

# Bewegungsanalyse und Bewertung des Verletzungsrisikos von Insassen bei Seitenkollisionen – Erkenntnisse aus Crashtests beim fahrenden Pkw<sup>1</sup>

Von Christian J. G. Castro, Martin Hein, Wolfram Kalthoff, Manfred Becke, Lars Gorny, Heiko Wagner, William H. M. Castro \*

**Wissenschaftliche Erkenntnisse bei Seitenkollisionen mit Probanden im fahrenden Pkw sind bisher nicht publiziert worden. In dieser experimentellen Untersuchung wurden vier Probanden, sowohl als Fahrer als auch als Beifahrer und mit entspannter Muskulatur und angespannter Muskulatur einer seitlichen Belastung (kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung circa 2,1 km/h) im fahrenden Pkw ausgesetzt. Wurde bis dato in der wissenschaftlichen Literatur insbesondere die Primärbewegung als die relevante Bewegungsrichtung der betroffenen Person im Fahrzeug für einen für die HWS möglichen Verletzungsrelevanten Anstoß von Körperteilen im Fahrzeuginnenraum betrachtet, so zeigt sich, dass nunmehr auch der Sekundärbewegung (und teilweise auch der Tertiärbewegung) – zumindest auf diesem sehr geringem Belastungsniveau - eine wichtigere Rolle als ursprünglich gedacht, zukommt, welches somit bei der Begutachtung von Verletzungen der Halswirbelsäule nach Pkw-Verkehrsunfällen zu berücksichtigen gilt.**

## 1 Einleitung

Die Beurteilung und Bewertung von Beschwerden an der Halswirbelsäule (HWS) nach zum Teil leichteren Personenkraftwagen (Pkw)-Verkehrsunfällen wird nach wie vor kontrovers geführt. So wird die Problematik unter Begriffen wie „HWS-Schleudertrauma“, „whiplash“, „whiplash associated disorders“ oder Beschleunigungsverletzung der Halswirbelsäule diskutiert [3, 4, 6]. In vielen der in der Literatur publizierten Studien wurden überwiegend Pkw-Pkw-Heckkollisionen erforscht.

HWS-Beschleunigungsmechanismen können aber auch bei anderen Unfallkonstellationen auftreten. So zeigt eine Auswertung von 1000 eigenen interdisziplinären Gutachten (verkehrstechnisch/fachorthopädisch) im OFI Orthopädischen Forschungsinstitut Münster, dass zwar in circa 56% eine Heckkollision vorlag, aber in circa 44% ein anderer Unfallhergang wie zum Beispiel eine frontale, eine

schief-frontale oder eine seitliche Kollision. Für leichte Seitenkollisionen konnte gezeigt werden, dass es für die Bewertung der Verletzungsanfälligkeit für die HWS von Bedeutung ist, ob der Fahrzeuginsasse auf der stoßabgewandten oder stoßzugewandten Seite gesessen hat, und zwar insbesondere im Hinblick auf Anstoßmechanismen von Körperteilen (vor allem Kopf und/oder Schulter) im Fahrzeuginnenraum [1, 2].

Der stoßzugewandten Sitzposition wurde ein höheres Verletzungspotenzial als der stoßabgewandten Sitzposition zugeschrieben. Nachteil der in der Arbeit von Becke [2] beschriebenen experimentellen Untersuchung war allerdings, dass die Versuche mit einer Fahrgastzelle (Teil der Karosserie eines VW Golf II) durchgeführt wurden, die nicht über Räder, sondern über Gummiklötze den Kontakt zur Fahrbahn hatte. Des Weiteren war die Fahrgastzelle nicht in Bewegung, sondern befand sich zum Kollisionszeitpunkt in Ruhe. Dieser Aufbau weicht

von den meisten realen Verkehrsunfällen ab, zum Beispiel Kreuzungsunfällen, da das gestoßene Fahrzeug in der Regel in Bewegung ist.

Ziel dieser Arbeit war es deshalb, die Insassenbewegungen im fahrenden Pkw bei seitlichen Kollisionen experimentell zu bestimmen. Dabei wurde für die Primär-, Sekundär und Tertiärbewegung der Insassen untersucht, ob sich die Reaktion mit angespannten beziehungsweise entspannten Muskeln, sowie auf der stoßzugewandten beziehungsweise stoßabgewandten Sitzposition unterscheiden.

## 2 Material und Methoden

Bei den im Folgenden dargestellten Versuchen wurde sowohl die stoßzugewandte (Fahrer) als auch die stoßabgewandte Sitzposition (Beifahrer) des Versuchs-Pkw analysiert und ausgewertet. Dazu wurden vier männliche Probanden untersucht: Alter zwischen 45 und 53 Jahre (Durchschnitt 48,5 Jahre), Körpergröße zwischen 180 und 185 cm (Durchschnitt 183,5 cm), Körpergewicht 78,5 bis 112 kg (Durchschnitt 92,1 kg), die an jeweils vier verschiedenen Kollisionsversuchen teilnahmen. Darunter als Fahrer in entspannter Sitzhaltung (Fahrer entspannt), als Fahrer mit angespannter Muskulatur (Fahrer angespannt), als Beifahrer in entspannter

<sup>1</sup> Teile dieser Arbeit wurden der Masterarbeit des Herrn Lars Gorny, der Doktorarbeit des Herrn Christian J. G. Castro und der Bachelorarbeit des Herrn Dennis Leinjenkost entnommen. Die Studie wurde nicht fremdfinanziert.

ter Sitzhaltung (Beifahrer entspannt) und als Beifahrer mit angespannter Muskulatur (Beifahrer angespannt). Insgesamt konnten somit vier Gruppen mit jeweils vier Probanden ausgewertet werden.

Die Studie wurde im Rahmen einer Doktorarbeit von der Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf begutachtet und freigegeben (Studennummer 4128).

### 2.1 Versuchsdurchführung

Für diese nachfolgend beschriebene experimentelle Studie war bereits ein Versuchsaufbau für Seitenkollisionen mit einem fahrenden Pkw entwickelt worden [5]. Sämtliche Versuche wurden auf der Testanlage der Firma crashtest-service.com (Münster-Wolbeck, Nordrhein-Westfalen) durchgeführt. Für diese Versuche wurden eigens zwei Fahrzeuge hergerichtet.

