

K.-H. Schimmelpfennig\*

## Die Analyse von Serien-Auffahrunfällen mit Hilfe des Delta V-Schritt-Verfahrens

### Einleitung

Hohe Verkehrsdichte auf Schnellstraßen führt zu einer Unfallart, dem Serienauffahrunfall, der in der Literatur zur Verkehrsunfallanalyse kaum angesprochen wird. In [1] wird von Marquard ein Ansatz über Federkennungen dargelegt. Diese Vorgehensweise hat sich in der Weiterentwicklung der Kollisionsmechanik nicht durchgesetzt. In [2] werden praktische »Regeln« zur Analyse dargelegt. Inwieweit diese »Regeln« generell anwendbar sind und auf Kollisionen mit vier und mehr beteiligten Fahrzeugen überfragt werden können, wäre zu diskutieren. Die Praxis der Unfallanalyse zeigt, daß die Vielfalt der Möglichkeiten eines Unfallablaufes in der Regel eine Analyse jedes Einzelfalles bis ins Detail bedarf.

Im folgenden soll eine mathematische Analyse von Serien-Auffahrunfällen dargelegt werden, die auf einer Verknüpfung typischer Kenndaten aus der Kollisionsmechanik mit den Eckdaten des jeweiligen Falles beruht.

### Kenngrößen aus der Kollisionsmechanik

Kollidieren zwei Fahrzeuge miteinander, dann stellen sich Fahrzeugbeschädigungen ein. Der Grad der Beschädigung läßt sich durch die Formänderungsenergie beschreiben. Da gerade bei Serien-Auffahrunfällen die Fahrzeuge mit großer Überdeckung kollidieren, erlaubt dies eine klare Erfassung der Formänderungsenergie. Möglich wird die Erfassung des Bereiches der Formänderungsenergie über die Auswertung von Rasterfeldern [3] oder durch Einstufung des jeweiligen Beschädigungsumfanges zu einer energie-äquivalenten Testgeschwindigkeit, bekannt in der Literatur durch EES [4].

Bei Serien-Auffahrunfällen bietet es sich somit an, als erstes den Energie-Erhaltungssatz anzuwenden.

Da gerade bei Serien-Auffahrunfällen die Frage von Mehrfachkollisionen der einzelnen Fahrzeuge wichtig ist und die Kollisionsintensität von schwach bis sehr stark reicht, muß der Einfluß der Karosserie auf die Kollision berücksichtigt werden, siehe **Bild 1**.

Erfolgt eine Verknüpfung zwischen dem Energie-Erhaltungssatz (Gl. 1) mit dem Impuls-Erhaltungssatz (Gl. 2), dann erhält man die Abhängigkeit zwischen der Formänderungsenergie und der Differenzgeschwindigkeit der Fahrzeuge zum Zeitpunkt der Kollision (Gl. 3) für den plastischen Stoß. Da gerade, wie dargelegt, die Elastizität der Karosserie berücksichtigt werden muß, ist im Rahmen der mathematischen Aufbereitung die Newtonsche Stoßhypothese beizuziehen (Gl. 4). Die Gleichung (3) erweitert sich somit in allgemeiner Form, die als Gleichung (5) angeführt wird. Mit der Gleichung (5) steht die erste Kenngröße für die Beurteilung von Se-

\*Dipl.-Ing. (TU) K.-H. Schimmelpfennig, Öff. best. u. vereidigter Sachverständiger für Kfz-Technik und Straßenverkehrsunfälle, Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke, Im Bilskamp 2 F, 4400 Münster-Wolbeck  
Unter Mitarbeit von Dipl.-Ing. Petr Ptáček, Kfz-Sachverständiger, Plzeň, CSSR (Gast im Büro Schimmelpfennig und Becke)

Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke

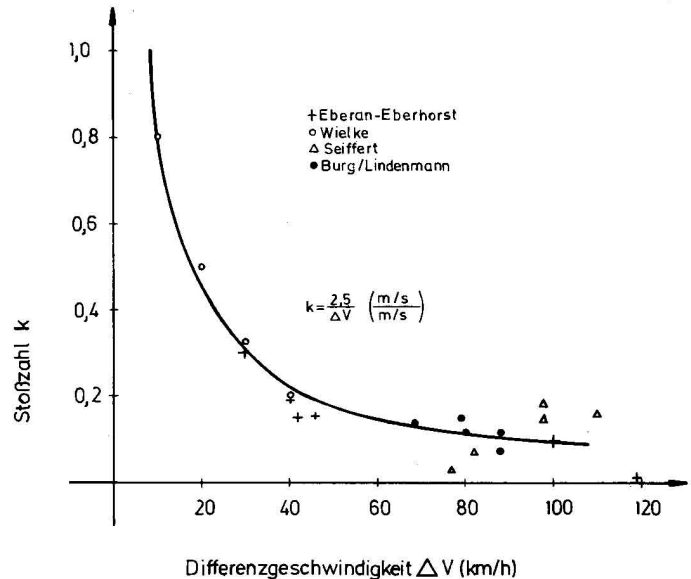


Bild 1 Abhängigkeit der Stoßzahl von der Differenzgeschwindigkeit

rien-Auffahrunfällen durch Kenntnis der jeweiligen Differenzgeschwindigkeiten zur Verfügung. Gleichung (6) ergibt sich aus Gleichung (5) durch Umformung.

