



Report

Bemessung der Verletzungsschwelle der HWS bei Heckkollisionen

Author(s):

Walz, Felix; Muser, Markus Hugo

Publication Date:

1999

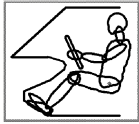
Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004275329> →

Rights / License:

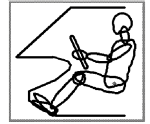
[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).



Arbeitsgruppe für Unfallmechanik

Forschung, Rekonstruktion, Biomechanik, Prävention



Arbeitsgruppe für Unfallmechanik
c/o Institut für biomedizinische Technik
Gloriastrasse 35
CH-8092 Zürich

18. Mai 1999

Tel: +41 (0)1 632 71 66
Fax: +41 (0)1 632 11 93
E-Mail: walz@biomed.ee.ethz.ch

Bemessung der Verletzungsschwelle der HWS bei Heckkollisionen

Prof. Dr. med. F. Walz
FMH für Rechtsmedizin
Spez. Forensische Biomechanik

Dr. sc. techn. M. Muser
dipl. Ing. ETH

1. Einleitung

Seit die Problematik von Beschwerden ausgehend von der Halswirbelsäule (HWS) nach Auf-
fahrnfällen im Strassenverkehr bekannt ist, ist heftig umstritten, ob auch "leichte" Heckkoll-
isionen solche Beschwerden verursachen können. Zentral ist dabei die Frage, ob es eine
quantifizierbare "Verletzungsschwelle" überhaupt gibt, und wenn ja, wie hoch diese anzuset-
zen ist. Vielfach herrscht zudem Unklarheit darüber, welche Parameter hierfür zu berücksich-
tigen sind. Bei den Diskussionen und Statements fällt immer wieder auf, dass grundlegende
physikalische Parameter (z.B. Aufprallgeschwindigkeit¹, Geschwindigkeitsänderung², Be-
schleunigung³ usw.) nicht richtig verstanden und deshalb miteinander verwechselt werden.
Unsicherheiten bestehen aber auch darin, welches die Möglichkeiten und Grenzen unfallana-
lytischer Untersuchungen, der Biomechanik sowie der Medizin sind. Wie komplex die Materie
ist, zeigt auch der Umstand, dass zu Beginn der neunziger Jahre auch unter Rechtsmedizi-
nern die Meinungen zum Thema wesentlich voneinander abwichen. Der Grund hierfür lag
aber weitgehend in Missverständnissen, die heute ausgeräumt sind (Vgl. Anhang IV/V).

¹ Aufprallgeschwindigkeit (= Kollisionsgeschwindigkeit): Geschwindigkeit eines Fahrzeuges
unmittelbar vor Beginn der Kollision

² Geschwindigkeitsänderung (Delta-v) : Durch Kollision bedingte Geschwindigkeitsänderung
des Fahrzeuges (z.B. ein stillstehendes Fahrzeug ändert seine Geschwindigkeit durch einen
Heckanprall von Null auf 10 km/h = Delta-v 10 km/h). Oder: Frontale Kollision gegen eine
nicht nachgebende Mauer mit 20 km/h: Delta-v = 20 km/h. Die Zeit des Kollisionsvorganges,
innerhalb dessen der "Geschwindigkeitszuwachs, bzw. -verlust" eintritt, beträgt meist ca.
100 Millisekunden, = 1/10 Sekunde.

³ Beschleunigung / Verzögerung [m/s²]: Geschwindigkeitsänderung pro Zeit, (?v/?t). Be-
schleunigung: 1 "g" = 9.81m/s², normale Erdbeschleunigung: Ein Körper von 1 kg Masse
erfährt bei 1 g Beschleunigung eine Gewichtskraft von 1 kg (korrekt 10 Newton, N). Vereinfach-
t ist ein Körper von 70 kg bei 10 g 7000 N (700 kg) "schwer".

Im Folgenden soll zuerst kurz aufgezeigt werden, welches die Möglichkeiten und Grenzen der angesprochenen Fachrichtungen sind. Im Anschluss daran wird diskutiert, ob sich eine Verletzungsschwelle mittels wissenschaftlich anerkannter Methoden festlegen lässt.

2. Möglichkeiten und Grenzen der Fachbereiche

Unfallanalytische Untersuchungen: Aufgrund von Brems- und Kontaktschäden, Beschädigungsbildern der Fahrzeuge sowie anhand von Reparaturrechnungen lässt sich errechnen, wieviel Energie in Deformationsarbeit umgewandelt wurde, dabei gilt es auch das Gewicht der jeweils beteiligten Fahrzeuge zu berücksichtigen. Mittels physikalischer Gesetze lassen sich damit die erforderlichen Daten (bei Auffahrunfällen vor allem die Kollisionsgeschwindigkeit sowie die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung [Δv]) rekonstruieren. Zur Validierung der so berechneten Werte liegen inzwischen einige hundert "low-speed-impact-test-reports" (Bilder von Crashversuchen) vor, in denen die relevanten Daten mittels Präzisionsmesstechnik erfasst und dokumentiert wurden. Die berechneten und validierten Daten werden als Spanne (Minimal- und Maximalwert) angegeben, um einen realistischen Toleranzbereich zu schaffen. Darüber hinaus kann die mittlere Beschleunigung errechnet werden, die auf das Fahrzeug eingewirkt hat. Dazu ist ebenfalls die Abschätzung der Stosszeit (Kollisionsdauer) erforderlich, die meist zwischen 0.1 und 0.15 Sekunden liegt. Der Unfallanalytiker beschreibt also Belastungen und Bewegungen von Fahrzeugen, teilweise auch Bewegungen von Personen in den Fahrzeugen.

Biomechanik: Der wesentliche Unterschied zwischen der Biomechanik und der technischen Unfallanalyse liegt darin, dass die Biomechanik zusätzlich die konstitutionellen und medizinischen Spezifitäten (vgl. dazu die Ausführungen zum "Normalfall" unter Punkt 3.5.) der betroffenen Person im Einzelfall mit berücksichtigt. Hilfsmittel zur fallbezogenen biomechanischen Beurteilung sind u.a. Resultate aus Freiwilligenversuchen, biomechanische Belastungsstudien, epidemiologische Unfallstatistiken und allgemeine biomechanische Grundsätze. Eine biomechanische Beurteilung kann anschliessend eine Brücke zwischen den vom Unfallanalytiker berechneten Fahrzeugkriterien und den ärztlich dokumentierten subjektiven Beschwerden und objektiven Befunden bauen. Es wird somit klar, dass ein vom Unfallanalytiker ermittelter Kollisionsparameter allein (z.B. Δv , Beschleunigung usw.) *nie* das *spezifische* Verletzungspotential für alle Personen und Spezialumstände angeben kann. Erst die biomechanische Beurteilung kann zeigen, wie sich solche Spezialumstände ausgewirkt haben. Wir verweisen diesbezüglich auf das Papier der gleichen Autoren vom 07.05.99 "Möglichkeiten und Grenzen der biomechanischen Beurteilung von körperlichen Beschwerden nach Fahrzeugkollisionen, im Besonderen bezogen auf die Halswirbelsäule", Anhang III).

Medizin: Der medizinische Begutachter stützt sich einerseits auf die subjektiven Beschwerdebeschreibungen seines Patienten und andererseits auf seine objektiven Befunderhebungen (klinische und bildgebende Untersuchungen usw.). Um die Frage der Kausalität beantworten zu können, muss er diese Daten mit dem interessierenden Unfallereignis in Beziehung setzen. Als Arzt ist er aber vom Grundsatz her nicht in der Lage, über die Zuordnung der von ihm erhobenen medizinischen Befunde zum "Unfall" zu urteilen, wenn er weder über korrekte Dokumente über den "Unfall" noch über die unbedingt notwendigen kollisionsmechanischen und biomechanischen Kenntnisse verfügt. Patientenangaben über den "Unfall" allein genügen keinesfalls, da Aussagen über "Geschwindigkeiten" selbst vom Fachmann als betroffener Insasse nicht zuverlässig geschätzt werden können und somit massiv fehlleitend sind (vgl. auch Anhang III).

Viele Missverständnisse werden dadurch ausgelöst, dass einige medizinische Gutachter den "Mittelwert" des im spezifischen Fall unfallanalytisch berechneten Bereiches als Grundlage verwenden, wohingegen andere den ganzen Bereich mit einbeziehen und letztlich den oberen Wert zu Grunde legen. Wenn also ein Wert für die gutachterlich üblicherweise angewandte "Verletzungsschwelle" angegeben wird, muss immer nachgefragt werden, welcher vom Un-

fallanalytiker genannte Wert (Mittelwert oder der obere Wert des Bereiches) als Grundlage diente. *Beispiel:* Manchmal basieren die Ausführungen derjenigen Gutachter, die den Mittelwert einsetzen, auf einer "Verletzungsschwelle" von Delta-v 8 km/h, während wir - bezogen auf den oberen Wert des Bereiches - eine solche von Delta-v 10 km/h annehmen. Dies ergibt häufig genau die gleiche Beurteilung, da der Mittelwert von 8 km/h oft einem Bereich von z.B. 6-10 km/h entspricht.

