

Heinz Burg*
Falk Zeidler**

EES – Ein Hilfsmittel
zur Unfallrekonstruktion
und dessen Auswirkungen
auf die Unfallforschung

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird in Teil 1 ein neues Hilfsmittel zur Unfallrekonstruktion vorgestellt. Der Begriff EES wird definiert und zur allgemeinen Verwendung vorgeschlagen.

In Teil 2 werden anhand eines realen Unfalls die Auswirkungen aus den Erkenntnissen des beschriebenen Rekonstruktionsverfahrens auf die Verletzungsursachenforschung diskutiert.

Die Praktikabilität des Verfahrens wird im letzten Teil gezeigt. Dazu werden verschiedene Fallbeispiele vorgestellt und diskutiert.

Teil 1

1. Einleitung
2. Definition der EES
3. Berechnungsverfahren mit Hilfe der EES

1. Einleitung

In [1] wurde dargestellt, daß für den geraden, zentralen Stoß die Abschätzung der dabei in Verformungsarbeit gewandelten kinetischen Energie beider Kollisionspartner zur Bestimmung der Aufprallgeschwindigkeiten verwendet werden kann, wenn die Kollisionsstelle und die Endlagen mit einschränkbarer Auslaufverzögerungen genügend genau bestimmten werden konnten.

Die in Verformungsarbeit gewandelte kinetische Energie wurde als $1/2 m ETS^2$ definiert, wobei die ETS (Equivalent Test Speed) die Geschwindigkeit ist, mit welcher der vergleichbare Aufprallversuch durchgeführt wird, um das gleiche Verformungsbild zu erzeugen. Abgesehen vom teilelastischen Rückprall ist für den Fall des Aufpralls gegen eine starre Wand die ETS mit der Geschwindigkeitsänderung Δv während des Stoßes identisch.

Da für den Fall des geraden, zentralen Stoßes das Antriebs-Balance-Diagramm nach Slibar [2] nicht anwendbar ist, stellt diese Methode zweifelsfrei einen gangbaren Weg dar, die Kollisionsgeschwindigkeit mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen, sofern für die beteiligten Fahrzeuge die Abschätzung der Verformungsarbeit möglich ist, was beim geraden, zentralen Stoß wegen der zahlreichen Aufprallversuche der Automobilindustrie kein Problem ist.

In [1] wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Übereinstimmung von ETS und Δv beim geraden, zentralen, frontalen Stoß zweier Pkw bei vergleichbarer Deformationscharakteristik annähernd gegeben ist, daß jedoch Δv von der ETS beim exzentrischen Stoß mit verschiedenen Auslaufbewegungen der Fahrzeuge – beispielsweise Abgleiten – erheblich abweicht.

In [2] wird erwähnt, daß »die Erwartung, allein aus den Verformungserscheinungen am Fahrzeug ... auf eine Kollisionsgeschwindigkeit bei exzentrischer Rammung schließen zu können, in den Bereich der Traumdeuterei verwiesen werden muß.«

* Obering.-(grad.) Heinz Burg,
Leiter der Hauptabt. Unfallforschung, DEKRA-Hauptverwaltung
Postfach 81 02 07, 7000 Stuttgart 81

** Dipl.-Ing. c/o Daimler Benz AG, Unfallforschung, Sindelfingen

Dieser Aussage stimmen wir uneingeschränkt zu, möchten jedoch hier ein Verfahren vorstellen, das unter **Zuhilfenahme** der Interpretation der **Verformungserscheinungen am Fahrzeug** die Rückrechnung der Kollisionsgeschwindigkeit bei exzentrischem, annähernd geradem Stoß gestattet, wobei gewissermaßen zur Kontrolle Impuls- und Drallsatz voll erfüllt sein müssen.

2. Definition der EES

In [1] wurde die bisher übliche Bezeichnung ETS für äquivalente Testgeschwindigkeit beibehalten, es wurde jedoch gezeigt, daß es nachteilig ist, daß die Energie-äquivalente Geschwindigkeit von der Testgeschwindigkeit abweichen kann. Um den Nachteil der Abhängigkeit von der Testart zu umgehen, wird im folgenden eine neue Größe eingeführt und zur allgemeinen Verwendung vorgeschlagen: die EES (Energy-Equivalent Speed), womit angedeutet werden soll, daß es sich um eine Geschwindigkeitsangabe handelt, die stellvertretend für die am Fahrzeug verrichtete Verformungsarbeit $W_D = 1/2 m EES^2$ steht.

