

Wolfram Kalthoff*, Karl-Heinz Schimmelpfennig**

Verzögerungs-Substitutions-Methode (VSM)

Eine Methode zur Bestimmung

der Kollisionsgeschwindigkeit

bei Frontalkollisionen

Zusammenfassung

In der Verkehrsunfallrekonstruktion kommt der Ermittlung der möglichen Fahrzeugverzögerungen im Ein- und Auslauf einer Kollision fundamentale Bedeutung zu. Diese Verzögerungen müssen bei konventionellen Verfahren anhand von Vergleichsmessungen abgeschätzt werden. Die mit den möglicherweise unsicheren Verzögerungswerten berechneten Kollisionsgeschwindigkeiten bilden die Basis für weitere Analysen wie z.B. Vermeidbarkeitsbetrachtungen. Mit der Verzögerungs-Substitutions-Methode wird ein Verfahren vorgestellt, mit dessen Hilfe bei vollplastischen Frontalkollisionen, denen ein Schleudervorgang eines unfallbeteiligten Fahrzeuges vorausgeht, die Kollisionsgeschwindigkeiten ohne Kenntnis der möglichen Verzögerungen ermittelt werden können. Die Verzögerungen werden erst nachfolgend berechnet und dienen somit zur Überprüfung der Plausibilität der Ergebnisse.

Summary

For the reconstruction of accidents the determination of acceleration of the vehicles before and after an impact is essential. In conventional procedures this acceleration must be found by empirical measuring. The calculated impact velocities of the vehicles which are based on the accelerations are fundamental for further analysis e.g. reflection of avoidance. By the Acceleration-Substitution-Method it is possible to calculate the velocities of the vehicles without knowing the real acceleration in frontal impacts with skidding of one vehicle before the collision. The calculation of the acceleration can be done after the velocities are determined and therefore the acceleration can be used to test the plausibility of the results.

1 Einleitung

In der Verkehrsunfallrekonstruktion ist die Bestimmung der Kollisionsgeschwindigkeiten unfallbeteiligter Fahrzeuge von fundamentaler Bedeutung. Hierzu werden im allgemeinen der Impulssatz, der Energie-Erhaltungssatz und der Drallsatz sowie daraus abgeleitete Verfahren wie z.B. das Energie-Ring-Verfahren [1] oder das Band-Schnitt-Verfahren [2] eingesetzt. Eine wesentliche Einflußgröße ist dabei die im Ein- bzw. Auslauf einer Kollision anzusetzende Fahrzeugverzögerung. Diese ist idealerweise am Unfallort im Rahmen einer Unfallaufnahme gemessen worden. In den meisten Fällen liegen jedoch solche Messungen nicht vor. Daher ist man hier auf Vergleichsmessungen und Versuche angewiesen [3]. Insbesondere bei ungewöhnlichen Straßenverhältnissen wie z.B. Schnee und Eis, Rollspilt oder Verschmutzungen durch landwirtschaftliche Fahrzeuge sind empirisch ermittelte Haftreibungswerte nur eingeschränkt vorhanden bzw. nur bedingt anwendbar. Aus diesem Grunde ist die Angabe eines Verzögerungswertes bei nicht alltäglichen Fahrbahnbeschaffenheiten oft mit erheblichen Toleranzen behaftet. Da jedoch die berechneten Kollisionsgeschwindigkeiten sowie die Fahrzeugbewegungen vor der Kollision und somit auch die Vermeidbarkeitsbetrachtungen unmittelbar von den angesetzten Verzögerungen im Ein- und Auslauf einer Kollision abhängen, sind diese Verzögerungen im Hinblick auf das Rekonstruktionsergebnis maßgeblich.

2 Verzögerungs-Substitutions-Methode

Im folgenden soll eine Methode vorgestellt werden, mit deren Hilfe die bei konventionellen Verfahren vor Rechenbeginn durchzuführende Abschätzung des vorliegenden Verzögerungsniveaus im Ein- und Auslauf

*Dipl.-Ing. Wolfram Kalthoff

**Dipl.-Ing. Karl-Heinz Schimmelpfennig, Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und für Unfälle mit mechanisch technischem Gerät, IHK Münster
c/o Ing.-Büro Schimmelpfennig + Becke, Münsterstraße 101,
48155 Münster-Wolbeck

der Fahrzeuge einer Kollision entfällt. Der Verzögerungswert wird vielmehr berechnet und kann somit zur Plausibilitätsprüfung des Rechenergebnisses herangezogen werden.

