

Das Schleudertrauma der Halswirbelsäule (HWS)

Fahrzeug - Insassenbelastung

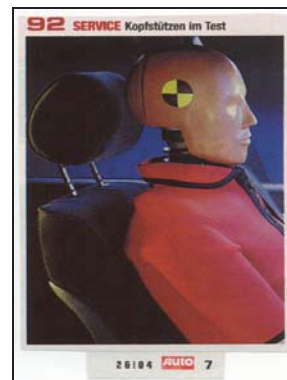
Betrachtung aus technischer Sicht.

*Eingrenzung einer Objektivierung der Verletzungswahrscheinlichkeit der Halswirbelsäule durch:
Berechnung der Insassenbelastung aus
mathematischer, mechanischer und biomechanischer Sicht
durch Berücksichtigung von Ergebnissen aus realen Crash-Versuchen
(heutiger Wissenschaftsstand für die rechnerische Ermittlung der Bewertungskriterien).*

Demonstrationsbeispiel:

Auffahrunfall: Front VW Passat III gegen Heck Volvo 360 GLE

Berechnungsbeispiel-Bericht_Artikel_InsassenHWS_für ZVR_07.04.2008



Verfasser:

ING. WOLFGANG HUBER

Das Schleudertrauma der Halswirbelsäule (HWS)

Fahrzeug - Insassenbelastung

Betrachtung aus technischer Sicht.

*Eingrenzung einer Objektivierung der Verletzungswahrscheinlichkeit der Halswirbelsäule durch:
Berechnung der Insassenbelastung aus mathematischer, mechanischer und biomechanischer Sicht durch
Berücksichtigung von Ergebnissen aus realen Crash-Versuchen
(heutiger Wissenschaftsstand für die rechnerische Ermittlung der Bewertungskriterien).*

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 und wurde somit eine objektive rechnerische Beurteilungsschranke gefunden.

Im Anhang befindet sich eine Mustertabelle. Es erscheint zweckmäßig, in diese vom technischen Sachverständigen seine unterstellten, und von ihm errechneten, Werte eintragen zu lassen, um dem medizinischen Sachverständigen übersichtlich die Bewertungsgrundlagen für die medizinische Beurteilung darzutun.

Im Anschluß wird in einer Musterbetrachtung ein Beispiel rechnerisch vorgestellt.

Als Demonstrationsbeispiel:
Auffahrunfall: Front VW Passat III gegen Heck Volvo 360 GLE

R A H M E N G E S C H E H E N

Bei Dunkelheit, eingeschalteter öffentlicher Straßenbeleuchtung, auf trockener Asphaltfahrbahn, kam es zu einer Kollision zwischen der rechten Frontseite eines VW Passat 35P GL III, Baujahr März 1993, und der linken Heckseite des davor befindlichen 5-türigen PKW Volvo 360 GLE, Baujahr April 1985, welcher von einer 19 Jahre alten, 1,73 m großen, 53 kg schweren, angegurteten Frau gelenkt wurde und welche verkehrsbedingt vor einem Kreisverkehr, als benachrangtes Fahrzeug, zum Stillstand gekommen war.

Dieses Fahrzeug war bereits kurze Zeit gestanden, als der VW Passat auffuhr.

Die Lichtraumprofilüberdeckung bei der Kollision betrug ca. 0,60 m; beide Fahrzeuglängsachsen waren parallel oder annähernd parallel zueinander. Im Volvo waren die Kopfstützen ordnungsgemäß eingestellt, die Lenkerin blickte geradeaus, sie befand sich in einer normalen aufrechten Sitzposition.

Es war zu prüfen, ob die angegebenen Verletzungen der Lenkerin des Volvo sich auch mit der Kollisionsgeschwindigkeit in Einklang bringen lassen.

Noch vor Einschaltung des verkehrstechnischen Sachverständigen erstattete ein medizinischer Sachverständiger ein Gutachten betreffend der Verletzungen.

Laut Akteninhalt führt er, gerafft wiedergegeben, folgendes aus:

Sie habe ihren PKW Volvo zum Stillstand gebracht, als plötzlich ein Fahrzeug von hinten auffuhr. Nach ca. 1 Stunde habe sie enorme Schmerzen im Nackenbereich verspürt. Sie sei ins Krankenhaus gebracht worden. An ihrem Fahrzeug sei das Heck stark eingedrückt worden, das Fahrgestell sei verzogen und es sei ein Totalschaden entstanden.

Der Lenker des auffahrenden Fahrzeuges gab folgendes an:

Er sei ganz leicht aufgefahren; es sei nur der Auspuff und die Stoßstange beschädigt worden.

Die Frau, welche an der Unfallstelle keine Beschwerden angab, suchte noch am Unfalltag das Krankenhaus auf.

Sie klagte zu diesem Zeitpunkt über Kopfschmerzen und Schmerzen im Hals-Nackengebiete; eine Bewegungseinschränkung war jedoch nicht festzustellen.

Ihr wurde das Tragen einer Schanzkrawatte unter Einnahme von Medikamenten empfohlen.

Bei einer Kontrolle (6 Tage später) war die Kopfbeweglichkeit endlagig eingeschränkt, die Muskulatur nicht verspannt. Die Frau klagte noch über Schmerzen im Hals-Nackengebiete. Es wurden ihr physikalische Behandlungen und schmerzstillende, entzündungshemmende, Medikamente verordnet.

Bei der ärztlichen Untersuchung (durch med. Sachverständigen) gab sie an, dass sie kurz nach dem Unfall Schwindelgefühl und Kopfschmerzen verspürt habe; sie habe den Kopf auch nur mehr eingeschränkt bewegen können. Während der ersten Tage nach dem Unfall habe sie wegen Kopf- und Nackenschmerzen Bettruhe eingehalten, etwa 14 Tage lang habe sie eine Schanzkrawatte getragen und rd. 4 Wochen sei sie im Krankenstand gewesen. Vorbeschwerden der Wirbelsäule wurden verneint.

Die physikalische Therapie (im Krankenstand durchgeführt) habe sehr zur Beschwerdenlinderung beigetragen.

Laut Bericht des medizinischen Sachverständigen:

Die Zerrung der Halswirbelsäule lässt sich aus den Beschwerdeangaben und dem Befund ableiten. Folgt man den Angaben der Frau über eine erhebliche Bewegungsschmerzhaftigkeit, so ist von einer 3 Tage überschreitenden Gesundheitsschädigung und Berufsunfähigkeit bei der Kindergartenhelferin auszugehen.

Da knapp 1 Woche nach dem Unfall die Kopfbeweglichkeit nur endlagig eingeschränkt war und auch keine Muskelverspannung festgestellt werden konnte, ist jedoch von einem kontinuierlich sich rückbildenden Beschwerdeverlauf auszugehen. Die Gesundheitsschädigung und Berufsunfähigkeit habe die 24 Tagesgrenze und auch die 10 Tagesgrenze nicht überschritten. Eine länger dauernde körperliche Schonung oder Ruhigstellung war jedenfalls aus ärztlicher Sicht nicht angezeigt; es wäre ihr gegen Ende der 2. Woche nach dem Unfall aus ärztlicher Sicht auch bereits wieder zumutbar gewesen ihren Beruf auszuüben. Der **asthenische** Körperbau der Frau ist aus ärztlicher Sicht geeignet das Auftreten einer Verletzung im HWS-Bereich zu begünstigen.

Es liegt auch die Ambulanzkarte vor, ausgestellt am Unfalltag, wo folgendes angeführt ist:

Peitschenschlagsyndrom, Hals frei beweglich, kein DS (Druckschmerz), keine Comocio, arbeitslos.

In Vorbereitung zur 1. Hauptverhandlung im Strafverfahren standen dem verkehrstechnischen Sachverständigen (dem Artikelverfasser) folgende Unterlagen zur Verfügung:

Volvo 360 GLE:

Besichtigungsbericht samt 4 Fotos in Original.

Aus dem Besichtigungsbericht ergab sich, dass bei einem Zeitwert von € 654,-- (ATS 9.000,--) die Reparaturkosten inklusive Mehrwertsteuer ca. € 2108,-- (ATS 29.000,--) ausgemacht hätten, sodass beim Volvo ein wirtschaftlicher Totalschaden eingetreten war.

Detaillierung laut dem Besichtigungsbericht:

- Stoßstange hinten plus Träger,
- 2 Stützen hinten,
- Seitenteil links richten – 4 Stunden,
- Heckteilunterteil ersetzen,
- Kofferboden richten – 1 Stunde,
- Heckleuchte links ersetzen,
- Auspufftopf hinten ersetzen.

Für die Unfallrekonstruktion wurde ein Datenblatt verwendet, dort - grob abgeschätzt - die Kontaktsuren eingezeichnet, wobei es sich nicht exakt um das gleiche Modell handelt.

Betreffend der vergleichweisen Schäden zu einem Versuch wurde ein Volvo 440 genommen (kein anderer verfügbar) und dieser für Vergleichszwecke herangezogen.

Aus der Unfallsanzeige der Polizei ergab sich folgendes:

Heck stark eingedrückt, Fahrgestell verzogen, Totalschaden.

VW Passat – Auffahrender:

Aus der Unfallsanzeige ergab sich folgendes:

Komplette Front stark eingedrückt, vermutlich Totalschaden.

Aus dem internationalen Unfallbericht ergab sich:

Rechter Scheinwerfer, Motordeckel.

Mit diesen Unterlagen war es erforderlich zur 1. Verhandlung ein Gutachten betreffend der Anstoßintensität vorzubereiten.

Die Angaben betreffend des VW Passat waren leider sehr dürftig.

In einer 2. Verhandlung wurden vom VW Passat Unterlagen vorgelegt, nämlich eine Reparaturrechnung und auch ein Lichtbild, sodass das Schadensbild dieses Fahrzeuges seinem $\Delta v_{(0=Kompression)}$ gegenübergestellt werden konnte.

Es wurde für jedes Fahrzeug sein $\Delta v_{Kompression}$ auf Grund seines Schadensbildes (seiner Deformationsarbeit_(0=Kompression)) berechnet.

Dann erfolgte eine Berechnung der Kollisionsgeschwindigkeit des auffahrenden Fahrzeuges (das davor befindliche Kfz steht) mittels einer Impulsrechnung (= Stoßrechnung) so, dass die gesamte Energieänderung in der Kompressionsphase beider Fahrzeuge zusammen gleich war der gesamten Deformationsarbeit beider Fahrzeuge in der Kompressionsphase.

Bei der 1. Verhandlung wurde folgendes ermittelt:

Laut Angabe – Beschädigungen am VW Passat:

Rechter Scheinwerfer kaputt, Motorhaube leicht aufgebogen gewesen, Kotflügel nicht beschädigt, Stoßfänger glaublich nicht beschädigt.

Es wurde in Handskizzen versucht die Kollisionsposition und die Unfallendstellung darstellen zu lassen, wobei der Lenker des auffahrenden Fahrzeuges angab, dass die Kollisionsposition seiner Ansicht nach auch die Endposition war, auch eine Verdrehung konnte er nicht wahrnehmen.

Er selbst musste eine Vollbremsung vornehmen, die noch bis zur Kollision wirksam wurde. Er konnte nach dem Unfall mit dem Fahrzeug weiter fahren.

Lenkerin des Volvo 360 – aufgefahrenes Fahrzeug:

Ihr Fahrzeug hatte keine Vorschäden. Sie blieb mit einer normalen Bremsung stehen, ist dort ca. 4 s gestanden. Ihr Auto wurde nicht sehr weit nach vorne gestoßen, es gab nur einen Ruck. In Endposition standen die Fahrzeuge nicht Blech an Blech, sie glaube aber nicht, dass sie zwischen den Autos hätte durchgehen können.

Beim Fahrzeug des anderen war die ganze Front eingedrückt. Sie glaube auch, dass der rechte Scheinwerfer kaputt war.

Von der Versicherung habe sie € 872,-- (ATS 12.000,--) bekommen (für das Auto Volvo), Schmerzensgeld habe sie € 1890,-- (ATS 26.000,--) bekommen.

Bei der nächsten (2.) Verhandlung wurden Reparaturrechnung einer autorisierten VW-Werkstätte (und VW Händler) und 1 Lichtbild betreffend des VW Passat vorgelegt. Aus der Reparaturrechnung ergab sich folgendes:

- 1.) - Dach ausgerichtet incl. Dachhimmel teilweise öffnen (offenbar war eine Dachfalte vorhanden gewesen),
- 2.) - Kotflügel plus Radhaus ausrichten,
- 3.) - Stoßfänger und Motorhaube ersetzt,
- 4.) - Schloßträger ersetzt.

Keine Längsträgerreparatur angeführt!

Für Position 1.) und 2.) wurden 6 Stunden Arbeitszeit verrechnet.

Weiters ergab sich, dass das Schadensbild praktisch so aussah, wie das Schadensbild des AZT-Reparaturtests (mit Ausnahme des Stoßfängers).

Betreffend der (offenbar vorhanden gewesenen) Stauchfalte ergibt sich, dass diese für einen größeren k-Faktor spricht, als in meinem Gutachten unterstellt wurde. Dieser k-Faktor wurde in meinem Gutachten deshalb im unteren Bereich genommen, da bei kleiner werdendem k-Faktor die dynamische Deformationstiefe kleiner, daraus die Kompressionszeit kleiner und weiters daraus die mittlere Karossenbeschleunigung größer, wird.

Die Dachfalte weist nicht darauf hin, dass die Anstoßintensität größer war, als errechnet, sondern weist darauf hin, dass der k-Faktor offensichtlich größer anzusetzen ist, also die dynamische Deformation größer war.

Daraus würde sich aber sinngemäß ergeben, dass die mittlere Karossenbeschleunigung des gestoßenen Fahrzeuges (Volvo) in der Kompressionsphase kleiner war, als rechnerisch von mir ermittelt wurde.

Es wurde in weiterer Folge in dieser 2. Verhandlung neuerlich gerechnet, woraus sich für den Volvo ca. 2,8 g mittlere Karossenbeschleunigung in der Kompressionsphase ergaben. Die maximale bleibende Deformation des VW Passat wurde in der Verhandlung grob abgeschätzt mit 9 cm, $\Delta v_{\text{Kompression}} - \text{Kfz gegen Kfz}$ – für den VW Passat mit ungefähr 10 km/h genommen.

Der ermittelte Wert von 2,8 g liegt eindeutig unter 3 g (Broschüre der Gesellschaft der Gutachterärzte Österreichs – Untersuchung des Allianz-Zentrums München).

Bevor noch das Lichtbild betreffend der Unfallschäden des VW Passat vorlag, wurde aus dem Datenblattvergleich heraus ermittelt, dass offensichtlich der VW Passat mit Vollbremsung, das heißt, voll abgesenkt, gegen den Volvo gestoßen war, was dann auch durch das Lichtbild des VW bestätigt wurde.

Bei der effektiven Kollisionsgeschwindigkeitsangabe ist das entsprechende $\Delta v_{\text{Bremsung}}$ durch die Bremsung in der Kollisionsphase des auffahrenden Fahrzeuges zur Kollisionsgeschwindigkeit dazuzurechnen. Einerseits wird die Kollisionsgeschwindigkeit etwas größer, andererseits wird der g-Wert für die gestoßene Karosse entsprechend größer, weil die Kompressionszeit kleiner wird.

Diese Vollabsenkung des VW Passat lag nur dann vor, wenn das Heck des Volvo im Ruhezustand war (dieser Stillstand des Volvos wurde von dieser Fahrzeuglenkerin auch angegeben).

Die Stoßantriebsrichtung wurde grob abgeschätzt angesetzt. Die sich daraus errechnete Rotation für die beiden Fahrzeuge ist gegenüber den Angaben der Unfallfahrzeuglenker zu groß; es lag somit keine Rotation vor.

Für das Beispiel wird aber diese Rotation beibehalten, um auch die Rotation bei der Ermittlung der Insassenbelastung für das gestoßene Fahrzeug mitverwenden zu können.

Das heißt aber weiters, dass die mittlere Karossenbeschleunigung in der Kompressionsphase, gerechnet mit der Rotation, etwas zu groß ist, gegenüber der Tatsache, dass die Rotation nicht vorgelegen hat.

Bei allen Überlegungen wird aber immer der obere Bereich gesucht, um davon auszugehen, dass die HWS (Halswirbelsäule) - Verletzung nicht nachzuweisen bzw. zu erwarten ist, sondern das Gegenteil zu beweisen ist; nämlich, ob sie eingetreten sein konnte oder nicht.

Dies alles bei einer durchschnittlich definierten Person, ohne oder ohne wesentlicher körperlicher relevanter Vorschädigungen und unter optimalen Voraussetzungen.

Bei der Insassenbelastung wird nur in einer Ebene Translation und Rotation zusammengesetzt.

Genaugenommen wäre dies 3-dimensional, nämlich auch in Hochachsenrichtung zu sehen, und auch noch die Rotation des Oberkörpers um die Körperquerachse zu berücksichtigen.

