

Unfallrekonstruktion

HWS-Schleudertrauma*

Einfluss ungewöhnlicher Sitzpositionen auf die Belastung beim Heckanstoß

von Dipl.-Ing. Stefan Meyer, Lübeck**

Im Rahmen der Kausalitätsbeurteilung zwischen einem Heckanstoß und einer Verletzung an der Halswirbelsäule (HWS-Schleudertrauma) wird regelmäßig nach dem Einfluss unterschiedlichster Sitzpositionen auf die biomechanische Belastungshöhe gefragt. Anhand zweier außergewöhnlicher Ausgangssitzpositionen werden beispielhaft die Ergebnisse einzelfallbezogener Versuchsreihen erläutert.

I. Der Auffahrunfall

1. Die Insassenbewegung ist der Anstoßrichtung entgegengerichtet

Die typische Auffahrkollision ereignet sich im **stokenden** oder **ruhenden Innenstadtkverkehr**. Nachdem ein vorausfahrender Pkw verkehrsbedingt abgebremst oder angehalten wurde, prallt ein nachfolgender Pkw gebremst oder ungebremst auf des-

sen Heck auf. Der Fahrer des auffahrenden Pkw ist hierbei der Belastung eines Frontanstoßes und der im angestoßenen Pkw der eines Heckanstoßes ausgesetzt. Hieraus resultieren gegenläufige Insassenbewegungen, vgl. Abb. 1. Bei gleicher Anstoßintensität gilt das Verletzungsrisiko im heckseitig angestoßenen Pkw allgemein als höher. Hier stehen die Verletzungsfolgen oft in keinem Verhältnis zum vergleichsweise geringen Schadenumfang an den beteiligten Fahrzeugen.

* Vgl. zur Thematik „HWS-Schleudertrauma“ auch den Beitrag von Jaeger, VRR 2009, 4 in der Rubrik Praxisforum in diesem Heft.

** Der Autor ist von der IHK zu Lübeck öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle, Ingenieurbüro Schal und Meyer, Schimmelpfennig + Becke Lübeck/Schwerin GmbH.



Abb. 1: Prinzipielle Bewegungsrichtungen der Auffahrkollision

2. Verletzung infolge außergewöhnlicher Körperhaltung beim Anstoß?

Immer häufiger wird von Pkw-Lenkern nach einer Heckkollision mit niedriger Geschwindigkeit die Verletzungsentstehung durch Angabe einer **außergewöhnlichen Ausgangssitzposition** zum Kollisionszeitpunkt begründet. Bisher wurden von uns zwei Einzelfälle untersucht. Einerseits eine vorgebeugte Sitzposition (FIP – Forward Inclined Position), wie sie bspw. beim Aufheben eines Gegenstands vom Fahrzeugboden oder bei einem Blick in Richtung eines Ampelbogens eingenommen wird. Andererseits eine Körperhaltung, bei der sich ein Fahrer in Vorhersehung des Aufpralls instinktiv und krampfhaft am Lenkrad festhält.

II. Kollisionsparameter

Allgemein gilt sowohl in der internationalen Fachliteratur, als auch im Rahmen des forensischen Gutachtenwesens die **kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung** (Δv) als der **aussagekräftigste** technische Kollisionsparameter zur Beschreibung der biomechanischen Insassenbelastung.

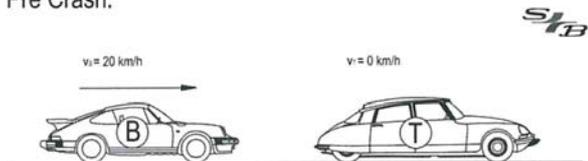
1. Je größer Δv , desto höher die Belastung

Die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung beschreibt den Geschwindigkeitszuwachs (Heckanprall) bzw. den Geschwindigkeitsverlust (Frontanstoß) eines angestoßenen Fahrzeugs durch die Kollision. Die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung ist als Differenz der Geschwindigkeit eines Fahrzeugs unmittelbar vor und unmittelbar nach der Kollision definiert. Sie ist jedoch **nicht** mit der Differenz- oder **Relativgeschwindigkeit zweier Fahrzeuge** unmittelbar vor der Kollision zu verwechseln.