Bei schrägen oder exzentrischen Stoßen wird ein Teil der kinetischen Energie des Fahrzeuges auch in Rotationsenergie (bei Drehung) bzw. Reibarbeit (bei Abgleiten) gewandelt oder / und bleibt als Bewegungsenergie (Auslaufbewegung nach Abgleiten) erhalten, die dann wiederum über die Reifen in Reib- und Walkarbeit gewandelt wird. Außerdem ist der elastische Rückprall vorhanden. In den Unfallversuchen hat sich jedoch gezeigt, daß die genannten Teilenergiebeträge sehr klein gegenüber der Verformungsarbeit sind.

Das bedeutet, daß bei den derzeit üblichen Aufpralltests gegen die starre Barriere die EES annähernd gleich der ETS gesetzt werden kann, während für Unfallversuche mit starren Stoßwagen eine von der ETS erheblich abweichende EES angegeben bzw. ermittelt werden muß.

Beispiel 1: Aufprall mit 50 km/h ETS gegen 0°-Barriere:
EES = 49,6 km/h

Beispiel 2: Aufprall mit 50 km/h ETS gegen 30°-Barriere: EES = 47,7 km/h

Hier genügt $EES \triangleq ETS$, exakte EES-Angaben würden nur eine Genauigkeit vortäuschen, die in der Praxis gar nicht vorhanden sein kann, weil EES-Einstufungen nur mit einer Streubreite von ± 5 km/h abgeschätzt werden können.

In [5] wird der Ansatz gemacht, für schräge und exzentrische Stoße diese Genauigkeit durch Einführung reduzierter Massen zu erreichen.

Im übrigen wurde in [1] Absatz 1.4, der Einfluß des Unterschiedes von tatsächlichem Fahrgewicht zum Testgewicht auf die ETS erläutert, so daß bei den in der Praxis meist geringer als im Test beladenen Fahrzeugen der o.g. »Fehler« annähernd wieder ausgeglichen wird.

Beispiel 3: Für den Fahrzeugaufprall mit starrem Stoßwagen mit 50 km/h auf ein stehendes Fahrzeug mit gleicher Masse gilt dann analog zu [1] Abs. 3.2.2.

$$ETS = v_{rel} = 50 \text{ km/h}$$

$$EES = \frac{1}{2} \sqrt{2} \cdot v_{rel} = \text{ca. } 35 \text{ km/h}$$

$$\Delta v = \frac{1}{2} v_{rel} = 25 \text{ km/h}$$

Selbstverständlich ist das Schätzen der EES, das nur anhand von Bildern der verformten Fahrzeuge vorgenommen wird, von der Erfahrung des Beurteilers abhängig. Für bestimmte Unfalltypen gibt es heute aber genügend Material, um eine ausreichend genaue Eingrenzung vorzunehmen. In [3] und [4] werden Rasterfeld-Verfahren vorgestellt, die eine vom Beurteiler unabhängige EES-Er-

mittlung möglich machen, sofern das deformierte Fahrzeug genügend genau vermessen wurde, bzw. Aufnahmen des Fahrzeugs von oben vorliegen. Bild 2.1 zeigt die bei Daimler-Benz übliche Methode (Stativhöhe 5,5 m, Brennweite des Objektivs 28 mm). Für den praktischen Einsatz des Gutachters genügt ein einfaches Stativ (Bild 2.2). Die Kamerabedienung erfolgt über den Selbstauslöser.



