

Wolfgang Berner\*, Tino Berner\*\*,  
Guido Berner\*\*\*, Sascha Sommerfeld\*\*\*\*

## Steinschlagversuche

### Kurzzusammenfassung

1. Das Hochspringen mehrerer von einem Lkw-Hänger fallender Steine mit einer Kornung > 20 (20 min) oder ähnlicher Gebilde bis auf die Motorhaube und das Dach eines mit angemessenem Sicherheitsabstand folgenden Pkw konnte bis zu Geschwindigkeiten von etwa 90 km/h auf einer ebenen Asphaltfahrbahn im Versuch nicht nachgewiesen werden.

2. Mit einer Geschwindigkeit von 70 km/h von einer Höhe von 3,5 m vom Lkw fallende Steine springen nach dem ersten Aufprall lediglich etwa 60 cm hoch und rollen dann in Fahrtrichtung des Lkw aus.

### Summary

The jumping up of the stones with a granulation > 2 cm or similar shapes, falling from a truck trailer on the engine hood and the roof of the passenger car, following with an appropriate safety distance, could not be proven in tests up to speeds of approximately 90 km/h on a flat asphalt surface.

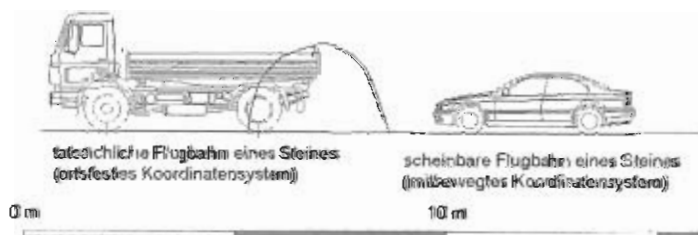
Stones, falling from a height of 3.5 m of the truck with a speed of 70 km/h, jump after the first impact only about 60 cm high and then roll out in direction to the reference vehicle.

## 1 Einleitung

Auslöser zur Durchführung für die in diesem Artikel beschriebenen Steinschlagversuche war ein Gutachten in gerichtlichem Auftrag [3], in dem es zu untersuchen galt, ob von einem offenen Kipphanhänger eines Lkw gefallener Erdaushub mit Steinen, welche gemäß Klägervortrag den Durchmesser „eines 1 DM bzw. 5 DM Stückes“ aufwiesen, die in der Klage geltend gemachten Schäden an dem dem Lkw mit Hänger folgenden, Pkw verursacht haben können.

## 2 Theoretische Grundlagen

Zum Thema Steinschlagschäden gibt es bereits verschiedene Veröffentlichungen. Insbesondere verweisen die Verfasser auf den Aufsatz von Strobl [1] und eine umfassende Diplomarbeit von Stephan Zöphel [2]. Zum besseren Verständnis werden einige kurze Erläuterungen aus vorstehenden Untersuchungen [1] und [2] wiedergegeben:



Zeichnung 1 Von der Ladefläche verlorener Stein, direkter Treffer [Strobl-96]  
Sign 1 Stone lost from the cargo area, direct hit [Strobl-96]

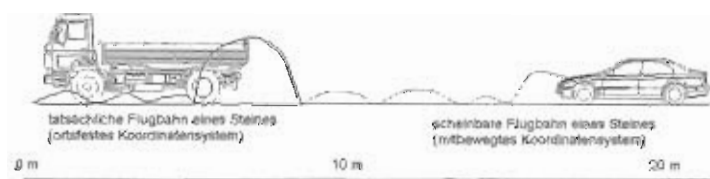
\*Dipl.-Ing. Wolfgang Berner, IbB Expertisen, Ing.-Büro Berner, Schulzendorfer Straße 12, 13467 Berlin  
\*\*Dipl.-Ing. Tino Berner,  
\*\*\*Guido Berner,  
\*\*\*\*Sascha Sommerfeld,  
c/o Ing.-Büro Berner, Veltener Straße 30 A, 16767 Leegebruch

