

ZVR

[Zeitschrift für Verkehrsrecht]

Schwerpunkt

Reiserecht

- | | | |
|-----------------|------------|---|
| Beiträge | 316 | Wiener Liste – Update 2008
Eike Lindinger |
| | 322 | Busreise – Beförderungsvertrag – Reiseveranstaltung oder Pauschalreise
Eike Lindinger |
| | 326 | Telefonieren am Steuer: lediglich ein Kavaliersdelikt?
Eduard Christian Schöpfer |
| | 331 | Das Schleudertrauma der Halswirbelsäule (HWS)
Wolfgang Huber |

Rechtsprechung

- | | |
|------------|--|
| 341 | Ersatzansprüche nach Airline-Verspätung |
| 343 | Anwendbarkeit österr Rechts bei Busunfall |
| 349 | Schadenersatzanspruch bei Täuschung eines schlechtgläubigen Gebrauchtwagenhändlers |

Judikaturübersicht Verwaltung

- | | |
|----------------|--|
| 362 | VwGH |
| KfV 366 | Tiefenanalyse tödlicher Verkehrsunfälle
Christian Stefan |

Juli/August 2008

07/08

MANZ 

Redaktion
Karl-Heinz Danzl
Christian Huber
Georg Kathrein
Gerhard Pürstl

ISSN 0044-3662

Das Schleudertrauma der Halswirbelsäule (HWS)

Fahrzeug-Insassenbelastung¹⁾

Im folgenden Beitrag unternimmt der Autor eine Eingrenzung der Objektivierung der Verletzungswahrscheinlichkeit der Halswirbelsäule. Er legt Berechnungen der Insassenbelastung aus mathematischer, mechanischer und biomechanischer Sicht vor und berücksichtigt dabei die Ergebnisse aus realen Crashversuchen (heutiger Wissenschaftsstand für die rechnerische Ermittlung der Bewertungskriterien). Der Beitrag liefert dazu eine Betrachtung aus technischer Sicht.

Von Wolfgang Huber

ZVR 2008/148

A. Einleitung

Bei Verkehrsunfällen werden sehr oft Schleudertrauma-Verletzungen von Personen, die im aufgefahrenen Fahrzeug, also im gestoßenen Fahrzeug, gesessen sind, behauptet.

Solche Verletzungen werden aber auch von im auffahrenden Fahrzeug Sitzenden angegeben.

Kommt es zu einem Gerichtsverfahren, werden solche Behauptungen häufig dadurch überprüft, dass durch den verkehrstechnischen Sachverständigen ein Gutachten über die Verletzungswahrscheinlichkeit bzw über die biomechanischen Belastungswerte des Insassen erstattet wird. Anschließend wird ein medizinisches Gutachten eingeholt, ob bei den vom verkehrstechnischen Sachverständigen errechneten Werten auch tatsächlich die behaupteten Verletzungen aufgetreten sein können oder nicht.

Auf Grund meiner Untersuchungen und Berechnungen, des Vergleichs der Ergebnisse meines Computerrechnungsprogramms mit realen Crashes, mit realen Crashkurven und Schadensbildern laut Literaturangabe ist es nunmehr möglich, die mittlere Karossenbelastung (Beschleunigung, Verzögerung), somit also die Insassenbelastung, mit sehr einfachen mathematischen Formeln zu ermitteln.

Die Grundüberlegung war, aus dem Deformationsbild der beiden Stoßpartner über die maximale bleibende Deformationstiefe, über die maximale dynamische Deformationstiefe oder über eine Kombination (bleibend mit dynamisch) für beide Partner das $\Delta v_{\text{Kompression}}$ zu ermitteln, die Energiebilanz bzw die Verformungsarbeitsberechnung durchzuführen, dann über die mittlere relative Kollisionsgeschwindigkeit in der Kompressionsphase die Kompressionszeit zu ermitteln und daraus über die relative Wegstrecke in der Kompressionsphase zusammen mit der Kompressionszeit die mittlere Karossenbeschleunigung bzw mittlere Karossenverzögerung zu berechnen.

Somit ist es nunmehr möglich, über die Berechnungsart der Berechnung der mittleren Karossenbeschleunigung in der Kompressionsphase (unter Ansatz der errechneten mittleren relativen Kollisionsgeschwindigkeit in der Kompressionsphase und unter Berücksichtigung der objektiv errechneten Kompressionszeit) die Insassenbelastung rechnerisch zu erfassen und somit eine objektive rechnerische Beurteilungsschranke zu finden.

B. Bewegungsablauf und Verletzungsentstehung der HWS (Halswirbelsäule) – das Schleudertrauma der HWS

1. Theoretische Überlegung bei „Sitz ohne Kopfstütze“ und Front-/Heckkollision von Kfz bei annähernd linearem Vollstoß

Bei einem Auffahrunfall erfährt das gerammte Fahrzeug eine Beschleunigung. Durch den Schub der Rückenlehne des Sitzes wird der Körperrumpf des Kfz-Insassen in der ersten Phase ebenfalls beschleunigt, während der frei auf der HWS ruhende Kopf in der ersten Phase zurückbleibt (Massenträgheit).

Zuerst kommt es zu einer „Scherung“ (Kopfrotation nach hinten), dann zu einer Extension (Überdehnung) in der HWS. Das heißt, es kommt zu einer Scher- und Biegebelastung der HWS.

In der zweiten Phase kommt es zu einer Kopfbewegung nach vorne (Flexion).

Nach dem Unfallmechanismus spricht man von der Schleuder-Verletzung der HWS durch das Merkmal der Extension mit anschließender Flexion.

2. Definition des Schleudertraumas der HWS

Die Definition laut der Broschüre der „Gesellschaft der Gutachterärzte Österreichs – Das sog Schleudertrauma der Halswirbelsäule (Versuch einer Objektivierung)²⁾, welche dort als „Neuere Definition“ bezeichnet wird, lautet:

„Man versteht ziemlich allgemein unter dem Begriff Schleudertrauma der HWS eine jede stoßartige Beschleunigung oder Abbremsung des Körperrumpfes in beliebiger Richtung, welche Bewegung infolge des Massenträgheitsprinzips zu einer gegenläufigen Exkursion des frei getragenen Kopfes führt. Diese biomechanischen Phänomene lassen sich auch auf Benützer von einspurigen Fahrzeugen und auf Fußgänger, ja sogar auf stehende Personen übertragen, wenn der Rumpf plötzlich gegenüber dem frei balancierten Kopf eine bruske Acceleration oder Deceleration erfährt.

Meist kommt es aber bei Fußgängern und Benützern einspuriger Fahrzeuge zu einem zusätzlichen Kopfaufprall. →

¹⁾ Der gegenständliche Artikel ist ein Auszug aus meiner Volltextbroschüre (Zusammenfassung) meines eigenen Berichts „Das Schleudertrauma der Halswirbelsäule (HWS)“.

²⁾ Forschung und Praxis, Heft 30/1987.

Zusätzlich gibt es noch den ‚Mischunfall‘, wenn sich Schleuder- und Abknickverletzung kombinieren (in der ersten Phase ein Schleudertrauma der HWS und in der zweiten Phase, beim Anprall des Kopfes im Wageninneren, ein Abknicktrauma der HWS).

Weiters kann es noch zu einer HWS-Stauchung kommen.“



Abbildung 1: Zeigt die richtige Einstellung der Kopfstütze nach dem neuesten Wissenschaftsstand. Die Oberbegrenzung des Kopfes befindet sich auf Höhe der oberen Kopfstützenbegrenzung. Der Abstand des Kopfes zur Kopfstütze ist sehr klein. Bild: Zeitschrift „Auto Zeitung – Heft 26/2004, Bericht ‚Kopfstützentest‘“. Uwe Schmidt-Kasperek/Holger Ippen.

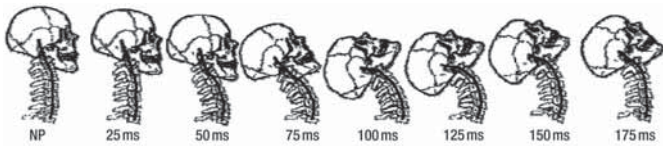


Abbildung 2: Zeigt die zeitliche schematische Darstellung des Bewegungsablaufs des Kopfes und der HWS bei der Entstehung einer Beschleunigungsverletzung bei Heckkollision. Bild: Aus der Dissertation zur Erlangung des Doktorats der Medizin der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm. „Einfluss der Beschleunigungscharakteristik auf das Verletzungsrisiko bei der HWS-Beschleunigungsverletzung“. Von Kai Guido Fruth aus Stuttgart, Ulm 2004. Bild nach Grauer et al, 1997 [10] – Seite 64 der Dissertation.

