

Stefan Meyer*, Stefan Thomann**,
Manfred Becke***

Der simulierte Heckanstoß

Eine wahrnehmbare Kollision ohne biomechanische Belastung

Zusammenfassung

Im Rahmen einer multidisziplinären Studie wurde nachgewiesen, dass auch ohne Einwirkung einer biomechanischen Belastung von einem Anteil Freiwilliger nach einem Auffahrunfall (Heckanstoß) Beschwerden angegeben werden. Insgesamt nahmen 51 Freiwillige (18 Frauen und 33 Männer) an einer simulierten Heckkollision teil. Durch den technischen Versuchsaufbau war gewährleistet, dass von allen ein Kollisionsereignis wahrgenommen wurde. Keiner der Freiwilligen war jedoch einer biomechanischen Belastung ausgesetzt. Dennoch gaben fast 20 % (10 von 51) der Freiwilligen innerhalb der ersten drei Tage nach dem simulierten Heckanstoß „schleudertraumaähnliche“ Beschwerden an. Hieraus ließ sich folgern, dass nach leichten Heckkollisionen mindestens 20 % der Insassen „schleudertraumaähnliche“ Beschwerden angeben, obwohl keine biomechanisch verursachte Verletzung vorliegen kann.

Summary

Through this study there is shown that a certain percentage of volunteers will report „whiplash-like“ complaints after a rear-end collision without any biomechanical stress acting on them. Fifty-one volunteers (18 females and 33 males) take part in simulated rear-end collision (SIMKOL). One intention of the study was to create an experimental set-up including all sensitive components of a real-life-accident. The illusion worked so well that no one recognized components of a real-life accident. The illusion worked so well that no one recognized that the collisions were simulated. Within three days after SIMKOL ten volunteers had whiplash-like complaints. We concluded that at least almost 20 % of vehicle occupants involved in low-speed rear-end collisions will indicate „whiplash-like“ complaints although no real (biomechanical based) injury could have been caused.

Einleitung

Die Erforschung des Zusammenhangs zwischen Unfallschwere und biomechanischer Insassenbelastung ist mittlerweile sicher mehr als nur ein Randgebiet der Verkehrsunfallrekonstruktion. Im Hinblick auf Verletzungen der Halswirbelsäule wurde die Insassenkinematik infolge eines Heckanstoßes in zahlreichen experimentellen Studien beschrieben [2, 4, 5, 6, 7, 8]. Als ein Teilergebnis eigener experimenteller Untersuchungen wurde formuliert, dass bei einer kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung (Δv) bis zu 11 km/h im Normalfall (gesunder Betroffener, normaler Sitzposition zum Zeitpunkt der Kollision) eine Verletzung der Halswirbelsäule infolge eines Heckanstoßes unwahrscheinlich ist. Mit den

*Dipl.-Ing. Stefan Meyer, öffentl. best. und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle, IHK Münster c/o Ing.-Büro Schimmelpfennig + Becke, - Lübeck/Schwerin-GmbH - Ing.-Büro Schal + Meyer, Am Flugplatz 4, 23560 Lübeck.

**Dipl.-Ing. Stefan Thomann, Gnattenbergstraße 17, 27432 Bremervörde

***Dipl.-Ing. Manfred Becke, öffentl. best. und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle, IHK Münster, c/o Schimmelpfennig + Becke, Münsterstraße 101, 48155 Münster

bildgebenden Verfahren, die 1996/1997 zur Verfügung standen, konnte sogar bis zu einer kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung von 14,2 km/h kein morphologisches Anzeichen für eine HWS-Verletzung nachgewiesen werden.

Im Jahr 1998 wurde in einer kanadischen Studie [1] über weitere Freiwilligen-Versuche berichtet. Hier wurden 42 Frauen und Männer zwischen 20 und 40 Jahren im Rahmen einer Heckkollision einer kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung von 4 und 8 km/h ausgesetzt. Bereits bei einer kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung von 4 km/h gaben 29 % der Testpersonen „schleudertraumaähnliche“ Beschwerden (whiplash-like complaints) von minimaler Intensität und relativ kurzer Dauer an. Bei einer Geschwindigkeit von 8 km/h waren es bereits 38 % der Versuchspersonen.