Als Fahrzeug für die Probanden diente ein Ford Escort Cabrio VII, Baujahr 1996 (Masse 1143 kg ohne Insassen), welcher eine freie Einsicht von oben auf die Insassen und damit eine Aufnahme der kollisionsbedingten Bewegungsabläufe der Insassen mittels Videokameras ermöglichte. Dieser Pkw wurde von einem Lastkraftwagen (Lkw) Mercedes-Benz Actros, Baujahr 1996 (Gesamtmasse circa 16t) über ein an einem Ausleger angebrachtes Seil und eine Führungsvorrichtung auf eine Geschwindigkeit von circa 30km/h beschleunigt. Die Führungsvorrichtung stellte sicher, dass der Pkw einen gleichbleibenden seitlichen Abstand zum Lkw einhielt.

Am Lkw war ein Pendel mit einer Masse von 470 kg angebracht und

durch eine Winde ausgelenkt, **BILD 1**. Die Höhe des Pendels war so ausgerichtet, dass es nach Auslösung während der Fahrt mit einer Aufprallgeschwindigkeit von 10 km/h im tiefsten Punkt der Pendelbewegung in Höhe der A-Säule, der Fahrertür und der B-Säule seitlich gegen den Ford Escort stieß. Durch Verwendung einer Schaumstoffpolsterung des Pendels konnte eine Kollisionsdauer – ähnlich wie bei einem Realunfall – von 0,1 s erreicht werden. Auf der Fahrertür befand sich ein Kontaktsensor, der bei Aufprall des Pendels eine Lampe einschaltete und damit den Kollisionsbeginn für die Videoerfassung sichtbar machte.

Die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung in Querrichtung im Ford Escort betrug circa 2,1 km/h. So

bald das Pendel sich löste, wurde auch die Führungsvorrichtung ausgeklinkt, so dass im Moment der Kollision keine Zugkräfte mehr auf den Ford Escort wirkten und der Kollisionsablauf des Ford Escort nach der Kollision mit dem Pendel nicht mehr beeinträchtigt wurde.

### 2.2 Videoanalyse der Insassen

Der Ford Escort war mit vier Videokameras (Typ GoPro Hero 2, 60 fps) zur Aufnahme der Insassenbewegung ausgestattet, wobei zwei Kameras frontal an der Windschutzscheibe und zwei Kameras oberhalb der Insassen montiert waren, **BILD 2**. Die Bewegungstrajektorien und die Geschwindigkeiten des Kopfes und der Brust, sowohl des Fahrers als auch des Beifahrers während der primären, der sekundären



**BILD 1:** Lkw Typ Mercedes Benz Actros mit ausgelenkter Pendelvorrichtung und Pkw Typ Ford Escort Cabrio

**FIGURE 1:** Mercedes-Benz Actros truck with a pendulum impactor device in a retracted position and Ford Escort Cabrio passenger car

CTS - das Internetportal für die Unfallrekonstruktion

**crashtest-service.com**

Seit 2011 neues Crashtest-Center

www.crashtest-service.com

Telefon +49 2506 70 990 70 - info@crashtest-service.com

und der tertiären Bewegungsphase wurden computergestützt analysiert (Videoanalyseprogramm Kinovea, Version 0.8.15).

Die seitliche Neigung der HWS bestimmte sich aus der Winkeländerung des Kopfes relativ zum Sternum des jeweiligen Insassen des Pkw, **BILD 3**. Da der Oberkörper selbst auch eine Winkeländerung erfuhr, wurde die Winkeländerung des Kopfes in Relation zur Horizontalachse der beiden Schultern gemessen.

### 2.3 Elektromyographie

Die Aktivität ausgewählter Muskeln der HWS wurden bei jedem Versuch sowohl beim Fahrer als auch beim Beifahrer mittels Elektromyografie (EMG, Noraxon Transmyo Direct Transmission System, Abtastrate 1500Hz) analysiert. Dazu wurden bipolare Elektroden mit einem Inter-elektrodenabstand von 2,5 cm auf die Muskelbäuche des M. sternocleidomastoideus, des oberen Anteiles des M. trapezius auf C4-Niveau und des M. splenius paravertebral der HWS angebracht, **BILD 4**.

Der Zeitpunkt der Kollision in den EMG-Daten wurde mit dem Beschleunigungsmessgerät des Pkw synchronisiert. Zur Analyse der Reflexamplituden wurden die EMG-Daten hochpass-gefiltert (Butterworth 2. Ordnung 10 Hz), rektifiziert und geglättet (gleitender Mittelwert über 20 ms) sowie anschließend die Maxima nach der Kollision bestimmt.

### 2.4 Datenanalyse

Anschließend erfolgte ein Vergleich der maximalen Messwerte dieser fünf Untersuchungsparameter während der drei genannten Bewegungsphasen für die vier oben genannten verschiedenen Kollisionsversuche. Zusätzlich erfolgte eine vergleichende Analyse dieser Messwerte zwischen folgenden Probandengruppen:

- Zur Frage, inwiefern die Sitzposition von Bedeutung ist: Vier Fahrer entspannt versus vier Beifahrer entspannt; vier Fahrer angespannt versus vier Beifahrer angespannt.



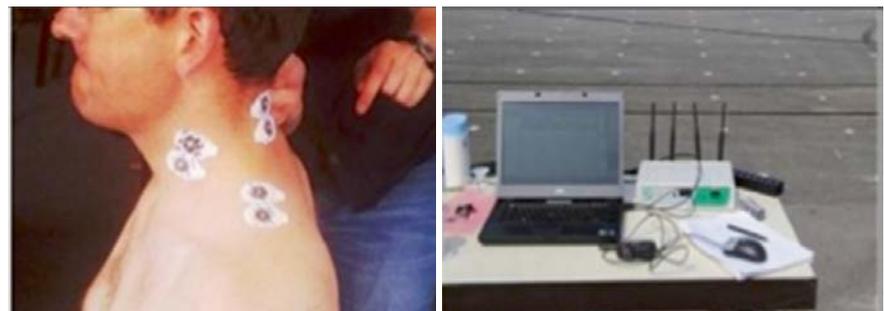
**BILD 2:** „Vogelansicht“ der Videokameras (Typ GoPro Hero 2, 60fps) und rechts „Frontansicht“

**FIGURE 2:** Left: „bird’s-eye view“ from the video camera (type GoPro Hero 2, 60 fps) and right: „frontal view“



**BILD 3:** In der Frontansicht des Pkw erfolgt für den Fahrer die Berechnung der seitlichen Neigung der HWS (in Grad) relativ zum Sternum und unter Beachtung der Achse der Schultergelenke (y-Achse)

**FIGURE 3:** In the frontal view for the driver, the lateral inclination of the cervical spine (in degrees) relative to the sternum and taking into account the axis of the shoulder joints (y-axis) is calculated for the driver



**BILD 4:** Links: Platzierung der EMG-Elektroden; Rechts: das Noraxon TransMyo Direct Transmission System (DTS) Desk Receiver

**FIGURE 4:** Left: attachment of the EMG electrodes; right: the Noraxon TransMyo Direct Transmission System (DTS) desk receiver

– Zur Frage, inwiefern die Muskelspannung von Bedeutung ist: vier Fahrer angespannt versus vier Fahrer entspannt; vier Beifahrer angespannt versus vier Beifahrer entspannt.