### Direkte (primäre) Treffer

Je nach Bezugssystem des Beobachters unterscheiden sich die Flugbahnen. Bezogen auf einen ruhenden Beobachter fällt beim direkten Treffer der verlorene Stein in einer Parabelbahn in Fahrtrichtung. Physikalisch betrachtet, führt der Stein in der primären Flugphase also die Bewegung eines waagrechten Wurfs mit der horizontalen Geschwindigkeitskomponente  $v_0$  aus, die der Fahrgeschwindigkeit  $v$  des Lkw im Moment des Abwurfs entspricht. (Zeichnung 1)

### Indirekte (sekundäre) Treffer

Unter einem indirekten (sekundären) Treffer versteht man einen Treffer, der durch einen (abgeworfenen) Stein verursacht worden ist, nachdem dieser mindestens einmal vor dem Auftreffen auf das nachfolgende Fahrzeug Bodenkontakt hatte (s. Zeichnung 2). Dieser Fall tritt in der Praxis erfahrungsgemäß häufiger auf als der des direkten Treffers. Der Grund dafür ist, dass bei indirekten Treffern der „Aktionsradius“ des verlorenen Steins wesentlich größer ist, so dass unter Umständen auch Fahrzeuge getroffen werden können, die den Sicherheitsabstand einhalten.



Zeichnung 2 Von der Ladefläche verlorener Stein, indirekter Treffer [Strobl-96]  
Sign 2 Stone lost from the cargo area, indirect hit [Strobl-96]

## 3 Versuchsdurchführung

### Fahrversuch mit dem beteiligten Lastzug

Dazu wurde durch die Autoren eine Vorrichtung konstruiert und gefertigt, mit welcher Steine und andere Gegenstände kontrolliert per Auslösung durch den Lkw-Fahrer auf die Fahrbahn fallen gelassen werden konnten.

### Versuchsaufbau

In Bild 1 ist die Vorrichtung, am Hänger des Lkw befestigt, dargestellt. Es handelt sich um einen Kasten aus Blech, der eine motorisch betriebene untere Klappe aufweist. Die Öffnung der Klappe erfolgt durch Betätigung einer Funkfernbedienung, welche eigens dafür gefertigt wurde.

Im Behälter befanden sich Erdreich sowie ca. 10 - 15 Steine unter-



Bild 1 Versuchsaufbau Lkw  
Fig. 1 Test setup of the truck trailer



Bild 2 Beginn Fahrversuch Lkw  
Fig. 2 Test start of the truck trailer



Bild 3 Fahrversuch Lkw  
Fig. 3 Test with the truck trailer



Bild 4 Fahrversuch Lkw  
Fig. 4 Test with the truck trailer



Bild 5 Fahrversuch Lkw  
Fig. 5 Test with the truck trailer



Bild 6 Fahrversuch Lkw  
Fig. 6 Test with the truck trailer



Bild 7 Fahrversuch Lkw  
Fig. 7 Test with the truck trailer

schiedlicher Körnung (bis zu 80 cm), die zur besseren Sichtbarkeit mit roter Leuchtfarbe eingefärbt waren.

#### Durchführung Fahrversuch mit Lkw

Der Versuch, bei welchem der Lkw mit etwa 65 km/h fuhr (Bild 2), wurde mit einer Videokamera aufgezeichnet. Ein Pkw fuhr in einem Abstand von etwa 25 m hinter dem Lastzug. Zusätzlich wurden Serienbildaufnahmen mit einem digitalen Fotoapparat gefertigt (Bild 3 bis 7).

#### Versuchsergebnis

Es stellte sich heraus, dass die Steine nicht hochgeschleudert wurden. Alle Steine, die aus etwa 3,5 m Höhe auf die Straße fielen, sprangen noch einige Male etwa 10 - 15 cm hoch und rollten dann **in Fahrrichtung des Lkw** aus. Die Steine wurden später wieder aufgesammelt. Die Endlage der meisten Steine war rechts oder links im Straßengraben in einer mittleren Entfernung von 32 m in Fahrrichtung vom Aufschlagort betrachtet. Ein Hochspringen bis in Höhe der Windschutzscheibe konnte bei keinem der Steine bemerkt werden. Es kam jedoch zum Kontakt mit dem Unterboden und dem Frontspoiler bis zu einer Höhe von etwa 30 cm, wo leichte Lackschäden entstanden.