Ein Vergleich dieser Ergebnisse mit denen der eigenen früheren Studien zeigt eine deutliche Diskrepanz. Auf den ersten Blick konnte diese Abweichung nicht erklärt werden. Dass eine kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung von 4 km/h bei einer so großen Anzahl von Testpersonen bereits zu Beschwerden führt, erschien sehr zweifelhaft.

Aus diesem Grund wurde eine neue multidisziplinäre Studie (Zusammenarbeit des Ing.-Büros Schimmelpfennig + Becke, der Akademie für Manuelle Medizin an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, der Abteilung Prävention und Rehabilitation der Universität Bochum, des Instituts für Rechtsmedizin an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, der Rechtsanwaltskanzlei Dr. König und Partner aus Münster und des Facharztes für Orthopädie, Dr. Hein) konzipiert. In dieser Studie sollten Freiwillige einer simulierten Heckkollision ausgesetzt werden. Die Arbeitshypothese dieser Untersuchung bestand darin, dass auch bei einer simulierten Heckkollision ohne biomechanische Belastung ein bestimmter Prozentsatz von Testpersonen Beschwerden angeben würde.

In dieser Arbeit soll im Hinblick auf die technische Durchführung der Versuchsaufbau und -ablauf des simulierten Heckanstoßes beschrieben werden. Zunächst wurde ein Setup entworfen, das ermöglichte, eine Kollision wahrzunehmen, ohne hierbei jedoch den freiwilligen Insassen biomechanisch zu belasten. Die technische Entwicklung gelang im Rahmen einer Diplomarbeit der FH Osnabrück in Zusammenarbeit mit dem Ing.-Büro Schimmelpfennig + Becke, Münster [9].

Vorbereitung

In Anlehnung an die experimentelle Untersuchung von Brault [1] wurden die Freiwilligen mittels einer Anzeige in lokalen Zeitungen rekrutiert. Insgesamt nahmen 51 freiwillige Testpersonen (18 Frauen, 33 Männer) an den Versuchen teil. Vor der Versuchsdurchführung wurden sie dahingehend aufgeklärt, dass sie – **wenn überhaupt** – einer biomechanischen Belastung ausgesetzt werden, die maximal so groß ist, wie in einem Autoskooter auf dem Jahrmarkt. Weiterhin wurde ihnen mitgeteilt, dass sie mit Ausnahme eines fahrlässigen Fehlers der Versuchsleitung keinerlei Ansprüche gegen diese stellen können. Unmittelbar vor der simulierten Kollision (im Folgenden SIMKOL genannt) wurde jeder Teilnehmer orthopädisch und psychologisch (Fragebogen) untersucht. Freiwillige mit orthopädischen Befunden bei der Eingangsuntersuchung, Operationen an der Wirbelsäule in der Vergangenheit, sportlichen Betätigungen oder Alkoholgenuß in den letzten 48 Stunden vor der Kollision wurden von den Versuchen ausgeschlossen, außerdem Personen unter 18 und über 65 Jahre. Unmittelbar vor der SIMKOL hatte keiner der Freiwilligen HWS-Beschwerden.



