



**Institut für Rechtsmedizin und Verkehrsmedizin  
im Universitätsklinikum  
Heidelberg**



## Schmerzfremde Testpersonen

*Dummies, die an Stelle des Menschen den Crash erproben, im Dienste der Sicherheit im Fahrzeugbau zum Beispiel, müssen auf den Aufprall auch "reagieren" wie ein Mensch. Sie zu konstruieren, ist eine Wissenschaft für sich, Medizin und Ingenieurwissenschaften gehen dabei Hand in Hand. Fuhr anfänglich noch ein Sandsack stellvertretend für den Fahrer, so ist es heute eine Puppe mit Menschenmaß, nicht nur was Körpergröße und Gewicht betrifft, sondern auch Bewegungsweisen und Winkel der Gelenke oder die physiologischen Eigenschaften verschiedener Gewebe. Am Institut für Rechtsmedizin erforschen Rainer Mattern, Florian Schüler und Dimitros Kallieris, wie man das dynamische Antwortverhalten von Dummies mit möglichst hoher Realitätsnähe sicherstellt, um daraus verlässliche Voraussetzungen über das Verletzungsrisiko beim Menschen machen zu können.*

**RUPERTO  
CAROLA**  
Forschungsmagazin  
der 2/96  
Universität Heidelberg

Weiteres: [http://www.uni-heidelberg.de/uni/presse/RuCa2\\_96/mitbild/mattern.htm](http://www.uni-heidelberg.de/uni/presse/RuCa2_96/mitbild/mattern.htm)

## Traumatomechanische Forschung an Leichen zum Schutz der Lebenden

R. Mattern, D. Kallieris, F. Schueler

(Aus der Informationsbroschüre des Instituts für Rechts- und Verkehrsmedizin des Universitätsklinikums Heidelberg; zu weiteren Aufgaben des Instituts, siehe

<http://www.med.uni-heidelberg.de/rechtmed/allg-trm.htm> )



## Traumatomechanische Forschung ist eine Grundlagenwissenschaft

Traumatomechanische Forschung ist eine eigenständige interdisziplinäre Grundlagenwissenschaft mit spezifischen Fragestellungen, Methoden und Zielen. Gegenstand ist die Untersuchung und Klärung der mechanischen Belastbarkeit des menschlichen Körpers. Jede Struktur des Körpers hat mechanische Materialeigenschaften, die durch genetische und erworbene Faktoren geprägt werden. Man kann diese Eigenschaften durch technisch-mechanische Begriffe beschreiben:

So besitzt etwa jeder Oberschenkelknochen eine Druckfestigkeit gegenüber Längsbelastungen. Wird sie überschritten, so kommt es zum Knochenbruch. Der Oberschenkel hat auch eine Druckfestigkeit gegenüber Querbeltungen und weitere Belastungsgrenzen gegenüber Zug, Biegung, Scherung und Torsion. Mechanische Kennwerte besitzen auch der Schädel und jeder Knochen, aber auch Sehnen, Bänder, Muskeln, Organe, Blutgefäße, Nerven, Gehirn.

Wenn die Belastungsgrenzen überschritten sind, entstehen Verletzungen.

## **Anwendung traumatomechanischer Erkenntnisse**

Zu den elementaren Aufgaben der Rechtsmedizin in der Rechtspflege gehört die Rekonstruktion und Beurteilung zunächst unbekannter Tatgeschehen aus der Analyse von Verletzungen. Voraussetzung sind traumatomechanische Erkenntnisse, deren wissenschaftliche Erarbeitung und Vermittlung das Heidelberger Institut für Rechtsmedizin als einen Schwerpunkt gewählt hat.

Traumatomechanische Erkenntnisse tragen aber auch zur Prävention und Reduktion von Verletzungen bei, wenn sie bei der Entwicklung und Verbesserung von Sicherheitssystemen im Straßenverkehr (z.B.: Sicherheitsgurte, Airbag, Kinder-Rückhaltesysteme, Schutzhelm, energieaufnehmende Fahrzeugstrukturen), bei der Arbeit (z.B.: Persönliche Schutzausrüstungen, kollektive Schutzsysteme) und der Gestaltung der Umwelt (z. B.: Leitplanken, Pfosten, Straßenabgrenzungen) berücksichtigt werden. Deshalb wird am hiesigen Institut auch interdisziplinäre Unfallforschung betrieben.

## **Methoden der Traumatomechanik**

Um traumatomechanische Erkenntnisse zu gewinnen, müssen im interdisziplinären Ansatz die drei wesentlichen Faktoren des Verletzungsgeschehens möglichst genau erfasst werden:

- Art und Intensität der mechanischen Belastung
- Art und Schwere der Verletzungen
- Individuelle traumatomechanische Belastbarkeit

Diese Faktoren können für zahlreiche Fragestellungen am besten durch Untersuchungen an Leichen bestimmt werden.

Dummies sind für diese Grundlagenforschung nicht geeignet - traumatomechanische Erkenntnisse sind vielmehr notwendige Voraussetzung für die Konstruktion und Verbesserung von Dummies als Meßinstrumente des Verletzungsrisikos - und die heute verwendeten Dummies bedürfen stetiger Anpassung an die Erfordernisse der sich ändernden Fahrzeuge und Sicherungseinrichtungen.

Die Analyse von Unfallereignissen kann traumatomechanische Forschung noch nicht ersetzen, weil es bisher nicht gelingt, die mechanischen Belastungsgrößen am Körper hinreichend zuverlässig zu bestimmen. Unfallforschung ist für traumatomechanische Forschung aber unverzichtbar, denn sie deckt traumatomechanische Erkenntnislücken auf und beeinflusst so die traumatomechanischen Forschungsschwerpunkte. Außerdem erweist sich im Unfallgeschehen die Konsistenz traumatomechanischer Prognosen.

