

Unfallrekonstruktion

Technisch-biomechanische Analyse der unfallbedingten Insassenbelastung

von Dipl.-Ing. Stefan Meyer, Lübeck/Schwerin*

Die forensische Praxis zeigt, dass zunehmend technisch-biomechanische Aspekte in der Verkehrsunfallrekonstruktion zu erläutern sind. Hierbei besteht die Aufgabe des Unfallanalytikers darin einen anschaulichen Weg zu finden, um von dem Karoserieschaden zu einer Insassenbewegung und einer Bewertung der Insassenbelastung zu gelangen. In diesem Artikel erfolgt zunächst eine Einordnung der technisch-biomechanischen Unfallanalyse in die Teilphasen des Unfallablaufs. Nach einer Einführung wesentlicher technischer Kollisionsparameter zur Beschreibung der Insassenbelastung werden Analysemethoden anhand von Beispielen erläutert.

I. Unfallablauf

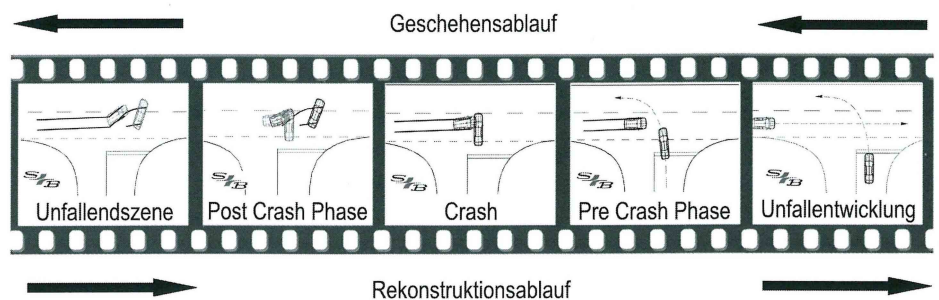


Abb. 1: Einzelphasen des Verkehrsunfalls

* Der Autor ist von der IHK zu Lübeck öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle, Ingenieurbüro Schal und Meyer, Schimmelpfennig+Becke Lübeck/Schwerin GmbH.

Im Rahmen der klassischen Unfallrekonstruktion wird der Film vom tatsächlichen Geschehensablauf gleichsam vom Ende zum Anfang „zurückgespult“. In der Filmsequenz der Abb. 1 werden die Phasen der Unfallrekonstruktion von links nach rechts beschrieben. Ausgehend von der Unfallendsituation wird zunächst die Bewegung der Unfallfahrzeuge zwischen den Endstellungen und der Kollision untersucht (Post Crash Phase). Erst im Anschluss daran findet die eigentliche Kollisionsanalyse auf der Grundlage der Erhaltungssätze der Mechanik statt (Crash). Darauf aufbauend werden die Spuren vor der eigentlichen Kollision analysiert (Pre Crash Phase). Hier wird bspw. anhand der Bremspurlänge von der Kollisions- auf die Annäherungsgeschwindigkeit zurückgerechnet. Zum Abschluss der Rekonstruktion werden im Rahmen einer Weg-Zeit-Analyse die Unfallentwicklung untersucht und das Reaktionsverhalten der Beteiligten diskutiert.

Die technisch-biomechanische Unfallanalyse basiert im Wesentlichen auf den Erkenntnissen der Kollisionsanalyse und den nachkollisionären Bewegungen; die Crash- und die Post-Crash-Phase.

Rekonstruktion bedeutet, den Unfallfilm rückwärts zu drehen

Crash-Phase ist biomechanisch relevant

II. Kollisionsparameter

Unabhängig von der Unfallart und der Unfallschwere gilt in der Fachliteratur und aufgrund der Erfahrung aus einer Vielzahl eigener experimenteller Untersuchungen, die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung Δv als der aussagekräftigste technische Kollisionsparameter zur Beschreibung der biomechanischen Insassenbelastung.