Bild 1 Anstoßsituation und Endstellung
Fig. 1 Impact situation and post-crash situation

Der wesentliche Teil der Versuchsvorbereitung bestand darin, einen Versuchsaufbau zu entwickeln, durch den eine umfassende sensitive (optische, akustische, taktile und kinästhetische) Wahrnehmbarkeit einer tatsächlichen Kollision gewährleistet war, ohne dass hierbei eine biomechanische Belastung auf die Freiwilligen ein-



Bild 2 Versuchsschäden (v_1 | 20 km/h, $\Delta v_1 = -9,6$, $\Delta v_2 = 13$ km/h)
Fig. 2 Damages (v_1 | 20 km/h, $\Delta v_1 = -9,6$, $\Delta v_2 = 13$ km/h)

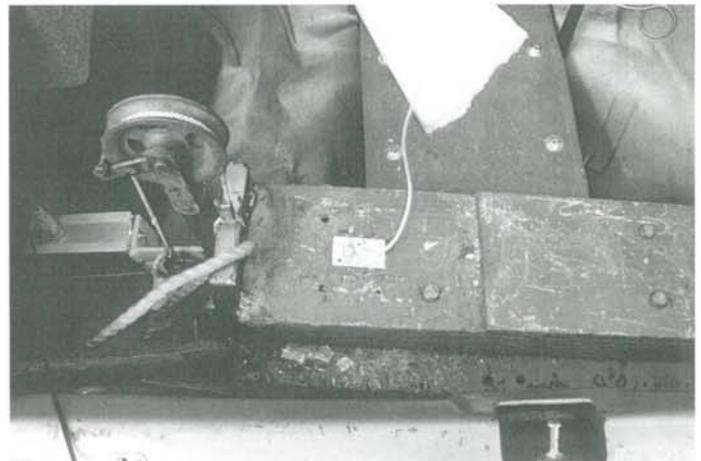


Bild 3 Stahlplatte und Fallgewicht im Kofferraum
Fig. 3 Weight in prepared boot

wirkte. Hierzu wurde zunächst auf der hauseigenen Crash-Anlage des Ing.-Büros Schimmelpfennig + Becke ein Auffahr-Kollisionsversuch durchgeführt. Im Versuch prallte ein Audi 200 unterfahrend¹ und mit ca. 30 %-iger Überdeckung auf das Heck eines davor stehenden Opel Aconac. Die mit Hilfe einer Lichtschranke gemessene Kollisionsgeschwindigkeit lag bei 19,7 km/h. Die Fahrzeugendstellungen sind in **Bild 1** und die Fahrzeugbeschädigungen in **Bild 2** dokumentiert. Mit Hilfe aufgezeichneter Beschleunigungsdaten zweier Unfalldatenspeicher (UDS der Fa. VDO Kienzle) konnte eine Kollisionsdauer von 0,13 s gemessen und eine Stoßziffer (k-Faktor) von 0,15 zur Beschreibung des teilelastischen Kollisionsverhaltens berechnet werden.

Die auf die Fahrbahn herabgefallenen Splitter (Teile der Streulichtscheiben) und Lackfragmente wurden asserviert; die beschädigten Karosserieteile mit Klarlack konserviert.

Bild 3 zeigt die durch eine Stahlplatte ersetzte Reserveradmulde des Opel Asconac. Auf dieser Stahlplatte im Kofferraum befand sich ein 110 kg schweres Gewicht, das einseitig um ca. 15 cm angehoben und festgesetzt wurde. Zwischen Gewicht und Stahlplatte lag eine Glasflasche.

Der Opel stand mit den Hinterrädern auf zwei kleinen Auffahrrampen mit einer Höhe von 6 cm, um eine nachkollisionäre Vorwärtsbewegung zu erreichen (**Bild 4**).



Bild 4 Opel mit Halteseil auf Rampen
Fig. 4 Opel hold by a rope of steel at a sloping surface

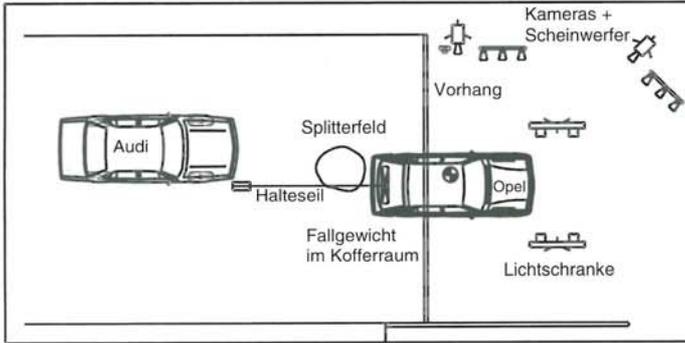


Bild 5 Versuchsaufbau (Draufsicht)
Fig. 5 Experimental set-up (top view)

