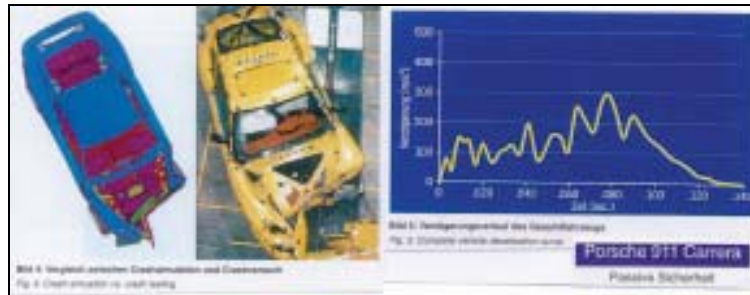


**ING. WOLFGANG HUBER**  
**Ingenieur- und Sachverständigenbüro für Kfz-Schäden, Unfallanalyse und Unfallforschung**  
A-3100 St.Pölten, Fuchsenkellerstraße 22  
Tel./Fax: +43 (0) 2742 - 36 43 52 -- Mobil: +43 (664) 373 34 68



Quelle: Bericht aus-ATZ-MTZ-Sonderheft (1997) 12-Passive Sicherheit des neuen Porsche 911 Carrera - Bericht von Horst Petri, Heinz Eberhardt und Herbert Klamsner - dort Bild 4 + Bild 5.

## Auszüge eigener wissenschaftlicher Berichte

Alle Angaben und Daten wurden mit der gebotenen Sorgfalt zusammengestellt und recherchiert, es wurde alles nach bestem Wissen erarbeitet. Das Werk beruht großteils auf Informationen Dritter. Fehler (auch Übersetzungsfehler von der einen Sprache in die andere Sprache, sowie auch Internetübertragungsfehler) und Irrtümer sind nicht ausgeschlossen. Es wird darauf hingewiesen, dass im Gesamten für die Richtigkeit des Werkes keine Gewähr übernommen werden kann, es ist unverbindlich; aus einer allfälligen Unrichtigkeit kann keine wie immer geartete Haftung begründet werden. Es 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, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Für Veröffentlichungen ist auch die Systemverwendung untersagt - sofern nicht vom Herausgeber genehmigt. Die Steifigkeitszahl- und Kraftzahlliste 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-Liste enthalten und mit einem „x“ versehen. Diese Crash-Versuche werden von Eurotax-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 (Webseiten) 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. Es gilt die österreichische Gesetzgebung und Rechtsprechung. Erfüllungsort und Gerichtsstand ist: A - 3100 St. Pölten. © Copyright. Alle Rechte vorbehalten.

## **Inhalt**

- Systembeschreibung zur Berechnung der Deformationsarbeit an Fahrzeugen (vollständiger Bericht)
- Berechnungsbeispiele:
  - Auffahrunfall: Front VW Passat III gegen Heck Volvo 360 GLE  
(mit Originalschadensbildern in Farbe)
  - Frontalkollisionstest CRATCH gegen Renault Laguna bei Frontüberdeckung  
des CRATCH von 50% (für Renault 46,8%) bei einer Kollisionsgeschwindigkeit  
von je 50,5 km/h, durchgeführt am 24.9.1996.
- Kfz-Insassenbelastung (detaillierte Inhaltübersicht im Fließtext)

## Berechnung der Deformationsarbeit an Fahrzeugen

*Neue Berechnungsmethoden durch Verwendung eines neu entwickelten Steifigkeitszahl- und Kraftzahlsystems.*

*Seit über 20 Jahren bin ich Verkehrssachverständiger. Nachdem vorwiegend in den letzten Jahren von Seiten der Automobilindustrie, aber auch von anderen Institutionen, um sehr viel Geld Crashtest-Versuche an Kfz's vorgenommen und auch bildlich dokumentiert werden, erscheint es mir erforderlich, auch dorthin eine Kontaktbrücke herzustellen, um zu dokumentieren, was auch ein verkehrstechnischer Sachverständiger an Informationen für seine Unfallrekonstruktion diesen Tests entnehmen kann.*

*Unter anderem läßt sich aus dem Schadensbild des Kfz's ein Rückschluß auf die geleistete Deformationsarbeit ableiten und kann daraus die Kollisionsgeschwindigkeit rückgerechnet werden. Das heißt, wenn man gewisse Angaben hat, läßt sich aus dem Crashtest-Versuch bei Zugrundelegung eines bestimmten Berechnungssystems eine Steifigkeits- oder (und) Kraftzahl ermitteln. Ein solches Berechnungssystem wurde von mir entwickelt.*

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

Aus der Energiebetrachtung ergibt sich, dass die Gesamtenergie der beiden Unfallpartner in die Kollision hinein, also bei Kollisionsbeginn, gleich zu sein hat der Gesamtenergie aus der Kollision heraus einschließlich der Deformationsbilder der beiden Fahrzeuge, d.h., einschließlich der bleibenden Deformationsarbeit, die an beiden Fahrzeugen geleistet wurde. Da die Energieänderung nicht zeitlos erfolgt, wurde diese Formelbetrachtung sehr stark erweitert (z.B.: Wärmeenergie) (Formel 3b).

### Energiebetrachtung:

$W_{\text{Def gesamt Bleibend Quer quer}}$  (Betrag für Wärme- und Reifenschlupfarbeit unbekannt)

$W_{\text{Def ges Bleibend Quer quer}} < W_{\text{Def gesamt}}$  (bei  $k > 0,00$ , da  $\Delta E_{\text{Restitution}}$  abgerechnet wird)

$$E_{T1} + E_{T2} + E_{R1} + E_{R2} = E_{T1}' + E_{T2}' + E_{R1}' + E_{R2}' + W_{\text{Def 1 Bleibend Quer quer}} + W_{\text{Def 2 Bleibend Quer quer}} + (E_{\text{Rest}}) \quad [\text{Nm}] \quad (3)$$

$$E_{\text{ges}} = E'_{\text{ges}} + W_{\text{Kompr ges}} - \Delta E_{\text{Resti ges}} + (E_{\text{Rest}}) + E_{\text{Hubarbeit}} \quad (= 0 \text{ für ebenen Stoß}) \quad [\text{Nm}] \quad (3a)$$

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

$$E_{\text{ges}} = E'_{\text{ges}} + W_{\text{Def Kompr ges incl. WFeder Kompr ges}} + W_{\text{Wärme Kompr aus Deformation ges}} + W_{\text{Wärme aus Reibung der Kollisionspartner zueinander ges}} + W_{\text{Reifenwalk (Rollwiderstand) Kompr ges}} + W_{\text{Reifenschlupf (Reifenwiderstand) Kompr ges}} - (W_{\text{Def Resti ges incl. WFeder Resti ges}} + W_{\text{Wärme Resti aus Rückverformung ges}} + W_{\text{Reifenwalk (Rollwiderstand) Resti ges}} + W_{\text{Reifenschlupf (Reifenwiderstand) Resti ges}} + W_{\text{Wärme aus Reibung der Kollisionspartner zueinander}}) + E_{\text{Rest}} + E_{\text{Hubarbeit}} \quad [\text{Nm}] \quad (3b)$$

**Die Kollision wird unterteilt in:**

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

Dies gilt bei Vollstoß ohne oder ohne wesentlicher Rotation.

**Dementsprechend ergibt sich an Zeit:**

- Kompressionszeit (Stoßzeit),
- Restitutionszeit,
- gesamte Kontaktdauer.

**An relativer Kontaktstrecke:**

- $d_{\text{ges dynamisch}}$  (bei einem k-Faktor größer 0,00) =  $d_{\text{ges bleibend}} + d_{\text{ges Restitution}}$  , - Kompressionsphase,
- $d_{\text{ges Restitution}}$  (bei einem k-Faktor größer 0,00) =  $d_{\text{ges dynamisch}} - d_{\text{ges bleibend}}$  , - Restitutionsphase,
- $d_{\text{ges max bleibend}}$  (bei einem k-Faktor gleich 0,00: Kompressionsphase = gesamte Kontaktphase)  
=  $d_{\text{ges dynamisch}} - d_{\text{ges Restitution}}$  , - mathematisches Ende der Kontaktphase.

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

Im grundsätzlichen ist davon auszugehen, dass es bei Ansetzen einer Stoßziffer = k-Faktor = Elastizitätszahl mit größer 0,00 zusätzlich zur Kompressionsphase eine Restitutionsphase gibt. Es konnte ein mathematischer Zusammenhang zwischen der Steifigkeitszahl  $C'$  und dem k-Faktor zur Steifigkeitszahl  $C''_{\text{dyn}}$  gefunden werden. Bei Überprüfung dieser Berechnungen anhand von realen Crashversuchen wurden keine Fehler bei diesem mathematischen Zusammenhang festgestellt. Es wurde somit eine Formel über den Zusammenhang zwischen der maximalen bleibenden Deformationstiefe ( $d$ ) und der maximalen dynamischen Deformationstiefe ( $d_{\text{dyn}}$ ) gefunden.

$$d_{\text{max bleibend}} = d_{\text{dyn}} \cdot (1 - k) \text{ [m]} \quad (\text{mit Vorbehalt}) \quad \text{Formel (33)}$$

Bei Ansatz einer Stoßzahl (k-Faktor) = 0,00 gibt es nur die Kompressionsphase und in dieser Kompressionsphase wird das  $\Delta v_{\text{Kompression}}$  erzeugt. Dieses  $\Delta v$  ist der Geschwindigkeitsänderungswert für das Fahrzeug in der Kompressionsphase und zugleich auch das Maß für die Kompressionsarbeit; das heißt, diese Kompressionsarbeit ist ident mit dem bleibenden Schadensbild am Fahrzeug, nämlich mit der Verformungsarbeit. Das  $\Delta v_{\text{Kompression}}$  ist natürlich unabhängig vom k-Faktor.