Dies wird hier allerdings nicht betrachtet.

Betreffend des Ansatzens der Karosserie-Steifigkeitszahl für die Berechnung der Deformationsarbeit ist darauf hinzuweisen, wie dies in meiner Steifigkeitszahl-Liste angeführt ist, dass bei den Werten der AZT-Versuche (dies sind die Reparatur-Crashversuche des Allianz-Zentrums für Technik, München-Ismaning) entsprechende Abschlüsse vorzunehmen sind, weil dort gegen eine starre feste Barriere über volle Fronthöhe gestoßen wird.

Diese AZT-Versuche (für Front, Heck und Seite) werden jährlich von EurotaxGlass's zum Kauf angeboten.

Es ist weiters mit Datenblättern zu prüfen, wie die Deformation im gegenständlichen Fall erfolgte, und zwar ist es bei Vollbremsungen von Bedeutung, ob der Stoßfänger unterhalb oder oberhalb des anderen Stoßfängers gerutscht ist oder nicht, ob der Stoßfänger des stoßenden Fahrzeuges das andere Fahrzeug praktisch gar nicht so richtig getroffen hat. Die Steifigkeitszahl ist dementsprechend zu korrigieren.

Dies ist auch bei Betrachtung der Schadensbilder zu berücksichtigen, ob die Stoßstange soweit zurückgestaucht ist, wie lt. AZT-Versuch oder nicht. Die maximale bleibende Deformation – Auswertung AZT-Versuch – wurde dort gemessen, wo sie am größten war und, z.B. beim VW Passat, ist dies die Stoßstange.

Zu achten ist darauf, ob es zu einer entsprechenden Hubbewegung des Fahrzeuges gekommen ist oder nicht und ist dies zu überprüfen mit den Verletzungen, da fallweise in den Ambulanzkarten auch "Stauchung" angegeben wird.

Im Volvo befand sich noch ein Beifahrer (rechts vorne), 1,83 m groß; dieser wurde nicht verletzt.

Angegeben wurde, dass die Kopfstützen des Volvo einstellbar wären und ordnungsgemäß eingestellt waren. Die Kopfstützenart ist aus den Lichtbildern ersichtlich.

Der k-Faktor mit 0,40 wurde einerseits genommen als ungefährender Mittelwert zwischen den AZT-Versuchen (Volvo – $k = 0,52$, VW – $k = 0,20$), andererseits wurde überlegt, dass die Kollisionsgeschwindigkeit bzw. $\Delta v_{\text{Kompression}}$ etwas kleiner sein wird, als bei den dortigen Versuchen, da dort mit starren Barrieren getestet wurde.

Betreffend der Bewegungsrichtung der Lenkerin des Volvo wird die Bewegung relativ zum Fahrzeuginnenraum in der 1.Phase im Datenblatt des Volvo (im Anhang in Farbe) dargestellt.

Für die Bewegungsrichtung in der 2.Phase ist natürlich die Muskelanspannung bzw. allenfalls bewusste Richtungsänderungen des Insassen von Bedeutung. Für die theoretische Abhandlung ist es erforderlich dies mit dem Fahrzeugmodell darzustellen, um auch die Rotation des Fahrzeuges zuzüglich zur Translation zu jenem Zeitpunkt berücksichtigt zu haben, wenn sich der Körper, im gegenständlichen Fall der des Insassen im gestoßenen Fahrzeug, in der 2.Phase nach vor, bewegt.

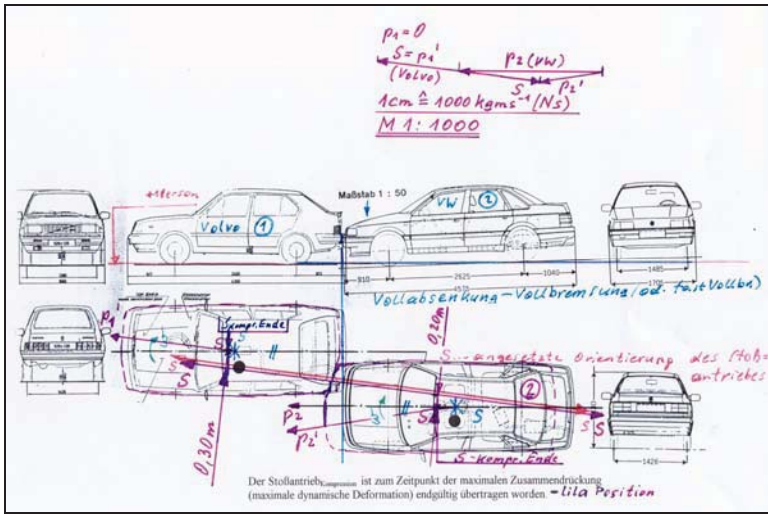


BILD 25

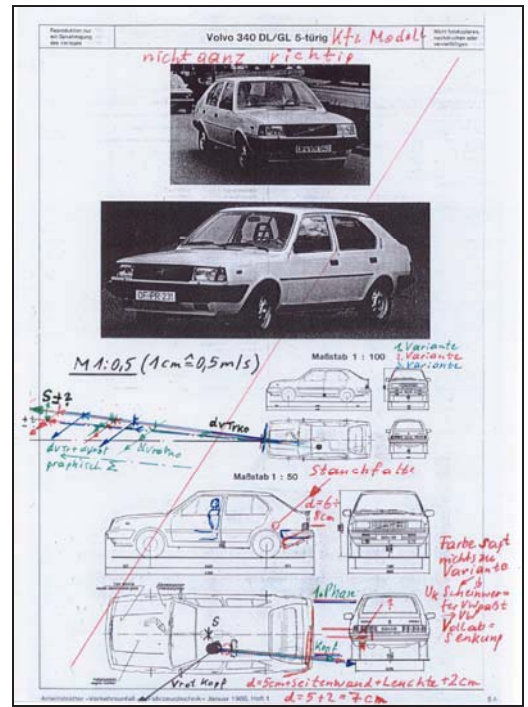


BILD 26



Schadensbild des gegenständlichen Unfall-Kfz Volvo


BILD 27

eurotax	
TEST-REPORT	
VOLVO 440 1117/30	
Datum/Date/Date/Data/Fecha:	6.10.88
Versuchsnr./Test N°/Número du test/No. della prova/Numero de prueba:	516/88
Fahrzeug-Typ/Vehicle Type/Type de véhicule/ Tipo di veicolo/Tipo de vehículo:	Volvo 440 1117/30
AZT-Nr.:	814
Heckaufprall/Rear impact crash/Choc arrière/ Urto della parte posteriore/Impacto en la parte trasera:	40% Offset
Aufprallgeschwindigkeit/Crash speed/Vitesse du choc/ Velocità d'urto/Velocidad de impacto:	15,4 km/h
Dyn. Gesamtdéformation/Dynamic total deformation/Déformation totale dynamique/ Deformazione totale dinamica/Deformación total dinámica:	115 mm
	<i>11.9 55 21211</i>
	
<small>Research: Allianz-Zentrum für Technik GmbH</small>	

Volvo 440_1117_30_AZT814_1988_H

BILD 28a

Schadensbild eines Volvo aus dem Reparatur-Crashversuch des AZT (Allianz-Zentrum für Technik - München-Ismaning)

eurotax	
TEST-REPORT	
VOLVO 440 1117/30	
Datum/Date/Date/Data/Fecha:	6.10.88
Versuchsnr./Test N°/Número du test/No. della prova/Numero de prueba:	516/88
	
<small>Research: Allianz-Zentrum für Technik GmbH</small>	

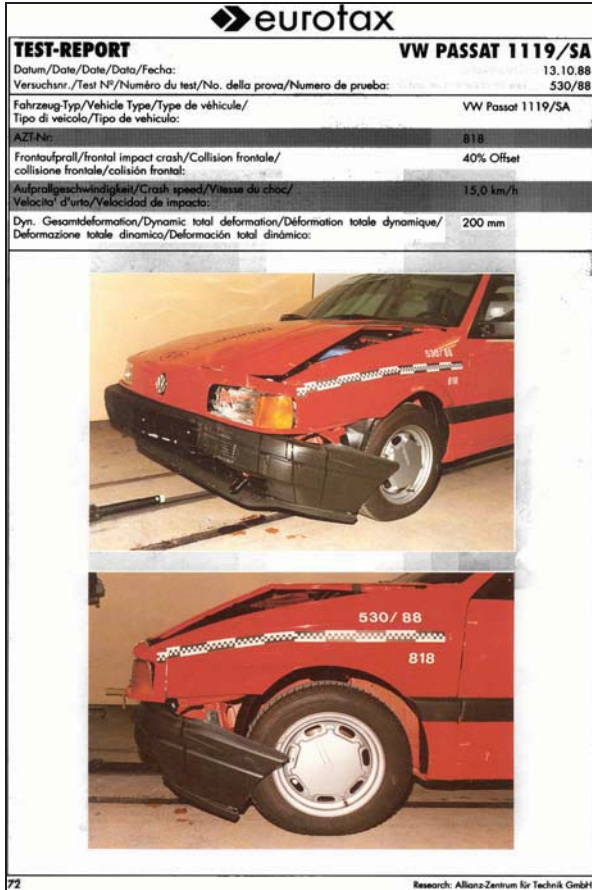
Volvo 440_1117_30_AZT814_1988_H1

BILD 28b



Schadensbild des gegenständlichen Unfall-Kfz VW Passat

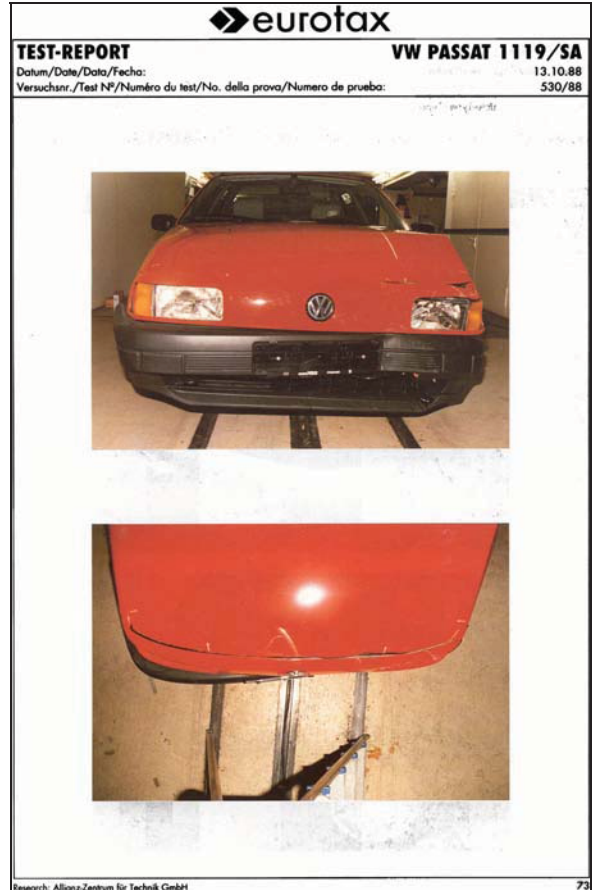
BILD 29



VW Passat 1119_SA_AZT818_1988_F

BILD 30a

Schadensbild eines VW Passat aus dem Reparatur-Crashversuch des AZT (Allianz-Zentrum für Technik - München-Ismaning)



VW Passat 1119_SA_AZT818_1988_F1

BILD 30b

Auszug aus meiner Steifigkeitszahl- und Kraftzahlliste:

C-Zahl (Steifigkeitszahl) - System

[KN/m] C₁, C_{10-F, H}, Alternativzahl C_{unecht} und C_{dyn}: „unechte“ Steifigkeitszahl; C_{dyn}: „echte“ Steifigkeitszahl
 Δv aus Def. Arbeit nach Berücksichtigung der Deformationsarbeit der deformierbaren Wägen oder anderen Deformationselementen
 + C 600 { } / 794 / 573 / 434 (1000 kg) -- Kfz Masse [kg]
 + F= 102, / 134,9 / 114,7 / 86,85 [kN] bei: d = 0,1701034 m, d_{dyn} = 0,2001217 m
 x F 15 [] (0,0 R₁) {k₀} / 17,3(0,15 R₁) / - / 15 (0,0/0,15R₁) / k₀(Δv_{Restit}) ≤ ... (?) 12/92 -- Testjahr(-Monat)- bzw. Baujahr bzw. Modelljahr Kfz
 Front | k-Faktor | Rotationsenergie | Kompression | k-Faktor für dieses C_{dyn}
 Δv [km/h] (Geschw. Änderung aus Translation) (Kompression bzw. gesamt)
 + Dr. Dipl. Ing. Heinz BURG ° Berichtigungen ab dem 27.04.2001
 x Werte aus Auswertung Reparatur-Crash-Test Allianz Zentrum München(AZT) /Eurotax : Werte aus Seminar Prof. Slibar

- Volvo 440** x C 3000 /-/ m.Sch./- / 690 (1180 kg) 5-tür, Δv f. Offs. 40%
 H 7,1(0) / 10,8(0,52) / - / 7,1(0/0,52) C_{dyn} / 10/88, Mod 1117/30
- VW Passat** x C 1840 /-/ m.Sch./- / 1180 (1360 kg), Δv f. Offs. 40%
- Stufenheck** F 15,0(0) / 18,0(0,20) / - / 15,0(0/0,20) C_{dyn} / 10/88 Mod 1119/SA
- III:4/1988-9/1993**

Zur Demonstration der Unterschiede in den C-Zahlen, bei der Ermittlung der abschnittswiseen C_{dyn}-Zahl aus der Umwandlung der a/t-Versuchskurve des AZT, sowie Angabe der C_{10-F, H}-Zahl:

**VW Passat
 Stufenheck
 V: ab 9/1996**

x C 27860 {1784} /-/ m.Sch./- / 1645 (1443 kg) x_{BeschlKompr} = 1,42/1,37, a_{max} = 7,6 li / 7,1 re [g], Test 1027
 F 15,9 (0) (0,04) / 27,9(0,76) / - / 15,9 (0/0,76/k₀(Δv_{Restit}) ≤ 0,04?) C_{dyn} / 2/97, Mod. 1.8 T Stufe, 4-tür, Δv f. Offs. 40%
 x C_{dyn} / 1720,4 / 4106 / 2778,6 / 2374,6 / 2120 / 1850 / 1600 / 1644,4 /
 F / 3,9(0?) / 6,8(0?) / 8,4(0?) / 10,3(0?) / 12,2(0?) / 13,7(0?) / 14,8(0?) / 15,9(0?) /
 bei Δv für Offset 40% - d_{dyn} [cm] / 3,9 - 2,5 / 6,8 - 5 / 8,4 - 7,5 / 10,3 - 10 / 12,2 - 12,5 / 13,7 - 15 / 14,8 - 17,5 / 15,9 - 18,5 / d_{Offset} = 4,5 cm /
 d_{Offset} ≥ 17,8 cm. Test 979, Offset 40 % C-Werte x 2 genommen, Δv f. Offset 40%. Umwandlung der Meßkurve a/t in a/s_{SchwerpunktKfz-dyn} Werte.
Die Werte C_{dyn} und Δv gelten nur bei dieser Rammgeschwindigkeit (größter Δv₀ Wert) und nur bei diesem k-Faktor (aus Versuch)

BILD 31

Die vollständigen Berechnungen der Varianten 1, 2 und 3, meines Berechnungsbeispiels, können in meinem Wissenschaftsbericht nachgelesen werden.

VOLVO 360 GLE (Gestoßener)

VW PASSAT III 35P, GL (Stoßender)

KFZ 1

KFZ 2



Alle Berechnungen ohne jeglicher Abbremsung, ohne jeglicher Reifenschlupfverzögerung (reine Stoßberechnung).

Musterberechnung ohne Rotation und als Vollstoß gerechnet (Berechnungsvarianten siehe in meinem dazugehörigen Wissenschaftsbericht).

