

Zürich, 3. März 2009

TU-2009-02

Hans Muster
Winkelriedstrasse 27
CH-8006 Zürich

Technische Unfallanalyse

Gutachten zu TU-2009-02, X, X, Ereignis vom 20.08.2008

1. Auftrag

Als Grundlage für eine Beurteilung aus biomechanischer Sicht soll eine technische Unfallanalyse durchgeführt werden. Hierbei sollen insbesondere die Belastungen, die an der Sitzposition von Herrn X als Lenker im Opel gewirkt haben, berechnet werden.

2. Zusammenfassung

Der Peugeot 407 (Lenker Herr Y) prallte frontal, mit rund 18 - 24 km/h¹, nahezu achsparallel und mit grosser Überdeckung gegen das Heck des Opel Vectra, in welchem sich Herr X als Lenker befand.

Infolge dieses Heckanpralls wurde der Opel nach vorne geschoben und erfuhr dabei eine kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung (Δv) von rund 10.5 - 14.5 km/h (bezogen auf den Fahrzeugschwerpunkt).

Aufgrund der Kollisionskonstellation ist nicht davon auszugehen, dass der Opel Vectra kollisionsbedingt in eine nennenswerte Rotation versetzt wurde.

Unter Beachtung der Anstosskonstellation und der Stosscharakteristik kann die Stossdauer für den Heckanprall in einer realistischen Bandbreite von rund 0.08 - 0.12 Sekunden angenommen werden. Hieraus errechnet sich eine mittlere Beschleunigung während der Stossphase von rund 24 - 50 m/s² für den Opel Vectra.

Herr X im Opel erfuhr dadurch initial eine Bewegungstendenz relativ zum Fahrzeug parallel zur Längsachse nach hinten in Richtung der Sitzlehne und der Kopfstütze.

Die angegebenen Toleranzbereiche wurden aus Berechnungen mit Extremwerten festgelegt. Dabei nehmen die Kontrollwerte allerdings teilweise unrealistische Grössen an, so dass die Geschwindigkeitswerte nahe an den Toleranzgrenzen als wenig wahrscheinlich bezeichnet werden müssen.

¹ Für die Berechnungen wurde davon ausgegangen, dass das vordere Fahrzeug zum Kollisionszeitpunkt stillstand. Sollte dies nicht zutreffen, so erhöht sich die Aufprallgeschwindigkeit des auffahrenden Fahrzeugs um die tatsächliche Geschwindigkeit des gestossenen Fahrzeugs. Auf die ermittelten Toleranzbereiche für die Fahrzeugbelastung (kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung, mittlere Beschleunigung während der Kollisionsdauer) hat dies jedoch keinen Einfluss.

3. Bearbeitungsgrundlagen

Die vorliegende technische Unfallanalyse stützt sich im Wesentlichen auf folgende Unterlagen:

- Polizeirapport
- Reparaturkalkulation und Fotos vom Opel Vectra
- Reparaturkalkulation und Fotos vom Peugeot 407

4. Sachverhalt

4.1. Unfalldaten

Unfalldatum:	20.08.2008
Unfallzeit:	ca. 7:30 Uhr
Unfallort:	8603 Schwerzenbach, Bahnhofstrasse
Strassenbeschaffenheit:	Trockene und ebene Fahrbahn
Witterung:	Tag, keine Niederschläge

4.2. Beteiligte Fahrzeuge

Fahrzeug 1

Marke/Typ:	Opel Vectra 2.2i
Erstzulassung:	8.2002
Kontrollschild:	XX 2001
Betriebsgewicht:	rund 1'475 kg
Lenker:	X, X
Halter:	X, X
Anzahl Mitfahrer:	keine

Fahrzeug 2

Marke/Typ:	Peugeot 407
Erstzulassung:	6.2004
Kontrollschild:	YY 2002
Betriebsgewicht:	rund 1'525 kg
Lenker:	Y, Y
Halter:	Y, Y
Anzahl Mitfahrer:	keine

4.3. Unfallhergang aus den Angaben der Beteiligten

Herr X musste sein Fahrzeug (Opel Vectra) verkehrsbedingt vor einem Fussgängerstreifen anhalten. In der Folge prallte der nachfahrende Peugeot (Lenker Herr Y) dem Opel frontal gegen den Heckbereich.