2.1 Falldarstellung

Der hier vorgestellten Methode liegt ein wie in **Bild 1 a** bzw. **1 b** skizziertes Unfallszenario zugrunde. Dabei handelt es sich um einen Gegenverkehrsunfall, bei dem die beteiligten Fahrzeuge aufgrund der bei diesem Kollisionstyp oftmals hohen Relativgeschwindigkeit voll plastisch miteinander kollidieren. Wegen der entgegengesetzten Impulse kann hier von einem eindimensionalen Stoßvorgang ausgegangen werden. Die Haftreibungswerte und somit das mögliche Verzögerungsniveau sind im gesamten Ein- und Auslaufbereich der Fahrzeuge annähernd konstant. Des weiteren führt das Fahrzeug 2 (s. **Bild 1 a** bzw. **1 b**) vor dem Anstoß eine Schleuderbewegung mit bekanntem Radius durch. Durch diese Driftbewegung wird das ansonsten ungebremste Fahrzeug verzögert. Die Auslaufwege der Fahrzeuge sind bekannt, wobei die Richtung des Auslaufweges (in ursprünglicher Fahrtrichtung des Fahrzeuges 1: **Fall A**; in ursprünglicher Fahrtrichtung des Fahrzeuges 2: **Fall B**) zu beachten ist. Diese Richtung ist von dem Verhältnis der Fahrzeugmassen und deren Kollisionsgeschwindigkeiten abhängig. Haben beide Fahrzeuge die gleiche Masse und gleiche Kollisionsgeschwindigkeit, so verbleiben sie unter Berücksichtigung eines vollplastischen Stoßes am Kollisionsort. Der Auslaufweg ist dann jeweils null.

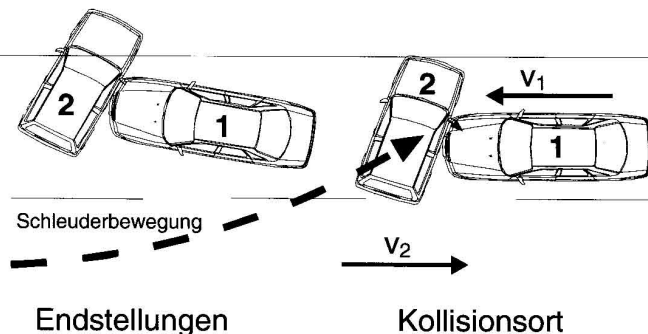


Bild 1 a Unfallszenario mit Auslauf in ursprünglicher Fahrtrichtung Fahrzeug 1 (Fall A)
Fig. 1 a Situation of accident with runout in original direction of vehicle 1 (case A)

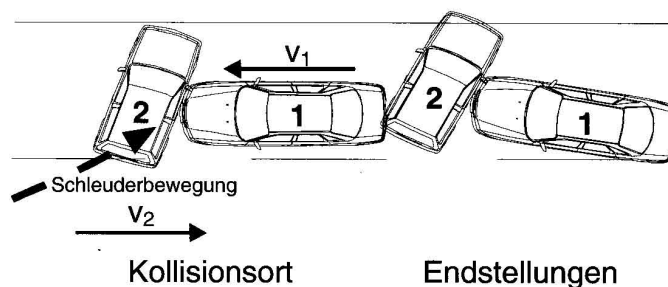


Bild 1 b Unfallszenario mit Auslauf in ursprünglicher Fahrtrichtung Fahrzeug 2 (Fall B)
Fig. 1 b Situation of accident with runout in original direction of vehicle 2 (case B)

2.2 Kollisionsanalyse

Zur Berechnung der Kollisionsgeschwindigkeiten der unfallbeteiligten Fahrzeuge (v_1 bzw. v_2) ist zunächst die Relativgeschwindigkeit der Fahrzeuge zu bestimmen. Dies erfolgt mit Hilfe des Energie-Erhaltungssatzes der Mechanik unter Berücksichtigung der Fahrzeugbeschädigungen und der Fahrzeugmassen (m_1 bzw. m_2). Die von den Fahrzeugen aufgenommene Deformationsenergien können durch energie-äquivalente Ge-

geschwindigkeiten ($EES_{1 \text{ bzw. } 2}$) beschrieben werden. Die Relativgeschwindigkeit der Fahrzeuge zu Kollisionsbeginn (v_{rel}) ergibt sich somit zu:

$$v_{\text{rel}} = \sqrt{\frac{m_1 \cdot EES_1^2 + m_2 \cdot EES_2^2}{m^*}} \quad (1)$$

$$\text{mit } m^* = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \quad (2)$$