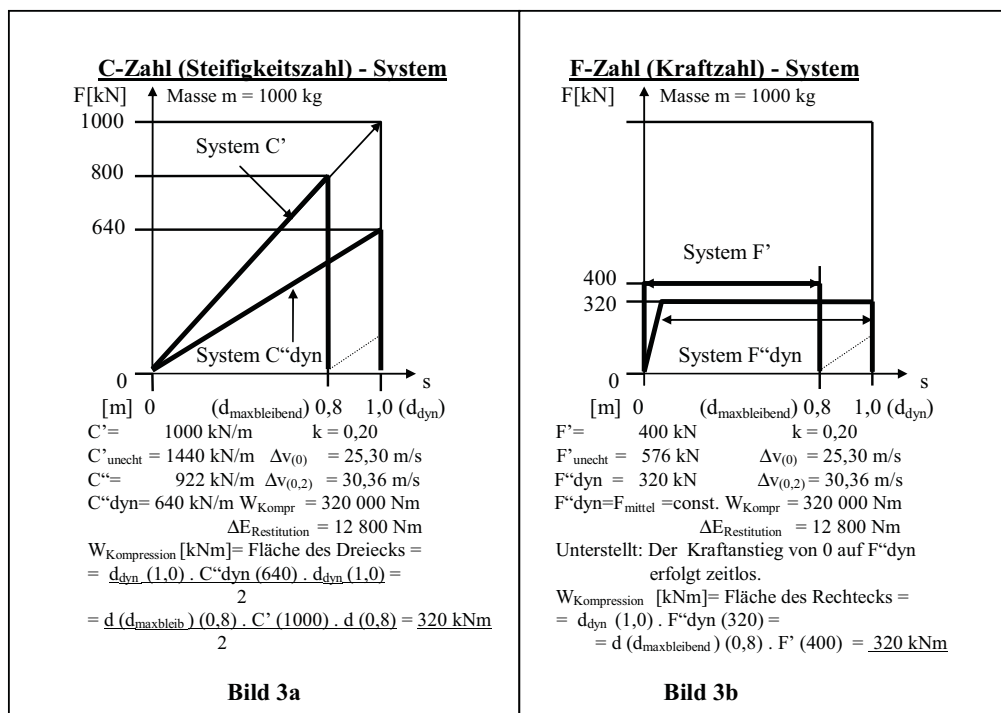
Wenn der k-Faktor 0,00 ist, ist genau genommen die maximale dynamische Deformation gleich der maximalen bleibenden Deformation. Es gibt also kein Rückverformen (Restituieren) der Deformationsstelle (keine Restitutionsphase).

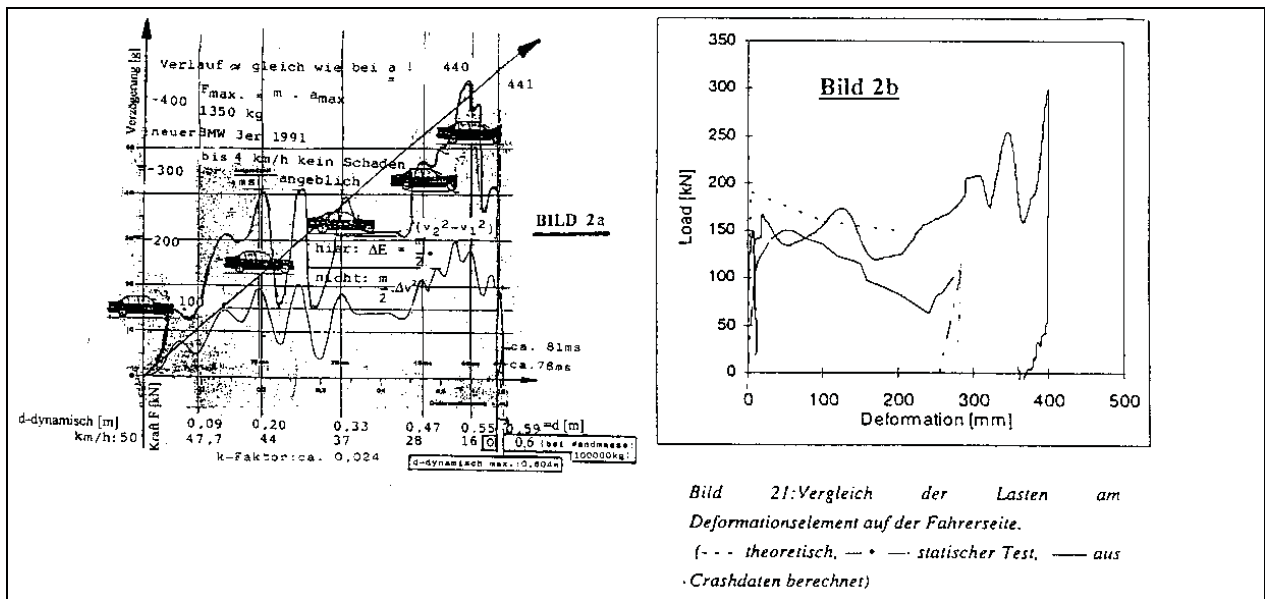
Für das System, Verwendung der **maximalen bleibenden Deformationstiefe (Stauchung)**, wird die **Steifigkeitszahl C'** verwendet. Über die Steifigkeitszahl C' und die maximale bleibende Deformationstiefe kann man die Verformungsarbeit berechnen.

Wenn nun ein k-Faktor größer 0,00 vorgelegen hat - ein solcher ist praktisch immer (mit Ausnahme bei Seitenkollisionen) anzusetzen - gibt es an Stelle der maximalen bleibenden Deformationstiefe einen größeren Wert, nämlich die **maximale dynamische Deformationstiefe**. Die maximale dynamische Deformationstiefe ist demnach größer als die maximale bleibende Deformationstiefe.

Da aber die Kompressionsarbeit selbst und somit  $\Delta v_{\text{Kompression}}$  gleich bleibt (gleiche Masse für Arbeitsberechnung vorausgesetzt), wird die Steifigkeitszahl kleiner. Dies wird durch das System **Steifigkeitszahl C''dyn** dargestellt (Bild 3a).

### Systemdarstellung





**Bild 2a**

**Bild 2b**

Quelle: ATZ 93 / (1991) 4 - Der neue 3er BMW

Quelle: Sicherheit von Leichtfahrzeugen - CRATCH - Mai 1997.

### C-Zahl (Steifigkeitszahl) - System:

Das Bild 3a stellt meine Grundsatzüberlegung hinsichtlich C' und der Arbeit dar, wobei die Arbeit der Fläche dieses Dreiecks,

$\frac{\text{Höhe} \times \text{Grundlinie}}{2}$ , entspricht.

Und zwar bei einem k-Faktor = 0,00 (Hier gibt es nur die Kompressionsarbeit). Die Senkrechte des Dreiecks stellt die Kraft dar.

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

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

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

Die Senkrechte des Dreiecks stellt die Kraft dar. Die Grundlinie des Dreiecks stellt  $d_{\text{dyn}}$  dar. Daraus folgt, dass C<sup>dyn</sup> mit größer werdendem k-Faktor kleiner wird, weil  $d_{\text{dyn}}$  größer wird.

Die Steifigkeitszahl C' ist vom k-Faktor unabhängig (Beurteilung von der maximal bleibenden Deformationstiefe d aus).

Die Steifigkeitszahl C<sup>dyn</sup> ist vom k-Faktor abhängig (Beurteilung von der maximal bleibenden Deformationstiefe d aus).

Der Stoßantrieb muss auf beide Fahrzeuge gleich groß sein, wenn man einen ebenen Stoß voraussetzt, was man grundsätzlich so unterstellt. Daraus ergibt sich aber über die Stoßzeit (Kompressionszeit), dass die Kraft auf den Schwerpunkt der beiden Stoßpartner gleich groß sein muss.

Die Steifigkeitszahl C in N/m oder in kN/m ist natürlich abhängig von der Rammgeschwindigkeit bzw. vom Geschwindigkeitsänderungswert in der Kompressionsphase.

