

Michael Weber\*  
Wilfried Dieling\*\*

## Die-Zuordnung von Beschädigungszonen

### bei Berücksichtigung von Beladung,

### Verzögerung und Querbeschleunigung

#### Zusammenfassung

Zur Klärung der Frage, ob ein fingierter Unfall vorliegt, werden häufig die Fahrzeuge zusammengestellt, um die Beschädigungen zu vergleichen. Bei dieser Analyse ist zu berücksichtigen, daß erhebliche Abweichungen möglich sind zwischen der Karosseriehöhe im leeren und ruhenden Zustand und den Höhen des beladenen und fahrenden Fahrzeugs. Zur Bestimmung der möglichen Höhenabweichung haben wir die Änderung der Karosseriehöhen für einige Fahrzeuge in Abhängigkeit folgender Zustände ermittelt:

- Zuladung
- Bremsverzögerung
- Querbeschleunigung

#### Summary

In order to find out whether an accident was faked or not often the vehicles are put together for a comparison of deformations. While doing this analyse it must be considered that there may be important divergences between the height of the body in »empty and resting« condition and the height of the body in »loaded and moving« condition. To examine the quantity of this divergences we have measured the alteration of the body-height of some cars in relation to following conditions:

- load
- degree of deceleration
- transverse-acceleration

#### I Einleitung

In der unfallanalytischen Praxis taucht häufig die Fragestellung auf, ob sich das Schadensbild am Fahrzeug nach einer Fahrzeug-Fahrzeug-Kollision mit dem behaupteten Unfallablauf in Einklang bringen läßt.

Zur Bearbeitung eines derartigen Falles wird i.d.R. zunächst eine statische Gegenüberstellung von Vergleichsfahrzeugen durchgeführt. Die hierbei gewonnene Höhenzuordnung darf aber nicht zugrundegelegt werden, ohne die Beladung und das dynamische Verhalten der Fahrzeuge unmittelbar vor der Kollision zu diskutieren. Abweichungen zur statischen Höhe sind denkbar durch:

- Verzögerung (z.B. Abwehrbremsung vor einer Auffahrkollision)
- Beladung
- Querbeschleunigung (z.B. Ausweichvorgang vor der Kollision)

Um die Größenordnung der hierdurch auftretenden Verschiebungen zum statischen Zustand einzugrenzen, wurde im Rahmen einer Dipl.-Arbeit eine theoretische Aufbereitung der Problematik und experimentelle Messungen an einem Fahrzeugkollektiv durchgeführt.

#### II Einfederweg in Abhängigkeit von der Beladung

Durch die Beladung kommt es zum Einfedern des Fahrzeugs. Die Größenordnung dieses Federweges wird in diesem Kapitel untersucht. Konstruktiv liegen bei Personenkraftwagen mit Frontmotor an der Vorderachse bei maximal erlaubter Zuladung Achslasterhöhungen im Leerzustand von 40% vor, an der Hinterachse sind Erhöhungen um bis zu 100% denkbar. In diesem gesamten Bereich kann in guter Näherung von einer linearen Federkennung ausgegangen werden.

\*Dipl.-Ing. Michael Weber, Sachverständiger im Ing.-Büro Schimmelpfennig + Becke, 4400 Münster-Wolbeck

\*\*cand. Ing. Wilfried Dieling, FH Osnabrück

Es gilt:

$$C = \frac{\Delta F}{\Delta s} \quad (1)$$

$$\Delta F = (m_t - m_l) \cdot g$$

C = Federkonstante [N/m]

$\Delta F$  = Krafterhöhung [N]

$\Delta S$  = Federweg [m]

$m_t$  = tatsächliche Achslast

$m_l$  = Achslast im unbeladenen Zustand

Die Eigenkreisfrequenz ( $\omega_0$ ) eines Feder-Masse-Systems berechnet sich zu