C. Berechnungsgrundlagen

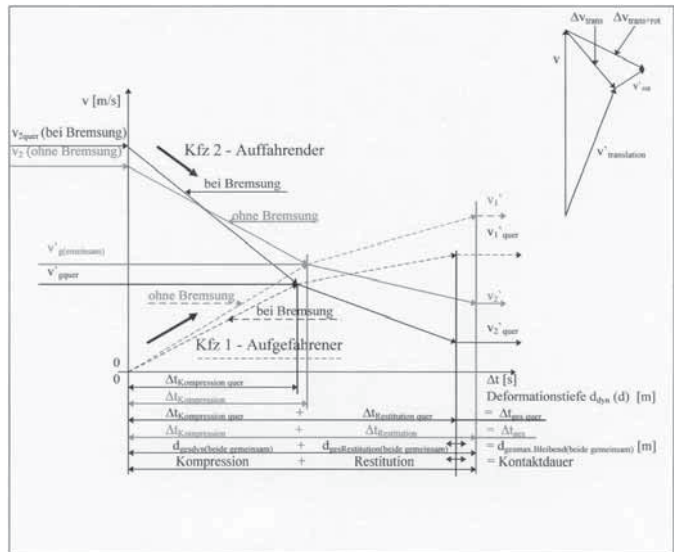
Sehr hilfreich sind hier die Geschwindigkeits-, Weg-, Zeit- und Beschleunigungskurven (bzw Verzögerungskurven) aus tatsächlichen Crashes, welche ich dankenswerterweise von EurotaxGlass’ (stammend von den Reparaturcrashversuche des Allianz-Zentrum für Technik – München-Ismaning), vom Volkswagen-Werk und vom Mercedes-Benz-Werk erhalten konnte und ausgewertet hat.

Weiters hat er Untersuchungen des Allianz-Zentrums München, die in der Broschüre „Gesellschaft der Gutachterärzte Österreichs“ veröffentlicht wurden, weiter ausgewertet.

Diese Untersuchungen haben ergeben, dass es sehr wohl Grenzen gibt, bis zu welcher Belastung bei gesunder Halswirbelsäule nicht mit einem HWS-Schleudertrauma zu rechnen ist und bis zu welcher Belastung überhaupt ein HWS-Schleudertrauma auszuschließen ist.

Die Berechnung bzw Überlegung geht dahin, dass man den Geschwindigkeitsänderungswert in der Kompressionsphase der beiden Fahrzeuge im Zusammenhang mit einer vorgenommenen Impulsrechnung (= Stoßrechnung) in Übereinstimmung mit den Schadensbildern erhält, uzw über den Zusammenhang der Berechnung mit der Karosserie-Steifigkeitszahl (oder Kraftzahl) zusammen mit der maximalen bleibenden Deformationstiefe (oder der maximalen dynamischen Deformationstiefe bei Berücksichtigung des k-Faktors), und dass man das Ergebnis mit einer Energieänderungsberechnung bzw Verformungsarbeitsberechnung vergleicht (für die Kompressionsphase).

In Abbildung 3 ist eine Grafik zu sehen (rechts oben), welche sich aus dem Berechnungssystem, Stoßantriebsbalance-Diagramm, System Prof. Slibar, ergibt.



- Abbildung 3: Es ergibt sich an Geschwindigkeit:
- v_2 Kollisionsgeschwindigkeit auffahrendes Kfz (ohne Bremsung),
 - $v_2'_{quer}$ Kollisionsgeschwindigkeit auffahrendes Kfz (bei Bremsung),
 - $v'g$ (gemeinsam) Geschwindigkeit bei maximaler Zusammendrückung (bei ungebremst),
 - $v'g_{quer}$ (gemeinsam) Geschwindigkeit bei maximaler Zusammendrückung (bei Bremsung),
 - v_1' bzw $v_1'_{quer}$ Kontaktlösegeschwindigkeit (ohne bzw bei Bremsung),
 - v_2' bzw $v_2'_{quer}$ Kontaktlösegeschwindigkeit (ohne bzw bei Bremsung).

Zu $\Delta v_{translation}$ wird $\Delta v_{rotation}$ oder $v'_{rotation}$ grafisch dazugesetzt, was dann $\Delta v_{translation+rotation}$ ergibt. Bei einem k-Faktor größer 0,00 ist hier $\Delta v_{Restitution}$ dabei. Das heißt, für die Ermittlung der Insassenbelastung ist eine Aufteilung in Kompression und Restitution vorzunehmen. Der Wert für die Kompression ist dann für die Insassenbelastung heranzuziehen.

Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich bei einer Rotation der eine oder andere Wert etwas verändert. Es sind hier gewisse Rundungen vorzunehmen.

Grundsätzlich ist nur die Kompressionsphase von Bedeutung. Die Restitutionsphase ergibt einen g-Wert, der im Verhältnis zur Kompressionsphase kleiner ist als in dieser Kompressionsphase (im %-Satz des k-Faktors), sodass er vernachlässigt werden kann.

Um die mittlere Karosseriebeschleunigung oder mittlere Karosserieverzögerung in der Kompressionsphase ermitteln zu können, ist vorher die Berechnung der Deformationsarbeit der beiden Fahrzeuge erforderlich. Über diese Deformationsarbeit wird die relative Kollisionsgeschwindigkeit zwischen diesen beiden Fahrzeugen errechnet.

1. Berechnung der Deformationsarbeit an Fahrzeugen³⁾

a) Allgemein

Bei Kollisionen von Fahrzeugen kommt es zu Energieänderungen aus Translation und eventuell aus Rotation, zu Verformungen und zu Schadensbildern, allenfalls noch zu einer Restenergie (zB Fahrzeug gerät auf Böschung hinauf – Hubarbeit).

Aus der Energiebetrachtung ergibt sich, dass die Gesamtenergie der beiden Unfallpartner in die Kollision hinein, also bei Kollisionsbeginn, gleich zu sein hat der Gesamtenergie aus der Kollision heraus einschließlich der Deformationsbilder der beiden Fahrzeuge, dh einschließlich der bleibenden Deformationsarbeit, die an beiden Fahrzeugen geleistet wurde.

b) Technische Grundlagen:

1. a) Impulsberechnung (Stoßrechnung)
- b) Energiebetrachtung
- c) Drallberechnung
2. Aufgliederung der Kollision
3. k-Faktor (Elastizitätsfaktor, Elastizitätszahl, Stoßzahl, Stoßziffer)
4. Deformationsarbeit
 - a) Crash-Institutionen
 - b) Deformationskennlinie
 - c) Berechnung der Deformationsarbeit

c) Theoretische Abhandlungen

1. Mechanik

aa) Impulsatz

Bei Vollstoß – exakt linear – ohne Rotation:

Das Zeitintegral über der Kraft F heißt „Stoßantrieb S“. S wirkt auf beide stoßenden Körper mit gleicher Größe, in der gleichen Wirkungslinie, aber mit entgegengesetztem Richtungssinn (bei einem ebenen Stoß).

Vektorielle Impulsgleichung bei einem ebenen Stoß:

$p \rightarrow p' \triangleq S$ (alles vektoriell gesehen).

$$\begin{array}{l}
 \leftarrow v \text{ (Geschwindigkeit) [m/s]} \\
 \begin{array}{|c|c|}
 \hline
 \text{1-Gestoßener} & \text{2-Stoßender} \\
 \hline
 \end{array} \\
 \begin{array}{ccc}
 m_1 & m_2 & \\
 & m \dots \text{ Gesamtmasse} & [\text{kg}] \\
 & k \dots \text{ k-Faktor} & \\
 v_1' = v_1 + \frac{(1+k) \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (v_2 - v_1) & & [\text{m/s}] \\
 & \text{-----} \downarrow \text{-----} & \\
 & = v_{\text{Kollisionrelativ}} & \\
 & \text{-----} \downarrow \text{-----} & \\
 & = \Delta v_{1(= \text{gesamt})} & \\
 \Delta v_{1(= \text{gesamt})} = \frac{(1+k) \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_{\text{Kollisionrelativ}} & & [\text{m/s}] \\
 v_2' = v_2 - \frac{(1+k) \cdot m_1}{m_1 + m_2} \cdot (v_2 - v_1) & & [\text{m/s}] \\
 & \text{-----} \downarrow \text{-----} & \\
 & = v_{\text{Kollisionrelativ}} & \\
 & \text{-----} \downarrow \text{-----} & \\
 & = \Delta v_{2(= \text{gesamt})} & \\
 \Delta v_{2(= \text{gesamt})} = \frac{(1+k) \cdot m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_{\text{Kollisionrelativ}} & & [\text{m/s}]
 \end{array}
 \end{array}$$

bb) Energiebetrachtung

$$E_{T1} + E_{T2} + E_{R1} + E_{R2} = E_{T1}' + E_{T2}' + E_{R1}' + E_{R2}' + W_{\text{Def1 Bleibend Quer quer}} + W_{\text{Def2 Bleibend Quer quer}} \text{ [Nm]}$$

Da die Energieänderung nicht zeitlos erfolgt, ist eine erweiterte Energiebetrachtung erforderlich:

$$E_{\text{ges}} = E'_{\text{ges}} \text{ (ohne WRäder \{Reifen\} in Kollisionsphase, bei E'Trans nicht dabei)} + (W_{\text{DefKompression ges incl. WFederKomprges}} - \text{dieses } W_{\text{Def incl. [} W_{\text{Reibung der Kfz aneinander bei stark schleifendem Stoß}} + W_{\text{Räder \{Reifen\} in Kollisionsphase}} + W_{\text{Wärme Kompression aus Deformation ges}} + W_{\text{Wärme aus Reibung der Kollisionspartner zueinander ges}} + W_{\text{diverses \{zB Reibungsarbeit am Baum, Hubarbeit\}}]) - (W_{\text{Def Resti ges incl. WFeder Resti ges}} + W_{\text{Wärme Resti aus Rückverformung ges}}) \text{ [Nm]}$$

cc) Drallsatz

$$S \cdot e = I_H \cdot \omega' \dots \dots \dots \text{ idealisiert – gilt nur, falls } e = \text{konstant}$$

Drall = S (Stoßantrieb) [Ns] · e (senkrechter Abstand zum Kfz-Schwerpunkt) [m] = I_H (Massenträgheitsmoment um die Hochachse) [kgm²] · ω' (Rotationsgeschwindigkeit – Winkelgeschwindigkeit) [s⁻¹]

$$E_R = \frac{I_H \cdot \omega'^2}{2} \text{ [Nm] } \dots \text{ Rotationsenergie}$$

2. Aufgliederung der Kollision

Die Kollision wird unterteilt in:

- Kompressionsphase,
- Restitutionsphase (falls der k-Faktor größer 0,00 ist; bei einem k-Faktor gleich 0,00 entfällt diese Phase),
- gesamte Kontaktphase.