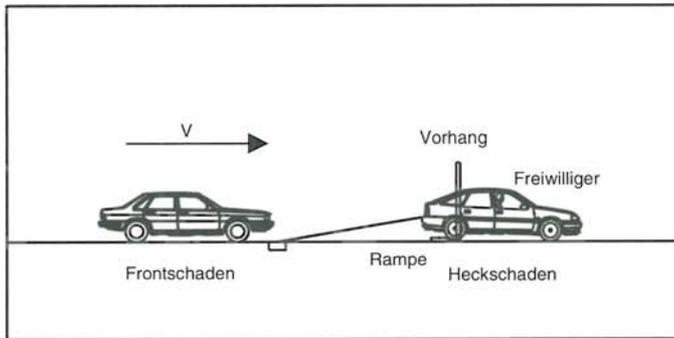


Bild 6 Versuchsaufbau (Seitenansicht)
Fig. 6 Experimental set-up (side view)

Bei Betätigung einer elektromagnetischen Ausklinkvorrichtung, die zeitsynchron mit der Gewichtshaltevorrichtung über einen externen Taster ausgelöst wurde, rollte der Ascona durch sein Eigengewicht ca. 1,7 m vorwärts. Gleichzeitig fiel das Stahlgewicht auf die Glasflasche, welche zersplitterte. Im Opel Ascona befand sich neben dem Unfalldatenspeicher eine büro eigene Crash-Daten-Erfassungseinheit. Hierdurch konnten redundant zur Fahrgastzellenbeschleunigung auch die biomechanischen Beschleunigungen von Kopf und Brust des Freiwilligen aufgezeichnet werden. So gelang der Nachweis, dass eine biomechanische Belastung nicht vorlag.

Im Rahmen der Versuchsvorbereitung wurden die Spiegelflächen (Außen- und Innenspiegel) des Ascona geschwärzt und hinter der Rücksitzbank (C-Säule) ein schwarzer Stoffvorhang eingezogen. Für die Freiwilligen bestand weder die Möglichkeit, in den Kofferraum zu blicken, noch den Raum hinter der Stillstandsposition des Pkw zu beobachten. Auch der bereits vorhandene Heckschaden war durch den Vorhang verdeckt. Eine realistische Versuchssituation (vergleichbar mit den hier zuvor durchgeführten Freiwilligen-Studien [2, 5, 6] wurde durch Scheinwerferstative und verschiedene Kameras simuliert. Der auffahrende Audi stand in seiner Ausgangsposition ca. 25 m hinter dem Opel. Der prinzipielle Versuchsaufbau wird durch **Bild 5** und **Bild 6** beschrieben.

Versuchsablauf

Nach einer orthopädisch-psychologischen Eingangsuntersuchung begab sich jede freiwillige Versuchsperson zum präparierten Versuchsfahrzeug auf die Crash-Anlage. Die dargebotene Versuchssituation gibt **Bild 7** wieder. Jeder Freiwillige stellte den Fahrersitz entsprechend seinen individuellen Vorstellungen ein. Der Versuchsleiter befestigte die Brust- und Kopfbeschleunigungssensoren.