## **Ethische und rechtliche Voraussetzungen**

Forschungen an der Leiche haben in der Medizin eine Jahrhunderte alte Tradition.

Die Entmythologisierung von Krankheiten und die Entwicklung einer naturwissenschaftlichen Medizin basieren ganz wesentlich auf Untersuchungen an Leichen - eine Methode, die noch heute in Pathologie und Anatomie unumstritten ist.

Eingriffe in die Unversehrtheit der Leiche bedürfen der Rechtfertigung:

Sie sind ethisch vertretbar, nach unseren Verfassungsgrundsätzen zulässig und nach meiner Auffassung geboten, wenn sie den Schutz der Lebenden vor Krankheiten und Verletzungen auf anders nicht oder nicht rechtzeitig erreichbare Weise verbessern.

Weiter bedürfen sie der Zustimmung der Hinterbliebenen oder eines Leichenvermöchtnisses.

Diese Voraussetzungen werden bei traumatomechanischen Forschungen erfüllt.

A. King, der Direktor des biomechanischen Forschungszentrums an der Wayne-State University USA hat unter konservativen Annahmen geschätzt, dass die Umsetzung traumatomechanischer Erkenntnisse an Leichen bisher je untersuchte Leiche 60 Menschenleben gerettet hat und ein Vielfaches an Verletzungen verhindert oder gemildert hat.

Zum Vergleich: Die Transplantation der Organe von Hirntoten, ein neuerdings wieder mythologisiert und deshalb umstrittener Eingriff in die Unversehrtheit des sterbenden Menschen, rettet in der Regel ein oder zwei Menschenleben.

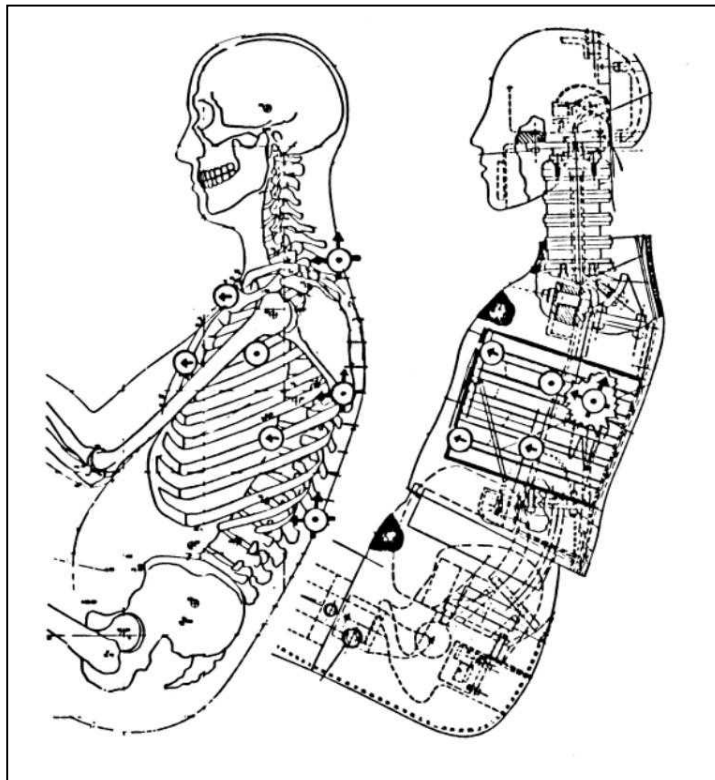
**- Ist sie wissenschaftlich stringent? -**

R. Mattern, Institut für Rechtsmedizin, Heidelberg

### **Zusammenfassung**

Die traumatomechanische Forschung an Leichen geriet im November 1993 in die Schlagzeilen, als die Bildzeitung in teilweise stark verfälschender und tendenziöser Weise über sogenannte Crashtests mit Leichen am Institut für Rechtsmedizin der Universität Heidelberg berichtete. Rechtliche und ethische Gesichtspunkte solcher Forschungen, aber auch ihre wissenschaftliche Bedeutung wurden in der Folge kontrovers diskutiert.

Aus Sicht eines Wissenschaftlers, der seit mehr als 20 Jahren mit dieser Forschung befasst ist, wird nach kurzen Hinweisen zur Entwicklung traumatomechanischer Forschung in Deutschland bis zu ihrer Infragestellung als Folge der öffentlichen Debatte im November 1993 die Position zu ethischen und rechtlichen Fragen dargelegt. Danach sind mechanische Belastungen am Körper Verstorbener bei Vorliegen wirksamer Zustimmungen nicht nur ethisch und rechtlich vertretbar, sondern aus ärztlicher Verpflichtung sogar geboten, weil sie dazu beitragen, den Einzelnen und die Bevölkerung besser vor Tod und Verletzungen, insbesondere im Straßenverkehr, zu schützen.



Wesentliche Bedeutung hat in diesem Zusammenhang der Vergleich traumatomechanischer Untersuchungen an Leichen mit klinisch-wissenschaftlichen Sektionen, anatomischen Präparierübungen und Organtransplantationen.