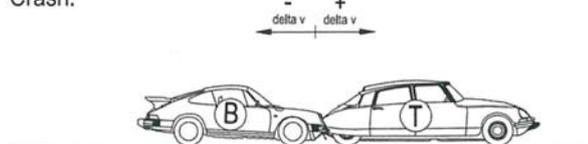
Beispiel:

Der Pkw T hält. Der nachfolgende Fahrer des Pkw B erkennt dies zu spät und fährt trotz eingeleiteter Bremsung noch mit einer Kollisionsgeschwindigkeit v_B (Geschwindigkeit eines Pkw zum Kollisionszeitpunkt) auf das Heck des davor stehenden und gleichschweren Pkw T ($v_T = 0 \text{ km/h}$) auf. Die Kollisionsgeschwindigkeit beträgt 20 km/h . Durch den Heckanstoß wird der zuvor stehende Pkw T kollisionsbedingt aus dem Stillstand heraus auf ein (+) Δv von gut 10 km/h beschleunigt. Der auffahrende Pkw wird seinerseits um einen entsprechenden Geschwindigkeitsbetrag (-) Δv verlangsamt. Er ist nach der Kollision gut 10 km/h langsamer als vor der Kollision. Er bewegt sich also mit knapp 10 km/h weiter. Somit ist vereinfacht bei etwa massengleichen Fahrzeugen das Δv während des Crashes etwa halb so hoch wie die Relativgeschwindigkeit beider Fahrzeuge vor der Kollision.

Pre Crash:



Crash:



Post Crash:

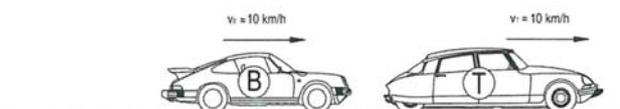


Abb. 2: Definition kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung

Je größer das Δv ist, desto intensiver ist die Insassenbewegung und desto höher ist die Belastung zu bewerten.

Praxistipp:

Bei gleichschweren Unfallfahrzeugen ist das Δv des angestoßenen Pkw gut halb so hoch wie die Relativgeschwindigkeit zwischen beiden Pkw zum Zeitpunkt der Auffahrkollision. Ist der gestoßene leichter/schwerer als der auffahrende Pkw erhöht/verringert sich das Δv .

III. Die Insassenbewegung

Die kollisionsbedingte Bewegung des Insassen ist also direkt vom Δv abhängig. Bei einem **Heckanstoß** wird das Fahrzeug bzw. der Fahrzeugsitz unter dem Insassen katapultartig nach vorne wegbewegt. Die Intensität der Anregung der Insassenbewegung steht also in direktem Zusammenhang mit dem Parameter Δv . Die **Belastungshöhe** wird weiterhin durch die resultierende Insassenbewegung beeinflusst.

1. Bewegungsphasen des Heckanstoßes

Der Bewegungsablauf lässt sich allgemein hinsichtlich der in Abb. 3 dokumentierten immer wiederkehrenden **6 Bewegungsphasen** erläutern. Durch den Heckanstoß wird der Pkw innerhalb etwa 1/10-Sekunde (Zeitbedarf eines „Wimpernschlags“) um den Betrag der kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung beschleunigt.

Da der Insasse nicht fest mit dem Fahrzeug verbunden und der Sitz elastisch ist, kommt es zu Beginn der Kollision zunächst lediglich zu einer **translatorischen**, also geradlinig nach vorne gerichteten **Beschleunigung** der Fahrgastzelle. Dadurch bewegt sich die Sitzlehne auf den ruhenden Körper des Insassen zu (Bild 1 – 2). Durch den beginnenden Kraftaustausch mit der Rückenlehne neigen sich beide relativ nach hinten. Auch Reibungskräfte zwischen Sitzfläche und Oberschenkel bewirken, dass der Insasse im Hüftbereich an der beschleunigten Vorwärtsbewegung der Fahrgastzelle teilnimmt.