<p>2 Personen 1070</p> <p>Beladung Unfallmasse [kg] Bereifung:</p>	<p>1 Person 1300 4 M+S Reifen</p>												
<p>Aus meiner C – Liste (Steifigkeitszahlliste) ergibt sich die C-Zahl [kN/m]:</p>													
<p>Volvo 440 x C_{H7,1(0)} 3 000/-/-/690 (1180 kg)</p> <p style="margin-left: 40px;">C' C' unecht C'' C'' dyn</p> <p>x – Werte sind für volle Überdeckung hier bei den x-Werten: ca. 0,6 m Lichtraumprofilüberdeckung Bei ca. 1,70 m Kfz-Breite sind dies 34 % Überdeckung schon etwas zu groß.</p>	<p>VW Passat III x C_{F15,0(0)} 1 840/-/-/1 180(1360 kg)</p> <p style="margin-left: 40px;">C' C' unecht C'' C'' dyn</p> <p>→ deshalb hier 50 % davon → tatsächliche Überdeckung auf Kontaktstelle: 0,50 m → falls Offset Wert Test 40 % genommen -</p>												
<p>C_H' 100 % = 3 000 kN/m 50 % = 1 500 kN/m minus 1/4, da starre Barriere <u>C_H' = 1 125 kN/m</u></p>	<p>C_F' 100 % = 1 840 kN/m 50 % = 920 kN/m minus 1/3, da feste Wand <u>C_F' = 613 kN/m</u> da Stoßfänger nicht voll getroffen – C_F' wäre < anzusetzen. Aber da Δv₍₀₎ Bereich hier < als 15 km/h ist, wird deshalb C_F' > angesetzt.</p>												
<p>Steifigkeitszahlwert C_F' [kN/m]:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Variante:</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C_F' [kN/m]</td> <td>1 200</td> <td>800</td> <td>900</td> </tr> <tr> <td>(praktisch doppelt so groß wie aus AZT Versuch ableitbar)</td> <td></td> <td></td> <td>ergibt größeren g-Wert bei C' ></td> </tr> </tbody> </table>		Variante:	1	2	3	C _F ' [kN/m]	1 200	800	900	(praktisch doppelt so groß wie aus AZT Versuch ableitbar)			ergibt größeren g-Wert bei C' >
Variante:	1	2	3										
C _F ' [kN/m]	1 200	800	900										
(praktisch doppelt so groß wie aus AZT Versuch ableitbar)			ergibt größeren g-Wert bei C' >										
<p>maximale bleibende Deformationstiefe: aus Fotos mit Datenblattauswertung: d₁ = 0,07 m C' = $\frac{m \cdot \Delta v_{(0)=\text{Kompression}}^2}{d^2}$ [N/m]</p> <p>$\Rightarrow \Delta v_{1\text{Kompression}} = \sqrt{\frac{C_1' [N/m] \cdot d_1^2 [m^2]}{m_1 [kg]}}$ [m/s]</p> <p>$\Rightarrow \Delta v_{1\text{Kompression}} = \sqrt{\frac{1126 \cdot 1000 \cdot 0,07^2}{1070}} = \underline{2,271 \text{ m/s}}$ =^ <u>8,2 km/h</u></p>	<p>d [m]</p> <p>d₂ = 0,10 m</p> <p>$\Rightarrow \Delta v_{2\text{Kompression}} = \sqrt{\frac{C_2' [N/m] \cdot d_2^2 [m^2]}{m_2 [kg]}}$ [m/s]</p> <p>$\Rightarrow \Delta v_{2\text{Kompression}} = \sqrt{\frac{900 \cdot 1000 \cdot 0,10^2}{1300}} = \underline{2,631 \text{ m/s}}$ =^ <u>9,5 km/h</u></p>												

$$= \frac{m \cdot \Delta v_{1(0)}^2}{2} = \frac{1070 \cdot 2,271^2}{2} = W_{\text{Def Kompression}} [\text{Nm}] = \frac{m \cdot \Delta v_{2(0)}^2}{2} = \frac{1300 \cdot 2,631^2}{2}$$

$$= \underline{2\,758,9 \text{ Nm}} \qquad \qquad \qquad = \underline{4\,500 \text{ Nm}}$$

$$W_{\text{DeformationKompressionBeideKfz}} [\text{Nm}] = 2\,758,9 + 4\,500 = \underline{7\,258,9 \text{ Nm}} = \Delta E_{\text{KompressionBeideKfz}}$$

$$v_{1 \text{ Kollision}} = 0,00 \text{ m/s}$$

$$\Delta v_{(0)} = 2,27 \text{ m/s} = \Delta v_{1(0)}$$

$$\Delta v_{(0)} = 2,63 \text{ m/s} = \Delta v_{2(0)}$$

$\Delta v_{(0) = \text{Kompression}}$ [m/s] - aus der C`Zahl - Karosseriesteifigkeitszahl - errechnet.

$$\Delta v_{1 \text{ ges}} = (1+k) \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_{\text{Kollisionrelativ}} [\text{m/s}]$$

$$v_{\text{Kollisionrelativ}} [\text{m/s}] = \frac{\Delta v_{1(0 = \text{Kompression})} \cdot (m_1 + m_2)}{m_2}$$

$$\Delta v_{2(0) = \text{Kompression}} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_{\text{Kollisionrelativ}}$$

..... dies, falls jedes der beiden Kfz in seinem Schadensbild sein $\Delta v_{\text{Kompression}}$ hat.

Hier (bei dieser Variante 3) wird aber über die Gesamtenergieänderung in der Kompressionsphase gerechnet.

VARIANTE 3

mit Rotation

Nach dem Vorliegen des Fotos des VW bei der 2. Verhandlung wurde von mir d_2 neu geschätzt und daraus $\Delta v_{2(0)}$ neu abgeschätzt.

Der Schaden schaut praktisch gleich aus wie jenem beim AZT-Test, aber der Stoßfänger ist gegenüber dem AZT-Test praktisch kaum zurückgestaucht ! $\rightarrow W_{\text{Def}(0)}$ entsprechend <

Die Werte der Deformations-Arbeit (des Kfz 1 - $W_{\text{DeformationKompression}}$)

bleiben gleich, wie bei der Variante 1, = Variante 2.

$$C_F' = 900 \text{ kN/m}$$

d_2 ca. 0,09 m, aus Foto abgeschätzt

$$\Delta W_{\text{DeformationKompression}} \text{ aus } C' = \underline{2\,758,9 \text{ Nm}}$$

Die restliche Def.Arbeit auf $\Delta v_{1(0)}$ hat der VW übernommen.

Den k-Faktor trotz Dachfalte (eher $k >$ anzusetzen) mit 0,40 beibehalten

da eventuell $\Delta v_{2(0)}$ ca. 10 km/h auch noch vorstellbar ist, wurde $d_2 >$ genommen \rightarrow

$$d_2 = 0,10 \text{ m} \rightarrow \Delta v_{2(0)} = \underline{2,63 \text{ m/s}} = \underline{9,5 \text{ km/h}}$$

Aus mehreren Impulsberechnungen unter Abstimmen von $W_{\text{DeformationKompressionGesamt-beide Kfz}}$ ergibt sich

$$v_{\text{KollisionKfz 2}} = \underline{4,974 \text{ m/s}} = \underline{17,9 \text{ km/h}} \approx \underline{18 \text{ km/h}} \text{ "ohne } \Delta v_{2 \text{ Brems}} \text{".}$$

Dies für $\Delta E_{\text{gesamtKompressionTranslation}} = \Delta W_{\text{gesamtKompression}} \cdot E \dots$ Energie, $W \dots$ Deformations-Arbeit.

	als z.B.: C_F [kN/m]	d_2 [m]	$\Delta v_{2(0)}$ [km/h!]
	600	0,09	6,95
	600	0,10	7,70
	600	0,12	9,30
	600	0,14	10,80
$v_{\text{Kollision1}} = 0,00 \text{ m/s} = \underline{0,00 \text{ km/h}}$			$v_{\text{Kollision2}} = 4,974 \text{ m/s} = \underline{17,9 \text{ km/h}}$
$v_1' = 3,819696 \text{ m/s}$			$v_2' = 1,830096 \text{ m/s}$
$v'g = 2,73 \text{ m/s}$			$v'g = 2,73 \text{ m/s}$
$\Delta v_{1\text{ges}} = 3,82 \text{ m/s}$			$\Delta v_{2\text{ges}} = 3,143904 \text{ m/s}$
Stoßantrieb $S_{\text{gesamt1}} = m_1 \cdot \Delta v_{1\text{ges}} = 1070 \cdot 3,819696 = 4087 \text{ Ns}$			Stoßantrieb $S_{\text{gesamt2}} = m_2 \cdot \Delta v_{2\text{ges}} = 1300 \cdot 3,143904 = 4087 \text{ Ns}$
Stoßantrieb $S_{\text{gesamt1}} = \text{Stoßantrieb } S_{\text{gesamt2}} = 4087 \text{ Ns}$ bei	ebenem Stoß.		

Aus der Impuls- (= Stoß-) rechnerung folgt bei $v_{\text{Kollision2}} = 4,974 \text{ m/s} = \underline{17,9 \text{ km/h}}$:

Dies für $\Delta E_{\text{gesamtKompressionTranslation}} = \Delta W_{\text{gesamtKompression}}$	E Energie.	W Deformations-Arbeit.
$\Delta v_{1(0) = \text{Kompression}} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_{\text{Kollisionrelativ}}$	$\Delta v_{2(0) = \text{Kompression}} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_{\text{Kollisionrelativ}}$	
$= \frac{1300}{1070 + 1300} \cdot 4,974 = \frac{1300}{2370} \cdot 4,974 = \underline{2,728 \text{ m/s}}$	$= \frac{1070}{1070 + 1300} \cdot 4,974 = \frac{1070}{2370} \cdot 4,974 = \underline{2,246 \text{ m/s}}$	
$\Delta v_{1\text{ges}} = (1+k) \cdot \Delta v_{1(0) = \text{Kompression}} = (1+0,4) \cdot 2,728 = \underline{3,82 \text{ m/s}}$	$\Delta v_{2\text{ges}} = (1+k) \cdot \Delta v_{2(0) = \text{Kompression}} = (1+0,4) \cdot 2,246 = \underline{3,14 \text{ m/s}}$	
$\Delta E_{\text{Kompression}} [\text{Nm}] = \frac{m \cdot \Delta v_{1(0)}^2}{2} = \frac{1070 \cdot 2,728^2}{2} = \underline{3\ 981 \text{ Nm}}$	$= \frac{m \cdot \Delta v_{2(0)}^2}{2} = \frac{1300 \cdot 2,246^2}{2} = \underline{3\ 279 \text{ Nm}}$	

$\Delta E_{\text{KompressionBeideKfz aus Impulsrechnerung}} [\text{Nm}] = 3\ 981 + 3\ 279 = \underline{7\ 260 \text{ Nm}}$

$W_{\text{DeformationKompressionBeideKfz}} [\text{Nm}] = 2\ 759 + 4\ 500 = \underline{7\ 259 \text{ Nm}}$

Somit ergibt sich, dass $\Delta E_{\text{KompressionBeideKfz aus Impulsrechnerung}} [\text{Nm}]$ gleich ist dem $W_{\text{DeformationKompressionBeideKfz}} [\text{Nm}] = 7\ 260 \text{ Nm}$.

INSASSENBELASTUNG der Lenkerin des Volvo
(Person links vorne – gestoßenes Kfz - Volvo ungebremst)

Variante 3			
Stoßantrieb S_{ges} [Ns]			4 087 Ns
daraus $\Delta v_{1(0 = \text{Kompression}) \text{ Translation}}$ [m/s] $= \frac{S_{\text{ges}}}{m_1 \cdot (1+k)}$			2,73 m/s
$\Delta v_{\text{Restitution}}$ [m/s] (= $\Delta v_{1(0)} \cdot k$)			1,09 m/s
$\omega_{1 \text{ Kompression}}$ [s^{-1}] $= \frac{\omega_{1 \text{ ges}}}{(1+k)}$			0,571 s^{-1}
$\omega_{\text{Restitution}}$ [s^{-1}] (= $\omega_{1 \text{ Kompression}} \cdot k$)			0,229 s^{-1}
d_{ges} (beide Kfz) [m] =			0,07 + 0,10 = <u>0,17 m</u>
$d_{\text{dyn ges}}$ (beide Kfz) [m] = $\frac{d_{\text{ges}}(\text{beide Kfz})}{(1-k)}$			$\frac{0,17}{(1-0,4)} = \underline{0,28333 \text{ m}}$
ungebremst :			
v_2 Kollision [m/s]			4,974 m/s
[km/h]			17,91 km/h, ca. 18 km/h
$v_{1(0 = \text{Kompression})}$ [m/s] = $\Delta v_{1(0 = \text{Kompression})} = v'g$			2,73 m/s
$v_{1 \text{ gesamt}}$ [m/s]			3,82 m/s
$\Delta t_{\text{Kompression}}$ [s] = $\frac{d_{\text{dyn ges}}(\text{beide Kfz})}{v_2 \text{ Kollision}} = \frac{d_{\text{dyn ges}}(\text{beide Kfz}) \cdot 2}{v_2 \text{ Kollision}}$			$\frac{0,28333 \cdot 2}{4,974} = \underline{0,11392 \text{ s}}$
(Formel gilt nur, wenn $v_{1 \text{ Kollision}} = 0,00$ ist - so angesetzt – und ein exakter			linearer Vollstoß vorliegt!)

TABELLE 2

alles ungebremst - Volvo - Variante: 3	Werte für den Lenkersitz des Volvos (inklusive der Rotation)
$a_m 1$ (Kompression), nur aus Translation $= \frac{\Delta v_{1(0) \text{ Kompression}}}{\Delta t_{\text{Kompression}} \cdot 9,81}$ [g]	$\frac{2,73}{0,11392 \cdot 9,81} = \hat{=} 2,44 \text{ g}$
$a_m 2$ (Restitution), nur aus Translation $= \frac{\Delta v_{1 \text{ Restitution}}}{\Delta t_{\text{Restitution}} \cdot 9,81}$ (bei ungebremst: $\Delta t_{\text{Restitution}} = \Delta t_{\text{Kompression}}$) [g]	$\frac{1,09}{0,11392 \cdot 9,81} = \hat{=} 0,98 \text{ g}$
$a_m 3$ (gesamt), nur aus Translation [g] $= \frac{\Delta v_{1 \text{ gesamt}} (= \Delta v_{1(0) \text{ Kompression}} + \Delta v_{1 \text{ Restitution}})}{\Delta t_{\text{gesamt}} (= \text{Kompression} + \text{Restitution}) \cdot 9,81}$	$\frac{2,73 + 1,09}{(2 \cdot 0,11392) \cdot 9,81} = \hat{=} 1,71 \text{ g}$
$v_{\text{rotation Kopf}} = \omega_1 \cdot e$ [m/s] $v_{\text{rotation Kompression Kopf}} = \omega_{1 \text{ Kompression}} \cdot e$ [m/s] $v_{\text{rotation Restitution Kopf}} = \omega_{1 \text{ Restitution}} \cdot e$ [m/s]	$0,571 \cdot 0,3 = 0,17 \text{ m/s}$ $0,229 \cdot 0,3 = 0,07 \text{ m/s}$
aus grafischer Zusammensetzung im Datenblatt (bezogen auf die Sitz- = Kopfposition) $\Delta v_{1 \text{ Translation}} + \Delta v_{1 \text{ Rotation}}$ ergibt sich: Kompression: [m/s] Restitution: [m/s]	$2,84$ (in blauer Farbe in Bild 26) $1,11$ (in blauer Farbe in Bild 26)
bei Beibehaltung der Zeiten aus $\Delta v_{\text{Translation}}$:	
$a_m 1 \Delta v_{\text{Translation} + \text{Rotation (Kompression)}}$ [g]	$\frac{2,84}{0,11392 \cdot 9,81} = \hat{=} 2,54 \text{ g}$
$a_m 2 \Delta v_{\text{Translation} + \text{Rotation (Restitution)}}$ [g]	$\frac{1,11}{0,11392 \cdot 9,81} = \hat{=} 0,99 \text{ g}$
<p>Kontrolle über $a_m 1$, ob $\Delta v_{\text{res Kopf Kompr.}}$ bis Kopfanstoß gg. Kopfstütze aus s_{rel} zwischen Kopf und Kopfstütze auch erreicht werden kann.</p> <p>Auf allfällige Zerlegung in Komponenten senkrecht zur Aufprallstelle und parallel dazu wird verwiesen. v_{\perp} ist < ! Ohne Rotation Körper und Kopf.</p> <p>Unter Ansatz, dass $a_m 1, 2, 3$ des Karossenschwerpunktes gleich ist dem $a_m 1, 2, 3$ Körper und Kopf. <u>z.B. s (= Δs) = 0,20 m</u></p> <p><u>Bei Anstoß eines Körperteiles des Insassen gegen den Fahrzeuginnenraum:</u> Eventuell ist der Zeitversatz zwischen Kollisionsbeginn des Kfzs und Bewegungsbeginn des Insassen zu berücksichtigen.</p>	$v = \sqrt{2 \cdot a_m 1 \cdot \Delta s + v_{\text{Trans} + \text{Rot}}^2 \cdot \Delta s}$ $= \sqrt{2 \cdot 2,54 \cdot 9,81 \cdot 0,20} =$ $= 3,16 \text{ m/s}$ <p>dieser Wert ist > 2,84 m/s</p> <hr/> $\rightarrow \sqrt{2 \cdot 2,54 \cdot 9,81 \cdot 0,10} =$ $= 2,23 \text{ m/s}$ <p>dieser Wert ist < 2,84 m/s, d.h. $\Delta v_{(0) \text{ Tr} + \text{Rot}}$ wird bis Kopfanstoß gegen die Kopfstütze nicht erreicht !</p>

TABELLE 3

ZUSAMMENFASSUNG:

über:

a_m 1 [g]... mittlere Karossenbeschleunigung in der Kompressionsphase (die Kompressionsphase ist mit dem Index 1 versehen) **für das gestoßene Fahrzeug (Volvo), bezogen auf die Sitzposition der Lenkerin (Kopf), links vorne im Volvo sitzend.**

Von Bedeutung ist nur a_m 1 (die Kompressionsphase).

