

Ralf Krause\*, Martin Hesse\*\*, Manfred Becke\*\*\*

# Lassen sich die bei einer Pkw-Pkw-Heck-Kollision auftretenden Beanspruchungen mit Alltagsbelastungen vergleichen ?

## Zusammenfassung

In dieser Untersuchung wurden verschiedene Alltagsbelastungen analysiert (Rempler, Sprünge und Stuhl-Tisch-Kollisionen). Im Rahmen einer Voruntersuchung wurden die Bewegungsabläufe der differierenden Beanspruchungen untersucht, was zu dem Ergebnis führte, dass lediglich bei Stuhl-Tisch-Kollisionen eine Vergleichbarkeit gegeben war. Bei den ausgewerteten Versuchsreihen lag eine Geschwindigkeitsänderungsbandbreite zwischen 5 bis 8 km/h vor. Dieser Belastungsart wurden Einwirkungen bei Auf-fahrkollisionen auf gleichem Beanspruchungsniveau gegenübergestellt.

Trotz sehr ähnlicher Bewegungsabläufe und gleicher Beanspruchungshöhe konnten große Diskrepanzen bei den Beschleunigungssignalen festgestellt werden (Zeitverzug zwischen Einzelsignalen). Ein Proband, der an einer Pkw-Barriere- und einer Stuhl-Tisch-Kollision teilnahm (Geschwindigkeitsänderung jeweils ca. 5 km/h) wies dezidiert darauf hin, dass nach seinem subjektivem Empfinden eine Vergleichbarkeit der Belastungsarten nicht gegeben war.

Eine Begründung für diesen Sachverhalt liefert möglicherweise die Hypothese, dass der bei einer Heckkollision typischerweise auftretende Zeitverzug zwischen Fahrgastzellen-, Brust- und Kopfbeschleunigung zu einer Scherbewegung zwischen Rumpf und Kopf führt (S-Shape). Infolge dieser Scherung kommt es zu Druckspitzen im Spinalkanal (Rückenmark), die einen Erklärungsansatz für eine Verletzungswahrscheinlichkeit bieten.

Abschließend ist somit zu konstatieren, dass ein Vergleich von Alltagsbelastungen mit Pkw-Pkw-Unfällen, lediglich im Rahmen einer Betrachtung der Beschleunigungsspitzen und des Bewegungsablaufes, ohne die genauere Analyse der zugehörigen Signal-Zeit-Verläufe nicht zulässig ist.

## Summary

In this study several daily observed stresses are analyzed. These several daily observed stresses are compared with the stresses that a car during a rear-end collision at low speed. This study let us find out, that despite very similar motions, a great discrepancy between the acceleration signals is shown, which makes it difficult to compare them rear-end-collisions.

## 1 Einleitung

Für Unfälle mit geringen Belastungseinwirkungen stellt sich immer wieder die Frage, ob sich die Beanspruchung einer Pkw-Pkw-Heck-Kollision mit einer Alltagsbelastung vergleichen lässt. Dieses wird von vielen Sachverständigen mit dem Hinweis auf ähnlich hohe Kopf- und Brustbeschleunigungen gemacht, um ein plastisches Vorstellungsvermögen von den auftretenden Belastungen zu vermitteln.

In einem ersten Schritt zur Vorbereitung dieser Thematik wurden bereits untersuchte Anstoßvarianten analysiert. Hierbei sollten vor allem Belastungen direkt aus dem Alltag einbezogen werden:

\*Dipl.-Ing. Ralf Krause,

\*\*Dipl.-Ing. Martin Hesse,

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

Sprünge, Rempler, Hinsetzvorgänge, Sportübungen (z.B. Kopfball) und Stuhl-Tisch-Anstöße.

Bei einer ersten Betrachtung der verschiedenen Alltagsbelastungen fielen die stark voneinander abweichenden Bewegungsabläufe der Probanden im Vergleich zu denen bei Pkw-Pkw-Kollisionen auf. Dabei wurde die Frage aufgeworfen, welche relevanten Parameter untersucht werden müssen, um eine Vergleichbarkeit in Bezug auf die Entstehung eines HWS-Schleudertraumas zu erzielen?