Im Hauptteil werden die wissenschaftlichen Grundfragen der Traumatomechanik ausführlich dargestellt: Es geht um die Erforschung des quantitativen Zusammenhangs zwischen Belastung und Verletzung und damit um Grundeigenschaften des menschlichen Körpers, deren Kenntnis für die Entwicklung von Schutzsystemen,

aber auch von physikalischen und mathematischen Modellen des Körpers unerlässlich ist. Methoden, Modellansätze, Grenzen der Erkenntnis und alternative Möglichkeiten werden besprochen. Im Ergebnis stellt sich die traumatomechanische Untersuchung am Körper von Verstorbenen als der beste Modellansatz dar, Basisdaten über die mechanischen Eigenschaften des menschlichen Körpers zu gewinnen. Diese Ergebnisse haben nicht nur grundlegende Bedeutung für die Verletzungsprävention, sondern auch für die Rechtssicherheit bei der Rekonstruktion von Unfallereignissen.

Der Schlussteil befasst sich mit der Relevanz dieser Forschung und der Notwendigkeit ihrer Weiterführung: Es wird gezeigt, dass zahlreiche Fragen noch nicht hinreichend geklärt sind, z.B. die Verletzungskriterien und Grenzwerte des Schädelhirntraumas, des Halswirbelsäulentraumas, aber auch die physikalische Simulation der Weichteile durch Dummies oder die Computersimulation des mechanischen Verhaltens des menschlichen Körpers durch Finite Elemente Methode-Modelle, die für zukünftige Sicherheitsforschungen aus ökologischer und ökonomischer Sicht zunehmende Bedeutung gewinnen werden. Befragte Experten der Sicherheitsforschung haben die Erforderlichkeit weiterer Untersuchungen zur Klärung solcher Fragen betont.

Ein abschließender Vergleich traumatomechanischer Forschung mit der Herz-Kreislauf- und Krebsforschung relativiert die eher marginal anmutende Bedeutung von jährlich weltweit etwa 50 bis 100 traumatomechanischen Untersuchungen am Körper von Verstorbenen gegenüber mehr als 60.000 klinisch-wissenschaftlichen Obduktionen allein in Deutschland, die unter vergleichbaren ethischen, rechtlichen und wissenschaftlichen Voraussetzungen vorgenommen werden. Im Hinblick auf den Verlust an Lebensjahren durch Verkehrsunfälle, der jährlich mindestens die gleiche Größenordnung hat, wie der durch Todesfälle an Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen, steht es für den Autor nicht in Zweifel, dass traumatomechanische Forschung weitergeführt werden muss.

## **Schlussfolgerungen**

- 1) Traumatomechanische Forschung am Körper von Verstorbenen ist eine wissenschaftlich etablierte Methode zur Ermittlung von Grundlagendaten über das mechanische Verhalten des menschlichen Körpers bei der Verletzungsentstehung. Die menschliche Leiche ist für diese Fragestellung das beste Modell des Lebenden; die Forschungsergebnisse sind unter Beachtung der Modellrestriktionen zu interpretieren
- 2) Die Ergebnisse traumatomechanischer Forschung werden auf internationalen Kongressen der wissenschaftlichen Kritik ausgesetzt und in begutachteten Organen publiziert. Zweifel an der wissenschaftlichen Stringenz dieser Forschungsmethode müssen deshalb substantiiert und am Detail konkretisiert vorgetragen werden.

- 3) Die Erkenntnisse dieser Forschung sind für die Verletzungsprävention, für die Konstruktion physikalischer (Dummy) und mathematischer Modelle des Menschen sowie für die Definition von Verletzungsmechanismen, Verletzungskriterien und Verletzungsgrenzen von grundlegender Bedeutung. Sie können auf andere Weise nicht erzielt werden. Weiter fördern sie die Rechtssicherheit bei der forensischen Rekonstruktion von Unfallereignissen.
- 4) Entgegen anderslautender Darstellungen in den Laienmedien sind wesentliche Fragen der Traumatomechanik noch nicht gelöst: Verletzungskriterien und Grenzwerte für das Schädelhirntrauma, die Halswirbelsäule, für Ferse und Unterschenkel sowie die inneren Organe sind ebenso in der Diskussion wie die Berücksichtigung des mechanischen Weichteilverhaltens (Muskulatur, große Organe), das von derzeitigen Dummies noch völlig unzureichend simuliert wird. Dies wurde von allen befragten Experten bestätigt.
- 5) Auch zukünftige traumatomechanische Forschungen am Körper Verstorbener werden aus den genannten Gründen wesentlich zum Fortschritt medizinischer Erkenntnisse für den Schutz von Leben und Gesundheit der Bevölkerung beitragen. Deshalb sind sie unter den gleichen rechtlichen Prämissen wie klinisch-wissenschaftliche Sektionen oder Organtransplantationen (Freiwillige Zustimmung nach Aufklärung) ethisch vertretbar und ärztlich geboten.
- 6) Eine Verzögerung dieser Forschung führt dazu, dass klärungsbedürftige wissenschaftliche Fragen später gelöst und erst mit entsprechender Latenz technologisch umgesetzt werden können. Auf diese Weise wird der im Risiko stehenden Bevölkerung die Optimierung von Schutzsystemen vorenthalten, vermeidbare Todesfälle und Verletzungen werden in Kauf genommen

Mit Sorge wird die Beeinflussung der öffentlichen Meinung durch journalistische Bedenkenräger und Interessensgruppen zur Kenntnis genommen. Sie nutzen die Medien zu gezielter Desinformation und Ansprache irrational motivierter Ängste, um moderne medizinische Möglichkeiten der Heilung (z.B. Organtransplantation, Hornhaut- oder Dura-Übertragung) oder der Erforschung besserer Präventiv- und Heilungsmöglichkeiten (Gen-Therapie, traumatomechanische Forschung) als abträglich für die Würde des Menschen und seine Persönlichkeitsrechte in Frage zu stellen.