Aus dem Impulssatz der Mechanik ist eine Gleichung herzuleiten, mit der sich die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeuges 2 anhand der Fahrzeugmassen und der Relativgeschwindigkeit berechnen läßt. Im Falle einer vollplastischen Gegenverkehrskollision stellt sich der Impulssatz in Abhängigkeit der Stoßausgangsgeschwindigkeit der beiden Fahrzeuge ($v'_1 = v'_2 = v'$) wie folgt dar:

$$\text{Fall A: } m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v' \quad (3a)$$

$$\text{Fall B: } m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2 = -(m_1 + m_2) \cdot v' \quad (3b)$$

Des weiteren gilt für die Relativgeschwindigkeit der Fahrzeuge beim Gegenverkehrsfall:

$$v_{\text{rel}} = v_1 + v_2 \Leftrightarrow v_1 = v_{\text{rel}} - v_2 \quad (4)$$

Setzt man Gl. (4) in Gl. (3 a) bzw. (3 b) ein, so ergibt sich:

$$\text{Fall A: } m_1 \cdot (v_{\text{rel}} - v_2) - m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v' \quad (5a)$$

$$\text{Fall B: } m_1 \cdot (v_{\text{rel}} - v_2) - m_2 \cdot v_2 = -(m_1 + m_2) \cdot v' \quad (5b)$$

Gl. (5 a) bzw. (5 b) läßt sich umformen zu:

$$\text{Fall A: } \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_{\text{rel}} = v' + v_2 \quad (6a)$$

$$\text{Fall B: } \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_{\text{rel}} = -v' + v_2 \quad (6b)$$

Gl. (6 a) bzw. (6 b) entspricht dem Betrag der kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeuges 2 (Δv_2), so daß man Gl. (7) formulieren kann:

$$\text{Fall A und B: } \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_{\text{rel}} = |\Delta v_2| \quad (7)$$

Mit Gl. 7 kann nun basierend auf den Fahrzeugmassen und den Beschädigungen (s. Gl. (1)) die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeuges 2 bestimmt werden, welche dann im Rahmen der nachfolgenden Überlegungen als bekannt vorausgesetzt werden kann.

2.3 Auslaufanalyse

Neben der Analyse des eigentlichen Stoßvorganges können auch die Ein- und Auslaufbewegungen der unfallbeteiligten Fahrzeuge zur Bestimmung der Kollisionsgeschwindigkeiten herangezogen werden. Generell gilt folgender Zusammenhang:

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s} \quad (8)$$

Anhand von Gl. (8) läßt sich allgemein die Geschwindigkeit bestimmen, die ein Fahrzeug innehatte, bevor es über eine Wegstrecke (s) mit einer Verzögerung (a) zum Stillstand abgebremst wurde.

Die Verzögerung (a) wird in der Regel als Produkt des Reibungskoeffizienten mit der Erdbeschleunigung definiert:

$$a = \mu \cdot g \quad (9)$$

Den nachfolgenden Überlegungen wird ebenfalls diese allgemeine Verzögerung (a) zugrunde gelegt, welche überall im Bereich der betrachteten Unfallstelle gilt und von einem ideal vollbremsenden Fahr-

zeug ohne jegliche Schräglaufwinkel oder jegliche Driftbewegung maximal erreicht werden kann.

Die oben genannte Verzögerung (a) gilt demnach auch im Auslauf der Fahrzeuge. Die allgemein gültige Gl. (8) kann daher für den Auslauf wie folgt formuliert werden:

$$v' = \sqrt{2 \cdot a \cdot s_A} \quad (10)$$

In diese Gleichung muß dann entsprechend der Auslaufweg (s_A) des jeweils betrachteten Fahrzeuges ($s_A = s_{A1}$ bzw. $s_A = s_{A2}$) eingesetzt werden. Mit Gl. (10) läßt sich somit die Ausgangsgeschwindigkeit eines der unfallbeteiligten Fahrzeuge beschreiben. Aufgrund der vollplastischen Kollision ist die Stoßausgangsgeschwindigkeit beider Fahrzeuge identisch. Folglich kann sie alternativ entweder durch den Auslaufweg des Fahrzeuges 1 oder auch des Fahrzeuges 2 ermittelt werden.