3. Verletzungsschwelle

3.1. Studien zur Abschätzung von Grenzwerten

Es liegen zahlreiche Studien vor, in denen versucht wurde, sich an die Verletzungsschwelle heranzutasten. Es sind dies beispielsweise Rekonstruktionen von Heckkollisionen und biomechanische Belastungsversuche mit Leichen oder freiwilligen Probanden. In den letzten Jahren wurden mit Freiwilligen zahlreiche Schlittenversuche (rückwärts fahrender Schlitten wird abgebremst) und Heckanstoßversuche mit im Fahrzeug sitzenden Probanden durchgeführt. Weiter wurden die auftretenden Kräfte bei Autoscooterkollisionen auf Jahrmärkten gemessen, die im Hinblick auf die weltweit riesige Zahl der Expositionen (auch älterer Leute) offenbar unproblematisch sind. Mittels an Personen befestigten Sensoren wurde auch gemessen, welche Kräfte bei alltäglichen Vorgängen (z.B. "sich in einen Stuhl fallen lassen", "von einem Stuhl herabspringen" usw.) auf den menschlichen Körper wirken.

Viele dieser Versuche wurden nicht unter streng wissenschaftlichen Kriterien durchgeführt. Andere brachten Ergebnisse, die sich aufgrund der Zahl oder Zusammensetzung der Testpersonen oder der Versuchsanordnung nicht ohne weiteres für die Begutachtungspraxis eignen. Ein weiterer Umstand, der zu Unklarheiten führt, ist, dass diese Versuche oft nicht im richtigen Zusammenhang wiedergegeben, nur vereinfachende Zusammenfassungen zitiert und weiterverbreitet, oder die Resultate einfach pauschal als "methodisch falsch" bezeichnet werden (vgl. Punkt 3.2. und 3.4.).

3.2. Wertung einzelner Studien mit besonders tiefen Delta-v-Werten

Die in der Publikation von McConnell et al.⁴ genannte Verletzungsschwelle von Delta-v 6-8 km/h wird oft in einem falschen Zusammenhang zitiert. Bei den Versuchen wurden freiwillige Probanden je 3 bis 7 Heckkollisionen ausgesetzt. Diese Versuchsbedingung entspricht wegen ihrer zusätzlichen Belastung nicht der üblichen Situation einer realen Kollision. Es handelte sich zudem um Personen im Alter von 45 bis 56 Jahren, teilweise mit altersentsprechenden degenerativen Veränderungen der HWS. Die Schlussfolgerung lautete: "Die sehr geringen Beschwerden, die bei drei Testpersonen nach mehreren Versuchen auftraten, wiesen darauf hin, dass Delta-v-Werte von 6-8 km/h wahrscheinlich bei oder nahe der typischen Grenze für sehr geringe HWS-Distorsionen liegen" ("The very mild discomfort symptoms experienced by our three test subjects, after multiple test exposures, indicated that the 6 to 8 km/h struck vehicle Delta-v test conditions were probably at, or near, typical human threshold for very mild, single event musculoskeletal cervical strain injury"). Letztere Fälle sind per definitionem aber gerade nicht die strittigen, sonst wären sie nicht "very mild". Somit ist der in kritischen Fällen mit schweren, jahrelangen Beschwerden von Ärzten ohne genaue Literaturkenntnis manchmal gezogene Schluss, dass die Verletzungsschwelle auch für diese deutlichen Beschwerden bei einem Delta-v-Wert von 6-8 km/h liege, sicher nicht zulässig, wird dieser Wert doch - wie oben wörtlich zitiert - für "very mild" und kurzzeitige HWS-Beschwerden angegeben. In einer

⁴ McConnell WE, Howard RP, Guzman HM et al.: Analysis of human test subject kinematic responses to low velocity rear end impact. SAE SP-975, pp 21-30, SAE 930889, 1993

späteren Arbeit schreiben die gleichen Autoren ⁵, dass sich bei den Versuchspersonen trotz mehrerer Versuche mit 8 km/h seit vier Jahren keine Entwicklung irgendwelcher HWS-Symptome ergeben hätten; es seien keine biomechanischen Ereignisse vorhanden, die hier zu einem Dauerschaden im HWS-Bereich hätten führen können.

Bei einer anderen Arbeit (publiziert in: Brault 1998 ⁶, Wheeler 1998 ⁷) wurden bei Delta-v-Werten von 4 bzw. 8 km/h sehr leichte Beschwerden festgestellt (Nackensteifigkeit, Kopfschmerzen), die in der Regel nur von kurzer Dauer waren (Extremwerte: 20 Minuten bzw. 5 Tage). Aus dem Abstract der Arbeit ergibt sich allerdings nur die stark verkürzte Aussage, dass bei den genannten Delta-v-Werten etwa 30 % der Betroffenen "HWS-Symptome und Kopfschmerzen" angegeben hätten. Dieses Ergebnis lässt u.a. deshalb aufhorchen, weil es bei beiden Belastungen, also 4 und 8 km/h, zum gleichen Resultat führte. Liest man die Arbeit ganz und spricht selber mit den Autoren (September 1998), zeigt sich aber ein ganz anderes Bild, als es aus der Zusammenfassung hervorgeht. Auf die Unstimmigkeit hingewiesen schrieb einer der Autoren (Jeff Wheeler) an die Unterzeichneten: "You will realize that our recorded "symptoms" were minor and of short duration. Symptoms probably indicative of minor muscle strain that resolved within hours or days and all resolved without medical treatment.... Regarding the severity and duration of the WAD symptoms, I do not recall the reason why we did not include these results within the Abstract. However, it may have been because of restrictions on the number of words permitted in the Abstract per the journal requirements" (Jeff Wheeler). Also zusammenfassend übersetzt: "Unsere "Symptome" waren gering und von kurzer Dauer. Symptome, die wahrscheinlich auf eine Muskelverspannung hinweisen, die innerhalb von Stunden oder Tagen ohne medizinische Behandlung verschwanden (....). Weshalb wir die Resultate betreffend der Schwere und Dauer der Symptome nicht in der Zusammenfassung genannt haben, erinnere ich mich nicht. Möglicherweise war es wegen der für die Zusammenfassung beschränkten Anzahl Wörter". Ein Mitautor dieser Studie schrieb kürzlich⁸ in ähnlicher Weise, (Siegmond, Februar 1999): "The types of injuries produced in this study were likely musculotendinous in nature. Therefore, extrapolation of the current model outside of these test conditions, injury types and injury severities may be inappropriate", übersetzt: "Die Verletzungsarten in dieser Studie waren wahrscheinlich auf die Muskeln und Sehnen bezogen. Deshalb dürfte eine Übertragung des Modells auf Situationen ausserhalb unserer Testbedingungen und von den hier registrierten Verletzungsarten und -schweregraden nicht geeignet sein".

Ein Grund für das unerwartete Auftreten von Kopfschmerzen sahen die Autoren u.a. darin, dass die Sensoren, mit denen die Kopfbeschleunigung gemessen wurde, mit engen Bändern um den Kopf der Probanden befestigt waren. Die Beschwerden werden später in der Publikation gesamthaft mit "of minimal severity and short duration" charakterisiert. Die Autoren schreiben in der Schlussfolgerung, dass die Daten keine nennenswerten Prognosen für tatsächliche Heckkollisionen zuließen, da viele Variablen den Folgezustand beeinflussen würden.

⁵ McConnel et al. Human Head and Neck Kinematics After Low Velocity Rear-End Impacts – Understanding „Whiplash“. SAE paper 952724 (1995)

⁶ Brault JR, Wheeler JB, Brault EJ, Siegmund GP: Clinical Response of Human Subjects To Rear-end Automobile Collisions. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 79:72-80 - January, 1998

⁷ Wheeler JB, Smith TA, Siegmund GP, Brault JR, King DJ: Validation of the Neck Injury Criterion (NIC) Using Kinematic and Clinical Results from Human Subjects in Rear End Collisions. IRCOBI Conf. Proc., Göteborg 335 - 48, 1998

⁸ Siegmund G et al: The Relationship between Clinical and Kinematic Responses from Human Subject Test in Rear-end Automobile Collisions. World Congress on Whiplash Associated Disorders (WAD), Vancouver, Canada 7.-11.2.1999

Solch unterschiedliche Aussagen in der Zusammenfassung (meist wird nur diese gelesen!) und im Volltext sollten in einer wissenschaftlichen Arbeit nicht vorkommen.