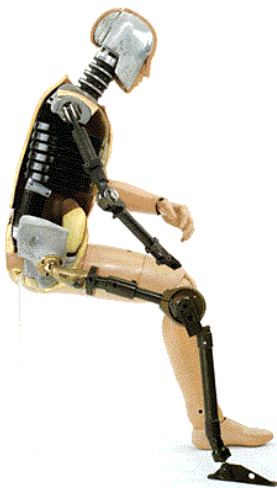
Es ist an der Zeit, dass wissenschaftliche Fachgesellschaften, politische Entscheidungsträger und der Gesetzgeber auf dem Boden heutiger wissenschaftlicher Erkenntnisse mit rationalen, dem Lebenden, der Rechtsstaatlichkeit sowie der Ökologie und Ökonomie verpflichteten Argumentationen den Rahmen ärztlichen Forschens an der Leiche verbindlich definieren. Im Vordergrund muss dabei die Frage stehen, ob es mit Blick auf Würde und Persönlichkeitsrechte ethisch vertretbar ist, den Lebenden die genannten Möglichkeiten der Heilung und des Erkenntnisfortschritts zur Verbesserung des Schutzes vor Krankheit und Verletzung vorzuenthalten.



*Technologische Biomechanik u. Unfallforschung*

## ***Anthropomorphe Versuchspuppen – Traumatomechanische Messwerkzeuge*** *Mit Hilfe von Dummies zum optimalen Verletzungsschutz*

Wissenschaftsmarkt der Universität, 8. Juni 2002



Auf der Grundlage von Methodik und Ergebnissen interdisziplinär durchgeführter traumatomechanischer Forschungsarbeiten am Institut für Rechts- und Verkehrsmedizin werden interaktive Präsentationen rund um den Dummy geboten.

Im Mittelpunkt stehen leicht verständliche Ausführungen zu Wegen und Zielen traumatomechanischer Grundlagen- und Anwendungsforschung und zur Umsetzung von Ergebnissen dieser Forschung, deren Nutzen für jeden Einzelnen unserer mobilen Gesellschaft im Schutz vor Verletzungen liegt.

Hierbei kommt den anthropomorphen Versuchspuppen als traumatomechanischen Messwerkzeugen - den Dummies - besondere Bedeutung zu.

Aber wer oder was ist ein Dummy, wie ist er gestaltet, wie funktioniert er, wie wird er eingesetzt? Welchen Regeln und Anforderungen muss er genügen und wo liegen seine Grenzen?

Die Anforderungen an die Optimierung der Fahrzeuginnensicherheit bringen eine ständige Anpassung der Körpersegmente der Dummies an die Kinematik und Dynamik des Menschen mit sich. Dafür ist eine weltweite Forschung notwendig.

Im Zentrum der Präsentation wird daher ein Dummy stehen - besser gesagt sitzen - und er wird bei entsprechend gestellten Fragen persönlich antworten - mit seinen Messstellen.

Es wird mit Hilfe von online dargestellten Messungen verdeutlicht, wie der Dummy bei definierten mechanischen Belastungseinwirkungen (z. B. einem Pendelschlag) reagiert, d. h. welche Belastungsfolgen in ihn wirken: z. B. alternativ mit und ohne Schutzhelm oder Körperprotektoren. - Und die Fragen können von den Besuchern selbst gestellt werden!

**Leitung des Institutes:**  
**Prof. Dr. R. Mattern**

**Leitung Fachgebiete:**  
**Prof. Dr. rer.nat.**  
**Dimitrios Kallieris**  
**Dipl.-Ing.**  
**Florian Schueler**

**Kontakt:**  
e-mails:  
[Rainer\\_Mattern@med.uni-heidelberg.de](mailto:Rainer_Mattern@med.uni-heidelberg.de)  
[Florian\\_Schueler@med.uni-heidelberg.de](mailto:Florian_Schueler@med.uni-heidelberg.de)  
[Dimitrios\\_Kallieris@med.uni-heidelberg.de](mailto:Dimitrios_Kallieris@med.uni-heidelberg.de)

**Partner:**  
**DENTON COE GmbH,**  
**Heidelberg**

**MCC smart GmbH,**  
**Renningen**

**Bundesanstalt für**  
**Straßenwesen**  
**Bergisch-Gladbach**

**Forschungsvereinigung**  
**Automobil-Technik,**  
**Frankfurt**

**NHTSA, Washington DC**





# **Response and Vulnerability of the Ankle Joint in Simulated Footwell Intrusion Experiments**

A Study with Cadavers and Dummies

D. Kallieris, H. Riedl, R. Mattern

The prevention of lower extremity injuries to front seat car occupants is a priority because of their potential to cause long term impairment and disability. To determine the types and mechanisms of lower extremity injuries in frontal collisions, studies under controlled test conditions are needed. Sled tests using belt restrained cadavers and dummies were conducted, in which footwell intrusion was simulated via a plane surface or simulated brake pedal. Human cadavers in the age range from 30 to 62 years and Hybrid III dummies were used.

The footwell intrusion had both translational (135 mm) and rotational (30 degrees) components. Maximum footwell intrusion forces and accelerations were measured. The lower legs were instrumented with accelerometers and a "six axis" force-moment transducer was mounted in the mid shaft of the left tibia. Maximum footwell intrusion forces between 7.4 and 20 kN and accelerations between 31 and 132 g were measured, with the greater values corresponding to the dummy experiments. The maximum axial forces in the tibia amounted to 3.4 – 4.9 kN and the resultant maximum moments were between 61 and 450 Nm. The dummies exhibited significantly higher values than the cadavers.