Nach derzeitigem Kenntnisstand wird die Hypothese von Aldman [1] für die Entstehung einer HWS-Verletzung diskutiert. Nach dieser Annahme gibt es innerhalb der ersten 150 ms eine Scherbewegung zwischen Oberkörper und Kopf (S-Shape), bei der die höchsten Drücke im Spinalkanal (Rückenmark) auftreten. Die Druckspitzen sind nach dieser Hypothese verletzungskausal für leichte Halsmuskel- bzw. Gewebeverletzungen (siehe hierzu auch Abschnitt 3: Erklärungsansatz und Kenntnisstand).

Damit sind neben der Bewegungskinematik dann die Beschleunigungssignale (Kopf-, Brust-, und Fahrgastzellensignal) und die daraus resultierende Geschwindigkeitsänderung als die Faktoren zu benennen, mit denen sich die Insassenbelastung bei einer Fahrzeugkollision charakterisieren lässt. Ein typisches Beschleunigungssignal einer Heckkollision zeigt **Bild 1**.

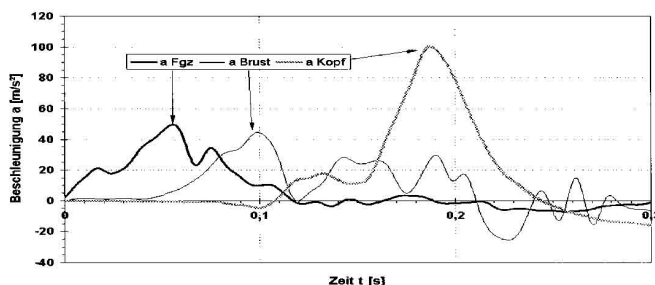


Bild 1 Typisches Beschleunigungssignal einer Pkw-Pkw-Kollision

Es zeigt sich, dass zunächst die Fahrgastzelle und nach einem Zeitverzug von 0,04 bis 0,05 s die Brust beschleunigt wird. Weitere 0,05 bis 0,06 s später kommt es zu einer ersten Beschleunigung des Kopfes. Der gemessene Zeitversatz bei acht weiteren Kollisionskonstellationen findet sich in [2] wieder. Dass die Beschleunigungsspitze des Kopfes nahezu doppelt so groß ist wie die der Fahrgastzellen- oder Brustbeschleunigungen, kann durch den Anprall der Kopfstütze am Kopf erklärt werden.

Nach der Diskussion der ersten Versuchsergebnisse kristallisierte sich eine Versuchskonstellation heraus, bei der eine große Übereinstimmung der interessierenden Parameter zu vermuten war: Stuhl-Tisch-Kollisionen. Bereits an dieser Stelle sei darauf verwiesen, dass sich die Autoren bewusst sind, dass es sich bei dieser Versuchskonstellation um keine klassische Alltagsbelastung handelt. Hierbei geht es vielmehr um eine Beanspruchung, die man auf den ersten Blick am ehesten mit einer Pkw-Pkw-Heckkollision vergleichen kann.

## 2 Stuhl-Tisch-Kollisionen

### 2.1 Versuchsaufbau

Bei den hier untersuchten Stuhl-Tisch-Kollisionen wurde ein auf einem Bürostuhl sitzender Proband rückwärts gegen einen Tisch geschoben. Einen guten Eindruck vom Bewegungsablauf des Probanden vermittelt die **Bildreihe 2**. Die erzielten Geschwindigkeitsänderungen aller Versuche lagen zwischen 5 und 8 km/h.

