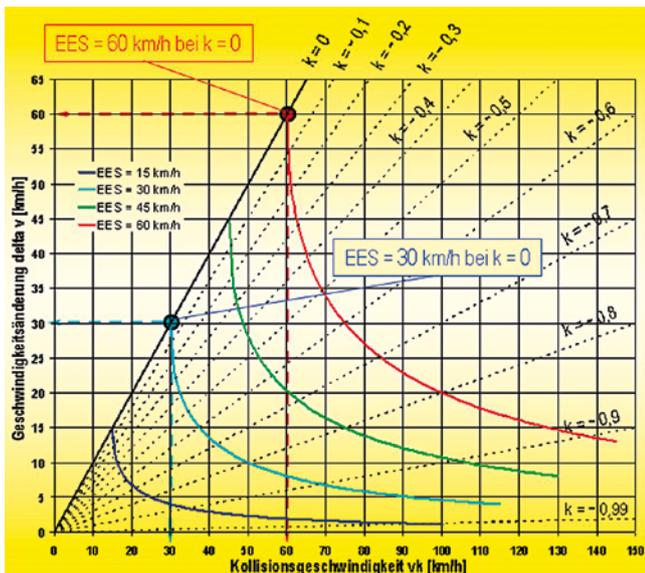


BILD 3: Delta v in Abhängigkeit der Kollisionsgeschwindigkeit für verschiedene EES-Werte (Beispiel I)

FIGURE 3: Delta v as a function of the collision velocity for different EES values (Example I)

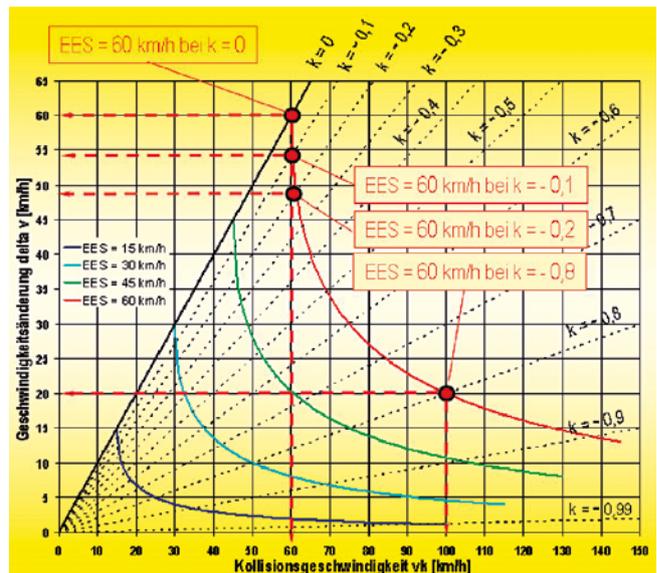


BILD 4: Delta v in Abhängigkeit der Kollisionsgeschwindigkeit für verschiedene EES-Werte (Beispiel II)

FIGURE 4: Delta v as a function of the collision velocity for different EES values (Example II)

den Δv -Wert rück zu schließen. Man erkennt deutlich, dass die Frage, wie stark streifend die Kollision ablief, die Größe des Δv -Wertes maßgeblich beeinflusst, auch wenn der EES-Wert gleich ist.

3 Versuche

Auch anhand von Versuchen kann der theoretisch gewonnene Zusammenhang verdeutlicht werden. Zu diesem Zweck werden drei Versuche vorgestellt, bei denen jeweils ein Ford Escort mit sehr geringer Überdeckung gegen ein 10-t-Hindernis prallte, das auf der Ecke ein rundes Rohr aufwies. Es muss klargestellt werden, dass derartige Kollisionen keineswegs eindimensional ablaufen. Die Kollisionsgeschwindigkeiten betragen 40 km/h, 63 km/h und 77 km/h. Beim ersten Versuch mit 40 km/h wurde eine Geschwindigkeit nach der Kollision mit 16 km/h ermittelt. Die Auslaufbewegung war in erster Linie durch eine starke Rotation gegen den Uhrzeigersinn geprägt. Die dabei entstandenen Fahrzeugschäden ergeben sich aus **BILD 5**. Der zuzuordnende EES-Wert wurde aus der Energiebilanz unter Berücksichtigung des geringfügig bewegten Hindernisses zu etwa 37 km/h ermittelt.

