

Stoßmodelle in PC-Crash

Klassisches und steifigkeitsbasiertes Stoßmodell

Dr. Gábor MELEGH

Dr. Andreas MOSER

Dr. Hermann Steffan

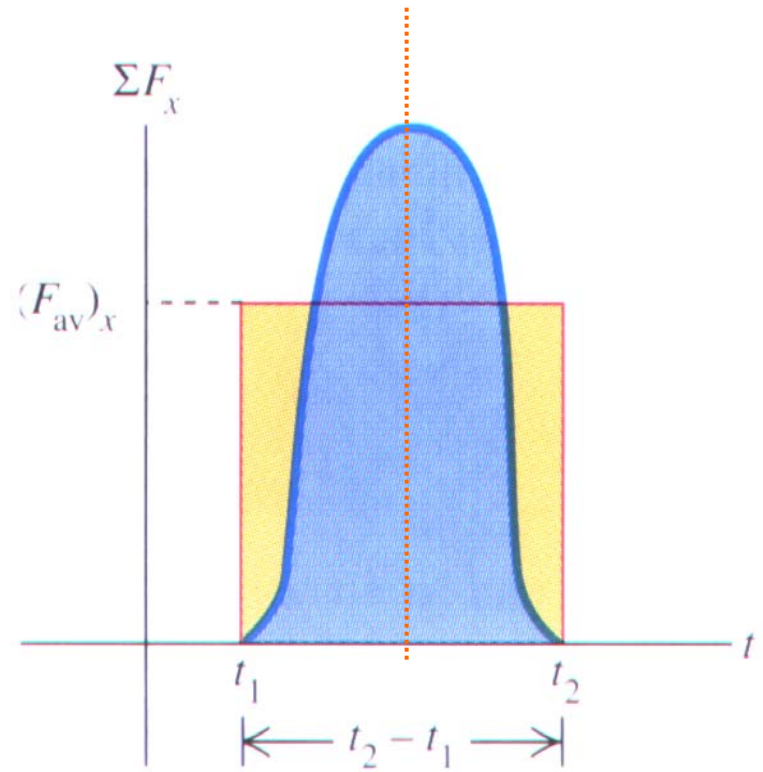
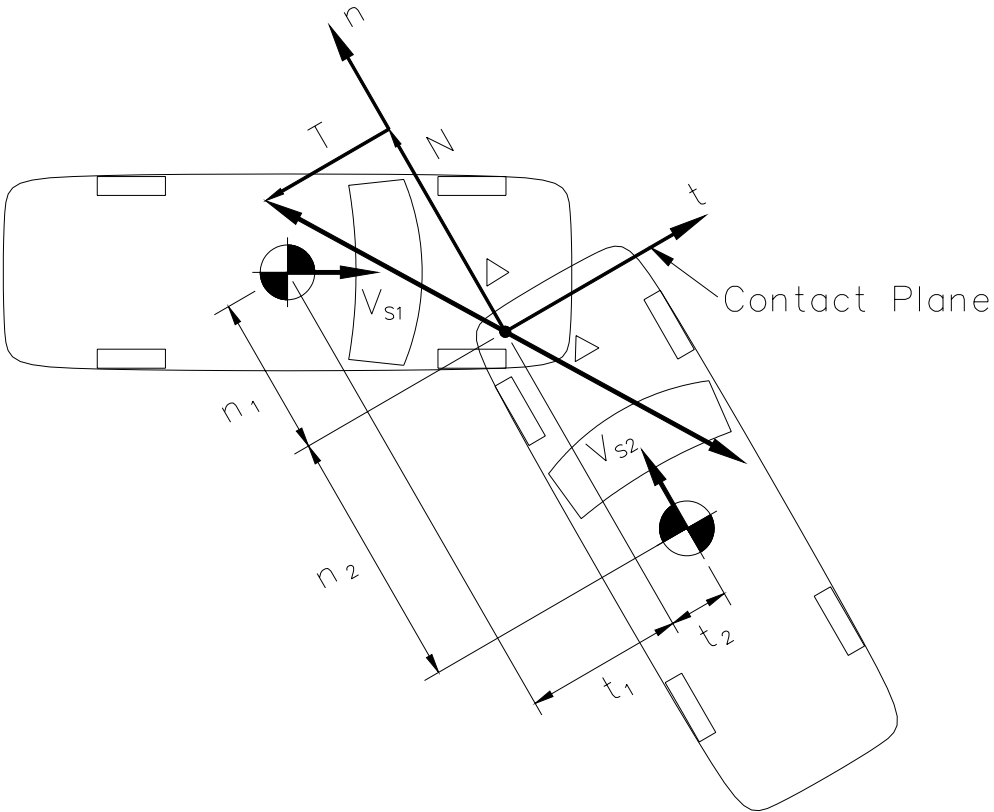
DSD - Dr. Steffan Datentechnik – TU Budapest

Fahrzeugkollision

- Annäherung
- Erstkontakt
- Kompressionsphase
- Restitutionsphase
- Auslaufbewegung



Stoßmodelle



Stoßmodelle

- „klassische“ Stoßmodelle:
 - Reduktion des Stoßes auf einen Zeitpunkt
 - Impuls- und Drallerhaltung
 - Restitution und Kontaktreibung
 - Geringe Anzahl an Eingabeparametern erforderlich
 - Auslaufimpuls und Drall der Fahrzeuge im Auslauf werden bestimmt
 - Kontrollgrößen: EES, Steifigkeiten, Stoßpunktlage, „Auslaufbewegung“ / Stoßpunktsgeschwindigkeiten

Stoßmodelle

- Steifigkeitsbasierte Stoßmodelle:
 - Stoßvorgang wird zeitlich aufgelöst
 - Komplexe Berechnung
 - Fahrzeugstrukturparameter müssen vorgegeben werden
 - Kontaktkräfte werden berechnet
 - Deformation der Fahrzeuge ist Ergebnis
 - Eingabeparameterbestimmung „schwierig“ (Testdaten erforderlich)
 - Stoßrechnung für Benutzer einfach

Stoßmodell

Impulserhaltung und Drallerhaltung

- Impulserhaltung:

$$m_1 (v'_{s1t} - v_{s1t}) = T$$

$$m_1 (v'_{s1n} - v_{s1n}) = N$$

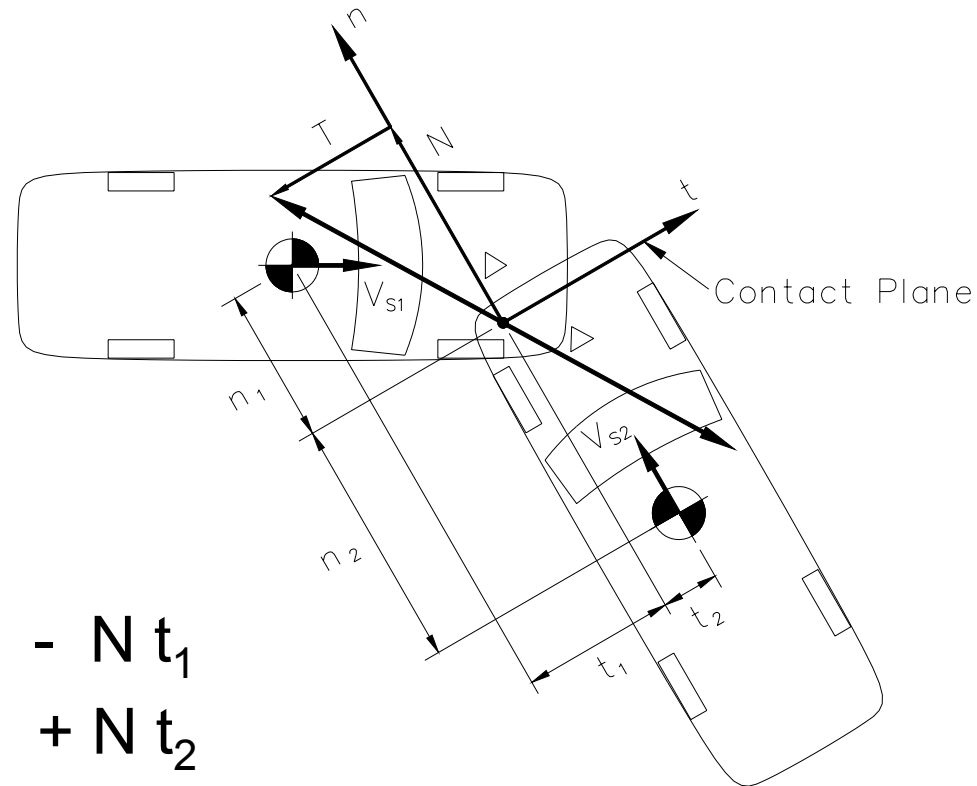
$$m_2 (v'_{s2t} - v_{s2t}) = -T$$

$$m_2 (v'_{s2n} - v_{s2n}) = -N$$

- Drallerhaltung:

$$I_{1z} (\omega'_{1z} - \omega_{1z}) = T n_1 - N t_1$$

$$I_{2z} (\omega'_{2z} - \omega_{2z}) = -T n_2 + N t_2$$



Stoßmodell

Impulserhaltung und Drallerhaltung

- Berechnung:

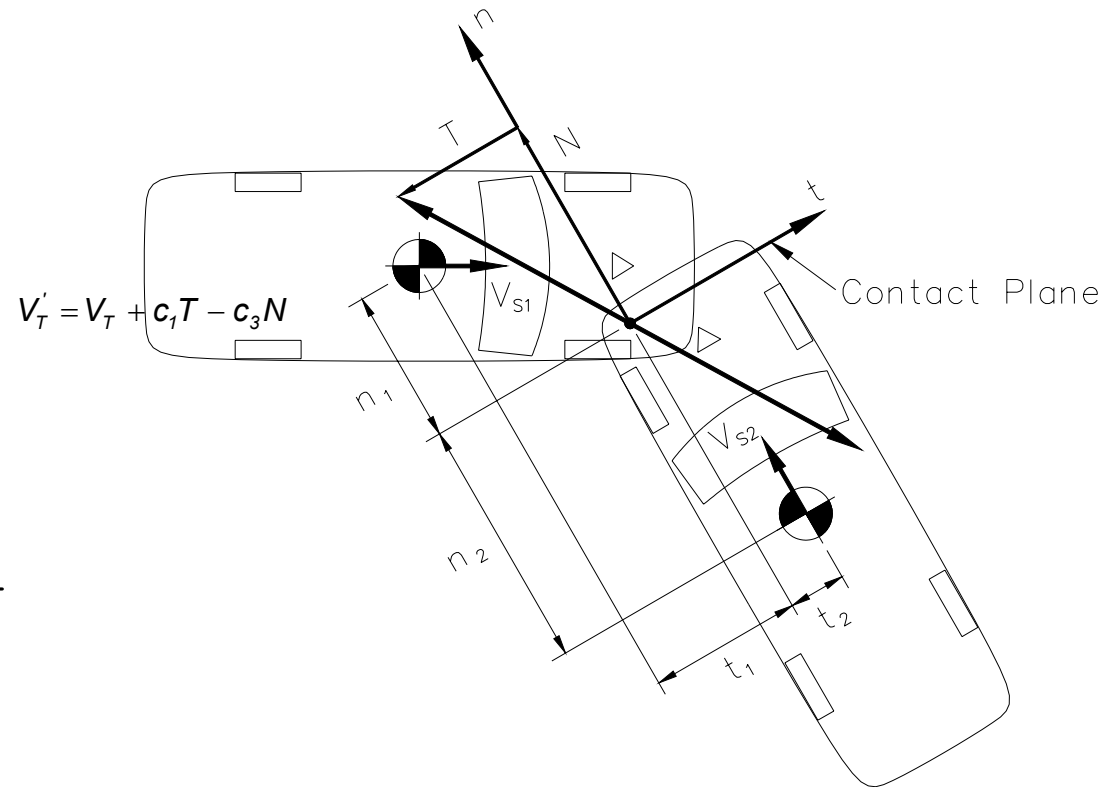
$$V'_T = V_T + c_1 T - c_3 N$$

$$V'_N = V_N - c_3 T + c_2 N$$

$$c_1 = \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{n_1^2}{I_{12}} + \frac{n_2^2}{I_{22}}$$

$$c_2 = \frac{m_1 t_1}{m_2 t_2} + \frac{m_2 t_2 n_2}{I_{2z}}$$

$$c_3 = \frac{t_1 n_1}{I_{1z}} + \frac{t_2 n_2}{I_{2z}}$$



Stoßmodell

Impulserhaltung und Drallerhaltung

- Restitution - Stoßziffer:

$$\varepsilon = \frac{S_R}{S_C}$$

$$S = S_C + S_R = S_C \cdot (1 + \varepsilon)$$

- Vollverhakter Stoß:

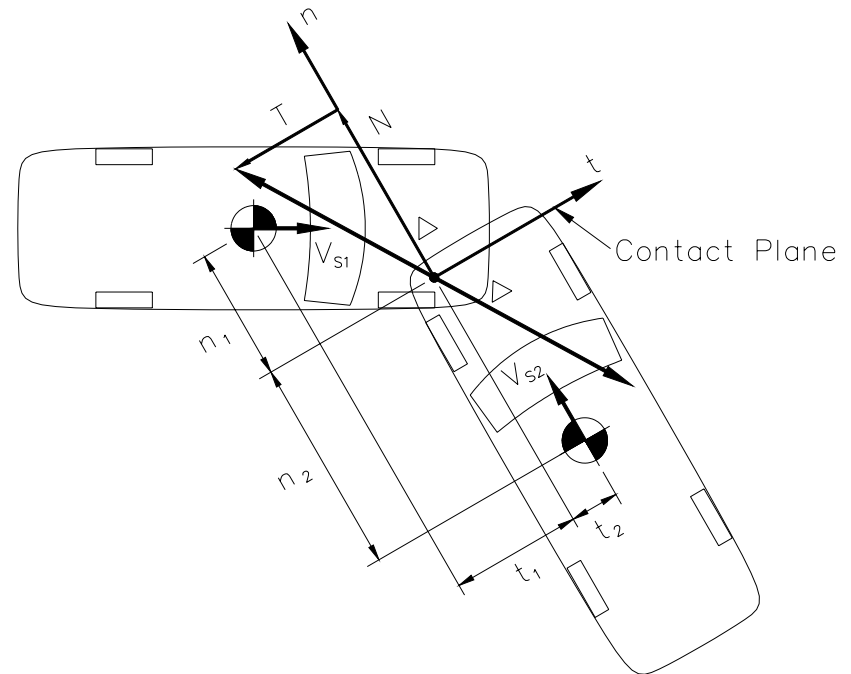
$$V_N = 0$$

$$V_T = 0$$

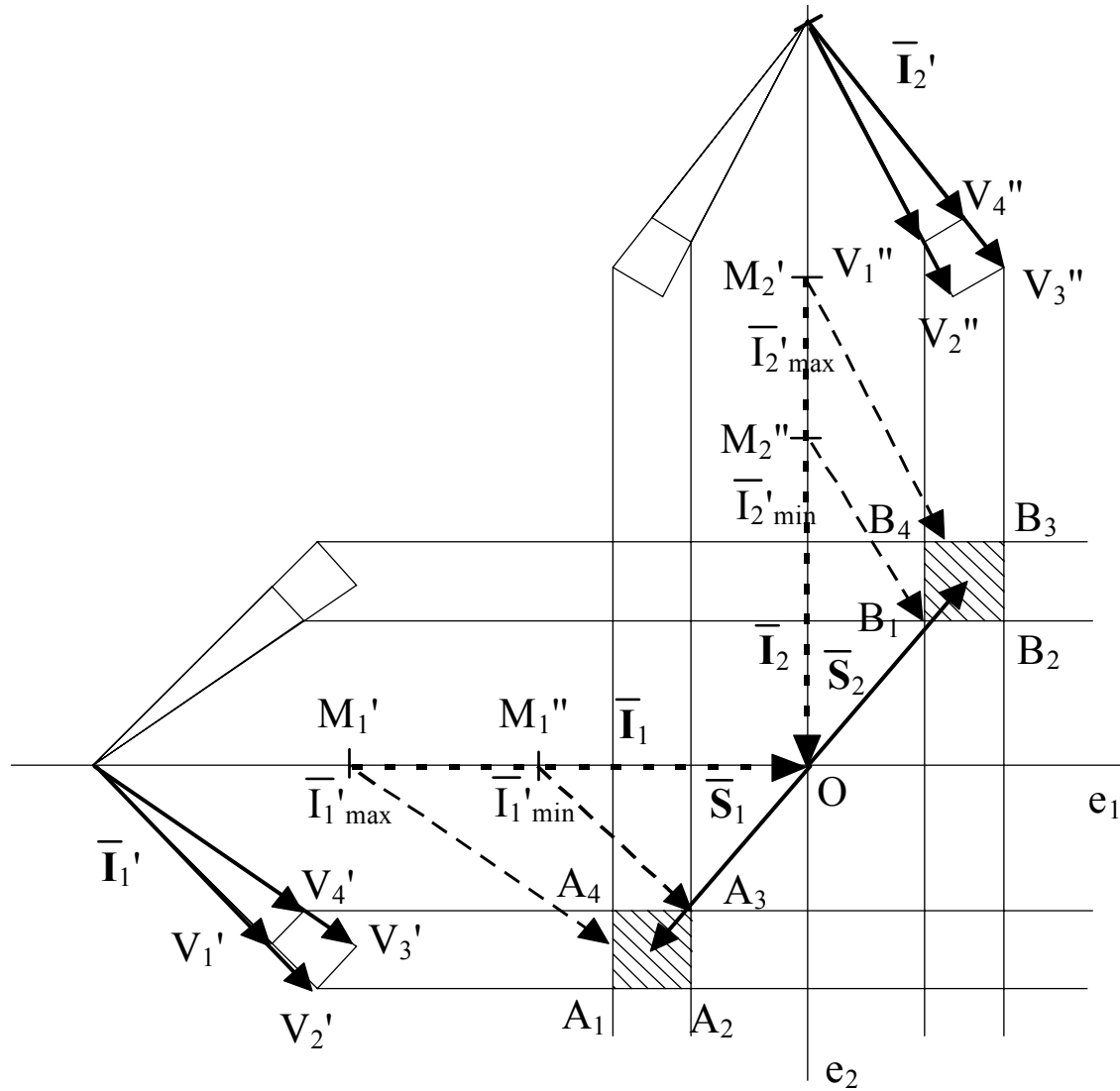
- Abgleitkollision:

$$V_N = 0$$

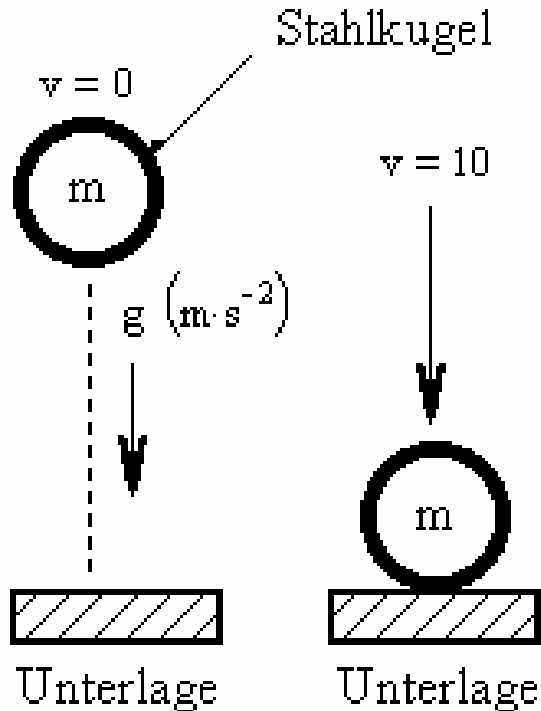
$$T = \mu \cdot N$$



Stoßmodelle



Stoßmodelle

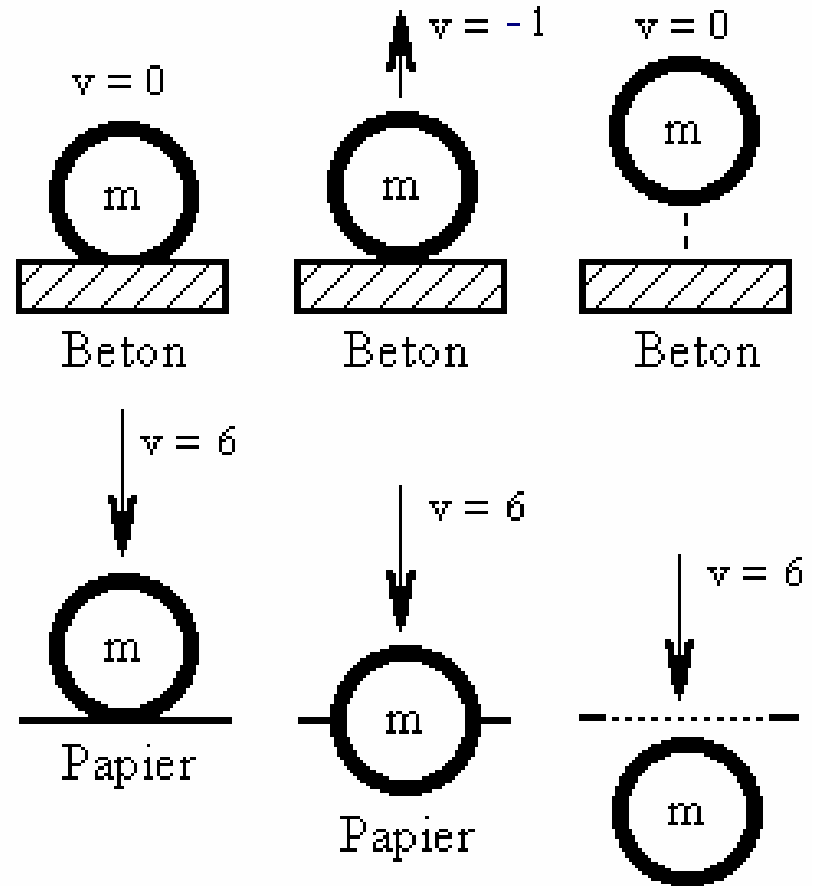


$$k = -\frac{-1}{10} = 0,1$$

Rückstoß

Durchstoß

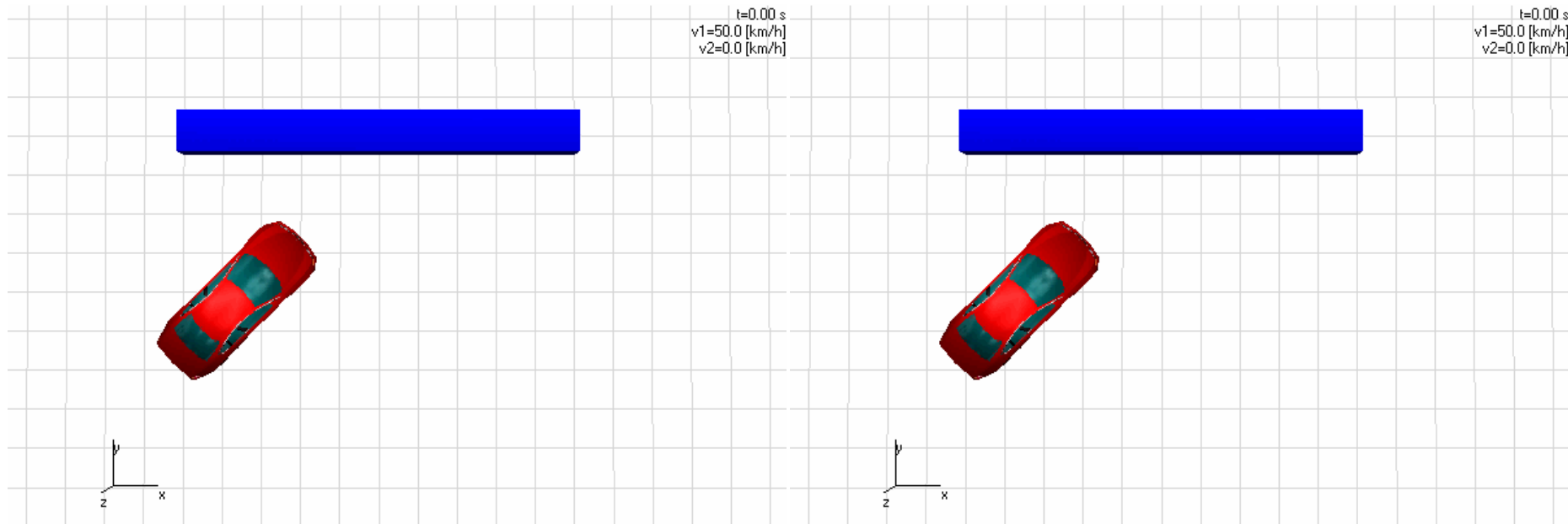
$$k = -\frac{6}{10} = -0,6$$



Maueranprall

ohne Abgleiten / Abgleitkollision

$v_k=50\text{km/h}$



EES Berechnung

- Gesamtdeformationsenergie ist Ergebnis
- Aufteilung auf die beteiligten Fahrzeuge erforderlich
 - Aufteilung über Stoßpunktslage
 - Vorgabe eines EES Wertes
- Wichtigste Kontrollgröße der Vorwärtsrechnung
- Alternative Bestimmungsmöglichkeiten:
 - Schadensbilder/Vermessung erforderlich
 - EES Katalog
 - Crash 3 Modell

EES / EBS

- EES: Energy Equivalent Speed
 - Deformationsenergie wird in Geschwindigkeit (kinetische Energie) umgerechnet
 - Entspricht einem vollplastischen Barrierenanprall
 - Elastischer Anteil wird berücksichtigt

$$W_{Def} = \frac{m \cdot EES^2}{2}$$

- EBS: Equivalent Barrier Speed
 - Maueranprall bei dem die gleiche Deformation auftritt

$$W_{Def} = \frac{m \cdot ((1 - \varepsilon) \cdot EBS)^2}{2}$$

EES Berechnung

$$W_{Def} = W_1 + W_2 - W_1' - W_2' = W_{Def_1} + W_{Def_2}$$

$$W_{Def_1} = F_1 \cdot s_1 = c_1 \cdot s_1^2$$

$$W_{Def_2} = F_2 \cdot s_2 = F_1 \cdot s_2 = c_1 \cdot s_1 \cdot s_2$$

$$F_1 = -F_2$$

$$W_{Def_1} = \frac{W_{Def} \cdot s_1}{s_1 + s_2} = \frac{m_1 \cdot EES_1^2}{2}$$