Dass bei Versuchen mit sehr niedrigen Delta-v-Werten auch psychologische Momente mit-spielen, wird in einer neuen, noch nicht veröffentlichten Studie⁹ der Gruppe Castro/Schimmelpfennig & Becke dargelegt. Den 51 Probanden und Probandinnen wurde vor den Versuchen gesagt, dass sie einem Heckstoss ausgesetzt würden, wie er bei Autoscootern vorkommt. Es wurde Ihnen aber auch erklärt, dass möglicherweise der Heckstoss unterbliebe. Die Versuchsgruppe wusste also nicht, ob es tatsächlich zu einer Kollision kommt oder nicht. Bei den Versuchen wurde hinter dem Versuchsfahrzeug künstlich Kollisionslärm erzeugt und eine Erschütterung simuliert, worauf das Gefährt von einer kleinen Rampe wegrollte. Die Probanden meinten aufgrund des inszenierten Geschehens offenbar, dass wirklich eine Heckkollision stattgefunden habe. Tatsächlich aber wirkte auf das Versuchsfahrzeug eine Geschwindigkeitsänderung von gegen Null (Delta-v = 0 km/h), weshalb eine biomechanische Verursachung von allfälligen Beschwerden ausgeschlossen werden konnte. Dennoch berichteten 20 % der Versuchsgruppe anschliessend über (kurzandauernde) "Symptome" in HWS und Kopf; einer musste sogar erbrechen.

Zusammenfassend ergibt sich, dass die Verletzungsschwelle bzgl. schweren, jahrelangen Beschwerden nicht allgemein bei Delta-v-Werten von 6-8 km/h bzw. 4 oder 8 km/h liegt, verursachten diese Werte doch - wie oben wörtlich zitiert - entweder "very mild" HWS-Beschwerden, oder Symptome "von minimalem Schweregrad mit kurzer Dauer". Somit sind die in diesen Studien beschriebenen Fälle gerade nicht die strittigen Fälle mit schweren, langdauernden Beschwerden. Wie später erläutert wird (vgl. Punkt 3.5. bzgl. "Normalfall"), schliesst dies nicht aus, dass in gewissen Fällen bei Delta-v-Werten unter 10 km/h Beschwerden infolge der Kollision aus biomechanischer Sicht erklärt werden können.

3.3. Wertung von Studien mit Delta-v-Werten von 10-15 km/h

Studien von Castro¹⁰ und Meyer¹¹ haben für die Verletzungsschwelle einen Delta-v-Wert von zwischen 10-15 km/h für den "Normalfall" ergeben. Die Studien basieren auf sehr gut kontrollierten Freiwilligenversuchen, weil die Versuchspersonen (Maximalalter: 37 Jahre) vor und nach einer Heckkollision medizinisch aufs Genaueste untersucht wurden. Während der Versuche wurde zudem der Muskeltonus mittels Elektromyographie genau überwacht. Die Versuchspersonen sassen in einem akustisch und visuell abgeschirmten Fahrzeug, so dass sie den Zeitpunkt der Kollision nicht vorausahnen konnten (im Gegensatz zu Schlittenversuchen, bei denen die Abbremsung des rückwärts fahrenden Schlittens kurze Zeit nach dem Anfahren erfolgt). Es wurden Versuche mit Delta-v-Werten zwischen 8.7 und 14.2 km/h durchgeführt, nach welchen keine Versuchsperson über gravierende Beschwerden berichtete. Auch unter Berücksichtigung zahlreicher in der Literatur beschriebener Studien kommen die Autoren zum Schluss, dass "die sich bei Geschwindigkeitsänderungen von bis zu 10 km/h ergebenden biomechanischen Insassenbelastungen problemlos ohne Verletzungsfolge von der Halswirbelsäule toleriert werden."

Auch die Konsens-Diskussion vom 11.11.1997 beim ADAC in München (Vgl. Anhang V) ergab, dass primär von einem Bereich von Delta-v 10-15 km/h ausgegangen werden darf, was das Fahrzeug betrifft.

⁹ Veröffentlichung geplant im Sommer 1999, evt. im New England Journal of Medicine

¹⁰ Castro W.H.M., Schilgen M., Meyer S., et al. (1997) Do Whiplash Injuries occur at Low Speeds? *Europ Spine J* 6, 366 - 75

¹¹ Meyer St, Weber M et al: Freiwilligen-Versuche zur Belastung der Halswirbelsäule durch Pkw-Heckanstösse. *verkehrs-unfall, fahrzeugtechnik* 1: 13-24 (1999)

3.4. Kritik an biomechanischen Studien

Der meistzitierte Kritiker von Studien, die sich mit einer Verletzungsschwelle für HWS-Beschwerden befassen, sind Freemann/Croft (z.B. in Spine 1999¹²). Vor allem Freeman kritisiert, dass in verschiedenen Studien behauptet wird:

1. HWS-Verletzungen könnten nicht zu chronischen Schmerzen führen,
2. Kollisionen ohne Fahrzeugschaden könnten nicht zu HWS-Verletzungen führen,
3. HWS-Belastungen bei Heckkollisionen könnten nicht mit (nicht verletzungsrelevanten) Belastungen im täglichen Leben verglichen werden.

Wir gehen mit Freeman einig, dass solche verallgemeinernden Aussagen nicht zulässig sind, sie sind auch nicht unsere Praxis in der Begutachtung. Bezüglich des zweiten Einwandes (Fahrzeugschaden) muss allerdings präzisiert werden, dass die Aussage "kein Fahrzeugschaden" nicht identisch ist mit der Beurteilung "keine Fahrzeugbelastung". Welcher Belastung ein Fahrzeug bei einer Kollision ausgesetzt war, kann nur ein speziell ausgebildeter Unfallanalytiker beurteilen. Bevor eine Kausalitätsaussage möglich wird, muss jeder Fall technisch-unfallanalytisch und biomechanisch untersucht werden.

Freeman geht aber in seiner Kritik wesentlich weiter, wenn er die Ergebnisse sämtlicher Studien zum Thema des Harmlosigkeitsbereiches - seien sie experimentell-biomechanischer Art, mit Crashtests durchgeführt (z.B. Szabo¹³, Castro¹⁴, McConnell¹⁵) oder mittels Feldstudien erarbeitet (z.B. Schrader¹⁶) - mit verschiedenen Begründungen (methodische Mängel, fehlende Repräsentativität, zu kleine Fallzahlen) kategorisch beiseite wischt. Die Kritik scheint auf den ersten Blick wissenschaftlich zu sein, sie legt jedoch grundsätzlich an eine Studie derart hohe Anforderungen, dass keine Studie in irgendeinem medizinischen Bereich diese erfüllen könnte. Freeman wirft allen Autoren pauschal vor, es würden lediglich Behauptungen aufgestellt, Beweise würden fehlen. Da Freeman/Croft in der Fachwelt ziemlich isoliert dastehen, wollte das Editorial Board der renommierten Fachzeitschrift Spine diese absoluten Statements nicht unerwidert stehen lassen. Der Autor Ferrari wurde deshalb gebeten, den Artikel Freemans in der gleichen Nummer¹⁷ zu kommentieren. Ferrari geht dabei der Frage nach, welche Mängel Studien haben müssen, um als "unbrauchbar" hingestellt werden zu können, da ja keine Studie absolut perfekt sei. Wenn man die von Freeman abgelehnten Studien mit sonst üblichen Massstäben messe, so sei kein Grund vorhanden, diese pauschal als unbrauchbar zu qualifizieren. Es sei unverständlich, weshalb Freeman beispielsweise den Umstand, dass bei keiner Crash-Studie bei den Probanden Langzeitfolgen festgestellt wurden, nicht auch anerkennen wolle. Ferrari weist darauf hin, dass nach seiner Ansicht die Literatur über die Freiwilligenversuche genügend aussagekräftig sei, und zeigt auf, dass Freeman für seine Ablehnung der Studien ungenügende Gründe angegeben habe. Das Vorgehen von Freemann sei "simply too wrong to be useful".

¹² Freemann MD, Croft AC et al: A Review and Methodologic Critique of the Literature Refuting Whiplash Syndrome. Spine 24,1:86-98 (1999)

¹³ Szabo TJ, Welcher JB: Human Subject Kinematics and Electromyography Activity during Low Speed Rear Impacts, SAE Paper 962432, 1996

¹⁴ Castro W.H.M, Schilgen M., Meyer S., et al. (1997) Do Whiplash Injuries occur at Low Speeds? Europ Spine J 6, 366 - 75

¹⁵ McConnell W.E., Howard R.P, Guzman H.M. et al. (1993) Analysis of human test subject kinematic responses to low velocity rear end impact. SP-975, pp 21-30, SAE 930889

¹⁶ Schrader H, Obelieniene D, Bovim G et al: Natural evolution of the late whiplash syndrome outside the medicolegal context. Lancet 347:1207-11 (1996)

¹⁷ Ferrari R, Russell AS: Point of View: Whiplash: Heading for a Higher Ground. Spine 24,1:97-8 (1999)

Wir sind der Meinung, dass viele der kritisierten Studien bei entsprechender Würdigung der Hintergründe zweifellos Grundlagen für die biomechanische Beurteilung liefern. Freeman selber macht keine Angaben, was er für richtig hält. Er sagt nur, dass die anderen Autoren alles falsch machen.