Insassenbelastung steigt mit Δv

Die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung beschreibt den Geschwindigkeitszuwachs (Heckanprall) bzw. den Geschwindigkeitsverlust (Frontanstoß) eines angestoßenen Fahrzeugs durch die Kollision. Die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung ist als Differenz der Geschwindigkeit **eines** Fahrzeugs unmittelbar **vor** und unmittelbar **nach** der Kollision definiert. Sie darf jedoch vom technischen Laien nicht mit der Differenz- oder Relativgeschwindigkeit **zweier** Fahrzeuge unmittelbar **vor** der Kollision verwechselt werden.

Zur Veranschaulichung zeigt die Abb. 2 folgendes Beispiel:

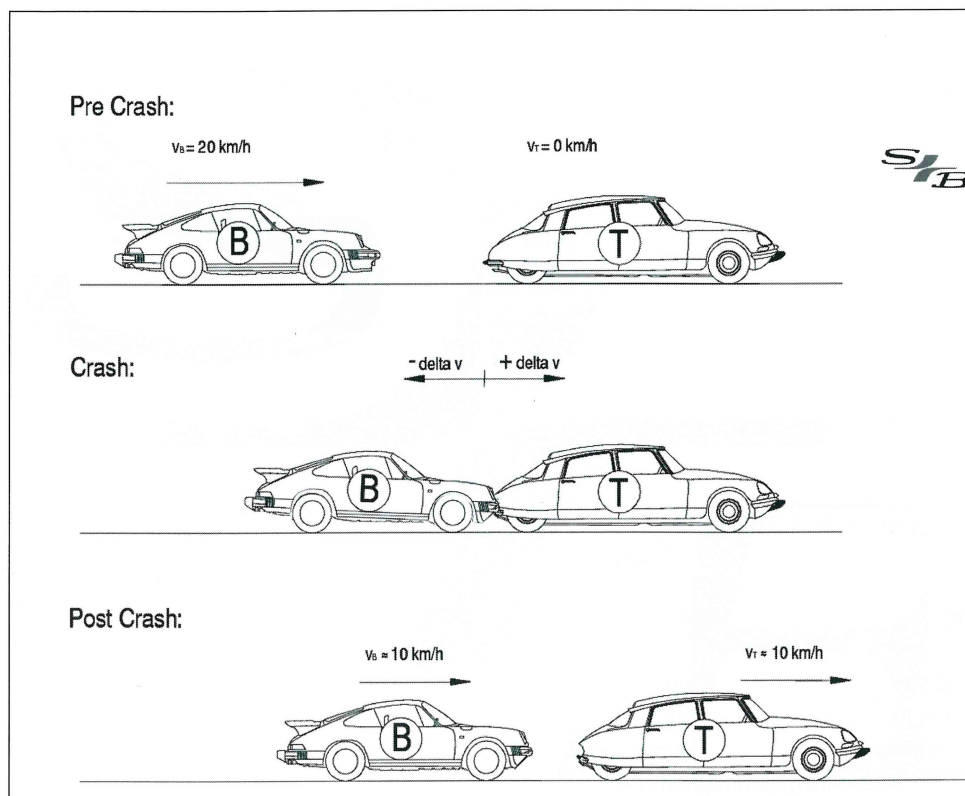


Abb. 2: Kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung Δv

Der Pkw T hält. Der nachfolgende Fahrer des Pkw B erkennt dies zu spät und fährt trotz eingeleiteter Bremsung noch mit einer Kollisionsgeschwindigkeit v_B (Geschwindigkeit **eines** Pkw zum Kollisionszeitpunkt) auf das Heck des davor stehenden und massengleichen Pkw T ($v_T = 0 \text{ km/h}$) auf. Die Kollisionsgeschwindigkeit beträgt 20 km/h . Durch den Heckanstoß wird der zuvor stehende Pkw T

kollisionsbedingt aus dem Stillstand heraus auf ein Δv von gut 10 km/h beschleunigt. Der auf-fahrende Pkw wird seinerseits um einen identischen Geschwindigkeitsbetrag verlangsamt. Er ist nach der Kollision gut 10 km/h langsamer als vor der Kollision. Er bewegt sich also mit knapp 10 km/h weiter. Somit ist vereinfacht bei etwa massegleichen Fahrzeugen das Δv während des Crashes halb so hoch wie die Relativgeschwindigkeit vor der Kollision.