4.4. Spuren

An der Unfallstelle wurden keine Spuren sichergestellt.

4.5. Beschädigungen

Fahrzeug 1 (Opel Vectra)

Wie den Fotos und der Reparaturkalkulation entnommen werden kann, wurden im Heckbereich des Opel im Wesentlichen der Stossfänger, der Aufpralldämpfer und div. Anbauteile beschädigt.

Aufgrund der Fahrzeugbeschädigungen im Heckbereich des Opel ist von einem EES-Wert² von rund 6 - 9 km/h auszugehen.

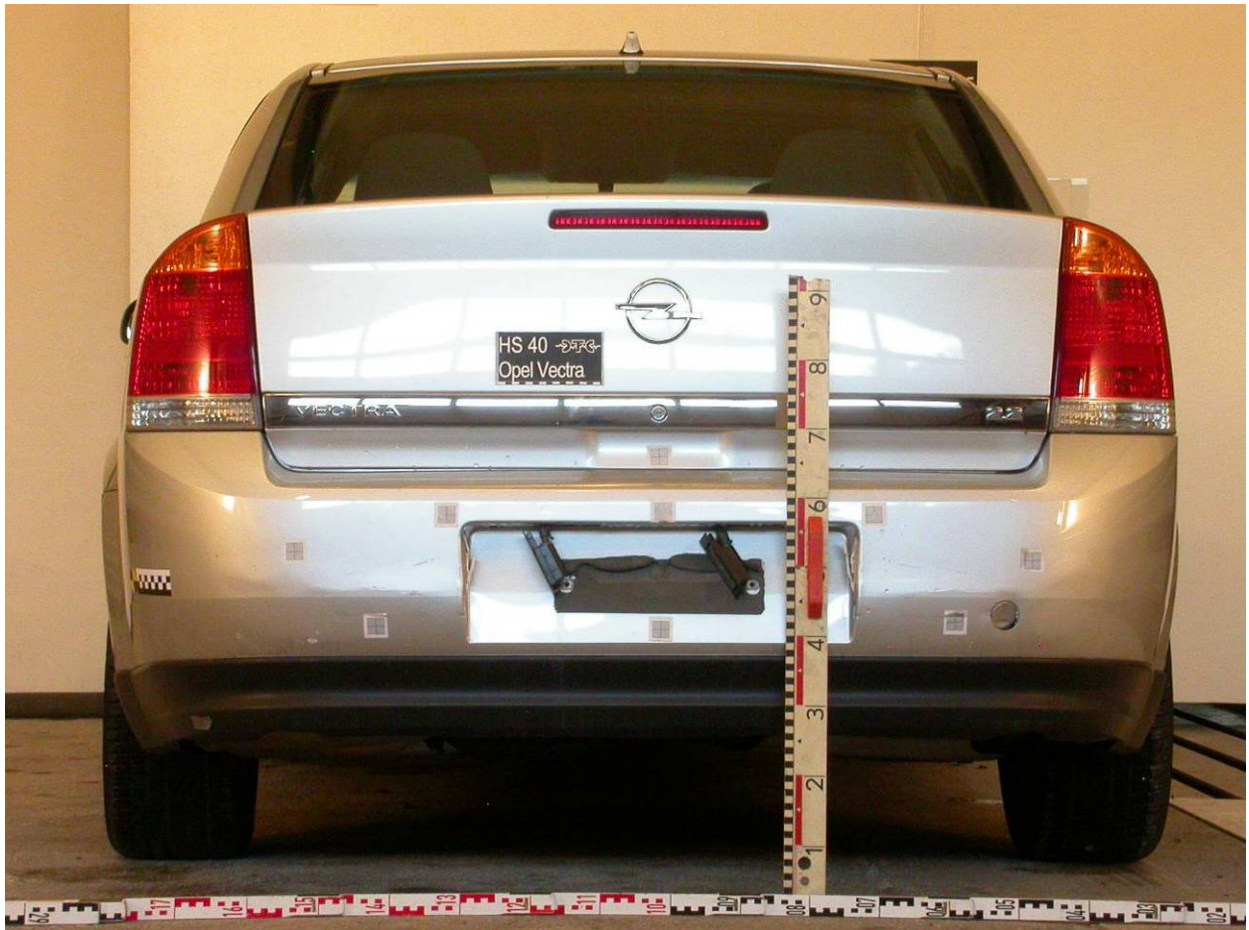


Bild 1: Beschädigungen im Heckbereich des Opel

² Energy Equivalent Speed

Fahrzeug 2 (Peugeot 407)

Wie den Fotos und der Reparaturkalkulation entnommen werden kann, wurden im Frontbereich des Peugeot im Wesentlichen der Stossfänger inkl. der Dämpfung, der Stossfängerträger, der Kühlergrill und div. Anbauteile beschädigt.