### 2.2 Versuchsaufwertung

Anhand der Bildsequenz ließ sich eine hohe Affinität zwischen den



Bildreihe 2 Bewegungsmuster bei Stuhl-Tisch-Kollision

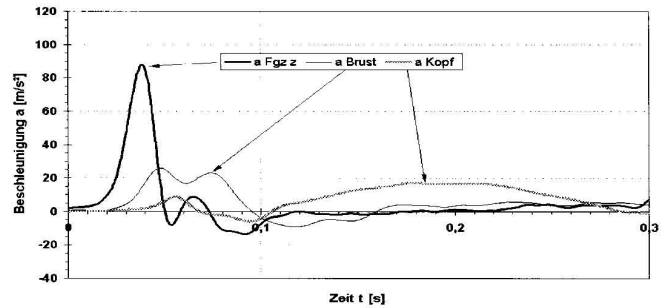


Bild 3 Typisches Beschleunigungssignal einer Stuhl-Tisch-Kollision

Bewegungsabläufen der Probanden bei Auffahrkollisionen [3] und der Bewegungskinematik von Probanden bei Stuhl-Tisch-Kollisionen feststellen. Neben den sehr ähnlichen Bewegungsmustern war im Weiteren vor allem der Verlauf der Beschleunigungssignale und die zeitliche Zuordnung von Interesse.

Das bei einer Stuhl-Tisch-Kollision auftretende Beschleunigungssignal gibt das **Bild 3** wieder.

Neben einer sehr kurzen (0,04 s) aber heftigen Krafteinleitung in den Stuhl (siehe hierzu auch das Fahrgastzellensignal) folgt unter minimalem Zeitverzug (maximal 0,005 bis 0,008 s) direkt eine Brust- bzw. Kopfbeschleunigung. **Ein klassischer Zeitverzug, so wie er bei einer Pkw-Pkw-Kollision zu finden ist, liegt nicht vor.** Im Weiteren sticht der unterschiedliche Verlauf der Kurven hervor. Auf Grund der fehlenden Elastizitäten beim Stuhl-Tisch-Kontakt entsteht bei dieser „Alltagsbelastung“ nur eine sehr kurze, aber vom Maximalausschlag hohe Belastung. Durch Stoßfängersysteme und weitere Bauteilelastizitäten findet man bei einer Auffahrkollision hingegen ausgedehnte Kollisionsdauern von rund 0,1 s.

Der deutliche Unterschied bei der Kopfbeschleunigung (vgl. hierzu Bild 3 mit Bild 1) lässt sich damit erklären, dass es bei einer typischen Fahrzeugkollision (bei ausreichender Intensität) auch einen Anprall der Kopfstütze am Kopf gibt. Dieser Anprall erzeugt die charakteristische Beschleunigungsspitze, während die Kopfbeschleunigung bei einer Stuhl-Tisch-Kollision auf einem sehr geringen Niveau ausläuft. Eine gewisse Vergleichbarkeit bieten lediglich die Verläufe der Brustsignale.

### 2.3 Modifikation des Versuchsaufbaus

Um Erklärungsmöglichkeiten für die stark differierenden Verläufe zu finden, sind verschiedene Versuchsreihen durchgeführt worden.

Zunächst wurde die Krafteinleitung in den Stuhl verändert. Während bei der ersten Konstellation der Anstoßimpuls noch in den oberen Lehnbereich des Stuhles eingeleitet wurde, war bei den nachfolgenden Anstößen der Krafteinleitungspunkt nach unten verlegt worden. Im Weiteren wurden noch die Auswirkungen einer variierten Stuhlgeometrie und veränderter Stuhlelastizitäten überprüft. Als Fazit lässt sich hier formulieren, dass bis auf geringe Merkmalsänderungen immer sehr ähnliche Beschleunigungsverläufe erzeugt wurden.

Um Erkenntnisse darüber zu gewinnen, inwieweit die individuelle Konstitution der Halswirbelsäule einen Einfluss auf das resultierende Beschleunigungssignal nehmen könnte, wurde (mit derselben Versuchsperson) ein Pkw-Barrieren-Versuch (ohne Kopfstütze) durchgeführt. Damit sollte ausgeschlossen werden, dass die differierenden Beschleunigungsverläufe der Stuhl-Tisch-Versuche im Vergleich zu den Pkw-Pkw-Kollisionen durch die individuelle Eigenart der Halswirbelsäule des Probanden hervorgerufen wurde. An allen Versuchsreihen nahm immer die gleiche Testperson teil. Die resultierende Geschwindigkeitsänderung lag bei 7,8 km/h und damit auf einem vergleichbaren Niveau, wie bei den Stuhl-Tisch-Kollisionen (Geschwindigkeitsänderungen zwischen 5 und 8 km/h).