Die statistische Auswertung der EMG-Ergebnisse erfolgte mit einem gepaarten t-Test ( $p < 0,05$ ). Für die deskriptive Statistik wurde der Durchschnitt der EMG-Maxima von Fahrer und Beifahrer und deren Standardabweichungen errechnet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Bewegungsanalyse der Probanden

In den **DIAGRAMMEN 1 bis 10** sind die Messergebnisse aller Versuche, so-

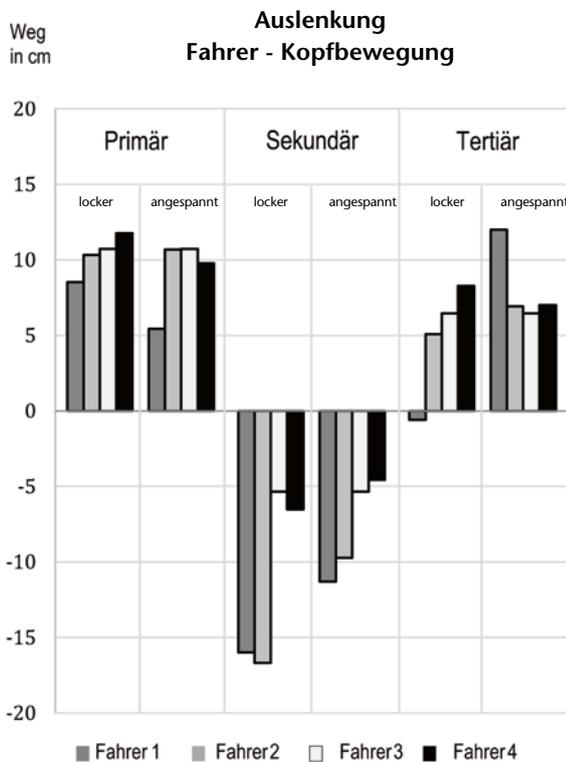
wohl für die Gruppe Fahrer „entspannt“, Fahrer „angespannt“, Beifahrer „entspannt“ und Beifahrer „angespannt“ bezogen auf die drei Bewegungsrichtungen (primär, sekundär, tertiär) abgebildet.

Die Diagramme zeigen die Auslenkung der Kopfbewegung und Brustbewegung (Weg in cm), die Geschwindigkeit der Kopfbewegung und Brustbewegung (Geschwindigkeit in km/h) und die seitliche Neigung der HWS (Auslenkung in °) und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

– Für die Gruppe Fahrer „entspannt“ ( $n=4$ ) ist festzuhalten, dass sowohl beim Weg des Kopfes, der Brust als auch der seitlichen Neigung der HWS zwischen Primär- und Sekundärbewegung kein Unterschied be-

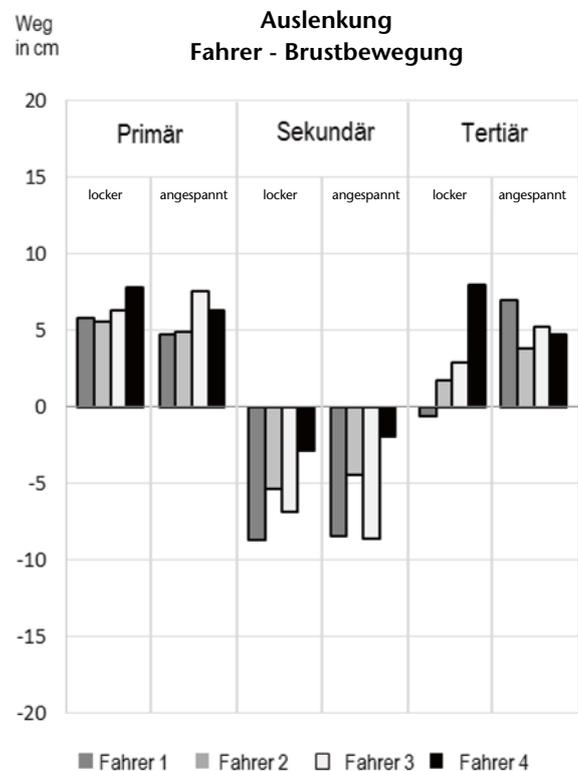
steht. Die Tertiärbewegung kann bei entspannter Muskulatur vernachlässigt werden. Die Geschwindigkeiten des Kopfes und der Brust sind in der Sekundärbewegung am höchsten, **DIAGRAMM 1 bis 4 und 9**.

– Für die Gruppe Fahrer „angespannt“ ( $n=4$ ) zeigt sich, dass der Weg des Kopfes in der Primärbewegung am längsten ist. Der Weg der Brust ist in der Primär- und Sekundärbewegung gleich. Die Tertiärbewegung hat zweimal die höchste Auslenkung bei angespannter Muskulatur, ist ansonsten jedoch ausgeglichen. Auffallend ist, dass die Geschwindigkeit des Kopfes und der Brust erneut in der Sekundärbewegung eindeutig am höchsten sind, **DIAGRAMM 1 bis 4 und 9**.



**DIAGRAMM 1:** Der Weg des Kopfes der vier Fahrer nach der Seitenkollision; Unterteilt wurde in entspannte und angespannte Muskulatur in der Primär-, Sekundär- und Tertiärbewegung

**GRAPH 1:** The distances moved by the heads of the four drivers after the side-impact collision, sub-divided according to relaxed and tensed muscles in the primary, secondary and tertiary motion



**DIAGRAMM 2:** Der Weg der Brust der vier Fahrer nach der Seitenkollision; Unterteilt wurde in entspannte und angespannte Muskulatur in der Primär-, Sekundär- und Tertiärbewegung

**GRAPH 2:** The distances moved by the chests of the four drivers after the side-impact collision, sub-divided according to relaxed and tensed muscles in the primary, secondary and tertiary motion