#### Weitere Versuche

##### Versuchsaufbau

In Bild 8 ist der Versuchsaufbau dargestellt. Es handelt sich um den bereits beim Fahrversuch mit dem Lkw verwendeten Kasten aus Blech, der eine motorisch betätigte untere Klappe aufweist. Der Kasten wurde in einer Höhe von etwa 3 m auf einem Pkw Hänger befestigt. Im Blechkasten befanden sich Steine unterschiedlicher



Bild 8 Versuchsaufbau Hänger  
Fig. 8 Test setup of the trailer

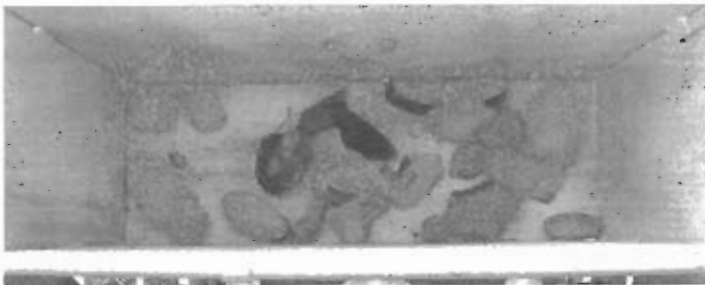


Bild 9 Verwendete Steine  
Fig. 9 Used stones



Bild 10 Fahrversuch mit Hänger bei 60 km/h  
Fig. 10 Test with the trailer with 60 km/h



Bild 11 Fahrversuch mit Hänger bei 60 km/h  
Fig. 11 Test with the trailer with 60 km/h



Bild 12 Fahrversuch mit Hänger bei 60 km/h  
Fig. 12 Test with the trailer with 60 km/h



Bild 13 Fahrversuch mit Hänger bei 60 km/h  
Fig. 13 Test with the trailer with 60 km/h



Bild 14 Fahrversuch mit Hänger bei 60 km/h  
Fig. 14 Test with the trailer with 60 km/h



Bild 15 Fahrversuch mit Hänger bei 60 km/h  
Fig. 15 Test with the trailer with 60 km/h

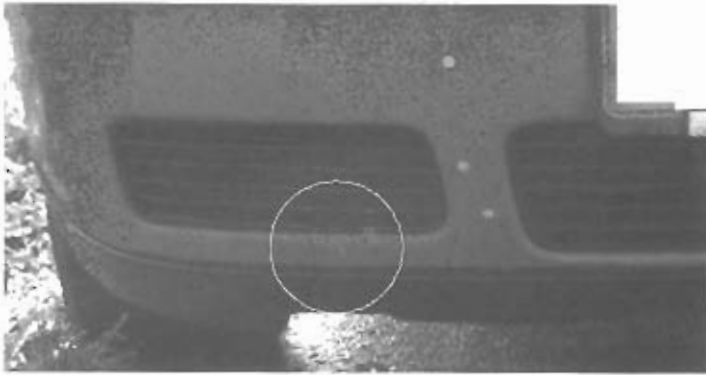


Bild 16 Schaden am VW Polo bei 60 km/h  
Fig. 16 Damage on the VW Polo with 60 km/h

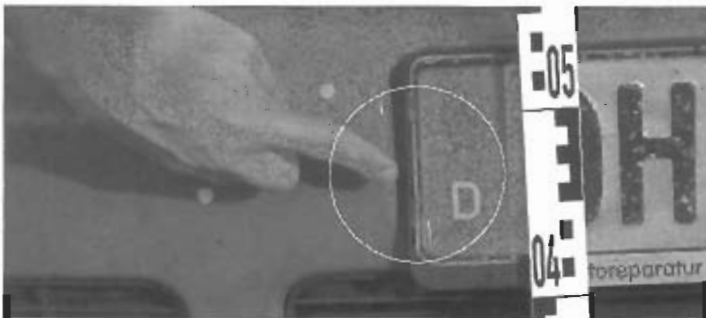


Bild 17 Schaden am VW Polo bei 90 km/h  
Fig. 17 Damage on the VW Polo with 90 km/h