Für die Instandsetzung der Längsträger wurden 1.5 h und für die Rückverformung der Front 1 h kalkuliert.

Aufgrund der Fahrzeugbeschädigungen im Frontbereich des Peugeot ist von einem EES-Wert³ von rund 9 -12 km/h auszugehen.



Bild 2: Beschädigungen im Frontbereich des Peugeot

³ Energy Equivalent Speed

5. Unfallanalyse

5.1. Kollisionskonstellation

Die Kontaktschäden und Beschädigungen im Heckbereich des Opel erstrecken sich nahezu gleichmässig über den gesamten Heckbereich und beim Peugeot über den gesamten Frontbereich, wobei links der Stossfänger aus der Führung sprang. Auf dem hinteren Stossfänger - in mittlerer Höhe - sind Kontaktschäden erkennbar, die einem Kontakt des vorderen Stossfängers des Peugeot zugeordnet werden können.

Der Opel wurde aufgrund der Zuordnung der Kontaktschäden kann von einer Kollisionskonstellation wie nachfolgend dargestellt, ausgegangen werden:

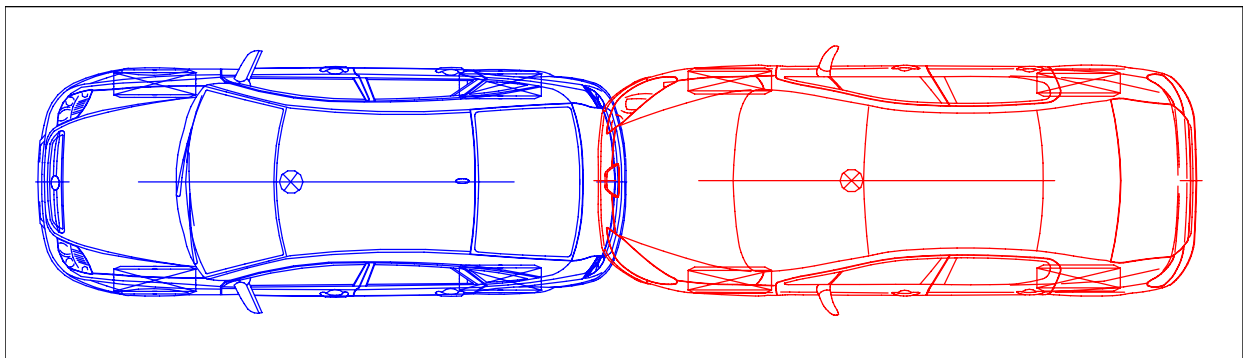


Bild 3: Kollisionskonstellation in der Draufsicht

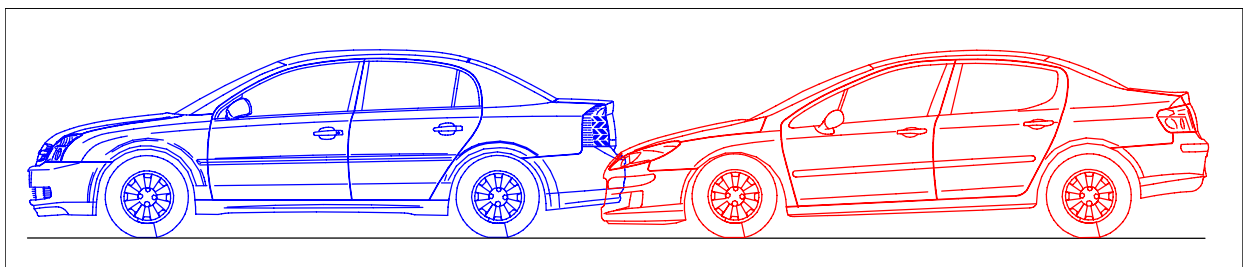


Bild 4: Kollisionskonstellation in der Seitenansicht

5.2. Kollisionsanalyse

Gestützt auf die Beschädigungen und unter Berücksichtigung der Fahrzeugmassen, Struktursteifigkeiten sowie diverser Kontrollgrössen ergibt sich mittels Computeranalyse (EES-Verfahren und Vorwärtsrechnung mit PC-Crash, Computerausdruck im Anhang), dass der Peugeot nahezu achsparallel, mit grosser Überdeckung und mit einer relativen Kollisionsgeschwindigkeit von rund 18 - 24 km/h frontal gegen das Heck des Opel prallte.

Infolge dieses Heckanpralls wurde der Opel nach vorne geschoben und erfuhr dabei eine kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung (delta-v) von rund 10.5 - 14.5 km/h (bezogen auf den Fahrzeugschwerpunkt).