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

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2 \quad (2)$$

$$E_{\text{Form}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (v_1 - v_2)^2 \quad (3)$$

$$K = \frac{v'_2 - v'_1}{v_1 - v_2} \quad (4)$$

$$E_{\text{Form}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (1 - k^2) \cdot (v_1 - v_2)^2 \quad (5)$$

$$\Delta v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{Form}} \cdot (m_1 + m_2)}{(1 - k^2) \cdot m_1 \cdot m_2}} \quad (6)$$

Die Schwierigkeit dieser Gleichung liegt darin, daß der Stoßfaktor  $k$  entsprechend dem Bild 1 eine Funktion der Differenzgeschwindigkeit ist. Durch gezielte Wahl der Beschreibung der Abhängigkeit des Stoßfaktors von der Differenzgeschwindigkeit in Form einer Hyperbelgleichung wird in Gleichung (6) der Stoßfaktor eliminiert. Eine Literaturrecherche führt zur Gleichung (7). Wird Gleichung (7) in Gleichung (6) eingeführt, dann liegt eine direkte Abhängigkeit der Formänderungsenergie mit der Differenzgeschwindigkeit vor (Gl. 8). Die relative Masse in Gleichung (8) wird, wie bekannt, entsprechend Gleichung (9) berechnet.

$$K = \frac{A}{\Delta v} ; \text{ für } A < \Delta v ; \text{ mit } A = 2,5 \text{ m/s} \quad (7)$$

$$\Delta v = \sqrt{\frac{m^* \cdot A^2 + 2 E_{\text{Form}}}{m^*}} \quad (8)$$

$$m^* = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \quad (9)$$

Für die Analyse von Serienunfällen ist somit als erster Arbeitsschritt die Formänderungsenergie als Summe von zuzuordnender Front- und Heckpartie zu ermitteln. Mit Gleichung (8) erhält man dann die ersten Kenngrößen für die Rekonstruktion des Unfallsablaufes. Hierbei ist es zunächst gleichgültig, ob zwischen den Fahrzeugen Mehrfachkollisionen erfolgten. Dieser Einfluß ist in weiteren Arbeitsschritten zu klären.

Die Gleichung (8) kann auch für die Analyse von einer einfachen Kollision zwischen nur zwei Fahrzeugen herangezogen werden und ins Band-Schnitt-Verfahren [5], [6] eingefügt werden.

Damit der Serien-Auffahrunfall im Rahmen der Kollisionsmechanik erfaßt werden kann, müssen weitere Kenngrößen gefunden werden. Da bei Serien-Auffahrunfällen Absolutwerte der Geschwindigkeit innerhalb der Kollisionsreihenfolge im Rahmen der ersten Analyse nicht vorliegen, bietet es sich an, weitere Kenngrößen aus der Differenz der Kollisionsgeschwindigkeit und der Stoßausgangsgeschwindigkeit zu suchen.

Wird Gleichung (4) mit Gleichung (7) verknüpft, erhält man Gleichung (10). Die Differenz der Stoßausgangsgeschwindigkeiten der jeweiligen Kollisionspartner ist somit stets eine Konstante.

$$v'_2 - v'_1 = A \quad (10)$$

Die Differenz der Geschwindigkeiten nach der Kollision ist also unabhängig von der Differenzgeschwindigkeit. Durch eine Analyse der in [7, 8] wiedergegebenen Fahrzeug/Fahrzeug-Kollisionen kann die Gleichung (10) bestätigt werden. Dieses Erkenntnis ist auch eine wichtige Hilfe für die Analyse von Einfachkollisionen. In einer getrennten Veröffentlichung soll dieses Thema auch unter Berücksichtigung von exzentrischen Stößen näher dargelegt werden. Aus der Gleichung (10) folgt für die Analyse von Serien-Auffahrunfällen weiterhin, daß es sich stets um getrennte Kollisionen handelt, wenn gleiche Auslaufbedingungen vorliegen.