### Definition der Steifigkeitszahl C

d [m]..... maximale bleibende Deformationstiefe

d<sub>0</sub> [m]..... fiktiv maximale bleibende Deformationstiefe - hinter der reinen (eigentlichen) sehr nachgiebigen, weichen (ganz geringe Steifigkeit) Schürze  
 (zur Definition k<sub>0(ΔvRestitution)</sub> (32a<sub>1</sub>)) - beim HUK-Test.

d<sub>dyn(amisch)</sub> [m]..... maximale dynamische Deformationstiefe

Δv<sub>(0)</sub> [m/s]..... bedeutet immer Geschwindigkeitsänderung in der Kompressionsphase Δv<sub>Kompression</sub> (Δv<sub>(0)=Kompression</sub>)

$$C'(k \geq 0) = \frac{m \Delta v^2_{(0)=Kompression}}{d^2} \quad [\text{N/m}] \quad (25)$$

### Bei Berücksichtigung der Deformationsarbeit der deformierbaren Barriere (gilt nur bei m<sub>Barriere</sub> = ∞) :

$$\text{Konstante } k_{64} = \left| \frac{v_{Kollision} [km/h]}{3,6} \right|^2 \hat{=} \left| \frac{64 km/h}{3,6} \right|^2 \hat{=} 316,04938 m^2/s^2 \quad [m^2/s^2] \quad (25_{0/a})$$

$$C'_{F(\Delta v(0)(0=Kompression=64km/h))[\Delta v]} = \frac{k_{64} [m^2/s^2] m [kg] - (2000 W_{DefBarriere} [kJ])}{1000 d^2 [m]} \quad [kN/m] \quad (25_{0/b})$$

$$C''_{F,dyn(\Delta v(0)(0=Kompression=64km/h))[\Delta v]} = \frac{k_{64} [m^2/s^2] m [kg] - (2000 W_{DefBarriere} [kJ])}{1000 d_{dyn}^2 [m]} \quad [kN/m] \quad (25_{0/c})$$

$$[\Delta v] = \sqrt{k_{64} - \frac{2000 W_{DefBarriere} [kJ]}{m [kg]}} \quad [m/s] \quad (25_{0/d})$$

$$C'_{F,H-k_0(\Delta vRestitution)(0)(0=Kompression)} = \frac{C''_{F,H,dyn}}{(1 - k_{0(\Delta vRestitution)})^2} \quad [N/m] \quad (25a_1)$$

$$d_{0\text{Offset}40\%AZT\text{-Test}(x\text{-Werte lt. Steifigkeitszahlste) } C'(k, k_0 \geq 0)} = \sqrt{\frac{2m\Delta v_{(0)=Kompression}^2}{C'_{F,H-k_0(\Delta v\text{Restitution})(0)=Kompression}} \text{ für volle Breite}} \quad [\text{m}] \quad (25_1)$$

$$C'_{\text{unecht}}(k > 0) = \frac{m\Delta v_{\text{gesamt}}^2(k > 0)}{d^2} \quad [\text{N/m}] \quad (26)$$

$$C''(k > 0) = \frac{m\Delta v_{\text{gesamt}}^2(k > 0)}{d_{\text{dyn}}^2} \quad [\text{N/m}] \quad (27)$$

$$C''_{\text{dyn}}(k > 0) = \frac{m\Delta v_{(0)=Kompression}^2}{d_{\text{dyn}}^2} \quad [\text{N/m}] \quad (28)$$

Für die Berechnung der Deformationsarbeit ist jedoch nur  $C'$ ,  $C'_{F,H-k_0(\Delta v\text{Restitution})}$  und  $C''_{\text{dyn}}$  von Bedeutung bzw. verwendbar.

$$\Delta E_{\text{Kompression}} = W_{\text{DefKompression}} = \frac{m}{2} \Delta v_{(0)=Kompression}^2 = \frac{1}{2} C' d^2 \quad [\text{Nm}] \quad (6)$$

$$\Delta v_{(0)=Kompression} = \sqrt{\frac{C' d^2}{m}} \quad [\text{m/s}] \quad (7)$$

Bei Verwendung der Steifigkeitszahl  $C'$  [N/m], der maximalen bleibenden Deformationstiefe  $d$  [m], sowie der Masse  $m$  [kg], kommt man mit Hilfe der Formel (7) für das entsprechende Fahrzeug zum Geschwindigkeitsänderungswert  $\Delta v_{(0)=Kompression}$ . Über eine Gesamtenergiebilanz beider Fahrzeuge ist aber abzuklären, ob dieser Wert auch das tatsächliche  $\Delta v_{(0)=Kompression}$  für die Impulsrechnung ist oder nicht.

$$k_0 = \frac{\Delta v_{\text{Restitution}}}{\Delta v_{(0)=Kompression}} \quad (32a_1)$$

$$k = 1 - \frac{d}{d_{\text{dyn}}} \quad (32b)$$

$$d_{\text{max bleibend}} = d = d_{\text{dyn}} \cdot (1-k) \quad (\text{mit Vorbehalt}) \quad [\text{m}] \quad (33)$$

$$d_0 = d_{\text{dyn}} (1 - k_{0(\Delta v\text{Restitution})}) \quad (\text{mit Vorbehalt}) \quad [\text{m}] \quad (33_1)$$

## Definitionen und Bezeichnungen des C-Zahl (Steifigkeitszahl) Systems in der C-Zahl-Liste

[kN/m] C', C'\_{k0-F,H}, Alternativzahl C'\_{unecht} und C''=„unechte“ Steifigkeitszahl; C''\_{dyn}=„echte“ Steifigkeitszahl  
 $\Delta v$  aus Def.Arbeit nach Berücksichtigung der Deformationsarbeit der deformierbaren Waben oder anderen Deformationselementen  
 + C 600 { } / 794 / 573 / 434 (1000 kg)--Kfz Masse[kg]  
 $\Rightarrow F = 102,1 / 134,9 / 114,7 / 86,85$  [kN] bei:  $d = 0,1701034$  m,  $d_{dyn} = 0,2001217$  m  
 $\times F 15 [ ] (0,0 R_1) \{k_0\} / 17,3 (0,15 R_1) / - / 15 (0,0/0,15 R_1) / k_0(\Delta v_{Restitution}) \leq \dots ?$  12/92 ---Testjahr (-Monat)-bzw.  
 : | Kompression Baujahr bzw. Modelljahr Kfz  
 Front | k-Faktor Rotationsenergie k-Faktor für dieses C''\_{dyn}  
 $\Delta v$  [km/h](Geschw.Änderung aus Translation) (Kompression bzw. gesamt) (24)

C, C', C'\_{k0}, C'\_{unecht}, C'', C\* [kN/m]: unechte Steifigkeitszahlen. C''\_{dyn} [kN/m]: echte Steifigkeitszahlen - über gesamte Breite - bei keiner anderen Angabe - sind Näherungswerte - Richtwerte - toleranzbehaftet - auch abhängig von der Krafteinleitungsrichtung.  
 C''\_{dyn}/kg(...) [kN/mkg] bei k-Faktor(...) - Massesteifigkeitszahl bei k-Faktor (...) - massebereinigte Steifigkeitszahl bei k-Faktor (...).

F - Front	vo - vorne	HR	- Hinterrad	f.v.Br. - für volle Breite	Mod. - Modell
H - Heck	li - links	VR	- Vorderrad	f.d.Br. - für diese Breite	LM - Leichtmetall
S - Seite	re - rechts	st.B. (f.,W.)	- starre Barriere - fahrbar (feststehend, Wand)	Alu - Aluminium	
A - Außenbereich	hi - hinten	def.B. (f.,W.)	- deformierbare Barriere - fahrbar (feststehend, Wand)		
E - Ecke	Wa - Deformationselement in Wabenstruktur	Alu	An - Anstellung (Anstell∠ : 90 ° = An 0 °) bei Offset Kollision		
M - mittlerer Bereich					

## Auszug aus meiner Steifigkeitszahlliste

**Porsche 911 Carrera** Verformbares Bug- und Heckteil mit integrierten Leichtmetallstoßfängern an Prallrohren befestigt.

**Coupe 996** (neues C 620 (1640 kg) /-/-/ 560 / f.d. Br./ + 1/4? f.v. Br.?) / 775 ?/ - /-/ 700?

Modell - ab 8/1997) F 54,6(0) / 57,3(0,05) /-/-/ 54,6 (0/0,05) C''\_{dyn} / 97, Offset 50 % / 54,6(0) / 57,3(0,05) /-/-/ 54,6 (0/0,05)

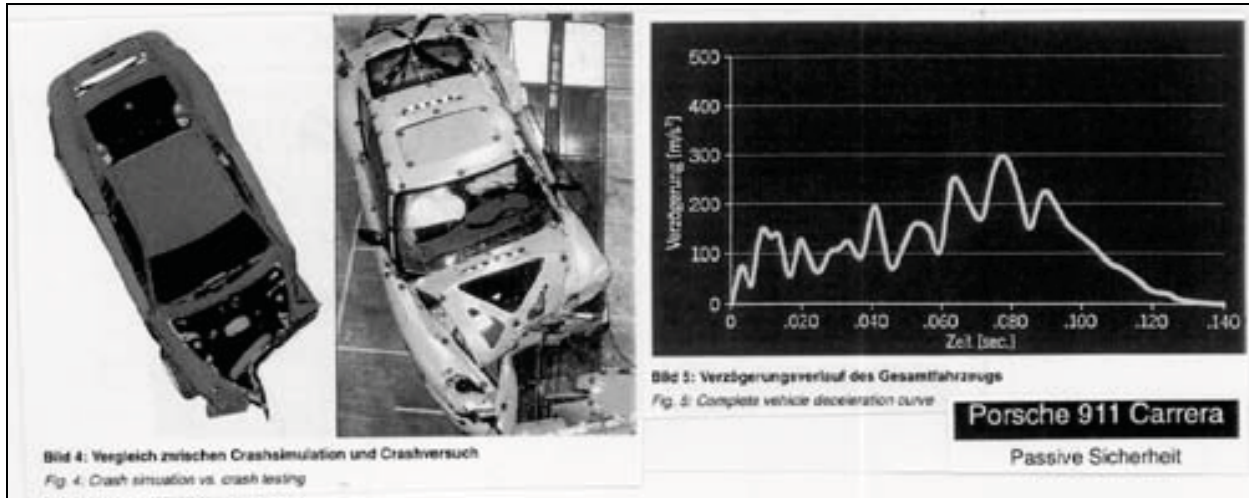
C''\_{dyn} / 97, a\_m = 14,3 [g], a\_max = 30,6 [g], Offsettest 50 %, An 15 °, AMS-Test sowie Vergleich zu Crashsimulation : völlig identes Schadensbild!