Deshalb sind in der Aufstellung die g-Werte nur für die Kompressionsphase, und zwar für die graphische Zusammensetzung aus $\Delta v_{(0)Translation} + \Delta v_{(0)Rotation}$ bei einem k-Faktor = 0,40, eingesetzt.

	Variante 3	
	mit Rotation	ohne Rotation
beide ungebremst	2,54 g	2,44 g
Aufgefahrener (Volvo) ungebremst, Auffahrender (VW) Vollbremsung mit 7,0 m/s ²	2,90 g x	2,78 g
Aufgefahrener durch seinen Reifenschlupf gebremst – (mindest 2,5m/s ²) – Auffahrender Vollbremsung mit 7,0 m/s ² ; $\Delta v_{Translation+Rotation}$ wird durch Bremsung < (kleiner)	(2,84m/s → 2,58m/s) ■ 2,53 g	(2,728 m/s → 2,468 m/s) → $\Delta v_{Brems} = - 0,26$ m/s 2,42 g
v ₂ Kollision(VW) bei ungebremst [m/s] / [km/h]	4,974 / 18,0	4,974 / 18,0
v ₂ Kollision(VW) bei gebremst [m/s] / [km/h] - ergibt sich aus meinem Computerausdruck (dort ohne Rotation gerechnet) -	5,673 / 20,4 ← (Volvo ungebremst) →	5,673 / 20,4
Insassenbelastungsberechnung mit v _{2quer(VW)} [m/s]/[km/h] ergibt sich aus meinem Computerausdruck (dort ohne Rotation gerechnet) -	5,443 / 19,6 ← (Volvo gebremst mit - 2,5m/s ²) →	5,443 / 19,6
<p>x war mit 2,8 g mein Gutachtenswert, als Mittelwert zwischen 2,6 g und 3,1 g (Variante 1 und Variante 2). $2,6 + 3,1 = 5,7$ g; : 2 = <u>2,85 g</u> ■ Dieser Wert mit <u>2,50 g</u> wäre, als dem Realgeschehen am nächsten kommender, zu nehmen.</p>		
<p>Aus Korrektur von Δv – da kein exakter linearer Vollstoß vorliegt - würde folgen, dass die g-Werte um ca. 10 % zu verkleinern wären. Dies ist jedoch nur eingeschränkt zu sehen, da laut Berechnung der Wert a_m 1 gleich bleibt. Allerdings ist am Ende der rechnerischen Kompressionsphase keine gleiche Schwerpunktgeschwindigkeit gegeben - v_{S2} > v_{S1} - (näheres wie dort in meinem Bericht).</p> <p>Die Insassenbelastung ist in 3 Dimensionen (auch in Hochachsenrichtung) zu sehen.</p> <p>Da die Rotation beider Kfz tatsächlich wesentlich < war, die C_F'-Zahl etwas > angesetzt wurde und mit der Überlegung eines Mittelwertes für a_m 1 aus der Vollstoßrechnung gegenüber aus der Korrektur wegen der Energiebilanz ergibt sich ein gewisser Sicherheitsfaktor (a_m 1 tatsächlich etwas <).</p> <p><u>Bei Anstoß eines Körperteiles des Insassen gegen den Fahrzeuginnenraum:</u> Eventuell ist der Zeitversatz zwischen Kollisionsbeginn des Kfzs und Bewegungsbeginn des Insassen zu berücksichtigen.</p>		

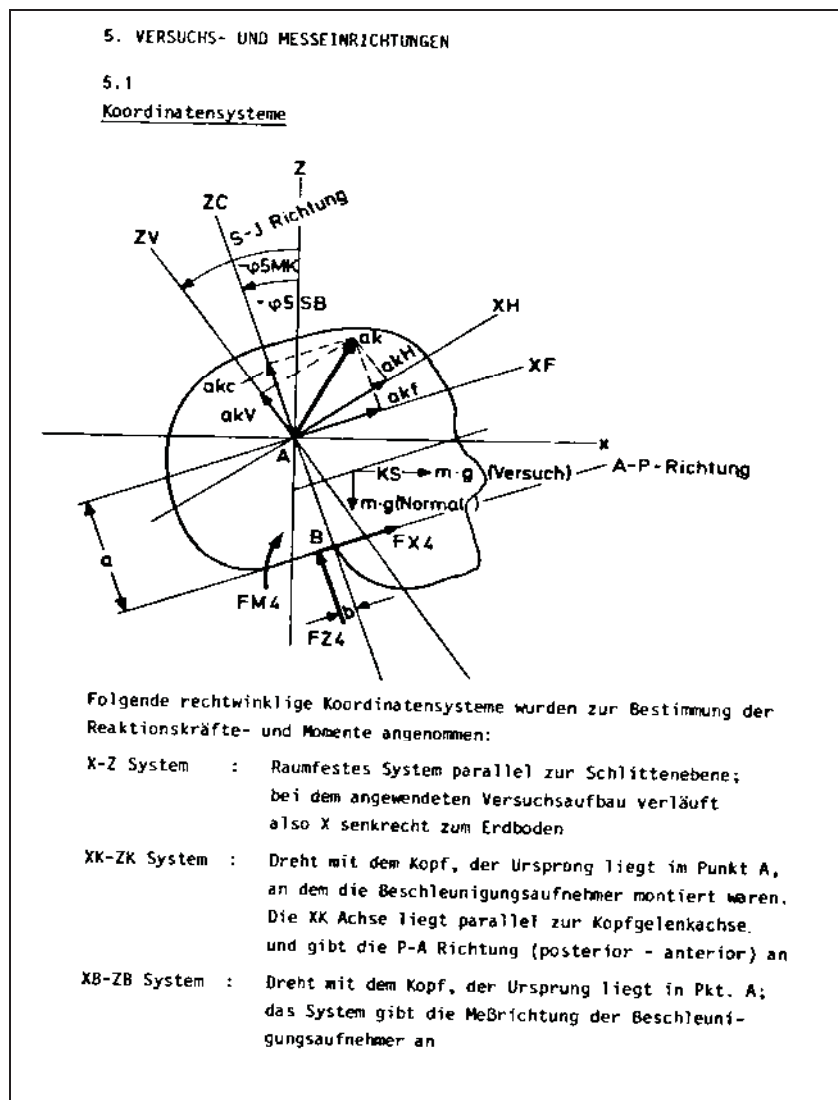
TABELLE 4

Auszug aus der Broschüre:

„Zur Verletzungsmechanik der Halswirbelsäule“

Dissertation von Diplom-Ingenieur Klaus Burow. TU Berlin 1974.

Zum Zeigen, wie komplex das Thema „Kopfbewegung aus technischer und biomechanischer Sicht“ zu betrachten ist, wird auszugsweise aus dieser Dissertation eine Übersichtsgrafik dargetan.



Computerbezeichnung: Burow4

Bild 33

Auszug aus dem VDI-Bericht: VDI-Z 112 (1970) Nr. 20 - Oktober (II):

„Auffahrunfälle mit und ohne Kopfstütze“

Von Dipl.-Ing. Wolfgang Lange und Dr. med. Peter Hinz.

Aus der folgenden Zusammenfassung ist zu ersehen, dass genau nach den textlichen Angaben vorzugehen ist.

Im Bild 34 - dort Vergleich des Bildes 12 (Versuch Nr. 16 - 'Oberkante Stütze über Augenhöhe +90 mm') mit dem Bild 18 (Versuch Nr. 7 - 'Oberkante Stütze über Augenhöhe -235 mm') - ist zu sehen, dass bei Bild 18 die maximale Helmbeschleunigung als negativer Wert etwas mehr als doppelt so groß ist, als bei Bild 12.

Daraus wird man eine gewisse Abhängigkeit zur Kopfstützeneinstellung ableiten können.

Dass dies auch so ist, ist aus dem Bild 4 ersichtlich. Die maximale Stoßbeschleunigung (Schlittenbeschleunigung) war überall ein vorgegebener Wert, genauso wie die mittlere Stoßform. Auf Höhe der Augen befindet sich ca. der Schwerpunkt des Kopfes.

Tafel 1. Tafel zur Versuchreihe „Schleudorträuma“.

Id. Nr.	Versuchs-Nr.	Sitz/Kopfstütze	Kopflänge		max. Stößbeschleunigung	Stoßdauer	End- \dot{V}_e (Beschleunigung)	Alter	Verletzung	Befund der Halswirbelsäule nach Versuch
			mm	mm						
1	I	A/o	174	-235	34,8	58	35,3	49	o	□
2	II	A/o	171	-165	33,8	55	35,3	58	++	■
3	III	A/o	170	-215	18,5	90	24,4	58	+	□
4	IV	A/o	169	-155	19,9	85	19,3	72	++	□
5	V	A/o	173	-170	29,1	97	37,3	54	o	□
6	VI	A/o	160	-250	23,4	86	32,3	52	o	□
7	VII	A/o	170	-236	25,0	113	31,5	34	o	□
8	VIII	A/o	184	-185	25,7	109	31,5	48	++	■
9	IX	A/o	160	-160	25,7	107	31,1	43	o	□
10	X	A/KII	175	-85	36,4	118	54,8	46	+	□
11	XI	A/KI	168	-20	38,3	111	53,8	48	+++	■
12	XII	A/KIII	175	+10	38,2	115	53,8	53	+++	■
13	XIII	B	163	-30	nicht auswertbar	82	+	+	o	□
14	XIV	C	169	+35	33,3	115	60,8	72	+	□
15	XV	C	172	-70	23,8	113	49,2	40	++	□
16	XVI	D	174	+90	34,9	116	48,8	70	+++	■
17	XVII	D	169	+60	34,9	118	50,8	66	+++	■
18	XVIII	E/EV	166	+130	24,9	114	50,5	68	+	□
19	XIX	F	155	-65	25,2	110	51,0	73	+	total
20	XX	Y	170	+90	24,3	113	48,3	70	++	□
21	XXI	D	163	keine Aufzeichnungen		79	+	+++	□/Th1	

- Sitze:**
- A = handlabell (1,2/1,3/1-Wagen)
 - B = Versuchsitz mit 70-cm-Lehne
 - C = Versuchsitz mit festeingebauter großer Kopfstütze, fest gepolstert
 - D = Versuchsitz mit eingebauter höhenverstellbarer und klappbarer Kopfstütze, fest gepolstert
 - E = handlabell (2,5/1-Wagen)
 - F = Versuchsitz mit fest eingebauter kleiner Kopfstütze, fest gepolstert
- Kopfstützen:**
- o = ohne Kopfstütze
 - KI = aufsteckbar, ohne Querverstellung, weich gepolstert
 - KII = aufschallbar, ohne Querverstellung, weich gepolstert
 - KIII = aufsteckbar, mit Querverstellung, fest gepolstert
 - KV = aufsteckbar, mit Querverstellung, sehr fest gepolstert
- Verwundung:**
- o = ohne
 - + - ++ = mäßig
 - +++ = deutlich
 - total = erheblich
- Befund nach Versuch:**
- = ohne Befund
 - = mittlere Schäden
 - = schwere Schäden

Bild 12. Schlittenbeschleunigung, Helmbeschleunigung und Winkel zwischen Kopf und Rumpf bei Versuch lfd. Nr. 10.

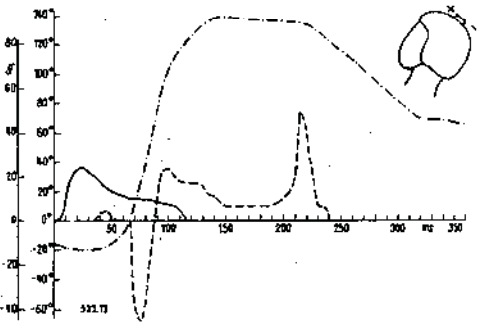
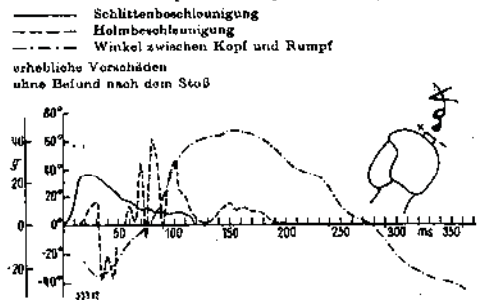


Bild 13. Schlittenbeschleunigung, Helmbeschleunigung und Winkel zwischen Kopf und Rumpf bei Versuch lfd. Nr. 7.

ohne Verletzungen
mittlere Schäden nach dem Stoß

Eine Auswertung aller Ergebnisse ergab, daß keine Beziehung der nach dem Film gemessenen Winkel zwischen Kopf und Rumpf und der Schwere der Verletzung bestand. Ebenfalls konnte keine Relation zwischen der Schwere der Verletzung und der Drehgeschwindigkeit festgestellt werden. Auch die am Helm gemessene Drehbeschleunigung stand in keiner eindeutigen Beziehung zum Verletzungsgrad. Eine bestimmte Relation war aber festzustellen zwischen einer mittleren Drehbeschleunigung des Kopfes von dessen Ausgangslage bis zum Zeitpunkt seiner maximalen Drehgeschwindigkeit und dem Grad der Verletzungen. Die Drehbeschleunigung bei Versuchen ohne Befund betrug rd. 500 rad/s², 1000 rad/s² verursachten mittlere Schäden und 1000 bis 2000 rad/s² lösten schwere Schäden der Halswirbelsäule aus. Es ist zu vermuten, daß die größere Drehbeschleunigung eine Folge der Verletzungen und einer damit verbundenen Abnahme des Widerstandsmoments der Wirbelsäule ist.

Versuchsergebnisse

Eine Frage, die sich aufdrängt, ist, ob man das Verhalten toter Körper mit dem lebender vergleichen kann, zumal jegliche Muskelanspannungen bei diesen Versuchen fehlen. Hierzu ist zu sagen, daß reaktive Muskelspannungen bei großen Beschleunigungskräften kaum noch entlastend wirken. Der unvorbereitete Fahrzeuginsasse wird sich nur wenig anders verhalten als die Versuchskörper, weil er entpannt sitzt, wenn ihm der Stoß überrascht.

Als Maß für die Abstützhöhe des Kopfes wurde der Abstand zur Augenhöhe gewählt, da sich hier etwa der Schwerpunkt des Kopfes befindet und man diese Höhe bei den Auswertarbeiten eindeutig bestimmen konnte. Soll die fest mit der Lehne verbundene Abstützung des Kopfes in Augenhöhe angebracht sein, ist es für die Angabe einer absoluten Mindestbauhöhe nötig, mit anthropometrischen Größen aus Bevölkerungsstatistiken zu rechnen. Das Maß der Augenhöhe über der Sitzhöhe beträgt bei Frauen 74 ± 3,5 cm und bei Männern 79 ± 3,5 cm. Mit 82,5 cm Abstand der Augenhöhe von der Sitzhöhe erfaßt man rd. 84% aller Männer und über 93% aller Frauen. Bei 5,5 cm Zusammendrückung des Polsters bedeutet dies: die Abstützung des Kopfes muß mindestens 77 cm über der unbelasteten Sitzfläche angebracht sein. A 22 533

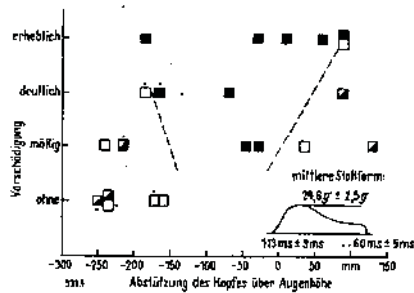


Bild 4. Vorschädigung, Abstützhöhe des Kopfes und Grad der Halswirbelsäuleverletzung bei simulierten Auffahrunfällen (Stoß von hinten).

- ohne Befund
- mittlere Schäden
- schwere Schäden

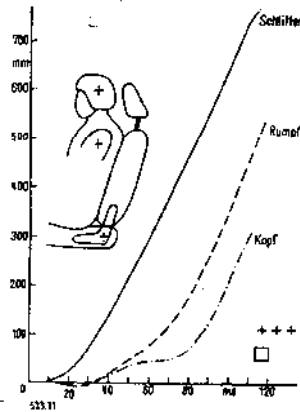


Bild 11. Verlauf der waagerechten Bewegungen von Schlitten, Rumpf und Kopf bei Versuch lfd. Nr. 16. erhebliche Verletzungen ohne Befund nach dem Stoß

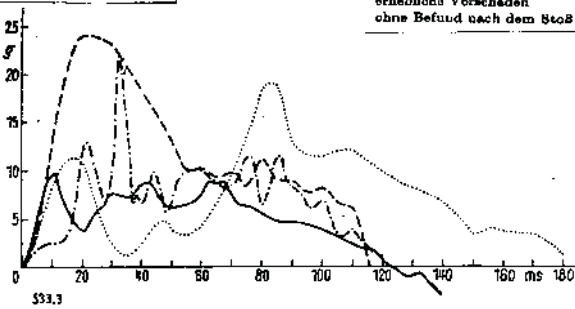


Bild 8. Beschleunigungskurven von drei Personkraftwagen und einem Versuchsschlitten.

