

Karl-Heinz Schimmelpfennig\*; Klaus Schmedding\*\*

## Tangentialkomponentenverfahren

Erweiterte Fassung eines Vortrages anlässlich der Veranstaltung »Der Zweiradunfall«, im Büro Schimmelpfennig + Becke am 10.06.1989

### Zusammenfassung

Bei Unfallgeschehen mit Fahrzeugen stark unterschiedlicher Massen versagen die üblichen Rekonstruktionsverfahren, da Impuls- und Energieberechnungen insbesondere für das schwere Fahrzeug mit großen Fehlertoleranzen behaftet sind. In dieser Arbeit wird ein neues Verfahren vorgestellt, mit dem es unter bestimmten Voraussetzungen möglich ist, die Kollisionsgeschwindigkeit des leichteren Fahrzeuges über Kenntnis des Auslaufimpulses und der Einlaufrichtung zu bestimmen.

### Summary

If two vehicles of extremely different masses are involved in a traffic accident, the usual techniques of reconstruction fail due to the inaccuracy of the calculated impulse and deformation energy of the heavier vehicle. In this paper we present a new approach to the problem. Under some circumstances it is now possible to calculate the pre-crash-velocity using the knowledge about post-crash-impulse at the direction of the pre-crash-impulse.

## 1 Einleitung

Bei der Rekonstruktion von Verkehrsunfällen hat man es häufig mit Zusammenstößen zwischen Fahrzeugen stark unterschiedlicher Masse zu tun. Gerade bei diesen Unfallkonstellationen sind vektorielle Berechnungen der Kollisionsgeschwindigkeiten außerordentlich schwierig, da wegen der stark unterschiedlichen Masse unrichtige Angaben der Auslaufimpulse in Größe und Richtung zu extremen Brandbreiten für die Kollisionsgeschwindigkeit des leichteren Kollisionspartners führen.

Als weitere Bestimmungsgröße wird auch die von beiden Fahrzeugen aufgenommene Verformungsenergie berücksichtigt, die dann in Form eines Energie-Rings [1] in das Impulsdigramm einfließt. Vermag man die vom leichteren Kollisionspartner aufgenommene Verformungsenergie mit Hilfe von Vergleichsfällen oder Crash-Tests abzuschätzen, so ist bei der Abschätzung von EES-Werten für das schwerere Fahrzeug oft das Vorstellungsvermögen des Sachverständigen überfordert. Für Nutz- und Sonderfahrzeuge liegen keine entsprechenden Vergleich-Crash-Tests vor; EES-Abschätzungen anhand von Erfahrungen, die sich im wesentlichen jedoch auf völlig anders geartete Fahrzeuge beziehen, sind im allgemeinen sehr fragwürdig. Bedenkt man weiterhin, daß ein Faktor 10 zwischen den Massenverhältnissen der stoßenden Fahrzeuge keine Seltenheit ist, hat der Wert der EES-Angabe für das schwerere Fahrzeug eklatante Auswirkungen auf das Endergebnis. Insofern ist eine Energiebetrachtung mit Hilfe von aufgenommenen Verformungsenergien zum Scheitern verurteilt.

Welche Möglichkeit bleibt aber letztlich dem Gutachter, die Kollisionsgeschwindigkeit insbesondere des leichteren Kollisionspartners größenordnungsmäßig anzugeben. Bei den schwereren Fahrzeugen ist es oftmals so, daß deren Geschwindigkeitsniveau zum einen durch Meßaufschriebe wie z.B. die Diagrammscheibe beim Lkw bekannt sind; landwirtschaftliche Fahrzeuge oder Baufahrzeuge unterliegen im allgemeinen gesetzlichen Höchstgeschwindigkeiten.

Im nachfolgenden Text wird ein Modell vorgestellt, das es ermöglicht, die Kollisionsgeschwindigkeit des leichteren Kollisionspartners größenordnungsmäßig zu erfassen. Dabei wird ein Stoßmodell der klassischen Physik auf das vorliegende Problem transformiert.