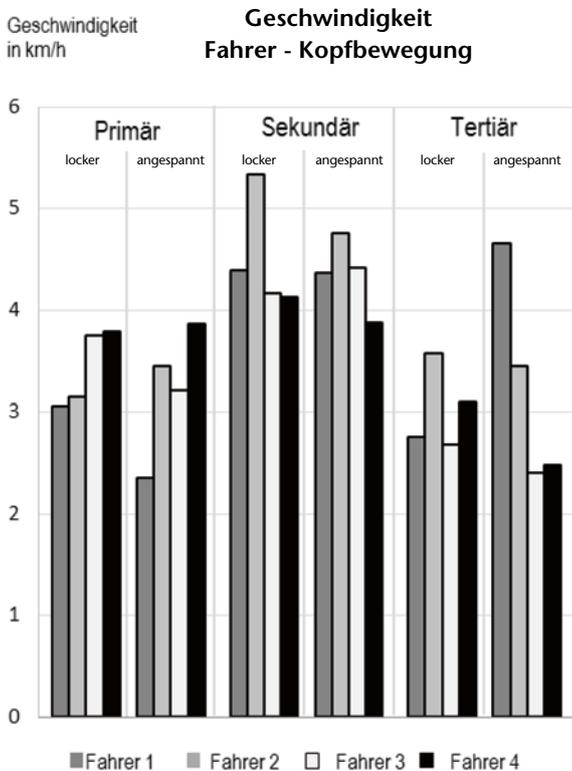
- In der Gruppe Beifahrer „entspannt“ (n=4) entsteht ein uneinheitliches Bild. So ist der Weg des Kopfes in der Primärbewegung häufiger am höchsten. Einmalig liegt bei Beifahrer vier ein deutlich erhöhter zurückgelegter Weg in der Tertiärbewegung vor. Der Weg der Brust ist zwar zweimal am größten in der Primärbewegung, die Maxima verteilen sich jedoch auch auf die Sekundär- und Tertiärbewegung. Die Geschwindigkeit der Brust allerdings ist in der Sekundärbewegung am höchsten, wie auch bei dem Fahrer. Die größte seitliche Neigung der HWS findet teils während der Primär- und teils während der Sekundärbewegung statt, **DIAGRAMM 5 bis 8 und 10**.

- In der Gruppe Beifahrer „angespannt“ (n=4) ist die Geschwindigkeit des Kopfes und der Brust ebenfalls in der Sekundärbewegung am höchsten. Auch der Weg der Brust ist bei angespannter Muskulatur beim Beifahrer in der Sekundärbewegung vergrößert. Die Messungen der Wegstrecke des Kopfes sind zu unterschiedlich, um darüber Aussagen treffen können. Auffällig ist jedoch, dass auch die größte seitliche Neigung der HWS erneut über die Primär- und Sekundärbewegung verteilt ist, wie auch bei beiden Crashversuchen mit entspannter Muskulatur von Fahrern und Beifahrern, **DIAGRAMM 5 bis 8 und 10**.  
 - Abschließend fällt auf, dass die Sekundärbewegung bei allen Testläu-

fen die höchste Geschwindigkeit aufweist, der zurückgelegte Weg oder die seitliche Neigung der HWS sich in der Primär- und Sekundärbewegung jedoch ausgleichen. Die Tertiärbewegung kann dabei auch nicht gänzlich vernachlässigt werden, **DIAGRAMM 1 bis 10**.

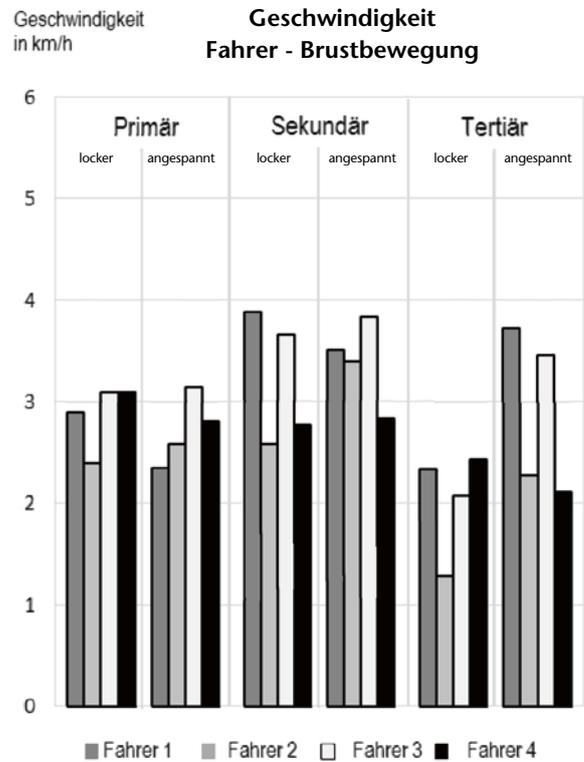
Von besonderer Bedeutung ist auch die Frage, ob die Sitzposition zu anderen Ergebnissen führt beziehungsweise ob die Aktivität der Muskulatur für das Bewegungsverhalten der Insassen entscheidend ist. Hier ergab eine Analyse der Sitzposition:

- Die vergleichende Analyse der Gruppe Fahrer „angespannt“ (n=4) versus Beifahrer „angespannt“ (n=4) zeigt, dass es bei angespannter Muskulatur keine Rolle spielt, ob



**DIAGRAMM 3:** Die Geschwindigkeit des Kopfes der vier Fahrer nach der Seitenkollision; Unterteilt wurde in entspannte und angespannte Muskulatur in der Primär-, Sekundär- und Tertiärbewegung

**GRAPH 3:** The velocities of the heads of the four drivers after the side-impact collision, sub-divided according to relaxed and tensed muscles in the primary, secondary and tertiary motion



**DIAGRAMM 4:** Die Geschwindigkeit der Brust der vier Fahrer nach der Seitenkollision; Unterteilt wurde in entspannte und angespannte Muskulatur bei Primär-, Sekundär- und Tertiärbewegung

**GRAPH 4:** The velocities of the chests of the four drivers after the side-impact collision, sub-divided according to relaxed and tensed muscles in the primary, secondary and tertiary motion