Ausschlaggebend für die Betrachtung des Auslaufweges des Fahrzeuges 1 oder 2 sind die Bremszustände dieser Fahrzeuge. Ein Fahrzeug, das im Auslauf ungebremst ist und lediglich ausrollt, ist zur Beurteilung der möglichen Verzögerung wenig hilfreich. Nachfolgend soll daher der Auslaufweg und die Verzögerung desjenigen Fahrzeuges betrachtet werden, welches tatsächlich eine Bremsung vollzieht. Diese kann sowohl durch eine aktive Vollbremsung des Fahrzeugführers als auch durch eine Verzögerung infolge eines deutlichen Schwimmwinkels, der aus einem Schleudervorgang resultiert, erfolgen. Ferner muß unter Umständen berücksichtigt werden, daß das bremsende Fahrzeug durch das zweite Fahrzeug (ungebremst) im Auslauf zusätzlich »geschoben« wird. Durch die dynamische Massenkraft des »schiebenden« Fahrzeuges nimmt die vom bremsenden Fahrzeug erreichbare Verzögerung ab. Zur Anpassung an die oben beschriebenen Randbedingungen empfiehlt es sich an dieser Stelle, einen Korrekturfaktor γ in Gl. (10) einzufügen, welcher derartig bedingte Abweichungen von der im vorliegenden Fall maximal möglichen Verzögerung (a) berücksichtigt. Das Produkt $\gamma \cdot a$ entspricht somit der Verzögerung a_1 bzw. a_2 des betrachteten Fahrzeuges:

$$v' = \sqrt{2 \cdot \gamma \cdot a \cdot s_A} \quad (11)$$

Ist beispielsweise im Auslauf in **Fall A** (s. **Bild 1 a**) Fahrzeug 1 ungebremst und erzeugt Fahrzeug 2 durch seinen Schräglaufwinkel die Verzögerung des gesamten Fahrzeugverbundes, so muß unter Zugrundelegung des Auslaufweges des Fahrzeuges 2 dessen maximal mögliche Verzögerung zur Berechnung der Stoßausgangsgeschwindigkeit mittels des Korrekturfaktors

$$\gamma = \frac{m_2}{m_1 + m_2}$$

den anteiligen Massen angepaßt werden. Ferner können durch diesen Faktor ebenfalls die unterschiedlich übertragbaren Seiten- und Umfangskräfte am Reifen berücksichtigt werden.

Alternativ ist ebenfalls vorstellbar, daß sich im Auslauf Fahrzeug 2 im **Fall A** (s. **Bild 1 a**) von Fahrzeug 1 trennt, da Fahrzeug 1 vollbremsend zum Stillstand kommt und somit eine höhere Auslaufverzögerung als Fahrzeug 2 hat. In diesem Fall entspräche bei Betrachtung der Auslaufbewegung des Fahrzeuges 1 die anzusetzende Auslaufverzögerung ($\gamma \cdot a$) genau der allgemein vorliegenden, maximal möglichen Verzögerung (a), so daß $\gamma = 1$ wäre.

In Abhängigkeit der Richtung der Auslaufbewegung der beiden Fahrzeuge (**Bild 1 a, Fall A** oder **Bild 1 b, Fall B**) läßt sich die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeuges 2 als Funktion der Stoßausgangsgeschwindigkeit wie folgt beschreiben:

$$\text{Fall A: } \Delta v_2 = v' + v_2 \Leftrightarrow v_2 = \Delta v_2 - v' \quad (12a)$$

$$\text{Fall B: } \Delta v_2 = -v' + v_2 \Leftrightarrow v_2 = \Delta v_2 + v' \quad (12b)$$

Setzt man Gl. (11) in die Gl. (12 a) bzw. (12 b) ein, so ergibt sich:

$$\text{Fall A: } v_2 = \Delta v_2 - \sqrt{2 \cdot \gamma \cdot a \cdot s_A} \quad (13a)$$

$$\text{Fall B: } v_2 = \Delta v_2 + \sqrt{2 \cdot \gamma \cdot a \cdot s_A} \quad (13b)$$

Es läßt sich somit unter Berücksichtigung des Auslaufes der Fahrzeuge eine Gleichung angeben, in welcher die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeuges 2 (v_2) und die Verzögerung (a) unter den oben beschriebenen Umständen unbekannt sind.

