

## Beurteilung von Halswirbelsäulenverletzungen aus technischer Sicht

### 1 Allgemeine Ausführungen

Halswirbelsäulen-Verletzungen (HWS-Verletzungen) werden von Unfallopfern bei den verschiedensten Arten von Unfällen geltend gemacht. Durchaus häufig in der gerichtlichen Praxis ist die Beurteilung bei folgenden Unfalltypen:

Heckkollision, Frontkollision, Seitenkollision, Anprall gegen feste Hindernisse, Brems- und Ausweichvorgänge, Spurwechsel.

Ob eine HWS-Verletzung aus technischer Sicht erklärbar ist oder nicht, wird derzeit daran festgemacht, ob die Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeugs, in dem die zu betrachtende Person sitzt, und die mittlere Beschleunigung des Fahrzeugschwerpunkts dieses Fahrzeugs eine bestimmte Größe überschritten haben. Diese Bewertungsgrößen sind ausreichend, wenn ein zentraler Stoß oder ein nahezu zentraler Stoß vorliegt, weil die dafür berechneten Werte auch in etwa für die Insassen gelten. Bei exzentrischen Stößen müssen die Geschwindigkeitsänderung und die mittlere Beschleunigung für den Insassen berechnet werden, was ungleich komplizierter ist.

Bei diesen Berechnungen kommen bestimmte physikalische Größen vor, die nachfolgend erläutert werden:

Bezeichnung	Formelzeichen	Erklärung
Geschwindigkeiten vor der Kollision, translatorisch ( $v$ ) und rotatorisch ( $\omega$ )	$v, \omega$	Vor der Kollision kann ein Fahrzeug stehen und das andere fährt, es können aber auch beide in Fahrt sein. Für die Berechnung spielen auch die Richtungen eine Rolle, unter denen sich die Fahrzeuge nähern. Fahrzeuge können vor der Kollision auch schleudern.
Geschwindigkeiten nach der Kollision, translatorisch und rotatorisch	$v', \omega'$	Nach der Kollision haben beide Fahrzeuge Geschwindigkeiten, die sich von den Kollisionsgeschwindigkeiten unterscheiden. Die absolute Geschwindigkeit einer bestimmten Stelle des Fahrzeugs berechnet sich aus Überlagerung von translatorischer und rotatorischer Geschwindigkeit.
Geschwindigkeitsänderung	$\Delta v$	Die Geschwindigkeitsänderung beschreibt den Unterschied der absoluten Geschwindigkeit eines beliebigen Punkts des Fahrzeugs vor und nach der Kollision.
Energie Equivalent Speed	EES	Mit den EES-Werten wird das Ausmaß der Verformung der Fahrzeuge, also der Schadensumfang, beschrieben. Physikalisch betrachtet ist das eine Kenngröße für die Verformungsarbeit oder -energie.
Trenngeschwindigkeit	$\Delta v_B'$	Vor der Kollision nähern sich die Stellen, an denen die Fahrzeuge kollidieren, einander an, nach der Kollision trennen sich diese Stellen mit einer bestimmten Geschwindigkeit, die als Trenngeschwindigkeit bezeichnet wird.
Mittlere Beschleunigung	$a_m = \Delta v / \Delta t$	Die Geschwindigkeitsänderung $\Delta v$ kann berechnet werden, ebenso die Kollisionsdauer $\Delta t$ . Die Kollisionsdauer ist auch aus Versuchen bekannt, hängt allerdings stark von der Unfallart ab. Aus dem Quotient $\Delta v / \Delta t$ berechnet sich die mittlere Beschleunigung oder Verzögerung.