In the cadaver tests the ankle was dorsiflexed from a neutral position by between 55 and 66 degrees due to the intrusion. The forcing of the ankle joint beyond its normal maximum dorsiflexion angle of approximately 20 degrees results in cartilage contusions, shearing off of the talus and the tibia, fractures of the medial and lateral malleoli, and laceration of the spring ligament. The degree of injury severity depended upon the amount of dorsiflexion and the age. The brake pedal simulation resulted in greater dorsiflexion than the plate intrusion and thereby in a higher injury severity.

# Biomechanische Bewertung der Euro-NCAP-Einstufungskriterien

## Untersuchungen an Freiwilligen und Dummies

D. Kallieris, B. Lorenz, R Mattern

Um ein Dummy-Kalibrierpendel der Firma Endevco Deutschland zur Verfügung. Die Anprallfläche ( $\varnothing_p = 150$  mm) war mit einer 30 mm dicken Polsterung (Ensolite) versehen, die Pendelmasse die Sinnhaftigkeit der Bewertung mit der Farbe „grün“ des Euro-NCAP-Testverfahrens zu untersuchen, wurden Belastungsversuche mit Hybrid-III-Dummies und Freiwilligen durchgeführt. Belastet wurden der Thorax (frontal), das Knie (frontal), der obere Bereich des Unterschenkels (frontal) und der Fuß orthogonal. Zur Belastung des Thorax, des Knies und des Unterschenkels stand betrug 14 kg. Die Belastungsgeschwindigkeit lag zwischen 1-4 m/s. Neben der Pendelgeschwindigkeit wurde die Verzögerung gemessen und die Kraft aus der Geschwindigkeit und der Pendelmasse berechnet. Die Dummies waren an den Standardstellen mit Meßaufnehmern (Beschleunigungen, Kräfte, Momente und Deformation) ausgerüstet, die Freiwilligen nur mit Beschleunigungsaufnehmern an der Körperperipherie instrumentiert. Darüber hinaus wurden Fallversuche mit Dummies mit instrumentierten Beinen und Meßschuhen sowie Sprungversuche mit Freiwilligen, die ebenfalls Meßschuhe trugen, durchgeführt. Insgesamt standen 16 Freiwillige (9 männliche, 7 weibliche) zur Verfügung; es wurden 359 Versuche (121 mit Dummies und 238 mit Freiwilligen) durchgeführt.

Im wesentlichen zeigt der Dummy reproduzierbare Werte, die bei Erhöhung der Belastung linear zunehmen. Im Vergleich zu den Freiwilligen zeigt der Dummy allerdings höhere Meßwerte, die auf die größere Steifigkeit des Meßsystems Dummy zurückzuführen sind. Die Thoraxdeformation von 22 mm, die als Grenzwert des grünen Bereichs des Euro-NCAP gilt, wurde am Dummy durch Nachfahren einer in der Literatur beschriebenen Freiwilligen-Belastung gemessen (Patrick, 1981).

Anhand der Knie- und Unterschenkelbelastungen mit den Freiwilligen können keine direkten Vergleiche zu den Euro-NCAP-Einstufungskriterien gezogen werden. Die von den Freiwilligen beschwerdefrei tolerierten Belastungen lagen auf einem geringeren Niveau.

Die Überprüfung des Tibia-Index und des TCFC (Tibia Compression Force Criterion) zeigt, daß der für den „grünen“ Bereich als Schwellenwert im Euro-NCAP vorgeschlagene Tibia-Index von 0,4 bereits bei einer Fallhöhe von 20 cm bei den Dummy-Fallversuchen erreicht wurde. Die Tibia-Kompressionskraft von 2 kN, die ebenfalls als Obergrenze für den „grünen“ Bereich des Euro-NCAP vorgeschlagen wird, wurde sogar schon bei einer Fallhöhe von 10 cm festgestellt. Die Freiwilligen tolerierten eine Schuhkraft von 4 kN ohne bleibende Beschwerden. Es konnte bei den Dummy-Versuchen eine gute Übereinstimmung der gemessenen Schuhkräfte und der Tibiakraft  $F_z$  festgestellt werden. Bei einer Fallhöhe von 40 cm wurde an der Upper Tibia des Dummy ein Tibia-Index von 0,8 ermittelt. Die Sprunghöhe der Freiwilligen, die ohne bleibende Beschwerden toleriert wurde, lag bei 47,5 cm. Daraus ist zu schließen, daß die Schwellenwerte im grünen Bereich vom Tibia-Index 0,4 und des TCFC 2 kN des Euro-NCAP zu niedrig angesetzt sind. Es wird empfohlen, die Einstufungskriterien für den Bereich der unteren Extremitäten zu überarbeiten und den Tibia-Index auf einen Wert  $\geq 0,8$  und das TCFC auf  $\geq 4$  kN zu erhöhen, solange das Instrumented Leg in seiner derzeitigen Ausführung Verwendung findet.

Darüber hinaus werden zur Überprüfung des Meßmittels Dummy Vergleichsuntersuchungen mit ca. 3-5 Dummies des Typs Hybrid III angeregt. Es ist zu erwarten, daß Meßwertunterschiede bei gleichen Belastungen in der Größenordnung von 20-25% auftreten können. Für die Festlegung und Beurteilung von Einstufungskriterien wäre dies von großer Bedeutung, da u.U. die Streubreite der dummybedingten Einflüsse größer sein kann als die Bandbreite der Ratingstufen der Kriterien.