\*Dipl.-Ing. Karl-Heinz Schimmelpfennig, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und Kfz.-Technik, Ing.-Büro Schimmelpfennig und Becke, Münsterstraße 101, 4400 Münster-Wolbeck

\*\*Dipl.-Phys. Klaus Schmedding, Sachverständiger im Ing.-Büro Schimmelpfennig und Becke

## 2 Theoretische Grundlagen

Prinzipiell lassen sich auf alle Fahrzeugkollisionen die physikalischen Stoßvorgänge sinngemäß übertragen. Danach ist die Stoßzahl

$$\varepsilon = \frac{C_{2n} - C_{1n}}{v_{1n} - v_{2n}} \quad (1)$$

als Verhältnis der Projektionen der relativen Geschwindigkeiten beider Körper an der Stoßstelle F auf die Stoßnormale nach dem Stoß zu den entsprechenden Geschwindigkeiten vor dem Stoß definiert [2], [3] (vergl. Bild 1)

Ein Spezialfall dieser Stoßmechanik ist der schiefe, zentrale Stoß, bei dem ein Körper der Masse  $m_1$  unter einem Winkel  $\alpha$  auf einen großen Massenkörper auftrifft. In diesem Fall ist die Lage des Stoßantriebes eng um die Normale auf der Berührungsebene festgelegt, da Reibungskräfte zwischen den kontaktierenden Fahrzeugteilen klein sind. Dieses führt dazu, daß die Tangentialkomponenten der Geschwindigkeiten vor und nach dem Stoß wegen des Fehlens der tangentialen Stoßkraft einander gleich sind. Es gilt also:

$$c_1 \sin \beta = v_1 \sin \alpha$$

Die Stoßhypothese liefert in x-Richtung gesetzt

$$\varepsilon = \frac{0 + c_1 \cos \beta}{v_1 \cos \alpha - 0} \quad (2)$$

als zusätzliche Gleichung, so daß nach Division beider Grundgleichungen eine Beziehung zwischen Einfallswinkel und Reflexionswinkel und dem Stoßfaktor  $k$  folgt.

Ist der Stoß vollkommen elastisch, so wird  $\alpha$  gleich  $\beta$  und  $c_1$  gleich  $v_1$ ; ist er vollkommen unelastisch, dann bewegt sich der Massenkörper mit der Geschwindigkeit

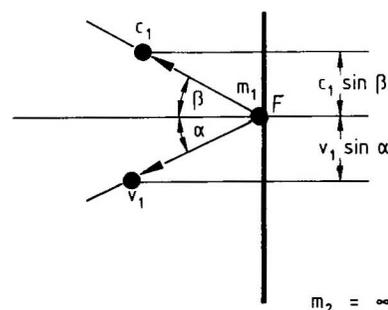
$$c_1 = v_1 \sin \alpha \quad (\beta = \frac{\pi}{2})$$

am schwereren Körper entlang. Diese Grundgleichungen haben dann Gültigkeit, wenn der große Massenkörper annähernd in Ruhe ist und vom leichteren Kollisionspartner relativ zentral getroffen wird.

Diese Grundgesetze lassen sich prinzipiell auch auf die Kollisionsmechanik ausdehnen, wenn folgende Bedingungen gewährleistet sind:

- Die kollidierenden Fahrzeuge haben stark unterschiedliche Massen,
- Das stoßende, leichtere Fahrzeug trifft das schwerere annähernd zentral,
- die Reibung zwischen den kontaktierenden Fahrzeugteilen ist vernachlässigbar klein.