Bild 7 Versuchssituation
Fig. 7 Experimental scene



Bild 8 Verborgene Ausgangssituation
Fig. 8 Start-up behind curtain

Der Sicherheitsgurt wurde angelegt und die computerunterstützte Crash-Daten-Erfassung aktiviert. Das scheinbar auffahrende Versuchsfahrzeug (Audi 200) stand in einer Entfernung von etwa 25 m hinter dem schwarzen Vorhang (vgl. auch **Bild 8**). Nach dem Startvorgang fuhr es im ersten Gang mit einer Geschwindigkeit zwischen etwa 15 und 20 km/h auf den Opel zu. Der Versuchsfahrer bremste den Audi unmittelbar hinter dem Heck des Opel Ascona voll ab. Ein Kontakt fand nicht statt. Das Fallgewicht und das Halteseil wurden zeitsynchron freigegeben. Die Glasflasche zersplitterte. Die Karosserie vibrierte durch den Aufprall des Gewichts im Kofferraum. Zeitgleich löste sich das Stahlseil und der Wagen rollte von der Auffahrrampe. Unmittelbar danach entfernte ein Helfer unbemerkt die Auffahrrampen, das Stahlseil und die Auslösevorrichtung. Abschließend zog er die Sichtschutzplane zur Seite und der Blick auf die Unfallensituation, einschließlich des Splitterfeldes, war freigegeben. In der Zwischenzeit befreite man den Freiwilligen von den Brust- und Kopfbeschleunigungsaufnehmern. Dann konnten jedem Teilnehmer die Fahrzeugschäden und das Splitterfeld als typische Unfallensituationen präsentiert werden. Diese Situation ist in **Bild 9** wiederge-



Bild 9 Präsentation einer typischen Unfallszene
Fig. 9 Presentation of a typical accident scene

geben. Nach Besichtigung der präsentierten Unfallszene gingen die Freiwilligen zur medizinischen Nachuntersuchung. Der Versuchsaufbau hinterließ bei den Probanden einen überzeugenden Eindruck, da keiner der Freiwilligen bemerkte, dass die Auf-fahrkollision nur simuliert war.

Die Testpersonen beschrieben drei Tage und vier Wochen nach dem Test mit Hilfe ausgefüllter Fragebogen ihre eventuelle Be-schwerde-Symptomatik.

Ergebnisse

Als ein wesentliches Ergebnis der Studie bleibt festzuhalten, dass innerhalb der ersten drei Tage zehn von 51 Personen (dies ent-spricht fast 20 %) über „schleudertraumaähnliche“ Beschwerden (z.B. Nackenschmerzen, Ohrensausen, Konzentrationsstörungen, Erbrechen, Schwindel) angaben. Vier Wochen nach dem Test äußerten immer noch vier Freiwillige (4,8 %) Beschwerden. Von den letzten vier gaben jedoch zwei Versuchspersonen an, dass die Be-schwerden unabhängig von dem Versuch gewesen seien.

Im Rahmen der psychologischen Auswertung wurde eine Diskrimi-nanz-Analyse durchgeführt. Diese Analyse erlaubt die gleichwertige Berücksichtigung der vier in den Studien benutzten Prädikatoren für die Vorhersage, ob ein Proband nach vier Wochen Bescher-den haben wird oder nicht. In dieser Studie betrug die Trefferquote 93,6 %. Weitergehende Ergebnisse zum Verlauf dieser Studie sind in [3] veröffentlicht.

Die Auswertung der technischen und biomechanischen Beschleu-nigungsdaten zeigte, dass keinerlei biomechanische Beanspru-chung der Freiwilligen während der Versuchsdurchführung vorlag.

Bild 10 dokumentiert einen direkten Vergleich des zeitlichen Ver-laufs der Kopf-längsbeschleunigungssignale eines SIMKOL-Freiwilligen und eines Probanden, der sich rückwärts auf einen Bürostuhl setzte. Somit sind die Kopfbeschleunigungen während der SIMKOL nicht höher gewesen als bei alltäglich mehrfach wiederholten Tätig-keiten. Eine Beanspruchung im Sinne einer biomechanischen Be-lastung lag während der SIMKOL also nicht vor.