Bild 18 Steine nach Versuch  
Fig. 18 Stones after the test



Bild 19 Stationärer Fallversuch  
Fig. 19 Stationary falling test



Bild 20 Stationärer Fallversuch  
Fig. 20 Stationary falling test



Bild 21 Stationärer Fallversuch  
Fig. 21 Stationary falling test

Körnung (von 2 - 8 cm), welche zur besseren Sichtbarkeit mit roter Leuchtfarbe lackiert wurden (Bild 9). Die Öffnung der Klappe erfolgt hier durch Betätigung einer Funkfernbedienung vom nachfolgenden Pkw.

Als nachfolgender Pkw wurde ein VW Polo mit lackierten Stoßfängern und Außenspiegeln verwendet. Vor den Fahrversuchen wurde der Polo auf vorhandene Altschäden untersucht und diese wurden markiert.

Im Pkw VW Polo und auf dem Hänger wurden Videokameras befestigt, um den Bewegungsablauf der Steine aus verschiedenen Perspektiven aufzeichnen zu können. Zusätzlich wurden die abgeworfenen Steine aus dem Pkw durch Serienfotos mit zwei digitalen Fotoapparaten dokumentiert.

Die Versuche wurden auf einer mit einer Schwarzdecke versehenen Ortsverbindungsstraße, die zur Zeit der Versuche feucht war, mit Geschwindigkeiten von 60, 70, 80 und 90 km/h gefahren. Der nachfolgende Pkw VW Polo fuhr hinter dem Versuchsfahrzeug (Pkw VW Sharan mit Hänger und Versuchsaufbau).

Unmittelbar vor dem Abwurf der Steinladung aus dem Transportbehälter wurde bei jedem Versuch der Sicherheitsabstand zwischen beiden am Versuch teilnehmenden Fahrzeugen auf ca. 30 - 40 m verringert.

#### Versuchsauswertung

##### Auswertung des Fallverhaltens des Schüttguts

Die Auswertung der beim Fahrversuch aufgenommenen Fotos lässt erkennen, dass nach dem primären Aufschlag der Steine, diese bis auf eine Höhe von max. 80 cm von der Straße abprallen, wobei sich die Geschwindigkeitskomponente der Steine in Fahrtrichtung nur unwesentlich verringert. Die Steine bleiben bei diesem Vorgang noch relativ nah beisammen.



Nach dem sekundären Aufprall kommt es dazu, dass erste vereinzelte Steine ihre Bewegungsrichtung abrupt ändern und fast ohne erneutes Abprallen von der Straße nach beiden Seiten in den Straßengraben abgleiten.

Die restlichen Steine geraten in einen turbulenten Zustand, ändern mehrfach willkürlich ihre Bewegungsrichtung, prallen nur noch geringfügig von der Straße ab und verlassen die Fahrbahnmitteln mehr und mehr zu beiden Richtungen. Die Endlagen der Steine nach dem Versuch befinden sich mehrheitlich in den Straßengräben und zu einem kleinen Teil über die gesamte Straßenbreite verteilt.

Die Geschwindigkeit des Versuchsfahrzeugs hatte nur relativ wenig Einfluss auf die Sprunghöhe der abgeworfenen Steine nach dem Erstaufprall. Bei 60 km/h betrug die Sprunghöhe nach dem Aufprall etwa 60 cm, während bei 90 km/h etwa 80 cm erreicht wurden. Die Sprunghöhe wurde nicht gemessen, sondern durch den Autor geschätzt.

Die Steine wurden nach den Versuchen wieder eingesammelt. Dabei konnte beobachtet werden, dass die größeren Steine mehrfach gebrochen waren, während kleinere Steine den Versuch ohne Bruch überstanden (**Bild 18**). Bei den Steinen handelte es sich um ein Gemisch aus Betonbrocken, Feldsteinen, Kalksandstein und Kieselsteinen.