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{m}} \quad (2)$$

$$\omega_0 = \text{Eigenkreisfrequenz} = f_0 \cdot 2 \cdot \pi$$

In (1) wird diese Eigenfrequenz  $f_0$  für Hubschwingungen des Aufbaus mit 1 Hz bis 2 Hz angegeben. Die Eigenfrequenz von Nickbewegungen bewegt sich in derselben Größenordnung. Nach Verknüpfung von [Gl. 1] und [Gl. 2] resultiert:

$$\frac{\omega_0^2}{g} \cdot \Delta S = \frac{m_t}{m_l} - 1 \quad (3)$$

Das ist die Gleichung einer Geraden mit der Steigung

$$\frac{\omega_0^2}{g}$$

Mit den oben genannten Eigenfrequenzen ergeben sich aber zu große Bandbreiten für die Einfederung. Deshalb wurden die Federkennlinien für einige marktgängige Fahrzeuge ermittelt und die Bandbreite der Eigenfrequenz aus den Messungen berechnet.

Zur Ermittlung der Radlasten wurden geeichte Fahrzeugwaagen hoher Genauigkeit verwendet. Die Erhöhung der Radlast am Pkw erfolgte in kleinen Intervallen durch Beschweren mit Sandsäcken.

Bei den Messungen stellte sich heraus, daß die Federwege der linken und rechten Fahrzeugseite kaum voneinander abwichen. Deshalb wurde in den Meßdiagrammen sowohl für die Vorderachse (**Bild 1**) als auch für die Hinterachse (**Bild 2**) auf eine Unterscheidung verzichtet. Auf der Abszisse der Diagramme ist der Federweg in Zentimeter und auf der Ordinate das Verhältnis von vorhandener Rad- bzw. Achslast  $m_t$  zur Rad- bzw. Achslast im Leerzustand  $m_l$  aufgetragen.

Aus den Meßwerten ergeben sich nach Umstellung von [Gl. 3] folgende Eigenfrequenzen:

Vorderachse: 1,0 bis 1,5 Hz

Hinterachse: 1,2 bis 2,0 Hz

Die zugehörigen Geraden sind in den Diagrammen **Bild 1 und 2** strichpunktirt zusammen mit den Meßkurven eingetragen.

Es zeigt sich, daß die Eigenfrequenz bei »leichteren Pkw« i.d.R. höher liegt als bei »schweren Pkw«.

Als Faustregel für die praktische Bearbeitung läßt sich für Pkw mit Frontmotor aufzeigen, daß infolge Beladung bis zur maximal zulässigen Achslast folgende Federwege denkbar sind:

Vorderachse: 3-8 cm

Hinterachse: 6-12 cm

#### III Bremsnicken in Abhängigkeit von der Verzögerung

Beim Bremsen stellt sich eine Achskrafterhöhung an der Vorderachse und eine Achskraftverringerung an der Hinterachse ein. Liegt das Nickpolzentrum tiefer als der Schwerpunkt, was bei den meisten Pkw der Fall ist, so kommt es beim Verzögern zum Absenken der Front und zum Anheben des Hecks (vgl. **Bild 3**). Damit ergeben sich zwei wesentliche Parameter für das Nickverhalten:

- Verzögerungsniveau
- Abstand zwischen Nickzentrum und Schwerpunkt

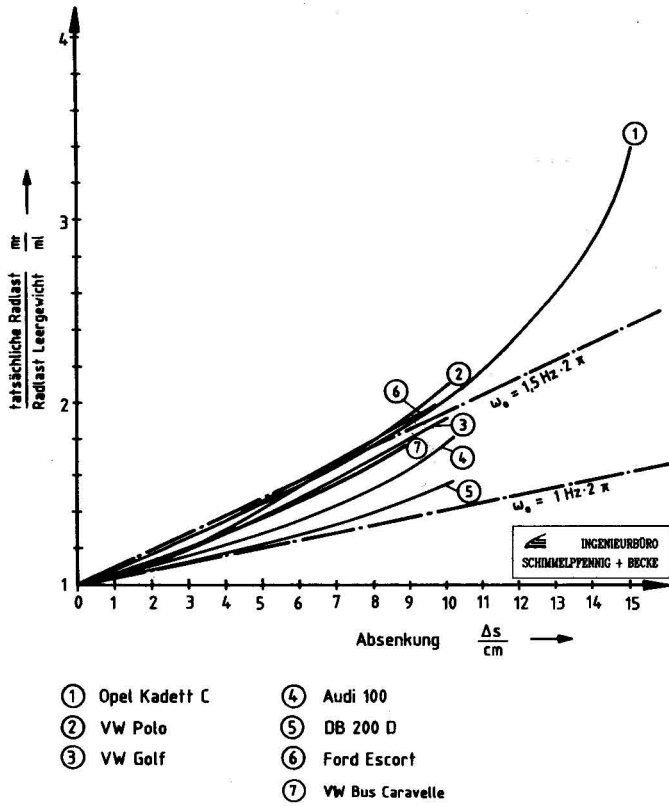


Bild 1 Absenkung des Wagenkastens in Höhe der Vorderachse bei Belastung  
Fig. 1 Alteration of body-height in relation to load for front-axle

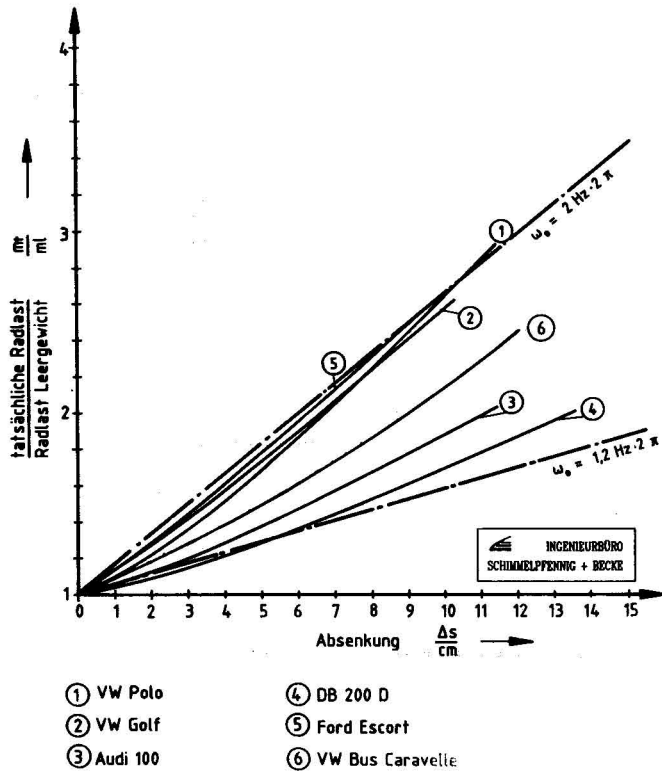


Bild 2 Absenkung des Wagenkastens in Höhe der Hinterachse bei Belastung  
Fig. 2 Alteration of body-height in relation to load for rear-axle