EES Berechnung

$$W_{Def_1} = \frac{W_{Def} \cdot s_1}{s_1 + s_2} = \frac{m_1 \cdot EES_1^2}{2}$$

$$W_{Def_2} = W_{Def} - W_{Def_1} = \frac{W_{Def} \cdot s_2}{s_1 + s_2} = \frac{m_2 \cdot EES_2^2}{2}$$

$$EES_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot W_{Def} \cdot s_1}{(s_1 + s_2) \cdot m_1}}$$

$$EES_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot W_{Def} \cdot s_2}{(s_1 + s_2) \cdot m_2}}$$

EES Datenbank

CD-EES Dr. Melegh Gábor

Daten | Bild | Options | Video

Hersteller | Modell | Vorne | EES

Hersteller	Typ	Schaden-Zone	EES
Acura	MDX	Vorne	61
Alfa	33	Vorne	13
Alfa	33	Vorne	14
Alfa	33	Vorne	18
Alfa	75	Vorne	14
Alfa	90	Vorne	45
Alfa	147 1,6	Vorne	60
▶ Alfa	164	Vorne	15
Alfa	164	Vorne	28
Alfa	164	Vorne	34
Audi	80	Vorne	17
Audi	80	Vorne	16
Audi	80	Vorne	12

Karosserie: lim/4
Fzg.masse: 1510 kg

Deformation: 205 mm
Überdecken: 40 %

Unfallart

- Fussgaenger
- Zweirad
- Motorrad
- Pkw
- Kleines Lkw
- Lkw
- Bus


Partner

Clipboard

Hilfe

Info

Beenden



EES Datenbank



01.07.2003

17

EES Datenbank



: 15 km/h Forrás: DSD-Graz Gyűjtemény: CD-EES by Dr. Melegh



: 29-31 km/h Forrás: DSD-Graz Gyűjtemény: CD-EES by Dr. Melegh



: 47-49 km/h Forrás: DSD-Graz Gyűjtemény: CD-EES by Dr. Melegh



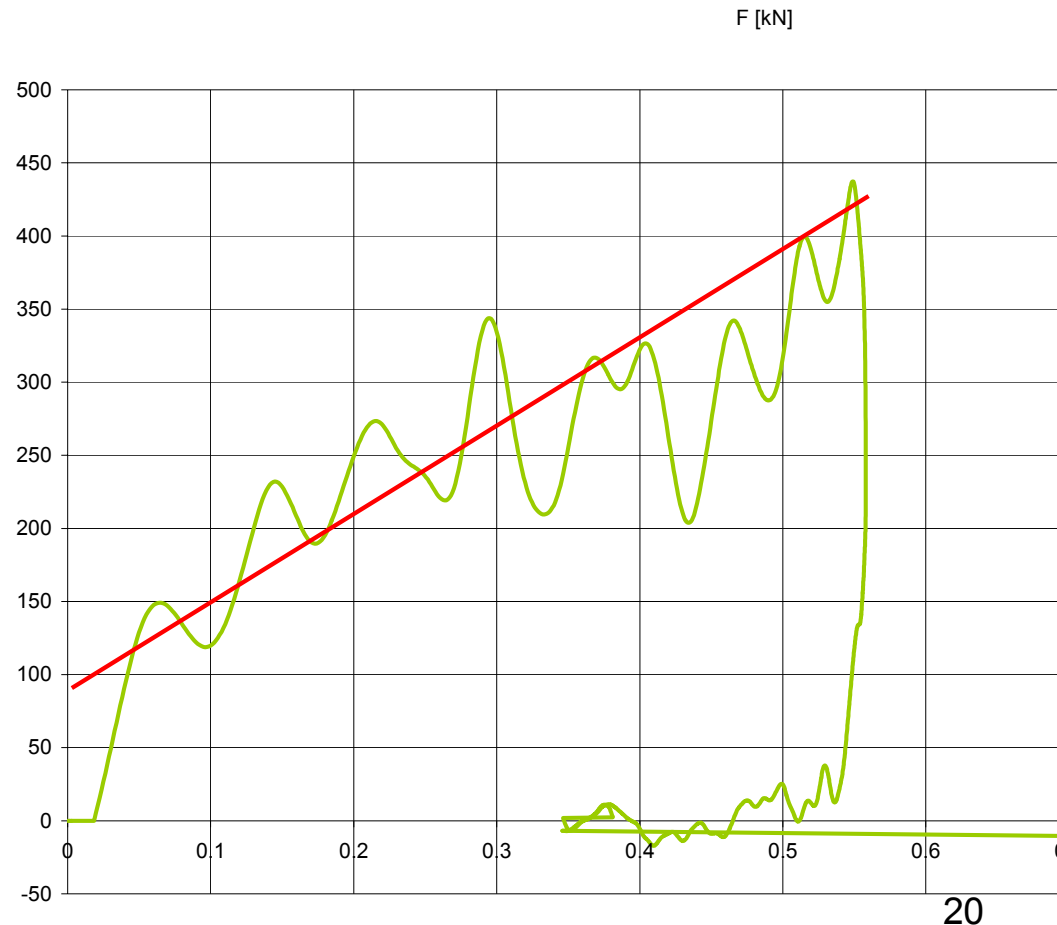
: 83-89 km/h Forrás: DSD-Graz Gyűjtemény: CD-EES by Dr. Melegh

Eingabeparameter

- 2D und 3D Berechnung:
 - Einlaufparameter (Geschwindigkeiten, Drall)
 - Stoßkonstellation (relative Lage der Fahrzeuge)
 - Stoßpunktlage x, y
 - Orientierung der Berührebene (Φ)
 - k-Faktor (Stossziffer ε)
- 3D Berechnung:
 - Stoßpunktshöhe z
 - Neigung der Berührebene (Ψ)

Crash 3 Berechnung

- Calspan (Mc Henry) ab 1970
- Verschieden Programme:
 - Crash3
 - EdCrash
 - Slam
- In USA weit verbreitet



Crash 3 Berechnung

$$F = A + BC$$

$$E = \iint Fdc dl$$

F die Kollisionskraft/Überdeckungslänge [N/m]

A die minimale Kraft/Überdeckungsbreite [N/m]

B die lineare Federkonstante [N/m²]

C die bleibende Verformung [m]

Crash3 Datenbanken

Crash 3 EBS Berechnung

NHTSA Datenbank | Deformation | EBS

1 BMW320 | BMW

Body Style	Mass ...	Whe...	Leng...	Wid...	CO...	S...	PD...	C1 ...	C2 ...	C
TWO DOOR SEDAN	1335.0	2.563	4.509	1.610	1.240	0.0	180.0	0.396	0.396	0
TWO DOOR SEDAN	1753.0	2.570	4.331	1.646	1.247	56.0	0.0	0.485	0.508	0
FOUR DOOR SEDAN	1624.0	2.695	4.440	1.654	1.443	47.5	0.0	0.244	0.320	0
FOUR DOOR SEDAN	1623.0	2.700	4.437	1.646	1.440	56.7	0.0	0.000	0.000	0
FOUR DOOR SEDAN	1683.0	2.694	4.425	1.679	1.367	47.6	0.0	0.262	0.345	0
FOUR DOOR SEDAN	1691.0	2.680	3.935	1.697	0.437	47.2	180.0	0.259	0.333	0

Test Geschwindigkeit vt: 56 km/h

Deformationsbreite Lt: 1.765 m

Gewicht mt: 1753 kg

Verformungstiefe

Anzahl der Stützstellen:

n=2 n=4 n=6

C1 C2 C3 C4 C5 C6

0.485 0.508 0.541 0.531 0.513 0.478 m

durchschnittliche Verformung:

$$C_{Ave\ t} = \frac{\frac{C_1}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} C_i + \frac{C_n}{2}}{n-1} : 0.512\ m$$

<http://www-nrd.nhtsa.dot.gov>

keine Verformung bis

b0 : 12 km/h

Steifigkeitskonstante

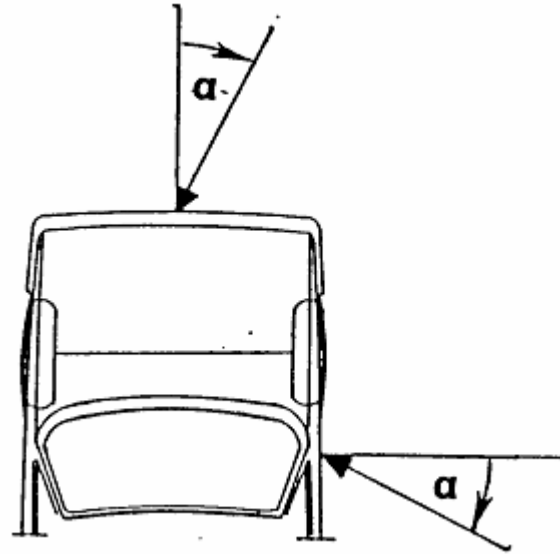
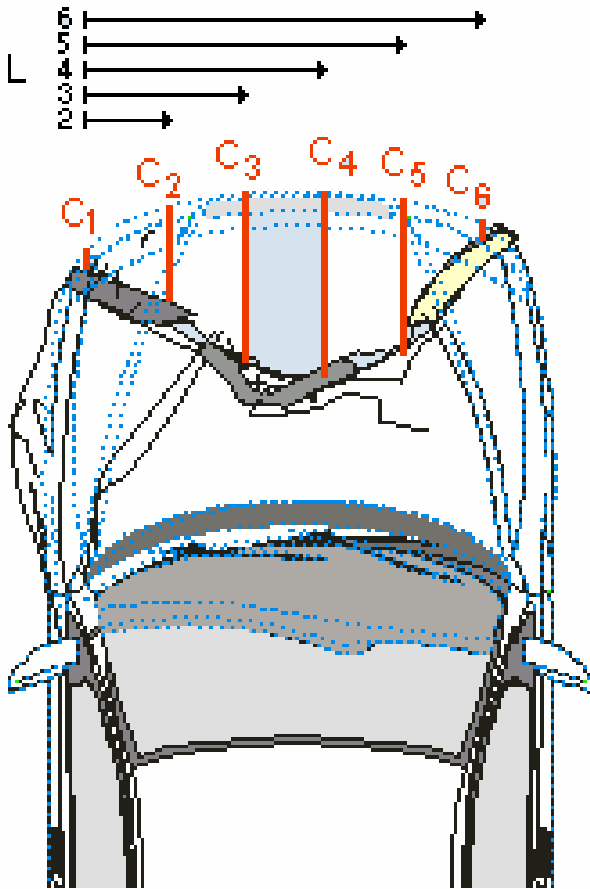
$$b_1 = \frac{v_t - b_0}{C_{Ave\ t}} : 0.86\ km/h / cm$$

$$A = \frac{m_t \cdot b_0 \cdot b_1}{L_t} : 79012.8\ N/m$$

$$B = \frac{m_t \cdot b_1^2}{L_t} : 565717.\ N/m^2$$

$$G = \frac{A^2}{2 \cdot B} : 5517.8\ N$$

Crash3 / Winkelberücksichtigung



Energy Correction Factor

$$ECF = (1 + \tan^2 \alpha)$$

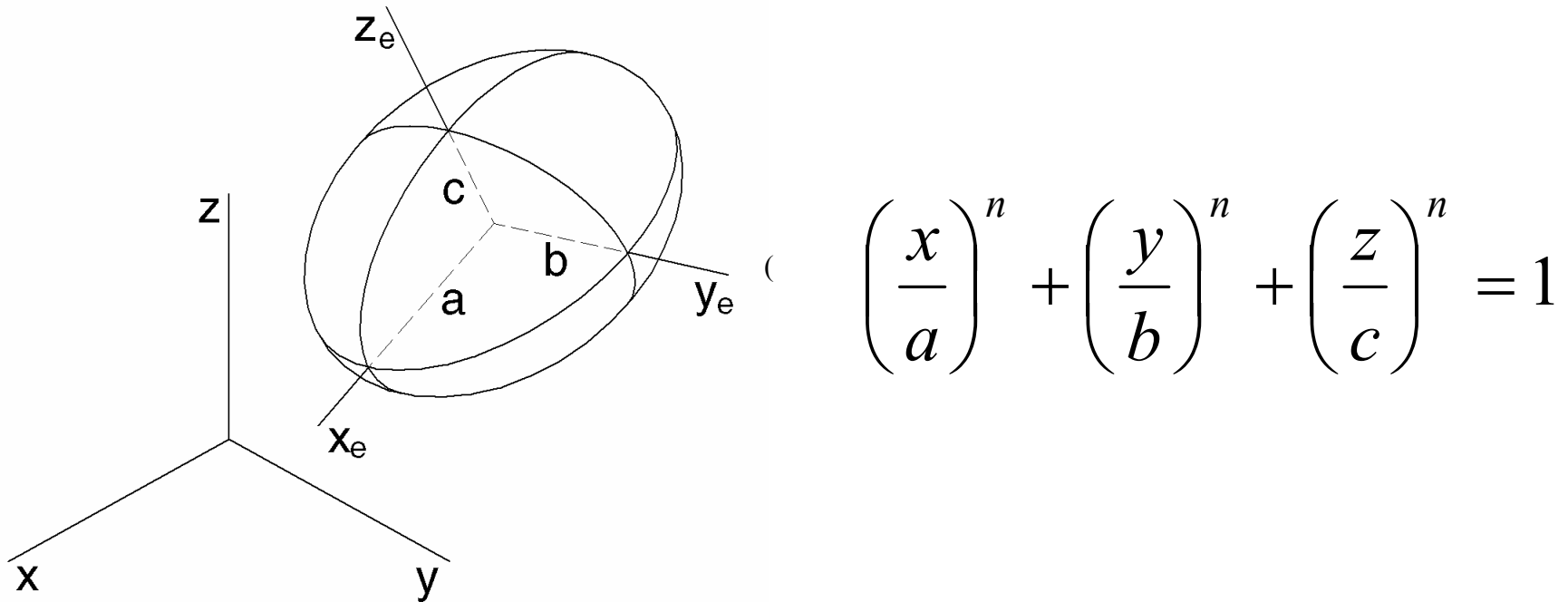
(max ± 45 Grad)