Sind all diese Bedingungen zumindest näherungsweise erfüllt, so ist eine Kollisionsgeschwindigkeitsberechnung bei Kenntnis der Ein- und Auslaufrichtung dieses Fahrzeuges sowie des ungefähren Kollisionspunktes theoretisch möglich. In einem nachfolgenden Beispiel, das sich auf ein reales Unfallgeschehen stützt, wird auf die Anwendung der vorgenannten Stoßgesetze eingegangen.



$$c_1 \sin \beta = v_1 \sin \alpha$$

Bild 1 Schiefer Stoß auf die Wand  
Fig. 1 Nonrectangular impact on a wall

### 3 Anwendungsbeispiel

Das **Bild 2** zeigt ein Unfallgeschehen, bei dem ein Krad auf ein im Abbiegevorgang begriffenes Fahrzeug aufprallt. Die Einlaufrichtung des Krades sowie der Kollisionsort ließen sich aus dem Spurbild (Blockierspur vom Krad) eindeutig rekonstruieren. Die Motorradendlage wurde von den unfallaufnehmenden Polizisten gesichert. Aus dem zu erwartenden Einbiegevorgang des schweren Fahrzeuges und den am Krad erkennbaren Beschädigungen konnte die Kollisionsituation erarbeitet werden. Die Endlage des Krad-Fahrers war nicht bekannt. Die Beschädigungen am schweren Fahrzeug waren sehr gering (leichte Kratzer), das Krad selber wies stärkere Verformungen an der rechten Fahrzeugseite auf. Ein seitlicher Versatz des schweren Fahrzeuges erfolgte nicht.

Obwohl Kollisionspunkt sowie Einlauf- und Auslaufrichtung des Krades ziemlich genau festliegen, mußte im vorliegenden Fall auf die übliche Konstruktion des Impulsiagramms aufgrund der im ersten Kapitel angegebenen Komplikationen verzichtet werden. Von einer energetischen Betrachtung wurde wegen fehlender vergleichbarer Beschädigungsbilder abgesehen.

Letztlich blieb bei der Bestimmung der Kollisionsgeschwindigkeit des Krades das Tangentialkomponentenverfahren, das die Vernachlässigbarkeit der tangentialen Stoßkraft näherungsweise voraussetzt, übrig. Dementsprechend steht die Richtung des Stoßimpulses lotrecht auf der Ebene der Berührungsfläche.

Aus der Kenntnis der Auslaufstrecke des Krades konnte über das Verzögerungsniveau rutschender Kräder die Geschwindigkeit des Krades nach der Kollision zu 30 bis 35 km/h berechnet werden. Aus den Gesetzmäßigkeiten des schiefen Stoßes unter Berücksichtigung einer vernachlässigbaren Reibung zwischen den Kollisionspartnern läßt sich jetzt folgern, daß die Tangentialkomponente der Kollisionsgeschwindigkeit durch den Stoß unverändert blieb. D.h., die tangentialen Geschwindigkeitskomponenten vor und nach dem Stoß sind gleich. Nutzt man diese Beziehung aus, so läßt sich sofort aus dem Diagramm (Bild 1) für das Krad eine Kollisionsgeschwindigkeit im Bereich von 35 bis 41 km/h ablesen. Eine Ermittlung der Kollisionsgeschwindigkeit ist auch ohne geometrische Konstruktion möglich, wenn man die Gleichung

$$v = \frac{c \sin \beta}{\sin \alpha} \quad (4)$$

benutzt.

