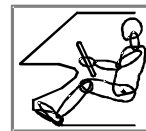


# Arbeitsgruppe für Unfallmechanik

Forschung, Rekonstruktion, Biomechanik, Prävention



Rémy Bosshard  
Scheitelstrasse 28  
8500 Gerlikon

Gerlikon, xx.xx.xx

Tel: +41 (0)52 721 93 11  
Fax: +41 (0)52 721 93 14  
e-mail: Remy.Bosshard@access.unizh.ch

## Technische Unfallanalyse

### Gutachten zu Heckkollision, X., Ereignis vom 01.01.2001

#### 1. Auftrag

Als Grundlage für eine Beurteilung aus biomechanischer Sicht soll eine technische Unfallanalyse durchgeführt werden, wobei vor allem die Belastungen des vorderen Fahrzeugs (Subaru Justy 1.2 4WD) bzw. an der Sitzposition von Frau X. (Lenkerin im Subaru) von Interesse sind.

#### 2. Zusammenfassung

Der Seat Toledo 2.0 prallte mit etwa 11 km/h<sup>1)</sup> bei ungefähr 40 %-iger Überdeckung in einem Winkel von vermutlich 5 - 10 Grad nach links und bei einem seitlichen Versatz von maximal 20 Zentimetern nach rechts gegen das Heck des Subaru Justy. Aus dieser Kollision resultierte eine kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung von rund 7.25 km/h für den Subaru (bezogen auf den Fahrzeugschwerpunkt).

Unter Einbezug auch extremer, aus technischer Sicht eher unwahrscheinlicher Werte bei den Eingabe- und Kontrollgrössen lässt sich für die Kollisionsgeschwindigkeit des Seat ein Toleranzbereich von 8.5 - 13.75 km/h und für die Geschwindigkeitsänderung des Subaru ein solcher von 5.25 - 9.25 km/h festlegen.

Durch den exzentrischen Heckanprall wurde der Subaru in eine geringfügige, kaum spürbare Rotation im Gegenuhrzeigersinn versetzt, die während der ersten 0,2 Sekunden nach der Kollision eine Drehung des Fahrzeuges um weniger als 1.5 Grad zur Folge hatte.

Bezogen auf die Sitzposition von Frau X. (Lenkerin im Subaru Justy) hat die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung 6.5 km/h betragen (Toleranzbereich 4.75 - 8.75 km/h). Die Abweichungen gegenüber den Werten für den Fahrzeugschwerpunkt ergeben sich aufgrund der

<sup>1)</sup> Für die Berechnungen wurde davon ausgegangen, dass das vordere Fahrzeug im Kollisionszeitpunkt stillgestanden ist. 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 Insassenbelastung (kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung, mittlere Beschleunigung während der Kollisionsdauer) hat dies jedoch keinen Einfluss.

Stiftungsrat:  
Felix Walz, Prof. Dr. med., FMH für Rechtsmedizin  
Peter Frei, dipl. Masch. Ing. ETH  
Robert Kaeser, Prof. dipl. Masch. Ing. ETH  
Markus Muser, Dr. sc. techn., dipl. El. Ing. ETH  
Peter Niederer, Prof. Dr. sc. techn., dipl. Physiker

Geschäftsleitung:  
Arbeitsgruppe für Unfallmechanik  
c/o Institut für biomedizinische Technik  
Universität und ETH Zürich  
Gloriastrasse 35  
CH-8092 Zürich

Tel. +41 (0)1 632 71 66 / 45 62  
Fax. +41 (0)1 632 11 93  
e-mail agu@biomed.ee.ethz.ch

MWSt Nr. 415 702

Rotationsbewegung. Als mittlere Beschleunigung während der Kollisionsdauer von 0.1 - 0.12 Sekunden errechnen sich 11.25 - 24.25 m/s<sup>2</sup>. Als Folge der Kollision bewegte sich Frau X. relativ zur Fahrzeuglängsachse in einem Winkel von etwa 6 Grad nach hinten rechts, in Richtung Sitzlehne und Kopfstütze.

### 3. Bearbeitungsgrundlagen

Für die Beurteilung standen die folgenden Unterlagen zur Verfügung:

- Polizeirapport
- vom Subaru Justy 1.2 4WD: Schadenkalkulation mit Fotos
- vom Seat Toledo 2.0: Fotos von den Beschädigungen

### 4. Sachverhalt

#### 4.1. Unfalldaten

Unfalldatum:	01.01.2001
Unfallzeit:	ca. 07:50 Uhr
Unfallort:	Sarnen
Strassenbeschaffenheit:	Asphalt, nass
Witterung:	bewölkt, teilweise Regen

#### 4.2. Beteiligte Fahrzeuge

##### 4.2.1. Fahrzeug 1

Marke/Typ:	Subaru Justy 1.2 4WD
Erstzulassung:	1993
Kontrollschild:	XX
Lenkerin:	X.