Aufgrund der Kollisionskonstellation ist nicht davon auszugehen, dass der Opel kollisionsbedingt in eine nennenswerte Rotation versetzt wurde.

Die angegebenen Toleranzbereiche wurden aus Berechnungen mit Extremwerten festgelegt. Dabei nehmen die Kontrollwerte allerdings teilweise unrealistische Grössen an, so dass die Geschwindigkeitswerte nahe an den Toleranzgrenzen als wenig wahrscheinlich bezeichnet werden müssen.

5.3. Kollisionsmechanik bezogen auf Fahrzeug und Insassen

Durch den Heckanprall des Peugeot wurde der Opel kollisionsbedingt nach vorne beschleunigt. Da der Opel dabei keine spürbare Rotation erfuhr, wichen die Belastungswerte an der Sitzposition von Herrn X (vorne links) und in Bezug auf den Fahrzeugschwerpunkt nicht nennenswert voneinander ab.

Unter Beachtung der Anstosskonstellation und der Stosscharakteristik kann die Stossdauer für den Heckanprall in einer realistischen Bandbreite von rund 0.08 - 0.12 Sekunden angenommen werden. Hieraus errechnet sich eine mittlere Beschleunigung während der Stossphase von rund 24 - 50 m/s² für den Opel.

Herr X als Lenker im Opel erfuhr dadurch initial eine Bewegungstendenz relativ zum Fahrzeug parallel zur Längsachse nach hinten in Richtung der Sitzlehne und der Kopfstütze.

6. Schlussbemerkung

Zusätzliche Fotos von den Schäden an den Fahrzeugen, Erklärungen zu den Berechnungsmethoden und die Detailresultate aus der Computeranalyse für die Berechnung mit den Minimal- und Maximalwerten können dem Anhang entnommen werden.

Für Fragen oder ergänzende Hinweise stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