Die beiden bisher dargelegten Kenngrößen reichen noch nicht aus, um den Serien-Auffahrunfall zu erfassen. Wird in den allgemein bekannten Gleichungen (11) und (12) für den teilelastischen Stoß der Stoßfaktor  $k$  durch die Gleichung (7) ersetzt, erhält man die Differenz zwischen Kollisions- und Stoßausgangsgeschwindigkeit für beide am Unfall beteiligten Fahrzeuge, siehe Gleichung (13) und (14).

$$v'_1 = v_1 - \frac{(1+k)(v_1 - v_2)}{1 + m_1/m_2} \quad (11)$$

$$v'_2 = v_2 + \frac{(1+k)(v_1 - v_2)}{1 + m_2/m_1} \quad (12)$$

$$v_1 - v'_1 = \frac{\Delta v + A}{1 + m_1/m_2} \quad (13)$$

$$v'_2 - v_2 = \frac{\Delta v + A}{1 + m_2/m_1} \quad (14)$$

Es stehen somit vier Kenngrößen, die letztlich nur von der Formänderungsenergie, also den Beschädigungen der Fahrzeuge und den Fahrzeugmassen abhängen, zur Verfügung, siehe Bild 2. Mit

Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke

EUREKO

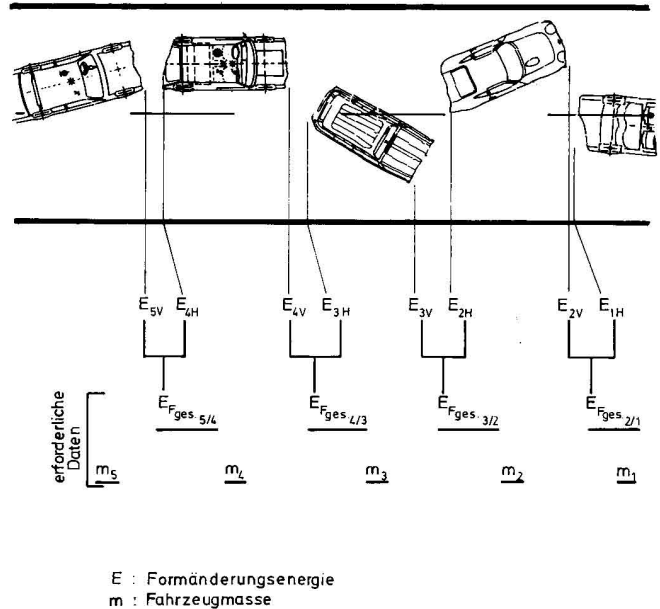


Bild 3 Arbeitsschema

diesen vier Kenngrößen für die einzelne Kollision kann als erstes untersucht werden, ob Mehrfach-Kollisionen vorlagen. Werden die Kenngrößen in einer Systematik entsprechend der Anzahl der bei der Serienkollision beteiligten Fahrzeuge zusammengestellt und eine Differenzbildung zwischen den jeweiligen Stoßausgangsgeschwindigkeiten vorgenommen, dann erhält man eine eindeutige Aussage zum Problem der Mehrfachkollision. Ist die Differenz positiv, dann kann zwischen diesen Fahrzeugen eine Mehrfachkollision vorgelegen haben.

Nimmt die Differenz der Stoßausgangsgeschwindigkeiten einen positiven Wert an, dann muß unter Berücksichtigung dieses Absolutwertes die angegebene Systematik ein zweites Mal unter Berücksichtigung der Mehrfachkollisionen durchlaufen werden. Beim zweiten Durcharbeiten der Systematik erhält man dann die tatsächlichen Kenngrößen unter Berücksichtigung aller vorhandenen Mehrfachkollisionen.

#### Eckdaten vom Unfallgeschehen

Aus der Übermittlung über den Unfallablauf geht z.B. die ursprünglich gefahrene Kolonnengeschwindigkeit oder die Fahrsituation zum Zeitpunkt des ersten Kontaktes des ersten Fahrzeuges hervor. Weiterhin können die Endstellungen und evtl. Spuren auf der Fahrbahn übermittelt worden sein.