#### Auswertung der Schäden am dem Pkw VW Polo

Generell ist festzuhalten, dass sich alle Schäden im Bereich des vorderen Stoßfängers bzw. an der Frontschürze befanden. Kein Stein erreichte die Windschutzscheibe. Bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 60 km/h wurden am vorderen Stoßfänger auf der rechten Seite ein Lackschaden in der Höhe von 30 cm und eine geringfügige Beschädigung des unlackierten rechten Lüftungsgittereinsatz festgestellt (**Bild 16**). Bei Geschwindigkeiten von 70 und 80 km/h kamen weitere Lackabplatzungen im Bereich des vorderen Stoßfängers hinzu. Die größte Schadenhöhe wurde bei einer Abwurfgeschwindigkeit der Steine von 90 km/h mit etwa 50 cm, repräsentiert durch eine geringfügige Delle im vorderen Kennzeichen, erreicht (**Bild 17**). Die Steine erreichen den Pkw nicht mit ihrer größten Sprunghöhe, da sie bis zum Erreichen des Fahrzeugs mehrfach aufspringen und dabei an Sprunghöhe verlieren. Anders kann es sich bei einem im Gegenverkehr befindlichen Fahrzeug verhalten, da hier eine wesentlich größere Sprunghöhe erreicht wird und zusätzlich eine höhere Energie durch den Aufschlag auf das im Gegenverkehr befindliche Fahrzeug entwickelt wird. Es sind hier also wesentlich größere Schäden zu erwarten. Diese Konstellation wurde jedoch nicht untersucht, da dazu keine Beauftragung bestand und derartige Konstellationen selten vorgetragen werden.

#### Stationärer Fallversuch

Zur Ermittlung der Elastizität der Steine und der Fahrbahn wurde ein stationärer Fallversuch durchgeführt, bei welchem das Schüttgut bei unbewegtem Versuchsaufbau aus einer Höhe von etwa 3 m auf Pflastersteine fielen. Nach dem Aufprall sprangen die Steine etwa 10 - 15 cm hoch und rollten dann zur Seite (Auslaufstrecke 2 - 3 m) aus (s. dazu **Bild 19 bis 21**). Die Sprunghöhe wurde nach Auswertung der Videoaufzeichnung geschätzt.

## 4 Zusammenfassung

Die vorstehend beschriebenen Untersuchungen führten zu folgendem Ergebnis:

1. Das Hochspringen mehrerer von einem Lkw-Hänger fallender Steine mit einer Körnung > 2 cm oder ähnlicher Gebilde auf die Motorhaube und das Dach eines mit angemessenem Sicherheitsabstand folgenden Pkw konnte bis zu Geschwindigkeiten von etwa 90 km/h im Versuch nicht nachgewiesen werden.
2. Mit einer Geschwindigkeit von 70 km/h aus einer Höhe von 3,5 m vom Lkw fallende Steine springen nach dem ersten Auf-

prall lediglich etwa 60 cm hoch und rollen dann in Richtung des Bezugsfahrzeugs aus. Dieser technisch physikalisch begründete Vorgang wurde im Realversuch verifiziert.

**Anmerkung:** Die Versuche werden mit anderen Materialien und verbessertem Versuchsaufbau fortgesetzt. Gegebenenfalls werden auch Gegenverkehrskonstellationen und höhere Abwurfgeschwindigkeiten untersucht. Darüber wird zu einem späteren Zeitpunkt berichtet.

#### Literaturnachweis

- [1] Strobl H.: „Betrachtungen zum Thema Steinschlag“
- [2] Zöphel St.: „Mechanismen des Steinschlags und Ladungssicherung von Schüttgütern im Hinblick auf Schadenfälle im Straßenverkehr“
- [3] Berner W.: Gutachten 71U902G034

### Kfz-Sachverständigenbüro

Seit 1965 renommiertes und größtes SV-Büro mit exklusivem Kundenstamm (Privat / RAC / Gerichte / ADAC / VVD / Allianz / RWE usw.) in NRW-Großstadt sucht aus Altersgründen qualifizierten möglichst ö.b.u.v. Nachfolger.

Bitte schreiben Sie uns, absolute Vertraulichkeit wird zugesichert unter Chiffre 1-11/03 an den Verlag.