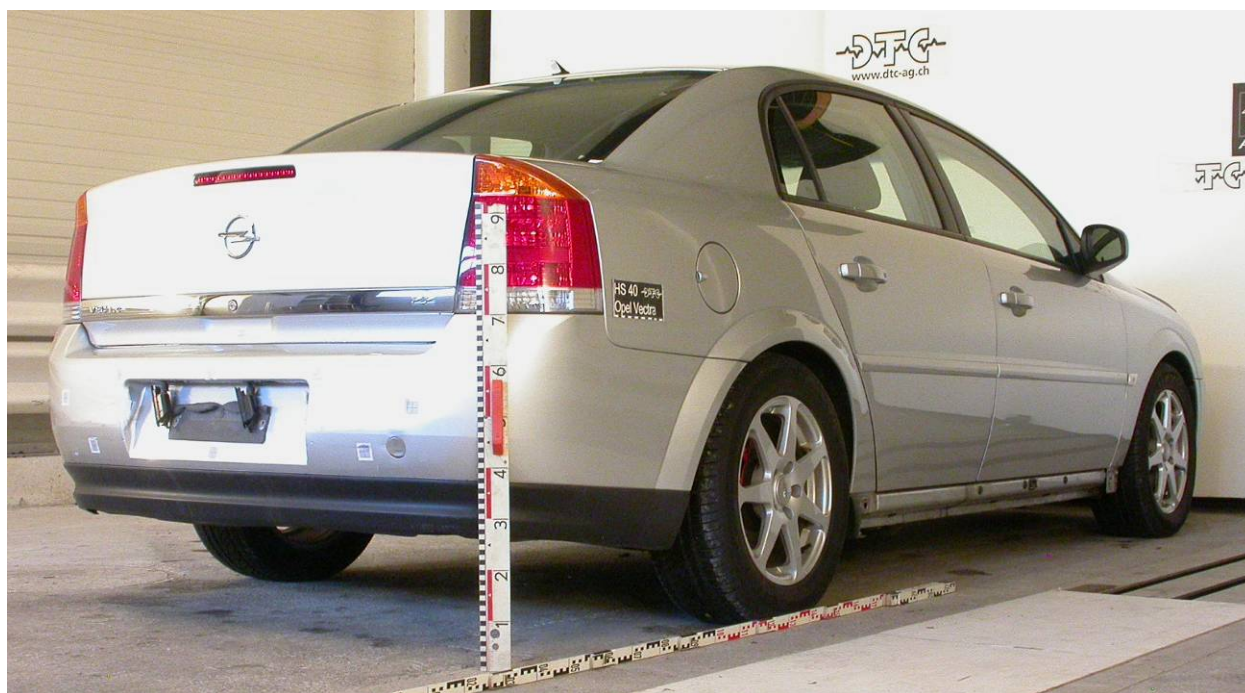
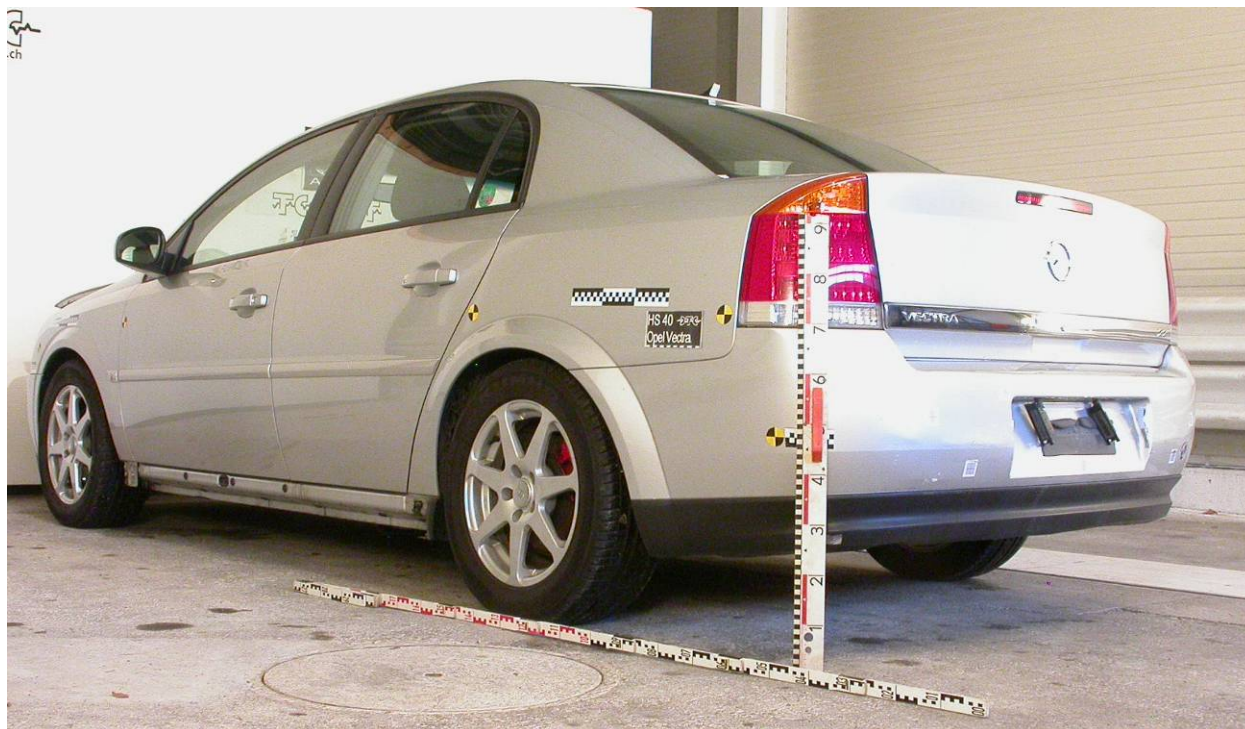
Alain Florin
dipl. Automobil-Ing. HTL