Aus ATZ-MTZ-Sonderheft (1997) 12 - Passive Sicherheit des neuen Porsche 911 Carrera, Bericht von Horst Petri, Heinz Eberhardt und Herbert Klamser.

## Beispielberechnung betreffend Porsche 911 Carrera Coupe 996

(Bericht aus - ATZ-MTZ-Sonderheft (1997) 12 - Passive Sicherheit des neuen Porsche 911 Carrera - Bericht von Horst Petri, Heinz Eberhardt und Herbert Klamser - dort Bild 4): Auszug aus dem Bericht ATZ-MTZ-Sonderheft (1997) 12 - Passive Sicherheit des neuen Porsche 911 Carrera - Bericht von Horst Petri, Heinz Eberhardt und Herbert Klamser - dort Bild 4)

1 - Karosserie: Neben der obligatorischen Erfüllung aller weltweit gültigen Gesetzesvorschriften, schrieb das Lastenheft auch Versuchs Konfigurationen verschiedener Versicherungsverbände und verbraucherorientierter Institutionen sowie den NCAP-Test (0°-Frontal, 35 mph) der NHTSA und den 50 % Offsetcrash von auto motor und sport (ams) vor. Auch bei diesen Prüfungen sind die in den unterschiedlichen Crashversuchen ermittelten Insassenbelastungen von Kopf bis Fuß sicher im „grünen Bereich“.



Computerbezeichnung: 2000\_46a

Bild 4: Vergleich zwischen Crashesimulation und Crashversuch

Bild 5: Verzögerungsverlauf des Gesamtfahrzeugs

(Antwortschreiben von Porsche AG Vorstand Entwicklung an mich:

50 %-Offset-Crash gegen eine starre Barriere, Aufprallgeschwindigkeit 55 km/h, Fahrzeugmasse einschließlich Dummy ca. 1640 kg. Der abgebildete Verzögerungsablauf des Fahrzeuges ist ein Kennzeichen für das Energieaufnahmeverhalten der Vorderwagenstruktur. Über diese Information hinaus ist es nicht üblich, weitere detaillierte Daten weiterzugeben.)

Unterstellt wurde von mir, dass es sich um einen Offset-Test System Auto, Motor und Sport (AMS) handelt. Die maximale bleibende Deformationstiefe  $d$  ergab sich aus der ungefähren Schadensbildauswertung mit ca. 0,78 m. Aus der Auswertung der  $a/t$ - (Verzögerungs/Zeit-) Werksversuchkurve (Bild 5 des ATZ und MTZ Berichtes - in Beilage dieses Berichtes) ergibt sich der  $k$ -Faktor mit ca. 0,05 und daraus  $d_{\text{dyn}} = \text{ca. } 0,82105 \text{ m}$  (Formel 33 umgewandelt). Über die mittlere Geschwindigkeit gerechnet, angesetzt  $\Delta v_{(0)=\text{Kompression}} = \text{ca. } 54,6 \text{ km/h} = 15,167 \text{ m/s}$  (erhalten aus der Impulsrechnung bei einer angesetzten Barrierenmasse von 300 000 kg), ergibt sich aus der  $a/t$ -Kurve eine Kompressionszeit von ca. 0,1083 s und dabei ein  $a_{\text{mGesamtfahrzg-Schwerpunkt}} = 14,3 \text{ g}$ .

*(Die vereinfachte Auswertung mit mm-Raster reicht für meine erfolgten Auswertungen völlig aus -  $a/t$ -Kurve gesamt 1203 Felder  $\{= 1203 \text{ mm}^2\}$  - aus:  $86 \text{ mm} \cdot 50,5 \text{ mm} = 4343 \text{ mm}^2 = 0,120 \text{ s} \cdot 500 \text{ m/s}^2$  ergibt sich:  $1 \text{ mm}^2 = 0,0138153 \text{ m/s}$ .  $1203 \text{ mm}^2 =$  dann  $16,61 \text{ m/s}$ . Bei einem  $k$ -Faktor von 0,05 bedeutet dies ein  $\Delta v_{(0)=\text{Kompression}} = 15,83 \text{ m/s} = 57,0 \text{ km/h}$ . Das entspricht einer rechnerischen Differenz von nur ca. 4 %. Oder anders betrachtet: Bis 0,1083 s ergeben sich aus der Auswertung der  $a/t$ -Kurve  $1143 \text{ mm}^2$ . Daraus ergibt sich bei Ansatz  $1 \text{ mm}^2 = 0,0138153 \text{ m/s}$  ein  $\Delta v_{(0)=\text{Kompression}} = 15,79 \text{ m/s} = 56,85 \text{ km/h}$ . Dies ergibt zum Ansatz  $\Delta v_{(0)=\text{Kompression}} = \text{ca. } 54,6 \text{ km/h} = 15,167 \text{ m/s}$  eine **Differenz von nur ca. 4 %** - ist zu vernachlässigen bei den hier vorliegenden Überlegungen.)*

$$C'(k \geq 0) = \frac{m \Delta v_{(0)=\text{Kompression}}^2}{d^2} = \frac{1640 \cdot 15,167^2}{0,78^2} = 620.062 \text{ N} / \text{m} \hat{=} 620 \text{ kN} / \text{m} \quad (25)$$

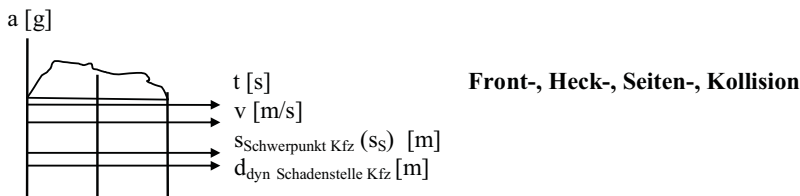
$$C''_{dyn}(k > 0) = \frac{m \Delta v_{(0)=Kompression}^2}{d_{dyn}^2} = \frac{1640 \cdot 15,167^2}{0,82105^2} = 559.609 N / m \hat{=} 560 kN / m \quad (28)$$

$$\Delta v_{(0)=Kompression} = \sqrt{\frac{C' d^2}{m}} = \sqrt{\frac{620.062 \cdot 0,78^2}{1640}} = 15,167 m / s \hat{=} 54,6 km / h \quad (7)$$

**Umwandlung der Versuchs-Meßkurve a/t in a/s<sub>SchwerpunktKfz</sub> Werte, bzw. daraus in a/d<sub>dyn</sub> Schadenstelle-Kfz Werte.** (für etappenweise kumulierte Auswertung) (nur für die Kompressionsphase)

Daraus werden dann die C''<sub>dyn</sub> und C<sub>H,+s</sub><sup>ex</sup><sub>dyn</sub> Werte errechnet (für die etappenweise kumulierte Auswertung).

a/t - Werksversuch-Meßkurve betreffend Front **Porsche 911 Carrera Coupe 996** (Bericht aus ATZ-MTZ-Sonderheft (1997) 12: Passive Sicherheit des neuen Porsche 911 Carrera - Bericht von Horst Petri, Heinz Eberhardt und Herbert Klamser - dort Bild 5).



**Für die Kompressionsphase:**

{- keine Änderung (als theoretisch) der Kfz-Masse in der Kompressionsphase (weder größen- noch lagemäßig zum Kfz - Schwerpunktlage des Kfz's zum Kfz bleibt gleich -) - dies für exakte theoretische Betrachtung -}

Frontalkollision	Heck- und Seitenkollision
Kfz gegen starre (nicht deformierbare) Wand (Masse ∞)	fahrbare, starre (nicht deformierbare) Barriere gegen stehendes Kfz
S <sub>Schwerpunkt Kfz</sub> = d <sub>dyn</sub> Schadenstelle Kfz	S <sub>Schwerpunkt Kfz</sub> ≤ d <sub>dyn</sub> Schadenstelle Kfz
= d <sub>dyn</sub> Schadenstelle Kfz =	

**Frontalkollision:** (nur für die Kompressionsphase)

$$d_{dyn} = \left| v_0 - \frac{x_{Felder} \cdot x_1}{2} \right| \Delta t \quad [m] \quad \Delta t [s] \quad (Um 8)$$

$$d_{dyn} = (v_0 - x_{Felder} \cdot k_3) \Delta t \quad [m] \quad \dots \quad \underline{\text{Endformel für die Frontalkollision}} \quad (Um 11)$$

## Beispielberechnung betreffend Porsche 911 Carrera Coupe 996

(Bericht aus ATZ-MTZ-Sonderheft (1997) 12 - Passive Sicherheit des neuen Porsche 911 Carrera, Bericht von Horst Petri, Heinz Eberhardt und Herbert Klamsner.)