- mittelgroßes Fahrzeug ($v_0 = 57$ km/h) auf gleich großen Wagen aufgefahren (nach Piala und Fabricius)
- Hudson 1955 ($v_0 = 37$ km/h) auf Oldsmobile 1958 nach (Emori)
- Schlittenbeschleunigung bei Versuch lfd. Nr. 14 ($v_0 = 50,8$ km/h)
- Ford 1967 ($v_0 = 39$ km/h) auf Ford 1967 (nach Severy)

DK 656.13.084:629.113.042.6.004.13

Auffahrunfälle mit und ohne Kopfstütze

Von Wolfgang Lange, Dortmund, und Peter Hinz, Frankfurt a. M.

Dipl.-Ing. Wolfgang Lange ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Max-Planck-Institutes für Arbeitsphysiologie in Dortmund und Dr. med. Peter Hinz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Institutes für Wirbelsäulenforschung in Frankfurt a. M.

VDI-Z 112 (1970) Nr. 20 — Oktober (II)

In weitere Folge werden Korrespondenzen zu diesem Thema bekanntgegeben:

Wertmaßstab für die Beurteilung der Insassenbelastung: a oder Δv ?

Mein Brief an den Veranstalter, St. Pölten, am 12.11.1999

Betrifft: Symposium „Peitschenschlag“ - ?

Sehr geehrte Frau

vorerst möchte ich mich sehr herzlich bedanken, dass Sie mir eine Einladung zu diesem Symposium gesandt haben.

Mir gingen die Vortragsmanuskripte der gegenständlichen Tagung zu.

Zum Vortrag von Herrn

Univ.Prof. Dr.

erscheint es mir erforderlich, einige Korrekturen und Erweiterungen, die auf Grund des heutigen Standes der Wissenschaft erforderlich sind, auf diesem Wege vorzunehmen.

Im grundsätzlichen wird, der Einfachheit halber, bei allen folgenden Gedankengängen davon ausgegangen, dass es zum Auffahrunfall zwischen zwei gleich schweren Fahrzeugen kommt (Masse m_1 = Masse m_2), dass ein exakter linearer idealisierter und ebener Vollstoß vorliegt, natürlich bei voller Überdeckung, das vordere (gestoßene) Fahrzeug (1) steht und, dass das dahinter befindliche (auffahrende) Fahrzeug (2) mit der Front gegen das Heck des davor befindlichen Fahrzeuges (2) fährt.

1 g entspricht der Erdbeschleunigung $= 9.81 \text{ m/s}^2$.

Auf Seite 2 seines Vortrages stellt er die Frage „a oder Δv ?“

Er meint, „durch die Beziehung

$$\underline{a_m = \Delta v / \Delta t}$$

ist die mittlere Beschleunigung a_m mit der Geschwindigkeitsänderung Δv (delta v) und der Kompressionszeit Δt verknüpft. Detailliertere experimentelle Analysen zeigen eine derartige Abhängigkeit der Kompressionszeit von der Kollisionsgeschwindigkeit, dass letztlich die sehr viel anschaulichere Zahl der **Geschwindigkeitsänderung** eine ausgezeichnete Maßzahl für die gegebene Problematik darstellt und weiter beibehalten werden sollte. Im interdisziplinären Gedankenaustausch schaffen **„Spitzfindigkeiten“** nur Verwirrung“.

Hierzu ist aus mathematischer und physikalischer Sicht folgendes auszuführen:

Wenn man die Formel

a_m (mittlere Beschleunigung [m/s²]) = Δv (Geschwindigkeitsdifferenz [m/s]) / Δt (Kompressionszeit [s]) betrachtet, ergibt sich, dass man für die Errechnung von a_m die Geschwindigkeitsänderung Δv und die Kompressionszeit Δt wissen muss.

Nachdem nach der Formel von Newton die

$$\underline{\text{Kraft } F \text{ [N - Newton]} = \text{Masse [kg]} \times \text{Beschleunigung [m/s}^2\text{]} (F = m \cdot a)$$

ist, ergibt sich, dass, wenn man hier bei gleicher Masse einen anderen Beschleunigungswert einsetzt, man natürlich zu einer gänzlich anderen Kraft kommt.

Für die Beurteilung einer HWS-Verletzung ist aber letztendlich diese Kraft und somit nur die Beschleunigung von wesentlicher Bedeutung.

Aber für die Beurteilung der Stoßintensität, der auf den Fahrzeuginsassen eingewirkten Kraft, ist nicht die Geschwindigkeitsänderung eine „ausgezeichnete Maßzahl“, sondern nur die mittlere Karossenbeschleunigung bzw. die mittlere Beschleunigung (die maximale kann man nicht errechnen, hier müsste man die Kraftkennlinie bei der gegenständlichen Kollision genau kennen, die man aber nicht kennt, sodass man nur eine mittlere Beschleunigung errechnen kann) - es handelt sich hier also nicht um eine „Spitzfindigkeit“, wenn man dies über eine mittlere Beschleunigung sieht, sondern dies ist ein mathematischer und physikalischer Zusammenhang und deshalb kann und sollte nur die mittlere Beschleunigung als Maßzahl genommen werden, entweder in [m/s²] oder in [g] (Erdbeschleunigung).

Zur mittleren Beschleunigung bemerkt, ist es aber so, dass man hier zwischen einer Kompressionsphase und einer Restitutionsphase unterscheiden muss. Wenn bei einer Kollision der k-Faktor, Stoßziffer, Stoßzahl, größer 0,00 ist (bei PKW-Kollisionen ist dies im hier zu betrachtenden Geschwindigkeitsbereich immer der Fall) ist eine Restitution vorhanden.

Zum Beispiel:

Kollisionsgeschwindigkeit = 20 km/h $\approx 5,6$ m/s, bedeutet eine Geschwindigkeitsänderung in der Kompressionsphase für jedes der beiden Fahrzeuge von 10 km/h $\approx 2,8$ m/s, k-Faktor = 0,20 (0,50) heißt, Geschwindigkeitsänderung in der Restitutionsphase 20 % (50 %) von 10 km/h, das sind 2,0 (5,0) km/h. Somit beträgt die gesamte Geschwindigkeitsänderung (Kompression plus Restitution) = 12,0 (15,0) km/h (10 + 2 = 12 km/h, bzw. 10 + 5 = 15 km/h).

Für die Insassenbelastung ist aber nur die Geschwindigkeitsänderung in der Kompressionsphase zu betrachten, das heißt, beim gegenständlichen Beispiel 10 km/h.

Der EES-Wert ist aber kleiner als 10 km/h.

Aus diesem Vergleich zwischen einem k-Faktor = 0,20 bzw. 0,50 ergibt sich die gesamte Geschwindigkeitsänderung mit 12 km/h bzw. mit 15 km/h.

Würde man als Maßzahl die Geschwindigkeitsänderung nehmen, dann würde man 12 km/h mit 15 km/h vergleichen und meinen, dass 15 km/h eine größere Belastung bedeutet.

IRRTUM! Genau das Umgekehrte ist der Fall!

15 km/h stellt nämlich eine geringere Belastung dar, da bei größer werdendem k-Faktor die dynamische (dynamisch heißt bei Bewegung) Deformationstiefe größer wird, daraus die Kompressionszeit größer wird und daraus die mittlere Karossenbeschleunigung in der allein entscheidenden Kompressionsphase **kleiner!!** wird.

Daraus ist eindeutig zu ersehen, dass „letztlich die sehr viel anschaulichere Zahl der Geschwindigkeitsänderung als ausgezeichnete Maßzahl“ zu völlig unrichtigen Ergebnissen und Vergleichen führt und daher eine ungeeignete Maßzahl ist.

$$\text{Geschwindigkeit } v_m \text{ [m/s]} = \text{Wegstrecke } s \text{ [m]} / \text{Zeit } t \text{ [s]}$$

$$v_m \text{ [m/s]} = \frac{\text{Wegstrecke } s \text{ [m]}}{\text{Zeit } t \text{ [s]}} \quad \rightarrow \quad \text{Zeit } t \text{ [s]} = \frac{\text{Wegstrecke } s \text{ [m]}}{v_m \text{ [m/s]}}$$

Aus dieser Beziehung kann man die Kompressionszeit errechnen, und zwar:

$$\Delta t_{\text{Kompression}} \text{ [s]} = \frac{s_{\text{relativ}}}{v_{\text{mKollisionKompressionrelativ}(x)}}$$

(x - dies ist die mittlere relative Kollisionsgeschwindigkeit in der Kompressionsphase)

Zum Beispiel:

Relative Wegstrecke (gemeint die maximale dynamische Deformationstiefe beider Fahrzeuge zusammen - relative Wegstrecke in der Kompressionsphase -) angesetzt mit 0,30 m ergibt:

$$\Delta t_{\text{Kompression}} \text{ [s]} = \frac{s_{\text{relativ}}}{v_{2 \text{ Kollision}}} = \frac{s_{\text{relativ}} \cdot 2}{v_{2 \text{ Kollision}}} = \frac{0,30 \text{ m} \cdot 2}{5,6 \text{ m/s}} = \underline{\underline{0,1071 \text{ s}}}$$

Zum Vergleich:

$= \frac{0,30 \text{ m} \cdot 2}{5,6 \text{ m/s}} = \boxed{0,1071 \text{ s}}$	$= \frac{\Delta t_{\text{Kompression}} [\text{s}]}{V_2 \text{ Kollision}} = \frac{S_{\text{relativ}} \cdot 2}{V_2 \text{ Kollision}} =$	$= \frac{0,15 \text{ m} \cdot 2}{5,6 \text{ m/s}} = \boxed{0,05357 \text{ s}}$
$= \frac{2,8 \text{ m/s}}{0,1071 \text{ s}} = 26,14 \text{ m/s}^2$ $= \wedge \boxed{2,67 \text{ g}}$	$= a_{m,1} [\text{m/s}^2] = \frac{\Delta v_{\text{Kompression}}}{\Delta t_{\text{Kompression}}} =$	$= \frac{2,8 \text{ m/s}}{0,05357 \text{ s}} = 52,27 \text{ m/s}^2$ $= \wedge \boxed{5,33 \text{ g}}$

Das heißt, wie zu erwarten war, dass bei der halben relativen Wegstrecke (gemeinsame maximale dynamische Deformationstiefe) die Kompressionszeit die Hälfte beträgt und die mittlere Karossenbeschleunigung in der Kompressionsphase **doppelt so groß!!** ist.

Da Kraft = Masse x Beschleunigung ist, ist somit eindeutig belegt, dass als Maß nur die **mittlere Karossenbeschleunigung in der Kompressionsphase** ein sinnvoller Vergleichswert für Verletzungen sein kann und somit keine „Spitzfindigkeit“ ist.

Aus seinen 3 Beispielen ist zu ersehen, dass der Herr Referent als

Δv die gesamte Geschwindigkeitsänderung

bezeichnet, also die Geschwindigkeitsänderung in der Kompressionsphase, zuzüglich ca. 15 % (k = 0,15) für die Geschwindigkeitsänderung in der Restitutionsphase (Gesamtphase = Kompressions- + Restitutionsphase).

Wie ich bereits ausgeführt habe, ist das so nicht richtig, denn, man muss zwischen Kompressionsphase und Restitutionsphase unterscheiden.

Auch ist die Kompressionszeit vom Massenverhältnis der beiden Kfzs abhängig, was leicht erklärbar ist, denn: wenn die Masse des auffahrenden Fahrzeuges immer kleiner wird, muss die Kollisionsgeschwindigkeit immer größer werden, um für das gestoßene Fahrzeug zum gleichen $\Delta v_{\text{Kompression}}$, zur gleichen Geschwindigkeitsänderung in der Kompressionsphase, zu kommen.

Aus der Schadensschwere des Kfz kann Δv abgeschätzt werden (bei bekannt sein der Kfz-Masse).

Aus dem Schadensbild kann man, unter Berücksichtigung der Bodenabstände, Rückschlüsse auf Betriebsbremsungen ziehen. Wie anhand der Beispiele demonstriert wurde, sind diese Auswertungen unbedingt erforderlich.

Wenn auf Seite 3 (seines Vortrages) vom Herrn Referenten geschrieben wird „die Größenordnung der dynamischen Deformation im Heckbereich eines PKW beträgt 10 bis 15 cm“ und er weiters aus der Literatur anführt „Eurotax International - Crash-Versuche mit Auswertungen“ ist hier folgendes auszuführen:

Richtig ist es, dass die Auswertungen des Allianz-Zentrums München, betreffend der Reparaturcrash-Versuche, von der Firma Eurotax veröffentlicht werden und dass dort die maximale dynamische Deformation ausgewertet wird; die Lichtbilder stellen aber die bleibende Deformation (das bleibende Schadensbild) dar.

Man sieht, wenn man das Schadensbild eines Fahrzeuges betrachtet, nicht die dynamische Deformation, sondern die maximale bleibende Deformation und über diese maximale bleibende Deformation muss man zurückrechnen, sodass man im Grundsätzlichen für die Berechnung die maximale bleibende Deformationstiefe benötigt.

Betreffend der dort angegebenen maximalen dynamischen Deformationstiefe ist es so, dass diese ja nur für den dortigen Versuch, nämlich Kollision gegen ein starres (feststehendes), undeformierbares Hindernis (Offset 40 %), gilt.

Bei Kollisionen Fahrzeug mit Fahrzeug sieht dies anders aus. Hier ist die Kompatibilität der Fahrzeuge, allenfalls Verhakung, etc., zu berücksichtigen.

Unter Beibehaltung meiner Werte des vorigen Rechenbeispiels mit einem k-Faktor = 0,20 ergibt sich folgendes:

$s_{\text{relativ}} = \mathbf{0,30\ m}$	$(s_{\text{relativ}} = \text{maximale dynamische Deformationstiefe beider Kfzs})$	$s_{\text{relativ}} = \mathbf{0,15\ m}$
$\Delta v_{\text{gesamt}} = 10 + 2 = \mathbf{12\ km/h} = \mathbf{3,33\ m/s}$		$\Delta v_{\text{gesamt}} = 10 + 2 = \mathbf{12\ km/h} = \mathbf{3,33\ m/s}$
$\Delta t_{\text{gesamt}} = \Delta t_{\text{Kompression}} + \Delta t_{\text{Restitution}} = 2 \cdot \Delta t_{\text{Kompression}}$		
a_{gesamt} (mittlere Karossenbeschleunigung in der Gesamtphase = Kompression + Restitution) =		
$= \frac{3,33\ m/s}{2 \cdot 0,1071\ s} = 15,56\ m/s^2 = \mathbf{1,60\ g}$	$= \frac{\Delta v_{\text{gesamt}}}{\Delta t_{\text{gesamt}}}$	$= \frac{3,33\ m/s}{2 \cdot 0,05357\ s} = 31,1\ m/s^2 = \mathbf{3,20\ g}$

Wenn man nun diese g-Werte mit den vorigen g-Werten vergleicht, sieht man - wie es auch aus mathematischer Sicht zu erwarten war -, dass, bei getrennter Betrachtung der Kompressions- und der Restitutionsphase, die mittlere Karossenbeschleunigung in der Kompressionsphase wesentlich größer ist, als wenn man dies über die Gesamtphase betrachtet.

Auch aus diesen Gründen ist es unbedingt erforderlich die Kompressionsphase zu betrachten und für die Kompressionsphase die mittlere Karossenbeschleunigung über die Kompressionszeit zu errechnen.

Wie hieraus weiters eindeutig ersehen werden kann, handelt es sich keinesfalls um eine „Spitzfindigkeit“, sondern um die reine Wahrheit aus der Mathematik und Physik.

Im gegenständlichen Beispiel wird die Beschleunigung doppelt so groß, das heißt, die Kraft ist **doppelt !** so groß und dies alles bei gleichem Δv (Geschwindigkeitsänderung) des gestoßenen Fahrzeuges.

Fahrzeugaabremmung und Reifenschlupfverzögerung:

Bei Fahrzeugaabremmung und (oder) Reifenschlupfverzögerung ändert sich die mittlere Karossenbeschleunigung und die mittlere Karossenverzögerung.

Bezugnehmend auf mein Beispiel - Vergleich der mittleren Karossenbeschleunigung in der Kompressionsphase - ergibt sich:

Zum Beispiel:

Vorderes Fahrzeug gebremmt - hinteres Fahrzeug mit gleicher Bremsstärke gebremmt:

Ergibt für das

vordere Fahrzeug eine **kleinere** mittlere Karossenbeschleunigung, für das

hintere Fahrzeug eine **größere** mittlere Karossenverzögerung.