Dies gilt bei Vollstoß ohne oder ohne wesentliche Rotation.

Dementsprechend ergibt sich an Zeit:

- Kompressionszeit,
- Restitutionszeit,
- gesamte Kontaktdauer.

An relativer Kontaktstrecke:

- d_{ges max bleibend} (bei k-Faktor gleich 0,00), Kompressionsphase = gesamte Kontaktphase
- d_{ges dynamisch} (bei k-Faktor größer 0,00), Kompressionsphase
- d_{ges Restitution} = d_{ges dynamisch} – d_{ges bleibend}, Restitutionsphase (nur, falls der k-Faktor größer 0,00 ist)

Diese Wegstrecken sind als relative Wegstrecken zu betrachten (genau genommen auf dieselbe Stelle bezogen).

Grundsätzlich ist weiters zu berücksichtigen:

Auf Grund des Pressvorgangs zur Formung eines Blechprofils werden im Werkstoff **innere Spannungen** hervorgerufen, die durch Formgebungen (Abrundungen, Sicken, Abkantungen) in mehr oder weniger großem Ausmaß beibehalten werden. Wenn nun der Teil einer Beanspruchung ausgesetzt wird, die diese inneren Spannungen übersteigt, versucht er, nach der Entlastung wieder in seine ursprüngliche Form zurückzukehren, zu **restituieren**, soweit nicht die Kräfte auf den Teil über die Elastizitätsgrenze hinaus eingewirkt haben.

Die Deformationskennlinie beschreibt das Verformungsverhalten und im weiteren Sinn auch die Energieaufnahme der getesteten Struktur.

Die Deformationskennlinie wird aber aus dem Crash gegen die starre, feststehende und undeformierbare Wand oder, in neuerer Zeit, gegen die deformierbare Barriere gewonnen.

Das heißt aber, dass bei all diesen Versuchen die Kompatibilität eines Kollisionspartners nicht berücksichtigt wird. Diese Kompatibilität ist bei Abschätzen des Verformungsaufwands

3) Pkw, City-Fahrzeug, Leichtfahrzeug, Lieferwagen, Groß-Lkw, Bus, Schienenfahrzeug, Elektro-Lok, Komponententest, deformierbare Barriere.

bzw Abschätzen der vorgelegenen Verformungsenergie (Verformungsarbeit, Deformationsarbeit) einzukalkulieren.

Weiters ist zu berücksichtigen, ob der eine Partner voll abge-senkt war oder nicht, ob Stoßfänger gegen Stoßfänger stößt, ob der Stoßfänger unterhalb des anderen Stoßfängers in den Karos-serieteil oder oberhalb des anderen Stoßfängers in den Karos-serieteil eintritt bzw umgekehrt.

Zumindest im Niedriggeschwindigkeits-Kollisionsbereich sind diese Umstände von großer Bedeutung.

3. k-Faktor (Elastizitätsfaktor, Elastizitätszahl, Stoßzahl)

Definitionen:

Stoßzahl, Stoßziffer, k-Faktor

$$k = \frac{v_1' - v_2'}{v_2 - v_1}$$

$$k = 1 - \frac{d}{d_{dyn}}$$

$k = 0,57 \cdot e^{-0,039v}$ [km/h] Formel lt Ohmae:

im Bereich $20 \text{ km/h} \leq v_{rel} \leq 70 \text{ km/h}$

k_0 -Faktor: $k_{0(vRestitution)} \leq \dots$ (ab 10. 4. 2000 – neu von mir ein-geführt)

$$k_0 = \frac{\text{delta}\Delta v_{Restitution}}{\text{delta}\Delta v_{(0=Kompression)}}$$

- d [m].....maximale bleibende Deformationstiefe
- $d_{dyn(amisch)}$ [m]..... maximale dynamische Deformationstiefe
- d_0 [m]..... fiktiv maximale bleibende Deformationstiefe – hinter der reinen (eigentlichen) sehr nachgiebigen, weichen (ganz geringe Steifigkeit) Schürze (zur neuen Definition $k_{0(\text{delta}\Delta v_{Restitution})}$) – ab 10. 4. 2000) – beim HUK(= AZT-)Test.

$$d_{max \text{ bleibend}} = d = d_{dyn} \cdot (1 - k) \text{ [m]}$$

$$d_0 = d_{dyn} \cdot (1 - k_{0(\text{delta}\Delta v_{Restitution})}) \text{ [m]}$$

$$d_{bleibend} = d_{dyn} - d_{Restitution} \text{ [m]}$$

Auf die Sinnhaftigkeit und die Definition des k-Faktors ist zu achten (neue Definition $k_{0(\text{delta}\Delta v_{Restitution})}$ und d_0 – ab 10. 4. 2000 – neu von mir eingeführt, da bei den reinen Front- und Heckschürzen des Kfz Probleme in der rechnerischen Erfassung vorhanden sind und erst nach Abbau der Schürze das Schadenausmaß dahinter sichtbar wird. Es lässt sich erst dann die Deformationsarbeit berechnen).

Man unterscheidet zwischen:

- elastisch (was an Deformation in der Restitutionsphase zu-rückkommt – Deformationstiefe wird kleiner gegenüber der maximalen dynamischen)
 $k = 1,000$ (maximal) bis $> 0,000$
 - vollelastisch
 $k = 1,000$
 - unelastisch
 - plastisch
 $k = 0,000$
 - vollplastisch
 $k = 0,000$
 - Kombination dieser beiden Faktoren – $k = 1,000$ bis $0,000$
- Das k-Faktor-Diagramm zeigt den k-Faktor (Stoßziffer k) in Ab-hängigkeit von der relativen Kollisionsgeschwindigkeit.

Zu beachten ist, dass es sich hier bei der Kollisionsgeschwin-digkeit nicht um die Geschwindigkeitsänderung $\text{delta}\Delta v_{(0=Kompres-sion)}$, sondern um die relative Kollisionsgeschwindigkeit handelt. Das $\text{delta}\Delta v_{(0=Kompression)}$ ist somit kleiner.

Es ist zu sehen, dass mit größer werdender relativer Auf-fahrgeschwindigkeit der k-Faktor von theoretisch 1,00 (bei ca 0 km/h) immer kleiner (fast 0,00) wird (ab ca 90 km/h und darüber). Weiters ist dem k-Faktor-Diagramm zu entnehmen, dass der k-Faktor einem größeren Toleranzbereich unterliegt.

4. Deformationsarbeit

aa) Crash-Institutionen

– Reparaturcrashversuche des Allianz-Zentrums für Technik (AZT) München-Ismaning für Front, Heck und Seite:

Reparaturcrashversuch des AZT München-Ismaning: Nissan Almera N16, Schadensbilder, a/t-Kurven (s Abbildung 4 + 5).

**Head-on collision/Frontaufprall/
Collision frontale/Urto anteriore**

Nissan Almera N16 (1075)

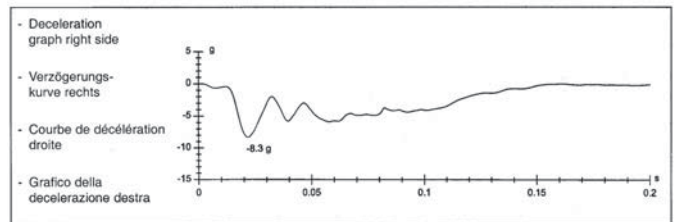
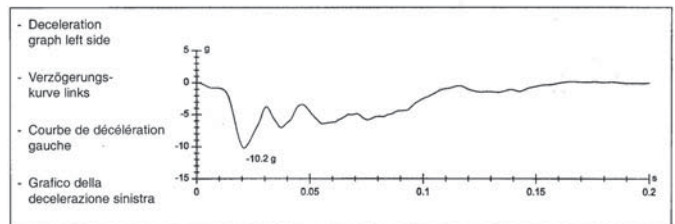


Abbildung 4: Verzögerungskurve dieses Crashtests über der Zeit, für die linke Seite und für die rechte Seite. Eine gewisse Rotation des Fahr-zeugs, bezogen auf dessen Hochachse, ist in der Messkurve enthalten.

