

W.H. M. Castro, M. Hein, W. Kalthoff, M. Becke, H. Wagner, C. J. G. Castro*

Neueste Erkenntnisse aus Crashtests mit Probanden im fahrenden Personenkraftwagen bei Seitkollisionen

I. Einleitung

Wie diesseits bereits publiziert (NZV 2000, 2008 und 2013), ist die Grundlage der gutachtlichen Beurteilung einer Halswirbelsäulenverletzung („HWS-Schleudertrauma“) die Evaluation zwischen biomechanischer Belastung und Belastbarkeit des Betroffenen.

Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass subjektive Beschwerden nach Verkehrsunfällen wie Nacken- und Kopfschmerzen, aber auch Schwindel, Ohrgeräusche, Gefühlsstörungen, kognitive Störungen etc. in der Regel keinem objektivierbaren Befund in der HWS gegenüberstehen.

Der gutachtliche Nachweis eines „HWS-Schleudertraumas“ wird dadurch erschwert, ist jedoch nicht unmöglich. Ein sinnvoller Ablauf der Begutachtung dieser Problematik besteht dann darin, dass zunächst ein technischer Sachverständiger anhand der Schadensbilder der beteiligten Kraftfahrzeuge (Kfz) die biomechanische Belastung, die auf das Kfz und somit auf die zu begutachtende Person eingewirkt hat, ermittelt; anschließend kann der medizinische Sachverständige nach einer Analyse der Belastbarkeit des Betroffenen, d. h. eine Analyse von potenziell verletzungsfördernden Faktoren, zur Verletzungswahrscheinlichkeit Stellung beziehen.

Die häufigste Unfallkonstellation bei der Begutachtung ist die Pkw-Pkw-Heckkollision. Allerdings kann auch bei anderen Unfallkonstellationen ein Beschleunigungsmechanismus für die Halswirbelsäule auftreten. Eine **aktuelle Auswertung** von 1000 eigenen interdisziplinären Gutachten (verkehrs-

technisch / fachorthopädisch) im OFI Orthopädischen Forschungsinstitut Münster zeigt, dass in ca. 56 % eine Heckkollision vorlag, aber in ca. 44 % ein anderer Unfallhergang, wie z. B. eine schief-frontale, eine seitliche oder eine frontale Belastung.

Entsprechend dieser Häufigkeit der verschiedenen Kollisionen ist in den letzten Jahren auch umfangreich über das „HWS-Schleudertrauma“ publiziert worden; in den meisten Veröffentlichungen steht die Heckkollision im Mittelpunkt. Zu **Seitkollisionen** ist dahingegen bedeutend weniger veröffentlicht worden. Diesseits wurden zu leichten Seitkollisionen zwei aufeinander aufbauende Veröffentlichungen publiziert (*Becke, Castro, van Aswegen und Meyer (1999), Becke und Castro (2000)*), die für die Gutachtenpraxis wichtige Erkenntnisse enthielten.

Es konnte aufgezeigt werden, dass es für die Bewertung des Verletzungsrisikos für die HWS neben der Insassenbelastung von besonderer Bedeutung ist, ob der Insasse im Fahrzeug auf der stoßzu- oder auf der stoßabgewandten Seite saß.

* W.H. M. Castro ist beschäftigt am OFI Orthopädisches Forschungsinstitut, M. Hein ist leitender Arzt OFI Orthopädisches Forschungsinstitut Münster, W. Kalthoff und M. Becke sind Diplomingenieure Ingenieurbüro Schimmelpfennig und Becke Münster (Westfalen), H. Wagner ist beschäftigt am Institut für Sportwissenschaft, Arbeitsbereich Bewegungswissenschaft der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (Westfalen) und C.J. G. Castro ist Doktorand zu diesem Thema an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. Teile dieser Arbeit wurden bereits in der Arbeit von Castro u. Mitarb. (2015) veröffentlicht bzw. dieser Doktorarbeit entnommen.

Für einen Insassen auf der stoßzugewandten Seite wurde das Risiko einer HWS-Verletzung aufgrund von möglichen Anstoßmechanismen der Körpers des Insassen (insbesondere Kopf und/oder Schulter im Fahrzeuginnenraum) höher eingeschätzt.