Modifizierte Korrektur

$$ECF = (1.0 + \mu_v \tan \alpha)$$

(max ± 60 Grad)

Das Kraftstoßmodell in PC-CRASH

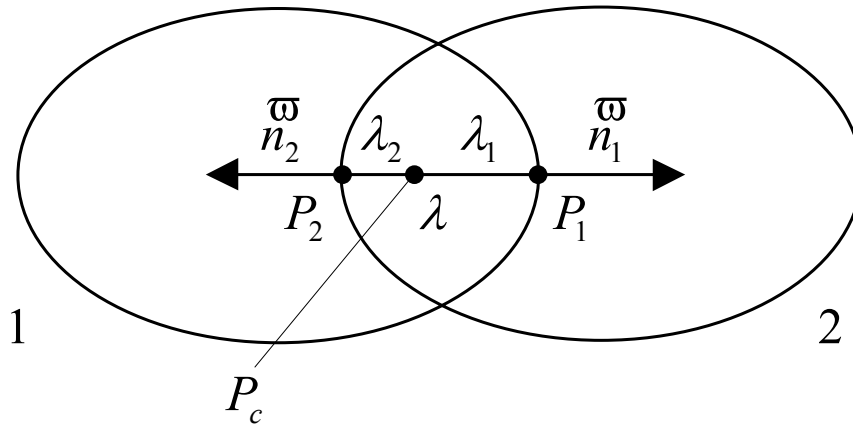


Das Kraftstoßmodell in PC-CRASH

- Kontaktkraft ergibt sich aus der Überdeckung (Deformation) der Fahrzeuge
- Vorgabe von Struktursteifigkeiten erforderlich
- Stoßvorgang wird zeitlich aufgelöst betrachtet
- Unterscheidung zwischen Kompressions- und Restitutionsphase
- Abgleitvorgänge werden automatisch berücksichtigt
- Fahrzeuggeometrie wird berücksichtigt
- externe Kräfte während des Stoßes werden berücksichtigt

Kontaktmodelle

Ellipsoid-Ellipsoid Kontakt:



verhakte Kollision

$$\overset{\omega}{n}_1 = -\overset{\omega}{n}_2$$

$$\overset{\omega}{F}_{n1} = -\overset{\omega}{F}_{n2}$$

$$\overset{\omega}{F}_{n1} = -\lambda_1 \cdot S_1 \cdot \overset{\omega}{n}_1$$

$$\overset{\omega}{F}_{n2} = -\lambda_2 \cdot S_2 \cdot \overset{\omega}{n}_2$$

Abgleitkollision

$$\mu_c = \min(\mu_1, \mu_2)$$

$$\overset{\omega}{F}_{t1} = \left| \overset{\omega}{F}_{n1} \right| \cdot \mu_c \cdot \left\| \overset{\omega}{v}_{Pc2} - \overset{\omega}{v}_{Pc1} \right\|$$

$$\overset{\omega}{F}_{t2} = \left| \overset{\omega}{F}_{n2} \right| \cdot \mu_c \cdot \left\| \overset{\omega}{v}_{Pc1} - \overset{\omega}{v}_{Pc2} \right\|$$

Kontaktmodelle

Kompression:

$$F_{napproaching}^{\omega} = \lambda \cdot S$$

Expansion:

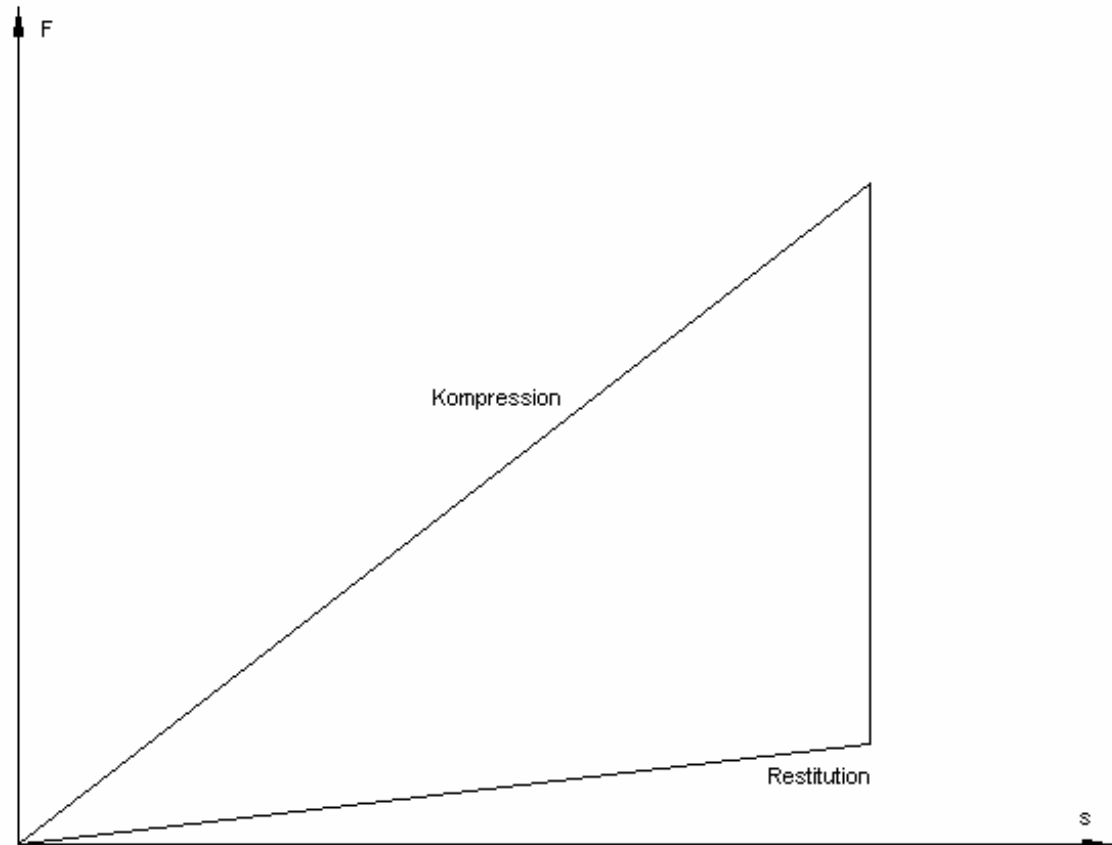
$$F_{nseparating}^{\omega} = \varepsilon \cdot \lambda \cdot S$$

EES:

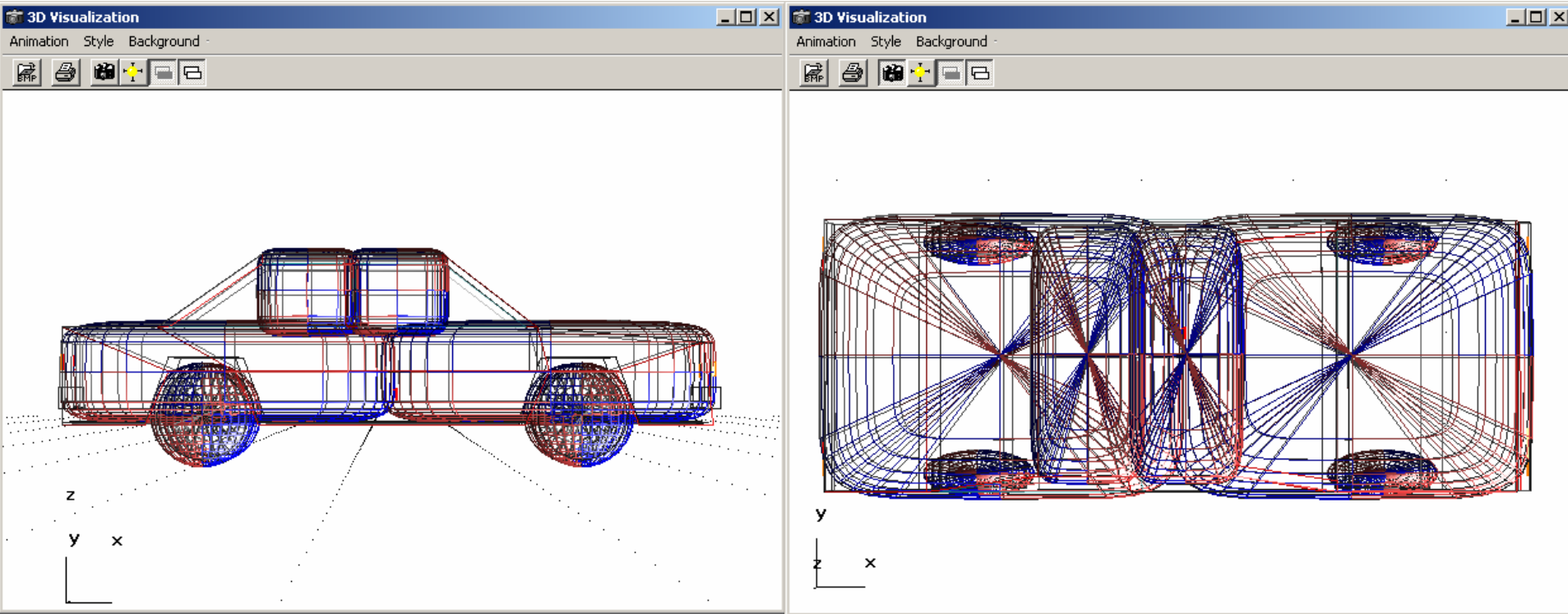
$$E_{Def} = \int F_n d\lambda_n$$

$$E_{\mu} = \int \mu F_n d\lambda_t$$

01.07.2003

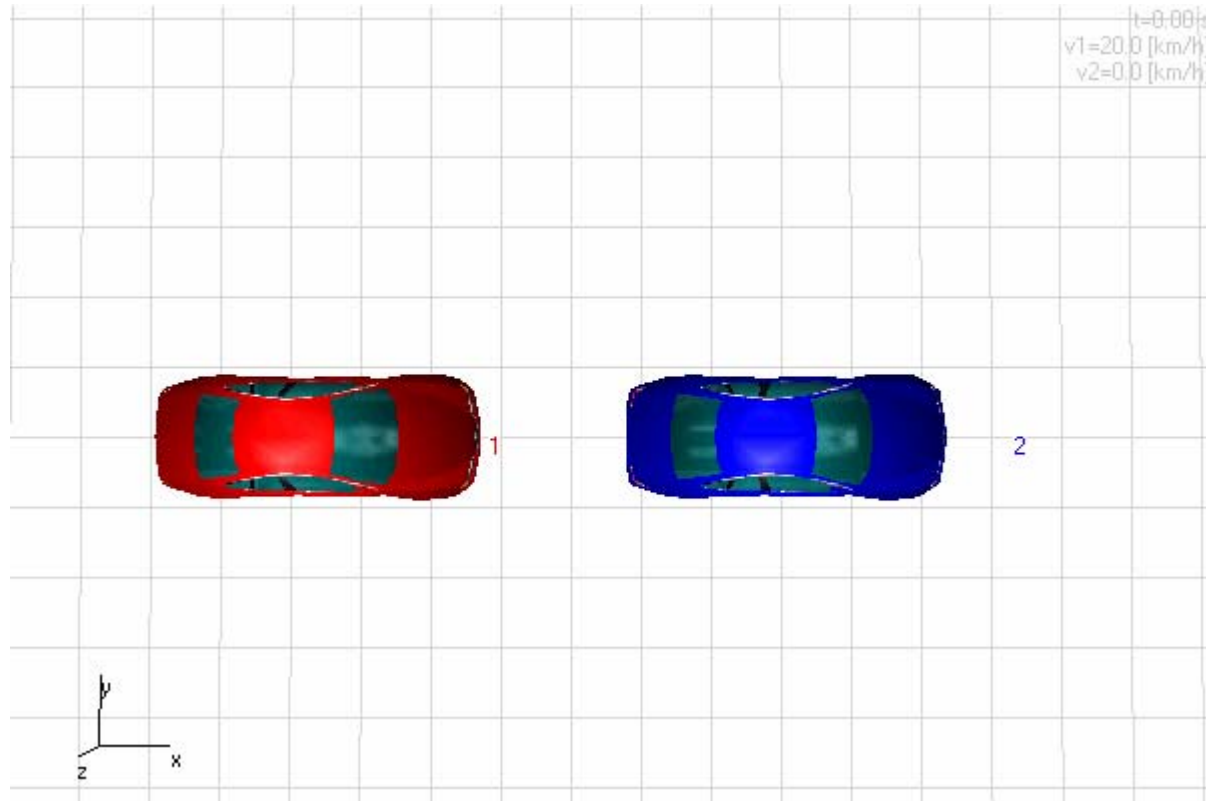


Darstellung PKW



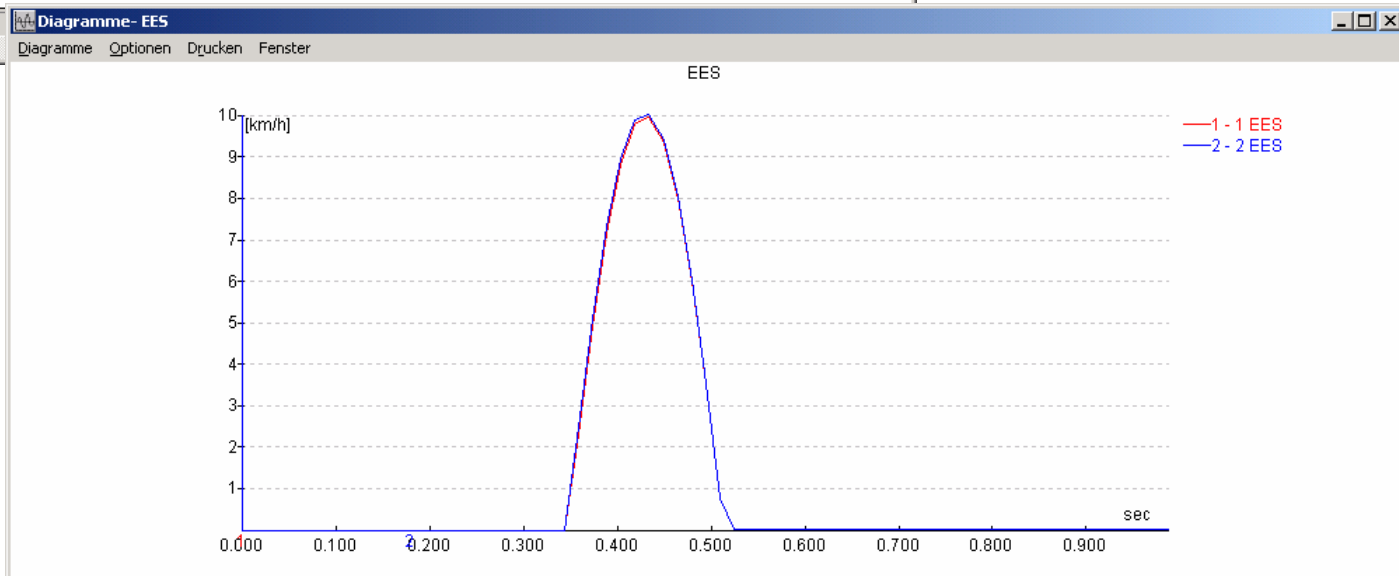
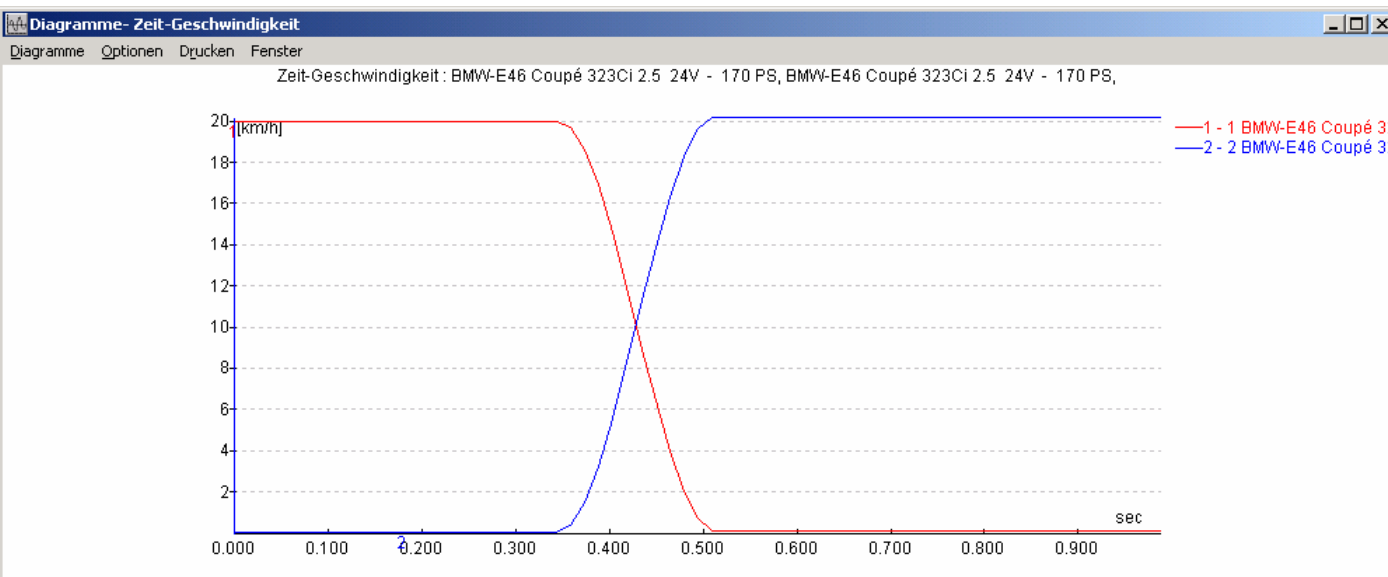
Ergebnisse

Heckanprall $k=1$, $v_k=20$ km/h



Ergebnisse

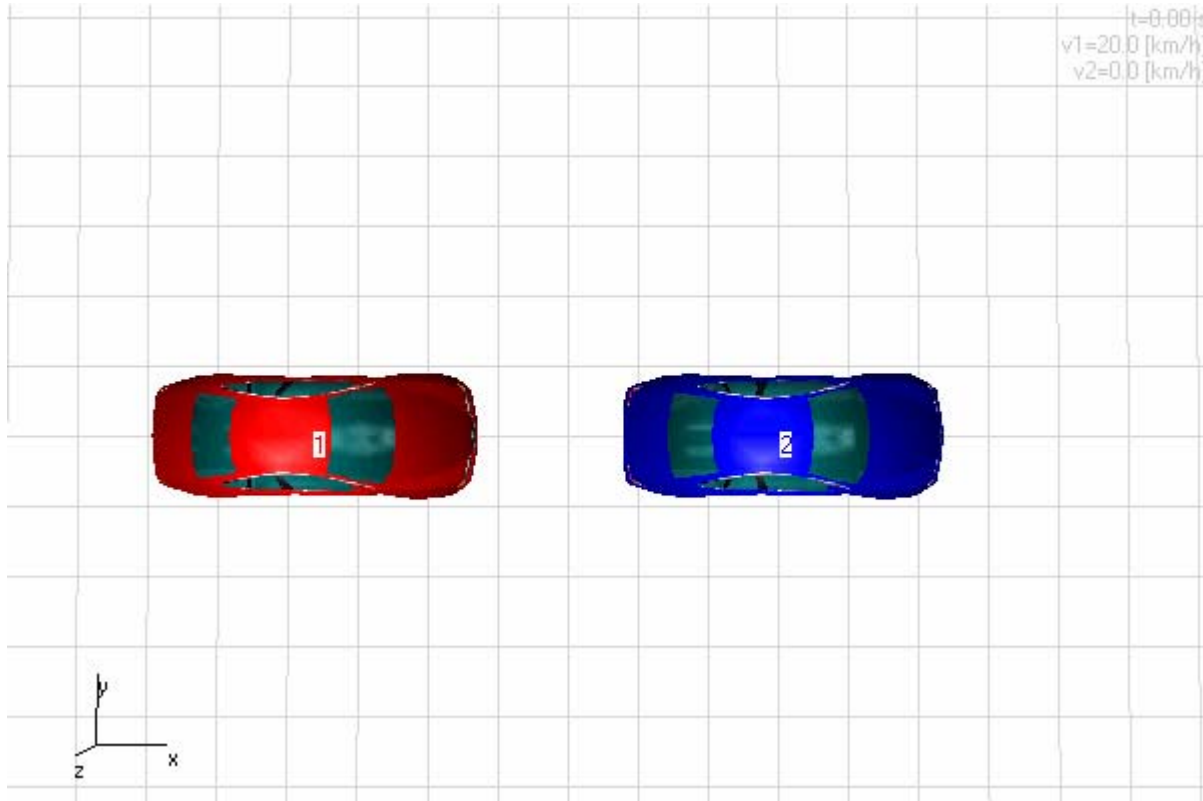
Heckanprall $k=1$, $v_k=20$ km/h



01.07.2003

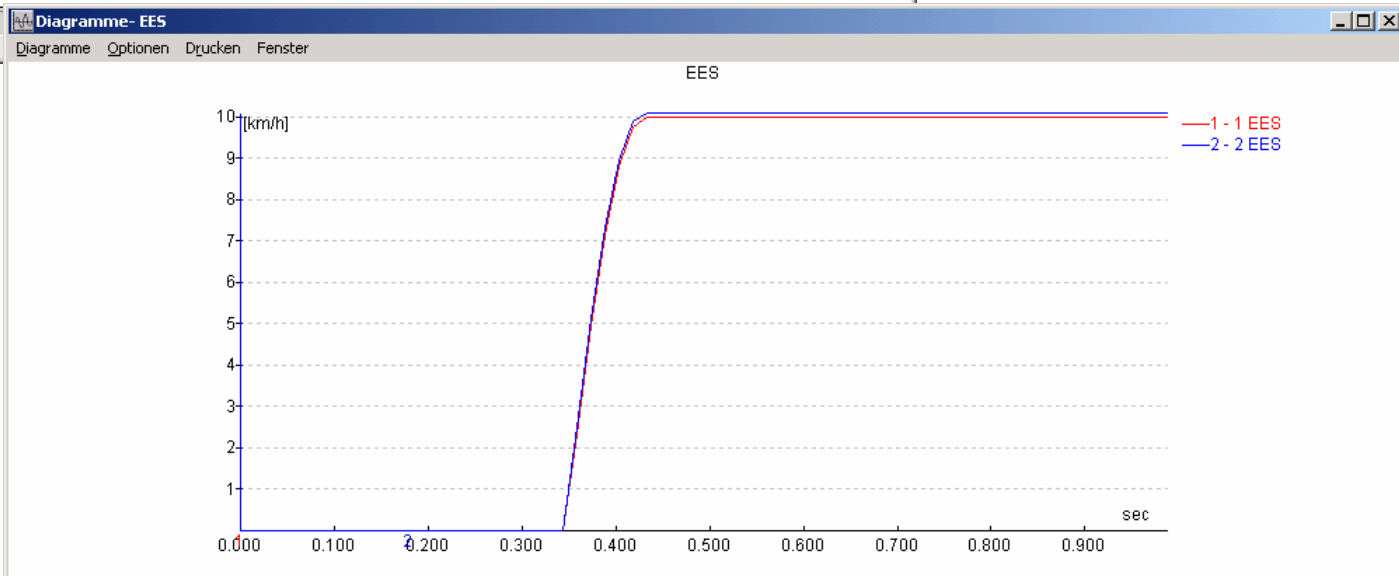
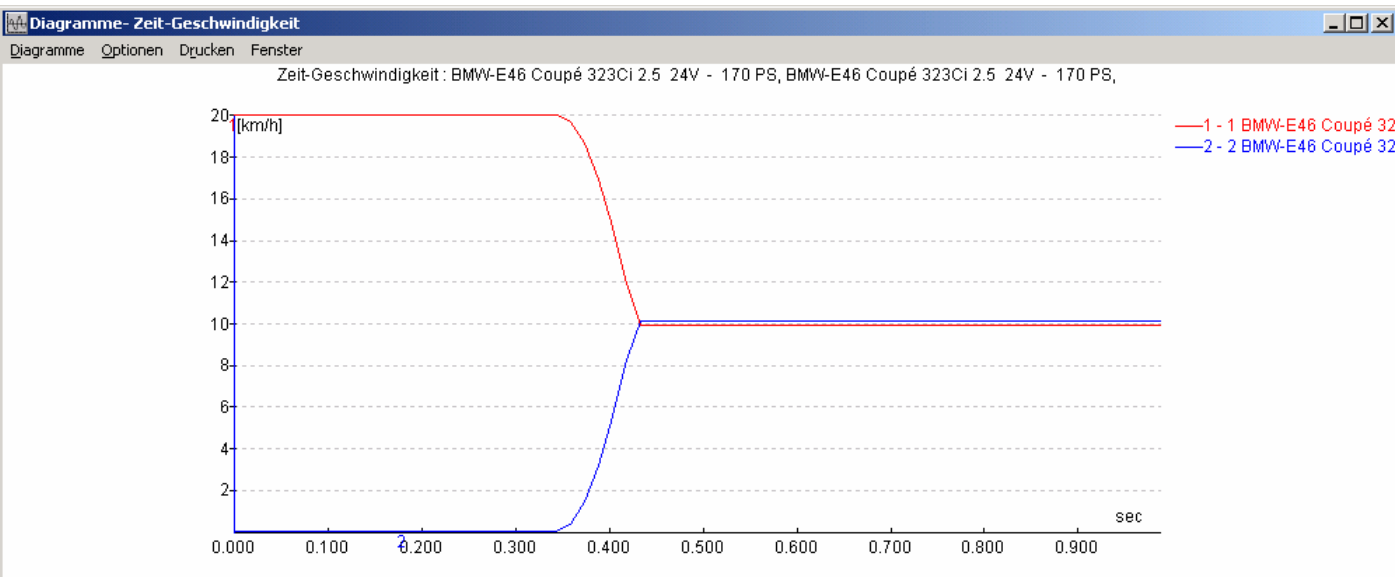
Ergebnisse