2. Winkeländerung bei Flexion vergleichbar mit der beim „Nicken“

Weil sich die Hüfte nun schneller nach vorne bewegt als der Oberkörper, kommt es zu einer **Kippbewegung des Oberkörpers** nach hinten. Da zu diesem Zeitpunkt der Kopf vom Beschleunigungsgeschehen noch unbeeinflusst ist, erfährt die **Halswirbelsäule** eine leichte **Flexionsbewegung** (Bild 2 – 3). Flexion bedeutet hier eine Verringerung des Winkels zwischen Kopf und Rumpf, vergleichbar mit der Winkeländerung beim „Nicken“. Außerdem ist eine translatorische Relativbewegung zwischen Rumpf und Kopf zu beobachten.

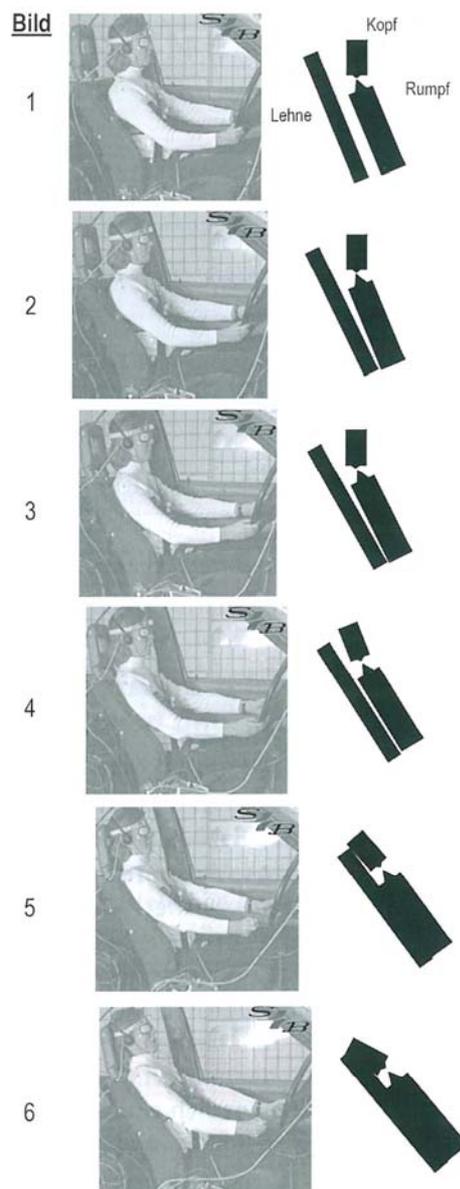


Abb. 3: 6 Bewegungsphasen infolge eines Heckanstoßes

3. Ramping bezeichnet das Hochrutschen des Körpers an der Sitzlehne

Abhängig von der Größenordnung der Beschleunigungseinwirkung und der Elastizität der Sitzlehne wird die Sitzlehne unterschiedlich weit nach hinten ausgelenkt. Wenn die größte Auslenkung erreicht ist, führt der aufgebaute Kraftschluss dazu, dass der Oberkörper nun an der beschleunigten Vorwärtsbewegung der Fahrgastzelle teilnimmt (Bild 3 – 4). Damit **nimmt die Kippbewegung des Rumpfes ab**. Da der Kopf noch immer in Ruhe ist, ist eine Abnahme des Flexionswinkels zu beobachten, sodass der ursprüngliche Winkel zwischen Kopf und Rumpf wieder erreicht wird. Außerdem bewirkt der Kraftschluss, dass die durch die Sitzposition vorliegende **Krümmung der Wirbelsäule vermindert** wird. Dies zeigt sich in einem **Hochrutschen** des Oberkörpers („Ramping“) im Sitz (Bild 4 – 5). Zwischen Kopf und Oberkörper kommt es im weiteren Bewegungsablauf nun

zu einer Extensionsbewegung. Hierunter versteht man eine Drehung des Kopfes relativ zum Rumpf nach hinten, vergleichbar mit dem Zurücklegen des Kopfes beim „Nach-oben-Schauen“.