Wie nicht anders zu erwarten, lässt sich aus dem Vergleich der in **Bild 11** gezeigten Brust-längsbeschleunigungsverläufe ein identi-sches Teilergebnis ableiten. Hier ist das SIMKOL-Signal demjeni-gen eines Freiwilligen gegenübergestellt, der einen leichten Hand-schlag („Klaps“) auf die Schulter, wie er zur Begrüßung unter guten Bekannten vorkommt, erhielt. Obwohl der Schulter-„Klaps“ sicher

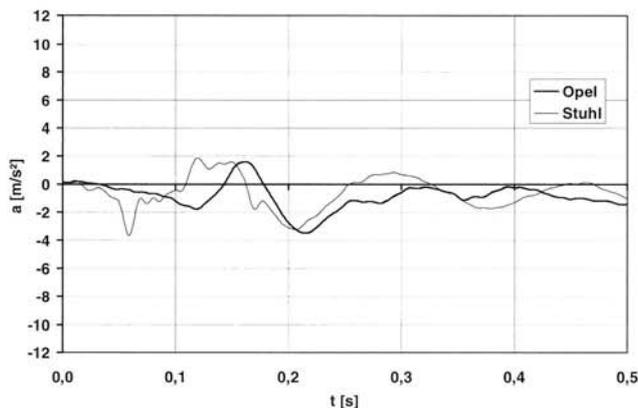


Bild 10 Vergleich Kopfbeschleunigungen SIMKOL/„STUHL“
Fig. 10 Comparison of acceleration signals SIMKOL/“chair“

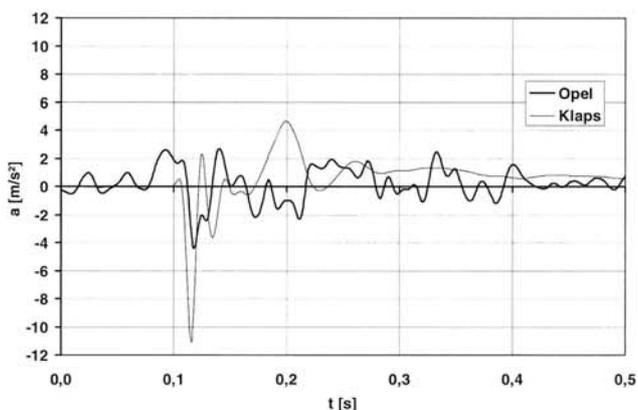


Bild 11 Vergleich Brustbeschleunigung SIMKOL/Handschlag auf Schulter
Fig. 11 Comparison of acceleration signals SIMKOL/schoulder-slap

keine biomechanische Belastung beinhaltet, liegen die hieraus fol-genden Brustbeschleunigungen deutlich höher als im SIMKOL-Ver-such.

Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass das aufge-zeichnete Fahrgastzellenbeschleunigungssignal auf Grund seines geringen Niveaus von den, durch den Fall des Gewichts im Koffer-raum ausgelösten, Schwingungen überlagert wurde. Die Auswer-tung nach digitaler Filterung lieferte eine mittlere Fahrgastzellenbe-schleunigung von etwa 0,5 bis 0,6 m/s^2 . Dieses Messergebnis steht mit den geometrischen Gegebenheiten (Rampenwinkel, etc.) im Einklang und lässt sich mit Pkw-Anrollbeschleunigungen an einer etwa 5 bis 6 %-igen Gefällestrecke vergleichen.

Diskussion

Der entwickelte Versuchsaufbau hat gezeigt, dass es technisch möglich ist, einen tatsächlich nicht vorhandenen Heckanstoß vor-zutauschen. Durch die Heckanstoß-Simulation wurde jedem Frei-willigen eine akustische, visuelle, taktile und kinästhetische Wahr-nehmung dargeboten, ohne mit einer nennenswerten biomechani-schen Belastung einherzugehen. Hierdurch konnte gezeigt werden, dass die Angabe „schleudertraumaähnlicher“ Beschwerden nach einem Unfall nicht ausschließlich von der Höhe der mechanischen Beanspruchung, sondern auch von psychosomatischen Faktoren beeinflusst wird. Als Hypothese kann man hieraus formulieren, dass eine Kollision größerer Intensität auch einen größeren psy