3.5. Der Normalfall

Wie oben ausgeführt, darf man aktuell bei der Beurteilung von mehr als nur unerheblichen HWS-Beschwerden nach Heckkollisionen primär von der unter Biomechanikern weitgehend akzeptierten Verletzungsschwelle von Delta-v 10-15 km/h ausgehen. Dies kann allerdings nur für den "Normalfall" gelten. Unter diesem Begriff ist Folgendes zu verstehen: die betroffene Person ist nicht älter als ca. 50/55 Jahre, sie wurde nicht in einer ungünstigen Körperposition von der Kollision getroffen, sie weist keine relevanten medizinischen Vorschäden auf und hat auch keine weiteren Besonderheiten (z.B. sehr grosse Person mit niedrigem Gewicht), die sich biomechanisch ungünstig auswirken. Wir halten es nicht für zielführend, da mit beträchtlichen Interpretationsfehlermöglichkeiten behaftet, wenn aus technischer Sicht solche Beurteilungen über biomechanische und auch medizinische Kriterien vorgenommen werden, bzw. sogar noch (von technischer Seite!) auf überholten medizinischen Korrelationstabellen zwischen initialem Schweregrad und Heilungsdauer basiert wird¹⁸. Falls Personen betroffen sind, die nicht obgenanntem "Normalfall" entsprechen, ergeben sich aus biomechanischer Sicht teilweise auch bei tieferen Delta-v-Werten Erklärungsmöglichkeiten. Dies kann auch dann eintreten, wenn das primär am Heck angestossene Fahrzeug (z.B. in einer stehenden Kolonne) noch auf das vordere Fahrzeug geschoben wird. Wenn sich die Stösse (Heck- und Frontkollision) in einer kürzeren Zeitspanne als einer 1/2 Sekunde folgen, können sich Resonanzbewegungen des Insassen ergeben, die schon bei geringeren Delta-v-Werten möglicherweise traumatisierend wirken können. Auch der umgekehrte Fall mit primärer Frontkollision mit entsprechender Vorverlagerung des Insassen und kurz darauf folgender Heckkollision ist wegen der anders ablaufenden Insassenbewegungen besonders zu analysieren. Speziell zu beachten gilt es auch, dass nur dann von einer Verletzungsschwelle von Delta-v 10-15 km/h ausgegangen werden darf, wenn es sich um Kollisionsvorgänge mit üblichen Stosszeiten von 0.1 - 0.15 Sekunden und damit bei diesem Delta-v üblichen Beschleunigungen "a" (m/s^2) gehandelt hat. Dies ist besonders dann zu prüfen, wenn sehr steife Fahrzeugkonstruktionen am Unfall beteiligt waren, die zu unüblich hohen Beschleunigungen führen.

Auf der anderen Seite ist aber auch mit einzubeziehen, dass bei neuen Sitz-/Kopfstützensystemen mit nachgewiesenem höherem Schutzpotential und/oder aktiver, starker Muskelanspannung infolge Gefasstsein die Verletzungsschwelle im Normalfall höher als bei einem Delta-v von 10 km/h liegt. Eigene Studien¹⁹ (und z.T. noch nicht Veröffentlichte), unsere Be-

¹⁸ Löhle U: Verletzungen der Halswirbelsäule (HWS). AJP/PJA 3357-64 (1999)

¹⁹ Dippel C, Muser MH, Walz F, Niederer P, Kaeser R (1997) Neck Injury Prevention in Rear Impacts. Proc. IRCOBI Conf, Hannover, Sept 24-26, proc. 239-50

Geigl B, Steffan H, Dippel Ch, Muser M, Walz F, Svensson M (1995) Comparison of Head-Neck Kinematics during Rear End Impact between Standard Hybrid III, RID-Neck, Volunteers and PMTO's. IRCOBI-Conference, Brunnen (Switzerland), 13.-15.9.1995, proceedings 261-72

Muser MH, Dippel Ch, Walz F (1994) Neck Injury Prevention by Automatically Positioned Head Restraint. Advances in Occupant Restraint Technologies: Joint AAAM-IRCOBI Special Session, September 22, Lyon (France), proceedings 145-57

Walz F, Muser MH: Biomechanical Aspects of Cervical Spine Injuries. SAE international Congress and Exhibition, Detroit, Michigan, Febr. 27 - March 2. SAE 950658 in SP-1077 (1995)

ratungstätigkeit bei der Automobilindustrie und andere Arbeiten²⁰ haben gezeigt, dass verbesserte Schutzsysteme möglich sind, dass heute aber leider erst in wenigen Fällen (z.B. Volvo, Saab 9-5, Opel) verbesserte Sitzsysteme auf dem Markt sind, die wesentlich geringere HWS-Belastungen erwarten lassen. Mittelfristig ist aber damit zu rechnen, dass zahlreiche Automarken nachziehen werden.

4. Schlussfolgerungen

Wir sind der Auffassung, dass für die biomechanische Beurteilung von HWS-Beschwerden nach Heckkollisionen ein Harmlosigkeitsbereich von Delta-v 10-15 km/h für den "Normalfall" genügend gut abgesichert ist, so dass eine gute Ausgangslage für die Beurteilung der Verletzungsmöglichkeiten im spezifischen Fall besteht. Es liegt kein wissenschaftlich begründbarer Anlass vor, für den "Normalfall" von diesem Bereich abzuweichen. Man muss sich aber im Klaren sein, dass dieser Delta-v-Bereich einerseits nur das Fahrzeug betrifft und andererseits auch andere bezüglich der biomechanischen Belastung relevante Parameter im Fahrzeugbereich (Struktursteifigkeit, Kopfstützenkonstruktion etc.) bei gegebenen Delta-v mit einbezogen werden müssen. Der Unfallanalytiker sollte einen Bereich des möglichen Delta-v angeben, der bei guten Unterlagen relativ eng (z.B. 6-8 km/h), bei unvollständiger Dokumentation relativ weit (z.B. 5-11 km/h) sein kann. In der Regel werden zuerst der Mittelwert und der obere Wert des Fahrzeug-Delta-v mit dem unteren Wert des Harmlosigkeitsbereiches (Delta-v 10 km/h) verglichen, und dann die biomechanisch relevanten Parameter mit einbezogen, also diskutiert, um was für eine Person es sich beim Betroffenen gehandelt hat. Es ist immer darauf zu achten, ob ein Gutachter vom Mittelwert oder vom oberen Wert des Delta-v-Bereiches ausgeht, und wie dieser von ihm gewählte Wert in Beziehung zum von ihm als richtig angenommenen Grenzwert steht.

Ein und derselbe Delta-v-Wert kann schon aus prinzipiellen Gründen nie in gleichem Masse für einen kräftigen, gesunden Mann gelten, wie beispielsweise für eine grazile Frau mit schweren, vorbestandenen Veränderungen der Halswirbelsäule. Auch Personen mit früheren Halswirbelsäulenbelastungen infolge anderer Unfälle sind empfindlicher als gesunde Personen. Auch der Faktor Alter spielt - weitgehend aufgrund der hier "normalen" degenerativen Veränderungen - eine wichtige Rolle.

Im Hinblick auf die biomechanische Belastung eines Insassen während der Kollision ist es zusätzlich wichtig, in welcher geometrischen Position sich diese Person relativ zum Sitz bzw. zu den Strukturen des Fahrzeuginnenraumes befunden hatte, damit allfällige Anprallereignisse (insbesondere des Kopfes) diskutiert werden können. Gewisse "Out-of-position-Situationen" führen beim gleichen Delta-v des Fahrzeuges zu einer höheren Belastung des Insassen als beim unter Punkt 3.5. diskutierten "Normalfall".

Walz F, Muser MH, Dippel C, Kaeser R.: Sicherheits-Sitz für Leichtfahrzeuge: Verminderung von Halswirbelsäulenverletzungen bei Heckkollisionen. VDI-Berichte 1354, 341-50 (1997)

Yang KH, Begemann PC, Muser MH, Niederer P, Walz F: On the Role of Cervical Facet Joints in Rear End Impact Neck Injury mechanisms. SAE 970497 in PP-1226 (1997)

²⁰ O'Neill B: Head Restraints - The Neglected Countermeasure. World Congress on Whiplash Associated Disorders (WAD), Vancouver, Canada 7.-11.2.1999

In der Beurteilung ergibt sich schliesslich, ob die initial ärztlich festgestellten Primärbeschwerden aufgrund der biomechanischen Belastung im speziellen Fall erklärbar sind (vgl. zur Definition der Erklärbarkeit Anhang II). Wenn auf diese Weise keine Erklärungsmöglichkeit gefunden werden kann, so liegen die Gründe für die Beschwerden offenbar ausserhalb des biomechanisch überblickbaren Bereiches.