So wird in der Arbeit von *Becke und Castro* (2000), aufbauend auf der Arbeit von *Becke, Castro, van Aswegen und Meyer* (1999), ausgeführt: „Bei einem Schulteranstoß zeitlich vor dem Kopfanstoß wäre zunächst eine translatorische Relativbewegung im Bereich der Halswirbelsäule zu erwarten. Bei einem Kopfanstoß kommt es zu deutlichen Abknickungen im Halsbereich durch den sich an die Scheibe anlegenden Kopf. Derartige Bewegungen sind auf der stoßabgewandten Seite und damit auch beim Autoskooter nicht festzustellen“.

Nachteil bei den Experimenten, die diesen Veröffentlichungen zu Grunde lagen, war, dass sie mit einer Fahrgastzelle (Teil der Karosserie eines Opel Kadett ·D) bzw. mit einer Fahrgastzelle (Teil eines VW Golf II) durchgeführt wurden, die nicht über Räder, sondern auf einem Fahrgestell mit Lenkrollen montiert bzw. über Gummiklötze Kontakt zur Fahrbahn hatte.

Ein weiteres Defizit war, dass beide Fahrgastzellen nicht in Bewegung waren, sondern sich zum Kollisionszeitpunkt in einer ruhenden Position befanden. Somit war der Versuchsaufbau zwar nah an der Realität, wich jedoch vom realen Unfallgeschehen ab, da z. B. bei einem Kreuzungsunfall in der Regel beide Unfallgegner in Bewegung sind.

Um diese Nachteile zu eliminieren, wurde eine neue experimentelle Untersuchung durchgeführt, bei der vier Freiwillige als Fahrer (stoßzugewandt) bzw. als Beifahrer (stoßabgewandt) in einem fahrenden Pkw einer definierten, geringen seitlichen biomechanischen Belastung ausgesetzt wurden. Ziel dieser Studie war es insbesondere, die **Insassenbewegung im fahrenden Fahrzeug zu analysieren**.

II. Studie zur Seitkollision

Der detaillierte Versuchsaufbau und die detaillierten Ergebnisse sind der Arbeit von *Castro, Hein, Kalthoff, Becke, Gorny, Wagner und Castro* (2015) sowie der Arbeit von *Kalthoff, Becke, Castro, Hein, Gorny Wagner und Castro* (2015) zu entnehmen. Zusammenfassend kann an dieser Stelle Folgendes ausgeführt werden:

1. Probanden

Die Versuchsteilnehmer waren vier männliche Probanden im Alter zwischen 45 und 53 Jahren (Durchschnitt 48,5 Jahre). Alle vier Probanden nahmen an jeweils vier verschiedenen Kollisionsversuchen teil, und zwar als Fahrer (stoßzugewandt) in entspannter Sitzhaltung, als Fahrer (stoßzugewandt) mit angespannter Muskulatur, als Beifahrer (stoßabgewandt) in entspannter Sitzhaltung und als Beifahrer (stoßabgewandt) mit angespannter Muskulatur.

Zur Kontrolle der muskulären Anspannung wurde bei jedem Versuch sowohl beim Fahrer als auch beim Beifahrer eine elektromyographische (EMG)-Untersuchung durchgeführt. Die Versuche mit den Probanden wurden im Rahmen einer Doktorarbeit von der Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf begutachtet und freigegeben (Studiennummer 4128).

2. Fahrzeuge

Sämtliche Versuche wurden auf der Testanlage der Firma *crashtest-service.com* in 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 und von vorne auf die Insassen und damit eine Aufnahme der kollisionsbedingten Bewegungsabläufe der Insassen mittels Hochgeschwindigkeitskameras ermöglichte.

Dieser Pkw wurde von einem Lastkraftwagen (Lkw, Mercedes-Benz Actros, Baujahr 1996, Gesamtmasse ca. 16 t) über ein an einem Ausleger angebrachtes Seil und eine Führungsvorrichtung auf eine Geschwindigkeit von ca. 30 km/h beschleunigt.

Am Lkw war ein Pendel mit einer Masse von 470 kg angebracht. 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 gegen den Ford Escort stieß.

Die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung in Querrichtung im Ford Escort betrug ca. 2,1 km/h. Der Ford Escort war mit 4 Videokameras (Typ GoPro Hero 2, 60 Hz) zur Aufnahme der Bewegungsabläufe der Insassen ausgestattet. Mit Hilfe eines Videoanalyseprogrammes (Kinovea, Version 0.8.15) konnten die Bewegungstrajektorien des Kopfes und der Brust sowohl des Fahrers als auch des Beifahrers verfolgt werden und die Geschwindigkeiten (in km/h) und die Wege (in cm) der Körperteile der beiden Insassen im Rahmen der primären, der sekundären und der tertiären Bewegungsrichtung ermittelt werden (die **primäre Bewegungsrichtung** ist die Bewegung des Körpers in Gegenrichtung zum Stoß, die **sekundäre Bewegungsrichtung** ist die danach sich anschließende Rückpendelbewegung des Körpers und die **tertiäre Bewegung** ist die danach auftretende Rückpendelbewegung, wieder in Gegenrichtung zum Stoß).