##### 4.2.2. Fahrzeug 2

Marke/Typ:	Seat Toledo 2.0
Erstzulassung:	1993
Kontrollschild:	YY
Lenker:	Y.

#### 4.3. Unfallhergang aus Polizeirapport und Angaben der Beteiligten

„X. fuhr mit ihrem Personenwagen auf der Poststrasse vom Dorfplatz her in Richtung Bahnhof. Hinter ihr folgte Y. mit seinem Personenwagen. In der Folge kam es vor dem Restaurant Z zu einer Auffahrkollision.“

Die Unfallstelle befand sich in einer Rechtskurve, wobei die Sichtweite auf etwa 40 Meter begrenzt war. Frau X. hielt an, weil ein Lieferwagen rückwärts auf die Strasse fuhr. Herr Y. realisierte dies zu spät. Nach seinen Angaben leuchteten am Fahrzeug von Frau X. keine Bremslichter auf.

#### 4.4. Spuren

An der Unfallstelle konnten keine Spuren gesichert werden.

## 4.5. Beschädigungen

### 4.5.1. Fahrzeug 1 (Subaru Justy 1.2 4WD)

Im Heckbereich rechts wurden die Stossstange und das Heckblech eher leicht eingedrückt. Deformationen an steifen Längsstrukturen konnten nicht festgestellt werden.

Dem Schadenbild am Subaru kann ein EES-Wert von 5 - 8 km/h zugeordnet werden (bezogen auf das Leergewicht).



### 4.5.2. Fahrzeug 2 (Seat Toledo 2.0)

An der Fahrzeugfront stellte der Fahrzeugexperte Schäden an der Stossstange, dem Grillträger und am rechten Scheinwerfergehäuse fest. Auf den Fotos sind allerdings nur geringe Deformationen zu erkennen, wobei sich insbesondere die Beulen am Grillträger nicht ohne weiteres diesem Ereignis zuordnen lassen (eventuell vorbestehende Schäden).

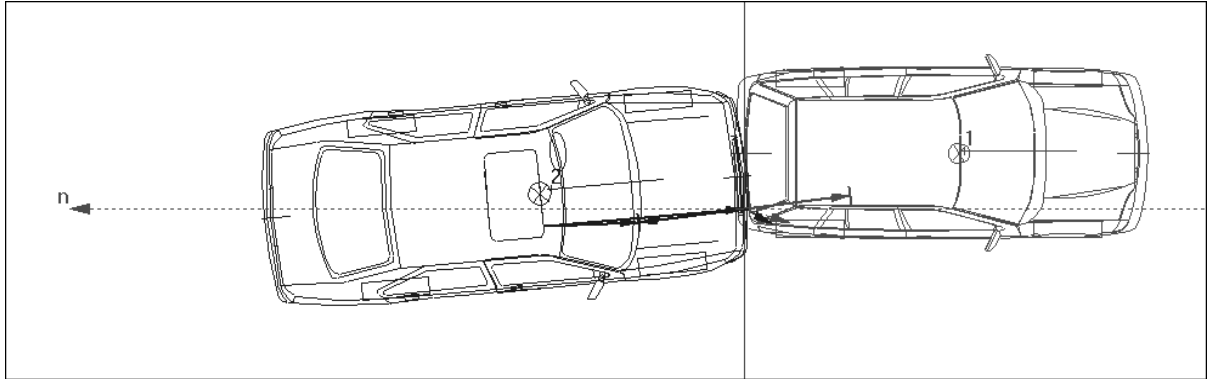
Dem Schadenbild am Seat kann ein EES-Wert von 3 - 5 km/h zugeordnet werden (bezogen auf das Leergewicht).