4. Extensionswinkel vergleichbar mit „Nach-oben-Schauen“

Der maximale Extensionswinkel zwischen Oberkörper und Kopf tritt unmittelbar nach dem Kontaktbeginn zwischen Kopf und Kopfstütze auf. Diese Situation ist auf dem letzten Bild (6) der Schemadarstellung in Abb. 3 zu erkennen. Mit der maximalen Auslenkung der Lehne nach hinten und der größten dynamischen Deformation der Kopfstütze, welche durch den Kraftaustausch mit dem Hinterkopf des Insassen hervorgerufen wird, geht der maximale Extensionswinkel einher. Zu diesem Zeitpunkt ist die Beschleunigungseinwirkung auf die Fahrgastzelle bei einer normalen Auffahrkollision bereits abgeschlossen.

5. Rebound ist die sekundäre Vorverlagerung des Insassen

Mit Kollisionsende, wenn sich die Fahrzeuge wieder getrennt haben, wirken auch keine äußeren Kollisionskräfte und damit Beschleunigungen mehr auf das Fahrzeug ein. Es kommt zu einer Sekundärbewegung („Rebound-Bewegung“) des Insassen im Fahrzeug, bei der der Insasse nunmehr mit dem Oberkörper relativ zum Fahrzeug nach vorne schwingt. Das Ausmaß der „Rebound-Bewegung“ ist von der vorhandenen Sitzelastizität und der kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung abhängig. Sie ist jedoch gegenüber der Primärbewegung energieärmer.

Praxistipp:

Primär bewegt sich ein Insasse beim Heckanstoß relativ zur Fahrgastzelle nach hinten. Erst anschließend wird er durch die Lehnenrückverformung relativ nach vorne in den Sicherheitsgurt hinein bewegt.

IV. Außergewöhnliche Sitzpositionen

Außergewöhnliche Ausgangssitzpositionen der Insassen während des Heckanstoßes können nur dann eine veränderte biomechanische Insassenbelastung begründen, wenn sie bei gleicher äußerer Anregung (gleiches Δv) zu einer abweichenden Relativbewegung des Insassen führen.

Die Abb. 4 zeigt im direkten Vergleich den Bewegungsablauf eines Freiwilligen auf einem Versuchsschlitten infolge einer normalen Ausgangssitzposition (NORMAL) und einer vorgebeugten Sitzposition (FIP). Die Anstoßbelastung war in beiden Fällen identisch und konnte durch Angabe eines Δv von 7 km/h beschrieben werden. Bei der Sitzposition FIP rollt der Insassenrücken gleichsam an der

Sitzlehne ab. Hierdurch wird ein nicht unerheblicher Energieanteil über eine definierte Wegstrecke abgebaut.