Heckanprall $k=0$, $v_k=20$ km/h



Ergebnisse

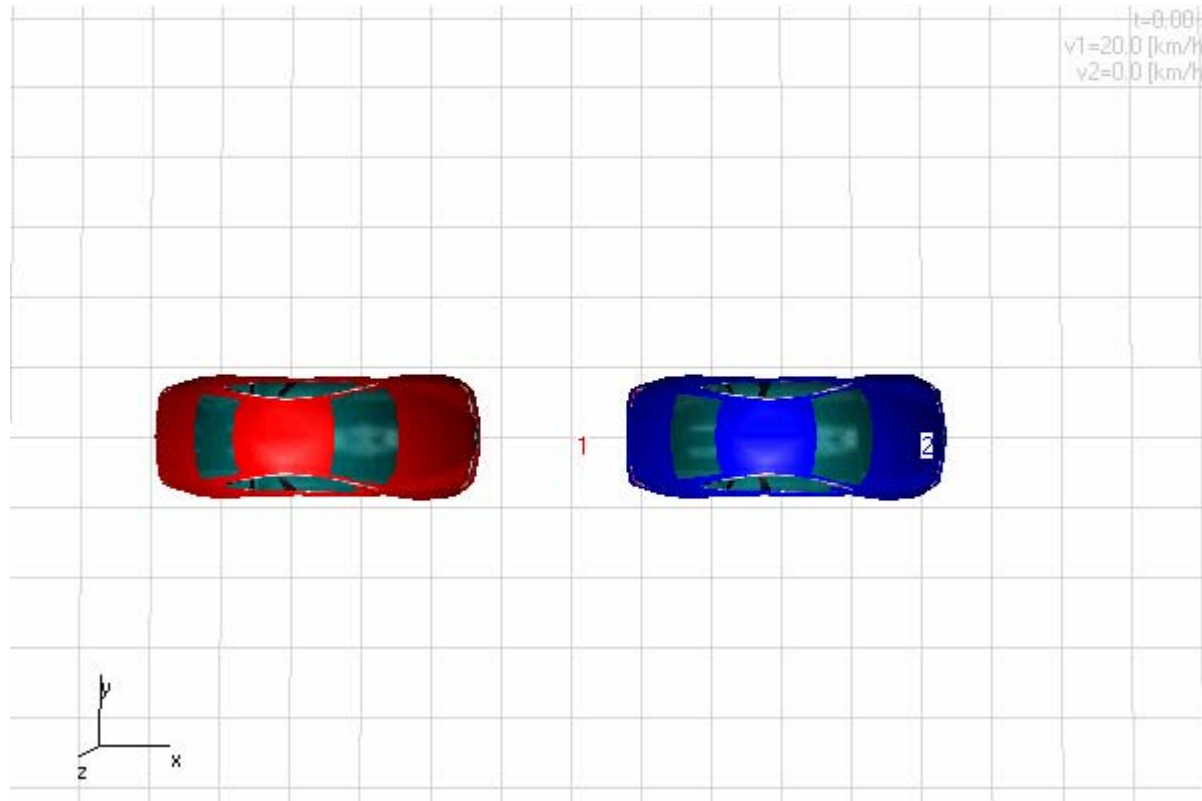
Heckanprall $k=0$, $v_k=20$ km/h



01.07.2003

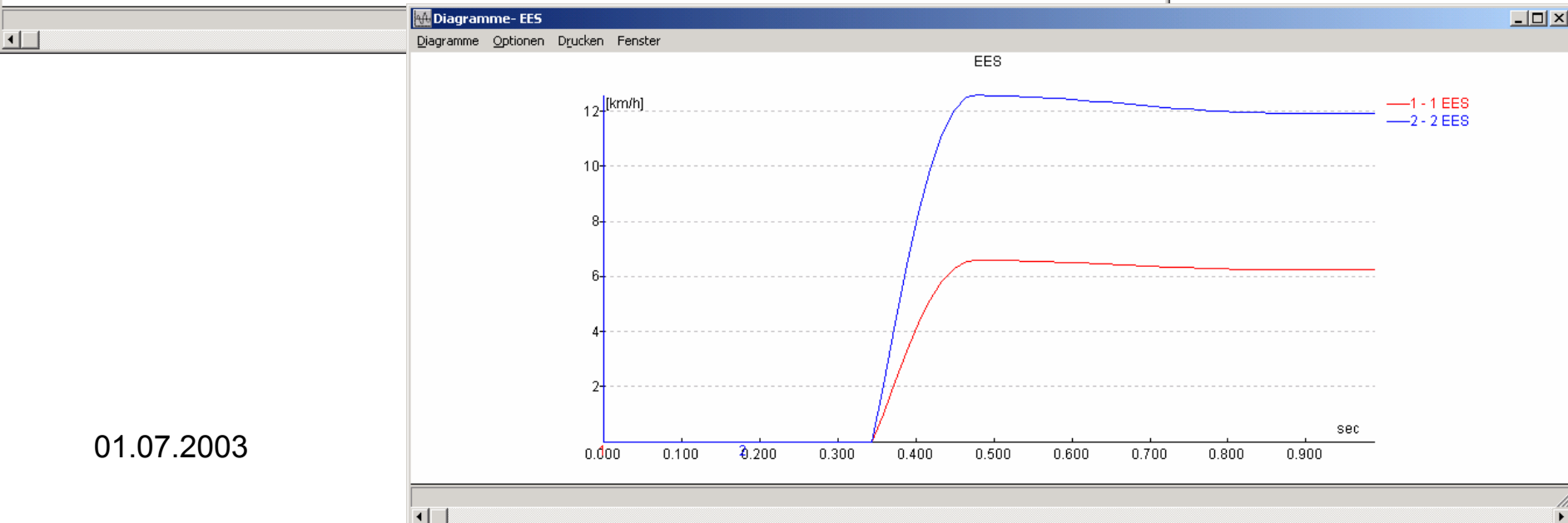
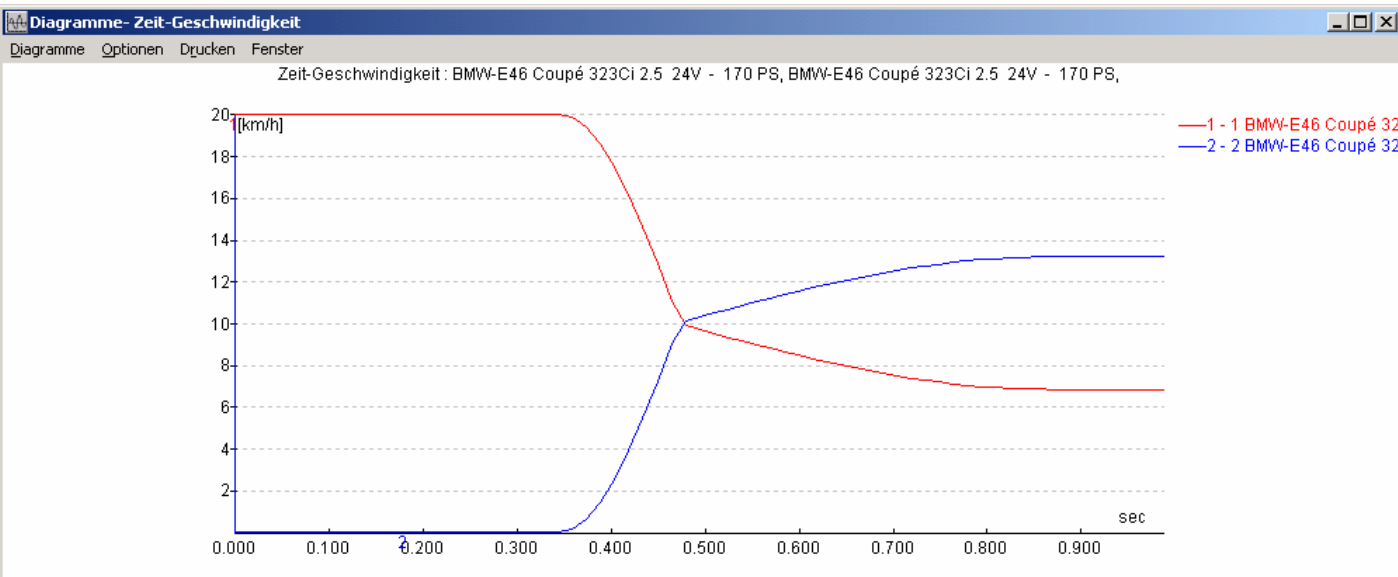
Ergebnisse

Heckanprall $k=0.1$, $v_k=20$ km/h, unterschiedliche Steifigkeiten



Ergebnisse

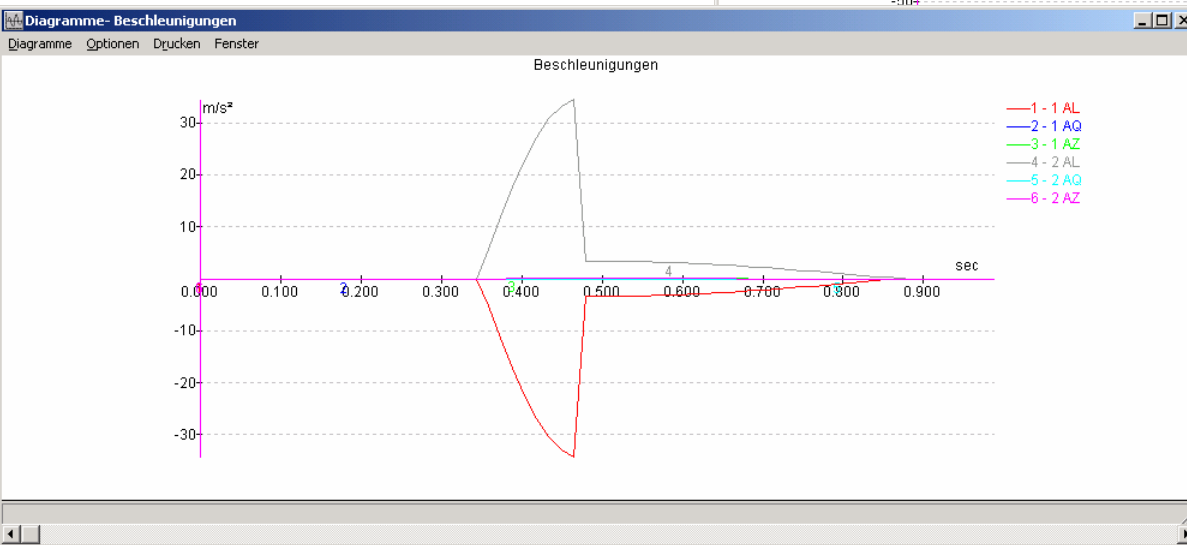
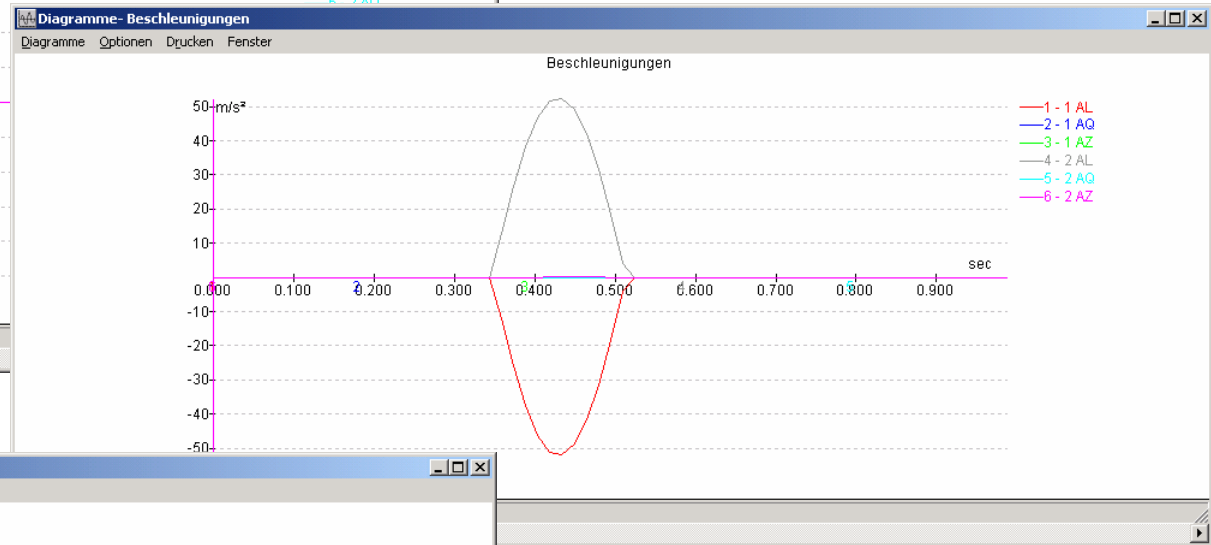
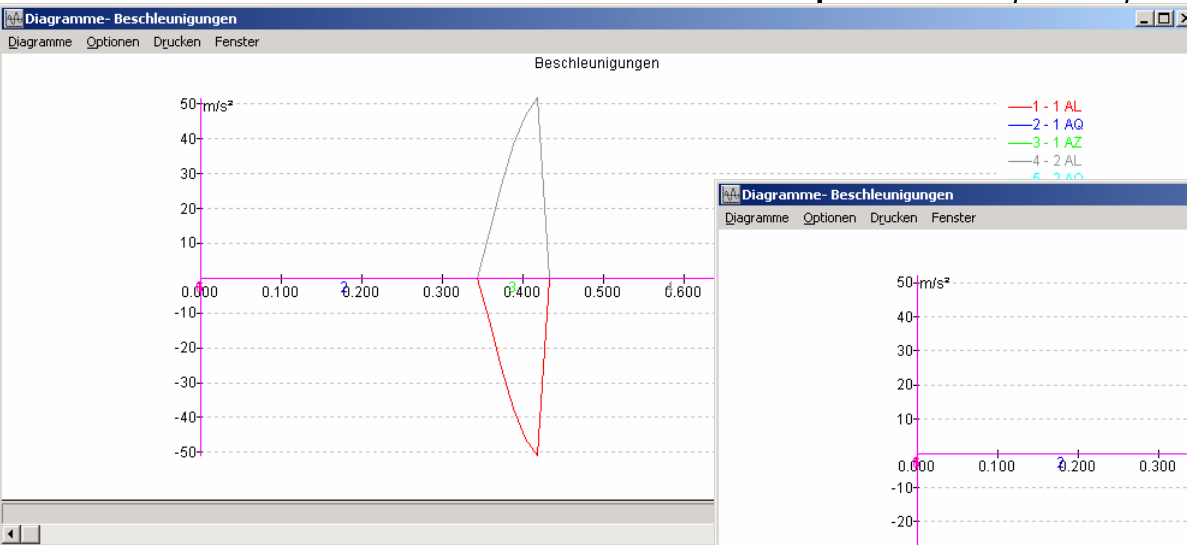
Heckanprall $k=0.1$, $v_k=20$ km/h, unterschiedliche Steifigkeiten