*Mitglied der schweizerischen Kammer
technischer und wissenschaftlicher
Gerichtsexperten (Swiss Experts)*

Anhang

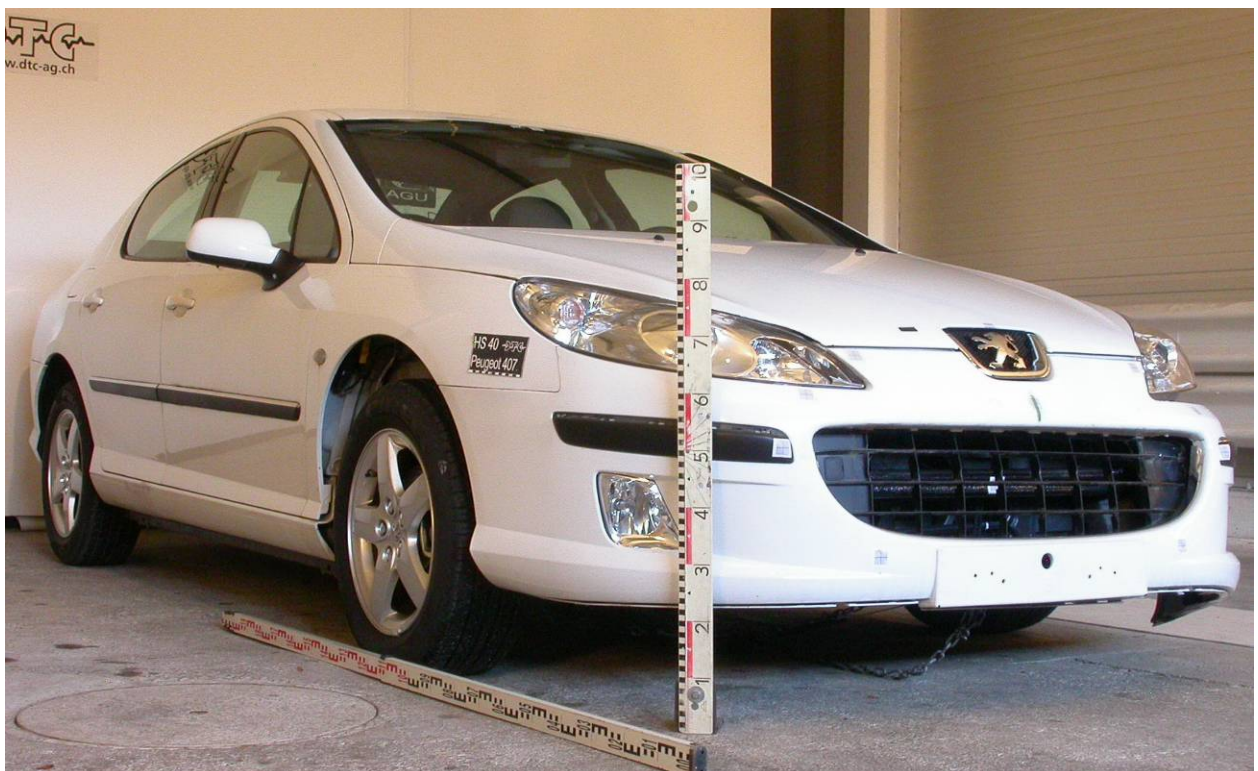
1. Detailfotos

1.1. Fahrzeug 1 (Opel Vectra)





1.2. Fahrzeug 2 (Peugeot 407)






2. Computerauswertung

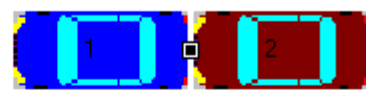
2.1. Daten aus der Kollisionsanalyse "AnalyzerPro 6.0"