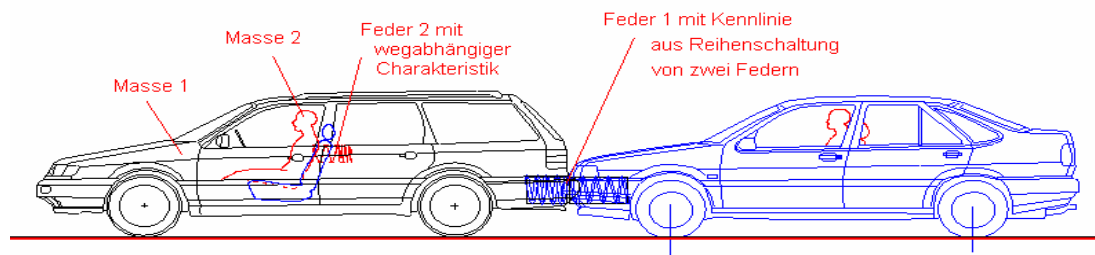
### 2 Unfallarten

#### Auffahren

Wenn man das nachstehende Bild (Auffahrunfall) betrachtet, so wird deutlich, daß die Belastung des/der Insassen im gestoßenen Fahrzeug u.a. von den Struktursteifigkeiten der

Karosserien beider Fahrzeuge abhängen. Aus den Fahrzeugverformungen, die als EES-Werte beschrieben werden, werden die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge vor der Kollision, die Dauer des Stoßes und die mittlere Beschleunigung/Verzögerung berechnet. Es gilt der allgemeine Zusammenhang „Kraft = Masse mal Beschleunigung“.

Durch die zeitlich veränderliche Kraft in der Kontaktzone der Fahrzeuge wird das vordere Fahrzeug beschleunigt. Der auf dem Sitz befindliche Insasse wird über die Rückenlehne und die Reibungskraft auf dem Sitzkissen mitbeschleunigt/mitgenommen. Die Rückenlehne hat besondere Eigenschaften, die durch eine Feder mit eben diesen Eigenschaften mathematisch beschrieben werden kann. Die Eigenschaft der Rückenlehne hat bedeutsamen Einfluß auf den zeitlichen Verlauf der auf Insassen wirkenden Beschleunigung. Jeder Fahrzeugsitz hat unterschiedliche Eigenschaften, die man durch Messung der Kraft-Weg-Kennlinie ermitteln kann.