## 5. Unfallanalyse

### 5.1. Kollisionsanalyse

Gestützt auf die Beschädigungen lässt sich die Aufprallkonstellation nicht sicher bestimmen (keine Spuren oder Beschädigungen an den Fahrzeugen, die sich der Berührung mit einem bestimmten Teil am anderen Fahrzeug zuordnen lassen). Aufgrund der Beschädigungsbereiche und des Strassenverlaufs ist am ehesten von einem Aufprall gemäss nachfolgender Darstellung auszugehen, wobei geringe Abweichungen beim Aufprallwinkel und bei der Überdeckung möglich sind und bei den Berechnungen berücksichtigt wurden:



Mittels Computeranalyse (EES-Verfahren und Vorwärtsrechnung mit „Carat 3.0“) ergibt sich gestützt auf die Beschädigungen und unter Berücksichtigung der Fahrzeugmassen, Struktursteifigkeiten sowie diverser Kontrollgrössen (Computerausdruck im Anhang), dass der Seat bei rund 40 %-iger Überdeckung in einem Winkel von etwa 5 – 10 Grad nach links und bei einem seitlichen Versatz von ungefähr 20 Zentimetern nach rechts mit rund 11 km/h<sup>1)</sup> auf den Subaru aufgeprallt sein muss. Als kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung für den Subaru resultieren ungefähr 7.25 km/h.

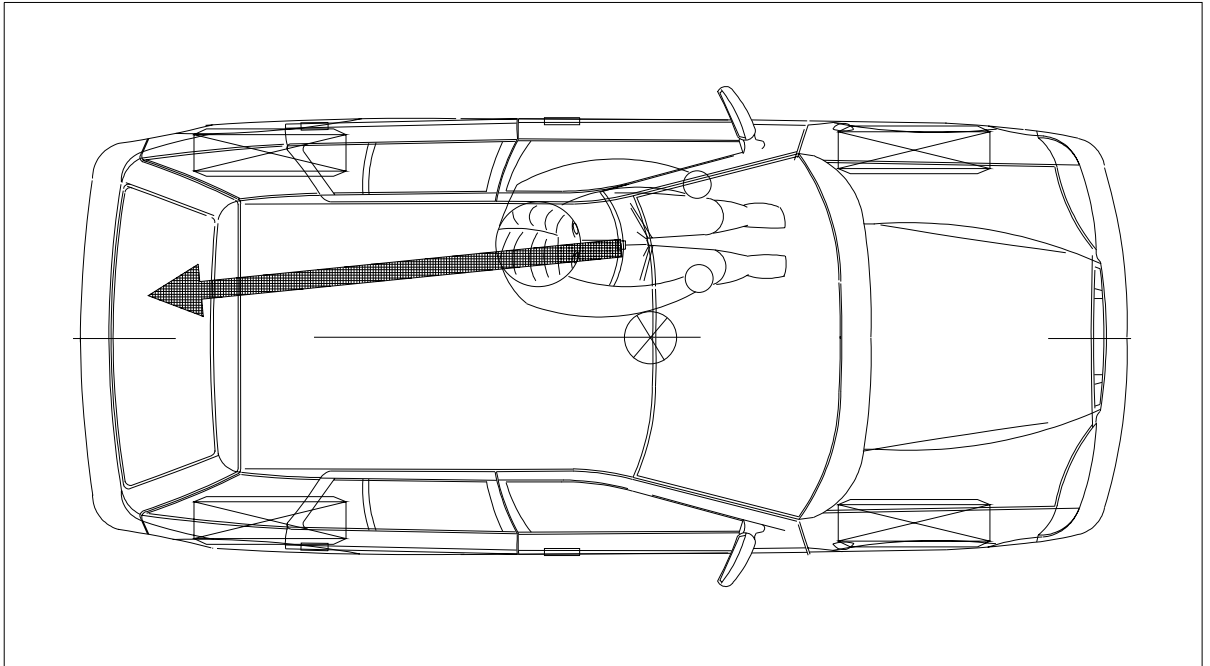
Aus den Berechnungen mit Extremwerten lässt sich für die Kollisionsgeschwindigkeit ein Toleranzbereich von 8.5 - 13.75 km/h und für die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung ein solcher von 5.25 - 9.25 km/h festlegen. Dabei nehmen die Kontrollwerte allerdings teilweise unrealistische Grössen an, so dass die Geschwindigkeitswerte nahe an den Toleranzgrenzen als wenig wahrscheinlich bezeichnet werden müssen.