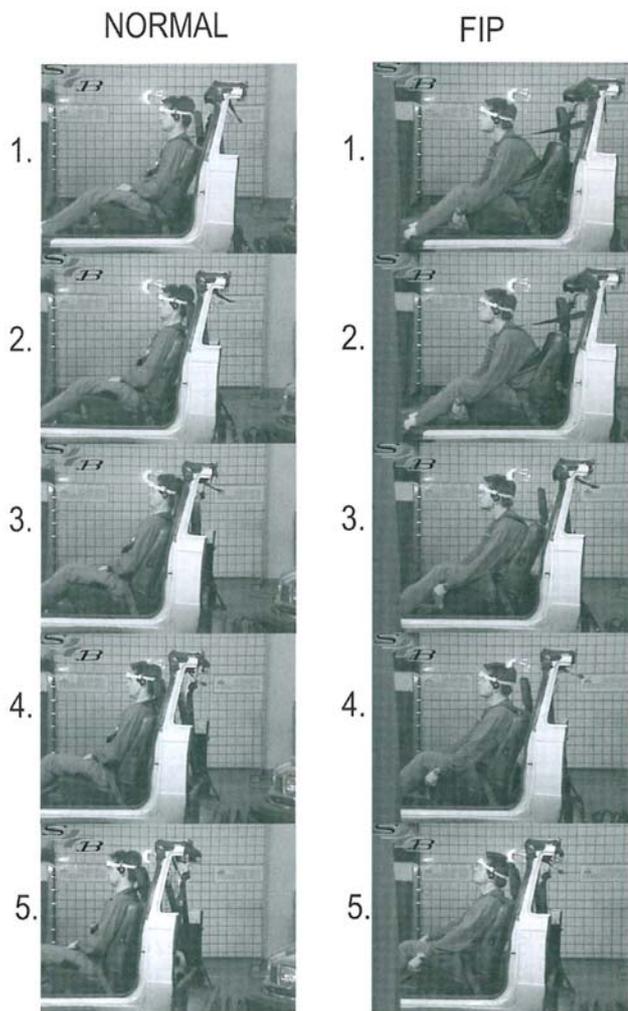


Abb. 4: Bewegungsvergleich NORMAL/FIP

1. Belastungsreduktion durch vorgebeugte Körperhaltung

Waren zunächst infolge der vorgebeugten Körperhaltung höhere Belastungen für den Insassen behauptet und auch erwartet worden, so führten die experimentellen Versuche zu einem auf den ersten Blick verblüffenden Ergebnis, dass die Belastung des Insassen umso geringer ist, je stärker sich die Person zum Kollisionszeitpunkt vorbeugt.

Zu Beginn der Untersuchung war davon ausgegangen worden, dass sich ein exakt gegenteiliges Ergebnis darstellen würde, nämlich dass der Oberkörper durch diesen größeren Abstand zur Rückenlehne „Schwung“ holt und hier eine ungünstigere Belastung vorliegt. Tatsächlich ist das Gegenteil der Fall. Somit kann aus der vorgebeugten Sitzhaltung nach derzeitigem wissenschaftlichem Kenntnisstand **keine Erhöhung der resultierenden Insassenbelastung bei Heckkollisionen** auf geringem Geschwindigkeitsniveau abgeleitet werden.

2. Belastungserhöhung bei erwartetem Heckanstoß

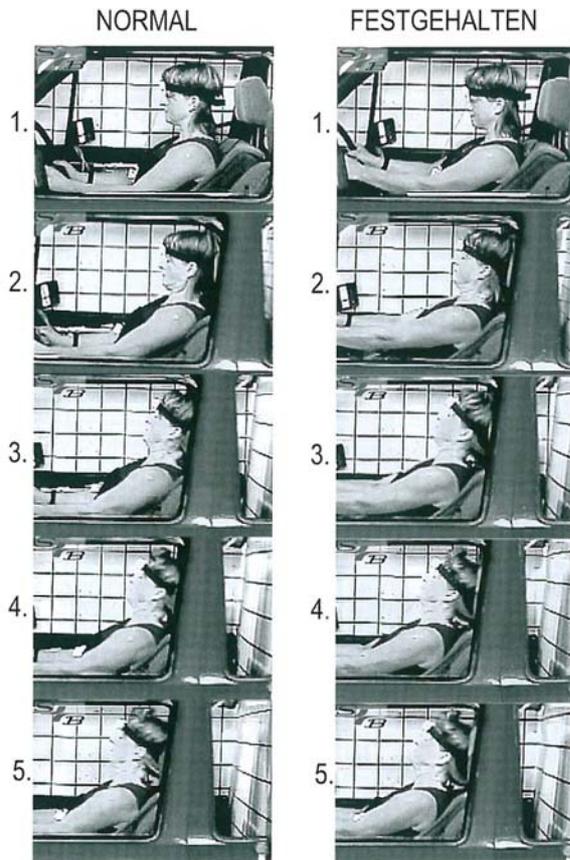


Abb. 5: Bewegungsvergleich NORMAL/FESTGEHALTEN

In Abb. 5 ist ein weiterer Vergleich gezeigt. Hierbei handelt es sich um Freiwilligenversuche in einem modifizierten Versuchsschlitten. In der li. Sp. ist wiederum eine als normal zu bezeichnende Sitzposition einer Freiwilligen abgebildet. Im direkten Vergleich befindet sich rechts daneben eine Sitzposition bei der die Probandin das Lenkrad infolge eines erwarteten Heckanstoßes instinktiv und krampfhaft fest umklammert. Bereits aus dem anschaulichen Vergleich wird deutlich, dass infolge des „Festhaltens“ die Relativbewegung zwischen Oberkörper und Kopf früher einsetzt, da der Oberkörper über den Kraftschluss zwischen Lenkrad, Händen und Armen früher nach vorne mitgezogen wird. Daher werden bei einem **krampfhaften Festhalten am Lenkrad höhere Insassenbelastungen** ermittelt als in der normalen Sitzposition.