Bild 2.1
Überkopfaufnahme mit Stativ bei DB-Unfallforschung



Bild 2.2
Aufnahmetechnik für Teilansichten von oben

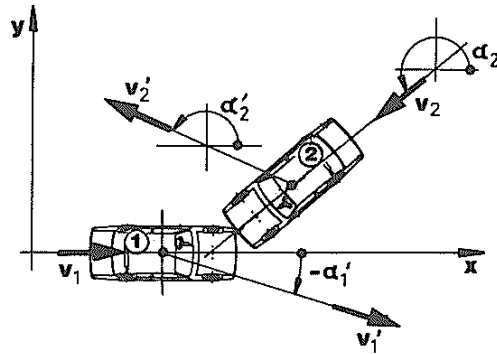


Bild 3.1
gewähltes Koordinatensystem

$$1. \quad m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

$$2. \quad m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 v_1'^2 + m_2 v_2'^2 + 2(R + W_D)$$

$$3. \quad v_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \left[\frac{m_1}{m_2} v_1' \cos \alpha_1' + v_2' \cos \alpha_2' + \sqrt{(v_1'^2 - 2 v_1' v_2' \cos(\alpha_1' - \alpha_2') + v_2'^2) - \left(\frac{m_1}{m_2} v_1' \sin \alpha_1' + v_2' \sin \alpha_2' \right)^2 + \frac{m_1 + m_2}{m_2} K_1 + \frac{m_1 + m_2}{m_1} K_2} \right]$$

mit $K_1 = EES_1^2 + g \cdot \mu_{s1} R_1 \hat{\varphi}_1$ und mit $K_2 = EES_2^2 + g \cdot \mu_{s2} R_2 \hat{\varphi}_2$

$$4. \quad \Delta \vec{v}_1 = \vec{v}_1 - \vec{v}_1'$$

$$5. \quad \vec{v}_2 = \vec{v}_2' + \frac{m_1}{m_2} \vec{v}_1' - \frac{m_1}{m_2} \vec{v}_1$$

$$6. \quad \tan \alpha_2 = \frac{v_{2y}}{v_{2x}} \rightarrow \alpha_2$$

$$7. \quad \Delta \vec{v}_2 = \vec{v}_2 - \vec{v}_2'$$

$$8. \quad \tan \psi = \frac{\Delta v_{2y}}{\Delta v_{2x}} \rightarrow \psi$$

$$9. \quad |S| = m_2 \cdot v_2$$

$$10. \quad I \cdot \vec{\omega} = \vec{r} \times \vec{S}$$

Bild 3.2
Verwendete Berechnungsformeln

3. Berechnungsverfahren mit Hilfe der EES

Gerade beim exzentrischen, geraden Stoß ergeben sich aus dem Antriebs-Balance-Diagramm nach [2] unendlich viele Lösungen, die sich zwar über den Impuls-Momentensatz eingrenzen lassen, jedoch ist wegen Ungenauigkeiten in der Unfallaufnahme und der Rekonstruktionszeichnung ein beträchtlicher Rest an Mißtrauen gegenüber dem ermittelten Ergebnis unvermeidlich. Ähnliches gilt auch für nahezu gerade Stöße, weil geringe Winkelabweichungen in den Impulsrichtungen oft wesentliche Änderungen im Ergebnis bringen. Deshalb bietet sich das im folgenden abgeleitete Berechnungsverfahren bei kleinen Winkeln α_2 mit $\alpha_2 = 0^\circ \pm \Delta\alpha$ und $\alpha_2 = 180^\circ \pm \Delta\alpha$ – ein in der Praxis häufig auftretender Fall – geradezu an. (Bild 3.1)

- Bei diesem Unfalltyp unterscheidet man grundsätzlich zwei Arten:
- Die Fahrzeuge bewegen sich nach dem Stoß, bezogen auf die x-Achse, in gemeinsamer Richtung weiter (evtl. mit Rotation).
 - Die Fahrzeuge bewegen sich nach dem Stoß, bezogen auf die x-Achse, in gegensätzlicher Richtung weiter, d.h. sie gleiten aneinander ab (evtl. mit zusätzlicher Rotation).

Zur Geschwindigkeitsermittlung dienen Energie- und Impulssätze nach den Gleichungen (1) und (2). (Bild 3.2.)

Darin sind \vec{v}_1 und \vec{v}_2 unbekannt. Setzt man in (2) die nach \vec{v}_2 aufgelöste Gleichung (1) ein, so erhält man aus (3) den Betrag der Geschwindigkeit von \vec{v}_1 . Das Koordinatensystem wird so gewählt, daß dasjenige Fahrzeug mit 1 bezeichnet wird, das vor der Kollision in Richtung der positiven x-Achse fährt. (Bild 3.1)

Aus (5) erhält man die Kollisionsgeschwindigkeit von Fahrzeug 2 sowie den Winkel für diesen Geschwindigkeitsvektor (Gleichung 6).