Auf den Seiten 10 bis 18 finden sich die folgenden Anhänge:

- Anhang I: Walz F: Pathomechanik der HWS-Weichteilverletzung bei PKW-Insassen. 62. Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., Berlin. Hefte zu der Unfallchirurg Nr. 272, pp 84-7, Hrsg. L. Kinzl, K.E. Rehm (November 1998)
- Anhang II: Allgemeine Bemerkungen zu biomechanischen Beurteilungen im Hinblick auf die Kausalitätsfrage (Version 30.10.98)
- Anhang III: Möglichkeiten und Grenzen der biomechanischen Beurteilung von körperlichen Beschwerden nach Fahrzeugkollisionen, im Besonderen bezogen auf die Halswirbelsäule (7.5.99)
- Anhang IV: Stellungnahme zum Brief des Unterzeichneten vom Oktober 1996 bezüglich der Aussagekraft von biomechanischen Gutachten
- Anhang V: Abschlussdiskussion des Expertengespräches vom 11.11.1997 beim ADAC in München zum Thema "HWS-Verletzung in der Schadenregulierung"

ANHANG I

62. Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V., Berlin

Hefte zu der Unfallchirurg Nr. 272, pp 84-7, Hrsg. L. Kinzl, K.E. Rehm (November 1998)

Pathomechanik der HWS-Weichteilverletzung bei PKW-Insassen

Prof. Dr. med. Felix Walz
Institut für biomedizinische Technik
Universität / ETH
Gloriastrasse 35, ETZ
CH-8092 Zürich

Die Beurteilung der Pathomechanik der HWS-Weichteilverletzung ist im Einzelfall sehr komplex und für den nicht biomechanisch Geschulten mit vielen physikalischen und versicherungstechnischen Fussangeln versehen. Je genauer erstens die Verletzungsbefunde durch den Kliniker, je detaillierter zweitens die Angaben des technischen Sachverständigen über das Unfallereignis sind, desto besser ist eine Beurteilung durch den Biomechaniker möglich; Patientenangaben über den „Unfall“ sind praktisch immer quantitativ unbrauchbar, meist sogar falsch und damit massiv fehlleitend!

Begriffe und ganz wenig Physik

Die irreführenden Begriffe "Schleudertrauma", "Peitschenschlagverletzung" oder "Whiplash" vermengen den *vermuteten* physikalischen Mechanismus mit der eigentlichen Verletzung, also der Morphologie. Sie sind weder eine medizinische Diagnose noch eine korrekte Beschreibung der Pathomechanik. Sowohl bei der *isolierten* Heckkollision wie bei der *isolierten* Frontalkollision fehlt eine *verletzungsinduzierende* gegenläufige Bewegungsphase (*Peitschenschlagmechanismus*). Nur bei der zweifachen Kollision in der Sandwichposition des Fahrzeuges, also zuerst Heckstoss, dann Hineinschieben in das vordere Fahrzeug mit zusätzlichem Frontalstoss, kann sich eine verletzungsrelevante Doppelbewegung der HWS ergeben; dies aber nur bei zeitlichem Abstand der beiden Stösse von ca. 1/2 Sekunde. In umgekehrter Richtung entsteht eine analoge HWS-Belastung.

Einen "einfachen" Ersatzbegriff für den schlechten Term „Schleudertrauma“ kann es nicht geben, da komplexe Zusammenhänge differenziert beschrieben werden müssen.

Die HWS-Belastung *ohne* relevanten Kopfaufprall ergibt sich durch *Beschleunigung* des Kopfes *gegenüber* dem Rumpf, was sowohl beim Heckstoss, wie auch umgekehrt bei der frontalen Kollision bei der Rückhaltung im Gurt entstehen kann (Beschleunigungsmechanismus).

Die HWS-Belastung *infolge Kopfanprall* und „Nachschieben des Oberkörpers“ bei fixiertem Kopf verursacht unter sonst gleichen Bedingungen schwerere HWS-Verletzungen (Abknickmechanismus).

Heckkollision: Schaden am Fahrzeugheck. Das Fahrzeug wird "unter dem Insassen" nach vorne geschoben; der nicht durch eine eng anliegende Kopfstütze gestützte Kopf bleibt aufgrund seiner Trägheit relativ zum Oberkörper zurück. Zuerst erfolgt eine *Kopftranslation*, anschliessend die Extension, je nach Kopfstütze. Der dabei erfolgende Kopfkontakt mit der Kopfstütze ist kaum als "Kopfaufprall" im eigentlichen Sinne zu bezeichnen, da erstens eine relativ weiche Struktur kontaktiert wird, und zweitens in den fraglichen Fällen die Kopfaufprallgeschwindigkeit etwa dem Delta-v (siehe später) des Fahrzeuges entspricht, also gering ist.

Die *Beschleunigung* des Kopfes hingegen liegt etwa doppelt so hoch wie diejenige des Fahrzeuges, also z.B. bei einem Delta-v von 10 km/h und einer mittleren Verzögerung des Fahrzeuges von ca. 3 g (Stosszeit 1/10 Sekunden), bei 6 g, also ein Wert, der noch keine milde Hirnverletzung auslösen kann. Der anschliessende Rebound des Körpers/Kopfes nach vorne ist energiearm und nicht verletzungsrelevant, mit und ohne Gurt weitgehend identisch.

Frontalkollision: Schaden an der Fahrzeugfront, bei getragenen Gurten zuerst Kopftranslation nach vorne, dann HWS-Flexion. Die Häufigkeit von *leichten* HWS Verletzungen ist mit Gurt grösser als ohne; *aber:* ohne Gurt wäre es in diesen Fällen zu einem Kopfaufprall mit dadurch induziertem - gefährlicheren - HWS-Abknickmechanismus gekommen. Das sekundäre Rückschwingen des Kopfes vollzieht sich wiederum mit geringer Energie. Der Airbag vermindert in der Regel die HWS-Belastung, ausser bei out-of-position Situationen.

Seitenkollision: Je nach Fahrzeugbreite und -belastung kommt es (nur) zu einem Schulteraufprall gegen die Fahrzeughülle und seitlichem Ausschwingen des Kopfes (Beschleunigungsmechanismus der HWS), oder zu einem Kopfanprall gegen Seitenscheibe, Dachkante oder Türpfosten mit erhöhtem Verletzungspotential.

Mögliche Mechanismen und Verletzungsdetails: Bei der initialen Kopftranslation, oder Kopfretraktion (also vor der Kopfrotation bzw. HWS-Extension) entstehen Scherkräfte, die in den oberen HWS wegen der dort flacheren Gelenkwinkel zu Scherbewegungen zwischen den Wirbeln bzw. zwischen Kopf/C0 führen. Dadurch können nozizeptive und propriozeptive Nervenbahnen geschädigt werden, die bis in den Hirnstamm und weiter nach zentral verlaufen. Ebenso sind Micro-Zerrungen in Muskeln möglich. Die Translationsdistanz beträgt etwa maximal 5 cm, es ergibt sich eine S-Form der HWS. Beim zeitlichen Übergang von der maximalen S-Form zur Extension können die induzierten Druckgradienten in den rückenmarksnahen HWS-Gefässen bzw. der cerebrospinalen Flüssigkeit lokal (Nerven-Ganglien), wie weiter zentral - zumindest im Tierversuch - Nervenzellschädigungen verursachen. Dies könnte erklären, weshalb auch Patienten ohne Gehirnbelastung - also bei Ausschluss einer Mild Head Injury - neuropsychologische Beschwerden zeigen können, die an sich auf eine Hirnbeteiligung hinweisen würden.