Subtrahiert man die Quadrate der Geschwindigkeit vor und nach

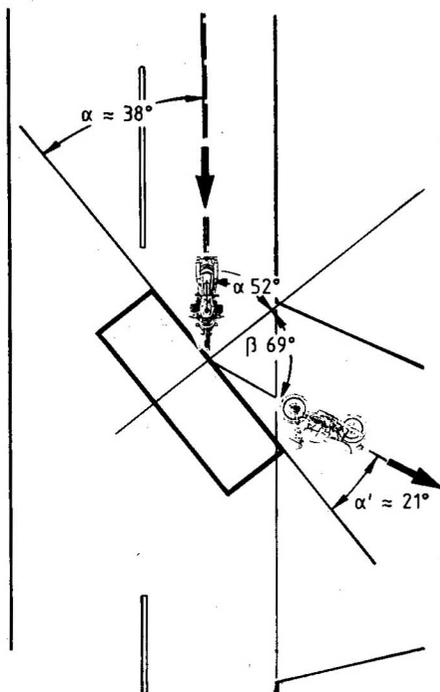
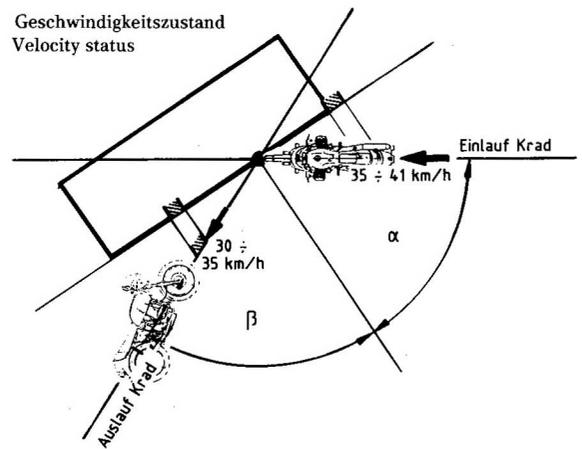


Bild 2 Anstoßkonstellation  
Fig. 2 Impact configuration

Bild 3 Geschwindigkeitszustand  
Fig. 3 Velocity status



$$c_{\text{Krad}} = 30 \div 35 \text{ km/h}$$

$$c_{\text{Krad}}^{\text{tang}} = 28 \div 33 \text{ km/h} = v_{\text{Krad}}^{\text{tang}}$$

$$\Rightarrow v_{\text{Krad}} = 35 \div 41 \text{ km/h (Diagramm)}$$

$$\Delta v \text{ (durch die Kollision)} = \sqrt{v^2 - c^2} = 18 \div 21 \text{ km/h}$$

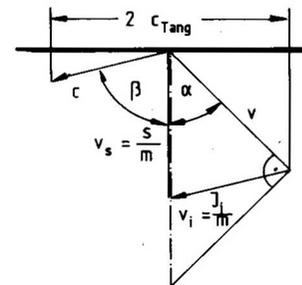


Bild 5 Anhang  
Fig. 5 Appendix

$$v = \frac{c \sin \beta}{\sin \alpha} \quad (1)$$

$$\Rightarrow k = \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \quad \text{mit} \quad k = \frac{s}{m (v_{i1} - v_{21})} - 1$$

$$\Rightarrow k = \frac{v_s}{v_i}$$

$$\Delta E_{\text{Def}} = \frac{s^2 (1 - k)}{2 m^* (1 + k)} = \frac{m v_s^2 (1 - k)}{2 + 2k}$$