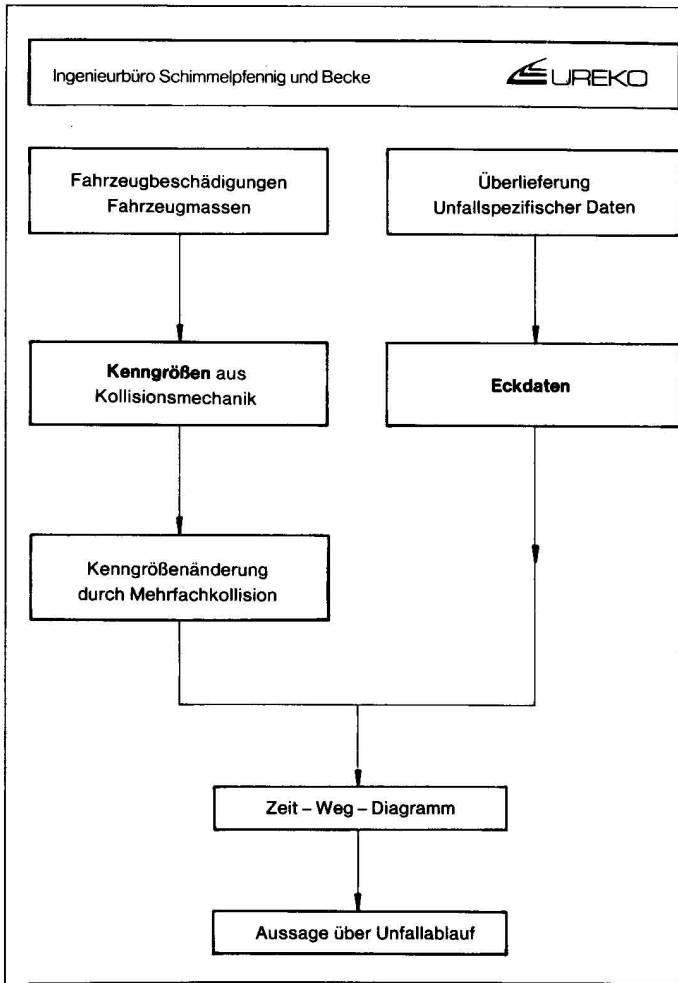


Bild 2 Erforderliche Daten zur Bestimmung der Kenngroßen

Sind die Kenndaten aus der dargelegten Kollisionsmechanik für die Behandlung von Serien-Auffahrunfällen bekannt, dann bedarf

es lediglich der Beziehung von ein oder zwei Eckdaten zum Unfallablauf, um den Serien-Auffahrunfall im Rahmen eines Zeit-Weg-Diagrammes erfassen zu können, siehe Bild 3.

Wird das Zeit-Weg-Diagramm erstellt, dann können auch die vorhandenen Kollisionen und Mehrfachkollisionen in ihrer zeitlichen Reihenfolge dargelegt werden. Als Endergebnis erhält man schließlich aus der zeit-weg-mäßigen Erfassung die Situation, aus der sich im Rahmen der Kolonnenfahrt das Unfallgeschehen ereignet hat. Es lassen sich dann z.B. die gefahrenen Abstände erarbeiten, wie auch Aussagen darüber treffen, ob ein Fahrzeug innerhalb der Kolonne noch rechtzeitig zum Stillstand gekommen wäre, wenn kein weiteres Fahrzeug von hinten aufgefahren wäre. Auch läßt sich aus dieser Darstellung das Reaktionsverhalten der Fahrzeugführer darlegen.

### Zusammenfassung

Durch eine systematische Anwendung der Gesetze der Kollisionsmechanik auf den Serien-Auffahrunfall lassen sich für einen Serien-Auffahrunfall je Fahrzeug/Fahrzeug-Kollision vier typische Kenndaten erarbeiten, die allein vom Beschädigungsgrad der Fahrzeuge und von den Fahrzeugmassen abhängen. Durch eine Analyse dieser Kenngroßen kann als erstes auf das Vorhandensein von Mehrfachkollisionen geschlossen werden. Werden im weiteren Schritt Eckdaten aus der Überlieferung des Unfallgeschehens zugefügt, dann kann im Rahmen einer zeit-weg-mäßigen Aufbereitung der erarbeiteten Kenngroßen ein klares Bild über den Ablauf des Serien-Auffahrunfalles dargelegt werden.

### Literatur:

- [1] Marquard, E., Mechanik des Zusammenstoßes von Fahrzeugen, ATZ 64 (1962), Nr. 5
- [2] Wilke, B., Der Serienauffahrunfall, Verkehrsunfall 1984, Nr. 1
- [3] Schaper, D., Ist die Fahrzeugdeformation ..., Verkehrsunfall 1979, Nr. 7/8
- [4] Zeidler, F., Die Analyse von Straßenverkehrsunfällen ..., Diss. Tu Berlin, 1982, erschienen im Verlag Information, Kippenheim
- [5] Schimmelpfennig, K.-H., Kollisionsgeschwindigkeitsberechnung ..., Verkehrsunfall 1982, Nr. 11
- [6] Schimmelpfennig, K.-H., Hebing, N., Der eindimensionale nicht plastische Stoß, Verkehrsunfall 1983, Nr. 12
- [7] Burg, H., Lindemann, M., Unfallversuche, Verlag Information, Kippenheim, 1982
- [8] Seiffert, U., Probleme der Automobilsicherheit, Diss. TU Berlin, 1974