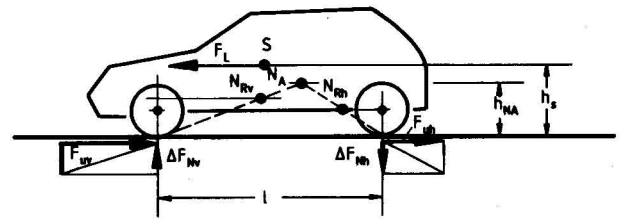


Bild 3 Nickpolzentrum und Schwerpunkt  
Fig. 3 Centre of nap-pole and of gravity

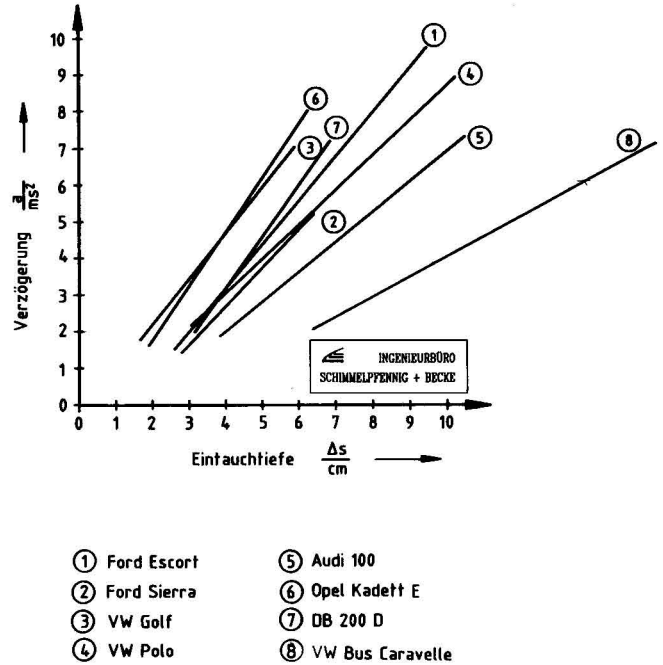


Bild 4 Eintauchtiefe der Fahrzeugfront in Abhängigkeit von der Längsverzögerung  
Fig. 4 Alteration of body-height in relation to degree of deceleration (front)

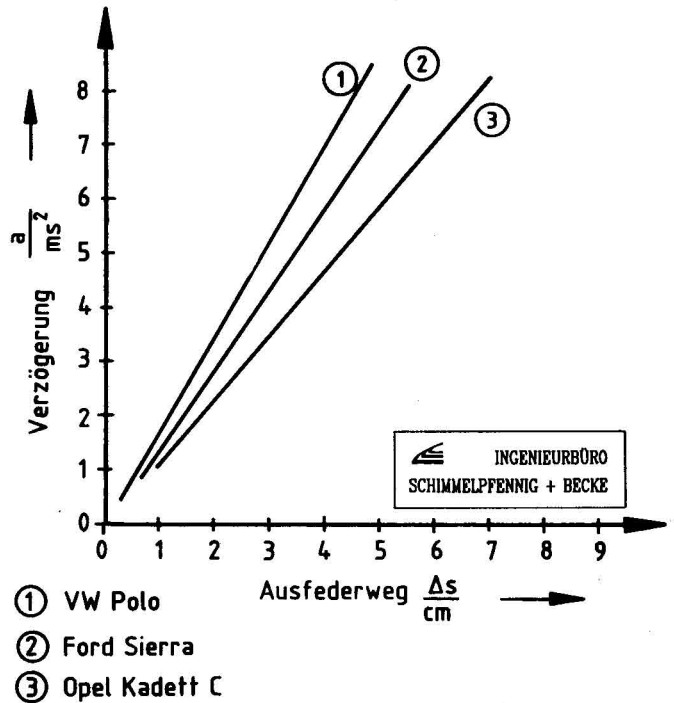


Bild 5 Ausfedern des Fahrzeughecks in Abhängigkeit von der Längsverzögerung  
Fig. 5 Alteration of body-height in relation to degree of deceleration (rear)

Der Parameter  $b$ ) ist von der Fahrzeugkonstruktion abhängig und nur selten mit vertretbarem Aufwand zu ermitteln. Deshalb wurden für ein Fahrzeugkollektiv von markt gängigen Pkw die Eintauchtiefe des Vorderwagens und die Anhebung des Hecks experimentell ermittelt.

Hierzu wurde im Rahmen der bereits genannten Dipl.-Arbeit eine Meßeinrichtung konstruiert, mit der an Kraftfahrzeugen das Nickverhalten in Abhängigkeit von der Verzögerung gemessen werden kann. In **Bild 4** sind die damit ermittelten Eintauchtiefen in Abhängigkeit von der Verzögerung für die aufgeführten Fahrzeuge ermittelt. Es stellt sich wiederum ein etwa linearer Zusammenhang ein. Die gemessenen Eintauchtiefen bezogen auf die Fahrzeugfront liegen bei einer Vollbremsung auf trockener Fahrbahn zwischen 6 und 11 cm.