$$\text{wobei} \quad m^* = m$$

$$v_s = \frac{s}{m}$$

$$v_{i1} = \text{innere Geschwindigkeit}$$

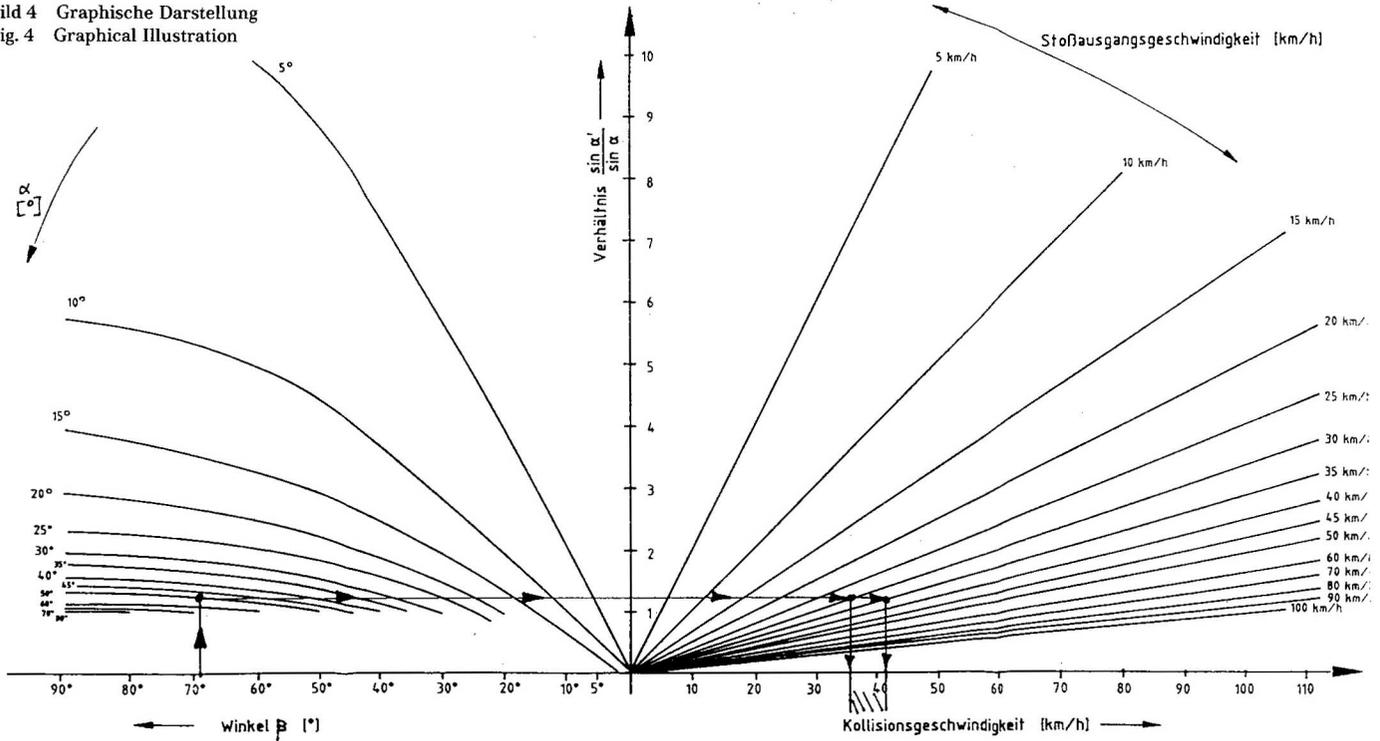
der Kollision und zieht daraus die Wurzel, so erhält man in etwa die für das Krad anzusetzende EES. Sie lag im vorliegenden Fall bei ca. 20 km/h, was mit den Krad-Beschädigungen durchaus in Einklang zu bringen war.

Da tangentiale Stoßkräfte bei dieser Näherungslösung nicht beachtet werden, liegt der Stoßimpuls senkrecht zur Berührungsebene. Diese führt bei Kenntnis der Ein- und Ausfallwinkel des Krades zu einer einfachen Beziehung für den Stoßfaktor k (**Bild 3**). Die Kenntnis des Stoßfaktors sowie die Größe des senkrecht zur Berührungsebene liegenden Stoßimpulses ermöglicht eine weitere Bestimmungsgleichung für die Deformationsenergie des aufprallenden Fahrzeuges (Anhang).

$$E_{\text{Def}} = \frac{m v_s^2 (1 - k)}{2 + 2k} \quad (5)$$

Sehr übersichtlich darstellen läßt sich die Gleichung (4) in einem

Bild 4 Graphische Darstellung  
Fig. 4 Graphical Illustration



einfachen Diagramm (Bild 4). Werden die Ausgangswerte des Anwendungsbeispiels in dieses Diagramm eingesetzt, so liest man die Kollisionsgeschwindigkeit direkt auf der Abszisse des rechten Quadranten ab.