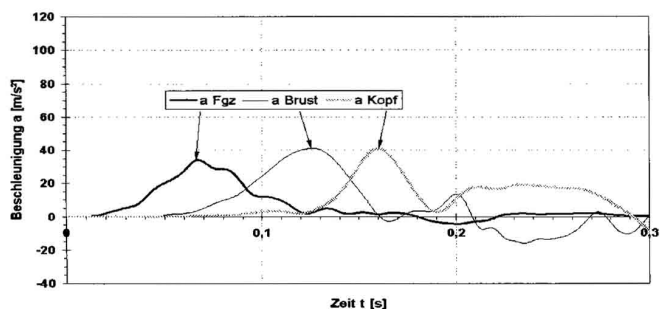


Bild 4 Beschleunigungsverlauf Pkw-Barrieren-Anprall ( $\Delta v = 6,6$  km/h)

Der Beschleunigungsverlauf bei diesem Pkw-Barrierenanprall zeigt **Bild 4**.

Auf Grund des nahezu identischen Zeitverlaufes (im Vergleich zu einer Pkw-Pkw-Kollision und anderen Probanden) lässt sich aufzeigen, dass größere Abweichungen durch die individuelle Form der Halswirbelsäule des Probanden bei den Stuhl-Tisch-Kollisionen ausgeschlossen werden konnten.

Ein weiterer Aspekt ergab sich aus der Aussage des Probanden, der nach dem Pkw-Crash-Test dezidiert darauf hinwies, dass dieser Kollisionstyp wesentlich unangenehmer gewesen sei als die vorherige Stuhl-Tisch-Kollision. Die Belastungen waren – nach seinem subjektiven Empfinden – nicht miteinander vergleichbar. Nach seiner Beurteilung galt dieser Sachverhalt auch für die anderen alltäglichen Belastungsarten.

### 3 Erklärungsansatz und Kenntnisstand

Einen möglichen Erklärungsansatz dafür, dass die Belastung der Pkw-Barrieren-Kollision im Vergleich zu einer Stuhl-Tisch-Kollision (bei gleicher Geschwindigkeitsänderung) deutlich unangenehmer empfunden wurde (nach subjektiver Beurteilung des Teilnehmers), liefert möglicherweise die Hypothese von Aldman [1]. Auf dieser Annahme basiert auch die Bestimmung des NIC-Beurteilungsmerkmals (Neck Injury Criterion) [4, 5, 6].

Das Kriterium verknüpft in Form einer mathematischen Gleichung die Relativgeschwindigkeit und Relativbeschleunigung zwischen dem 1. Halswirbel (C1) und dem 1. Brustwirbel (T1):

$$NIC(t) = a_{rel}(t) \cdot 0,2 + (v_{rel}(t))^2$$

Einbezogen wird dabei der höchste Wert innerhalb der ersten 150 ms (0,15 s), da erst nach diesem Zeitraum ein Anprall der Kopfstütze am Kopf zu erwarten ist. Für diese Phase liegt eine Scherung zwischen Oberkörper und Kopf vor (S-Shape), bei der die höchsten Drücke im Spinalkanal (Rückenmark) auftreten. Die Druckspitzen sind nach der Hypothese von Aldman [3] verletzungskausal für leichte Halsmuskel- bzw. Gewebeerletzungen.

Der fehlende Zeitverzug zwischen Brust- und Kopfsignal beim typischen Signalverlauf einer Stuhl-Tisch-Kollision (im Vergleich zur Pkw-Pkw-Kollision) ist offensichtlich darauf zurückzuführen, dass es nicht zur Ausbildung einer ausgeprägten Relativbewegung und damit zu größeren Druckspitzen im Spinalkanal kommt. Somit sind die Belastungen nicht vergleichbar.