In **Bild 5** sind die gemessenen Ausfederwege am Heck für verschiedene Fahrzeuge gemessen. Es ergeben sich bei Vollbremsungen Anhebungen um bis zu 8 cm.

Damit ist bei einer Auffahrkollision zweier vollgebremster und nur mit Fahrern besetzter Fahrzeuge vor der Kollision eine Höhenverschiebung gegenüber dem statischen Zustand von etwa 20 cm denkbar.

#### IV Rollneigung in Abhängigkeit von der Querschleunigung

Wird das in Kapitel III. vorgestellte Meßgerät seitlich am Fahrzeug montiert, können damit auch Wankbewegungen untersucht werden. Hierzu wurden auf der Kreisbahn Querschleunigungen von bis zu  $7 \text{ m/s}^2$  realisiert (**Bild 6**). Die Erfassung der Querschleunigung erfolgte mit einem im Fahrzeug montierten elektronischen Beschleunigungsaufnehmer. Aufgrund der aufwendigen Meßwertfassung wurde zunächst nur ein Fahrzeug gemessen. In Abhängigkeit von der Querschleunigung ergibt sich für den untersuchten Ford Sierra das in **Bild 7** dargestellte Wankverhalten. An der Hinterachse resultieren links und rechts etwa betragsgleiche Aus- und Einfederwege. An der Vorderachse liegen Abweichungen zwischen diesen Werten vor: Der Einfederweg ist deutlich größer als der Ausfederweg.

Ergeben sich also z.B. bei einer Auffahrkollision Hinweise auf eine vorausgegangene, heftige Ausweichbewegung des auffahrenden Fahrzeugs, so ist zu erwarten, daß sich, bezogen auf den statischen Zustand, eine deutliche Winkelstellung zwischen den Berührungsf lächen einstellt. Bei dem untersuchten Ford Sierra lag eine Winkelstellung des Wagenkastens von  $6^\circ$  vor.



Bild 6 Messung des Wankverhaltens  
Fig. 6 Measuring the degree of rolling

#### (Ford Sierra durchfährt Rechtskurve)

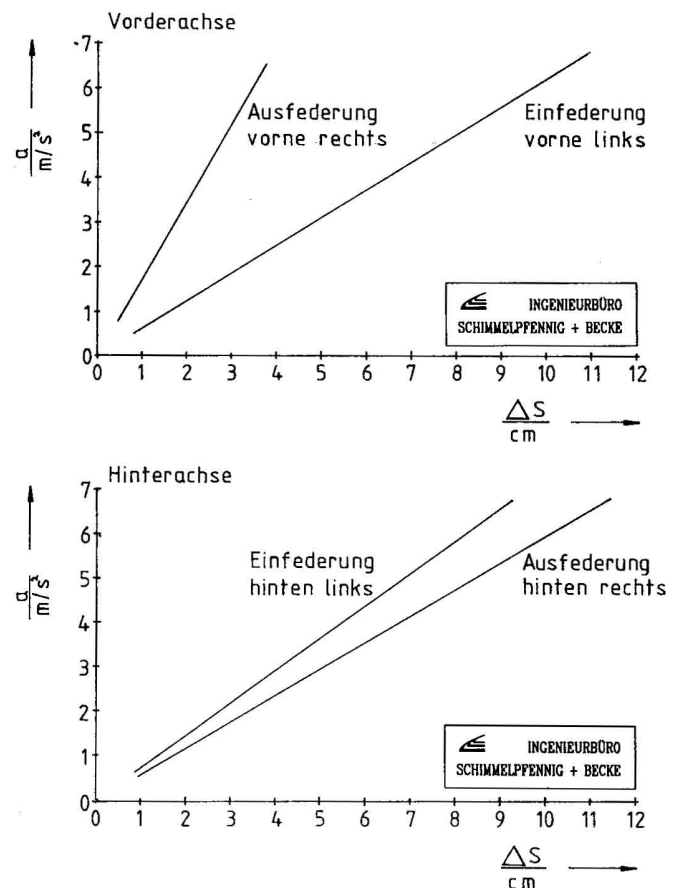


Bild 7 Rollneigung in Abhängigkeit von der Querschleunigung  
Fig. 7 Degree of rolling in relation to transverse acceleration