Die starre (nicht deformierbare) Barrieren- (Wand-) masse wurde für diese Berechnungsart mit  $\infty$  unterstellt.

$$k_3 = \frac{\Delta v_{ges(0)Versuch}}{2 \cdot Feldanzahl Ist} = \frac{54,6 km/h (\hat{=} 15,16667 m/s)}{3,6 \cdot 2 \cdot 1143} \hat{=} 0,0066345873 m/s$$

$$\Delta t_{Stoß\ Kompression\ ges} = \frac{d_{dynges} \cdot 2}{v_{Koll}} = \frac{0,82105 \cdot 2}{15,16667} = 0,1082706 s$$

$$d_{dyn} = (v_0 - x_{Felder} \cdot k_3) \Delta t = (15,16667 - 1143 \cdot 0,0066345873) \cdot 0,1082706 = 0,82105 m$$

**Als zum Beispiel:  $d_{dyn}$  kumuliert von Kollisionsbeginn weg = 0,200 m:**

Hier errechnet sich aus der a/t-Kurve (Bild 5 ATZ/MTZ) bei  $x_{Felder} = 97$  (mm<sup>2</sup>) und dabei einem  $\Delta t_{Kompression} = 0,01377 s$ :

$$d_{dyn} = (v_0 - x_{Felder} \cdot k_3) \cdot \Delta t = (15,166667 - 97 \cdot 0,0066345873) \cdot 0,013772 = \underline{0,2000 m}$$

daraus ergibt sich:

$$a_{m\ Kfz\ Schwerpunkt\ kumuliert} = \frac{\Delta v_{(0)kumuliert}}{\Delta t} = \frac{15,166667 m/s \cdot 97 Felder}{1143 Felder \cdot 0,013772 s} = 93,458 m/s^2 (\hat{=} \Delta v_{(0)kumuliert} = 1,287 m/s)$$

$$F_{m\ Kfz\ Schwerpunkt\ kumuliert} = m_{Kfz} \cdot a_{m\ Kfz\ Schwerpunkt\ kumuliert} = 1640 kg \cdot 93,458 m/s^2 = 153.272 N$$

$s_s$  (=Schwerpunktsweg Kfz) =  $d_{dyn}$  [m] ..... bei Kollision mit voller Überdeckung  $\perp$  (senkrecht) gegen feststehende starre (undeformierbare) Barriere mit einer Masse  $\infty$ .

$$\Delta W_{Kfz} = F_{m\ Kfz\ Schwerpunkt\ kumuliert} \cdot s_s\ Kfz\ Schwerpunkt\ kumuliert = 153\ 272 N \cdot 0,2000 m = \underline{30\ 654 Nm}$$

$$C_{F\ dyn\ Offset\ 50\% kumuliert}'' = \frac{2 \Delta W_{Kfz}}{d_{dyn}^2} = \frac{2 \cdot 30654}{0,2000^2} = 1532\ 700 N/m \hat{=} 1533 kN/m$$

$$\Delta v_{(0)Kfz\ Schwerpunkt\ kumuliert(S)} = \sqrt{\frac{2 \Delta W_{Kfz}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 30654}{1640}} = 6,11 m/s \hat{=} 22,0 km/h$$

## Auszug aus meiner Steifigkeitszählliste

**Porsche 911 Carrera** Verformbares Bug- und Heckteil mit integrierten Leichtmetallstoßfängern an Prallrohren befestigt.

**Coupe 996** (neues Modell - ab 8/1997) C 620 (1640 kg) /-/-/ 560 / f.d. Br./ + 1/4? f.v. Br.?! / 775 ?/ - /- / 700?  
F 54,6(0) / 57,3(0,05) /- /54,6 (0/0,05) C“dyn / 97, Offset 50% / 54,6(0) / 57,3(0,05) /- / 54,6 (0/0,05)  
C“dyn/ 97,  
 $a_m = 14,3$  [g],  $x_{\text{BeschKkomp}} = 2,14$ , Offset 50 %, An 15 °, AMS-Test sowie Vergleich zu Crashesimulation : völlig identes Schadensbild !  
Werte f. Offset: C“ dyn/ 5220/ 3671/ 2326 / 1559 / 1251 / 1265 / 1564 / 1533 / 1329 / 1171 / 1085 / 990/ 908 /  
 $a_{\text{max}} = 30,6$  [g], F/5, 1(0/?)/8,5(0/?)/10,2(0/?)/11,1(0/?)/12,4(0/?)/15,0(0/?)/19,5(0/?)/22,0(0/?)/23(0/?)/24(0/?)/25,5(0/?)/26,5(0/?)/27,5(0/?)/  
bei  $\Delta v - d_{\text{dyn}}$  [cm] /5,1- 2,5 /8,5- 5/10,2- 7,5/11,1- 10/12,4- 12,5/15,0-15/19,5-17,5/22,0- 20/23-22,5/24-25/ 25,5-27,5/26,5-30 / 27,5-32,5/  
/ 846 / 747 / 678 / 618 / 611 / 562 / 508 / 495 / 522 / 588 / 560 /  
/28,6(0/?) / 30,7(0/?) / 32,9(0/?)/ 35,0(0/?) / 38,2(0/?) / 40,0(0/?) / 41,2(0/?) /43,8(0?) /48,2(0?) / 54,5(0?) / 54,6(0?) /  
bei  $\Delta v - d_{\text{dyn}}$  [cm] /28,6 - 35 / 30,7 - 40 / 32,9 - 45 / 35,0 - 50 / 38,2 - 55 / 40,0 - 60 / 41,2 - 65 /43,8 - 70/ 48,2 - 75/ 54,5-80/54,6-82,105/

Alle Werte aus Verzögerung (Kraft)-Zeit-Kennlinie bei dieser Kfz-Masse errechnet. Umwandlung der Meßkurve  $a/t$  in  $a/s_{\text{SchwerpunktKfz=ddyn}}$  Werte.

Aus ATZ-MTZ-Sonderheft (1997) 12 - Passive Sicherheit des neuen Porsche 911 Carrera, Bericht von Horst Petri, Heinz Eberhardt und Herbert Klamser.

**Die Werte C“dyn und  $\Delta v$  gelten nur bei dieser Rammgeschwindigkeit (größter  $\Delta v_{(0)}$  Wert) und nur bei diesem k-Faktor (aus Versuch)**

## F-Zahl (Kraftzahl) - System

Durch die Weiterentwicklung der Leichtfahrzeuge (City-Fahrzeuge) und dem Einsatz von Aluminium an tragenden Fronträgern (eventuell auch bei Alu-Space-Frame {z. B. Audi A8, Audi A2 }) ist die Schaffung eines weiteren Berechnungssystems erforderlich geworden. Es handelt sich dabei um das F-Zahl (Kraftzahl) - System.

Es hat sich nämlich herausgestellt, dass hier die Kraft-Weg-Kennlinie bis zu einem gewissen  $d_{dyn}$  - Wert etwa so verläuft wie laut Bild 2b (bzw. symbolisch dargestellt im Bild 3b - ca. constanter Kraftverlauf ab Beginn bis zu einem bestimmten  $d_{dyn}$  - Wert).

Die Unterschiede zwischen C-Zahl - und F-Zahl - System können dem Bild 3a und dem Bild 3b entnommen werden.

### Definitionen und Bezeichnungen des F-Zahl (Kraftzahl) - Systems in der F-Zahl (Kraftzahl)-Liste

[kN]  $F'$ , Alternativzahl  $F'_{unecht}$  = „unechte“ Kraftzahl;  $F^{dyn}$  = „echte“ Kraftzahl bis  $d_{dyn} = \dots m$   
 $\Delta v$  aus Def. Arbeit nach Berücksichtigung der Deformationsarbeit der deformierbaren Waben oder anderen Deformationselementen  
 $F$  51,03 / 67,5 / 43,38 bis .....m (1000 kg) --Kfz Masse[kg]  
 $F$  15 [ ] (0,0) / 17,3(0,15) / 15 (0,0/0,15) 12/92 --Testjahr (-Monat)-bzw.  
 Front | k-Faktor | Kompression | Baujahr bzw. Modelljahr Kfz  
 | | | |  
 | | | |  
 $\Delta v$  [km/h](Geschw.Änderung aus Translation) (Kompression bzw. gesamt)  
 Werte F (Kraft) [kN] bei:  $d = 0,1701034 m$ ,  $d_{dyn} = 0,2001217 m$  (24/1)

$F$ ,  $F'$ ,  $F'_{unecht}$ , [kN]: unechte Kraftzahlen.  $F^{dyn}$  [kN]: echte Kraftzahlen - über gesamte Breite - bei keiner anderen Angabe - sind Näherungswerte - Richtwerte - toleranzbehaftet - auch abhängig von der Krafteinleitungsrichtung.

$F^{dyn}/kg(\dots)$  [kN/kg] bei k-Faktor(...) - Massekraftzahl bei k-Faktor (...) - massebereinigte Kraftzahl bei k-Faktor (...).