# Response and Vulnerability of the Upper Arm through Side Air Bag Deployment

D. Kallieris, A. Rizzetti, R. Mattern  
University of Heidelberg

S. Jost, P. Priemer, M. Unger  
AlliedSignal

The number of passenger cars equipped with side air bags is steadily increasing. With the aim of investigating the mechanical responses and the injuries of the arm under the influence of a side air bag, tests in probably higher injury risk configurations with dummies and cadavers were performed.

The air bag was installed at the outer side of the seat back, with the subject seated in the driver or front passenger seat of a passenger car. During the inflation of the air bag, the left or right forearm of the subject was positioned on the arm rest while the upper arm made contact with the seat back edge. The volume of the thorax air bag was 15 litres and for the thorax-head air bag 28 litres. The dummy was instrumented at the thorax c.g., shoulder, elbow and wrist with triaxial accelerometers. In the cadaver, triaxial accelerations in three orthogonal directions were measured at the upper and the lower humerus, the upper radius and the lower radius and the first thoracic vertebrae. Bending tests on three humeri was performed to characterise the mechanical properties of the bone.

Two high speed cameras with a frame rate of 1000 or 2000 frames/secs were used in order to record the deployment phase as well as the arm movement.

During the post test film review it was determined, that the interaction of the Hybrid III dummy with the Side Air Bag (SAB) was different from that of the cadaver. In all of the dummy tests, a clockwise rotation of the forearm between 20° and 90° occurred with a simultaneous slip-through of the air bag between the arm and the vehicle B-pillar/door trim. The general motion of the cadaver's arm was different to the dummy due to the different behaviour of the airbag.

The duration of the time-histories for the resultant accelerations varied between 10 and 15 ms. For the cadavers, the highest acceleration values were measured at the humerus with a maxima between 193 and 334 g, the lowest accelerations were measured at the Th1 with a maximum between 13 and 26 g. The dummies showed the highest values at the elbow and the wrist. In cadaver tests acceleration values were clearly than in the dummy tests.

The maximum bending moments for the three humeri were between 130 and 148 Nm. In only one case did the exposed humerus fracture, due to cushion fabric failure and the brittle condition of the bone. In a second case, a front rupture of the shoulder joint capsule with subluxation of the joint (arthritic joint) was observed.

The results indicate that even old people can endure the inflation of a side air bag without suffering humerus fractures.

# On the Synergism of the Driver Air Bag and the 3-Point Belt in Frontal Collisions

D. Kallieris, A. Rizzetti, R. Mattern

University of Heidelberg

R. Morgan, R. Eppinger

National Highway Traffic Safety Administration

L. Keenan

Conrad Technologies Inc.

The number of passenger vehicles with combined 3-pointbelt/driver air bag restraint systems is steadily increasing. To investigate the effectiveness of this restraint combination, 48kph frontal collisions were performed with human cadavers. Each cadaver's thorax was instrumented with a 12-accelerometer array and two chest bands. The results show, that by using a combined standard 3-point belt (6% elongation)/driver air bag, the thoracic injury pattern remained located under the shoulder belt. The same observation was found when belts with 16% elongation were used in combination with the driver air bag. Chest contours derived from the chest bands showed high local compression and deformation of the chest along the shoulder belt path, and

***suggest the mechanism for the thoracic injuries. On the other hand, in tests where the air bag was the only available torso restraint, forces were distributed uniformly over the front of the chest; high local compression/deformation and injuries were reduced. This study asks if it is possible to obtain both the thoracic injury mitigating benefits of an air bag only restraint and the all-impact-direction benefits of the belt from a combination restraint system by adding a force limiter to the shoulder belt. For this reason, tests with force limiters were performed. Initially, the investigation was carried out with Hybrid III dummies using two different levels of force limiters: 4 kN and 5 kN. The force limiter with the level of 4 kN showed, through examination of the chest band contours, a more baglike uniform compression of the chest, with the belt effect only slightly pronounced. The chest compressions were 4 to 8 cm, and the resultant spinal accelerations were 30 to 40 g's. By using the same restraint combination and force limiter, comparable vertebral accelerations and chest compressions were measured in cadaver testing. No injuries were found in the cervical spine and only an AIS 1 was observed in the thorax, for the age range of 60 to 65 years. The results also suggest that when a driver air bag is combined with a 3-point belt system that limits the torso belt loop load to 4 kN, additional injury mitigation benefits for both the cervical spine and the thorax are obtained in frontal collisions. Analytical simulations were also conducted using different size occupants in both the baseline and the optimized belt/air***

bag restraint and in other crash conditions. These simulations suggest the harmonized belt/air bag also improves safety performance for other than mid-sized male occupants and does not adversely affect the performance of the restraint system in other prevalent crash configurations.

# Verhalten des EUROSID beim 90°-Seitenaufprall im Vergleich zu PMTO sowie US-SID, HYBRID II und APROD

D. Kallieris, R. Mattern, W. Härdle

## Gekürzte Zusammenfassung

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die „Biofidelity“ (mensenähnliches Belastungsverhalten) und die „Repeatability“ (Wiederholbarkeit der Ergebnisse unter gleichen Kollisionsbedingungen) des EUROSID - Dummy in Belastungsverhalten und Kinematik bei der 90° Pkw/Pkw-Seitenkollision zu untersuchen und mit Ergebnissen von PMTO (Postmortale Test-Objekte- und anderen Dummy-Tests ( US-SID, Hybrid II, APROD; Forschungsberichte 36 und 60 der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT)) zu vergleichen.