#### 4 Zusammenfassung

Es wurde ein einfaches, kollisionsmechanisches Verfahren vorgestellt, das es ermöglicht, Kollisionsgeschwindigkeiten bei Zusammenstößen zwischen Fahrzeugen stark unterschiedlicher Masse zu bestimmen. Dieses Verfahren stützt sich dabei auf Erhaltung der tangentialen Geschwindigkeitskomponente des stoßenden Fahrzeuges. Einfache geometrische und analytische Gesetzmäßigkeiten erlauben unter bestimmten Voraussetzungen eine unproblematische Bestimmung der Kollisionsgeschwindigkeit des leichteren Fahrzeuges. Der Vorteil an diesem Verfahren ist, daß die Masse des stoßenden Fahrzeuges keinen nennenswerten Einfluß auf das Endergebnis hat, sofern es um ein Vielfaches leichter ist als das Gestoßene.

#### Literaturnachweis

- [1] K. H. Schimmelpfennig; N. Hebing: Das Energie-Ring-Verfahren, »Der Verkehrsunfall«, Sept. 1982, Heft 9
- [2] K. H. Schimmelpfennig; K. Schmedding; Geschwindigkeits-Differenz-Faktor, »ATZ« 1989, Heft 1
- [3] Eduard Pestel: Technische Mechanik, BI Hochschultaschenbuchreihe, 1969 ■

#### Pressenotiz

##### Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung empfiehlt asphärische Rückblickspiegel

Mit asphärisch gewölbten Rückblickspiegeln »Aspherix«, die den gefürchteten »toten Winkel« beseitigen, lassen sich Unfälle vermeiden. Dies hat die Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu, Bern, bei einer praktischen Prüfung herausgefunden.

1987 ereigneten sich in der Schweiz über 75.000 Unfälle im Straßenverkehr. Ein Teil davon ist auf das eingeschränkte Sichtfeld durch gewöhnliche, plane Rückblickspiegel zurückzuführen. Nach Schätzungen der bfu stehen in der Schweiz etwa 8% aller Unfälle in Zusammenhang mit mangelhafter Rundumsicht; mit 12% deutlich höher ist der Anteil auf Autobahnen.

Nach einem dreimonatigen Test des asphärischen Rückspiegels »Aspherix« (Hersteller: Deutsche Spezialglas AG, 3223 Grünenplan) konnte die bfu die unfallverhindernde Wirkung dieses Spiegels bestätigen.

Dr. Heinz Jung, Direktor der bfu: »Die Tatsache, daß mit Hilfe dieses asphärischen Spiegels z.B. aufholende und überholende Fahrzeuge lückenlos bis zum Erscheinen im Blickfeld des Fahrers beobachtet werden können, ist ein Sicherheitsfaktor erster Güte«. Auch im stehenden Verkehr, so das bfu-Gutachten, bringt »Aspherix« deutliche Vorteile. So könnten beim Aussteigen oder Wiederanfahrene viele gefährdende Situationen vermieden werden, weil kein »toter Winkel« z.B. Zweiradfahrer verbirgt. Dr. Jung: »Wir empfehlen den Autofahrern daher die Verwendung von »Aspherix«.

»Aspherix« ist so geformt, daß zwei Spiegelbereiche mit unterschiedlicher Wölbung gleitend ineinander übergehen. Die leichte Wölbung des größeren Spiegelteils bietet das gewohnte Bild sphärischer Spiegel, ein kleinerer, asphärischer Teil schließt sich übergangslos an und erweitert mit seiner progressiven Krümmung das Blickfeld auf über 40 Grad. Dies bedeutet fast eine Verdreifachung des Sichtfeldes gegenüber herkömmlichen planen Spiegeln.

Bei den schwedischen Automobil-Herstellern Volvo und Saab gehört »Aspherix« bereits seit Jahren zur serienmäßigen Standardausrüstung; für die meisten anderen Pkw ist ein Nachrüsten möglich.

Quelle: Schott Gruppe, Nr. 66, Juli 1989 ■