#### IMPRESSUM

##### Verlag und Redaktion:

Verlag INFORMATION Ambs GmbH, Obere-Hauptstr. 13, 77971 Kippenheim; Postfach 2 08, 77968 Kippenheim, Tel. 0 78 25 - 87 08 40, Fax 0 78 25 - 87 08 41.

##### Chefredaktion und Anzeigenleitung:

Manuela Ambs Weimann, Tel. 0 78 25 - 87 08 40, Fax 0 78 25 - 87 08 41.

##### Satz und Repro:

Verlag INFORMATION Ambs GmbH, Obere-Hauptstr. 13, 77971 Kippenheim; Postfach 2 08, 77968 Kippenheim, Tel. 0 78 25 - 87 08 40, Fax 0 78 25 - 87 08 41.

##### Druck: Hofmann Druck, Schwarzwaldstr. 2, 79312 Emmendingen.

Erscheinungsform: 12 mal jährlich, ab 1.1.2003 zum jährlichen Bezugspreis:

Inland: 252,00 € zzgl. MWSt. u. Versandkosten,

Ausland: 265,00 € zzgl. evtl. MWSt. u. Versandkosten.

Bezugsform: Jahresabonnement, kündbar ¼ Jahr vor Ablauf des Kalenderjahres.

Anzeigen: Kleinanzeigen: 1 mm hoch - 94 mm breit 2,10 € zzgl. MWSt.

Chiffregebühr 6,00 € zzgl. MWSt. Preise für Großanzeigen und Beilagen auf Anfrage.

##### Bankverbindung:

Sparkasse Offenburg/Ortenau, Kto.-Nr. 76087 305 (BLZ 664 500 50) IBAN DE94 6645 0050 0076 0873 0510FG, BIC: SOLADES10FG

Postscheckkonto Karlsruhe, Kto.-Nr. 1405 35-755 (BLZ 660 100 75) IBAN DE80 6601 0075 0140 535755, BIC: PBKDEFF

für die Schweiz UBS Basel, Kto. 979.801.01 J (Schweiz).

Der mit dem Namen des Verfassers oder Berichterstatters gekennzeichneten

Artikel stellen nicht unbedingt die Meinung der Redaktion dar. Redaktionelle

Kommentare sind als solche gekennzeichnet. Bei Nichterscheinen der

Fachzeitschrift „Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik“ durch höhere Gewalt

besteht kein Anspruch auf Lieferung oder Rückzahlung des Bezugsgeldes.

Der Verlag haftet nicht für unverlangt eingesandte Manuskripte. Eine

Rückgabe kann nur erfolgen, wenn Rückporto beigelegt ist. Mit der Übersendung

eines Manuskriptes bietet der Autor dem Verlag das ausschließliche

Verlagsrecht für die Zeit bis zum Ablauf des Urheberrechts an. Das Angebot

erlischt, wenn der Verlag es nicht innerhalb von 6 Monaten durch schriftliche

Erklärung oder durch Abdruck des Manuskriptes annimmt. Mit der Annahme

erwirbt der Verlag auch die Befugnis zur Einspeicherung in eine Datenbank

sowie das Recht der weiteren Vervielfältigung in Druckwerken seiner Wahl.

Die in dieser Fachzeitschrift abgedruckten Beiträge sind urheberrechtlich

geschützt. Urheberschutz besteht auch für die abgedruckten

Gerichtsentscheidungen und ihre Leitsätze, da sie für diese Zeitschrift erar-

beitet oder redigiert worden sind. Alle Rechte, auch die der weiteren

Verwendung liegen beim Verlag INFORMATION Ambs GmbH.

Vervielfältigungen, Übersetzungen, Kopien, Nachdrucke, auch auszugsweise,

sind nur mit besonderer Genehmigung des Verlages unter

Quellenangabe statthaft.

Erfüllungsort und Gerichtsstand ist 77933 Lahr/Schw.