Dazu wurden 15 Tests mit dem EUROSID bei Prüfgeschwindigkeiten von 40 km/h (4 Tests), 45 km/h (5 Tests) und 50 km/h (6 Tests) durchgeführt.

Zahlreiche Messwerte wurden hinsichtlich ihrer Eignung zur Prädiktion der Verteilung von Verletzungsschweregraden am Thorax, Abdomen und Rumpf geprüft. Die für diese Art von Versuchen typischen Multinomialantworten (die AIS-Stufen) wurden durch verschiedene generalisierte Modelle angepasst. Mit dem Verfahren der logistischen Regressionsanalyse wurde festgestellt, dass für die Prädiktion der Verteilung der Thorax-Verletzungsschweregrade die Beschleunigung am 12.Thorakalwirbel – 3 ms-Wert – am besten geeignet ist.

Die Abdominalverletzungsschwere und die Rumpfverletzungsschwere liessen sich dagegen am besten unter Berücksichtigung sowohl des soeben genannten Beschleunigungswertes am 12. Thorakalwirbel als auch des Beschleunigungswertes in X-Richtung am Brustbein unten – 3 ms-Wert – bestimmen. Beim Thorax waren zusätzlich die anthropometrischen Parameter Alter und Körpermasse entscheidend, während zur Prädiktion der Verteilung der Abdomenverletzungsschwere nur die Körpermasse zu berücksichtigen war.

Die „Biofidelity“ der Dummies wurde als Grad der Übereinstimmung der Dummy-Messergebnisse mit den an PMTO erzielten Messergebnissen definiert und an den für die Prädiktion relevanten Meßstellen geprüft. An diesen Meßstellen lieferten die Dummies überwiegend eine gute Übereinstimmung mit den PMTO-Meßergebnissen, sie zeigten aber an anderen Messstellen auch signifikante Abweichungen. Die mit der logistischen Regressionsanalyse ermittelten anthropomechanischen Belastungsindices (Z-Werte) zeigten für den unter den 4 verglichenen Dummies beim EUROSID den größten Grad an Übereinstimmung mit entsprechenden Indizes der PMTO.

Als Maß der „Repeatability“ wurde die Streubreite der Messergebnisse im dynamischen Verhalten der Dummies definiert und an den für die Prädiktion der Verletzungsschwere relevanten Messstellen geprüft. Diese Streubreite war an den meisten Messstellen kleiner als die der PMTO, das beste Ergebnis lieferte hier der EUROSID. Es ist jedoch zu beachten, dass die PMTO-Messergebnisse aufgrund anthropometrischen Bedingungen relativ stark streuen, so dass ein Unterschreiten der Streubreite durch einen Dummy noch nicht bedeutet, dass dessen „Repeatability“ gut ist.

Die Thorax-Deformationsmessung des EUROSID erwies sich als wenig zuverlässig; sie zeigte häufig nicht interpretierbare Deformations-Zeit-Verläufe und ergab keine Abhängigkeit der maximalen Deformation von der Testgeschwindigkeit.

Auch die nur am EUROSID messbare Kompressionskraft am Abdomen erbrachte ein unzuverlässiges Ergebnis. Nur in 4 von 15 Tests konnte ein Ansprechen der Schaltereinheiten beobachtet werden. Eine Korrelation mit der Abdomenverletzungsschwere ist mit dieser Messeinrichtung nicht möglich. Es ist einerseits zu fordern, dass die Abdomenkompressionskraft als kontinuierlicher Kraft-Zeit-Verlauf gemessen wird, zum anderen sollte die Platzierung des Kraftmesssystems oberflächennahe an der Stelle erfolgen, an der nach der anatomischen Lage der Leber die primäre Kraffteinleitung in dieses Organ stattfindet.

Das Kopfbeugewinkel-Maximum des EUROSID lag in der 50 km/h-Gruppe signifikant höher als bei den PMTO, bei den drei anderen Dummies signifikant darunter.

Im Hinblick auf die zuvor diskutierten Ergebnisse sind konstruktive Verbesserungen der Dummies und danach die erneute Validierung an PMTO erforderlich.

Die Entwicklung von Verletzungsprädiktionsmodellen mit möglichst hoher Zuverlässigkeit in der Vorhersage und Verletzungsschwere-Verteilungen an PMTO ist nach unserer Auffassung eine unverzichtbare Voraussetzung für die Definition von Schutzkriterien an Dummies, wenn sie das Verletzungsrisiko des Menschen verlässlich beschreiben sollen.

## **Literaturauswahl zum Thema Dummy und Verletzungsschutz - chronologisch**

(Institut für Rechts- und Verkehrsmedizin, Universitätsklinikum Heidelberg)

Schueler F, Mattern R, Schmidt Gg (1984), Dynamic fronto-occipital head loading of helmet protected cadavers, in Proc of Congr. "Biomechanics of impacts in road accidents", Brussels (3/83), S. 210-227. Ed.: Benjamin, Publ.: Commission of the European Communities, Luxemburg

Schueler F, Mattern R, Helbling M (1985), Wirksamkeit von Elementen des passiven Unfallschutzes, in: Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer, Band 3, Forschungsheft 114 Hrsg.: Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch-Gladbach (Verkehrssicherheitspreis 1985 des Bundesministers für Verkehr)

Schueler F, Mattern R, Schmidt Gg (1985), Biomechanische Versuche hinsichtlich des passiven Unfallschutzes von Aufsassen motorisierter Zweiradfahrzeuge beim Anprall gegen Schutzplankenpfosten, Forschungsbericht, herausgegeben von der Schutzplanken - Produktions - GmbH & Co KG, Schmelz-Limbach, Saarland