2.4 Einlaufanalyse

Neben der Untersuchung des Auslaufes kann zur Bestimmung der Kollisionsgeschwindigkeiten ebenfalls die Bewegung des Fahrzeuges 2 vor der Kollision, also dessen Einlaufbewegung, aufgrund des Schleudervorganges analysiert werden. Bei gegebenen Radius der Schleuderspurs (R) des Fahrzeuges 2 läßt sich mit Hilfe folgender Gleichung die Geschwindigkeit (v_{2Drift}) bei der dabei auftretenden Querbewegung (b) angeben:

$$v_{2Drift}^2 = b \cdot R \quad (14)$$

Um die Querbewegung durch die in Abschn. 2.3 eingeführte, maximal mögliche Verzögerung (a) ausdrücken zu können, ist – wie auch gegebenenfalls im vorherigen Abschnitt – das Verhältnis zwischen möglicher Kraftübertragung in Reifenumfangs- und Reifenseitenrichtung durch einen Faktor (α) zu beschreiben. Damit schreibt sich Gl. (14) wie folgt:

$$v_{2Drift}^2 = \alpha \cdot a \cdot R \quad (15)$$

Die in den Gl. (14) und (15) angegebene Geschwindigkeit des Fahrzeuges 2 (v_{2Drift}) gilt für den Beginn der Driftbewegung. Fahrzeug 2 legt von diesem Punkt noch den Weg s_E bis zum Kollisionsort zurück und wird währenddessen infolge des Schleuderns verzögert. Von Sorgatz [4] wurden Schleudervorgänge in Abhängigkeit der Anfangsgeschwindigkeit untersucht. Dabei veränderten sich die Schwerpunktsverzögerungen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Bei geringeren Geschwindigkeiten traten geringere Kurvenradien und Verzögerungen auf. Basierend auf den gemessenen Werten läßt sich damit für die bei Schleuderbewegungen auftretende Schwerpunktsverzögerung ein Faktor (ϕ) angeben, der den bremsenden Einfluß des Schräglaufwinkels der Räder aufgrund des Schwimmwinkels erfaßt. Legt man einen Vollverzögerungswert von $7,5 \text{ m/s}^2$ zugrunde, so erhält man in Abhängigkeit der Geschwindigkeit die in **Bild 2** angegebenen Driftverzögerungsfaktoren. Daraus folgt, daß z.B. bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 54 km/h die Schwerpunktsverzögerung infolge eines Schleudervorganges 32 % der bei einer Vollbremsung ohne Schwimmwinkel erreichbaren Schwerpunktsverzögerung beträgt.

Ausgangsgeschwindigkeit	Driftverzögerungsfaktor ϕ
54 km/h	0,32
72 km/h	0,56
90 km/h	0,65
108 km/h	0,69

Bild 2 Driftverzögerungsfaktor in Abhängigkeit der Ausgangsgeschwindigkeit
Fig. 2 Deceleration factor dependent on velocity

Die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeuges 2 läßt sich somit anhand der Schleuderbewegung wie folgt beschreiben:

$$v_2 = \sqrt{v_{2Drift}^2 - 2 \cdot \phi \cdot a \cdot s_E} \quad (16)$$

Setzt man Gl. (15) in Gl. (16) ein, so ergibt sich:

$$v_2 = \sqrt{\alpha \cdot a \cdot R - 2 \cdot \phi \cdot a \cdot s_E} \quad (17)$$

Dies läßt sich umformen zu:

$$a = \frac{v_2^2}{\alpha \cdot R - 2 \cdot \phi \cdot s_E} \quad (18)$$

Prinzipiell ist es ebenfalls möglich, die Kollisionsgeschwindigkeit lediglich anhand des Schleuderradius direkt zu bestimmen. Dafür muß jedoch der Schleuderradius im Kollisionsort bekannt sein (entsprechend wird

$s_E = 0$). Mit der dargestellten Möglichkeit ist jedoch ein allgemeiner Weg aufgezeigt, der es ermöglicht, denjenigen Ort der Schleuderbewegung heranzuziehen, an dem der Kurvenradius bekannt ist bzw. am genauesten bestimmt werden kann.