Damit sind Betrag und Richtung von \vec{v}_2 bestimmt, wobei als wesentliche Kontrollgröße der Winkel α_2 dient, der durch Variationsrechnungen mit den Einlaufbedingungen lt. Spuren in Einklang gebracht werden muß.

Ist dies erreicht, so ist die Kontrolle über den Impulsmomentensatz (10) durchzuführen.

Dieses Verfahren wird dann sehr praktikabel, wenn ein programmierbarer Taschenrechner (z.B. HP 97) zur Verfügung steht. Eine Programmierung nach dem Flußdiagramm (Bild 3.3) ist sinnvoll.

Bei den in der Praxis mit dieser Methode zu untersuchenden Gegenverkehrs-Unfällen mit hohen Kollisionsgeschwindigkeiten

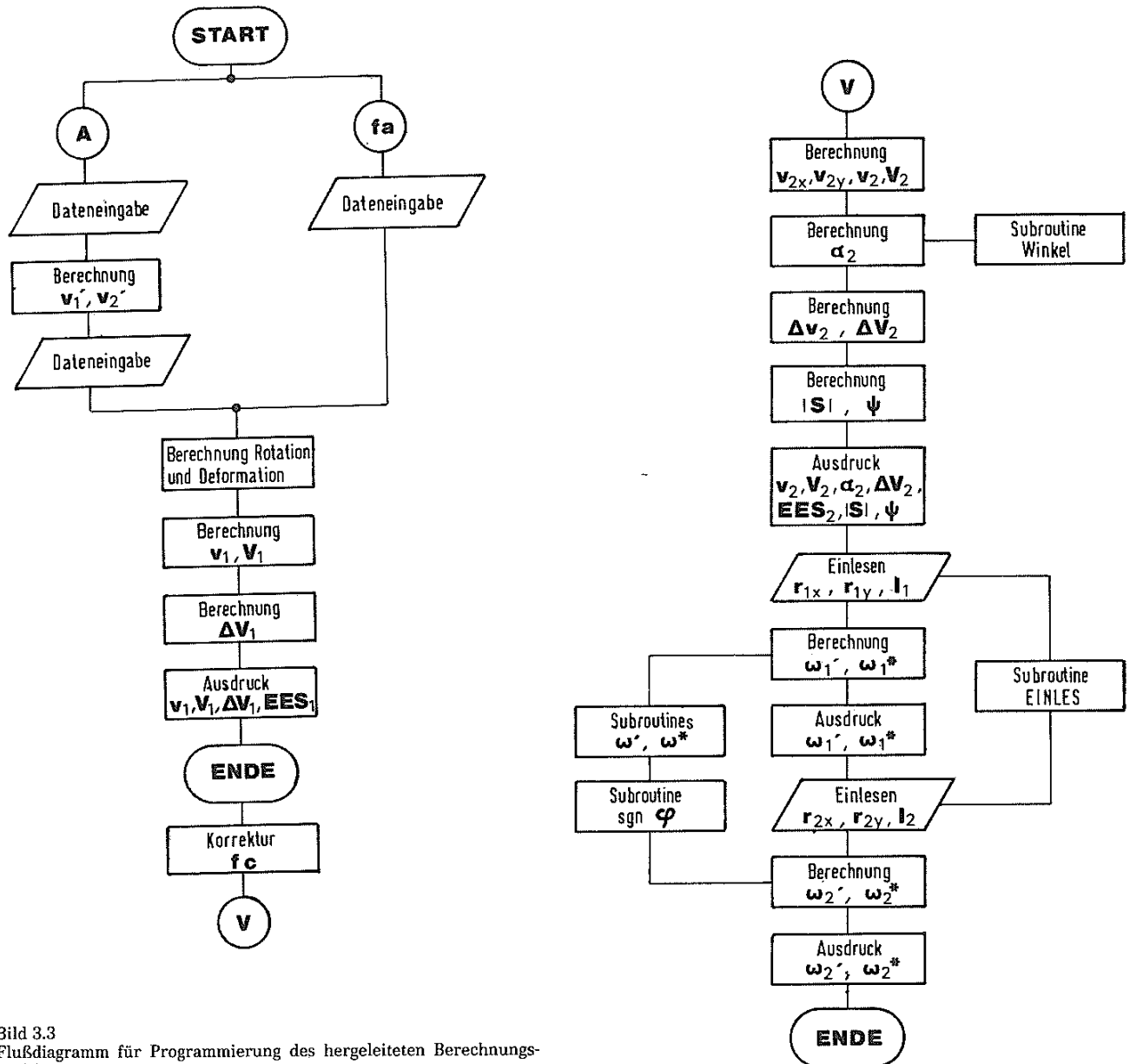


Bild 3.3
Flußdiagramm für Programmierung des hergeleiteten Berechnungsverfahren

$$11. \quad v_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \left[\frac{1}{m_2} (m_1 v_1' + m_2 v_2') + \sqrt{(v_1' - v_2')^2 + \frac{m_1 + m_2}{m_2} EES_1^2 + \frac{m_1 + m_2}{m_1} EES_2^2} \right]$$

$$12. \quad v_2 = \frac{1}{m_2} (m_1 v_1' + m_2 v_2' - m_1 v_1)$$

Bild 3.4
Vereinfachte Berechnungsformeln

und entsprechend hohen EES-Einstufungen sind bei kleinen Winkeln α die Glieder in der Gleichung, in denen $\sin \alpha$ steht, vernachlässigbar klein, $\cos \alpha$ geht gegen 1, der Anteil der Rotationsenergie ist häufig ebenfalls vernachlässigbar gering, so daß sich die Formeln auf eine relativ einfache Form zurückführen lassen. (Gleichung 11 und 12 Bild 3.4

Mit dieser vereinfachten Methode ist für bestimmte Kollisionsarten ein in der Anwendung auf dem Kleinrechner relativ einfaches Verfahren verfügbar, das schnell ein überschlägliches Ergebnis liefert.

(wird fortgesetzt)

Literatur

- [1] F. Zeidler
Deformationsverhalten von Kraftfahrzeugen bei Aufprallversuchen unter praxisgerechten Versuchsbedingungen
(Der Verkehrsunfall 1979, Heft 4 und 5)