Kallieris D, Mattern R, Härdle W (1989) Verhalten des EUROSID beim 90-Grad – Seitenaufprall im Vergleich zu PMTO sowie US-SID, HYBRID II und APROD. Schriftenreihe Nr. 79 der Forschungsvereinigung Automobiltechnik Frankfurt/Main

Schueler F, Henseler W, (1990), Pneumatic Coaxial-Impactor, Prototype of an impact testing device, Int. IRCOBI-Conference, Sept. 1990, Lyon/Bron, France

Schueler F, Schmidt Gg (1990), Biomechanische Beurteilung - Verletzungspotential, Prognose der Insassenverletzungen zu 8 Kollisionsfahrversuchen mit Mittelklasse-Pkw, Heidelberg 11/'90, Statusbericht im Auftrag des TÜV Bayern, München und des Motor-Presse-Verlages, Redaktion ams, Stuttgart; siehe auch Z ams, Heft 19 /1990

Schueler F, Hupfer P, Wech L (1991), Full size semi - frontal crash simulations with passenger cars at 55 km / h against rigid barrier, Proc. ESV Conference 1991, P-Nr. 91-S 9-O-02, Paris, F

Schueler F (1992), Stand und Perspektiven zur Dummy-Konstruktion, Proc CRASH-TECH 1992, TÜV-Akademie, München

Schueler F (1994), Technologische Biomechanik - Grundlage zur Konstruktion und Optimierung von Schutz- und Rettungssystemen, Kolloquium an der Technischen Hochschule, Darmstadt, Fachbereich Fahrzeugtechnik

Schueler F, Mattern, R. (1994), Airbag und Motorradhelm - Verletzungsmuster und Schutzfunktion, Vortrag anlässlich des Symposiums "30 Jahre Notarztwagen HD - 10 in Heidelberg", Chirurgische Universitätsklinik, Sept. 1994

Schueler F et al (1994), Assessment of Mechanical Properties of the Human Skull - Cap through basic Biomechanic Tests and Quantitative Computed Tomography (QCT), Proc. Ircobi- Conference 21.-23. Sept. 1994, Lyon / France

Mattern R (1994)Traumatomechanische Forschung an Leichen - Ist sie wissenschaftlich stringent? Heidelberger Jahrbücher XXXVIII, S. 125-151, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hongkong Barcelona Budapest

Schueler F, Mattern R, Lorenz B (1994), Zur Prädiktion von Verletzungen der unteren Extremitäten beim Einsatz von Dummies in Kollisionsversuchen mit Pkw - Konstruktion - Meßstellen - Meßwerte - Verletzungskriterien, Proc. CRASH-TECH 10/94, TÜV-Akademie, München

Schueler F et al (1995), Injuries of the Lower Legs - Foot, Ankle Joint, Tibia; Mechanisms, Tolerance Limits, Injury - Criteria; Evaluation of a recent Biomechanic Experiment – Series, Proc. Ircobi- Conf. Sept. 1995, Brunnen / CH

Kallieris D, Rizzetti A, Mattern R, Morgan R, Eppinger R, Keenan L (1995), On the Synergism of the Driver Air Bag and the 3-Point Belt in Frontal Collisions, Proc. of the 39th SCC - Conf., San Diego, USA, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale Pennsylvania, p. 389-401

Landolt JP et al. (1996), Anthropomorphic Dummies for Crash and Escape System Testing, NATO, AGARD (WG 21) Advisory Report 330 (ISBN 92-836-1039-3), by AGARD July 1996, 7 rue ancelle, F 92200 Neuilly sur Seine, France

Mattern R, Schueler F, Kallieris D (1996), Schmerzfreie Testpersonen, Ruperto Carola, Forschungsmagazin der Universität Heidelberg, Heft 2/96, S. 31-37, Universitätsverlag C. Winter GmbH, D 69017 Heidelberg

Schueler F, Lorenz B, Mattern R, (1996) Zur Verletzungsmechanik und Belastbarkeit der unteren Extremität, insbesondere des Fußes, FAT-Bericht Nr. 130, Forschungsvereini- gung Automobiltechnik, Frankfurt/Main

Schueler F, Lorenz B, Wech L, Mattern R (1996) Airbag - Findings from accident research and crash-tests, Proc. 3. Int. Symp. on Sophisticated Car Occupant Safety Systems (AIRBAG 2000), 26. /27. Nov. 1996, Karlsruhe, Germany

Kallieris D, Rizzetti A, Mattern R, Jost S, Priemer P, Unger M (1997) Response and Vulnerability of the Upper Arm through Side Air Bag Deployment, Proc. of the 41th SCC - Conf., Lake Buena Vista, FL, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale Pennsylvania, Paper No. 973323, p. 101-110.

Kallieris D, Lorenz B, Mattern R (1999) Biomechanische Bewertung der Euro-NCAP - Einstufungskriterien – Untersuchungen an Freiwilligen und Dummies, FAT-Bericht Nr. 147, Forschungsvereinigung Automobiltechnik, Frankfurt/Main

Mattern R (2001) Experimente mit Leichen in der Unfallforschung. In: Zum Umgang mit der Leiche in der Medizin. Hrsg. Wellmer H-K., Bockenheimer-Lucius G. Rechtsmedizinische Forschungsergebnisse Band 23, Schmidt-Römhild

Kallieris D, Riedl H, Mattern R (2001) Response and Vulnerability of the Ankle Joint in Simulated Footwell Intrusion Experiments - A Study with Cadavers and Dummies, 17<sup>th</sup> International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Amsterdam 2001