Vorderes Fahrzeug ungebremmt - hinteres Fahrzeug gebremmt:

Ergibt für das

vordere Fahrzeug eine **größere** mittlere Karossenbeschleunigung, für das

hintere Fahrzeug eine **noch größere** mittlere Karossenverzögerung.

Auch hieraus ist zu ersehen, dass Δv eine gänzlich ungeeignete Maßzahl ist.

Zu der Anmerkung des Autors betreffend „Wahl des Wertes 10 km/h anstelle 11 km/h“, ist auszuführen, dass in der Broschüre „Gesellschaft der Gutachterärzte Österreichs“, Heft 30 aus 1987 ein Bericht von M. DANNER (Allianz-Zentrum für Technik, München) abgedruckt ist, welcher sehr schön aufgebaut ist und aus welchem sich somit ergibt, dass eine Geschwindigkeitsdifferenz von 15 km/h im Mittel sämtlicher PKW-Versuche für das gestoßene Fahrzeug eine Geschwindigkeitsänderung von 11 km/h und eine mittlere Fahrzeugbeschleunigung von 3 g bedeutet.

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

Aber die gegenständliche Problematik, die gegenständliche Fragestellung ist so wichtig und, wie ich aus dem deutschen Raum erfahren habe, dort sogar sehr wichtig, sodass es mir erforderlich erschien die mathematischen und physikalischen Zusammenhänge bei einer Kollision von zwei Fahrzeugen und die Ermittlung der

mittleren Karossenbeschleunigung in der Kompressionsphase,

als **wichtigstes Beurteilungskriterium**, mathematisch vollkommen sauber herauszuarbeiten.

Ich glaube, dass mein Schreiben für alle mit diesem Thema befassten Personen von großer Bedeutung ist.

Wenn hier von Seiten des Referenten gemeint wird „dass letztlich die sehr viel anschaulichere Zahl der **Geschwindigkeitsänderung** eine **ausgezeichnete Maßzahl** für die gegebene Problematik darstellt und weiter beibehalten werden sollte und im interdisziplinären Gedankenaustausch ‘**Spitzfindigkeiten**’ nur Verwirrung schaffen“ ergibt sich, dass diese Meinung so nicht nachvollziehbar ist, da ja eindeutig der g-Wert die korrekte Zahl ist und dieser Wert ist anschaulicher als eine Geschwindigkeitsänderung Δv (Beschleunigung ist eine Grundgröße der Physik).

Die gegenständlich gestellte Frage erfordert, alles sehr gewissenhaft, sauber und seriös zu erarbeiten, erfordert eine gute Zusammenarbeit zwischen Mediziner und Techniker (Zusammenarbeit auf neuestem wissenschaftlichen Stand), da bei einer rechtskräftigen strafrechtlichen Verurteilung, je nach gerade herrschender Rechtsprechung, eine Bindungswirkung für den Lenker (Verurteilten) des Fahrzeuges gegeben sein kann und daraus zivile Ansprüche **gegen ihn** möglicherweise geltend gemacht werden können, wobei dies betreffend seiner Haftpflichtversicherung anders sein kann, nämlich, dass diese aus einer Bindungswirkung heraus nicht haftet.

Dieser Brief blieb unbeantwortet.

Dieser Brief wurde über Veranlassung des Verfassers in der Fachzeitschrift „Verkehrsunfall und Fahrzeugschaden“ (ambs-Verlag) als Leserbrief im Heft 11/2001 veröffentlicht.

Mein Brief an:
 Arbeitsgruppe für Unfallmechanik
 c/o Institut für biomedizinische Technik
 z.Hd. Herrn Prof. Dr. med. F. WALZ
 FMH für Rechtsmedizin
 Spez. Forensische Biomechanik
 Dr. sc. techn. Dipl.-Ing ETH M. MUSER
 Gloriastraße 35
CH - 8092 ZÜRICH

St. Pölten, am 01.10.2004

Betrifft: Bericht der Arbeitsgruppe für Unfallmechanik (Forschung, Rekonstruktion, Biomechanik, Prävention)
 vom 18. Mai 1999 - Ausdruck aus dem Internet
 „Bemessung der Verletzungsschwelle der HWS bei Heckkollisionen“
 Prof. Dr. med. F. WALZ
 Dr. sc. techn. M. MUSER

Sehr geehrte Herren Doktores,

vor kurzem habe ich aus dem Internet den oben angeführten Bericht ausgedruckt und mit Interesse gelesen.

Aus anderen Berichten sind mir Ihre Namen natürlich bekannt.

Schon seit etlichen Jahren verfolge ich mit großem Interesse dieses Thema, benötige die Aufarbeitung dieses Themas auch im Rahmen meiner Gerichtsgutachtertätigkeit, habe in den letzten Jahren einige Seminare zu diesem Thema bzw. zum Thema „Berechnung der Deformationsarbeiten an Fahrzeugen“ und „Berechnung der Insassenbelastung“ in Deutschland abgehalten und meinte (meine dies immer noch), dass die Aufarbeitung dieses Themas exakte wissenschaftliche, technische und mathematische Grundlagen erfordert.

Immer wieder wird von einer **kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung** gesprochen.

In allen Publikationen wird immer diese kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung einer Grenzbelastung von Fahrzeuginsassen zugeordnet - ob eine HWS-Verletzung möglich ist oder nicht.

In letzter Zeit wird übergegangen auf die Kopfbeschleunigung (nach diesem Bericht ungefähr doppelt so groß wie die Karossenbeschleunigung). Ich verweise darauf, dass es hier ein Buch von Christian Deutscher (Allianz-Zentrum München) gibt, wobei aus einem Diagramm ersichtlich ist, dass bei gleichem Δv die Kopfbeschleunigungen gravierend anders sein können.

Ich äußere große Bedenken den Bewertungsmaßstab auf die Kopfbeschleunigung abzustellen, da hier viele Prämissen zu berücksichtigen sind, die wir in der Unfallrekonstruktion gar nicht haben und gar nicht so genau errechnen können.

Bekanntermaßen ist es so, dass bei einem k-Faktor größer als 0,00 zusätzlich zur Kompressionsphase eine Restitutionsphase vorliegt, und die Geschwindigkeitsänderung Δv_{gesamt} (Δv_{gesamt}), die in Ihren Berichten immer wieder als Bewertungskriterium herangezogen wird, um so größer wird, je größer der k-Faktor ist; das heißt, bei gleichem $\Delta v_{\text{Kompression}}$ ($\Delta v_{\text{Kompression}}$) wird das Δv_{gesamt} (Δv_{gesamt}) immer größer.

Verglichen wird aber mit dem delta v_{gesamt} (Δv_{gesamt}).

Das ist physikalisch, mathematisch und unfallmechanisch unrichtig.

Wenn man dieses Thema „sauber“ behandelt, ist eben zwischen Kompression und Restitution zu unterscheiden und die gesamte Kollisionsphase beinhaltet die Kompressionsphase zuzüglich der Restitutionsphase.

Für die Insassenbelastung, auch für die Vornahme aller Impulsberechnungen, ist nur das delta $v_{\text{Kompression}}$ ($\Delta v_{\text{Kompression}}$), von Bedeutung; und nur auf dieses wäre alles Vergleichbare abzustellen.

Es sollte also in der Literatur einmal der Versuch unternommen werden, dies auf eine saubere Basis zu stellen und nur von einem delta $v_{\text{Kompression}}$ ($\Delta v_{\text{Kompression}}$) zu sprechen.

Dieses delta $v_{\text{Kompression}}$ ($\Delta v_{\text{Kompression}}$) benötigt man, es ist zu errechnen aus dem Schadensbild im Zusammenhang beider Fahrzeuge und, über die maximale dynamische Deformationstiefe kommt man in weiterer Folge zu einer Kompressionszeit.

Dafür habe ich ein Berechnungssystem entwickelt. Dieses kann nachgelesen werden in meinen Wissenschaftsberichten, einerseits im Bericht „Berechnung der Deformationsarbeit an Fahrzeugen“, wo die Deformationsarbeit aus der Deformationstiefe (bleibend oder dynamisch, oder bleibend und dynamisch, ist in Ansatz zu bringen) und einer Steifigkeitszahl (oder Kraftzahl) errechnet wird, sowie im anderen Bericht „Berechnung der Insassenbelastung bzw. Insassenbelastung“, weiters in meiner Veröffentlichung in der Zeitschrift „Der Verkehrsunfall“ im Jahre 2001. Zu ersehen ist, dass ich versucht habe, dies alles sehr „sauber“ aufzuarbeiten.

Über dem Begriff der **mittleren relativen Kollisionsgeschwindigkeit in der Kompressionsphase** kommt man über die dynamische Deformationstiefe auch zur Kompressionszeit.

Natürlich ist dies überall toleranzbehaftet.

Über diese Kompressionszeit kommt man folglich bei Ansatz der Geschwindigkeitsänderung in der Kompressionsphase zu einer mittleren Karossenbeschleunigung (-verzögerung) (genau genommen des Fahrzeugschwerpunktes) in der Kompressionsphase.

Daraus ergibt sich der g-Wert ($1\text{ g} = 9,81\text{ m/s}^2$).

Und nur dieser g-Wert kann eine Vergleichsbasis sein für die Beurteilung von HWS-Verletzungen.

Vice versa ergibt sich aber schon daraus, dass mit dem EES-System, welches überall als Vergleichsbasis unterstellt wird, nichts anzufangen ist.

Auch dies ist in meinem Bericht erläutert.

Man braucht das delta $v_{\text{Kompression}}$ ($\Delta v_{\text{Kompression}}$) des Fahrzeuges (ist natürlich abhängig von den am Stoß beteiligten Massen und der relativen Rammgeschwindigkeit - bei größerer relativer Rammgeschwindigkeit wird die Kompressionszeit automatisch kleiner {natürlich bei gleicher dynamischer Deformationstiefe} und daraus $a_{\text{mBeschleunigung}}$ bzw. $a_{\text{mVerzögerung}}$ **größer!!** - und dies bei gleichem $\Delta v_{\text{Kompression}}$ - EES?) und die dynamische Deformationstiefe.

Über diese Deformationstiefe kommt man zur Kompressionszeit und mit dieser Kompressionszeit kommt man zur mittleren Karossenbeschleunigung (-verzögerung) in der Kompressionsphase.

Im EES-Wert ist genau genommen die Restitutionsenergie von der Kompressionsenergie abgezogen worden, und, je größer der k-Faktor ist, um so kleiner wird EES.

Das einmal zur grundsätzlichen Überlegung und, genau genommen, dies eigentlich beim gleichen Schadensbild, wenn man dies mathematisch auch richtig sieht.

Das heißt, bei gleichem Schadensbild wären genau genommen unterschiedliche EES-Werte anzusetzen, wenn ein entsprechend großer k-Faktor vorhanden ist (dies ausgehend von der dazugehörigen Betrachtungsweise).

Bei einer Hochgeschwindigkeitskollision mit einem k-Faktor bis zu ungefähr 0,15 ist dies natürlich fast egal.

Das Allianz-Zentrum hat Versuche für HWS-Belastungsvergleiche durchgeführt und ist grundsätzlich den Weg gegangen mit der mittleren Karossenbeschleunigung.

Dort wird ein Wert von 3 g angegeben.

Genau definiert ist eine Vergleichsbasis nur dann richtig, wenn man dies wiederum auf die mittlere Beschleunigung (oder Verzögerung) in der Kompressionsphase abstellt.

Dies habe ich auch in meinem Bericht herausgearbeitet.

Je größer der k-Faktor ist, um so größer wird die dynamische Deformationstiefe bei Zugrundelegung der gleichen maximalen bleibenden Deformationstiefe.

Dafür habe ich ein Formelsystem entwickelt, welches den mathematischen Zusammenhang richtig wiedergibt.

Zu diesem Thema habe ich in meiner eigenen homepage im Internet (Adresse lt. Briefkopf) einiges veröffentlicht, verweise weiters auf meine Wissenschaftsberichtsliste sowie auf meine Veröffentlichung in der Zeitschrift „Verkehrsunfall“.

Wenn in Berichten (und so, mit dieser Basis, werden auch die Gutachten erstellt!) immer wieder von einer Kompressionszeit von 1/10 Sekunde (allenfalls 0,15 Sekunden) gesprochen wird und darauf die Vergleichsbasis abgestellt wird, ist das nach meiner Meinung Unsinn.

Denn es kann genauso gut einmal eine Kompressionszeit 0,06 s sein (z.B. bei einer harten Seitenkollision), sie kann aber auch 0,2 s sein, vielleicht auch größer (z.B. bei Softnose-Fahrzeugen).

Es ist eben diese Kompressionszeit zu errechnen, dann der g-Wert zu ermitteln, weiters mit Toleranzen zu versehen und schließlich zu vergleichen, ob hier eine HWS-Verletzung möglich ist oder nicht.

Natürlich sind zu dieser Beurteilung alle anderen Kriterien heranzuziehen, wobei ich mitteile, dass mir der Brief von Prof. Mattern bekannt ist, denn er hat mir in seinem Brief an mich auch persönlich geschrieben, nämlich, dass praktisch immer und überall eine HWS-Verletzung möglich ist.

Hier hat er sich gegenüber einer früheren Auffassung (ich hatte ihn telefonisch kontaktiert zwecks eines Gerichtsgutachtens) um 180° gedreht und hat er früher eine andere Meinung vertreten.

Zusammenfassend ersuche ich, vielleicht können Sie mit Ihrer Autorität hier darauf achten, dass in der Literatur doch auf eine richtige mathematische Basis abgestellt wird, dass nicht von einer Geschwindigkeitsänderung (hier immer gemeint „gesamte Geschwindigkeitsänderung“ in welcher der k-Faktor dabei ist - dieser liegt in einem sehr großen Toleranzbereich), sondern dass von einer Geschwindigkeitsänderung in der Kompressionsphase gesprochen wird, in weiterer Folge davon gesprochen wird, dass man die Kompressionszeit in gewissen Grenzen rechnerisch ermitteln kann und daraus die mittlere Karossenbeschleunigung (-verzögerung) in der Kompressionsphase ermitteln kann.

Natürlich kann man in weiterer Folge die translatorische Geschwindigkeitsänderung grafisch mit der Rotationsgeschwindigkeit in Korrelation bringen und daraus für die Sitzposition den g-Wert angeben.

Bezüglich meiner genauen Definitionen verweise ich auf meine Berichte. Es ist nämlich nicht möglich, in einem Brief exakt alles anzuführen, was in sehr langen Ausführungen in den Berichten von mir errechnet und ermittelt wurde.

Natürlich gibt es heute (von mir entwickelte) Computer-Berechnungsprogramme (Software für Pocket-PC und PC von mir käuflich zu erhalten) mit welchen dies alles sehr schnell zu errechnen ist.

Zu berücksichtigen sind natürlich auch Bremsungen des auffahrenden Fahrzeuges bzw. des gestoßenen Fahrzeuges; auch dafür habe ich ein eigenes Berechnungsprogramm für den Computer entwickelt.

Ich finde es eben nicht richtig, so wie Sie dies in dem angeführten Bericht, den ich aus dem Internet ausgedruckt habe, unter Punkt 2) - „Möglichkeiten und Grenzen der Fachbereiche“ (Seite 2) angeben: „dazu ist ebenfalls die Abschätzung der Kompressionszeit (Stoßzeit?) erforderlich, die meist (woher?) zwischen 0,1 und 0,15 Sekunden liegt.“

Sie schreiben hier auch von der kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung.

Rein mathematisch gesehen habe ich herausgearbeitet, dass (mit Ausnahme in bestimmten Fällen von Bremsungen) die Restitutionszeit gleich oder annähernd gleich der Kompressionszeit ist (dies ist mathematisch eben so).

Das heißt, die hier angegebene Kompressionszeit (Stoßzeit?) wäre offenbar mit 2 zu multiplizieren oder in einem anderen Bereich anzugeben, wobei hier überhaupt nicht auf die tatsächliche dynamische Deformationstiefe Rücksicht genommen wird (Stoßzeit ist nicht Kollisionsdauer {nur bei einem k-Faktor = 0,00 wäre es so, weil es dann keine Restitution gibt} - rein mathematisch und physikalisch betrachtet beinhaltet die Kollisionsdauer auch die Restitutionszeit).

Die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung (Δv - Δv), wie es hier von Ihnen beschrieben wird, ist begrifflich immer die gesamte Geschwindigkeitsänderung, beinhaltet also die Restitutionszeit (aus dem k-Faktor).

Nochmals zusammengefasst ersuche ich Sie, dass man versuchen sollte, allerorts auf diese physikalischen, mechanischen und mathematischen Zusammenhänge Bedacht zu nehmen, sauberst und exaktest alle Werte anzugeben und auch so zu definieren und bitte meinen Brief nicht misszuverstehen.