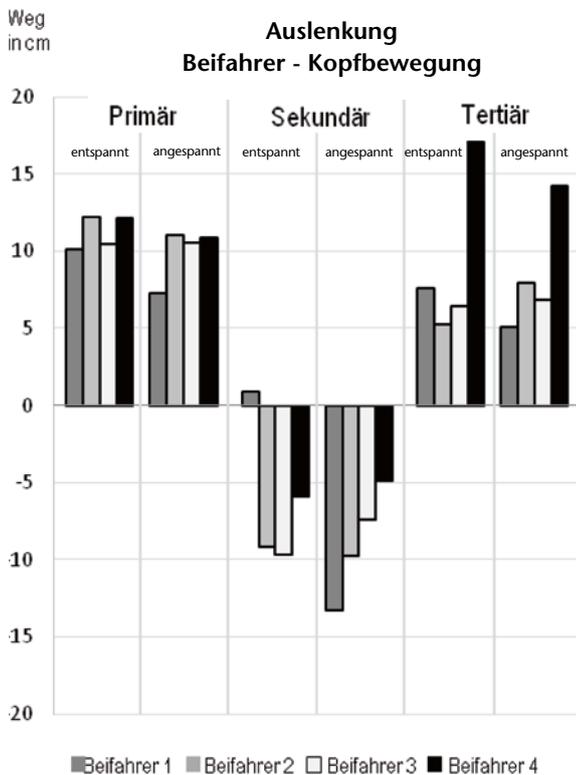
- man auf der Fahrer- oder Beifahrerseite sitzt.
- Die vergleichende Analyse der Gruppe Fahrer „entspannt“ (n=4) versus Beifahrer „entspannt“ (n=4) zeigt, dass bei entspannter Muskulatur es einen Unterschied ausmacht, ob man als Fahrer oder Beifahrer im Pkw sitzt. Der zurückgelegte Weg des Kopfes und der Brust sind beim Fahrer in der Sekundärbewegung und als Beifahrer in der Primärbewegung am höchsten. Die Geschwindigkeit ist jedoch in beiden Gruppen identisch, da diese in der Sekundärbewegung immer den höchsten Wert aufweist.
- Die vergleichende Analyse der Gruppe Fahrer „angespannt“ (n=4) versus Fahrer „entspannt“ (n=4) zeigt, dass es kleine Unterschiede gibt zwischen

angespannter und entspannter Muskulatur beim Fahrer. Der zurückgelegte Weg des Kopfes in der Primärbewegung ist bei angespannter Muskulatur leicht höher als in der Sekundärbewegung. Die Geschwindigkeit ist für beide Gruppen gleich, ob nun bei angespannter Muskulatur oder bei entspannter Muskulatur. Auch auffällig ist die seitliche Neigung der HWS, welche bei angespannter Muskulatur die erhöhten Werte in der Tertiärbewegung hat und bei der entspannten Muskulatur in der Primär- beziehungsweise Sekundärbewegung. Es zeigt sich jedoch der Trend, dass die Tertiärbewegung bei entspannter Muskulatur keine Rolle mehr spielt, jedoch wohl bei der angespannten Muskulatur.

- Die vergleichende Analyse der Gruppe Beifahrer „angespannt“ (n=4) versus Beifahrer „entspannt“ (n=4) ergibt, dass die angespannte oder entspannte Muskulatur beim Beifahrer nur einen Unterschied beim zurückgelegten Weg der Brust ausmacht. Wenn man die Muskulatur entspannt, ist der Weg der Brust in der Primärbewegung am höchsten. Wenn man die Muskulatur anspannt, ist der Weg in der Sekundärbewegung am höchsten. Die restlichen Werte sind in beiden Gruppen gleich.

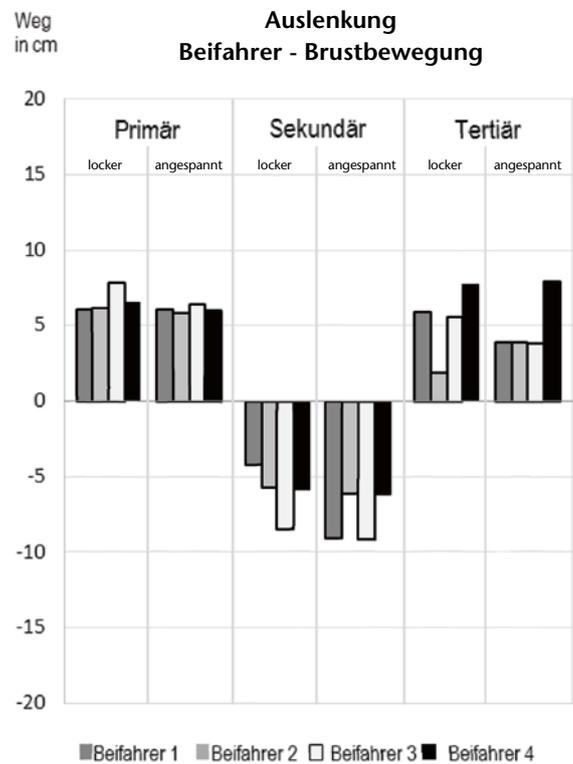
### 3.2 Elektromyographie (EMG)

Da die Vorversuche mit vier Probanden durchgeführt werden konnten, ist die statistische Auswertung der



**DIAGRAMM 5:** Der Weg des Kopfes der vier Beifahrer nach der Seitenkollision; Unterteilt wurde in entspannte und angespannte Muskulatur in der Primär-, Sekundär- und Tertiärbewegung

**GRAPH 5:** The distances moved by the heads of the four front-seat passengers after the side-impact collision, subdivided according to relaxed and tensed muscles in the primary, secondary and tertiary motion



**DIAGRAMM 6:** Der Weg der Brust der vier Beifahrer nach der Seitenkollision; Unterteilt wurde in entspannte und angespannte Muskulatur in der Primär-, Sekundär- und Tertiärbewegung

**GRAPH 6:** The distances moved by the chests of the four front-seat passengers after the side-impact collision, subdivided according to relaxed and tensed muscles in the primary, secondary and tertiary motion

analysierten Muskelaktivitäten nur bedingt aussagekräftig. Es ist aber ein Trend erkennbar, dass während der Primär- und Sekundärbewegung die kontralateralen Muskeln stark aktiv sind, BILD 5. Es ist auch erkennbar, dass im Falle eines Stoßes in einem entspannten Zustand der Muskulatur die Reflexamplitude nicht die Werte der Aktivierungen im angespannten Zustand erreichen können, BILD 6.

4 Diskussion

Die tägliche praktische Arbeit bei der Begutachtung von Verkehrsunfallfolgen zeigt, dass tiefergehende Erkenntnisse nicht nur zur Unfallodynamik

und zum Verletzungspotenzial der „klassischen“ Heckkollisionen, sondern auch zu anderen Unfallkonstellationen, sei es Frontal-, Seiten- oder schief-frontalen Pkw-Pkw-Kollisionen, notwendig sind.

Zu den einzelnen einwirkenden biomechanischen Belastungen einer Heck- und auch Frontalkollision gibt es in der Literatur bereits mehrere Veröffentlichungen. Bis dato finden sich in der Literatur jedoch nur vereinzelt experimentelle Daten zu den Seitenkollisionen.