Für Crashtestverfahren mit höherer Kollisionsgeschwindig-keit:

- The Highway Safety Group (USA)
- NCAP Offset Crash Tests Table
- Folksam (Schweden)
- EuroNCAP (Europa)
- ADAC
- IIHS (USA)
- NHTSA (USA – NCAP)
- NRMA (Australien – ANCAP)
- NASVA (alt – OSA) (Japan – JNCAP)
- C-NCAP (China)
- Hochgeschwindigkeit-Frontalkollision; Car-to-Car-Tests mit 50% Überdeckung; a/t-Versuchskurven, Schadensbilder; Off-set Frontal Impact Tests – Investigation of the test speed, compatibility and aggressivity of cars – REPORT: Crash test

programme 1997 – 98 – EuroNCAP – Brussels (AIT & FiA – 31 March 1998)

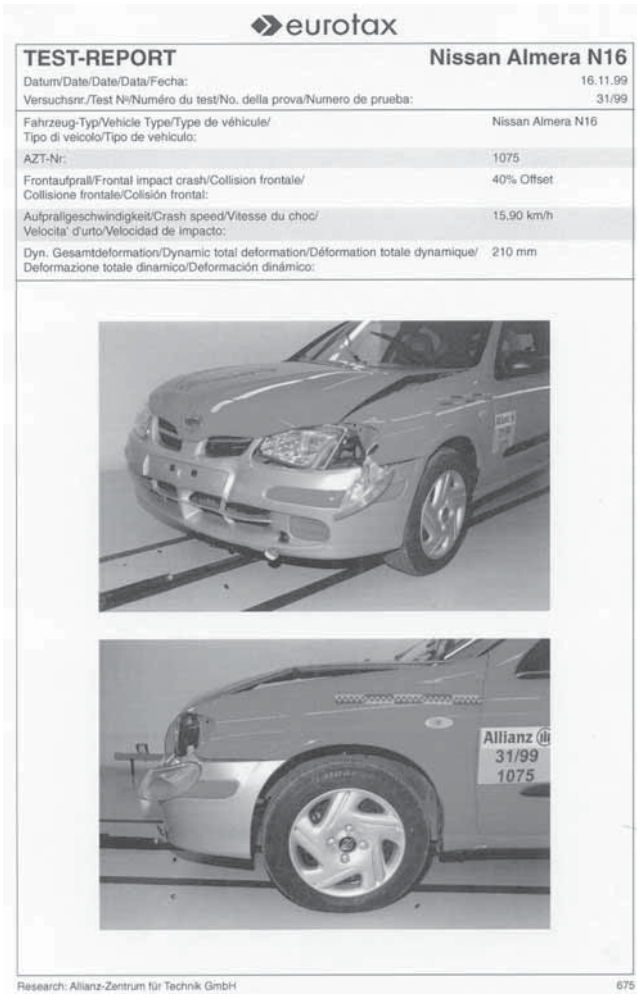


Abbildung 5: Schadensbild der linken Frontseite nach dem Offset-Crashtest mit 40% Überdeckung gegen die starre, feststehende, undeformierbare Wandbarriere.

bb) Deformationskennlinie:

a/t-Versuchskurve oder a/s-Versuchskurve siehe Abbildungen 4 und 6.

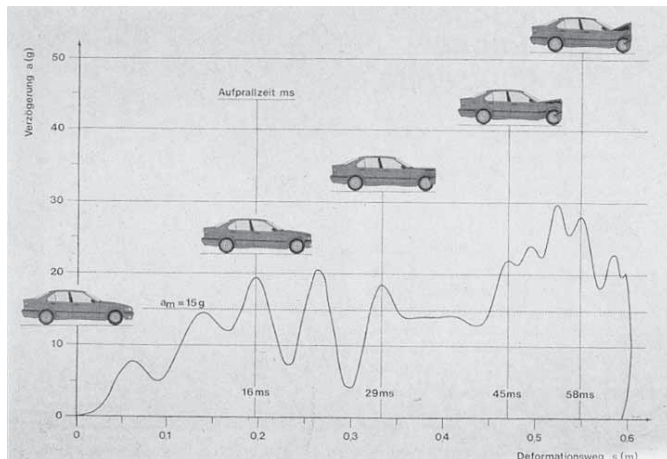


Abbildung 6: Dieses Bild gibt einen Wand-Crashversuch mit einem BMW wieder (es wird die Verzögerung über dem Deformationsweg dargestellt). Bild: ATZ 93/(1991) 4 – Der neue 3er BMW

cc) Berechnung der Deformationsarbeit

Definitionen der Steifigkeitszahl (C) und der Kraftzahl (F)

$$C \text{ [N/m]} = \frac{\text{Masse } m \text{ [kg]} \cdot \text{Geschwindigkeitsänderung } (\Delta v) \text{ [m/s]}^2}{\text{Deformationstiefe}^2 \text{ [m]}}$$

Grunddefinition der Steifigkeitszahl C

$$F \text{ [N]} = \frac{\text{Masse } m \text{ [kg]} \cdot \text{Geschwindigkeitsänderung } (\Delta v) \text{ [m/s]}^2}{2 \cdot \text{Deformationstiefe [m]}}$$

Grunddefinition der Kraftzahl F

Mit der C- und (oder) der F-Zahl wird das $\Delta v_{\text{Kompression}}$ des Kfz-Schwerpunkts errechnet (oder umgekehrter Berechnungsvorgang).

Bevor eine Generalisierung erfolgt, ist alles exakt mathematisch durchzurechnen.

Systemdarstellung

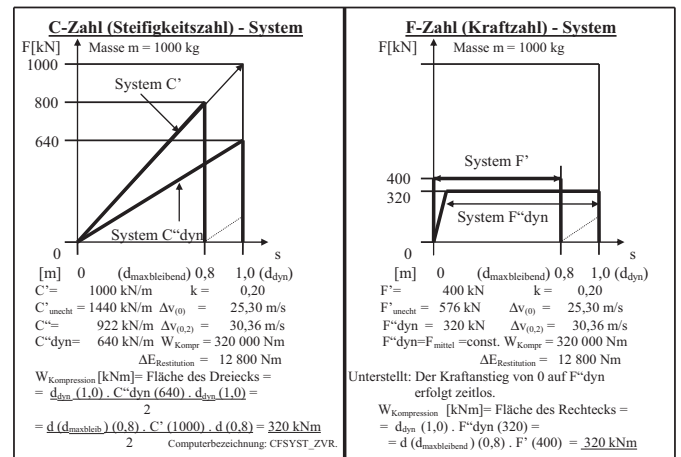


Abb 7a

Abb 7b

Abbildungen 7a und 7b

Die Abbildung 7 a stellt die Grundsatzüberlegung hinsichtlich C' und der Arbeit dar, wobei die Arbeit der Fläche dieses Dreiecks, (Höhe x Grundlinie)/2, entspricht.

Und zwar bei einem k-Faktor = 0,00 (hier gibt es nur die Kompressionsarbeit).

Die Grundlinie des Dreiecks stellt $d_{\text{max bleibend}}$ dar.

Das System C'dyn ist darauf abgestellt, dass der k-Faktor größer 0,00 ist. Dies bei gleicher Kompressionsarbeit. Diese Arbeit entspricht der Fläche des Dreiecks:

$$\frac{\text{Höhe} \times \text{Grundlinie}}{2} = \frac{(\text{Kraft} \times \text{Weg})}{2} \quad \frac{[\text{N} \times \text{m}]}{2} = \text{Nm}.$$

Die Senkrechte des Dreiecks stellt die Kraft dar.

Die Grundlinie des Dreiecks stellt $d_{\text{dynamisch}}$ dar.

Daraus folgt, dass C'dyn kleiner mit größer werdendem k-Faktor wird, weil $d_{\text{dynamisch}}$ größer wird, ausgehend von einem gleich großen $d_{\text{max bleibend}}$.

Die Steifigkeitszahl und die Kraftzahl sind abhängig von der relativen Rammgeschwindigkeit bzw vom Geschwindigkeitsänderungswert in der Kompressionsphase.

Der Stoßantrieb muss auf beide Fahrzeuge gleich groß sein, wenn man einen ebenen Stoß voraussetzt, was man grundsätzlich so unterstellt. →

Daraus ergibt sich aber über die Kompressionszeit, dass die Kraft auf den **Kfz-Schwerpunkt** der beiden Stoßpartner gleich groß sein muss.

Bei Verwendung der Steifigkeitszahl oder der Kraftzahl, der Deformationstiefe sowie der Masse m [kg] kommt man mithilfe der entsprechenden Formel zum Geschwindigkeitsänderungswert $\Delta v_{(0)=\text{Kompression}}$ für das entsprechende Fahrzeug.

Über eine Gesamtenergiebilanz beider Fahrzeuge und eine Gesamtdeformationsarbeit (alles für die Kompressionsphase) ist aber abzuklären, ob eine Übereinstimmung mit der Impulsrechnung gegeben ist oder nicht.

Wichtige und richtige Überlegungen (je nach k -Faktor) sind bei der Verwendung eines Energierasters anzustellen.