Quantitative Angaben über die Belastungen, Hinweise zum Kausalzusammenhang

Die Kenntnisse über die möglichen Verletzungsmechanismen sind für die Beurteilung, ob ein „Unfall“ zu dem beim Patienten X festgestellten Beschwerdezustand habe führen können, wichtig, allerdings nützen sie nichts, wenn nicht *zuverlässige* Angaben über den „Unfall“ vorliegen. Es genügt nicht, vom Patienten zu erfahren, dass er „eine Heckkollision“ gehabt habe oder dass ihm ein Fahrzeug „mit voller Wucht“ (?), „ungebremst“ (?), „mit 60 km/h“ (?) etc. ins Heck „gekracht“ sei. Angesichts solcher, eine extreme Belastung suggerierenden Beschreibungen wird jeder Arzt, der sich der Problematik nicht bewusst ist, sofort „mit Sicherheit“ eine Kausalität des „Unfalles“ festschreiben, weil er die mechanischen Einwirkungen völlig *überschätzt*. Dies ist die Regel. Krasse Fehlschlüsse sind etwa auch; "Autobahnkollision = schnell = schwere Verletzung", "Parkhausunfall = langsam = leichte Verletzung". Solche fehlleitenden pseudoquantitativen Begriffe sind in medizinischen Berichten leider nicht selten anzutreffen. Hohe Reparaturkosten oder gar die Angabe "Totalschaden" sagen nichts über die kollisionsdynamische Belastung des Fahrzeugs aus (über die mögliche Verletzung erst recht nicht). "Totalschaden" heißt, daß die Reparaturkosten über dem Zeitwert des Fahrzeugs liegen, also z.B. 1'000.-

Patientenangaben über "Geschwindigkeiten" sind völlig unzuverlässig und praktisch immer falsch. Deshalb sollten solche Angaben in klinischen Berichten gar nicht erscheinen (lieber

nichts als etwas falsches). Selbst wenn die Auffahrgeschwindigkeit des hinteren PKW durch wundersame Weise bekannt wäre, müsste diese zuerst durch einen technischen Sachverständigen im Hinblick auf die beiden Massen der involvierten Fahrzeuge auf die für die Kausalitätsbeurteilung einzig relevante „Geschwindigkeit“, nämlich die Geschwindigkeitsänderung (Delta-v) umgesetzt werden. Beispiel: Fährt ein 1000 kg schwerer PKW mit 25 km/h einem stehenden PKW von 1500 kg ins Heck, resultiert für den vorderen PKW theoretisch (Annahme des vollplastischen Stosses) ein Delta-v von 10 km/h, inklusive elastischem Anteil, von etwa 13 km/h. Erfolgt der Stoss eines 1600 kg PKW gegen einen 900 kg schweren PKW, wird letzterer mit tatsächlich etwa 20 km/h nach vorne gestossen (also Delta-v = 20 km/h). Man geht heute für den „Normalfall“ (bis ca. 55 Jahre, keine ungünstige Körperposition, keine relevanten Vorschäden, keine anderen Besonderheiten) von einem „Harmlosigkeitsbereich“ von Delta-v 10-15 km/h aus; darunter ist eine nicht unerhebliche HWS-Verletzung biomechanisch nicht erklärbar. Dies ist bei der Kausalitätsbeurteilung zu berücksichtigen, erweisen sich doch nach der technischen Unfallanalyse oft Heckstöße mit der Beschreibung „mit 50 km/h voll angefahren“, als solche mit einem Delta-v von 8 km/h (z.B. Kollision mit 13 km/h gegen gleichschweren PKW), da schon die Auffahrgeschwindigkeit massiv überschätzt wurde. Die biomechanischen Studien, die z.T. bei 4 oder 6 km/h "Symptome" bei Freiwilligen rapportiert haben (Very mild discomfort of short duration), werden von Ärzten oft falsch verstanden und nicht richtig interpretiert, indem sie diese extrem niedrigen Delta-v-Werte nun als Grenze auch für schwere, langdauernde Beschwerden annehmen.

Nach Aussagen von Klinikern ergibt sich daraus auch ein wichtiger psychologisch-therapeutischer Hinweis, indem es für den raschen Heilungsprozess ungünstig ist, wenn der Arzt den Unfall schon zu Beginn dramatisiert („Es ist bekannt, dass schon bei leichten Unfällen schwere HWS-Verletzungen entstehen, bei Ihnen mit 50 km/h sehe ich schwarz“). Leider sind solche ungeschickten Äusserung an der Tagesordnung, vergleichbar mit dem fahrlässigen Unsinn bzw. fast vorsätzlicher Terrorisierung: „Sie haben Krebs und noch 18 Monate zu leben“. Weitere, leicht vermeidbare Probleme ergeben sich, wenn heute weitgehend als *schädigend* erkannte Behandlungsmassnahmen (Stützkragen, der eine Abschwächung der Muskulatur zur Folge hat), verordnet werden. Wie sich also eine biomechanisch erklärbare Primärschädigung individuell bei einer Person auswirkt (Arbeitsfähigkeit, psychologische Entwicklung, etc.), ist nicht durch den Biomechaniker, sondern nur durch einen Arzt feststellbar, der den Patienten - aber in Kenntnis der *Fakten* des Ereignisses - selber untersucht hat.

Umgekehrt werden die Belastungen bei *neuen* Automodellen oft *unterschätzt*, da *von aussen* kein Schaden sichtbar ist (weiche Aussenhaut mit verborgenen plastischem/ elastischem Pralldämpfer). Erst die technische Untersuchung zeigt den Sachverhalt. Es wird dem Nicht-Sachverständigen (also Arzt, Jurist) somit mit Nachdruck abgeraten, sich aufgrund der Schadenfotos ein „ungefähres Bild“ über die „Heftigkeit“ (wie quantifiziert ?) der Kollision zu machen.

Die erwähnten quantitativen Angaben bezogen sich auf Heckkollisionen. Bei Frontalkollisionen, also der Flexion der HWS, braucht es für eine Verletzung eine höhere Belastung, man geht etwa von einem doppelt so hohen Delta-v aus, also 20 - 30 km/h als „Harmlosigkeitsgrenze“. Diese Werte wurden aufgrund biomechanischer Versuche und Unfallanalysen ermittelt. So macht es auch Sinn, dass der Airbag - zumindest in europäischen Fahrzeugen mit Gurtbenutzung - „erst“ bei diesem Delta-v aufgeht, ebenfalls zum Schutz der HWS. Diese Fahrzeugbelastung entspricht etwa einem Maueraufprall mit der gleichen Geschwindigkeit, bzw. einem Aufprall gegen einen mit ebenfalls 20 - 30 km/h *entgegenkommenden, gleichschweren* PKW. Das Äquivalent gegen einen *stehenden, gleichschweren* PKW wäre eine Auffahrgeschwindigkeit von ca. 45 km/h.

Diese Erläuterungen mögen zeigen, dass die quantitative Einschätzung einer unfallbedingten Belastung sehr komplex ist und durch die Ausbildung als Arzt nicht abgedeckt ist. Bevor also nicht ein Sachverständiger den Sachverhalt auf der technischen Seite erhoben hat, sollte sich der Arzt gerade in den schwierigen HWS-Fällen nicht zur Kausalität äussern, da er ja den richtigen Sachverhalt noch nicht kennt.

Prävention

Kopfstützen sollten neben der Möglichkeit, sie genügend hoch zu positionieren (heute nicht in allen Fahrzeugen möglich!) möglichst nahe am Hinterkopf liegen (Vermeidung der Scherbeanspruchungen auf Höhe C₀-C₂) und auch den Nacken abstützen. Ein grosser Vorteil sind Sitzlehnen, die in *gewolltem* Mass nach hinten nachgeben; dadurch wird die Schulterabstützung, welche die Scherkräfte in der HWS indiziert, verringert. „Aktive“ Kopfstützen, die sich erst beim Aufprall in die Nähe des Kopfes positionieren sind grundsätzlich vorteilhaft, doch sind die heute in Entwicklung befindlichen Konzepte oft nicht ausgereift.

Literatur

- Alexander MP: In the Pursuit of Proof of Brain Damage after Whiplash Injury. Editorial. Neurology 51, 336-40 (August 1998)
- Bicik I, Radanov BP, Schäfer N, Dvorak J et al: PET with ¹⁸ fluorodeoxyglucose and hexamethylpropylene amine oxime SPECT in late whiplash syndrome. Neurology 51, 345-50 (August 1998)
- Boström O, Krafft M, Aldman B, Eichberger A et al: Prediction of Neck Injuries in Rear Impacts based on Accident Data and Simulations. IRCOBI Conf. Hannover, 251-264 (1997)
- Dvorak J, Ettl Th, Jenzer G, Mürner J, Radanov BP, Walz F: Standortbestimmung zum Zustand nach Beschleunigungsmechanismus an der Halswirbelsäule. Schw. Ärzte Zeitung 76, 14, 574-6 (1995)
- Gennarelli TA: Cerebral concussion and diffuse brain injuries (Head Injury, Williams & Wilkins) (1993)
- Hinoki M: Vertigo due to whiplash injury: A neurotological approach. Acta Otolaryng 4:9-29 (1985)
- McConnell et al: Human head and neck kinematics after low velocity impacts - understanding „whiplash“. 39th Stapp Car Crash Conference, SAE Warrendale (1995)
- Meyer St., Hugemann W, Weber M: Zur Belastung der Halswirbelsäule durch Auffahrunfälle. Verkehrsuntf Fahrzeugtechn 1 und 2 (1994)
- Moorahrend U (Hrsg.): Die Beschleunigungsverletzung der HWS. G. Fischer Verlag (1993)
- Muser MH, Dippel Ch, Walz F: Neck Injury Prevention by Automatically Positioned Head Restraint. AAAM-IRCOBI Special Session, September 22, Lyon (France), proceedings 145-57 (1994)
- Radanov BP, Bicik Idvorak J et al: Relationship between Neuropsychological and Neuroimaging Findings in Patients Suffering from Late Whiplash Syndrome (in press 1998)
- Schuller E, Eisenmenger W: Die verletzungsmechanische Begutachtung des HWS-Schleudertraumas. Unfall- und Sicherheitsforschung Strassenverk 89:193-6 (1993)
- Spitzer WO. Skovron ML. Salmi LR. Cassidy JD. Duranceau J. Suissa S. Zeiss E. Scientific monograph of the Quebec Task Force on Whiplash-Associated Disorders: redefining "whiplash" and its management. Spine. 20(8 Suppl): 1S - 73S, Apr 15 (1995)
- Svensson MY: Neck Injuries in Rear-End Car Collisions - Sites and Biomechanical Causes of the Injuries, Test Methods and Preventive Measures. Dept. of Injury Prevention, Chalmers Univ. of Techn., S-412 96 Göteborg, Sweden, ISBN 91-7032-878- 1 (1993)
- Walz F: Biomechanische Aspekte der HWS-Verletzungen. Der Orthopäde 23, 4:262-7 (1994)
- Walz F: Weichteilverletzungen der Halswirbelsäule und "leichte" Hirnverletzungen bei Autoinsassen; biomechanische Voraussetzungen. Schweiz Z Sozialversich berufl Vorsorge 40, 6, 437-52 (1996)