Dies zeigen auch die berechneten NIC-Werte: Für den Pkw-Barrieren-Anstoß konnte ein Maximalwert von  $9,1 \text{ m}^2/\text{s}^2$  ( $\Delta v = 6,6$  km/h) berechnet werden, während die maximalen NIC-Werte der Stuhl-Tisch-Kollisionen in einer Bandbreite zwischen  $5,0$  bis  $5,4 \text{ m}^2/\text{s}^2$  (s.a. **Bild 5**) lagen. Die Geschwindigkeitsänderungen dieser Stuhl-Tisch-Versuche waren in gleicher Höhe zwischen  $6$  bis  $7$  km/h einzugrenzen. Anzumerken ist noch, dass bei der Berechnung des

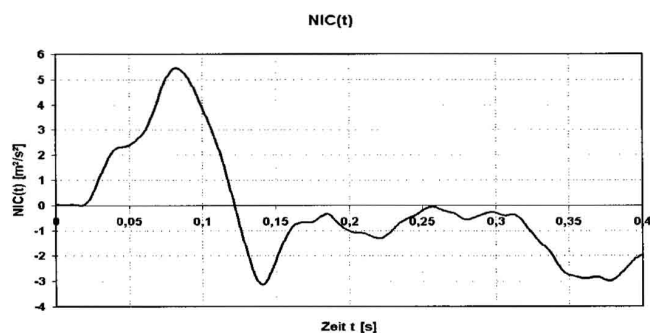


Bild 5 Verlauf NIC-Wert bei Stuhl-Tisch-Kollision ( $\Delta v = 6,6$  km/h)

NIC-Werts die Beschleunigungen lediglich eindimensional erfasst wurden, was nach [7] jedoch zu keinen signifikanten Änderungen führt.

### 4 Fazit

Das Ziel dieser Versuchsreihen war, zu analysieren, ob ein Vergleich von Alltagsbelastungen mit einer Pkw-Pkw-Heck-Kollision möglich ist. Auf Grund der differierenden Bewegungsmuster lassen sich Belastungsarten wie Sprünge oder Rempeler ausschließen. Eine hohe Affinität der Bewegungsmuster bieten hingegen Stuhl-Tisch-Kollisionen.

Während die Bewegungssequenzen der Stuhl-Tisch-Kollision noch einen nahezu identischen Ablauf zu dem einer Auffahrkollision suggerieren, weisen bei den Beschleunigungssignalen lediglich die Brustverläufe noch eine gewisse Ähnlichkeit auf. Bei einem Stuhl-Tisch-Anstoß liegt ein sehr kurzer, aber von der Intensität her, sehr großer Beschleunigungspegel vor. Im Gegensatz hierzu, ist während einer Heckkollision ein zeitlich ausgedehnteres Signal mit geringerer Amplitude zu erkennen.

Den signifikantesten Unterschied birgt der zeitliche Verlauf der einzelnen Signale. Bei Stuhl-Tisch-Kollisionen ist nahezu kein Zeitverzug zwischen den Einzelverläufen feststellbar, während bei normalen Heck-Kollisionen Relativabstände zwischen Brust- und Kopfbewegung von  $0,04$  s zu messen sind.

Ein wichtiger Hinweis ist auch durch das subjektive Empfinden des Probanden (der sowohl für alle alltäglichen Belastungsvorgänge wie auch für die Pkw-Barrieren-Kollision zur Verfügung stand) gesichert. Der dezidierte Hinweis darauf, dass eine Vergleichbarkeit aus seiner Sicht nicht gegeben war, unterstreicht die Schwierigkeit, Alltagsbelastungen mit einer Pkw-Pkw-Kollision vergleichen zu können.