2.5 Kollisionsgeschwindigkeiten

Nach der Analyse des Ein- und Auslaufes der Kollision liegen somit zwei Gleichungen vor, in denen jeweils die Kollisionsgeschwindigkeit

und die Verzögerung unbekannt sind. Setzt man Gl. (18) in Gl. (13 a) bzw. (13 b) ein, so erhält man:

$$\text{Fall A: } v_2 = \Delta v_2 - \sqrt{2 \cdot \gamma \cdot \frac{v_2^2}{\alpha \cdot R - 2 \cdot \varphi \cdot s_E} \cdot s_A} \quad (19a)$$

$$\text{Fall B: } v_2 = \Delta v_2 + \sqrt{2 \cdot \gamma \cdot \frac{v_2^2}{\alpha \cdot R - 2 \cdot \varphi \cdot s_E} \cdot s_A} \quad (19b)$$

Diese Gleichungen lassen sich umformen, so daß sich schließlich die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeuges 2 für Fall A und Fall B unter Berücksichtigung von Gl. (7) berechnen läßt:

$$\text{Fall A: } v_2 = \frac{\Delta v_2}{1 + \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma \cdot s_A}{\alpha \cdot R - 2 \cdot \varphi \cdot s_E}}} \quad (20a)$$

$$\text{Fall B: } v_2 = \frac{\Delta v_2}{1 - \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma \cdot s_A}{\alpha \cdot R - 2 \cdot \varphi \cdot s_E}}} \quad (20b)$$

Zur Überprüfung der Plausibilität des Rechenergebnisses kann nach Gl. (13 a) oder (13 b) bzw. Gl. (18) die an der Unfallstelle vorliegende, maximal mögliche Verzögerung bestimmt werden. Die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeuges 1 läßt sich schließlich bei bekannter Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeuges 2 anhand von Gl. (4) ermitteln. Unter Berücksichtigung eventuell vorhandener weiterer Randbedingungen sind die Kollisionsgeschwindigkeiten mit variierenden Größen, insbesondere den verwendeten Korrekturfaktoren, iterativ zu berechnen.

Formelzeichen

s_A	Auslaufweg	m
$s_{A1,2}$	Auslaufweg des Fahrzeuges 1 bzw. 2	m
s_E	Einlaufweg (Beginn Driftbewegung bis Kollisionsort)	m
$v_{1,2}$	Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeuges 1 bzw. 2	km/h
$v_{2\text{Drift}}$	Geschwindigkeit des Fahrzeuges 2 bei Beginn der Driftbewegung (in Position mit bekanntem Driftradius)	km/h
v'	Stoßausgangsgeschwindigkeit der Fahrzeuge	km/h
$v_{1,2}'$	Stoßausgangsgeschwindigkeit des Fahrzeuges 1 bzw. 2	km/h
v_{rel}	Relativgeschwindigkeit der Fahrzeuge 1 und 2 zu Kollisionsbeginn	km/h
Δv_2	kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeuges 2	km/h
$EES_{1,2}$	energie-äquivalente Geschwindigkeit des Fahrzeuges 1 bzw. 2	km/h
a	Verzögerung, die überall im Bereich der betrachteten Unfallstelle gilt und von einem ideal vollbremsenden Fahrzeug maximal erreicht werden kann	m/s ²
$a_{1,2}$	Verzögerung des Fahrzeuges 1 bzw. 2	m/s ²
b	Quereschleunigung	m/s ²
g	Erdbeschleunigung	m/s ²
$m_{1,2}$	Masse des Fahrzeuges 1 bzw. 2	kg
R	Radius der Driftbewegung des Fahrzeuges 2	m
α	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen möglicher Kraftübertragung in Reifenumfangs- und Reifenseitenrichtung	%
φ	Driftverzögerungsfaktor zur Erfassung der Schwerpunktsverzögerung eines Fahrzeuges infolge einer Schleuderbewegung	[]
γ	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung des Bremszustandes der Fahrzeuge im Auslauf	[]
μ	Reibungskoeffizient	[]

Literaturnachweis

- [1] Schimmelpfennig K.-H., Hebing N.: Das Energie-Ring-Verfahren – Grafische Lösung der Stoßgleichung unter Einbeziehung der Formänderungsenergie, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 9, 1982
- [2] Schimmelpfennig K.-H., Hebing N.: Der eindimensionale nicht plastische Stoß; Erweitertes Band-Schnitt-Verfahren, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 12, 1983
- [3] Schneider H.: Praktische Vergleichsmessung v. Verzögerungen und deren technische Anwendung bei Geschwindigkeits-Rückrechnungen, Zeitschrift Information, Heft 98, 1971
- [4] Sorgatz U., Ammesdörfer F.: Zur Problematik der Fahrdynamik im Grenzbereich, Automobiltechnische Zeitschrift 77, 1975