Allgemeine Bemerkungen zu biomechanischen Beurteilungen im Hinblick auf die Kausalitätsfrage

Wir nehmen die Resultate der medizinischen und unfallanalytischen Untersuchungen bezogen auf ihre *Befunde* für gegeben an, da sie von entsprechenden Fachleuten (Ärzten, Polizeibeamten, Unfallanalytikern) erhoben wurden. Die *Interpretationen* hingegen werden nicht automatisch übernommen, da sie jeweils nicht auf allen hier zur Verfügung stehenden Akten beruhen. Der Bericht listet nicht alle vorhandenen Akten lückenlos auf, und er gibt die bisherigen Befunde zum Teil stark gerafft wieder. Es handelt sich somit nicht um ein eigentliches Gutachten.

Eine biomechanische Beurteilung kann allenfalls eine Brücke zwischen den vom technischen Sachverständigen berechneten kollisionsbedingten *Fahrzeugbelastungen* einerseits und den ärztlich dokumentierten *Beschwerden* und *Befunde* andererseits bauen, indem biomechanisch relevante Kriterien wie Alter, Körperposition und spezifische Besonderheiten des Einzelfalles berücksichtigt werden; dies ist der entscheidende Unterschied zur technischen Unfallanalyse! Es ist nicht denkbar, dass *ein* Grenzwert (z.B. Delta-v, Beschleunigung etc.) für alle Personen und Spezialumstände gültig sein kann. Hilfsmittel zur fallbezogenen biomechanischen Beurteilung sind u.a. Resultate aus Freiwilligenversuchen, biomechanischen Belastungsstudien, epidemiologischen Unfallstatistiken und allgemeinen biomechanischen Grundsätzen. Beurteilt werden können nur die Beschwerden, die in einem biomechanisch überschaubaren Zeitraum von einigen Wochen bis Monaten nach dem Ereignis auftreten. Wie ein Individuum auf *längere Sicht* auf eine mechanische oder auch nicht-mechanische Einwirkung reagiert, ist aus dieser Optik weder vorhersehbar noch rückblickend beurteilbar; einerseits wird in den meisten Fällen auch nach schweren Verletzungen *kein* psychischer Folgezustand festgestellt, andererseits sind Fälle bekannt, wo selbst bei nicht-mechanischer Traumatisierung, z.B. Mobbing am Arbeitsplatz, Depressionen entstehen können. Ebenso verschlechtern falsche Behandlungsmassnahmen den Heilungsprozess, z.B. zu langes Tragen eines Stützkragens. Wie sich also eine biomechanisch erklärbare Primär-Schädigung individuell bei einer Person auswirkt (Arbeitsfähigkeit, psychologische Entwicklung, etc.), ist am ehesten durch einen Arzt feststellbar, der den Patienten - aber in Kenntnis der *Fakten* des Ereignisses - selber untersucht. Letzterer ist vom Grundsatz her nicht in der Lage, über die Zuordnung der von ihm erhobenen medizinischen Befunde zum „Unfall“ zu urteilen, wenn er weder über Dokumente noch über die unbedingt notwendigen kollisionsmechanischen und biomechanischen Kenntnisse verfügt. Häufig wird die „Heftigkeit“ eines Kollisionereignisses vom Arzt aufgrund der Schilderungen des Patienten oder der Unfallfotos massiv *über-* oder *unterschätzt*, eine Eingrenzung der stark mitentscheidenden kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung (*Delta-v*) liegt überhaupt nicht vor. *Quantitative* Aussagen aus rein medizinischer Sicht lassen sich nach wissenschaftlichen Kriterien meist kaum belegen, und es resultiert daraus eine Scheingenauigkeit. Die von Ärzten vorgenommenen Aussagen über den Wahrscheinlichkeitsgrad der Kausalität sind folglich praktisch immer nur Abschätzungen, die vor allem auf dem *zeitlichen Zusammenhang* des Auftretens der Beschwerden mit dem „Unfall“ beruhen, aber nicht auf den notwendigen fahrzeugtechnischen, unfallanalytischen und biomechanischen Fakten dieses Unfalles.

Auch von einer *biomechanischen* Beurteilung kann in der Regel aus grundsätzlichen wissenschaftlichen Überlegungen nicht erwartet werden, dass in den üblicherweise vorgelegten schwierigen Fällen im Grenzbereich mit der teilweise geforderten „überwiegenden Wahrscheinlichkeit“ entschieden werden kann, ob die Beschwerden auf das Ereignis zurückzuführen seien oder nicht. Aus diesem Grunde wird sinnvollerweise die Formulierung gewählt, dass aus biomechanischer Sicht die Primärbeschwerden „erklärbar“ bzw. „nicht erklärbar“ sind, oder dass sie mit dem Ereignis „vereinbar“ bzw. „nicht vereinbar“ sind. „Erklärbar“ heisst nun nicht, dass lediglich die vage *Möglichkeit* einer Kausalität bestehe, sondern, dass aus biome-

chanischer Sicht zwar gute Argumente vorliegen, dass aber nach strengen wissenschaftlichen Kriterien die Grundlagen für eine semiquantitative Aussage über den Wahrscheinlichkeitsgrad fehlen. Andererseits heisst „aus biomechanischer Sicht *nicht* erklärbar“, dass mit den „Werkzeugen“ der Biomechanik bzw. mit den Kenntnissen des Beurteilenden keine Erklärungsmöglichkeit für die Beschwerden aufgrund des in Frage stehenden Ereignisses gefunden werden kann; dies bedeutet nun aber nicht, dass absolut gesehen eine Kausalität ausgeschlossen ist; wie die Unfallanalyse und die verschiedenen klinisch-medizinischen Beurteilungen kann die Biomechanik einen Teilbeitrag zur Aufklärung der Kausalität leisten.

Prof. Dr. med. F. Walz, Dr. sc. techn. M. Muser

ANHANG III

Möglichkeiten und Grenzen der biomechanischen Beurteilung von körperlichen Beschwerden nach Fahrzeugkollisionen, im Besonderen bezogen auf die Halswirbelsäule

Wir verweisen auf das entsprechende 9-seitige Expose der gleichen Autoren, datiert vom 7.5.1999

ANHANG IV

Stellungnahme zum Brief des Unterzeichneten vom Oktober 1996 bezüglich der Aussagekraft von biomechanischen Gutachten

Im in der Einleitung erwähnten Schreiben, das offenbar grosse Weiterverbreitung fand, hielt F. Walz fest, dass in kritischen Fällen mit HWS-Beschwerden biomechanische Gutachten nicht weiterhelfen könnten. Dies unter anderem auch unter Hinweis auf die damals von Prof. Mattern vertretene Auffassung, dass praktisch bei jeder Belastung – sei sie noch so klein - die HWS verletzt werden könne. Anlässlich einer persönlichen Diskussion stellte sich aber später heraus, dass diese Meinung von Prof. Mattern weitgehend auf einem Einzelfallerlebnis basierte, bei welchem eine jüngere Frau nach einer *Frontalkollision* mit relativ geringer Belastung wegen einer Halsgefässverletzung mit Gerinnselbildung den Tod fand. Wenn im konkreten Fall aber keine solche Gefässverletzung vorliegt, kann ein solcher Mechanismus allerdings weder mit einem bei Frontal- noch bei Heckkollisionen üblichen HWS-Belastungsmechanismus verglichen werden. Zu erwähnen ist auch, dass solche Gerinnselbildungen auch bei Gelegenheitsursachen (chiropraktische Behandlungen, Rasieren unter dem Kinn, Wäsche aufhängen) auftreten können. Dieser Einzelfall kann deshalb nicht als "Schlüssel-fall" für HWS-Distorsionen verwendet werden. Wie aus dem beiliegenden Protokoll eines Expertengesprächs hervorgeht, hat Prof. Mattern im November 1997 seine Meinung mittlerweile geändert; er schloss sich der in dieser Expertenrunde vorherrschenden Meinung an, dass "im Normalfall" von einem unteren Wert des Harmlosigkeitsbereiches von 10 km/h ausgegangen werden kann (siehe Anhang V, Protokoll der Abschlussdiskussion des ADAC-Expertengesprächs über HWS-Verletzungen vom 11.11.1997.):