### 5.2. Kollisionsmechanik bezogen auf Fahrzeug und Insassen

Durch die exzentrische Heckkollision wurde der Subaru nach vorne geschoben und in eine geringfügige, kaum spürbare Rotation im Gegenuhrzeigersinn versetzt, die während der ersten 0,2 Sekunden nach der Kollision eine Drehung des Fahrzeuges um weniger als 1.5 Grad zur Folge hatte. Diese Rotation führte dazu, dass die Belastungswerte an der Sitzposition von Frau X. etwas von den vorgenannten Werten, die sich auf die Fahrzeugschwerpunkte beziehen, abwichen. Mittels speziellem Tool wurden für die Lenkerin im Subaru eine kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung von 6.5 km/h (Toleranzbereich 4.75 - 8.75 km/h) und eine mittlere Beschleunigung während der Kollisionsdauer (ungefähr 0.1 - 0.12 Sekunden) von 11.25 - 24.25 m/s<sup>2</sup> ermittelt.

Durch die Kollision bewegte sich Frau X. relativ zur Fahrzeuginnenachse in einem Winkel von rund 6 Grad nach hinten rechts, in Richtung Sitzlehne und Kopfstütze:

<sup>1)</sup> Für die Berechnungen wurde davon ausgegangen, dass das vordere Fahrzeug im Kollisionszeitpunkt stillgestanden ist. 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 Insassenbelastung (kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung, mittlere Beschleunigung während der Kollisionsdauer) hat dies jedoch keinen Einfluss.



Beim dargestellten Fahrzeug in obiger Skizze handelt es sich um das Nachfolgemodell des verunfallten Subaru Justy (vom richtigen Modell ist keine Zeichnung vom Grundriss verfügbar). In der Computeranalyse wurden dagegen die korrekten Fahrzeugmasse verwendet.

## 6. Schlussbemerkung

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

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

Mit freundlichen Grüßen

Rémy Bosshard  
dipl. Automobil-Ing. HTL

## Anhang

### 1. Detailfotos

#### 1.1. Fahrzeug 1 (Subaru Justy 1.2 4WD)

Stossstange hinten rechts leicht nach vorne gedrückt:



Leichte Deformation im unteren Bereich des Heckblechs:



**1.2. Fahrzeug 2 (Seat Toledo 2.0)**

Leichte Verformungen am Grillträger, evtl. Stossstange leicht nach hinten gedrückt:



Scheinwerfer leicht nach rechts verschoben:



## 2. Computerauswertung

### 2.1. Daten aus der Kollisionsanalyse "Carat 3.0" (Berechnung mit Mittelwerten)

Fahrzeugdaten	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2
Hersteller/Typ	: <b>Subaru Justy 1.2 4WD</b>	<b>Seat Toledo 2.0</b>
Fahrername	: <b>X.</b>	<b>Y.</b>
Kennzeichen	: <b>XX</b>	<b>YY</b>
Länge	: <b>3.70</b> m	<b>4.32</b> m
Breite	: <b>1.54</b> m	<b>1.66</b> m
Radstand	: <b>2.29</b> m	<b>2.47</b> m
Spurweite vorn	: <b>1.31</b> m	<b>1.43</b> m
Spurweite hinten	: <b>1.31</b> m	<b>1.43</b> m
Überhang vorn	: <b>0.72</b> m	<b>0.75</b> m
Schwerpunktrücklage	: <b>0.92</b> m	<b>1.02</b> m
Schwerpunktshöhe	: <b>0.51</b> m	<b>0.54</b> m
Leergewicht	: <b>890.00</b> kg	<b>1080.00</b> kg
Zuladung	: <b>60.00</b> kg	<b>75.00</b> kg
<b>Vor-Kollisions-Phase</b>		
Kollisionsgeschwindigkeit	: <b>0.00</b> km/h	<b>11.10</b> km/h
Kurswinkel	: <b>0.00</b> Grad	<b>5.00</b> Grad
Schwimmwinkel	: <b>0.00</b> Grad	<b>0.00</b> Grad
Giergeschwindigkeit	: <b>0.00</b> Grad/s	<b>0.00</b> Grad/s
Gierwinkel	: 0.00 Grad	5.00 Grad
<b>Kollisionsphase</b>		
Stosskrafthebelarm	: <b>2.02</b> m	<b>1.73</b> m
Richtungswinkel	: <b>-165.40</b> Grad	<b>-10.50</b> Grad
Deformation	: 0.09 m	0.04 m
Masse beim Unfall	: 950.00 kg	1155.00 kg
Trägheitsmoment berechnet	: 1021.50 kgm <sup>2</sup>	1565.00 kgm <sup>2</sup>
Winkel Berührtangente	:	<b>90.00</b> Grad
Reibwert	:	0.13
Stossziffer	:	0.27
<b>Nach-Kollisions-Phase</b>		
Auslaufgeschwindigkeit	: 7.16 km/h	5.22 km/h
Kurswinkel	: 7.40 Grad	2.30 Grad
Giergeschwindigkeit	: 27.00 Grad/s	-26.60 Grad/s
<b>Kontrollwerte</b>		
EES-Berechnung	: 6.31 km/h	3.84 km/h
Geschwindigkeitsänderung	: 7.16 km/h	5.89 km/h
Ind. Giergeschwindigkeit	: 27.00 Grad/s	-26.60 Grad/s
Struktursteifigkeit	: 339.00 kN/m	709.00 kN/m
Mittlere Verzögerung	: 18.00 m/s <sup>2</sup>	14.80 m/s <sup>2</sup>
Kollisionsdauer	:	0.11 s
GEV	:	1.27
Trenngeschw. Bpkt.	:	<b>3.00</b> km/h
Stossantrieb	:	1889.00 Ns