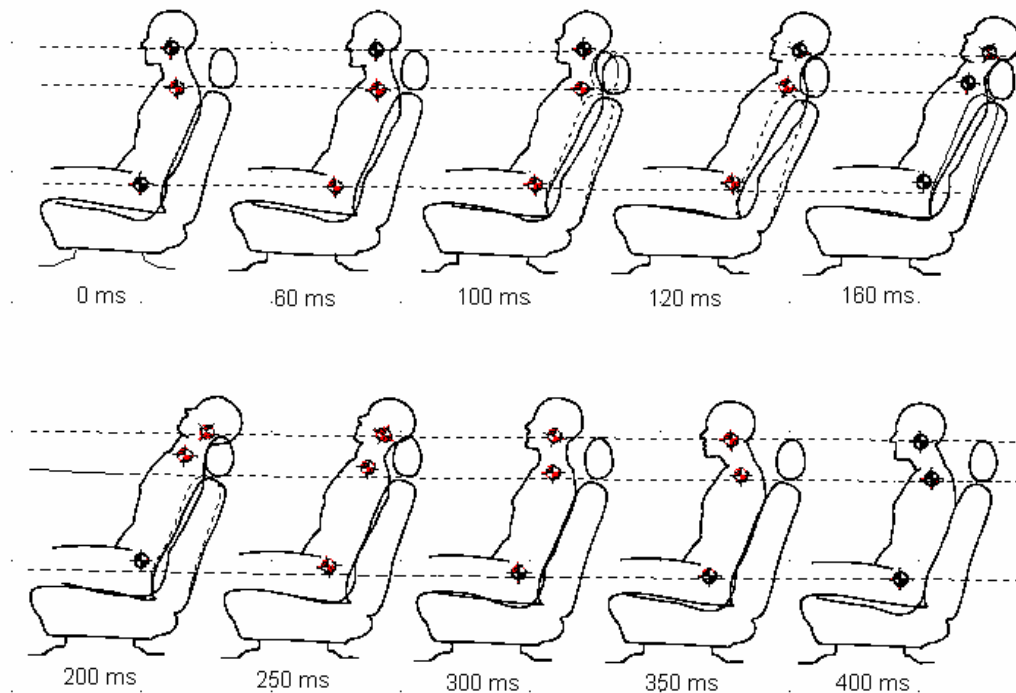


Die Oberkörperbewegung wird über die Halswirbelsäule und die Halsmuskeln auf den Kopf übertragen. Dabei kommt es zuerst zu einer lateralen Verschiebung der Wirbelkörper der HWS, das heißt zu einer Verschiebung (= Scherung) zwischen Oberkörper und Kopfachse. Danach tritt eine Rotation des Kopfes mit Biegung der HWS ein, dann erfolgt eventuell ein Aufprall des Kopfes gegen die Kopfstütze.

Der Vorgang ist von mehreren Autoren, darunter IbB, meßtechnisch erfaßt und mit Hochgeschwindigkeitskameras festgehalten worden. Das nachstehende Bild zeigt die Bewegung eines Insassen in signifikanten Zeitschritten bei einem Versuch mit einer Geschwindigkeitsänderung von 7,8 km/h. Er ist der Literaturstelle /3/ entnommen.

Man sieht aus diesem Bild recht gut, daß der Kopf bei 120 ms gerade an der Kopfstütze anliegt und erst danach die Rotation des Kopfes einsetzt (wobei hier die Kopfstütze viel zu tief sitzt, was aber in der Praxis oft der Fall ist). Nach 120 ms ist das Maximum der Oberkörperbeschleunigung bereits erreicht oder überschritten.

Bei schweren Unfällen mit Geschwindigkeitsänderungen von mehr als 25 km/h und mittleren Beschleunigungen/Verzögerungen über 10 g spielen die Hyperextension des Halses und das Hochrutschen an der Rückenlehne eine bedeutsame Rolle. In diesen Fällen haben die Stellung und die Festigkeit der Rückenlehne sowie die Anordnung und Gestaltung der Kopfstütze einen bedeutsamen Einfluß.



Bei den Unfällen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich mit Geschwindigkeitsänderungen unter 25 km/h spielen die Härte und Dauer des Stoßes eine große Rolle. Diese Stoßdauer hängt primär von der Strukturfestigkeit der beteiligten Fahrzeuge (z.B. Anhängerkupplung ja/nein) und der Härte der Sitzrückenlehne ab. Je härter die Fahrzeugstrukturen sind, desto kürzer wird die Stoßdauer und umso größer wird die mittlere Beschleunigung. Die im gefährdeten Bereich der HWS wirkenden Kräfte sind umso größer, je größer die Beschleunigungsdifferenz zwischen Oberkörper und Kopf ist. Die HWS-Verletzung ist hier bereits eingetreten, bevor der Kopf die Kopfstütze erreicht hat.

Aus der Literaturstelle /9/ folgt, daß bei Fahrzeugen, die ab etwa 1990 gebaut wurden, wegen steiferer Sitzrückenlehnen, das Risiko von HWS-Verletzungen 2,7-fach höher ist als bei älteren Fahrzeugen. Ferner wurde dort u.a. festgestellt, daß bei Fahrzeugen, die eine Anhängerkupplung haben, ein 22 % höheres Risiko für HWS-Verletzungen vorliegt.

Der für den Auffahrunfall beschriebene Mechanismus gilt nicht für andere Unfallarten. Dort gibt es teilweise wesentlich komplexere Zusammenhänge, die in einem Merkblatt nicht mehr beschrieben werden können. Grundsätzliche Informationen sind auf unseren Internet-Seiten unter [www.ibb-forensic.de](http://www.ibb-forensic.de) zu finden.