„Prof. Mattern stimmt dem Vorschlag von Herrn Dr. Löhle (?v von 10 km/h als faire Untergrenze bei normalem Stoss) grundsätzlich zu, verlangt jedoch eine genaue medizinische Untersuchungspflicht unterhalb einer Differenzgeschwindigkeit von 10 km/h. Der Geschädigte solle die Möglichkeit haben, vom Normalfall abweichende Geschehensabläufe zu dokumentieren, aus denen auf eventuelle Verletzungsmöglichkeiten geschlossen werden könne.“²¹

Zudem ist die Forschung über HWS-Belastungen aus biomechanischer Sicht seit jener Zeit stark fortgeschritten, so dass also die seinerzeit wohl richtige Auffassung bezüglich der *kritischen* Fälle - es ging auch damals ohnehin nur um solche - heute als überholt gelten kann. Biomechanische Gutachten können, wenn ein technisch-unfallanalytisches Gutachten über die Belastungen des *Fahrzeuges* vorliegt, unter Beizug der medizinischen Akten oft zuverlässige Angaben zur Kausalität ergeben. Dem Mediziner sind diesbezügliche Rückschlüsse allein aus klinischer Sicht nicht möglich, da der Sachverhalt bzw. die Intensität einer Kollision und die daraus folgende biomechanische Körperbelastung im spezifischen Fall erst dann hinreichend bekannt sind, wenn technisch und biomechanisch versierte Fachleute die genauen Abläufe während Kollision analysiert haben. Die Grenzen der Aussagekraft von biomechanischen Beurteilungen sind im Anhang II dargelegt.

²¹ Diese Auffassung wird von den Unterzeichneten geteilt; sie ist auch Praxis bei der Beurteilung.

ANHANG V**Abschlussdiskussion des Expertengesprächs vom 11.11.1997 beim ADAC in München zum Thema „HWS-Verletzung in der Schadenregulierung“**

(Hier nur Wortmeldungen zum Thema Delta-v wiedergegeben)

- Herr Dr. Auer weist auf Nachfrage von Herrn Dr. Labudek darauf hin, dass für die Erfassung des Δv auf die Normalsituation auch hinsichtlich der Kopfstütze abgestellt sei. Eine Grenze irgendeiner Art hält er nicht für sinnvoll, da er als Gerichtsgutachter immer einen Einzelfall zu beurteilen habe.
- Herr Dr. Löhle ergänzt, dass die Schlittenversuche eine Untergrenze für das Δv von 13 bis 15 km/h ergeben hätten. Allerdings lägen hier optimal eingestellte Stützen sowie Körperhaltung vor und die Testperson erwarte den Anstoss im Rahmen der Testbedingungen. Zugunsten des Betroffenen sollte eine Toleranzspanne berücksichtigt werden und das Δv auf 10 km/h als faire Untergrenze bei normalem Stoss reduziert werden.
- Das mittlere Δt betrage ungefähr 0,11 bis 0,20 Sekunden, entsprechend einer Beschleunigungsgrenzzahl von 25 m/sec².
- Frau Harrington stellt fest, dass nunmehr Ergebnisse und Teilergebnisse in den drei Schwerpunktbereichen Biomechanik, Medizin und Recht zusammengefasst werden könnten, trotz unterschiedlicher Ansichten zu den Bewertungsfragen. Sie wirft die Frage auf, ob sich das Plenum dem Vorschlag von Herrn Dr. Löhle anschliessen könne.
- Herr Dipl.-Ing. Thumm stellt heraus, dass bei der vorgeschlagenen pauschalen Untergrenze des Δv Mediziner eigentlich entbehrlich seien und deshalb ein entsprechender Vorschlag zu wenig differenziert sei. Vielmehr seien entsprechende Gutachten interdisziplinär zu fassen, so daß der Techniker zu Kollisionsschwere, der Biomechaniker und Mediziner zur Möglichkeit der Verletzungen Stellung nehmen müsse.
- Herr Prof. Dr. Mattern stimmt dem Vorschlag von Herrn Dr. Löhle grundsätzlich zu, verlangt jedoch eine genaue medizinische Untersuchungspflicht unterhalb einer Differenzgeschwindigkeit von 10 km/h. Der Geschädigte solle die Möglichkeit haben, vom Normalfall abweichende Geschehensabläufe zu dokumentieren, aus denen auf eventuelle Verletzungsmöglichkeiten geschlossen werden könne.
- Herr Dipl.-Ing. Paulus stellt fest, daß das Δv durch Probandenversuche entstanden sei. In der Praxis bestünden jedoch Unterschiede, so daß das Δv nur als Hilfsgröße betrachtet werden könne. Abzustellen sei auf den konkreten Einzelfall. Notwendig sei eine möglichst sofortige und gute Beweissicherung durch den Geschädigten, beispielsweise durch Anfertigung von Fotos der Fahrzeuge und der Fahrzeugsitze. Der Arzt müsse nach Vorliegen der Angaben des Patienten und dessen Untersuchung die Symptome im einzelnen feststellen.

- Herr Prof. Dr. Claussen fordert die eingehende medizinische Beurteilung des Patienten, gleichzeitig zur Reduzierung der Begehrlichkeit hinsichtlich der Ansprüche des Betroffenen.
- Herr Prof. Dr. Eisenmenger stellt heraus, daß die angeschnittene Grenzwertproblematik zur Höhe des v ein Agreement sei. Die normale Belastungsgrenze in physiologischer Sicht sei nach der Untersuchung von Mertz im Jahr 1971 nach wie vor 13 km/h.
- Herr Dr. Löhle weist darauf hin, daß die Bezugsgröße v auf der Basis von Versuchen mit 13 km/h ermittelt wurde, zugunsten Betroffener jedoch niedriger anzusetzen sei, wobei auch Fehlschlüsse bei neuen Automodellen hinzutreten könnten, so daß eine gewisse Toleranz gerechtfertigt sei. Auch bedeute ein v von 10 km/h ein weiteres Entgegenkommen zugunsten der Anwaltschaft.
- Herr von Hadeln vertritt die Auffassung, daß es nicht zulässig sei, sich auf einen Grenzwert zu einigen mit der Folge, dann bei höherer Differenzgeschwindigkeit grundsätzlich einen Schaden regulieren zu müssen. Der Grenzwert habe keine Verbindlichkeit für den Einzelfall. Im übrigen müsse grundsätzlich eine plausible wirtschaftliche Vorgehensweise gewählt werden. Bei einer Geschwindigkeitsänderung von unter 13 km/h müsse allerdings davon ausgegangen werden, daß die Belastung der Fahrzeuginsassen so gering ist, daß eine unfallbedingte Verletzung ausscheidet.
- Herr Dr. Volle weist darauf hin, daß nicht nur das v maßgeblich sei, sondern die Folgen auch abhängig von der Konstitution, (muskulös, jugendlich, sportlich usw.), dem Alter des Patienten und der Kopfposition während des Unfalls sind.
- Herr Prof. Dr. Walz teilt die Überlegungen von Herrn Dr. Löhle hinsichtlich eines Abschlags zugunsten des Betroffenen. Nicht auszuschließen seien jedoch außergewöhnliche Fallgestaltungen, die auch Verletzungen bei einem v von 8 km/h nach sich ziehen könnten. Die Frage nach der "überwiegenden Wahrscheinlichkeit" könne gerade in diesen schwierigen Grenzfällen vom Arzt und vom Biomechaniker nicht beantwortet werden. Man kann aber begründen, ob Beschwerden biomechanisch erklärbar sind, bzw. nicht.
- Herr Krumbholz vertritt die Auffassung, daß ein v von 10 km/h nur eine Regulierungshilfe darstelle. Diese Untergrenze "ist generell geeignet". Damit sei die Einschaltung eines Unfallanalytikers ausreichend. Bei Bestreiten oder Zweifeln sei ein biomechanisches Gutachten zu erstellen.
- Herr Dr. Auer führt aus, daß ein pauschalierender Grenzwert nicht für den Gutachter relevant sei. Jeder Einzelfall sei gesondert zu betrachten. Zum Teil träten auch bei erheblich höheren Geschwindigkeitsdifferenzen keine Verletzungen auf. Die Erfahrung zeigt demgegenüber auch, daß bei niedrigeren kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderungen Verletzungen - teils schwere - vorkommen können, je nach dem, wie der Unfall im Einzelfall abgelaufen ist.