Berechnung Minimalwert

AGU - Arbeitsgruppe für Unfallmechanik		GA-Nr.: anu	
Serienkollision			
Massenprop. Rückverformung <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein			
<input checked="" type="checkbox"/> Daten in Abschn.			
Kol.Nr.:	1		
Fahrzeug:			
Bremsverz.(Kol.):	0,0	9,0	m/s ²
Auslaufverz.:	0,0	0,0	m/s ²
Geschw.Diff. nach Koll.:	5,0		km/h
Endabstand:	0,0		m
	Heck	Front	
EES-Wert:	6,0	9,0	km/h
bleibende Def.:	5,6	14,0	cm
Strukturhärte:	1104	495	kN/m
Koll.Geschw.:	0,0	18,1	km/h
Auslaufgeschw.:	10,5	5,5	km/h
Geschw.Änd.:	10,5	-12,7	km/h
max.Koll.Beschl.:	49,3	-53,6	m/s ²
max. Deform.:	6,7	15,0	cm
Geschw.Diff. vor Koll.:	18,1		km/h
K-Wert:	0,28		
Kollisionsdauer:	99		ms
(Kompressionsphase:)	75		ms

Die Ergebnisse der Rechnung sind fett gedruckt.
Die übrigen Werte sind in Normalschrift dargestellt.

Berechnung Maximalwert

AGU - Arbeitsgruppe für Unfallmechanik		GA-Nr.: ano	
Serienkollision			
Massenprop. Rückverformung <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein			
<input checked="" type="checkbox"/> Daten in Abschn.			
Kol.Nr.:	1		
Fahrzeug:			
Bremsverz.(Kol.):	0,0	7,0	m/s ²
Auslaufverz.:	0,0	0,0	m/s ²
Geschw.Diff. nach Koll.:	6,5		km/h
Endabstand:	0,0		m
	Heck	Front	
EES-Wert:	9,0	12,0	km/h
bleibende Def.:	9,2	17,0	cm
Strukturhärte:	1037	598	kN/m
Koll.Geschw.:	0,0	23,8	km/h
Auslaufgeschw.:	14,5	8,0	km/h
Geschw.Änd.:	14,5	-15,8	km/h
max.Koll.Beschl.:	70,5	-72,4	m/s ²
max. Deform.:	10,5	18,2	cm
Geschw.Diff. vor Koll.:	23,8		km/h
K-Wert:	0,27		
Kollisionsdauer:	93		ms
(Kompressionsphase:)	72		ms

Die Ergebnisse der Rechnung sind fett gedruckt.
Die übrigen Werte sind in Normalschrift dargestellt.

2.2. Erklärungen zur Berechnungsmethode

Die Kollisionen wurden mit dem Computerprogramm **AnalyzerPro 6.0** (Modul Serienkollision) analysiert. Die Berechnungen basieren auf dem Energie- und dem Impulserhaltungssatz der klassischen Physik.

Für die Berechnung werden die Betriebsmassen (Leergewicht zuzüglich Zuladung), die EES-Werte, die Deformationstiefen oder alternativ dazu die Strukturhärte der Fahrzeuge und die Geschwindigkeitsdifferenz der Fahrzeuge nach der Kollision benötigt. Es können zudem die Reibungskräfte zwischen Fahrbahn und Reifen (Bremszustand der Fahrzeuge) vorgegeben und in der Berechnung berücksichtigt werden.

Mit den vorgenannten Parametern können die Geschwindigkeitsdifferenz (relative Kollisionsgeschwindigkeit) der Fahrzeuge und die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung der Fahrzeuge (Δv) berechnet werden.

Die Berechnungen können anschliessend aufgrund zahlreicher Kontrollgrössen auf die Plausibilität hin überprüft werden.