### Formelliste für das Kraftzahl-System

$$F' (k \geq 0) = \frac{m \cdot \Delta v_{(0)}^2 (0=Kompression)}{2 \cdot d} \quad (\text{im F-Zahl-System}) \quad [N] \quad (25/1)$$

$$W_{Kompr} = F' \cdot d \quad (\text{im F-Zahl-System}) \quad [Nm] \quad (25/1a)$$

$$F^{dyn} (k > 0) = \frac{m \cdot \Delta v_{(0)}^2 (0=Kompression)}{2 \cdot d_{dyn}} \quad (\text{im F-Zahl-System}) \quad [N] \quad (28/1)$$

$$W_{Kompr} = F^{dyn} \cdot d_{dyn} \quad (\text{im F-Zahl-System}) \quad [Nm] \quad (28/1a)$$

## Auszug aus meiner Kraftzahlliste

### City-Fahrzeug

Testjahr: 1996

**CRATCH** F 177 (bei [bis]  $d = 0,37$  m)/-(832 kg)164 bei(bis)0,40 m / +1/1? 354? /-/-/ 328? bei (bis)0,40 m- f.v.Br.  
↓ F 65,1 [45,2] (0,0) /70,0(0,075)/ 65,1 [45,2] (0,0/0,075) F<sup>dyn</sup> / 9/96, (Werte f.d. Breite)  
C 960 / - /-/ 820 (832 kg)/ +1/1? 1920? /-/-/ 1640? f.v.Breite  
F 65,1 [45,2] (0,0) /70,0(0,075)/-65,1 [45,2] (0,0/0,075) C<sup>dyn</sup> / 9/96, (Werte f.d. Breite), Offset 50 % lenkerseitig  
gegen Renault Laguna-F (Überdeckung 47 % , 0 ° Kollisionswinkel),  $\Delta t_{\text{Stoß}} = 0,087$  s (Differenz zur Auswertung der Versuchskurve **nur 2,5 ms!**),  $x_{\text{BeschlKompr}} = 1,74$  ,  $a_{\text{max}} = 37,5$  [g]. Bei Test beide Türen ausgebaut und in Türöffnung je 1 Rohr (Rechteckprofil) als Verbindung A-Säule zu B-Säule eingesetzt. C<sup>dyn</sup> aus Kraft-Weg-Kennlinie für eine Seite (ein Längsträger) (Offset 50 %): ca. 800 kN/m. Räumlicher Rahmen mit Spaceframe als Basis. Rechteckige Hohlprofile bilden die Rahmenelemente. Werkstoff der Tragstruktur: Aluminium. Die Stoßstange ist ein steifer Balken. Größe: Länge 3,0 m, Breite 1,65 m, Höhe 1,7 m. C-Wert nur fiktiv - sofortiger Kraftanstieg auf ca. 160 kN und F ca. const. bis  $d_{\text{dyn}} \approx 0,300$  m . Dann weiterer Anstieg bis auf ca. 300 kN (Täler dazwischen) bei  $d_{\text{dyn}} = 0,400$  m (dies war der Versuchswert - ab hier Kraftabfall auf  $d = 0,37$  m). Alle Werte für einen Längsträger (Offset 50 %). Für volle Überdeckung - Werte x 2 nehmen?

Beispielberechnung betreffend CRATCH (näheres laut oben):

$$F' (k \geq 0) = \frac{m \cdot \Delta v_{(0),(0=\text{Kompression})}^2}{2 \cdot d} = \frac{832 \cdot 12,56^2}{2 \cdot 0,37} = 177\,366 \text{ N} = \mathbf{177 \text{ kN}} \quad (\text{im F-Zahl-System}) \quad (25/1)$$

$$F^{\text{dyn}} (k > 0) = \frac{m \cdot \Delta v_{(0),(0=\text{Kompression})}^2}{2 \cdot d_{\text{dyn}}} = \frac{832 \cdot 12,56^2}{2 \cdot 0,40} = 164\,064 \text{ N} = \mathbf{164 \text{ kN}} \quad (\text{im F-Zahl-System}) \quad (28/1)$$

### Literaturangaben über Crash-Versuchsdaten und Crash-Ergebnisse bei Veröffentlichungen bei Front-, Seiten- und Heckkollision:

- Testart - Testverfahren - Offset in % (Überdeckung in %)
- Testgeschwindigkeit [km/h]
- Testmasse Kfz (Testgesamtmasse) [kg]
- Testmasse Barriere [kg]
- Die vom deformierbaren Barrierenaufsatz übernommene Deformationsarbeit [Nm oder kJ] (Wabenart, Wabenarbeit, anders geartete Arbeitsleistung der deformierbaren Barriere [Nm oder kJ])
- Kfz: maximale bleibende Deformationstiefe [m], eventuell maximale dynamische Deformationstiefe [m]; bei Seitenkollision auch auf Höhe der B-Säule
- Bei Seitentests: Barrierenbreite [m], Kfz-Rad getroffen, nicht getroffen, teilweise getroffen.

### Kurzgefaßtes Resümee

C, C', C'\_{k0-F,H}, C'\_{unecht}, C'', C''^{dyn}, C\* [kN/m]: Dies sind Steifigkeitszahlen über die gesamte Breite, falls keine andere Angabe vorliegt. Es handelt sich um Näherungswerte bzw. Richtwerte, die toleranzbehaftet sind. Diese Zahlen sind auch abhängig von der Krafteinleitungsrichtung.

Der an der Wand anliegende Massenanteil wurde nicht berücksichtigt - es wurde alles mit der jeweiligen Gesamt-Testmasse gerechnet.

C''^{dyn}/kg(...) [kN/mkg] bei k-Faktor (...) ist eine Massesteifigkeitszahl bei einem k-Faktor (...), ist also eine massebereinigte dynamische Steifigkeitszahl bei einem k-Faktor (...).

Die Steifigkeitszahlen werden aus der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  des Kfz's (bzw.  $\Delta v$  + teilweise  $R_1$  oder  $R_2$ , [Rotation]), der Kfz-Masse  $m$  und  $d$  bzw.  $d_{\text{dyn}}$  errechnet.

Die  $C'$ ,  $C'_{k0-F,H}$  und  $C''_{\text{dyn}}$  - Zahl wurde aus der Kompressionsarbeit herausgerechnet. Deshalb besteht ein Zusammenhang zwischen Masse und  $\Delta v_{\text{Kompression}}$ . Bei einer anderen Masse ergibt sich aus der  $C$ -Zahl ein anderes  $\Delta v$ . Es ist die Kompressionsarbeit zur angegebenen  $C$ - Zahl, der dort angegebenen Masse und des dort angegebenen  $\Delta v_{\text{Kompression}}$  zu berechnen (dabei ergibt sich der  $d$  bzw.  $d_{\text{dyn}}$  Wert des Versuches). In weiterer Folge ist mit der anderen Masse auf den anderen Wert  $\Delta v_{\text{Kompression}}$  umzurechnen ( $\Delta v$  aus dem  $C$ - Wert - die Kompressionsarbeit bleibt ja immer gleich). Eventuell ist dann der  $k$ -Faktor zu ändern (da dieser von  $\Delta v_{\text{Kompression}}$  abhängig ist). Wenn sich aber der  $k$ -Faktor ändert, ändert sich damit die  $C''_{\text{dyn}}$ -Zahl (die  $C'$ - Zahl bleibt gleich).  $\Delta v_{\text{Kompression}}$  ist unabhängig vom  $k$ -Faktor (nur abhängig vom Masseverhältnis). Deshalb ist die Kompressionsarbeit unabhängig vom  $k$ -Faktor. Manche Steifigkeitszahlen sind unterschiedlich zwischen  $k = 0,00$  und  $k$  größer  $0,00$  (bei  $k$  größer  $0,00$ : hier ist die Restitution dabei  $\Rightarrow$  unecht. Die  $C''_{\text{dyn}}$  Zahl ist die dynamische Steifigkeitszahl  $\Rightarrow$  echt.).

Die angegebenen  $C''_{\text{dyn}}$  Zahlen gelten nur bei dem dazu angegebenen  $k$ -Faktor.

Falls dieser **k-Faktor anders** ist, ist mit der Formel  $C_{k2}''_{\text{dyn}} = \frac{C_{k1}''_{\text{dyn}} \cdot (1-k_2)^2}{(1-k_1)^2}$  [N/m] (29a) umzurechnen.

Physikalisch und mathematisch gesehen muss der  $k$ -Faktor auf beide Fahrzeuge gleich groß sein, falls ein ebener Stoß vorliegt.

Zu beachten ist, dass die deformierbare Barriere eine Verformungsarbeit leistet; sie nimmt also Arbeit auf. Daraus ergibt sich, dass vom Fahrzeug eine verringerte Deformationsarbeit geleistet wird. Dies bedingt eine entsprechend kleinere Steifigkeits- und Kraftzahl.

Die Kompressionsarbeit ist das Maß für  $\Delta v_{\text{Kompression}}$ . Aus dieser Arbeit kann man das  $\Delta v_{\text{Kompression}}$  berechnen. Für alle Berechnungen - bezogen auf das Schadensbild eines Fahrzeuges - ist es unbedingt erforderlich, das  $\Delta v_{\text{Kompression}}$  zu kennen; dieses allein ist von ausschlaggebender Bedeutung.

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

### **Zusammenfassung des Steifigkeitszahl- und Kraftzahlensystems:**

Auf Grund der von mir vorgenommenen weiterführenden Auswertung der in der einschlägigen Literatur veröffentlichten Crash-versuche und Daten stehen nunmehr **Steifigkeitszahlen** und **Kraftzahlen** von Karosserien zur Verfügung, für Front, Heck und Seite, bei PKWs, Lieferwagen, Groß-LKWs, Bussen und City-Fahrzeugen, abhängig vom Geschwindigkeitsänderungswert unter Berücksichtigung von genauem Typ und Baujahr sowie der Kfz-Masse.

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

Das Steifigkeitszahl- und (oder) das Kraftzahlssystem bietet aber auch eine

### **objektive Vergleichsmöglichkeit zwischen einzelnen Fahrzeugen.**

Dies nämlich in Form des Vergleiches der dynamischen Steifigkeitszahl oder der dynamischen Kraftzahl ( $C''_{\text{dyn}}$  bzw.  $F''_{\text{dyn}}$ ) des einen Fahrzeuges mit jener des anderen Fahrzeuges (bei der gleichen Geschwindigkeitsänderung in der Kompressionsphase). Daraus ergibt sich die Vergleichsmöglichkeit der Karosseriesteifigkeit bzw. Karosseriefestigkeit zwischen einzelnen Fahrzeugen.

Je größer die dynamische Zahl ist, um so größer ist die Karosseriesteifigkeit bzw. Karosseriefestigkeit.