Mit freundlichen Grüßen

Ing. W. Huber e.h.

Anlagen:

- Übersicht über meine Wissenschaftsberichte
- mein Bericht in der Zeitschrift „Verkehrsunfall“ (Ambs-Verlag) v. 11/2001

P.S: Meinem im Ambs-Verlag veröffentlichten Bericht (wurde von mir als Leserbrief formuliert, da es ansonsten sehr schwierig gewesen wäre, in dieser Zeitschrift auch einen Bericht veröffentlicht zu erhalten - ich hätte damit rechnen müssen, dass man in diesem Fall meine Meinung nicht veröffentlicht) können Sie entnehmen, dass ein Uni-Professor der Physik in Wien Sie in Ihrer Meinung bestätigt, zur Frage: „delta v (Δv) oder a“ und meint a (Verzögerung bzw. Beschleunigung) ist nicht erforderlich, delta v (Δv) reicht aus.

Er kann (wie ich dies aus den Gutachten und seiner Gerichtstätigkeit glaube zu wissen) eben nicht die Kompressionszeit ausrechnen, deshalb kann er a nicht ausrechnen, zitiert zwar Newton = Kraft = Masse x Beschleunigung;

- und nur dieses a ist für die Beurteilung von großer Bedeutung
- kann aber das „a“ nicht ausrechnen, deshalb kann er auch die Kraft und den Newton nicht ausrechnen.

Offenbar leitet er daraus diese eben seine Überlegung ab, dass delta v (Δv) ausreicht (auch er unterscheidet nicht zwischen Kompression und Restitution und delta v (Δv) gesamt)

- er kann ja „a“ nicht ausrechnen und muß sich mit der „kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung“ begnügen
- man sollte aber meiner Meinung nach schon dem interessierten Personenkreis die Wahrheit sagen.

Dieser Brief blieb unbeantwortet.

Im Frühjahr 2007 wurden von mir 70 Crash-Versuche des AGU/DTC (Dynamic-Test-Center - Schweiz) ausgewertet in Hinblick auf das Thema:

„Was ist und wie groß ist bei einer Kollision die Stoßzeit“

Diese Auswertung wurde in Berichtsform erstellt, ist bei mir erhältlich, und wurde an die

Arbeitsgruppe für Unfallmechanik
 c/o Institut für biomedizinische Technik
 z.Hd. Herrn Prof. Dr. med. F. WALZ
 FMH für Rechtsmedizin
 Spez. Forensische Biomechanik
 Dr. sc. techn. Dipl.-Ing ETH M. MUSER
 Gloriastraße 35

CH - 8092 ZÜRICH

zur Information und zur Relativierung meines Briefes vom 01.10.2004 übersandt.

Dabei wurde, in Relativierung zur Meinung von AGU/DTC, festgestellt, dass die dort angegebenen Stoßzeiten nicht richtig ermittelt wurden und viel zu klein sind. Die Stoßzeit ist die Summe aus der **gesamten** Kompressionszeit und der **gesamten** Restitutionszeit.

Sie ist keinesfalls eine Durchschnittszahl und beträgt keinesfalls nur 0,100 s.

Ergebnisse zur Beurteilung der Verletzungswahrscheinlichkeit (MUSTERTABELLE):

N r.	Beschreibung	Kfz 1	Kfz 2	Anmerkungen
		←	Stoßrichtung	
1	Gesamtmasse des Kfz (incl. Beladung) [kg]	.....	.....
2	maximale bleibende Deformationstiefe der Schadensstelle am Kfz - d [cm]	.....	.....
3	k-Faktor (ist für beide Kfz gleich)	.....	.....	.....
4	maximale dynamische Deformationstiefe der Schadensstelle am Kfz - d_{dyn} [cm]	.....	.....
5	maximale dynamische Deformationstiefe der Schadensstelle am Kfz - d_{dyn} [cm] - beide Kfzs zusammen	.....	.....	.....
6	Geschwindigkeitsänderung delta Δv in der Kompressionsphase - berechnet aus der Deformationsarbeit, aus dem Schadensbild [m/s \ km/h] \ \	
7	Geschwindigkeitsänderung delta Δv in der Kompressionsphase (ohne Rotation) [m/s \ km/h] - aus der Impulsrechnung \ \	
8	Geschwindigkeitsänderung delta Δv in der Kompressionsphase (mit Rotation - bezogen auf die Sitzposition) [m/s \ km/h] - aus der Impulsrechnung \ \	
9	relative (= absolute, da Kfz 1 im Stillstand angesetzt) Kollisionsgeschwindigkeit [m/s \ km/h] - nur für die Impulsrechnung und Berechnung der Deformationsarbeit	..... \ .....	..... \ .....	.....
10	relative (= absolute, da Kfz 1 im Stillstand angesetzt) Kollisionsgeschwindigkeit [m/s \ km/h] - bei Berücksichtigung des Bremsverzögerungswertes	..... \ .....	..... \ .....	.....
11	Kompressionszeit (ist für beide Kfz gleich) [s]	.....	.....	.....
12	mittlere Karossenbeschleunigung (ist +{plus} Wert), -verzögerung (ist -{minus} Wert), in der Kompressionsphase (ohne Rotation) -bezogen auf die Sitzposition- [g] 1 g = [^] der Erdbeschleunigung = [^] 9,81 m/s ²	+.....	-.....	
13	mittlere Karossenbeschleunigung (ist +{plus} Wert), -verzögerung (ist -{minus} Wert), in der Kompressionsphase (mit Rotation) -bezogen auf die Sitzposition- [g] 1 g = [^] der Erdbeschleunigung = [^] 9,81 m/s ²	+..... + 10 % Toleranzzuschlag = g = [^] m/s ² ist hier vergleichbar mit: Insassinbewegungsrichtung relativ zum Kfz-Innenraum: ca.° nach schräg rückwärts - in der 1. Phase	-..... + 10 % Toleranzzuschlag = g = [^] m/s ² ist hier vergleichbar mit: Insassinbewegungsrichtung relativ zum Kfz-Innenraum: ca.° nach schräg vorwärts - in der 1. Phase	
14	unterstellter Bremsverzögerungswert in der Kollisionsphase, bzw. bei Kollisionsbeginn [m/s ²]	-..... (-.....) (-2,0 als mindest = Reifenschlupfverzögerung auf trockener Asphaltfahrbahn)	-	
15	mittlere Karossenbeschleunigung (-verzögerung) in der Kompressionsphase (mit Rotation) - bezogen auf die Sitzposition - [g] -, bei Berücksichtigung des Bremsverzögerungswertes bzw. der Reifenschlupfverzögerung	+..... + 10 % Toleranzzuschlag = g = [^] m/s ² ist hier vergleichbar mit:	-..... + 10 % Toleranzzuschlag = g = [^] m/s ² ist hier vergleichbar mit:	

Literaturnachweis:

- Mit freundlicher Genehmigung der BMW AG, Auszug aus dem Prospekt betreffend Stoßfänger BMW-Sicherheitskonzept - 1993.
Verlag TÜV-Rheinland, Auszug aus dem Buch „TÜV - Coloquium der Veranstaltung der TÜV-Akademie Rheinland, Dezember 1992“.
Auszug aus der Zeitschrift „Konsument 4/1995“ sowie Berichte aus den Zeitschriften „Auto, Motor und Sport“, „Auto Bild“ und anderer Zeitschriften.
Veröffentlichte Reparaturcrash-Versuche des Allianzentrums München-Ismaning, Auswertungen der Reparaturcrash-Versuche des Allianz-Zentrums[AZT] München-Ismaning, veröffentlicht durch Eurotax in Crash-Test [Crash-Chart] [Crashversuche mit Auswertung - incl. Farbbilder über die Schäden] - Urheber: „Bezugsquelle AZT/Eurotax“, eurotax Verlagsgesellschaft Eurotax GmbH, Dresdner Straße 89, 3.Stock, top 9, A-1200 Wien. EurotaxGlass's (Automotive Business Intelligence), Redaktion-Technik, Wolleraustraße 11a, CH - 8807 FREIENBACH/SZ.
Briefverkehr mit dem Volkswagen-Werk, weitere Korrespondenz mit dem VW - Werk: Versuche VW Werk - VW Passat Stufe + Variant - Messkurven der Barrierenheckkollision.
Briefverkehr mit dem MB-Werk, weitere Korrespondenz mit dem MB - Werk: Versuche MB Werk - MBS W140 - Messkurven.
Aus der Broschüre: „Die Bedeutung der Energy Equivalent Speed (EES) für die Unfallrekonstruktion und die Verletzungsmechanik.“ Entwicklung PKW-Aufbau - Mercedes Benz (Dezember 1992).
Gesellschaft der Gutachterärzte Österreichs, Broschüre der Gesellschaft der Gutachterärzte Österreichs - Das sogenannte Schleudertrauma der Halswirbelsäule (Versuch einer Objektivierung) (Heft 30/1987).
Buch: "Bewegungsablauf von Fahrzeuginsassen beim Heckaufprall", "Ermittlung von objektiven Messwerten zur Beurteilung von Verletzungsart und -schwere", von Dr.-Ing. Christian Deutscher, Verlag: Eurotax (International) AG, Wolleraustraße 11a, CH-8807 Freienbach, ISBN 3-9520040-9-X, Erstauflage: Herbst 1994.
Zeitschrift „DER SACHVERSTÄNDIGE - Heft 2/1989: „Die vorgeschädigte Halswirbelsäule: Gedanken zum Schleudertrauma“, von Primarius Dr. Franz Magistris.
Dr. Dipl.Ing. Heinz Burg - „Rechnerunterstützte Rekonstruktion von PKW/PKW“ - Unfällen, Verlag Information AMBS GmbH / ISBN - 3-88550-023-x. Seitenkollisionsuntersuchungen aus der Zeitschrift „Der Verkehrsunfall“ - Verlag Information AMBS GmbH., Heft 1984, 1986, 1989, sowie Dipl.Ing. Ernst PULLWITT, Wolfgang SIEVERT, Bundesanstalt für Straßenwesen (Bast).
SICHERHEIT VON LEICHTFAHRZEUGEN -Bericht zum Forschungsprojekt (1991-1996)-Arbeitsgruppe für Unfallmechanik, Institut für biomedizinische Technik, Universität und ETH Zürich. Felix Walz, Peter Frei, Bernhard Gerster, Robert Kaeser, Markus Muser, Peter Niederer. Zürich, Mai 1997
TU Berlin 1974 - Zur Verletzungsmechanik der Halswirbelsäule. Dissertation von Diplom- Ingenieur Klaus Burow
VDI-Berichte, wiedergegeben mit freundlicher Genehmigung des VDI-Verlages, Düsseldorf, aus:
- Nr. 20 Z 112 (1970) - Oktober (II): Auffahrunfälle mit und ohne Kopfstütze. Dipl.-Ing. Wolfgang Lange und Dr. med. Peter Hinz.
- Nr. 1025 (1993) - Verkehrsmittel der Zukunft, Dipl.Ing. B. NURTSCH u.a..
- Nr. 1046 (1993) - Bilder über Crash-Testarten;
- Nr. 1134 (1994) - Aufpralltests, Prof. Dr. Ing. APPEL u.a., Grenzen der passiven Sicherheit von leichten Fahrzeugen.
- Nr. 1134 (1994) - Audi Space Frame (Steifigkeitswerte), Dr.Ing. F.-J. PAEFGEN, Dipl.Ing. W. LEITERMANN.
- Nr. 1134 (1994) - Intelligente Leichtbauweise.
- Nr. 1134 (1994) - Dipl.Ing. W. SCHWANT (Diagramme bzw. Kurven).
- Nr. 1134 (1995) - Dipl.Ing. B. LÜDKE, Dipl.Ing. V. RICHTER, über Entwicklung der Crash-Anforderungen.
- Nr. 1134 (1994) - verstärkter Einsatz höher, fester Stähle zur Reduzierung des Fahrzeuggewichtes, Steifigkeitswerte, etc., Dr. K.J. SCHWETHELM, Dr. X.F. FANG.
- Nr. 1134 (1994) - Einsatz der Crash-Simulation zur Bewertung von konstruktiven Maßnahmen zum Seitenaufprallschutz - Kurvenbilder-Steifigkeitswert, Dipl.Ing. X. WANG, Dr. Ing. J. HILLMANN.
- Nr. 1159 (1994) - Entwicklung eines unkonventionellen Rahmenkonzepts für Enduros, T. F. Schweers und H. Ishorst.
- Nr. 1046 (1993) - „Sicherheit im Straßenverkehr“, Dipl.Ing. W. SCHWENDE und Dipl.Ing. R. JUSTEN.
- Nr. 1264 (1996) - „Versuchskonfiguration“ - Dipl.Ing. F. BEKEMEIER, Dipl.Phys. Claudia BREMER, Dipl.Ing. R. BERGMANN.
- Nr. 1264 (1996) - „Zusätzliche Anforderungen an den Karosseriekonstrukteur - am Beispiel der Stoßfängerentwicklung“, Prof.Dipl.Ing. G. TECKLENBURG.
- Nr. 1264 (1996) - „Karosserieingenieur - Traditioneller Beruf im Focus der zukünftigen Marktanforderungen“ - Dipl.Ing. H. ADICKES.
- Nr. 1264 (1996) - Der ODB-Test, „Eine Herausforderung an die Fahrzeugkonstruktion“ - W. LANGNER.
- Nr. 1354 (1997) - Strukturkonzepte für den seitlichen Pfahlaufprall, Dipl.Ing. J. Bröcking.
- Nr. 1354 (1997) - Der Einfluss der Prüfgeschwindigkeit von Frontalaufpralltests auf die Kompatibilität von realen PKW-PKW-Kollisionen, Dr.-Ing. F. Zeidler, Dipl.Ing. F. Knöchelmann.
- Nr. 1398 (1998) - Entwicklungen im Karosseriebau (Ultra Light Steel Auto Body), Dipl.Ing. M. Dukat.
- Nr. 1411 (1998) - Entwicklung kompatibler Fahrzeuge mittels kompatibilitätsbewertender Crashesimulation, Dipl.Ing. J. Relou, Dipl.Ing. J. Spronck.
- Nr. 1411 (1998) - Crashesimulation zur Erhöhung der passiven Sicherheit von Schienenfahrzeugen, Dipl.Ing. H. Waldeck, Dipl.Ing. G. Schmidt;
- Nr. 1471 (1999) - „Innovativer Kfz-Insassen- und Partnerschutz“ - „Konstruktive Aspekte der Kompatibilität“. Frontalkollision eines VW Lupo mit einem VW Passat IV Variant bei 50 % Überdeckung des VW Lupo. Dr.-Ing. U. Hackenberg, Dipl.-Ing. M. Rabe, Dr.-Ing. K. Friedewald, Volkswagen AG, Wolfsburg.
- Nr. 1543 (2000) - „Entwicklungen im Karosseriebau“ - Auslegung einer Crashboxgeometrie unter besonderer Berücksichtigung der Funktionsfähigkeit beim Schrägaufprall mit begrenztem Impulswinkel; Dipl.Ing. (BA) L. Jüngling, M. J. Beck, Dipl.Ing. (FH) R. Schüßler, WAGON Automotive GmbH, Waldaschaff.
- Kraftfahrtechnisches Taschenbuch „Bosch“, 22. Auflage 1995, Bericht Stoßfänger NE: BAUER / HORST (das Bild über Stoßfängersystem und den Kurzbericht dazu);
ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, FRANCKH-COSMOS Verlags Ges.m.b.H. & Co., bzw. Friedrich Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft mbH, mit freundlicher Genehmigung der nachstehend angeführten Berichte aus den angegebenen Nummern, und zwar:
79 / (1977) 1 - Entwicklung von Maßnahmen zur Unfallminderung, von Dipl.Ing. Ulrich BEZ und Ing. (Grad) Guido LASCHET.
82 / (1980) 10 - Bericht über „ein 50 km/h Front/Heckaufprall mit Testpersonen“ von Prof. Dr. Ing. Max DANNER und Dr. Ing. Reinhard WAGNER.
85 / (1983) 7/8 - Stoßfängersystem Mercedes Benz 190.
85 / (1983) 9 - Energieumsetzung von Personenkraftwagen beim Frontalaufprall, von Michael RAUSER und Manfred GROSMANN.
90 / (1988) 7/8 - Stoßfängersystem BMW 5.
92 / (1990) - BMW 850, Stoßfängersystem und Deformationscharakteristik.
92 / (1990) - BMW Schadensbilder bei Crash und Steifigkeit der Karosserie.
93 / (1991) 4 - Der neue 3er BMW, Peter Haslbeck und Hans Heiland.
95 / (1993) 7/8 - Struktursicherheit - Neue Produkte - Die passive Sicherheit des Mercedes-Benz S-Klasse, Dipl.-Ing. (FH) Klaus Rathje, Dipl.-Phys. Volker Kauffmann, Johann Hurich.
96 / (1994) 11 - Typ-Schadenauslegung Audi A4 (jeweils Stoßfängersystem und Steifigkeit), Dr.-Ing. Franz-Josef Paefgen, Dr.-Ing. Ulrich Hackenberg, Dipl.-Ing. Ernst Müller.
96 / (1994) 1 - Audi A8 Steifigkeit und Deformationsbilder.
MTZ-Sonderheft 94/95 - Bericht über ALCOA, betreffend Tragrahmen und Werte sowie Beschreibung.
97 / (1995) 3 - Bericht über Leichtbau.