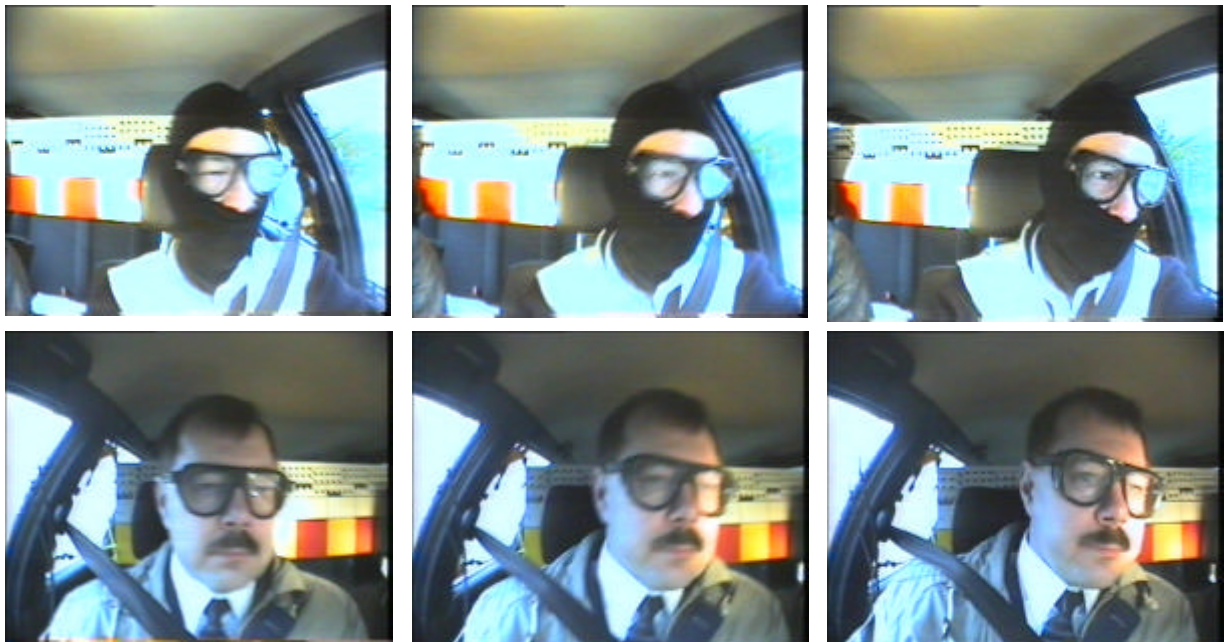
Beim Auffahrunfall oder bei einer Frontalkollision gibt es auch Verletzungen der HWS von Insassen im auffahrenden/verzögerten Fahrzeug. Dabei ergibt sich in Bezug auf die HWS grundsätzlich ein günstigerer Bewegungsablauf und eine prinzipiell geringere HWS-Belastung als bei Heckkollisionen. Beim Frontalanprall wird die vorwärtsgerichtete Relativbewegung des Insassen im Wesentlichen durch die Gurte aufgefangen. Die indirekte Krafteinleitung unterhalb der Halswirbelsäule über den Thorax und die leichte Körperrotation aus dem Schultergurt ergibt – bei sonst gleichen Fahrzeugbelastungen – einen Bewegungsablauf, der mit geringeren Belastungen der einzelnen HWS-Wirbelkörper verbunden ist. Zudem ist die hintere Nackenmuskulatur, welche den Kopf vor zu grosser Vorwärtsbewegung schützen kann, wesentlich stärker ausgebildet als die vorderen Halsmuskeln. Der Harmlosigkeitsbereich für nicht unerhebliche HWS-Beschwerden nach frontalen Kollisionen liegt im "Normalfall" bei Verwendung von Sicherheitsgurten in einem Bereich der kollisionsbedingten