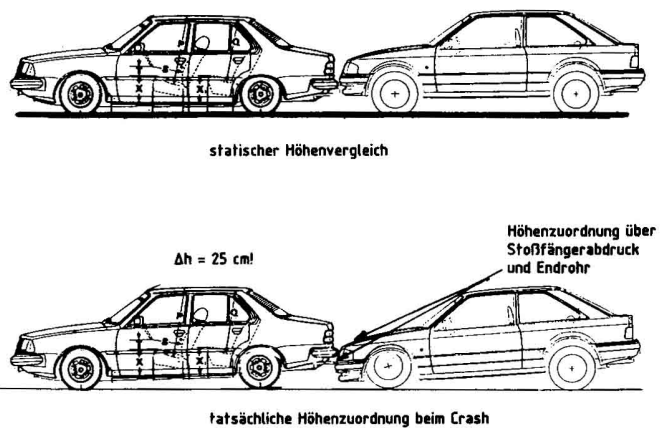


Bild 8 Unfallbeispiel mit Höhenverschiebung vor Crash  
Fig. 8 Example for an accident with alteration before crash

#### V Unfallbeispiel

Bei einer leichten Auffahrkollision mit einer Differenzgeschwindigkeit von etwa  $15 \text{ km/h}$  konnte anhand von eindeutig zuzuordnenden Formspuren wie Stoßfänger- und Auspuffendrohrabdruck ein Unterschied zu den statischen Höhen von  $20 \text{ cm}$  festgestellt werden (vgl. **Bild 8**). Aufgrund der sich in der Kollisionsphase einstellenden Gleitbewegungen zwischen den keilförmig verlaufenden Berührungskonturen kam es zu einer weiteren Höhenverschiebung um  $5 \text{ cm}$ .

Einschließlich Beladung mit zwei Personen tauchte der Ford Escort nur um ca.  $11 \text{ cm}$  ein, so daß die übrigen  $9 \text{ cm}$  nur durch die starke Abbremsung des gestoßenen Renault erklärt werden können. Damit kann bei dieser Auffahrkollision aufgezeigt werden, daß

das vorausfahrende Fahrzeug zum Kollisionszeitpunkt stark verzögert wurde.

---

## VI Zusammenfassung

---

Die durchgeführten Messungen an einem Fahrzeugkollektiv zeigen, daß die Beladung und Fahrvorgänge wie Abbremsen und Ausweichen vor der Kollision zu einer deutlichen Verschiebung der statisch vorliegenden Höhenzuordnung führen. Bei einer Auf-fahrkollision können sich beispielsweise bezogen auf die statische Gegenüberstellung durchaus Höhenunterschiede von 20 cm einstellen.

Bei der Fragestellung, ob eine Schadenskompatibilität bei Verdacht auf ein fingiertes Unfallgeschehen vorliegt, ist es deshalb empfehlenswert, basierend auf der statischen Gegenüberstellung, die möglichen Abweichungen infolge Beladung, Brems- und Ausweichvorgängen zu diskutieren. Ferner sind bei Kenntnis der möglichen Höhenverschiebungen auch Aussagen zum Bremszustand vor der Kollision möglich.

### Literaturnachweis:

- [1] M. Mitschke, Dynamik der Kraftfahrzeuge, Band A und B
- [2] J. Reimpell, Fahrwerktechnik 1
- [3] A. Zomotor, Fahrwerktechnik: Fahrverhalten
- [4] Prof. N. Pipereit, Skriptum »Fahrwerk und Fahrsicherheit« ■