01.07.2003

Ergebnisse

Heckanprall $k=0$, $k=1$, $k=0.1$



Eingabewerte Kraftstoßmodell

- Oberflächenreibung
- Struktursteifigkeit
- Fahrzeuggeometrie
- Stoßpunkte werden automatisch berechnet
- EES Aufteilung über Steifigkeitsparameter
- Schwerpunktshöhen müssen vorgegeben werden (Stoßberechnung immer 3D)

Bestimmung von Kraft/Weg Kennlinien

- konventionelle Crashtests:
 - Anprall gegen starre Barriere
 - „Aufwendige“ Versuche
 - nur Fahrzeug nimmt Deformationsenergie auf
 - Messung der Fahrzeugbeschleunigungen
 - Berechnung der Kraft/Weg Kennlinie
 - Versuchsdurchführung für Front/Heck einfach
 - Versuchsdurchführung für beliebige Anprallwinkel schwierig
 - Fahrzeug muß rollfähig sein
 - mehrere Versuche mit einem Fahrzeug meist nicht möglich

Bestimmung von Kraft/Weg Kennlinien

- Crash Inversion:
 - Anprall einer „unendlich“ schweren starren Barriere
 - nur Fahrzeug nimmt Deformationsenergie auf
 - Messung der Fahrzeugbeschleunigungen
 - Berechnung der Kraft/Weg Kennlinie
 - Versuchsdurchführung für beliebige Anprallwinkel möglich
 - geringe Anforderungen an Versuchsfahrzeug
 - Versuchsfahrzeug kann mehrfach verwendet werden
 - Parametervariation einfach möglich
 - Versuchsaufbau ist einfach

Crash Inversion



Crash Inversion Ausschnitt links 09.07.01
Z Austria
s



01.07.2003

Crash Inversion

vk=25 km/h

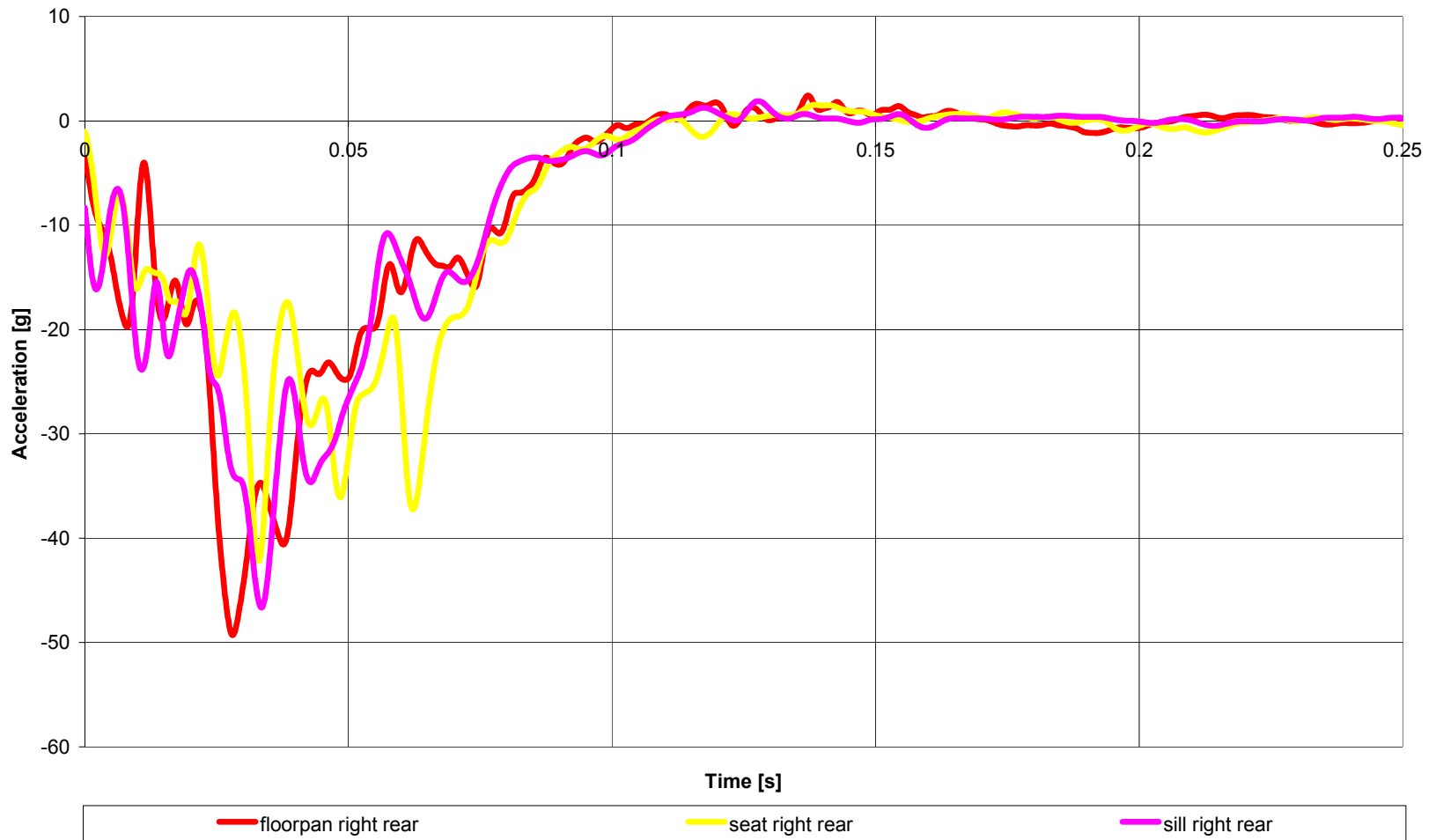


Kraft/Weg Kennlinien

- Bestimmung über Versuche
- Erstellung einer Steifigkeitsdatenbank
- NHTSA Datenbank (2600 Tests)
 - 1600 Frontalkollisionen
 - 600 90-Grad Kollisionen
 - 200 Heck Kollisionen
- Diverse Versuche
 - Dekra, DSD, EVU, Euro NCAP