Beim Hochgeschwindigkeitstest (k-Faktor sehr klein) ergibt sich auch die Möglichkeit des Vergleiches der Steifigkeitszahl oder der Kraftzahl für die maximale bleibende Deformationstiefe ( $C'$  bzw.  $F'$ ) des einen Fahrzeuges mit jener des anderen Fahrzeuges (bei der gleichen Geschwindigkeitsänderung in der Kompressionsphase) und ergibt sich sinngemäß die gleiche Überlegung wie bei der dynamischen Zahl  $C''_{\text{dyn}}$  bzw.  $F''_{\text{dyn}}$ .

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

Weiters bietet dieses System die Möglichkeit, über die Deformationstiefe im Zusammenhang mit der mittleren relativen Kollisionsgeschwindigkeit in der Kompressionsphase (näheres dazu siehe in meinem Bericht „**Kfz-Insassenbelastung**“) die mittlere Karossenbeschleunigung (-verzögerung) in der Kompressionsphase zu ermitteln. Daraus läßt sich dann ein Rückschluß ableiten hinsichtlich der Insassenbelastung, Airbagauslösung, u.ä..

#### Literaturnachweis:

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.

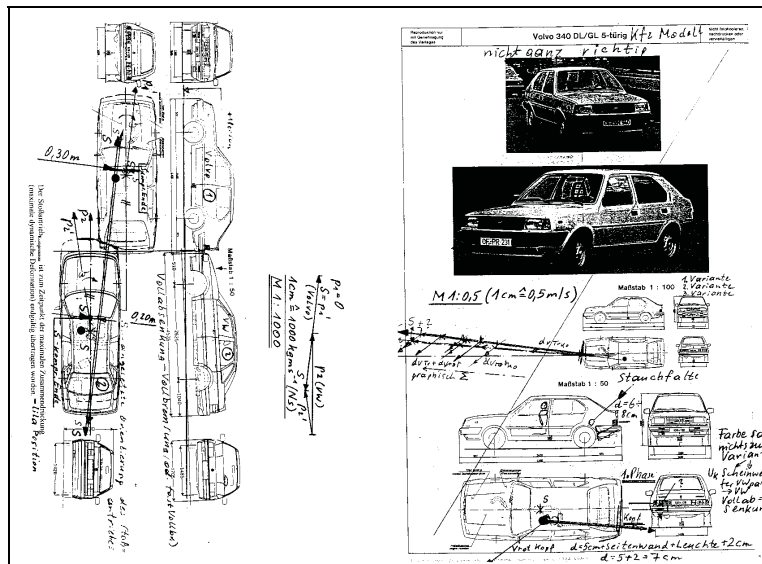
ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, FRANCKH-COSMOS Verlags Ges.m.b.H. & Co., bzw. Friedrich Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft mbH, mit freundlicher Genehmigung des nachstehend angeführten Berichtes aus der angegebenen Nummer, und zwar: 93 / (1991) 4 - Der neue 3er BMW, Peter Haslbeck und Hans Heiland

ATZ-MTZ-Sonderheft (1997) 12 - Passive Sicherheit des neuen Porsche 911 Carrera, Bericht von Horst Petri, Heinz Eberhardt und Herbert Klamsner.

## Berechnungsbeispiele

Seminarbeispiel 1: Auffahrunfall: Front VW Passat III gegen Heck Volvo 360 GLE (mit Originalschadensbildern in Farbe)

Seminarbeispiel 2: Frontalkollisionstest CRATCH gegen Renault Laguna bei Frontüberdeckung des CRATCH von 50% (für Renault 46,8%) bei einer Kollisionsgeschwindigkeit von je 50,5 km/h, durchgeführt am 24.9.1996.



Verfasst durch

Felix Walz, Institut für Biomedizinische Technik, Uni/ETH Zürich, Projektleitung  
 Peter Frei, Ingenieurbüro, Winterthur  
 Bernhard Gasser, Abteilung Maschinentechnik, Ingenieurschule Biel, Vordrilling  
 Robert Kaser, Technikum Winterthur Ingenieurschule, Winterthur  
 Markus Moser, Institut für Biomedizinische Technik, Uni/ETH Zürich  
 Peter Nüssli, Institut für Biomedizinische Technik, Uni/ETH Zürich

Arbeitsgruppe für Unfallmechanik  
 Institut für Biomedizinische Technik, Universität und ETH Zürich  
 Obereisenstr. 35, 8172, X  
 CH - 8093 Zürich, Schweiz  
 Fax + 41 (0)1 632 13 01

Arbeitsgruppe für Unfallmechanik  
 Universität und Eidgenössische Technische Hochschule  
 Zürich

### SICHERHEIT VON LEICHTFAHRZEUGEN

Bericht zum Forschungsprojekt (1991-1996)

Bei obiger Adresse kann ein Video über sämtliche durchgeführten Crashtests (Spieldauer 30 Minuten, englischer Text) zum Preis von CHF 60,- / DM 70,- inkl. Versand bezogen werden. Bitte gewünschtes Format: VHS oder S-VHS angeben.

Computerbezeichnung: 2000\_48  
 Seminarbeispiel 1: Steifigkeitszahlensystem und Insassenbelastung

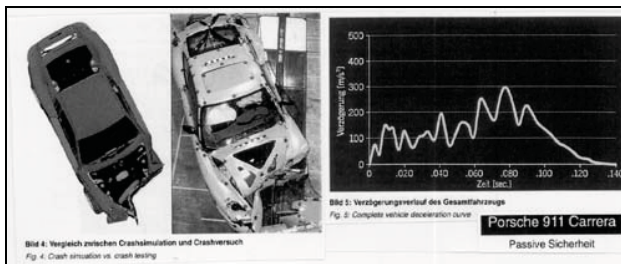
Computerbezeichnung: sem32a  
 Seminarbsp 2: Kombination von Steifigkeitszahl- und Kraftzahlensystem

## Steifigkeitszahl- und Kraftzahlliste (System Ing. Wolfgang Huber)

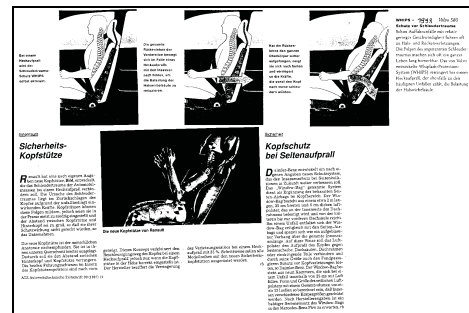
für:

- PKW / Kombi
- City-Fahrzeug
- Komponententest
- LKW
- Bus
- Schienenfahrzeug
- Elektro-Lok
- deformierbare Barriere

Umfangreiche Auflistung über die Kriterien verschiedenster Crash-Test-Verfahren.



Quelle: Bericht aus-ATZ-MTZ-Sonderheft (1997) 12  
 Passive Sicherheit des neuen Porsche 911  
 Carrera - Bericht von Horst Petri, Heinz Eberhardt und  
 Herbert Klamser dort Bild 4 + Bild 5.



Quelle: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 99 (1997) 12-  
 Sicherheits-Kopfstütze-rb

## Kfz - Insassenbelastung

**Bei einem Heckaufprall** wie der, der durch ein Sicherheits-System WHIPS (Whiplash Protection System) abgemildert wird.

Die gesamte Rückenlehne der Windschutzscheibe bewegt sich im Falle eines Heckaufpralls mit dem Heck nach hinten, um die Belastung der Halswirbelsäule zu reduzieren.

Bei der Rückenlehne des ganzen Überkopfes werden die Kopfstütze nach hinten und unten so die Kräfte, die sonst den Kopf nach vorne schwingen würden.

**WHIPS - 1998** 1664 580  
 Schutz vor Schleudertrauma  
 Schon Auffahrten mit relativ geringer Geschwindigkeit führen oft zu Hals- und Rückenverletzungen. Die Folgen des sogenannten Schleudertraumas machen sich oft wie gar nichts bemerkbar. Das von Volvo entwickelte Whiplash-Protection-System (WHIPS) verringert bei einem Heckaufprall, der ebenfalls zu den häufigsten Unfällen zählt, die Belastung der Halswirbelsäule.

**Kopfschutz bei Seitenaufprall**  
 Die neueren Autos sind durch die Entwicklung neuer Schutzsysteme, die den Insassenschutz bei Seitenkollisionen im Falle eines Aufpralls verbessern soll. Das „Window-Bag“ genannte System dient zur Erhaltung der robusten Seiten-Airbags im Kopfbereich. Der Window-Bag besteht aus einem etwa 8 cm langen, 35 cm breiten und 8 cm dicken Luftkissen, das an der Innenseite des Dachrahmens befestigt wird und von der hinteren Seite nach vorne durch die Windschutzscheibe in den Innenraum des Autos dringt. Im Falle eines Aufpralls entfaltet sich der Window-Bag und schützt die Insassen. Die Airbags sind so konstruiert, dass sie sich wie ein aufgeblasener Vorhang über die gesamte Innenumfangsfläche des Autos ausbreiten und die Insassen vor den durch die Windschutzscheibe verursachten Verletzungen schützen. Die Airbags sind so konstruiert, dass sie sich wie ein aufgeblasener Vorhang über die gesamte Innenumfangsfläche des Autos ausbreiten und die Insassen vor den durch die Windschutzscheibe verursachten Verletzungen schützen.

**Sicherheits-Kopfstütze**  
 Die neue Kopfstütze ist der menschlichen Anatomie angepasst. Sie ist in ihrem Querschnitt breiter ausgelegt. Dadurch ist die Abstützung zwischen Hinterkopf und Kopfstütze verzögert. Die beiden Führungskörper im Inneren der Kopfstütze sind so konstruiert, dass sie eine Schräglage einnehmen, wenn sie auf den Unterboden drücken.