2.3. Erklärungen zu einzelnen Werten aus der Computeranalyse

Kurswinkel:	Bewegungsrichtungen der Fahrzeuge vor und nach der Kollision bezogen auf ein zweidimensionales Koordinatensystem. In der Regel wird die Richtung der Fahrzeuglängsachse (Gierwinkel) des gestossenen Fahrzeugs vor der Kollision als Bezugsrichtung (0 Grad) angenommen. Für ein stillstehendes Fahrzeug kann der Kurswinkel im Prinzip beliebig sein, wird aber normalerweise in Richtung der Fahrzeuglängsachse definiert.
Schwimmwinkel:	Abweichung zwischen der Fahrzeuglängsachse und der Bewegungsrichtung eines Fahrzeugs (Übersteuern, Untersteuern, Schleudern).
Giergeschwindigkeiten:	Drehgeschwindigkeiten um die Hochachse von Fahrzeugen, zum Beispiel bei Kurvenfahrt, Schleuderbewegungen oder als Folge eines Anpralls.
Gierwinkel:	Richtungswinkel der Fahrzeuglängsachse im zweidimensionalen Koordinatensystem.
Stosskrafthebelarm:	Abstand zwischen dem Fahrzeugschwerpunkt und der (rechnerisch) auf einen Punkt konzentrierten Energieübertragung bei der Kollision (Stoss- oder Kraftangriffspunkt).
Richtungswinkel:	Winkel zwischen der Richtung des Stosskrafthebelarms und der Fahrzeuglängsachse.
Deformation:	Tiefe der bleibenden Deformationen in Richtung der Berührnormalen.
Winkel d. Berührtangente:	Richtungswinkel der Berührtangente in Bezug auf das Koordinatensystem. Die Berührtangente lässt sich aufgrund der Beschädigungen und der Fahrzeugposition im Kollisionszeitpunkt herleiten.
Reibwert:	Reibung zwischen den Fahrzeugen in der Kontaktzone. Tritt nur dann auf, wenn diese sich während der Kontaktphase relativ zueinander in Richtung der Berührtangente bewegen.
Stossziffer:	Die Stossziffer charakterisiert die Elastizität des Stosses. Sie ist abhängig vom Verformungsverhalten (Struktursteifigkeit) in den Beschädigungszonen und kann Werte zwischen 1 (vollelastisch) und 0 (vollplastisch) annehmen. Bei sehr kleinen Geschwindigkeitsdifferenzen strebt dieser Wert gegen 1, bei grossen gegen 0.

EES-Berechnung:	<p>Aus den Fahrzeugmassen, den Struktursteifigkeiten und den Deformationstiefen errechnete EES-Werte.</p> <p>Der EES-Wert (EES = energy equivalent speed) ist ein Mass für die Deformationsenergie, ausgedrückt als Geschwindigkeitswert (Hilfsgrösse). Er entspricht derjenigen Geschwindigkeit, mit der ein Fahrzeug gegen ein starres, nicht verschiebbares Hindernis prallen muss, um ohne nennenswerte Auslaufbewegung gleiche Deformationen zu erfahren wie beim zu untersuchenden Realfall.</p> <p>Die berechneten EES-Werte sind normalerweise etwas kleiner als die Werte, die aus den Beschädigungsbildern durch Vergleich abgeschätzt werden. Der Unterschied ergibt sich aus dem Umstand, dass im Computerprogramm EES-Werte für das beladene Fahrzeug errechnet werden, wogegen sich beim Abschätzen aus den Beschädigungsbildern die Werte in der Regel auf das Leergewicht der Fahrzeuge beziehen.</p>
Geschwindigkeitsänderung:	<p>Kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung (Δv). Die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung eines Fahrzeuges beschreibt, um welchen Geschwindigkeitsbetrag ein Fahrzeug während der Kollision (oder eines analogen Ereignisses) abgebremst, resp. beschleunigt wurde. Die Angabe erfolgt in der Regel in km/h.</p>
Struktursteifigkeit:	<p>Steifigkeit oder Strukturhärte in der Beschädigungszone (Mittelwert).</p>
Mittlere Verzögerung:	<p>Beschreibt die kollisionsbedingte mittlere Verzögerung oder Beschleunigung, die während der Kollisions- oder Stossdauer auf das Fahrzeug gewirkt hat.</p> <p>Da die mittlere Verzögerung unter anderem aus der Kollisionsdauer errechnet wird, die nur näherungsweise bestimmt werden kann, sind Abweichungen von der tatsächlichen mittleren Verzögerung möglich.</p>
Kollisionsdauer:	<p>Rechnerisch ermittelte Stossdauer. Da es sich hierbei um eine Näherung handelt, ist dieser Wert mit Vorsicht zu geniessen.</p>
GEV:	<p>Verhältnis der Geschwindigkeitsänderungen zu den EES-Werten.</p>
Trenngeschw. Bpkt.:	<p>Geschwindigkeitsdifferenz der Berührungspunkte nach der Kollision in Richtung der Berührnormalen (Senkrechte auf die Berührtangente). Dieser Wert ist von der Art des Stosses abhängig.</p>
Stossantrieb:	<p>Zeitliches Integral der Stosskraft über der Kontaktdauer.</p>