Geschwindigkeitsänderung des verzögerten Fahrzeuges von etwa dem doppelten Wert desjenigen bei Heckkollisionen (10-15 km/h), also bei 20 – 30 km/h. "Normalfall" heisst, dass die biomechanisch relevante Situation eines Insassen derjenigen Situation entsprechen muss,, die bei der wissenschaftlichen Ermittlung dieses Bereichs vorgelegen hatte. Dies heisst im Wesentlichen, dass die betroffene Person nicht älter als etwa 50/55 Jahre sein darf, keine mehr als unerheblichen krankhaften oder traumatisch bedingten Veränderungen im Halswirbelsäulenbereich vorliegen, und anlässlich der Kollision keine Körperposition relativ zum Fahrzeuginnenraum vorlag, welche eine zusätzliche Belastung hätte ergeben können. Andernfalls ist die Harmlosigkeitsgrenze eventuell auch unterhalb von 20 km/h anzusetzen. Umgekehrt könnten Umstände, die das biomechanische Risiko verringern, wie z.B. eine besonders robuste Konstitution und/oder speziell Sicherheitselemente wie ein Airbag, die Harmlosigkeitsgrenze nach oben verschieben. Biomechanische Ueberlegungen sollten im Einzelfall nicht ohne medizinische Ausbildung vorgenommen werden. Ggf. sind interdisziplinäre Gutachten erforderlich.

### Seitenkollision

Zu beachten ist, dass die für Auffahrunfälle bekannten und in vielen Gerichtsurteilen verwerteten Grenzen für den Eintritt einer HWS-Verletzung für seitliche Kollisionen nicht gelten. Bei seitlichen Kollisionen können HWS-Verletzungen, insbesondere auf der stoßzugewandten Seite, früher als bei Auffahrunfällen eintreten. Dies liegt primär daran, dass die translatorische Bewegungsmöglichkeit der HWS in seitlicher Richtung deutlich limitiert ist.

In den beiden nachstehenden Bildserien sind die Bewegungen von Fahrer und Beifahrer während zweier Streifkollisionen in spitzem Winkel gegen die linke Seite des Versuchsfahrzeugs zu sehen. Es handelt sich um zwei unserer Versuche zum Vergleich des Ausmaßes der Insassenbewegung. Im ersten Fall ist die Geschwindigkeitsänderung in seitlicher Richtung etwa 3 km/h, im zweiten Fall etwa 9 km/h.



In der oberen Bildserie ist jeweils die Bewegung des Fahrers zu sehen, in der unteren sieht man die Bewegung des Beifahrers. Beim Fahrer kann es zum Anschlag der Schulter gegen die Fahrertür kommen, der Kopf bewegt sich weiter und kann ggf. mit der Seitenscheibe in Berührung kommen, die u.U. dabei zerstört wird. Im oben gezeigten Versuch wurden keine Beschwerden der Insassen berichtet.



Beim zweiten Versuch (9 km/h Quergeschwindigkeitsänderung) hatte der Fahrer keine Beschwerden, der (unvorbereitete) Beifahrer bekam Kopfschmerzen und 3 Tage lang HWS-Beschwerden.

### 3 Belastungsgrenzen

Die Mechanismen, die zu den HWS-Beschwerden oder HWS-Verletzungen führen sind derzeit noch längst nicht zuverlässig aufgeklärt. Noch nicht einmal bei dem am einfachsten zu betrachtenden Auffahrunfall ist ganz klar, wie es zu den Beschwerden kommt. Zur Zeit herrscht die Meinung vor, dass Druckwellen in den Blutgefäßen und in der Rückenmarksflüssigkeit kleinste, bisher durch Diagnosegeräte nicht nachweisbare Verletzungen erzeugen. Es ist auch ein Bewertungskriterium (Neck Injury Criterion, NIC) vorgeschlagen worden, über dessen Höhe und Berechnungsweise aber noch Uneinigkeit besteht.

Hinzu kommt, dass Untersuchungen von Castro et al. gezeigt haben, dass sogar Personen, denen man einen Auffahrunfall nur durch entsprechende Geräusche und Rollbewegung eines Fahrzeugs ohne Kollision vorgetäuscht hatte, über Beschwerden klagten. Daraus wurde geschlossen, dass alleine schon psychosomatische Reaktionen zu HWS-Beschwerden führen können. Aus der manuellen Medizin ist bekannt, dass eine „falsche“ (unphysiologische) Bewegung im täglichen Leben ausreicht, um HWS-Beschwerden zu erzeugen. Eine weitere Schwierigkeit ist die, dass die bisherigen Untersuchungen von einer „normalen“ Kopfhaltung ausgegangen sind. Niemand weiß, was passiert, wenn z.B. ein Insasse der Kopf um 70 Grad zur Seite gedreht hat, als es zum Auffahrunfall gekommen ist. Ob eine solche Kopfdrehung in einem konkreten Fall vorgelegen haben kann, muss von dem Gericht, orientiert an dem allgemeinen Unfallablauf, entschieden werden.