Zu beachten ist, dass sehr große Unterschiede zwischen den einzelnen Fahrzeugen und Modelljahren bestehen. Große Unterschiede ergeben sich auch hinsichtlich der C -Zahl bei verschiedenen großer Geschwindigkeitsänderung (nämlich bei C' bzw C'' dyn).

Meine Aufstellung in der Steifigkeitszahl- und Kraftzahlliste kann somit nicht nur die Struktursteife für den entsprechenden Geschwindigkeitsänderungsbereich (in der Kompressionsphase) entnommen werden, sondern es wird auch noch auf das Baujahr des Autos bzw auf die diesem Baujahr entsprechende Konstruktionsart abgestellt.

Dieses Berechnungsprogramm trägt auch der Härte des Stoßpartners Rechnung, nämlich über die Deformationstiefe und die Steifigkeitszahl. Es wird zB auch berücksichtigt, wenn ein Stoßpartner ein Lkw ist.

Bei gleicher Bauart des zu beurteilenden Fahrzeugs lassen sich auch auf ein anderes Fahrzeug Rückschlüsse ziehen und lässt sich somit die Steifigkeitszahl in engeren Grenzen und genauer ansetzen.

Es besteht die Möglichkeit, bei Front-/Heckkollisionen mit bestimmten Fahrzeugkonfigurationen festzulegen, wie groß die gesamte maximale dynamische Deformation gewesen sein konnte (zB BMW 525 altes Modell – sehr stark gefeilter Motorraumdeckel ist nicht gegen das gestoßene Fahrzeug gestoßen). Dies ergibt dann eine mögliche maximale dynamische Deformationstiefe. Bei Ansatz des k -Faktors erhält man die bleibende Deformation. Daraus kann man dann über die Steifigkeitszahl wiederum die Verformungsarbeit berechnen.

Dieser Steifigkeitszahlwert darf nicht sein:

- Durchschnitt nur aus Zahlen
- Zahlenwert auch aus der Häufigkeitsverteilung
- ein arithmetisches Mittel zwischen Minimum und Maximum.

Zusammenfassung des Steifigkeitszahl- und Kraftzahlsystems

Auf Grund meiner vorgenommenen weiterführenden Auswertung der in der einschlägigen Literatur veröffentlichten Crashversuche und Daten stehen nunmehr **Steifigkeitszahlen** und **Kraftzahlen** von Karosserien für Front, Heck und Seite, für Pkw/Kombi, Leichtfahrzeug, City-Fahrzeug, Lieferwagen, Groß-Lkw, Bus und Straßenbahn zur Verfügung, abhängig vom Geschwindigkeitsänderungswert unter Berücksichtigung von genauem Typ und Baujahr sowie der Kfz-Masse.

Weiters stehen noch Steifigkeitszahlen für 1-Spur-Fahrzeuge, Komponententests, Pralldämpfer, E-Loks und deformierbare Barrieren zur Verfügung.

Dadurch ist es nunmehr möglich, über die Deformationstiefe am Fahrzeug die **Deformationsarbeit** (genauer: Deformationsarbeit in der Kompressionsphase) **des Fahrzeugs** zu errechnen.

Das Steifigkeitszahl- und (oder) das Kraftzahlsystem bietet aber auch eine **objektive Vergleichsmöglichkeit zwischen einzelnen Fahrzeugen**.

Einen **durchschnittlichen Steifigkeitszahlwert** gibt es natürlich nicht, genau so, wie es **keine durchschnittliche Kompressionszeit bzw Stoßzeit bzw Kontaktdauer** gibt.

Weiters bietet dieses System die Möglichkeit, über die Deformationstiefe im Zusammenhang mit der mittleren relativen Kollisionsgeschwindigkeit in der Kompressionsphase die mittlere Karossenbeschleunigung (-verzögerung) in der Kompressionsphase zu ermitteln. Daraus lässt sich dann ein Rückschluss hinsichtlich der Insassenbelastung, Airbagauslösung und Ähnlichem ableiten.

Wenn anderenorts behauptet wird, dass die Steifigkeitszahlen so großen Toleranzen unterliegen, dass diese Berechnungsart nicht sinnvoll durchführbar ist, ist dem Folgendes entgegenzuhalten:

Es gibt derzeit über 1.500 Steifigkeitszahleinheiten für verschiedene Geschwindigkeitsänderungsbereiche, für die verschiedensten Fahrzeuge etc, in der Steifigkeitszahl- und Kraftzahlliste.⁴⁾ Diese unterliegen keinesfalls großen Toleranzen, wenn man dieses Berechnungssystem erlernt hat und auch richtig anwendet. Dieses Berechnungssystem (Art) wird mittlerweile auch von anderen Sachverständigenbüros (Experten) mit Erfolg angewandt.

Wenn behauptet wird, dass die Steifigkeitszahlen von Automobilwerken bzw von den Importeuren nicht zu erhalten sind, und man deshalb mit diesem System nicht arbeiten kann, ist dem Folgendes entgegenzuhalten:

Es ist richtig, dass man die Steifigkeitszahlen von Automobilwerken bzw von den Importeuren nicht erhält. Dort liegen diese nämlich nicht auf. Die Automobilwerke werten diese gar nicht aus, weil sie für die Kfz-Entwicklung nicht von Bedeutung sind.⁵⁾

$$\begin{aligned} & \text{Die Kompressionszeit } \Delta t_{\text{Kompression}} \text{ [s]} \\ &= \frac{d_{\text{dynamisch maximal gesamt (beide Kfz)}}}{v_{2 \text{ Kollision}}/2} \\ &= \frac{d_{\text{dynamisch maximal gesamt (beide Kfz)} \cdot 2}{v_{2 \text{ Kollision}}} \end{aligned}$$

Diese Formel gilt nur, wenn $v_{1 \text{ Kollision (aufgefahrenes Kfz 1)}} = 0,00 \text{ m/s}$ ist – wird so angesetzt – nur relative Geschwindigkeit! und gilt nur bei einem exakten linearem Vollstoß; $v_{2 \text{ Kollision}}$ ist die Auffahrgeschwindigkeit des stoßenden Kfz (Kfz 2).

Die Kompressionszeit ist für beide Kfz gleich groß.

Die mittlere Karossenbeschleunigung oder mittlere Karossenverzögerung in der Kompressionsphase, a_m 1 (Kompression), nur aus Translation

$$\begin{aligned} &= \frac{\Delta v_{(0) \text{ Kompression}}}{\Delta t_{\text{Kompression}}} \quad [\text{m/s}^2] \\ &\triangleq \frac{\Delta v_{(0) \text{ Kompression}}}{\Delta t_{\text{Kompression}} \cdot 9,81} \quad [\text{g}] \end{aligned}$$

Zu berücksichtigen ist, dass bei all diesen Berechnungen nur die mittlere Karossenbeschleunigung oder mittlere Karossenverzögerung für die Kompressionsphase ermittelt wird und davon ausgegangen wird, dass der Kopf des Insassen nirgendwo dagegen stößt, mit Ausnahme der Kopfstütze.

Sollte der Kopf gegen einen sonstigen Fahrzeugteil stoßen (zB bei einer Seitenkollision gegen die Seitenscheibe), ist mit

4) Liste beim Autor zu erwerben.

5) Steifigkeitszahlen auf Anfrage beim Autor.

$$a_m = \frac{\Delta v^2 \text{ [m/s}^2\text{]}}{2 \cdot \Delta s}$$

zu rechnen (wobei zu prüfen ist $v_{\text{Kollision}}$ gegen den Kfz-Innenenteil mit a_m Karosse und welches v_K [Kollisionsgeschwindigkeit] erreicht werden kann bei der zur Verfügung stehenden Wegstrecke bis zum Anstoß des Körperteils gegen den Kfz-Innenraum).

Die einwirkende Kraft ist mit der Formel nach Newton, Kraft = Masse x Beschleunigung ($F = m \cdot a$ [N]), zu ermitteln und kann zusätzlich mit den Belastungsgrenzen aus der Biomechanik etc überprüft werden.

Bei einem k-Faktor größer 0,00 (nur dann gibt es eine Restitution) besteht die Stoßzeit (auch Stoßdauer genannt) aus der gesamten Kompressionszeit und der gesamten Restitutionszeit (ist die Summe davon). Bei „Kfz ungebremst“ ist mathematisch die Zeit $\Delta t_{\text{Kompression gesamt}}$ gleich der Zeit $\Delta t_{\text{Restitution gesamt}}$. Der aus der Stoßzeit ermittelte mittlere g-Wert für $a_{m\text{Gesamtphase}}$ ist immer um einiges kleiner als der mittlere g-Wert, ermittelt aus der Kompressionsphase. Dadurch ist die Stoßzeit ein ungeeignetes Mittel zur Ermittlung der Insassenbelastung, da nur $a_{m\text{Kompression}}$ von Bedeutung ist.

Fahrzeug-Massenunterschied

Es ist so, dass die mittlere Karossenbeschleunigung in der Kompressionsphase des Gestoßenen umso größer wird, je größer die relative Kollisionsgeschwindigkeit $v_{\text{Kollision relativ}}$ des Stoßenden ist.