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

Nach Erhalt der Messwerte erfolgte eine Analyse, inwiefern die Sitzposition (d.h. Fahrer versus Beifahrer) bzw. die Muskelspannung (d.h. entspannte versus angespannte Sitzhaltung) von Bedeutung ist.

3. Ergebnisse

Es zeigte sich, dass nicht nur in der Primärbewegung die höchsten Werte bezüglich Weg des Kopfes und der Brust festgestellt werden konnten, sondern dass bei verschiedenen Versuchen diese stattdessen in der Sekundärbewegung oder sogar in der Tertiärbewegung am höchsten waren. Noch auffälliger war, dass die Geschwindigkeit des Kopfes und der Brust meistens sogar in der Sekundärbewegung den höchsten Wert hatte.

Die seitliche Neigung der HWS ergab ebenfalls ein unterschiedliches Bild. So fand sich zum Beispiel die höchste seitliche Neigung der HWS in der Gruppe der Beifahrer mit entspannter Muskulatur zum Teil während der Primär- und zum Teil während der Sekundärbewegung.

Die vergleichende Analyse zwischen der Fahrerposition und der Beifahrerposition ergab sowohl in entspannter Sitzhaltung als auch in angespannter Sitzhaltung keine deutlichen Unterschiede außer einer leichten Tendenz in entspannter

Sitzhaltung, dass der Weg des Kopfes des Fahrers in der Sekundärbewegung und beim Beifahrer dahingegen in der Primärbewegung am weitesten ausfällt.

Die vergleichende Analyse zwischen entspannter und angespannter Sitzhaltung wies ebenfalls nur geringe Unterschiede auf. Es zeigte sich zum Beispiel der Trend, dass der Tertiärbewegung bei entspannter Muskulatur keine Relevanz zukommt, wohingegen dies bei der angespannten Muskulatur für die Fahrerposition wohl zutrifft.

III. Diskussion

Für die interdisziplinäre Begutachtung von HWS-Verletzungen nach Verkehrsunfällen ist es nicht nur relevant, grundlegende experimentelle Erkenntnisse zur häufigsten Unfallart, also der Heckkollision, zur Verfügung zu haben, sondern aufgrund der Vielzahl anderer Unfallkonstellationen ist auch die Erforschung der Bewegungsabläufe und der Verletzungsanfälligkeit von Insassen, auf die z. B. eine seitliche biomechanische Belastung eingewirkt hat, wichtig.

Dennoch ist in der Literatur nur wenig zu dieser Thematik publiziert worden; diesseits kann nur auf die Veröffentlichungen von *Becke, Castro, van Aswegen und Meyer (1999)*, *Becke und Castro (2000)* verwiesen werden. Die Schlussfolgerungen in diesen Veröffentlichungen zielten insbesondere darauf ab, dass bei einer Seitkollision im Niedriggeschwindigkeitsbereich der sogenannten stoßzugewandten Sitzposition eine besondere Bedeutung zukommt, insbesondere im Hinblick auf einen möglichen Anstoß von Körperteilen (Kopf und/oder Schulter) im Fahrzeuginnenraum.

In Anbetracht der Ergebnisse dieser aktuellen experimentellen Untersuchung kann die Einschätzung der besonderen Bedeutung der **Primärbewegung** bei einer stoßzugewandten Sitzposition bei Seitkollisionen im Niedriggeschwindigkeitsbereich nicht mehr aufrechterhalten bleiben.

Die Ergebnisse der aktuellen Studie zeigen, dass auch bei der **Sekundärbewegung (und sogar in der Tertiärbewegung)** durchaus Wege vom Kopf und Brust zurückgelegt werden, die zu Anstößen von Körperteilen im Fahrzeuginnenraum führen können.

Dieses wäre in der Begutachtung zum Beispiel dann von Bedeutung, wenn nach einer seitlichen Kollision auf der Beifahrerseite eine HWS-Verletzung bei einem Insassen auf dem Fahrersitz (d.h. somit sitzend auf der stoßabgewandten Seite) zur Diskussion steht.