**Die fett gedruckten Werte sind Eingabegrößen!**

## 2.2. Erklärungen zur Berechnungsmethode

Die vorliegende Rekonstruktion erfolgte mittels Rückwärts- und Vorwärtsrechnung.

In einem ersten Schritt wurde die Kollisionsgeschwindigkeit des auffahrenden Fahrzeugs (Seat) mittels EES- und Energiesatzverfahren für einen geraden zentralen Stoss ermittelt, ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Steifigkeiten in den Beschädigungszonen. Diese Berechnungen wurden für Minimal-, Mittel- und Maximalwerte durchgeführt.

In einem zweiten Schritt wurden für die Computeranalyse mittels „Carat 3.0“ der Kollisionswinkel und der Stosspunkt (Punkt der maximalen Kraftübertragung zwischen den beiden Fahrzeugen) aufgrund der Beschädigungen festgelegt. Dann wurde beim auffahrenden Fahrzeug (Seat) die Kollisionsgeschwindigkeit so lange variiert, bis für die Deformationstiefen, die EES-Werte und die Struktursteifigkeiten unter Berücksichtigung verschiedener Kontrollwerte (Stossziffer, Kollisionsdauer, GEV und Trenngeschwindigkeit der Berührungspunkte) realistische Werte resultierten. Die Resultate aus den Berechnungen mit dem EES- und Energiesatzverfahren dienten als weitere Kontrollmöglichkeit.

Auch die Berechnungen mit „Carat 3.0“ wurden für Minimalwerte, Maximalwerte und Mittelwerte durchgeführt, um erste Toleranzbereiche zu erhalten, die dann noch etwas ausgeweitet wurden, um Unsicherheiten unter anderem in bezug auf den genauen Beladungszustand der Fahrzeuge und den Einfluss allfälliger Bremsverzögerungen während der Kollisionsphase mit zu berücksichtigen. Allerdings führt die Berechnung mit den so erhaltenen Extremwerten zu teilweise unrealistischen Resultaten bei den Kontrollgrössen, woraus zu schliessen ist, dass Werte nahe an den Toleranzgrenzen wenig wahrscheinlich sind.

Da sich die ermittelten Werte auf die Fahrzeugschwerpunkte beziehen und bei exzentrischen Stössen bzw. Kollisionen mit Rotationsbewegungen erheblich von den Belastungswerten an einer bestimmten Sitzposition abweichen können, wurden in einem letzten Schritt mittels speziellem Tool die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung, die mittlere Beschleunigung, die Änderung der Drehgeschwindigkeit und die resultierende Bewegungsrichtung für die Sitzposition von Frau X. (Lenkerin im Subaru Justy 1.2 4WD) ermittelt. Wiederum wurden die Berechnungen für Minimal-, Maximal- und Mittelwerte durchgeführt.

## 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 der 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 in der Regel 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:	Kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung (Delta-V).
Struktursteifigkeit:	Steifigkeit oder Strukturhärte in der Beschädigungszone (Mittelwert).
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:	Rechnerisch ermittelte Stossdauer. Da es sich hierbei um eine Näherung handelt, ist dieser Wert mit Vorsicht zu geniessen.
GEV:	Verhältnis der Geschwindigkeitsänderungen zu den EES-Werten.
Trenngeschw. Bpkt.:	Geschwindigkeitsdifferenz der Berührungspunkte nach der Kollision in Richtung der Berührnormalen (Senkrechte auf die Berührtangente). Dieser Wert ist von der Art des Stosses abhängig.
Stossantrieb:	Zeitliches Integral der Stosskraft über der Kontaktdauer.