- [2] A. Silbar
Aussagewert und Schranken der Kollisionsrückanalyse nach Indizienstand
(Der Verkehrsunfall 1979, Heft 10)
- [3] K. L. Campbell
Energy Basis for Collision Severity
(SAE-Conference, Proceedings 3rd International Conference on Occupant Protection, Troy, Michigan, 1974)
- [4] D. Schaper
Ist die Fahrzeugaufdeformation ein Maß für die Geschwindigkeitsänderung von Unfallfahrzeugen?
(Der Verkehrsunfall 1979, Heft 7/8)
- [5] K. Plankensteiner
Mathematische Grundlagen für die Programmierung von Taschenrechnern zur Unfallrekonstruktion
(Der Verkehrsunfall 1979, Heft 1 und 6)

Neunzehntes gemeinschaftliches
AFO/GUVU-Seminar

Die Methoden der Tatsachenfeststellung nach Verkehrsunfällen als Grundlagen für die Sachverständigentätigkeit, die Verkehrsrechtsprechung und Verkehrsunfallforschung

vom 2. bis zum 4. Oktober 1980 in der
Universität zu Köln

Anmeldung und Rückfragen:

Arbeits- und Forschungsgemeinschaft für Straßenverkehr und Verkehrssicherheit (AFO), Institut an der Universität zu Köln
5000 Köln 41 (Lindenthal), Gyrhofstr. 2, Ruf (0221) 41 77 22

Vorankündigung

Ob ein Gutachten gut ist, ob ein Urteil gerecht ist, und ob eine Unfallforschung die richtigen Unfallursachen ermittelt, das hängt vor allem von der Qualität der zu Grunde liegenden Tatsachenfeststellungen ab. Im Bereich der Straßenverkehrsunfälle erfolgt diese Tatsachenfeststellung fast ausschließlich durch die Polizei, selten auch durch die Sachverständigen. Die Verkehrsrechtsprechung stützt sich überwiegend auf diese Tatsachenfeststellung und kann nur in sehr begrenztem Umfang eigene Feststellungen treffen. Das gleiche gilt für die Unfallforschung, die nur in sehr begrenztem Umfang zusätzliche Erhebungen durch Fachleute am Unfallort vornehmen kann, weil solche Tatsachenfeststellungen außerordentlich aufwendig sind.