Bei höherer Geschwindigkeit von 63 km/h ergab sich eine erheblich größere Stoßausgangsgeschwindigkeit von 38 km/h bei gleichzeitig höherem EES-Wert von 48 km/h. Die Schäden vom Versuch 2 zeigt **BILD 6**. Schon optisch ist hier eine erheblich größere Deformation und damit Energieaufnahme gegenüber dem Versuch 1 nachzuvollziehen.

Schließlich wurde ein dritter Versuch mit noch höherer Geschwindigkeit von 77 km/h durchgeführt. Hierbei lag die Stoßausgangsgeschwindigkeit bei 60 km/h. **BILD 7** zeigt, dass sich das Schadenbild mit dem Schadenbild aus dem zweiten Versuch praktisch gleich. Der EES-Wert wurde in nahezu gleicher Höhe festgestellt.



BILD 5: Schäden nach dem 1. Crashversuch, $v_k = 40$ km/h, EES = 37 km/h

FIGURE 5: Damage after the first crash test, $v_k = 40$ km/h, EES = 37 km/h



BILD 6: Schäden nach dem 2. Crashversuch, $v_k = 63$ km/h, EES = 48 km/h

FIGURE 6: Damage after the second crash test, $v_k = 63$ km/h, EES = 48 km/h

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zusammengefasst ergaben sich aus den Versuchen die Geschwindigkeiten vor und nach der Kollision sowie EES-Werte und Δv -Werte für alle drei Versuche gemäß BILD 8. Wird gleichzeitig der EES-Wert und auch der v -Wert explizit angegeben, wird im Versuch bestätigt, was schon in der Theorie erarbeitet wurde. Bei diesen drei Versuchen trat der höchste Δv -Wert gerade beim Versuch 1 auf, bei dem der kleinste EES-Wert erreicht wurde, das heißt die kleinste Deformation. Bei den beiden nächsten Versuchen ist der Zusammenhang noch deutlicher. Bei praktisch gleicher Deformation der Fahrzeuge (EES-Wert 48 km/h und EES-Wert 47 km/h) resultieren dennoch unterschiedliche Δv -Werte; im zweiten Versuch ein Δv -Wert von 25 km/h und im dritten Versuch ein Δv -Wert von 17 km/h.

Keht man zurück zu den theoretischen Betrachtungen, so war aus Gl. (6) hervorgegangen, dass bei gleichem EES-Wert der Δv -Wert mit größer werdendem Geschwindigkeitsniveau, insbesondere auch größer werdender Stoßausgangsgeschwindigkeit kleiner wird, was somit auch die Versuche bestätigen.

Es folgt somit: Sowohl die Theorie als auch die Versuchsergebnisse zeigen, dass man anhand der Beschädigungsschwere bei Abgleitkollisionen nicht auf die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung Δv schließen kann, wenn man nicht zusätzliche Anknüpfungstatsachen hat, mit denen das Geschwindigkeitsniveau vor beziehungsweise nach der Kollision bestimmt werden kann.



BILD 7: Schäden nach dem 3. Crashversuch, $v_k = 77$ km/h, EES = 47 km/h
 FIGURE 7: Damage after the third crash test, $v_k = 77$ km/h, EES = 47 km/h

1. $v_k = 40$ km/h $v' = 10$ km/h	2. $v_k = 63$ km/h $v' = 38$ km/h	3. $v_k = 77$ km/h $v' = 60$ km/h
		
EES = 37 km/h $\Delta v = 30$ km/h	EES = 48 km/h $\Delta v = 25$ km/h	EES = 47 km/h $\Delta v = 17$ km/h

BILD 8: Vergleich der Schadenintensitäten
 FIGURE 8: Comparison of the damage intensities

*** Autor**

Dipl.-Ing. Manfred Becke ist Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und Kraftfahrzeugtechnik im eigenen Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke in Münster. ::

Can the level of damage to vehicles during sliding collisions be used to determine their collision-related change in velocity Δv ?

Every observer of damaged vehicles tends to assign a higher load and a higher collision-related change in velocity Δv to the vehicle with a higher level of damage. This corresponds to normal experience. Engineering consultants Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke examined whether this is always the case or whether other conditions apply in sliding collisions.