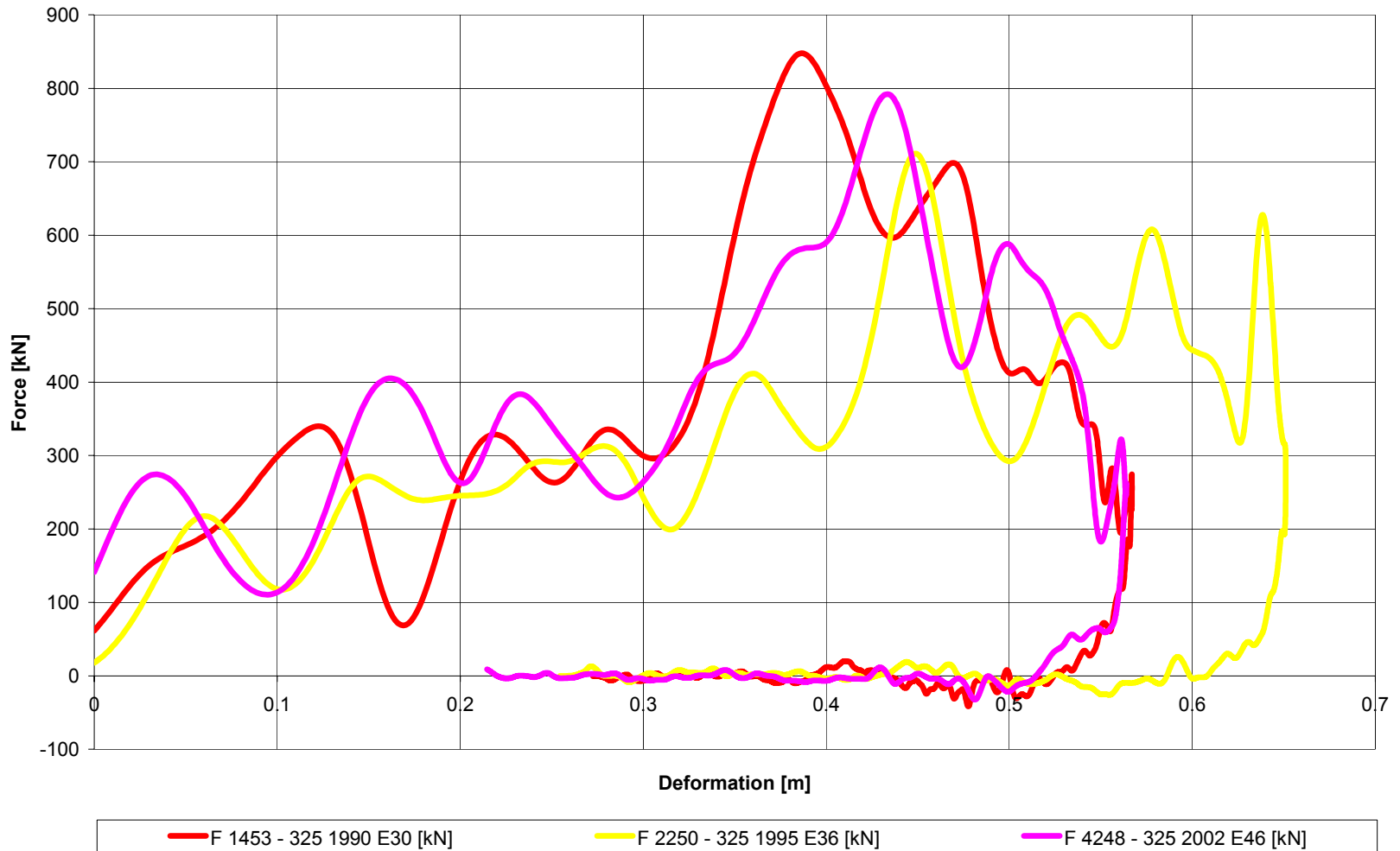
Versuchsdaten

Beschleunigungen – BMW 325 1990, 1995, 2002, 56.5 km/h



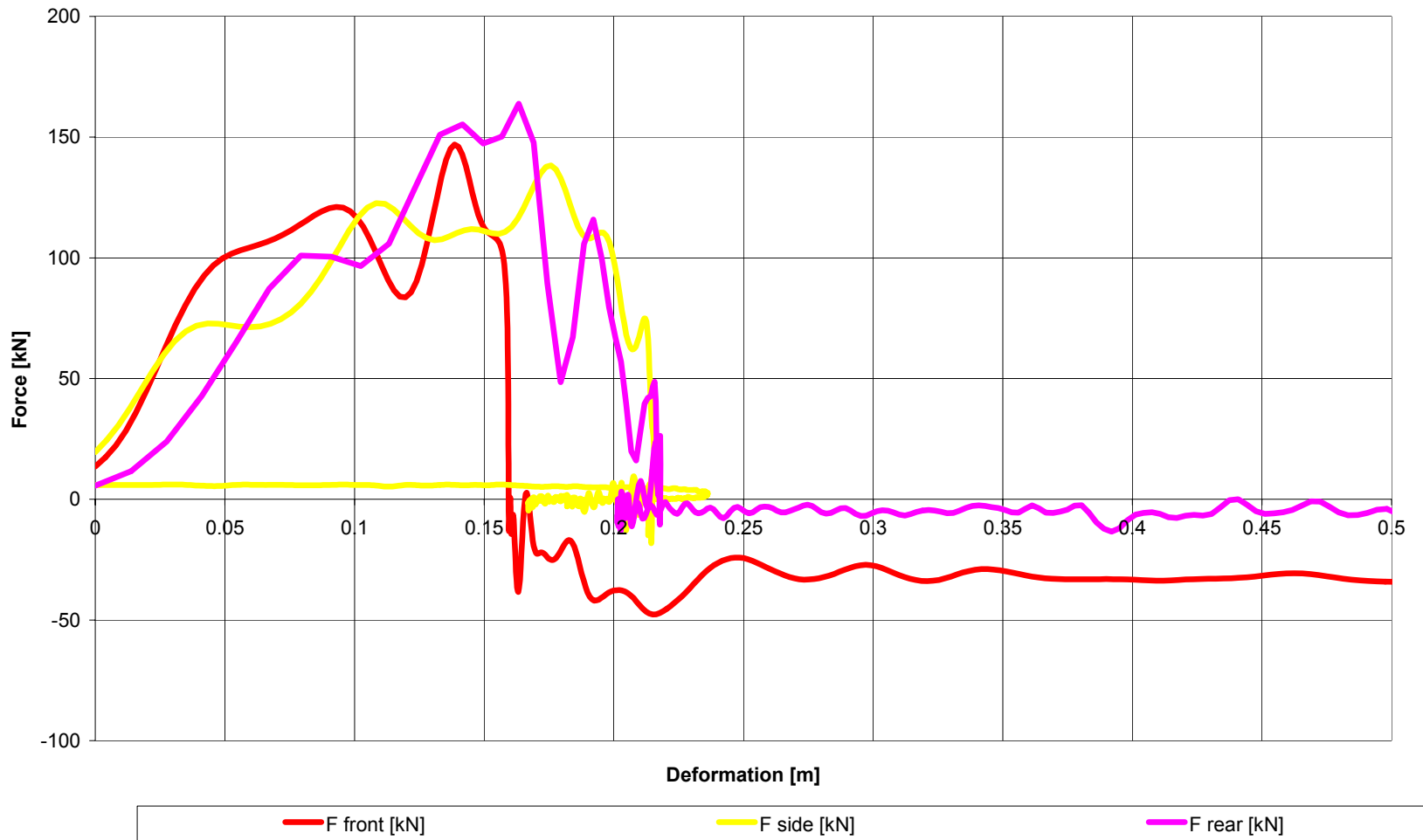
Versuchsdaten

Kraft / Weg Kennlinien

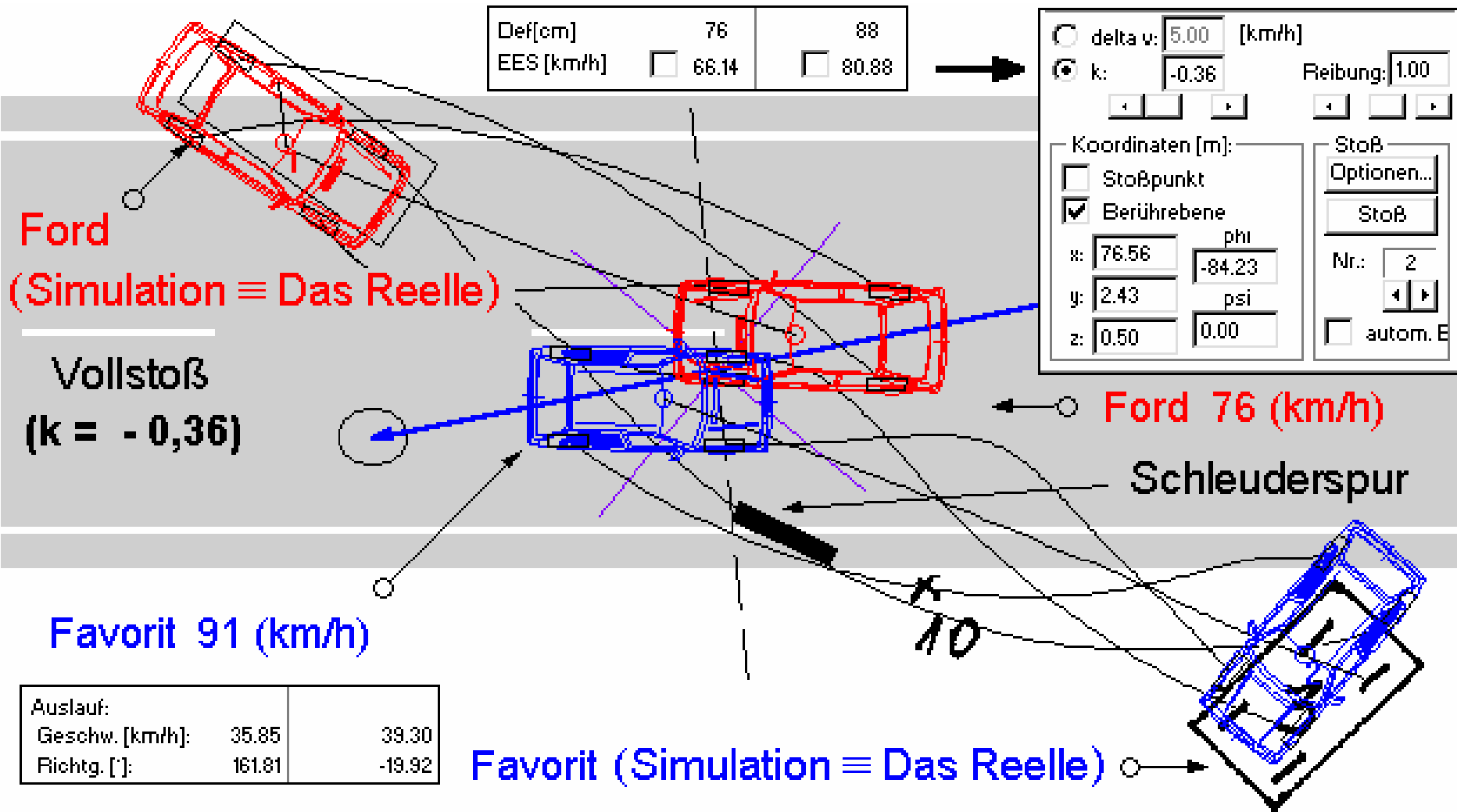


Versuchsdaten

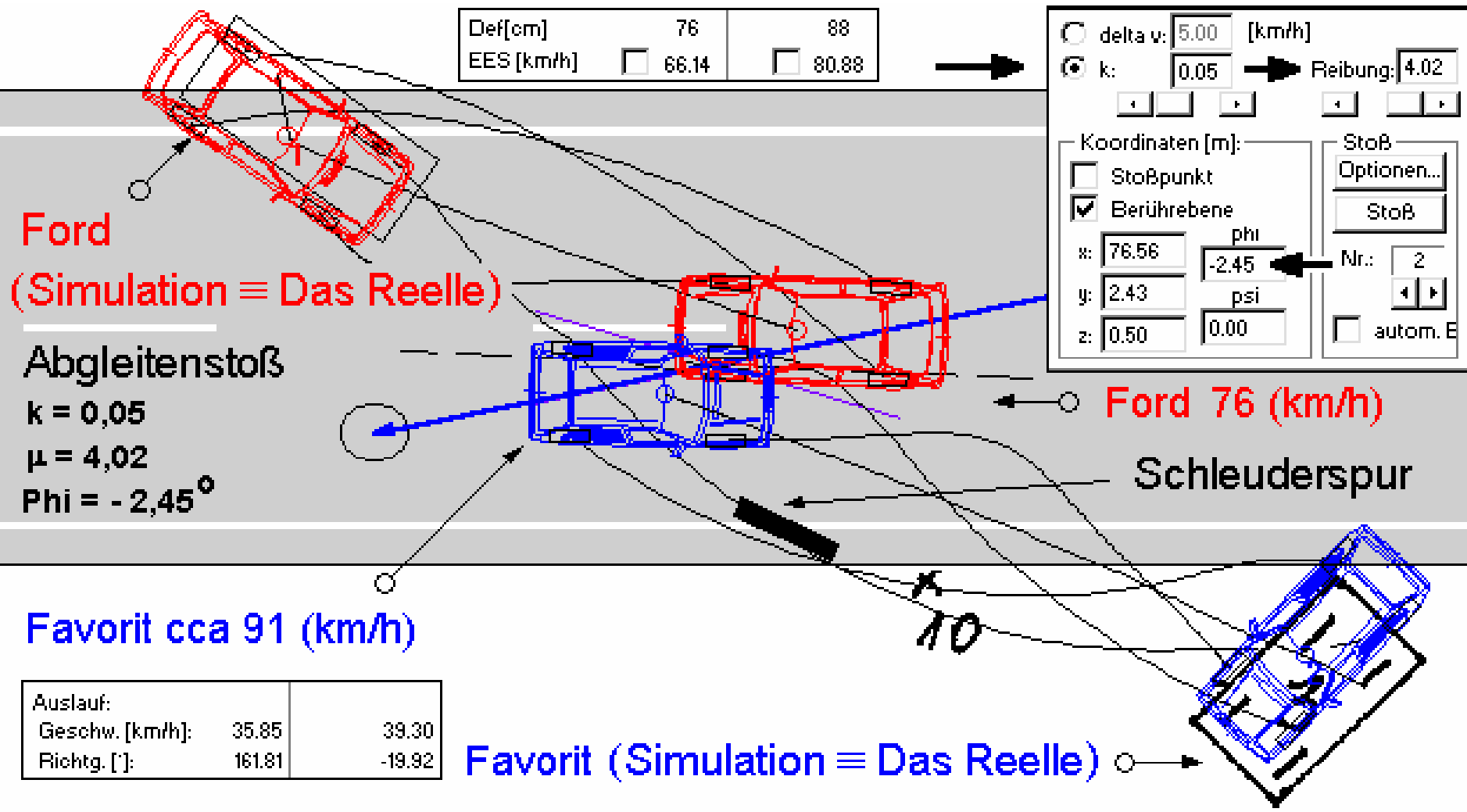
Kraft / Weg Kennlinien – Renault R5 vk 25 km/h



PC-CRASH Ergebniss Nr.1



PC-CRASH Ergebniss Nr.2



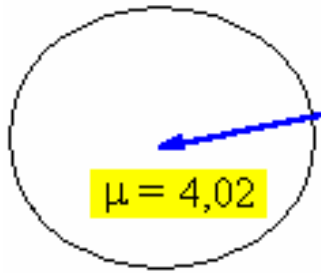
PC-CRASH

Reib., μ / A.impuls	0,0	1,5	3,5	4,02
Größe (N*s)	185	516	3844	14548
Richtung (Grad)	87,55	31,24	13,5	11,52

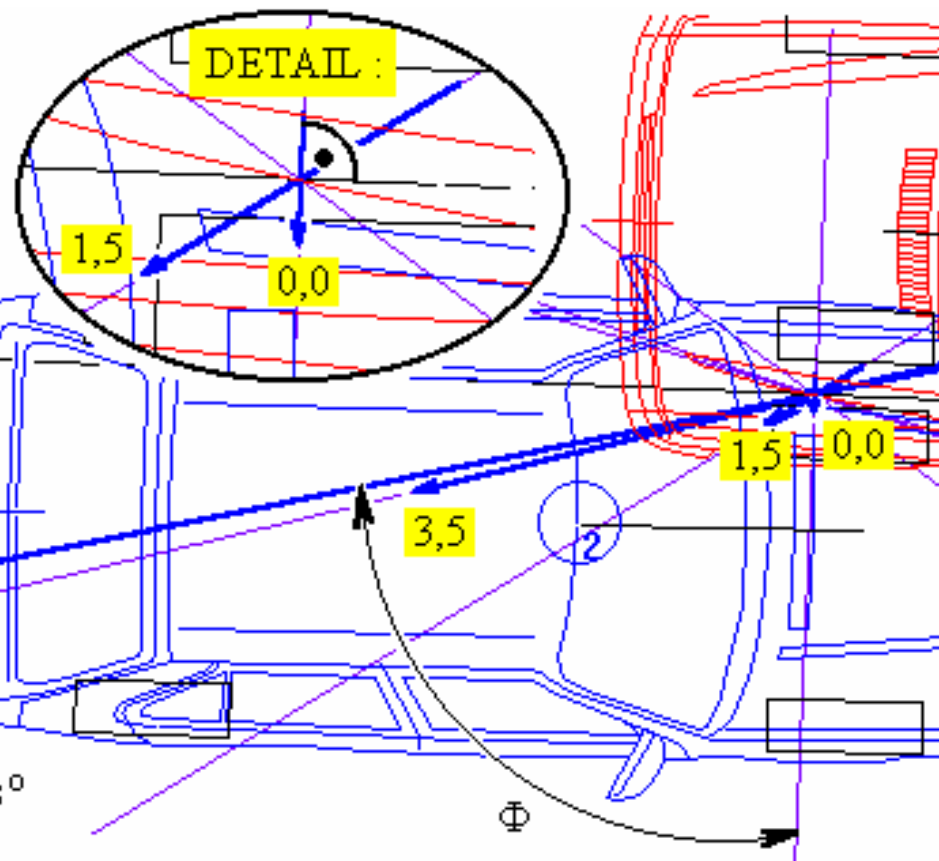
Berührebene „Phi“ \rightarrow $2,45^\circ$

$\mu = 0 \Rightarrow S \perp \text{Phi} \dots 87,55^\circ + 2,45^\circ = 90^\circ$

$$\Phi = 87,55 - 11,52 = 76,03^\circ$$



$$\Phi = \arctg(\mu) = \arctg(4,02) = 76,03^\circ$$



PC-CRASH