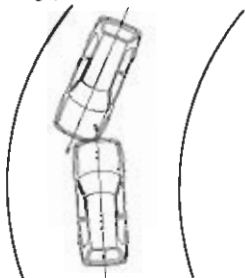
# Unfallforschung, Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion

## 2. überarbeitete Auflage

Hermann Appel  
Gerald Krabbel  
Dirk Vetter

### Unfallforschung, Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion

(2. Auflage)



 Verlag INFORMATION Ambs GmbH

von Prof. Dr. Appel, Dr.-Ing. Krabbel, Dipl.-Ing. Vetter  
216 Seiten – 17,5 x 24 cm – 73 € incl. MWSt. – ISBN 3-88550-030-2

Das Buch beschreibt die technischen Aspekte der Unfallaufklärung beim Pkw-Unfall im Straßenverkehr. Auf medizinische und rechtliche Fragestellungen wird nur insoweit wie nötig eingegangen. Zentrales Anliegen des Buches ist die Erläuterung moderner technischer Rekonstruktionsverfahren vor dem Hintergrund der klassischen Mechanik mit Impulssatz, Drehimpulssatz und Zusatzhypothesen. Theorie und Anwendung sollen verbunden, Prinzipielles und Methodisches betont werden. Die Grundlagen für das Verständnis von modernen Unfallrekonstruktionsverfahren, ob analytisch, grafisch oder rechnergestützt angelegt, ob in Vorwärts- oder Rückwärtsrechnung gehalten, ob auf Stoßrechnung oder Kraftrechnung basierend, werden dargestellt und an anwendungsnahen Beispielen demonstriert. Die stetige Weiterentwicklung der Verfahren bis in die heutige Zeit der PC-Unterstützung wird nachgezeichnet.

In dieser zweiten Auflage des erstmals im Jahre 1994 erschienenen Buches werden die Abschnitte Unfallsystematik und Unfallforschung neu gestaltet, der Abschnitt Unfallmechanik verbessert und der Abschnitt Unfallrekonstruktion erweitert. Definitionen werden präzisiert, Daten aktualisiert, zwischenzeitlich erschienene Veröffentlichungen und Bücher werden berücksichtigt. Behandelt werden in diesem Buch auch – nur scheinbar – nachgeordnete Fragen, über die oft hinweggegangen wird, so zum Beispiel: Wo verstecken sich bei dem grafischen Verfahren der Unfallrekonstruktion die Zusatzhypothesen? Wie ist bei rechnerischen Verfahren

das Koordinatensystem zu legen? Welche Konsequenzen ergeben sich daraus, dass der Stoßantrieb keine eingepreßte, sondern eine Reaktionskraftgröße ist? Das Buch basiert auf langjähriger Forschung und Lehre im Fachgebiet Kraftfahrzeuge der Technischen Universität Berlin. Den Studenten der Fachrichtungen Fahrzeugtechnik, Sachverständigenwesen oder Fahrzeugsicherheit dient es in Teilen als Vorlesungsskript zu den Vorlesungen „Unfallforschung und Unfallmechanik“ sowie „Biomechanik und Kraftfahrzeugsicherheit“.

Das Buch wendet sich vornehmlich an Unfall- und Kraftfahrzeug-Sachverständige, seien sie selbstständig oder für Versicherungen bzw. Überwachungsvereine tätig. Gerade dem erfahrenen, in der Praxis tätigen Unfallgutachter soll mit dem Buch die Rückbesinnung auf die physikalischen Grundlagen der von ihm entweder explizit oder, in Software eingebunden, implizit angewandten Verfahren erleichtert werden. Darüber hinaus möge das Buch den Studenten an Universitäten und Hochschulen bei ihrer Ausbildung behilflich sein. Schließlich soll das Buch jungen Ingenieuren den Einstieg in die technische Unfallrekonstruktion, Unfallanalyse und Unfallforschung erleichtern und deren Verbindungen zur Sicherheitsforschung aufzeigen.



Ich wir) bestelle(n) verbindlich ..... **Exemplar(e)** :  
**Unfallforschung, Unfallmechanik und  
Unfallrekonstruktion** für **73 €** incl. MWSt. zzgl. Vers.Kosten

**Fax 0 78 25 - 87 08 41**

Verlag  
INFORMATION Ambs GmbH  
Postfach 208  
77968 Kippenheim

Name  Beruf

Straße  Nr.

PLZ  Ort

Datum und Unterschrift   
Erfüllungsort und Gerichtsstand ist 77933 Lahr