Einen Erklärungsansatz bietet möglicherweise die Hypothese von Aldman, nach der die Relativbewegung zwischen dem 1. Brustwirbel und dem 1. Halswirbel (Scherbewegung zwischen Rumpf und Kopf: S-Shape) zu Druckspitzen im Spinalkanal (Rückenmark) führt. Das Fehlen des zeitlichen Versatzes zwischen dem Brust- und Kopfbeschleunigungssignal birgt eine mögliche Erklärung für die subjektiv deutlich unangenehmer empfundene Pkw-Barrieren-Kollision (bei gleicher Geschwindigkeitsänderung) im Vergleich zur Stuhl-Tisch-Kollision. Diesen Sachverhalt spiegeln auch die berechneten NIC-Werte wider: während für den Pkw-Barrieren-Anprall ein Maximalwert von  $9,1 \text{ m}^2/\text{s}^2$  gemessen werden konnte, lag das Niveau für die Stuhl-Tisch-Kollisionen um  $5 \text{ m}^2/\text{s}^2$ .

**Die Untersuchung belegt damit, dass ein Vergleich von üblicherweise angeführten Alltagsbelastungen (wie z.B. Rempeln und Sprüngen) und der aus einer Auffahrkollision resultierenden Beanspruchung nur anhand einer Beschleunigungshöhe und ohne genauere Erkenntnisse der Relativzeiten zwischen den Einzelsignalen, sowie ohne eine genauere Analyse des Bewegungsablaufes nicht zulässig ist.**

Vorsorglich soll abschließend noch darauf hingewiesen werden, dass eine Vergleichbarkeit der Belastungen aus Autoskooter-Ver suchen durchaus mit der aus Pkw-Pkw-Kollisionen möglich ist. Neben der sehr großen Ähnlichkeit der Fahrgastzellensignale findet sich bei den Skooter-Kollisionen auch der Zeitverzug zwischen einsetzender Fahrgastzellen- und Brust- und Kopfbeschleunigung wieder.

#### Literaturhinweis

- [1] Aldman, B. (1986): *An Analytical Approach to the Impact Biomechanics of Head and Neck*. Proc. 30<sup>th</sup> Annual AAAM Conf., pp. 439 - 454, LC 64-1965
- [2] Meyer, S.; Hugemann, W.; Weber, M.: *Zur Belastung der Halswirbelsäule durch Auffahrunfälle Heft 1 (1994)*
- [3] Kalthoff, W.; Meyer, S.; Becke, M.: *Die Insassenbewegung bei leichten Pkw-Heckanstoßen*. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik Heft 7/8 (2001)
- [4] Boström O.; Svensson, M. Y.; Aldman, B.; Hansson, H. A.; Håland, Y.; Lövsund, P.; Seeman, T.; Suneson, A.; Säljö, A.; Örtengren T. (1996): *A new neck injury criterion candidate-based on injury findings in the cervical spinal ganglia after experimental neck extension trauma*. Proc. Int. Ircobi Conf. On the Biomechanics of Impact, Dublin, Ireland
- [5] Boström, O.; Krafft, M.; Aldman, B.; Eichberger, A.; Fredriksson, R.; Håland, Y.; Lövsund, P.; Steffan, H.; Sevnsson, M. Y.; Tingvall, C. (1997): *Prediction of Neck Injuries in Rear Impacts Based on Accident Data and Simulations*. Proc. Int. Ircobi Conf. On the Biomechanics of Impact Hannover, Germany, pp. 251 - 264
- [6] Eichberger, A.; Geigl, B. C.; Moser, A.; Fachbach, B.; Steffan, H. W.; Langwieder, K.: *Comparison of different car seats regarding head-neck kinematics of volunteers during rear-end impact (1996)*. Proc. Int. Ircobi Conf. on the Biomechanics of Impact. Dublin, Ireland
- [7] Eichberger, A.; Steffan, H.; Geigl, B. C.; Svensson, M.; Boström, O.; Leinzinger, P. E.; Darok, M.: *Evaluation of the applicability of the Neck Injury Criterion (NIC) in rear end impacts on the basis of human subject tests (1998)*. Proc. Int. Ircobi Conference Göteborg, Sweden ■



**www.crashtest-service.com**  
Versuchsergebnisse\_online\_kompetent\_vielseitig