Dies ist dadurch zu erklären, dass die mittlere relative Kollisionsgeschwindigkeit in der Kompressionsphase bei kleiner werdender Masse des Stoßenden in Hinblick auf die größer werdende Kollisionsgeschwindigkeit des Stoßenden natürlich größer wird, um das gleiche $\Delta v_{\text{Kompression}}$ des Gestoßenen zu erhalten.

Das heißt, wenn man ein gleiches Schadensbild am Fahrzeug hat und die gleiche Steifigkeitszahl beibehält ($\Delta v_{\text{Kompression}}$ bleibt ja gleich), ergibt sich, dass trotzdem ein gravierend anderer mittlerer Beschleunigungswert des Kfz-Schwerpunkts des Gestoßenen vorgelegen haben kann. Dieser hängt nämlich von der Stoßmasse des stoßenden Fahrzeugs (Massenverhältnis) und der sich daraus ergebenden Rammgeschwindigkeit ab, die zu gleichem $\Delta v_{\text{Kompression}}$ für das gestoßene Fahrzeug führt.

Eindeutig ist, dass die Kompressionszeit (mit kleiner werdender Masse des Stoßenden) kleiner wird (aufgrund des größeren $v_{\text{Kollision}}$ des Stoßenden), obwohl das $\Delta v_{\text{Kompression}}$ der Gestoßenen gleich bleibt. Somit wird der mittlere Beschleunigungswert in der Kompressionsphase des Gestoßenen größer.

Daraus ergibt sich, dass es **nicht zulässig** ist, aus einem **Schadensbild**, zB aus dem Heckschaden eines Fahrzeugs, auf die **mittlere Karossenbeschleunigung** rückzuschließen und darauf, ob es dabei zu einem HWS-Schleudertrauma gekommen ist oder nicht. Denn es ist unbedingt erforderlich, die Stoßmasse des stoßenden Fahrzeugs zu kennen. Daraus kann man dann über die mittlere relative Kollisionsgeschwindigkeit in der Kompressionsphase die Kompressionszeit und damit die mittlere Karossenbeschleunigung in der Kompressionsphase des gestoßenen Fahrzeugs errechnen.

Zu berücksichtigen ist, dass die Insassenbelastung vom k-Faktor abhängig ist. Bei Änderung des k-Faktors ändert sich nämlich die maximale dynamische Deformationstiefe und daraus ändert sich die Kompressionszeit.

EES-Wert

Von der Energieänderung in der Kompressionsphase ist die Energieänderung der Restitutionsphase **abzuziehen**.

Aus dieser Energie ist dann aus der Quadratwurzel das Δv zu errechnen. Dies ist EES (energy equivalent speed).

Bei der Kollision eines Fahrzeugs mit voller Überdeckung gegen eine starre, undeformierbare Wand mit einer Wandmasse (unendlich) und bei 90°igem Anstellwinkel (bei einem exakten linearen ebenen Vollstoß), einer Kollisionsgeschwindigkeit von zB 15 km/h, von einem k-Faktor von = 1,00 (rein theoretisch betrachtet) beträgt die gesamte Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeugs 15 km/h (Kompression) + 15 km/h (Restitution) = 30 km/h. Der EES-Wert beträgt **0,0 km/h** (Kompression abzüglich Restitution [bei Unterstellung, dass keine Massenänderung eingetreten ist und die Massenverlagerung nicht berücksichtigt wird bzw eine solche nicht vorgelegen hat] ergibt sich: 15,0 km/h – 15,0 km/h = 0,0 km/h). (Dies ist eine vereinfachte Darstellung – zu rechnen ist jeweils über die Energie!)

Daraus ist zu ersehen, dass EES für die Beurteilung der Kfz-Insassenbelastung gänzlich ungeeignet ist.

Man kennt den k-Faktor des Versuchs nicht und somit kennt man auch nicht das $\Delta v_{\text{Kompression}}$. Dieses bräuchte man aber, um die Kompressionszeit errechnen zu können. Festzustellen ist, dass im allgemeinen Gebrauch als EES-Wert immer die Wandaufprallgeschwindigkeit angegeben wird, was unrichtig ist, da der EES-Wert immer kleiner sein muss als die Wandaufprallgeschwindigkeit.

Weitere Definitionen laut Mercedes:

- EBS: „Equivalent Barrier Speed“
 - ETS: „Equivalent Test Speed“, zusammen mit dem
 - ET: „Equivalent Test“
 - EES: „Energy Equivalent Speed“ (energieäquivalente Geschwindigkeit)
 - CDC: „Collision Deformation Classification“
- Aus der Definition „ETS“ ist zu ersehen, dass, wenn von EES (im Niedriggeschwindigkeitsbereich) gesprochen wird, richtigerweise der Begriff „ETS“ zu nehmen wäre, um die vergleichbare Wandaufprallgeschwindigkeit zu bezeichnen (zuzuordnen).

D. Wertmaßstab für die Beurteilung der Insassenbelastung: Kopfbeschleunigung?

In einer Gutachtensbeilage⁶⁾ eines medizinischen Sachverständigen stand ua geschrieben:

„Zuerst im Allianzzentrum in München, später durch andere Autoren, Techniker und Mediziner fortgeführt und bestätigt, konnte man einen absoluten Grenzwert der Kräfteeinwirkung festlegen, unter welchem es keine einschlägige Verletzungspotenz mehr gibt:

Dieser Grenzwert der Geschwindigkeitsänderung fand sich bei 17 km/h, wurde dann aber auf 11 km/h abgesenkt, um allen praktisch denkbaren Eventualitäten bzw Abweichungen von den ursprünglichen Versuchsbedingungen gerecht zu werden, wie sie im Verletzungsmechanismus und in der Invalidität der betroffenen Personen gelegen sein könnten.

Das heißt mit anderen Worten, dass der Eintritt einer Halswirbelsäulenzerrung durch Heckanstoß oder Frontaufprall unterhalb einer dem betreffenden Fahrzeug aufgezwungenen Geschwindigkeitsänderung von 11 km/h bzw einer Kopfbeschleunigung von weniger als 11 g (wobei g Erdbeschleunigung bedeutet) auch medizinisch extrem unwahrscheinlich ist bzw mit empirischer Sicherheit ausgeschlossen werden kann.“

6) *Deutscher*, Die Problematik des sog Peitschenschlagsyndroms.

Wenn hier von **Frontaufprall** gesprochen wird, ist die Wiedergabe unrichtig. Alle Versuche wurden zum Thema Heckanstoß durchgeführt. Einerseits ist die Situation beim Frontanprall eine ganz andere, andererseits zeigen die **auch vom Allianz-Zentrum** durchgeführten Frontaufprallversuche einen wesentlich höheren Grenzbereich (auch dort wird der g-Wert als Bewertungskriterium herangezogen).

Es stellt sich die Frage, welche Geschwindigkeitsänderung hier gemeint ist? $\Delta v_{\text{Kompression}}$?, $\Delta v_{\text{Restitution}}$?, $\Delta v_{\text{Kompression}}$ plus $\Delta v_{\text{Restitution}}$ zusammen? (= Δv_{gesamt})?

Dies ist natürlich jeweils etwas ganz anderes.

Eine Geschwindigkeitsänderung von 11 km/h entspricht ungefähr 3,0 m/s.

Im Buch von *Deutscher*⁷⁾ ergeben sich die maximalen Kopfbeschleunigungen a_{KRES} [g] in der entsprechenden Rubrik seiner Tabelle. Er gibt an, dass auch bezüglich a_{KRES} (maximale resultierende Kopfbeschleunigung – Maximalwert) „im untersuchten Bereich keine Abhängigkeit von Δv_2 erkennbar ist.“

Daraus folgt mE, dass a_{KRES} kein Maßstab für die Beurteilung einer HWS-Verletzung (HWS-Verletzung: ja oder nein) ist.

Dies wird auch durch den Brief des Allianz-Zentrums für Technik GmbH, München-Ismaning, bestätigt, in welchem mir mitgeteilt wird:

„Die Werte für a_{KRES} sind immer bedingt durch den Aufprall zwischen Kopf und Kopfstütze und stellen den Maximalwert dar.“

Das heißt, dieser Wert ist natürlich auch ua von der Art und Bauweise der Kopfstütze abhängig. Diese Werte kann man sachverständigenseits in keinsten Weise errechnen und, wie sich aus den entsprechenden Diagrammen in diesem Buch (optisch sehr schön dargestellt) ergibt, sind diese in sehr großen Bereichen unterschiedlich – bei gleichem mittleren Fahrzeugbeschleunigungswert; dh hier liegt ein so großer Toleranzbereich vor, dass man tatsächlich keine Abhängigkeit feststellen kann.

Weiters wird in der Zusammenfassung in diesem Buch noch angegeben:

„Die Sitz-/Kopfstützenkonstruktion hat einen entscheidenden Einfluss auf die Insassenbelastungsgrößen α_k und a_{KRES} , der im untersuchten Bereich zwischen 11 km/h und 15 km/h dem Einfluss der Geschwindigkeitsänderung gleichwertig ist.“

(α_k [°]: maximaler Winkel zwischen Kopf und Torso; ist jeweils der maximale Extensionswinkel;

Extension: Überdehnung – Rotation des Kopfes nach hinten;
Flexion: extreme Beugung – Kopfbewegung nach vorne)

Das heißt, aus diesem Buch ist eindeutig ableitbar, dass die Angabe des medizinischen Sachverständigen „[...] bzw einer Kopfbeschleunigung [hier formuliert er nicht genau, ob mittlere oder maximale – sicher gemeint maximale] von weniger als 11 g auch medizinisch extrem unwahrscheinlich ist bzw mit empirischer Sicherheit ausgeschlossen werden kann“, überhaupt nicht nachvollziehbar ist.