Trotz alledem kann es nicht so sein, dass man deshalb die bisherigen Untersuchungsergebnisse unbeachtet lässt und auf weitere wissenschaftliche Ergebnisse wartet. Das was heute bekannt ist, lässt doch die Aussage zu, dass die von einem Fahrzeuginsassen geklagten Beschwerden bei Überschreitung der weitgehend akzeptierten Grenzwerte auf den Unfall zurückgeführt werden können. Die Angabe einer Wahrscheinlichkeit, mit der dies der Fall ist, kann nicht erwartet werden, weil diese Wahrscheinlichkeit allenfalls die einzelne Person betreffen könnte. Über deren Körperbau ist

meist nichts Genaueres bekannt und schon gar nicht sind mehrere Ereignisse bei dieser Person bekannt, aus denen eine Wahrscheinlichkeitsaussage ableitbar wäre.

Wenn es zu der Aussage kommt, dass aus technischer Sicht eine HWS-Verletzung nicht zu erklären ist, weil die Grenzwerte nicht erreicht oder überschritten wurden, dann kann ein medizinisches Gutachten durchaus ein anderes Ergebnis liefern. Hierbei ist zu bedenken, dass alle Versuche der Sachverständigen zur Festlegung von Grenzwerten mit Versuchspersonen durchgeführt worden sind, die vorher wussten, dass sich eine Kollision ereignen würde. Außerdem ist zu bedenken, dass es sich bei der Beurteilung von Verletzungen nicht um ein technisches Problem handelt, sondern um ein medizinisches und dazu noch um eines aus einer speziellen medizinischen Fachrichtung. Wenn bei einem Unfall die Grenzwerte unterschritten sind, dann ist primär der medizinische Sachverständige gefragt.

An sinnvollen Belastungsgrenzen, unterhalb derer bei europäischen Fahrzeugen HWS-Verletzungen aus technischer Sicht nicht mehr erklärt werden können, wurden für: normale Sitzhaltung, normale Körperkonstitution, keine krankhaften Veränderungen, bisher folgende definiert:

	Geschwindigkeitsänderung	Mittlere Beschleunigung
Auffahrunfall / Heckkollision	HWS-Verletzung bei weniger als 11 km/h nicht erklärbar, Harmlosigkeitsgrenze 10 km/h	30 m/s <sup>2</sup> bzw. 3 g
Frontalkollision	20 km/h	50 m/s <sup>2</sup> bzw. 5 g
Seitenkollision	Seitliche Beweglichkeit der HWS ist am geringsten. Es kann zu einem unmittelbaren Kontakt zwischen Schulter des Insassen und Tür des Fahrzeugs kommen, harter Stoß. Kopfanprall bei stoßzugewandter Seite schon bei 5 km/h, bei stoßabgewandter Seite prüfen, ob Rückschwingen erfolgen kann. Grenzwert unbekannt, vermutlich nicht viel höher als bei stoßzugewandt.	Bisher nichts definiert. Grad der Unerwartetheit bedeutsam.