Dieser überragenden Bedeutung der Arbeit der Polizei und der Sachverständigen für die gesellschaftlich so relevanten Bereiche, wie Verkehrsrechtsprechung und Unfallforschung, wird die tägliche Praxis der Unfallaufnahme durch die Polizei nicht immer gerecht. Dies verwundert nicht, wenn die personellen und finanziellen Möglichkeiten der Polizei der außerordentlich schwierigen Aufgabe der Tatsachenfeststellung nach einem Unfall gegenübergestellt werden. Deshalb darf sich die Kritik an der Arbeit der Polizei nicht auf die Feststellung von Unzulänglichkeiten beschränken, sie muß auch konstruktiv sein. Aber selbst konstruktive Vorschläge sind als solche nicht immer brauchbar, wenn sie nämlich die personelle und wirtschaftliche Situation der Polizei unberücksichtigt lassen.

Nach Kenntnis der Veranstalter dieser Seminarreihe für Kraftfahrzeug- und Verkehrsunfallsachverständige sowie für Verkehrsjuristen und für Verkehrssicherheitsfachleute sind in der Bundesrepublik gegenwärtig zahlreiche Bestrebungen im Gange, solche konstruktiven Vorschläge für die Verbesserung der Methoden der Tatsachenfeststellung im Bereich des Verkehrsunfalls zu erarbeiten.

Die Veranstalter halten es deshalb für sinnvoll, wenn im Rahmen einer überregionalen Tagung eine Art Bilanz dieser Bemühungen gezogen wird, indem die verschiedenen Verfahren einander gegenübergestellt und diskutiert werden. Deshalb beabsichtigen AFO und GUVU das oben angekündigte Seminar zu veranstalten.

Hierbei sollen nicht nur die Methoden der polizeilichen Unfallaufnahme und Tatsachenfeststellung abgehandelt und diskutiert werden, hier sollen auch vor allem die Möglichkeiten und Grenzen der Sachverständigen für Kraftfahrzeuge und Straßenverkehrsunfälle bei der Tatsachenfeststellung aufgezeigt und ebenso diskutiert werden. In dem gleichen Maße, wie sich die Polizei durch technische Hilfsmittel die Arbeit erleichtern und effizienter gestalten kann, ist auch der Sachverständige in der Lage, durch eine geeignete Sachverständigentechnik zu qualitativ besseren Tatsachenfeststellungen bei gleichzeitig geringerem Aufwand zu kommen. Deshalb sollen neben den bereits erwähnten Vorschlägen zur Vereinfachung und Verbesserung der polizeilichen Unfallaufnahme auch die Methoden der Sachverständigentechnik zu Worte kommen.

Die Gesellschaft ist aber nicht nur an einer gerechten Bestrafung der Verkehrssünder und an einem gerechten Schadensausgleich interessiert, noch bedeutsamer ist für sie die Frage, wie die immer noch sehr hohe Zahl der Verkehrsunfallopfer vermindert werden kann. Diese, der Unfallforschung gestellte Aufgabe kann nur mithilfe solcher Tatsachenfeststellungen beantwortet werden, so daß die Frage, wie die im Interesse der Verkehrsrechtspflege getroffenen Tatsachenfeststellungen optimal auch für die Unfallforschung genutzt werden können, ebenfalls Gegenstand dieses Seminars sein soll. Auch hier geht es nicht nur um die polizeiliche Verkehrsunfallaufnahme, sondern auch um die Frage, inwieweit die Arbeit des Sachverständigen, bei der jedes einzelne Gutachten als Element der Unfallforschung betrachtet werden kann, optimal für die Unfallforschung genutzt werden kann.

Nur die ständige Kommunikation zwischen den Beteiligten und Interessierten, d.h. also zwischen Polizei, Sachverständigen, Verkehrsjuristen und Unfallforschern vermag das Problem, wie bei gegebenen personellen und finanziellen Mitteln die Methoden der Tatsachenfeststellung nach Verkehrsunfällen verbessert und ihre Ergebnisse besser genutzt werden können, einer Lösung näher zu bringen.

Prof. Dr. K. Engels