Diese Angabe steht mit den wissenschaftlichen Grundlagen und Erkenntnissen (empirische Versuche des Allianz-Zentrums – *Christian Deutscher* – er veröffentlichte auch diese) eindeutig in Widerspruch.

Auch aus der Broschüre der Gesellschaft der Gutachterärzte Österreichs aus dem Jahr 1987, welche ja auf die Versuche des Allianz-Zentrums zurückgeht und von *Max Danner* vorgestellt wurde, ergibt sich eindeutig, dass eine **Kopfbeschleunigung (eingeschränkt auf die Überlegungen aus den AZT-Versuchen sowie für diesen Geschwindigkeitsbereich)** keinesfalls ein **Bewertungsmaßstab für die Beurteilung**, ob eine HWS-Verletzung vorliegt, ist.

Diese Kopfbeschleunigung ist ja in keinsten Weise errechenbar, wie aus einem Brief des Allianz-Zentrums ableitbar ist (vom Buchautor), da man den Maximalwert dadurch erhält, dass dieser durch den Aufprall zwischen Kopf und Kopfstütze bedingt ist; diesen Wert kann man in keinsten Weise errechnen oder sonst irgendwie ermitteln.

Die Versuchsergebnisse variieren bei gleichem Wert der mittleren Fahrzeug-/Schlittenbeschleunigung sehr stark.

Versuchsergebnisse aus dem Buch:

„Die ermittelten Stoßzeiten lagen in einem Bereich zwischen 74 ms und 184 ms, der Mittelwert lag bei 117 ms. Daraus ist abzuleiten, dass der Maximalwert mehr als doppelt so groß wie der Mindestwert war.

Eine Abhängigkeit α_k (maximaler Winkel zwischen Kopf und Torso) von Δv_2 (Geschwindigkeitsänderung des gestoßenen Fahrzeuges) ist im untersuchten Bereich nicht aufgetreten.

Auch bezüglich a_{KRES} (maximale resultierende Kopfbeschleunigung) ist im untersuchten Bereich keine Abhängigkeit von Δv_2 erkennbar.“

Daraus folgt (mE), dass a_{KRES} (maximale resultierende Kopfbeschleunigung) kein Maßstab ist für die Beurteilung einer HWS-Verletzung (HWS-Verletzung: ja oder nein).

Dies, nachdem von mir die AZT-Versuchswerte a_{KRES} in Diagrammen über a_{quer} aufgetragen wurden und die Buchautormeinung bestätigt wurde.

Aus der Zusammenfassung dieses Buches:

„Die folgenden Erkenntnisse sollen insbesondere den technischen Sachverständigen ein Hilfsmittel für die Beurteilung der Insassenbelastung sein und ‚Gutachten‘, die ausschließlich die Fahrzeugdeformation zur Bewertung der Insassenbelastung heranziehen, vermeiden helfen.

– Das Deformationsverhalten verschiedener Fahrzeugmodelle ist aufgrund differierender Verformungssteifigkeit der Konstruktion sehr unterschiedlich. Ein Rückschluss auf die Geschwindigkeitsänderung des gestoßenen Fahrzeuges aus der Deformation ist nur bei Kenntnis des Deformationsverhaltens beider Unfallfahrzeuge zulässig.

– Die Sitz-/Kopfstützenkonstruktion hat einen entscheidenden Einfluss auf die Insassenbelastungsgrößen α_k und a_{KRES} , der im untersuchten Bereich zwischen 11 km/h und 15 km/h dem Einfluss der Geschwindigkeitsänderung gleichwertig ist.

– Der vertikale Abstand Kopfoberkante-Kopfstützenoberkante hat bei gleichem Sitz einen erheblichen Einfluss auf α_k . Kopfstützeneinstellung und Sitzgröße des Insassen sind wichtige Einflussgrößen für die Insassenbelastung.“

E. Zusammenfassung

Auf Grund meiner Untersuchungen und Berechnungen, des Vergleichs und Abgleichs der Ergebnisse meines Computerrechnungsprogramms mit realen Crashes, mit realen Crashkurven und Schadensbildern laut Literaturangabe ist es nunmehr möglich, die mittlere Karossenbelastung (Beschleunigung, Verzögerung), somit also die Insassenbelastung, mit sehr einfachen mathematischen Formeln zu ermitteln.

Die Kraftkennlinie der Kraftfahrzeugdeformation (a/t-Versuchsmesskurve [Beschleunigungs- bzw Verzögerungs-/Zeit-Versuchsmesskurve]) ist (eingeschränkt) dafür geeignet. Über diese (nicht aus dieser) erfolgt die Berechnung der Steifigkeitszahl, welche dann für die Ermittlung der Deformationsarbeit unter Zugrundelegung der Fahrzeugdeformation herangezogen wird. Daraus erfolgt dann die Ermittlung der Insassenbelastung.

7) Bewegungsablauf von Fahrzeuginsassen beim Heckaufprall – Ermittlung von objektiven Messwerten zur Beurteilung von Verletzungsart und -schwere (1994).

Die Grundüberlegung war, aus dem Deformationsbild der beiden Stoßpartner über die maximale bleibende Deformationstiefe, über die maximale dynamische Deformationstiefe oder über eine Kombination von bleibend zu dynamisch für beide Partner das $\Delta v_{\text{Kompression}}$ zu ermitteln, die Verformungsarbeitsberechnung anzustellen bzw die Energiebilanz durchzuführen, dann über eine Impulsberechnung die relative Kollisionsgeschwindigkeit zu errechnen (unter Abstimmen auf die Energiebilanz in der Kompressionsphase beider Fahrzeuge zusammen), daraus das $\Delta v_{\text{KompressionImpulsrechnung}}$ zu erhalten, dann über die mittlere relative Kollisionsgeschwindigkeit in der Kompressionsphase die Kompressionszeit zu ermitteln und daraus über die relative Wegstrecke in der Kompressionsphase, zusammen mit der Kompressionszeit, die mittlere Karossenbeschleunigung bzw mittlere Karossenverzögerung zu berechnen.

Bei Ansatz und Beurteilung der Deformationstiefe ist zu überprüfen, ob die Deformationstiefe aus dem Schadensbild (beide Kfz zusammen) auch der tatsächlichen Deformationstiefe gesamt (bleibend oder dynamisch – je nach k-Faktor) für die Berechnung entspricht. Wenn nicht, muss der k-Faktor geändert und angeglichen werden.

Bei Prüfung der Insassenbelastung ist natürlich die gesamte, maximale Deformationstiefe (zum Zeitpunkt der maximalen Zusammendrückung) einzusetzen.

Es ist zu prüfen, ob diese gesamte maximale Deformationstiefe (als Summe für beide Fahrzeuge zusammen) tatsächlich der Summe der beiden Einzeldeformationstiefen der beiden Kfz entspricht (nämlich auf die gleiche Stelle bezogen).

Falls dies nicht der Fall ist, ist eine entsprechende Korrektur bei $d_{\text{gesamt max bleibend}}$ oder bei $d_{\text{gesamt dynamisch}}$ (je nach k-Faktor) vorzunehmen und dieser Wert dann einzusetzen.

Bei Anstoß eines Körperteils des Insassen gegen den Fahrzeuginnenraum ist eventuell der Zeitversatz zwischen Kollisionsbeginn des Kfz und Bewegungsbeginn des Insassen zu berücksichtigen.

Aus der Broschüre „Gesellschaft der Gutachterärzte Österreichs“, Heft 30 aus 1987, aus einem Bericht von M. Danner (Allianz-Zentrum für Technik, München), ergibt sich:

„Da das gesamte Untersuchungsspektrum noch nicht abgeschlossen ist, kann die Beantwortung der Frage: ‚Wo die Aufprallgeschwindigkeit für eine HWS-Verletzung liegt‘, erst das Abschlussergebnis zeigen. Dennoch lassen sich mit den bis heute vorliegenden Versuchsergebnissen folgende Aussagen machen:

Bei einem Auffahrunfall mit Pkw ist bis zu einer Geschwindigkeitsdifferenz von 15 km/h ein HWS-Schleudertrauma für die Insassen des gestoßenen Fahrzeugs auszuschließen, wenn deren Kopf durch eine weitgehend korrekt eingestellte Kopfstütze geschützt wird.

Eine Geschwindigkeitsdifferenz von 15 km/h bedeutet im Mittel sämtlicher Pkw-Versuche für das gestoßene Fahrzeug eine Geschwindigkeitsänderung von **11 km/h** und eine mittlere Fahrzeugbeschleunigung von **3g**.

Bis zu einer Aufprallgeschwindigkeit von 15 km/h treten auch bei einem außermittigen Aufprall keine Verletzungen auf.