Natürlich muss dabei bedacht werden, dass ein Anstoß von Kopf und/oder Schulter im Fahrzeuginnenraum **nicht zwingend impliziert**, dass tatsächlich eine HWS-Verletzung aufgetreten ist. Ein solcher Anstoß ist aber ein Faktor unter vielen bei der Beurteilung nach dem Auftreten einer möglichen HWS-Verletzung. Es ist also wichtig zu wissen, ob ein Anstoß von Körperteilen im Fahrzeuginnenraum aus der Unfalldynamik erklärt werden kann.

Die Erkenntnisse dieser aktuellen Studie können einen Beitrag für solch eine Erklärung liefern. Der Vollständigkeit halber muss aber auch darauf hingewiesen werden, dass – wie jede wissenschaftliche experimentelle Studie – auch die aktuelle Studie Defizite hat.

So ist zum Beispiel die Probandenzahl zu gering gewesen, um aussagekräftige statistische Analysen zu ermöglichen; außerdem war die auf die Probanden einwirkende biomechanische Belastung sehr gering; es stellt sich demzufolge die Frage, ob die Ergebnisse auch im höheren Belastungsbereich zutreffen.

IV. Schlussfolgerung

Trotz der oben genannten Defizite kann aus dieser experimentellen Studie für die Gutachtenpraxis bei Seitkollisionen auf geringem Belastungsniveau geschlussfolgert werden, dass berücksichtigt werden muss, dass nicht nur die Primärbewegung eines auf der stoßzugewandten Seite sitzenden Insassen zu einem Anstoß von Kopf und/oder Schulter im Fahrzeuginnenraum führen kann, sondern auch die Sekundärbewegung eines stoßabgewandten sitzenden Insassen. Sogar die Tertiärbewegung eines stoßzugewandten sitzenden Insassen gilt es zu berücksichtigen. Ob ein solcher Anstoß konkret auch verletzungsrelevant für die HWS ist, muss bei der Analyse aller für die Begutachtung zur Verfügung stehenden Erkenntnisse bewertet werden.

V. Zusammenfassung

1. Neue experimentelle Untersuchung zur Analyse der Insassenbewegung im fahrenden Personenkraftwagen bei der Seitkollision mit definierter, geringer biomechanischer Belastung.
2. Nicht nur die Primärbewegung bei einer stoßzugewandten Sitzposition im Fahrzeug ist von Bedeutung. Auch bei der Sekundärbewegung (und sogar bei der Tertiärbewegung) werden Wege vom Kopf und Brust im Fahrzeug zurückgelegt, die zu Anstößen von Körperteilen im Fahrzeug führen können.
3. Ein solcher Anstoß würde aber noch nicht automatisch bedeuten, dass dadurch dann auch eine HWS-Verletzung aufgetreten sein muss. ■

Literatur

Becke MER, Castro WHM, Hein MF, Schimmelpfennig KH. „HWS-Schleudertrauma“ 2000 – Standortbestimmung und Vorausblick. NZV 2000; 6: 225-236.

Becke M, Castro W, van Aswegen A, Meyer S. Zur Belastung von Fahrzeuginsassen bei leichten Seitenkollisionen. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 1999; 11: 293-298.

Becke M, Castro W. Zur Belastung von Fahrzeuginsassen bei leichten Seitenkollisionen-Teil II. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 2000; 7/8: 225-228.

Castro CJG, Hein M, Kalthoff W, Becke M, Gorny L, Wagner H, Castro WHM. Bewegungsanalyse und Bewertung des Verletzungsrisikos von Insassen bei Seitkollisionen – Erkenntnisse aus Crashtests beim fahrenden Personenkraftwagen. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 2015; 11: 380 – 189.

Kalthoff W, Becke M, Castro CJG, Hein M, Gorny L, Wagner H, Castro WHM. Bewegungsanalyse von Insassen bei Seitenkollisionen, 24. Jahrestagung Europäische Vereinigung für Unfallforschung und Unfallanalyse, Edinburgh, 2015.

Castro WHM, Hein M, Lepsien U, Mazzotti I. Die interdisziplinäre Begutachtung am Beispiel „HWS-Schleudertrauma“. NZV 2013; 11: 525-529.

Mazzotti I, Castro WHM. Das „HWS-Schleudertrauma“ aus orthopädischer Sicht – Stand 2008. NZV 2008; 21: 113-118. ■