Die neue Kopfstütze ist der menschlichen Anatomie angepasst. Sie ist in ihrem Querschnitt breiter ausgelegt. Dadurch ist die Abstützung zwischen Hinterkopf und Kopfstütze verzögert. Die beiden Führungskörper im Inneren der Kopfstütze sind so konstruiert, dass sie eine Schräglage einnehmen, wenn sie auf den Unterboden drücken.

ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 99 (1997) 12

Quelle: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 99 (1997) 12- Sicherheits - Kopfstütze-erb

Berechnung der mittleren Karossenbeschleunigung (-verzögerung) bei Kfz-Kollisionen über die mittlere relative Kollisionsgeschwindigkeit und unter Verwendung von Karosseriesteifigkeitszahl sowie der Deformationstiefe (bleibend oder dynamisch).

Unterteilt in:

- Kompressions-, Restitutions- und Gesamtphase
- Kfz's gebremst oder ungebremst.

(Auch für Beurteilung von HWS-Schleudertrauma).

Berechnung über Kraftkennlinie aus Deformation nicht möglich (außer für diesen speziellen Versuch und nur für dieses  $\Delta v$  dieses Versuches); Berechnung der maximalen Beschleunigung oder Verzögerung des Kfz's oder des Insassen nicht möglich. Mit mehreren Berechnungsbeispielen und Vergleich dieser mit tatsächlichen Kfz-Kollisionen. Berechnungen mit verschiedenen Massenverhältnissen bei gleichem  $\Delta v$  (Kompression) des Gestoßenen durch Variierung der Rammgeschwindigkeit. Die mittlere Karossenbeschleunigung des Gestoßenen ist gravierend unterschiedlich (Berechnungsbeispiele).

Geschwindigkeits-, Weg-, Zeit-, Beschleunigungs- und Verzögerungskurven - VW - Werk  
 - Mercedes - Werk

Auch Auswertungen von Crash-Versuchen des Allianz-Zentrums München.

(Kollisionen PKW gegen PKW - mit Schadensbildern - Vergleich: reale Auswertung zu Berechnungen mit eigenem Computer-Programm).

**Umfangreiche Vergleichsberechnungen zum Thema: „Wertmaßstab für die Beurteilung der Insassenbelastung: a oder  $\Delta v$ ?“**

## Inhaltsübersicht Kfz-Insassenbelastung

- Bild 1 - Definition des Steifigkeitszahlensystems
- Bild 3 - Definitionsdiagramm
- Bild 5 - Übersichtsbild – Stoßantriebskonstruktion
- Tabelle 1 - Verschiedene Berechnungsbeispiele mit und ohne Bremsungen, g-,  $\Delta v$ -,  $\Delta t$ -Werte
- Tabelle 2 - Auswertung realer Crash-Versuche des MB- und VW Werkes. Versuchskurven mit a-,v-,s-Werten über der Zeit, für PKW und Stoßwagen (fahrbare Barriere) - 7 Versuche ( 3 Versuche MB S W 140: Front, Front gg. Front, Heck, 4 Versuche VW Passat [2 x gg. Stufe, 2 x gg. Variant]: gegen Heck), Schadensbilder MB. Alle Werks-Meßkurven. Auch zur **Nachweisführung**, dass bei ungebremst  $\Delta t_{\text{Kompression}} = \Delta t_{\text{Restitution}}$  ist.
- Auswertungen der Versuche des Allianz-Zentrums München - Tabelle 3, Diagramm 2 , 3 , Kurve 1, Kfz-Schadensbilder (2 Seiten).
- Auswertung VW Transporter T4 - VW-Werksversuch (Unterlagen vom VW-Werk)
- Tabelle 4 – Massenunterschied
- Tabelle 5 – Stoßzeiten
- Diagramm 1 - k-Faktor
- Wertmaßstab für die Beurteilung der Insassenbelastung: a oder  $\Delta v$ ?
- Zusammenfassung
- Diverse Bilder
- Literaturhinweis
- Beurteilungsliste (ANSTOSS)
- Berechnungsbeispiele
- Formelliste

## Wertmaßstab für die Beurteilung der Insassenbelastung: $a$ oder $\Delta v$ ? (Briefverkehr)

### ING. WOLFGANG HUBER

Ingenieur- und Sachverständigenbüro für Kfz-Schäden, Unfallanalyse und Unfallforschung - unter Computereinsatz  
Umfangreiche eigene Computer-Datenbank für Verkehrsunfallrekonstruktion, Kfz-Wesen und Unfallmedizin  
Umfangreiches eigenes Computer-Berechnungsprogramm für: Kollisionen, Stoß, Verformungsarbeit (Deformationsarbeit - Berechnung mit der Steifigkeits- oder der Kraftzahl über die Deformationstiefe), Drall, Drall in der Kollisionsphase, Energiebilanz, Simulation der Kfz-Bewegung - Kfz-Schwerpunktsbahn (Rotation, Reifenschräglauflauf,  $\mu_s$ ), Fußgängerunfall, Kfz-Insassenbelastung, Beschleunigung, Vermeidbarkeit, Kurvenbremsung, Bewegungsbahn bei schiefem Wurf (mit und ohne Luftwiderstand), Dunkelheitsunfall (Erkennbarkeitsweitenermittlung), Wertminderung, Kfz-Wertbeständigkeit.

A 3100 St.Pölten, Fuchsenkellerstraße 22 - Büro: Tel. 02742/364352 - Fax Nr.: 02742/364352 - UID: ATU19834400

### EINSCHREIBEN

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  $m_1 = \text{Masse } m_2$ ), 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  $\Delta v$  ?**“

Er meint, „durch die Beziehung  $a_m = \Delta v / \Delta t$  ist die mittlere Beschleunigung  $a_m$  mit der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  (delta v) und der Stoßzeit  $\Delta t$  verknüpft. Detailliertere experimentelle Analysen zeigen eine derartige Abhängigkeit der Stoßzeit 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/s<sup>2</sup>]**) =  $\Delta v$  (**Geschwindigkeitsdifferenz [m/s]**) /  $\Delta t$  (**Stoßzeit [s]**) betrachtet, ergibt sich, dass man für die Errechnung von  $a_m$  die Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  und die Stoßzeit  $\Delta t$  wissen muss.

Nachdem nach der Formel von Newton die **Kraft [N-Newton] = Masse [kg] x Beschleunigung [m/s<sup>2</sup>] (F = m . 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/s<sup>2</sup>] 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 Kompressionsphase **kleiner!!** wird.



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

### $\Delta v$ 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. Unter Beibehaltung meiner Werte des vorigen Rechenbeispielen mit einem k-Faktor = 0,20 ergibt sich folgendes:

$s_{\text{relativ}} = \mathbf{0,30\ m}$	$(s_{\text{relativ}} = \text{maximale dynamische Deformationstiefe beider Kfzs})$	$s_{\text{relativ}} = \mathbf{0,15\ m}$
$\Delta v_{\text{gesamt}} = 10 + 2 = \underline{12\ km/h = 3,33\ m/s}$	$\Delta v_{\text{gesamt}} = 10 + 2 = \underline{12\ km/h = 3,33\ m/s}$	
$\Delta t_{\text{gesamt}} = \Delta t_{\text{Kompression}} + \Delta t_{\text{Restitution}} = 2 \cdot \Delta t_{\text{Kompression}}$		

$a_{\text{gesamt}}$  (mittlere Karossenbeschleunigung in der Gesamtphase = Kompression + Restitution) =

$$= \frac{3,33\ m/s}{2,01071s} = 15,56\ m/s^2 \hat{=} \boxed{1,60\ g} = \frac{\Delta v_{\text{gesamt}}}{\Delta t_{\text{gesamt}}} = \frac{3,33\ m/s}{2,005357s} = 31,1\ m/s^2 \hat{=} \boxed{3,20\ g}$$

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  $\Delta v$  (Geschwindigkeitsänderung) des gestoßenen Fahrzeuges.

### **Fahrzeubremsung und Reifenschlupfverzögerung:**

Bei Fahrzeugbremsung 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 gebremst - hinteres Fahrzeug mit gleicher Bremsstärke gebremst:**

Ergibt für das vordere Fahrzeug eine **kleinere** mittlere Karossenbeschleunigung, für das hintere Fahrzeug eine **größere** mittlere Karossenverzögerung.

#### **Vorderes Fahrzeug ungebremst - hinteres Fahrzeug gebremst:**

Ergibt für das vordere Fahrzeug eine **größere** mittlere Karossenbeschleunigung, für das hintere Fahrzeug eine **noch größere** mittlere Karossenverzögerung. Auch hieraus ist zu ersehen, dass  $\Delta v$  eine gänzlich ungeeignete Maßzahl ist.

Zu der Anmerkung des Autoren 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 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 genauso anschaulich wie eine Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$ .

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.

Eine rechtskräftige Verurteilung ist auch schon eine rechtskräftig gewordene Strafverfügung (nach dem derzeitigen System - das offenbar kommende Bußgeldsystem ist noch nicht näher bekannt gemacht worden).Bei keinem schweren Verschulden ist die derzeitige Rechtsprechung so, dass es bei über 3 Tage Berufsunfähigkeit bzw. Gesundheitsstörung zur Einleitung eines Strafverfahrens kommt. Hieraus ist zu ersehen, dass es sehr wichtig ist, zu wissen, ob diese 3-Tagesgrenze überschritten wurde oder nicht.

Mit freundlichen Grüßen

Ing. W. Huber eh.