Ein Grund dafür ist sicherlich die im Vergleich zur Heck- oder Frontalkollision – größere Komplexität, um eine Seitenkollision im fahrenden Pkw im experimentellen Versuch mit

lebenden Probanden reproduzierbar durchzuführen.

Die vorliegende Studie wurde durchgeführt, weil die bis dato nach unserem Kenntnisstand bekannten Ergebnisse zu reinen Seitenkollisionen im Wesentlichen auf Experimenten beruhen, bei denen eine modifizierte Fahrgastzelle stand [1, 2]. Außerdem weil Ergebnisse von reproduzierbaren Crashversuchen zur allgemeinen Untersuchung der Insassenbewegung bei Seitenkollision mit einer fahrenden Fahrgastzelle einerseits nicht publiziert worden sind, andererseits aber von Bedeutung sind, nicht nur für die gutachterliche Bewertung des Verletzungsrisikos von Insassen bei Seitenkollisionen im

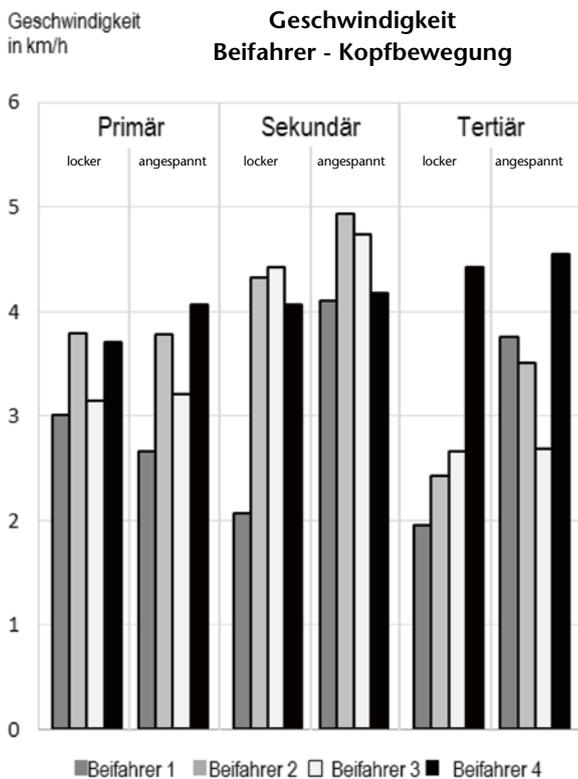


DIAGRAMM 7: Die Geschwindigkeit des Kopfes der vier Beifahrer nach der Seitenkollision; Unterteilt wurde in entspannte und angespannte Muskulatur in der Primär-, Sekundär- und Tertiärbewegung

GRAPH 7: The velocities of the heads of the four front-seat passengers after the side-impact collision, sub-divided according to relaxed and tensed muscles in the primary, secondary and tertiary motion

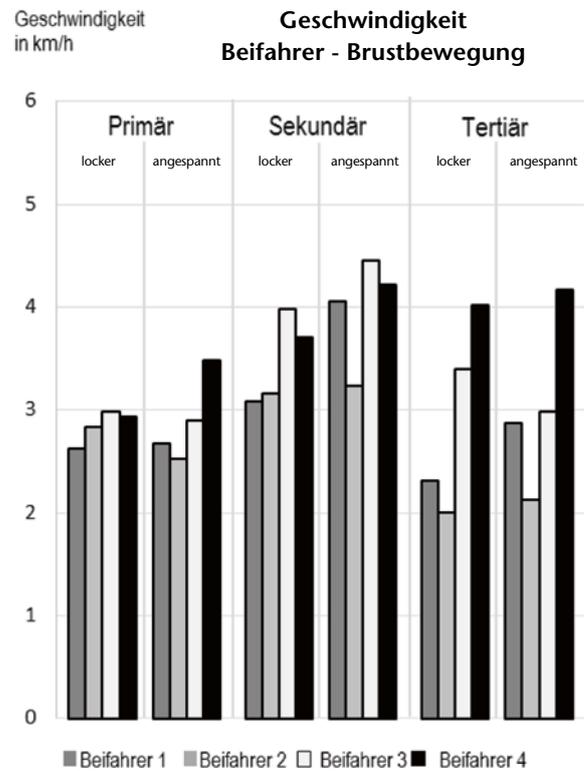
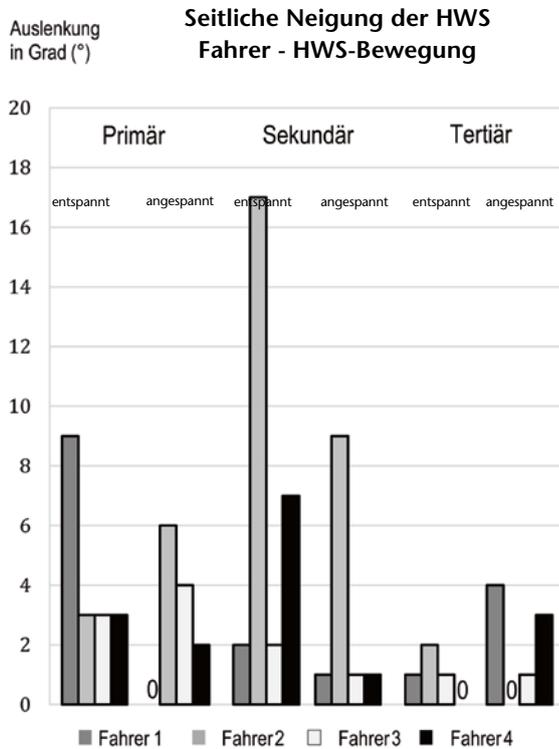


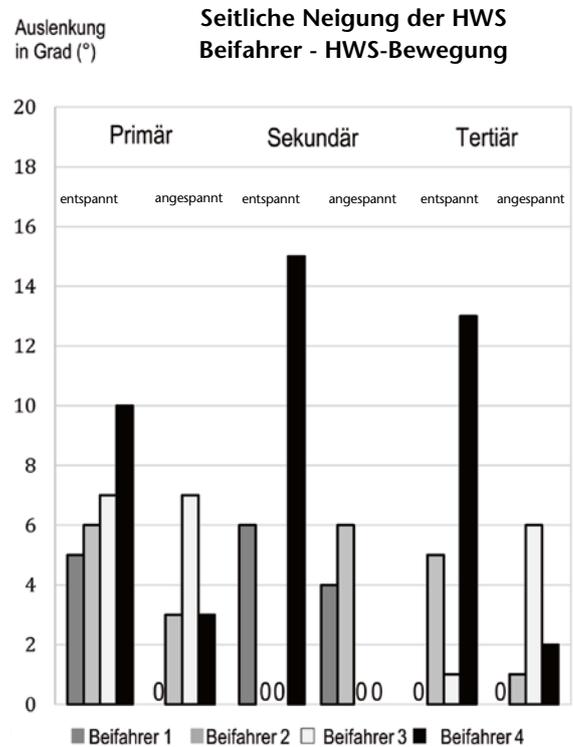
DIAGRAMM 8: Die Geschwindigkeit der Brust der vier Beifahrer nach der Seitenkollision; Unterteilt wurde in entspannte und angespannte Muskulatur in der Primär-, Sekundär- und Tertiärbewegung