So zeigt Abb. 6, dass die Änderung des Relativwinkels der Kopfdrehung bei der Position FESTGEHALTEN um 10° größer war als in der normalen Ausgangssitzposition. Dieses Versuchsergebnis zeigt, dass sich ein krampfhaftes Festhalten am Lenkrad in Erwartung eines Heckanstoßes (bspw. durch einen „vorausschauenden“ Blick in den Rückspiegel) bei gleicher kollisionsbedingter Anregung belastungserhöhend auswirkt. Auch in den letztgenannten Versuchen war die anstoßbedingte Belastung mit einem Δv von etwa 7 km/h vergleichbar.

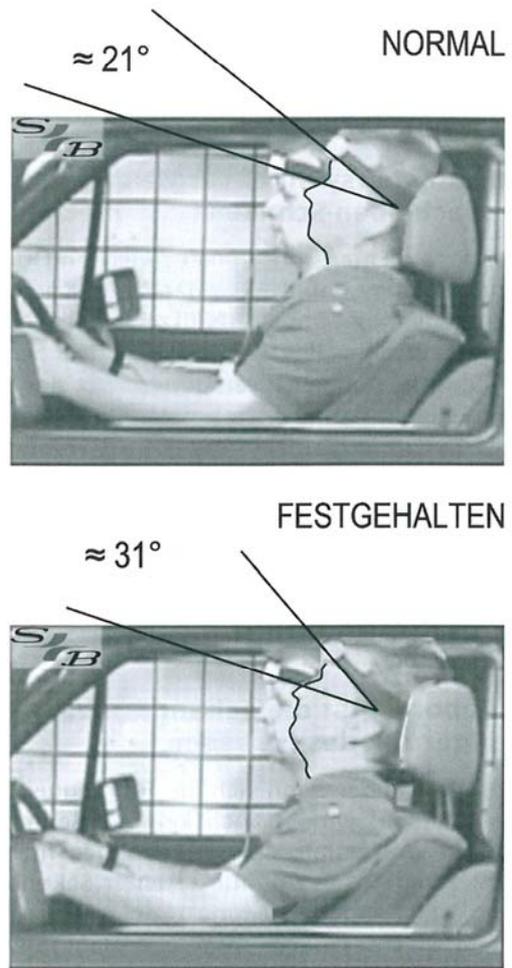


Abb. 6: Vergleich der Bewegungswinkel

V. Fazit

Werden im Hinblick auf Verletzungen an der Halswirbelsäule nach Auffahrkollisionen (HWS-Schleudert trauma) außergewöhnliche Sitzpositionen von den Insassen angegeben, sind zur Beurteilung der biomechanischen Belastungshöhe Experimente (bspw. Freiwilligenversuche) zur Beschreibung der aus der Sitzposition resultierenden Insassenbewegung durchzuführen. In der Versuchspraxis zeigt sich oftmals, dass Hypothesen zur erwarteten Erhöhung oder Minderung der Insassenbelastung durch die Testergebnisse widerlegt werden.

Freiwilligentests auf Bagatellbelastungsniveau haben gezeigt, dass eine **vorgeneigte Körperhaltung** zum Zeitpunkt des Heckanstoßes die biomechanische **Belastung** bei gleichen technischen Ausgangsparameter **verringert**, wohingegen ein instinktives und krampfhaftes Festhalten des Lenkrades infolge eines erwarteten Heckanstoßes die Belastung der Halswirbelsäule erhöhen kann.

Praxistipp:

Nicht jede vorgetragene außergewöhnliche Körperhaltung zum Kollisionszeitpunkt führt automatisch zu einer Belastungserhöhung und damit zu einer höheren Verletzungswahrscheinlichkeit.