- 97 / (1995) 7/8 - Stoßfängersystem des MBE.
 97 / (1995) 7/8 - Frontalaufprall Mercedes Benz, Bericht von Mercedes Benz - MB S W 140.
 97 / (1995) 11 - BOGE GmbH - Stoßdämpfer.
 98 / (1996) 4 - Stoßfängersystem VW Transporter.
 98 / (1996) 7/8 - Stoßfängersystem Audi A3, Bericht von Dr. Ing. Franz-Josef PAEFGEN und Dipl.Ing. Heinrich TIMM.
 ATZ-MTZ-Sonderheft (1997) 03 - Stoßfängersystem Audi A6, Bericht von Dr. Ing. Franz-Josef PAEFGEN und Ulrich Hackenberg.
 ATZ-MTZ-Sonderheft (1997) 09 + 10 - Stoßfängersystem und Karosserieaufbau - der neue VW Golf IV, Bericht von Dr. rer. nat. Martin Winterkorn und Dipl.-Ing. Wolfram Loll.
 ATZ-MTZ-Sonderheft (1997) 12 - Passive Sicherheit des neuen Porsche 911 Carrera, Bericht von Horst Petri, Heinz Eberhardt und Herbert Klamser.
 99 / (1997) 12 - Innenraum - Sicherheits-Kopfstütze - rb
 ATZ-MTZ-Sonderheft (1999) 01 - Entwicklung und Fertigung der Focus-Karosserie, von Georgios Giazitzis.
 ATZ-MTZ-Sonderheft (2000) 10 - Der neue Ford Mondeo.
 101 (1999) 2 - Fortschritt im Automobilbau: Sicherheit durch Aluminiumstrukturen, von Dr. Ernst Lutz und Dipl.-Ing. Simon Frank.
 101 (1999) 2 - Entwicklung einer leichten Sitzstruktur, von Prof. Dr.-Ing. Bernd Klein.
 101 (1999) 7/8 - Faserverbundkunststoff-Träger mit Crahfunktion, von Johannes Dyckhoff und Prof. Dr. Hans-Günther Haldenwanger.
 101 (1999) 9 - Fahrzeugsicherheit und Unfallinstandsetzung, Bericht von Dipl. Phys. Carl-Friedrich Müller und Dipl. Ing. Bernd Schmidt.
 101 (1999) 12 - Grundlagen für die Crashberechnungen von Kunststoff-Kraftstoffbehältern, Bericht von Dr.-Ing. Jürgen Cordes und Dr.-Ing. Martin Meywerk.
 102 (2000) 6 - Der BMW Z8, Bericht von Christian Dietrich.
 ATZ-MTZ-Sonderheft (2000) 11 - Der neue Audi A4.
 104 (2002) 11 - Crash-Box mit Aluminiumschaum, Bericht von Jean-Louis Lanard, Jérôme Lestavel, Sébastien Guinehut.
 ATZ-MTZ-Sonderheft (2003) - Leichtes Design für leistungsstarke passive Sicherheit - Stoßfänger + Crash-Box, von Dr. Wolfgang Guth und Dipl.-Ing. Christian E. Lodgaard.
- Auto, Motor und Sport (AMS) - Fachzeitschrift - Stuttgart, mit freundlicher Genehmigung der gekennzeichneten Texte.
 UNITAX Technikverlag Bernd Gerich : Crashverhalten unfallreparierter Fahrzeuge: (Versuche: VW Golf II), Dipl.Ing. Holger Sommer, Dipl.Ing. Martin Kapp, Dipl.Ing. Bernd Gerich, Prof. Dipl.Ing. Hermann W. Kurth.
 Auto Zeitung - Fachzeitschrift - Heft 26/2004, Bericht „Kopfstützentest“, Uwe Schmidt-Kasperek/Holger Ippen.
 24. Vertiefungsseminar: Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Alfred SLIBAR - 25.Stapp Car Crash Conference, 1981 California.
 Bericht v. 04.10.2004: EEVC European Enhanced Vehicle-safety Committee, Arbeitsgruppe WG20,
 „Verbesserter Stand der Technik - Bericht zur Peitschenschlag-Verletzungsprävention“
 Verbesserter „Stand der Technik“ - Prüfung zur Peitschenschlag-Verletzungsprävention
 Bericht (2005): Wichtigste Ergebnisse und Kurzfassung, der wesentlichsten Dokumente zum neuen „state of the art“ in Verkehrstechnik, Biomechanik und Medizin bei traumatischen Verletzungen, besonders nach Heck-Aufprall. Dr. Markus Frank LL.M., Rechtsanwalt, Neustiftgasse 3/5, A-1070 Wien.
- AGU Crash DB: Uebersicht: AGU: Arbeitsgruppe für Unfallmechanik, Prof. Dr. med. Felix Walz, Dr. sc. techn. Dipl. el. Eng. ETH Markus Muser u.a.
 Winkelriedstrasse 27, 8006 Zürich, Schweiz
 DTC: Dynamic Test Center, Raphael Murri, CH-2537 Vauffelin, Schweiz
- „Handbuch der Verkehrsunfall-Rekonstruktion“ von Burg/Rau
 „Technische Analyse von Verkehrsunfällen“ von Danner/Halm
 „Einfluss der Beschleunigungscharakteristik auf das Verletzungsrisiko bei der HWS-Beschleunigungsverletzung“:
 Dissertation zur Erlangung des Doktorates der Medizin der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm.
 Von Kai Guido Fruth aus Stuttgart, Ulm 2004
- Eigene Berichte des Artikel-Verfassers:
- Kfz-Insassenbelastung
 - Berechnung der Deformationsarbeit an Fahrzeugen (Teil I + Teil II + Teil III, 6 Bände)
 - Steifigkeitszahl- und Kraftzahl-Liste
 - Berechnungsbeispiele-Seminar:
 - Beispiel 1 - Berechnung mit dem Steifigkeitszahlssystem und Berechnung der Insassenbelastung.
 - Beispiel 2 - Berechnung mittels einer Kombination von Steifigkeitszahl- und Kraftzahlssystem.
 - Beispiel 3 - Auffahrunfall - Renault R 19 auf das Heck eines BMW, samt k-Faktor-Berechnung aus der Auswertung der a/t-Versuchskurve des AZT-Reparatur-Crashversuches des Allianz-Zentrums München-Ismaning. Dies durch Verwendung der von mir ausgewerteten dynamischen Steifigkeitszahl C^{dyn}. Umrechnung von d, d_{dyn}, C^{dyn} und C^{dyn} mit einem sich ändernden k-Faktor.
 - Computer-Software für verschiedene Berechnungsmöglichkeiten im Ms-Excel des Standgerätes, aber auch im Pocket PC.
 Berechnung der Deformationsarbeit, auch der Kfz-Insassenbelastung ungebremst und gebremst, und vieles andere mehr.
 - „Das Schleudertrauma der Halswirbelsäule (HWS)“
 Kurzfassung (Zusammenfassung) über meine Berichte: 'Berechnung der Deformationsarbeit an Fahrzeugen', der 'Kfz-Insassenbelastung', einschließlich 'Berechnungsbeispiel' und 'Korrespondenz'. Entsprechendes in Farbe - auch die Schadensbilder.
 - „Was ist und wie groß ist bei einer Kollision die Stoßzeit“
 Auswertung von siebzig (inklusive AZT von achtundachtzig) realen Crash-Versuchen in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen (Versuche durchgeführt von DTC/AGU - Schweiz).
 Auswertung der Versuchs-Messkurven auch hinsichtlich des Verhältnisses der **Kompressionszeit** zur **Restitutionszeit**.
 - „Berechnung der Reibungsarbeit am Kfz bei "stark schleifendem Stoß" bei einer Kollision Kfz/Kfz, bei hoher Relativbewegung unter Gleitung.“
 „Berechnung der Reibungsarbeit bei einer Kfz-Kollision mit einem Baum – Reibungsarbeit des Kfz am Baum.“
 „Berechnung der Deformationsarbeit von Fahrzeugen.“
 „Computer-Berechnungssoftware dafür im Microsoft-Excel-Programm für:“
 Impuls, Drall, Drehung um den Momentanpol, Verformungsarbeit (Deformationsarbeit - Berechnung mit der Steifigkeits- oder der Kraftzahl über die Deformationstiefe), Kfz-Insassenbelastung: mittlere Beschleunigung bzw. Verzögerung in der Kompressionsphase - ungebremst oder gebremst, diverse Umrechnungsmöglichkeiten, Reibungsarbeit, Energiebilanzen.
 Der Bericht beinhaltet Berechnungsbeispiele. Die Berechnungen erfolgen in Zusammenhang mit dem Antriebsbalancediagramm (Impulsdiagramm). Da die Berechnungen sehr umfangreich sind und dazu die Berechnungssoftware erforderlich ist, wird dieser Wissenschaftsbericht nur als Paket verkauft.

Der Bericht liegt in deutscher Sprache vor.

Alle Angaben und Daten wurden mit der gebotenen Sorgfalt zusammengestellt und recherchiert, es wurde alles nach bestem Wissen erarbeitet.

Das Werk beruht größtenteils auf Informationen Dritter. Fehler (auch Übersetzungsfehler von der einen in die andere Sprache) und Irrtümer sind nicht ausgeschlossen. Es wird darauf hingewiesen, dass im Gesamten für die Richtigkeit des Werkes (Bericht und Softwareprogramm für PC) keine Gewähr übernommen werden kann, es ist unverbindlich; aus einer allfälligen Unrichtigkeit kann keine wie immer geartete Haftung begründet werden - bei Feststellen von Fehlern oder Ungereimtheiten ersuche ich um sofortige Benachrichtigung - eine erforderliche allfällige Berichtigung erfolgt selbstverständlich kostenlos.

Wie allgemein üblich wird auf folgendes hingewiesen:

Nachdruck bzw. Vervielfältigung von allem, auch auszugsweise, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Datenverarbeitungssystemen bedarf der vorherigen schriftlichen Genehmigung des Herausgebers. Die Gesamtheit des Berichtes bzw. des Werkes (Berichte und Softwareprogramme für PC), einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt.

Für Veröffentlichungen ist auch die Systemverwendung untersagt - sofern nicht vom Herausgeber genehmigt.

Die Steifigkeitszahl- und Kraftzahl-Liste wird laufend ergänzt. Die Ergänzung (somit immer die neueste Ausführung) wird über Wunsch käuflich angeboten, falls entweder mein Seminar besucht wurde, oder meine Fachbroschüre „Bericht - Berechnung der Deformationsarbeit an Fahrzeugen“ bezogen wurde.

Dieser Bericht wird nach weiteren Veröffentlichungen ergänzt.

Von Eurotax liegt die Bekanntmachungserlaubnis vor und sind die Steifigkeitszahlen aus den Reparaturcrash-Versuchen des Allianz-Zentrums München-Ismaning, die von mir daraus herausgerechnet wurden, in meiner Steifigkeitszahl- und Kraftzahl-Liste enthalten und mit einem „x“ versehen.

Diese Crash-Versuche werden von EurotaxGlass's-Schweiz mit Farblichtbilddokumentation der Schadensbilder und weiterer Angaben in deren Mappe „Crash-Test“ veröffentlicht.

Abweichungen und Fehler, verursacht durch die Datenübertragung des Internets, können nicht ausgeschlossen werden; das heißt, es gilt immer nur der Originaltext. Eine Haftung für Schäden, die durch die Benutzung dieser WebSite entstehen, ist ausgeschlossen. Die Angaben wurden sorgfältig geprüft und beruhen auf dem jeweils angegebenen Stand. Dessen ungeachtet kann eine Garantie für die Vollständigkeit, Richtigkeit und letzte Aktualität der Angaben nicht übernommen werden.

Verfasser:

ING. WOLFGANG HUBER

Ingenieur- und Sachverständigenbüro für Kfz-Schäden, Unfallanalyse und Unfallforschung

A - 3100 St. Pölten, Fuchsenkellerstraße 22

Tel./Fax: +43/ (0) 2742 - 36 43 52 -- Mobil: +43/ (0) 6 64 - 373 34 68

Eigene homepage im Internet (WebSite): <http://www.kfz-unfallforschung.at/> e-mail: office@kfz-unfallforschung.at

Aus rechtlichen Gründen ist eine Bestellungenannahme und eine Lieferung nur aus, beziehungsweise nach, Europa (Europa im geografischen Sinn) möglich.

Es gilt die Gesetzgebung und Rechtsprechung in (von) Austria, bzw. Österreichisches Recht. Erfüllungsort und Gerichtsstand ist: A - 3100 St. Pölten
Betriebssystem: Microsoft - Windows 98, Word - Version 6.0; erforderlicher Mindestarbeitspeicher: 256 MB. Eingestellt auf Drucker „HP Laser Jet 1100“.

Ing. Wolfgang Huber © Copyright. Alle Rechte vorbehalten.

Computerbezeichnung: Berechnungsbeispiel-Bericht_Artikel_InassenHWS_für_ZVR_07.04.2008

→ 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 30 Jahren tätig.

Tel./Fax: +43/ (0) 2742 - 36 43 52; Mobil: +43/ (0) 664 - 373 34 68

E-mail: office@kfz-unfallforschung.at

Homepage: <http://www.kfz-unfallforschung.at/>

Vom selben Autor zu diesem Thema als eigene Berichte erschienen:

- „Kfz-Insassenbelastung“
- „Berechnung der Deformationsarbeit an Fahrzeugen (Teil I + Teil II + Teil III, 6 Bände)“
- „Steifigkeitszahl- und Kraftzahl-Liste“
- „Berechnungsbeispiele-Seminar“:
 - Beispiel 1 - Berechnung mit dem Steifigkeitszahlensystem und Berechnung der Insassenbelastung.
 - Beispiel 2 - Berechnung mittels einer Kombination von Steifigkeitszahl- und Kraftzahlensystem.
 - Beispiel 3 - Auffahrunfall - Renault R 19 auf das Heck eines BMW, samt k-Faktor-Berechnung aus der Auswertung der a/t-Versuchskurve des AZT-Reparatur-Crashversuches des Allianz-Zentrums München-Ismaning. Dies durch Verwendung der vom Autor ausgewerteten dynamischen Steifigkeitszahl C^{dyn}. Umrechnung von d, d_{dyn}, C' und C^{dyn} mit einem sich ändernden k-Faktor.
- „Computer-Software für verschiedene Berechnungsmöglichkeiten im Microsoft-Excel des Standgerätes, aber auch im Pocket PC“, Berechnung der Deformationsarbeit, der Kfz-Insassenbelastung bei Kfz ungebremst und Kfz gebremst, und vieles andere mehr.
- „Das Schleudertrauma der Halswirbelsäule (HWS)“. Kurzfassung (Zusammenfassung) über die Berichte des Autors: 'Berechnung der Deformationsarbeit an Fahrzeugen', der 'Kfz-Insassenbelastung', einschließlich 'Berechnungsbeispiel' und 'Korrespondenz'. Entsprechendes in Farbe - auch die Schadensbilder.
- „Was ist und wie groß ist bei einer Kollision die Stoßzeit“. Auswertung von siebzig realen Crash-Versuchen in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen (Versuche durchgeführt von DTC {Dynamic-Test-Center}/AGU - Schweiz). Auswertung der Versuchs-Messkurven auch hinsichtlich des Verhältnisses der Kompressionszeit zur Restitutionszeit.
- „Berechnung der Reibungsarbeit am Kfz bei „stark schleifendem Stoß“ bei einer Kollision Kfz/Kfz, bei hoher Relativbewegung unter Gleitung.' ‚Berechnung der Reibungsarbeit bei einer Kfz-Kollision mit einem Baum – Reibungsarbeit des Kfz am Baum.' ‚Computer-Berechnungssoftware dafür im Microsoft-Excel-Programm für: Impuls, Drall, Drehung um den Momentanpol, Verformungsarbeit (Deformationsarbeit - Berechnung mit der Steifigkeits- oder der Kraftzahl über die Deformationstiefe), Kfz-Insassenbelastung: mittlere Beschleunigung bzw. Verzögerung in der Kompressionsphase - ungebremst oder gebremst, diverse Umrechnungsmöglichkeiten, Reibungsarbeit, Energiebilanzen.“

Der Bericht beinhaltet Berechnungsbeispiele. Die Berechnungen erfolgen in Zusammenhang mit dem Antriebsbalancediagramm (Impulsiagramm).

Literatur:

Vom Autor im Artikel angeführt.