GRAPH 8: The velocities of the chests of the four front-seat passengers after the side-impact collision, sub-divided according to relaxed and tensed muscles in the primary, secondary and tertiary motion



**DIAGRAMM 9:** Die seitliche Neigung der HWS der vier Fahrer nach der Seitenkollision; Unterteilt wurde in entspannte und angespannte Muskulatur in der Primär-, Sekundär- und Tertiärbewegung; In den Spalten mit einer „0“ war keine seitliche Neigung der HWS zu beobachten

**GRAPH 9:** The lateral inclination of the cervical spines of the four drivers after the side-impact collision, sub-divided according to relaxed and tensed muscles in the primary, secondary and tertiary motion; in the columns marked „0“, no lateral inclination of the cervical spine was observed



**DIAGRAMM 10:** Die seitliche Neigung der HWS der vier Beifahrer nach der Seitenkollision; Unterteilt wurde in entspannte und angespannte Muskulatur in der Primär-, Sekundär- und Tertiärbewegung; In den Spalten mit einer „0“ war keine seitliche Neigung der HWS zu beobachten

**GRAPH 10:** The lateral inclination of the cervical spines of the four front-seat passengers after the side-impact collision, sub-divided according to relaxed and tensed muscles in the primary, secondary and tertiary motion; in the columns marked „0“, no lateral inclination of the cervical spine was observed

# Sehen Sie das ganze Bild!

## VKU – Aktuell, kompetent und praxisnah.



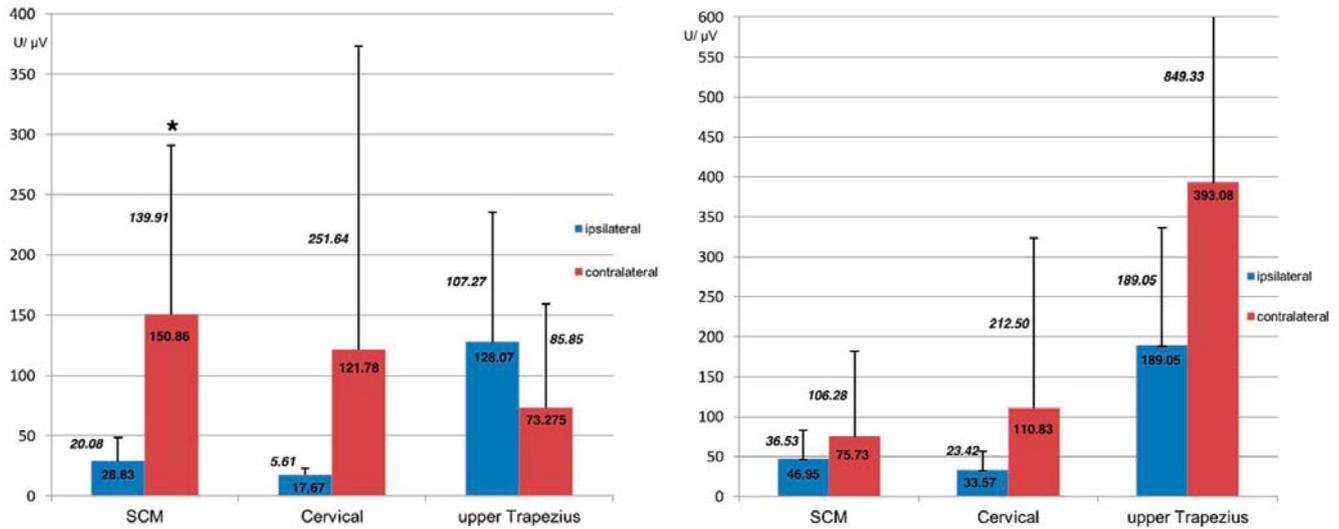
### Jetzt Vorteile sichern:

- 11x VKU lesen und top informiert sein
- Exklusive Prämie Ihrer Wahl
- Zugang zum digitalen Heftarchiv mit Artikeln seit 01|2006 zum Download
- Technische Datenblätter verschiedener Fahrzeugmodelle

# VKU

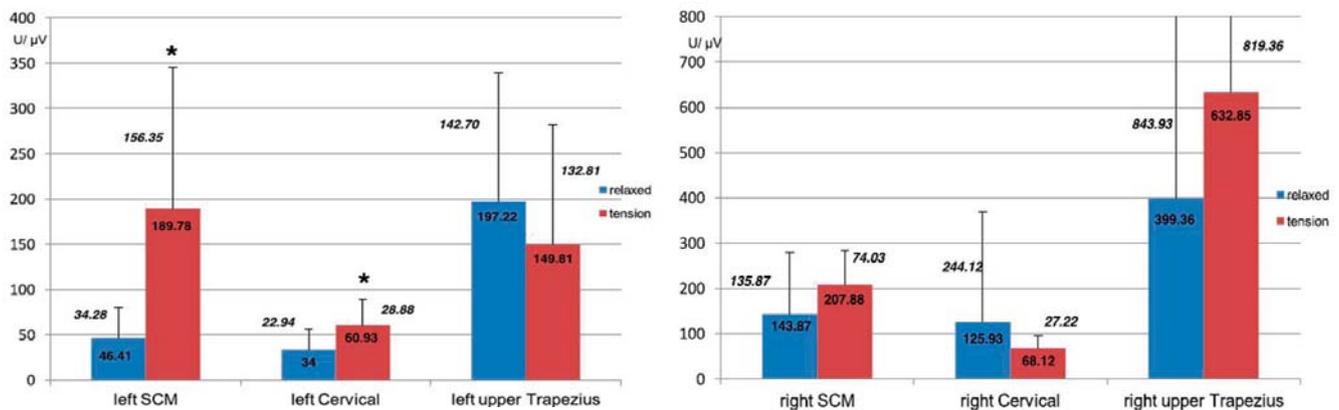
[www.vkuonline.de/abo](http://www.vkuonline.de/abo)