Weiterführende Literatur (Auszug):

- /1/ Walz, F.: *Biomechanische Aspekte der HWS-Verletzungen*, Orthopäde (1994) 23, 262-267
- /2/ Gratzer, W. und Burg, H.: *Analyse von Serienkollisionen und Berechnung der Insassenbeschleunigung im gestoßenen Fahrzeug*, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 1994, Heft 4 ff.
- /3/ Whitman, E. et al: *Analysis of Human Test Subject Kinematic Response to Low Velocity Rear End Impact*. SAE SP-975, 1993
- /4/ Moorahrend, U.: *Die Beschleunigungsverletzung der Halswirbelsäule*. Gustav Fischer Verlag, 1993.
- /5/ Kallieris, Rizzetti, Mattern, Thunnissen, Philippons: *Cervical Human Spine Loads During Traumatomechanical Investigations*. IRCOBI Proceedings 1996.
- /6/ *Scientific Monograph of the Quebec Task Force on Whiplash-Associated Disorders*. International Journal for the Study of the Spine, 15. April 1995.
- /7/ Das „Schleudertrauma“ der Halswirbelsäule. Castro, Kügelgen, Ludolph, Schröter. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart 1998.
- /8/ Boström et al: *A Sled test Procedure Proposal to Evaluate the Risk of Neck Injury in Low Speed Rear Impacts using a new Neck Injury Criterion (NIC)*, Chalmers University Sweden, Paper Nr. 98-S7-O-07.
- /9/ Krafft, M. *Folksam Research: A Comparison of Short- and Long-Term Consequences of AIS 1 Neck Injuries in Rear Impacts*. July 1998.
- /10/ Becke, Castro, Hein, Schimmelpfennig: *HWS-Schleudertrauma 2000 – Standortbestimmung und Vorschau*. NZV 2000, Heft 6.
- /11/ *Unfallversuche der AGU Zürich im Auftrag des SVV, EVU-Jahrestagung 2003 in Zürich*.

#### 4 Schweregrad der HWS-Verletzung und statistische Ergebnisse

In der Literaturstelle /4/ werden zum Schweregrad von HWS-Verletzungen Ausführungen gemacht. Diese Einstufung wird primär interdisziplinär im medizinischen Fachbereich angewendet. Da in medizinischen Gutachten oft solche Einstufungen vorgenommen werden und bei der technischen Begutachtung Berücksichtigung finden sollen, werden sie in einer Tabelle aufgeführt:

Schweregrad	
I	Schmerzsymptomatik nicht über 72 bis 96 Stunden. Keine erfaßbaren Veränderungen durch diagnostische Verfahren zu belegen.
II	Symptombdauer bis 3 Wochen nach Schadensereignis. Objektive Feststellung des muskulären Hartspannes und pain release unter Physiotherapie.
III	Radiologisch objektivierbare Fehlstellung bis hin zum Ausmaß einer reversiblen Subluxation eines Bewegungssegmentes mit oder ohne neurologische Störungen.
IV a	Luxation oder Luxationsfraktur der HWS, ggf. kombiniert mit neurologischen Störungen.
IV b	Tödliches HWS-Beschleunigungstrauma.

Ferner finden sich in /4/ Beschwerden/Symptome, die bei HWS-Verletzungen von den betroffenen Personen berichtet werden, bzw. an ihnen zu beobachten sind (absteigende Reihenfolge):

Körperliche Beschwerden	Psychische Beschwerden
Bewegungseinschränkung des Kopfes	Nervosität / Unruhe
Cephalgie (Kopfschmerzen)	Abnorme Müdigkeit
Nackenschmerzen	Frühes Erwachen wegen Schmerzen
Schulterschmerzen	Durchschlafschwierigkeiten
Schwindel	Innerlich gespannt und unruhig
Parästhesien (Gefühllosigkeit)	Schlafstörungen durch Schmerzen
Lichtempfindlichkeit	Einschlafschwierigkeiten
Benommenheit	Sozialer Rückzug
Sehstörungen	Weniger Initiative
Beklemmungsgefühle in der Brust	Tagsüber traurig/niedergeschlagen
Hörstörungen	Ängstlich/schreckhaft
Kreislaufstörungen	Seelische Schwere
Lärmempfindlichkeit	Plötzliches Weinen
Hitzeempfindlichkeit	Versagensängste
Schluckbeschwerden	Körperliche Schwere
Übelkeit	Suizidgedanken/Minderwertigkeitsgefühle

Stand März 2004