Die ausgeprägten Schleuderbewegungen bei Versuchen mit Dummies lassen darauf schließen, dass ohne Kopfstützen bereits geringe Aufprallgeschwindigkeiten zur Verletzung führen können.

Unterhalb einer Grenze von 10 km/h Aufprallgeschwindigkeit bei Pkw gegen Pkw ist jedoch auch hier, belegbar durch die Messergebnisse der Autoscooterversuche, nicht mit einem HWS-Schleudertrauma zu rechnen.

Bei der Beurteilung, ob ein Patient durch einen Auffahrunfall ein HWS-Schleudertrauma erlitten hat oder nicht, spielt die Kenntnis über die Kopfstützeinstellung zum Zeitpunkt des Unfalls für den Gutachter eine entscheidende Rolle.“

Die Autoscooterversuche (hier ist keine Kopfstütze vorhanden) zeigen eine mittlere Autoscooterbeschleunigung von ca 2,5 g (Deutscher ergeben sich die gemessenen Maximalwerte als a_{max} mit 3,3g bis 3,8g sowie ein Wert mit 7,9g – bei diesem Versuch zeigte die Versuchsperson erste Verletzungsanzeichen).

Aus der Überlegung des Vergleichs von Versuchen bei Heranziehung einer Versuchskurve mit Kopfstütze und ohne Kopfstütze kann man rückschließen, dass die vergleichbare Belastung für die Überlegung des wahrscheinlichen Bereichs für keine HWS-Verletzung bei Verwendung einer Kopfstütze bei ca 2,5g + ca 60% liegt. Dies wären 4,0g.

Das heißt, dass man davon ausgehen kann, dass bis zu einer **mittleren Fahrzeugbeschleunigung in der Kompressionsphase von 4,0g** ein **HWS-Schleudertrauma** nicht wahrscheinlich ist (bei Verwendung einer ordnungsgemäß eingestellten Kopfstütze).

[1g entspricht der Erdbeschleunigung von 9,81 m/s²]

Auch aus diesem Bericht ist ersichtlich, dass als Beurteilungskriterium die Beschleunigung, zusätzlich zur Geschwindigkeitsänderung, gewählt wurde.

Auszugehen ist von einer durchschnittlich definierten Person, ohne oder ohne wesentliche körperlich relevante Vorschädigungen, insb der HWS.

Im Allgemeinen sind Frauen verletzungswahrscheinlicher als Männer. Eine gewisse Altersabhängigkeit der zu beurteilenden Person wird wohl gegeben sein.

Die Art und Konstruktion von Sitz, Sitzlehne und Kopfstütze sowie der horizontale Abstand von Kopf zu Kopfstütze, aber auch der senkrechte Abstand von Kopfschwerpunkt zu Kopfstützenoberkante bzw die obere Begrenzung des Kopfes zur Kopfstützenoberkante haben einen Einfluss auf die Verletzungswahrscheinlichkeit.

Wichtig ist, dass die HWS-Belastung durch einen allenfalls vorgelegenen Schlummerrolleffekt, oder, falls der Kopf zu tief gegenüber der Kopfstütze war, vergrößert wird.

Dies lässt sich mittels der Dissertation von Klaus Burow, TU Berlin, 1974, „Zur Verletzungsmechanik der Halswirbelsäule“, sehr schön überlegen und bewerten, im Sinn der Erhöhung als „fiktive Belastung“ oder Verringerung des Grenzbereichs.

Zu achten ist darauf, ob es allenfalls zu einer entsprechenden Hubbewegung (Fahrzeug, Insasse) gekommen ist oder nicht; dies ist mit den Verletzungen zu überprüfen, da fallweise in den Ambulanzkarten auch „Stauchung“ angegeben wird.

Die HWS-Belastung ist abhängig vom Beschleunigungsverlauf des Fahrzeugs, aber auch vom Beschleunigungsverlauf des Insassen bzw von einer Kombination beider Faktoren.

Aus der sehr interessanten, ausführlichen und auf neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen basierenden Dissertation „Einfluss der Beschleunigungscharakteristik auf das Verletzungsrisiko bei der HWS-Beschleunigungsverletzung“⁸⁾ ergibt sich unter anderem (S 55):

„Unterstellt wurde im Vergleichsversuch:

Bei Experiment 1 ein trapezförmiger Verlauf der Schlittenbeschleunigungskurve über der Zeit. →

8) Dissertation zur Erlangung des Doktorats der Medizin der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm. Von Kai Guido Fruth aus Stuttgart, Ulm 2004.

Bei Experiment 2 ein sägezahnförmiger Verlauf der Schlittenbeschleunigungskurve über der Zeit.

Der Beschleunigungsverlauf erfolgte geradlinig. Die Zeit war bei beiden Experimenten gleich.

Es konnte gezeigt werden, dass die HWS-Präparate in Experiment 2 einer **signifikant** höheren Maximalbeschleunigung als in Experiment 1 ausgesetzt werden konnten, bevor strukturelle Verletzungen am HWS-Präparat auftraten.

Die Geschwindigkeitsänderung Δv und die mittlere Beschleunigung unterschieden sich in beiden Experimenten beim Auftreten von strukturellen Verletzungen am Präparat **nicht signifikant voneinander**.“

Weiters heißt es dort (S 58):

„Es konnte durch den Vergleich der beiden Experimente, mit annähernd spiegelbildlichem Verlauf der Schlittenbeschleunigungskurven, gezeigt werden, dass die unterschiedliche Beschleunigungscharakteristik der beiden Experimente keinen Einfluss auf die Winkelbeschleunigung des Kopfes und keinen Einfluss auf

das Drehmoment M_x zwischen HWS und Kippteller hatte. Diese beiden Parameter unterschieden sich beim Vergleich der beiden Experimente hinsichtlich ihrer Messwerte zum Zeitpunkt des Auftretens von Verletzungen am Präparat nicht signifikant voneinander.“

Zum Thema „Die vorgeschädigte Halswirbelsäule: Gedanken zum Schleudertrauma“ wird auf eine Veröffentlichung von *Franz Magistris* in der Zeitschrift „DER SACHVERSTÄNDIGE – Heft 2/1989“ verwiesen.

Auszug aus: Bericht v 4. 10. 2004:

EEVC European Enhanced Vehicle-safety Committee, Arbeitsgruppe WG20 „Verbesserter Stand der Technik – Bericht und Prüfung zur Peitschenschlag-Verletzungsprävention“

Aus der Abb 9 (Tabelle 2 Seite A1–3 des obig zitierten Berichts) – „Durchschnittswerte der Crash-Intensität für verschiedene Verletzungsklassifizierungen und -kategorien für Heck-Autokollisionen bei 4 Fahrzeugmodellen von einem Autohersteller, Modelljahr 1995–2001“ – ergibt sich Folgendes (Tabelle 1):

Verletzungs-klassifizierung	Kategorie	Anzahl der Insassen	Delta Δv [km/h]	durchschnittliche Beschleunigung [g]	Spitzenbeschleunigung [g]
alle		94	10,4 ± 2,0	3,6 ± 0,3	7,9 ± 0,7
berichtet	→ keine berichtete Nackenverletzung	53	7,7 ± 1,2	3,0 ± 0,3	6,7 ± 0,7
	→ berichtete Nackenverletzung	41	13,9 ± 2,6	4,4 ± 0,4	9,5 ± 1,0
Symptombdauer	Symptome < 1 Monat	26	10,3 ± 2,1	3,9 ± 0,5	8,7 ± 1,3
	Symptome > 1 Monat	15	20,0 ± 4,8	5,3 ± 0,6	10,8 ± 1,4
WAD Grad (Quebecer Arbeitsgruppe)	WAD Grad 0	53	7,7 ± 1,2	3,0 ± 0,3	6,7 ± 0,8
	WAD Grad 1	20	10,1 ± 2,3	3,9 ± 0,6	8,6 ± 1,5
	WAD Grade 2 und 3	18 (13 + 5)	16,2 ± 3,8	4,8 ± 0,6	10,1 ± 1,5

Tabelle 1

→ In Kürze

Es ist nunmehr möglich, über die Berechnungsart der Berechnung der mittleren Karossenbeschleunigung in der Kompressionsphase (unter Ansatz der errechneten mittleren relativen Kollisionsgeschwindigkeit in der Kompressionsphase und unter Berücksichtigung der objektiv errechneten Kompressionszeit) die Insassenbelastung rechnerisch zu erfassen. Es wurde somit eine objektive rechnerische Beurteilungsschranke gefunden.



→ Zum Thema

Über den Autor:

Ing. Wolfgang Huber ist in seinem Ingenieur- und Sachverständigenbüro für Kfz-Schäden, Unfallanalyse und Unfallforschung, Fuchsenkellerstraße 22, A-3100 St. Pölten, seit über 30 Jahren tätig.

E-Mail: office@kfz-unfallforschung.at

Internet: www.kfz-unfallforschung.at

In einer Musterbetrachtung wird ein Beispiel als Demonstrationsbeispiel auch rechnerisch vorgestellt: Auffahrunfall: Front VW Passat III gegen Heck Volvo 360 GLE.⁹⁾

9) Dieses Musterberechnungsbeispiel kann vom Autor auf CD-ROM bezogen werden. Weitere Berichte des Autors zu diesem Thema auf Anfrage.