## 2.3.2 Seitliche Kollision



**BILD 5:** Laterale EMG-Unterschiede in den Primärbewegungen (links) und Sekundärbewegungen (rechts); Rot - kontralateral, blau – ipsilateral; man beachte auch die unterschiedlichen Achsenkalierungen

**FIGURE 5:** Lateral EMG differences in the primary motions (left) and secondary motions (right); red – contralateral, blue – ipsilateral; please note the different axis scaling



**BILD 6:** Vergleich im EMG zwischen entspannten Muskeln zu angespannten Muskeln; links – ipsilateral, rechts – kontralateral, Rot – angespannt, blau – entspannt; man beachte auch die unterschiedlichen Achsenkalierungen

**FIGURE 6:** Comparison in the EMG between relaxed muscles and tensed muscles; left – ipsilateral, right – contralateral, red – tensed, blue – relaxed; please note the different axis scaling

Straßenverkehr, sondern auch als Vorstudie für weitere experimentelle Untersuchungen zum Bewegungsverhalten und zum Verletzungsrisiko von Insassen bei der schief-frontalen Kollision im fahrenden Pkw. Durch die Experimente konnten erstmals Erkenntnisse zum Bewegungsablauf bei Seitenkollisionen im fahrenden Fahrzeug gemessen werden.

Dennoch konnten durch diese Studie auch einige Defizite beziehungs-

weise Vorbehalte aufgezeigt werden. So ist die statistische Stärke der Studie wegen der geringen Anzahl der Probanden noch niedrig. Außerdem ermöglichte die verwendete Markerplatzierung an den Probanden nicht eine exakte Messung der seitlichen Neigung der HWS zum Thorax. Ferner können durch die Verwendung der Oberflächen-Elektromyographie tieferliegende Muskelstrukturen nicht erfasst werden und somit kann deren

Einfluss auf die Bewegung nicht analysiert werden. Angesichts der Tatsache, dass bis dato nach wie vor nicht bekannt ist, welche Verletzung beziehungsweise welche Schmerzquelle dem „HWS-Schleudertrauma“ zu Grunde liegt, ist diese fehlende Information von Nachteil. Letztlich ist die biomechanische Belastung auf die Fahrzeuginsassen in Querrichtung, ausgedrückt in der kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung von

$\Delta v = \text{circa } 2,1 \text{ km/h}$  in dieser Studie sehr gering. Ob die Ergebnisse auch für höher einwirkende biomechanische Belastungen zutreffen, kann somit aktuell nicht beantwortet werden. Unter Berücksichtigung dieser Defizite beziehungsweise Vorbehalte werden weitere experimentelle Untersuchungen zur Analyse der Insassenbewegung von Personen im fahrenden Fahrzeug durchgeführt.

Die vorliegende Studie hat eine große Bedeutung für die gutachterlichen Bewertung von Seitenkollisionen. Bisher bestand bei der gutachterlichen Bewertung von Seitenkollisionen die Auffassung, dass insbesondere die Primärbewegung die relevante Bewegungsrichtung für einen für die HWS möglichen verletzungsrelevanten Anstoß von Körperteilen im Fahrzeuginnenraum sei, die es wiederum insbesondere bei der stoßzugewandten Sitzposition zu analysieren galt.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen für geringe Belastungsniveaus bei Seitenkollisionen, dass der Sekundärbewegung (und teilweise auch der Tertiärbewegung) eine wichtigere Rolle zukommt als bislang gedacht.

## Literaturhinweise

- [1] Becke M., Castro W., van Aswegen A., Meyer S. Zur Belastung von Fahrzeuginsassen bei leichten Seitenkollisionen. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 11, 1999, 293-298.
- [2] Becke M., Castro W. Zur Belastung von Fahrzeuginsassen bei leichten Seitenkollisionen-Teil II. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 7/8, 2000, 225-228.
- [3] Becke M., Castro W., Hein M., Schimmelpfennig K.-H. „HWS-Schleudert trauma“ 2000 – Standortbestimmung und Ausblick. NZV 2000; 6: 225-236.
- [4] Leidel B. A., Kirchoff C., Keßler S., Mutschler W. Trauma der Halswirbelsäule – gutachterliche Herausforderungen nach Beschleunigungsverletzung der HWS. Orthopäde 2008; 37: 414-423.
- [5] Leinkenjost D. Konstruktion eines Crashpendels für reproduzierbare Seitenkollisionen unter Berücksichtigung des Einflusses der Reifenführungskräfte auf die Insassenbelastung. Bachelorarbeit, Hochschule Osnabrück - University of applied sciences 2013.
- [6] Spitzer W. O., Skovron M. L., Salmi L. R., Cassidy J. D., Duranceau J., Suissa S., Zeiss E. Scientific monograph of the Quebec Task Force on whiplash associated disorders: redefining “whiplash” and its management. Spine 1995; 20 (suppl 8): 1S-75S.

### Motion analysis and evaluation of the injury risk to occupants in side-impact collisions – results from crash tests with moving passenger cars

*Results of scientific research into side-impact collisions with test persons in a moving vehicle have not yet been published. In this experimental study, four test persons, both as the driver and as the front-seat passenger and with relaxed and with tensed muscles, were exposed to a side-impact load (collision-related change in velocity of approximately 2.1 km/h) in a moving passenger car. Whereas, until now in the scientific literature, it was the primary motion in particular that was considered to be the relevant direction of motion of the affected person in the vehicle with regard to the impact of parts of the body in the vehicle interior with relevance for possible injuries to the cervical spine, it has now been found that a more important role than previously thought is played by the secondary motion (and in some cases also the tertiary motion) – at least at this very low level of loading – and this must therefore be taken into account in the evaluation of injuries to the cervical spine following a road traffic accident.*

#### \*Autoren

*Christian J. G. Castro ist Doktorand an der Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf*

*Dr. Martin Hein ist Arzt im OFI Orthopädischen Forschungsinstitut in Münster.*

*Dipl.-Ing. Wolfram Kalthoff ist ö. b. u. v. Sachverständiger und arbeitet im Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke in Münster.*

*Dipl.-Ing. Dr. Manfred Becke ist ö. b. u. v. Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und Kfz-Technik im eigenen Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke in Münster.*

*Lars Gorny arbeitet am Institut für Sportwissenschaft, Arbeitsbereich Bewegungswissenschaft der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster.*

*Prof. Dr. Heiko Wagner arbeitet am Institut für Sportwissenschaft, Arbeitsbereich Bewegungswissenschaft der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster.*

*Prof. Dr. med. William H. M. Castro arbeitet im OFI Orthopädischen Forschungsinstitut, c/o Düsseldorf. ::*