Praxistipp:

Bei gleich schweren Kollisionspartnern ist Δv etwa halb so groß wie die Relativgeschwindigkeit.

Achtung! Auch die Richtung des Δv beachten

Die biomechanische Insassenbelastung steigt mit Zunahme des Δv an. Neben dem Betrag der Geschwindigkeitsänderung ist jedoch auch die Richtung von Bedeutung. Dies gilt insbesondere bei höheren Belastungen im Hinblick auf mögliche Interaktionen zwischen der Fahrgastzelle und dem Insassen.

III. Methode

Neue Arbeitsmethode

Zur Ermittlung der Geschwindigkeitsänderung ist eine Kollisionsanalyse notwendig. In vielen technischen Gutachten wird dieses Kapitel von umfangreichen Formel- und Berechnungsblättern geprägt. Heute ist es jedoch erforderlich, die Parameter fundiert und in engen Bandbreiten zu ermitteln sowie den Lösungsansatz und die Ergebnisse anschaulich darzustellen. Mittels des visuellen Vergleichs der tatsächlich verunfallten Fahrzeuge mit den im Versuch gecrashten Fahrzeugen ist es problemlos möglich, eine schnelle und argumentativ nachvollziehbare Einschätzung des Unfallgeschehens zu vermitteln. Derartige Crashversuche sind für jedermann bspw. über das Internetportal www.crashtest-service.com abrufbar.

Praxistipp:

Vergleichsbilder aus Crashtests sind im Internet abrufbar.

Unfall



$\Delta v = ?$

Crashtest



$\Delta v = 14 \text{ km/h}$

Abb. 3: Vergleich Unfallschaden und Crashtest

Der visuelle Vergleich ist problemlos vom technischen Laien nachvollziehbar

Abb. 3 zeigt die Anwendung eines Vergleichsbildes. Links ist der Heckschaden eines Pkw aus einem realen Auffahrunfall abgebildet. Zur Beurteilung der biomechanischen Insassenbelastung war hier die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung des heckseitig angestoßenen Pkw von Interesse. Das Vergleichsbild mit einem typgleichen Fahrzeug zeigt etwas intensivere Beschädigungen. Dies ist insbesondere an der Einformung des Heckstoßfängers und der Stauchfalte unmittelbar hinter dem rechten Radlauf zu erkennen. Auf der Grundlage eines Vergleichsbildes aus einem Crashtest mit einem typgleichen Fahrzeug konnte hier das Δv auf etwas weniger als 14 km/h eingegrenzt werden. Insofern gelingt durch einen anschaulichen – und auch für den technischen Laien problemlos nachvollziehbaren – direkten Vergleich eine Einstufung der biomechanischen Insassenbelastung.



Abb. 4: Crashtest Ergebnisse

Weitere Testergebnisse sind in der Abb. 4 dokumentiert. Der abgebildete Frontschaden lässt sich durch Angabe einer kollisionsbedingten Geschwindigkeitsänderung i.S.e. Geschwindigkeitsabnahme von 9,9 km/h beschreiben. Auch für seitlich angestoßene Fahrzeuge sind Geschwindigkeits- bzw. Belastungsangaben möglich. Der linksseitig belastete Ford war einem delta v, von links nach rechts einwirkend, von etwa 10 km/h ausgesetzt. Der Heckschaden des Opel Omega zeigt, dass er kollisionsbedingt um einen Geschwindigkeitsbetrag von 11,5 km/h beschleunigt wurde.

Achtung! Unbedingt Anstoßrichtung beachten

IV. Insassenbewegung

Im nächsten Abschnitt der technisch-biomechanischen Unfallanalyse ist die Relativbewegung der Insassen innerhalb der Fahrgastzelle zu beschreiben. Ihre Bewegung ist aufgrund des physikalischen Prinzips der Massenträgheit der einwirkenden Geschwindigkeitsänderung entgegengesetzt und ihr Betrag von der Intensität des Anstoßes abhängig. Eine anschauliche Beschreibung gelingt durch die Dokumentation von Freiwilligen-Tests. Eine Auswahl unter dem Aspekt der HWS-Problematik zeigt Abb. 5.

Insassen bewegen sich oft in Richtung der Anstoßzone

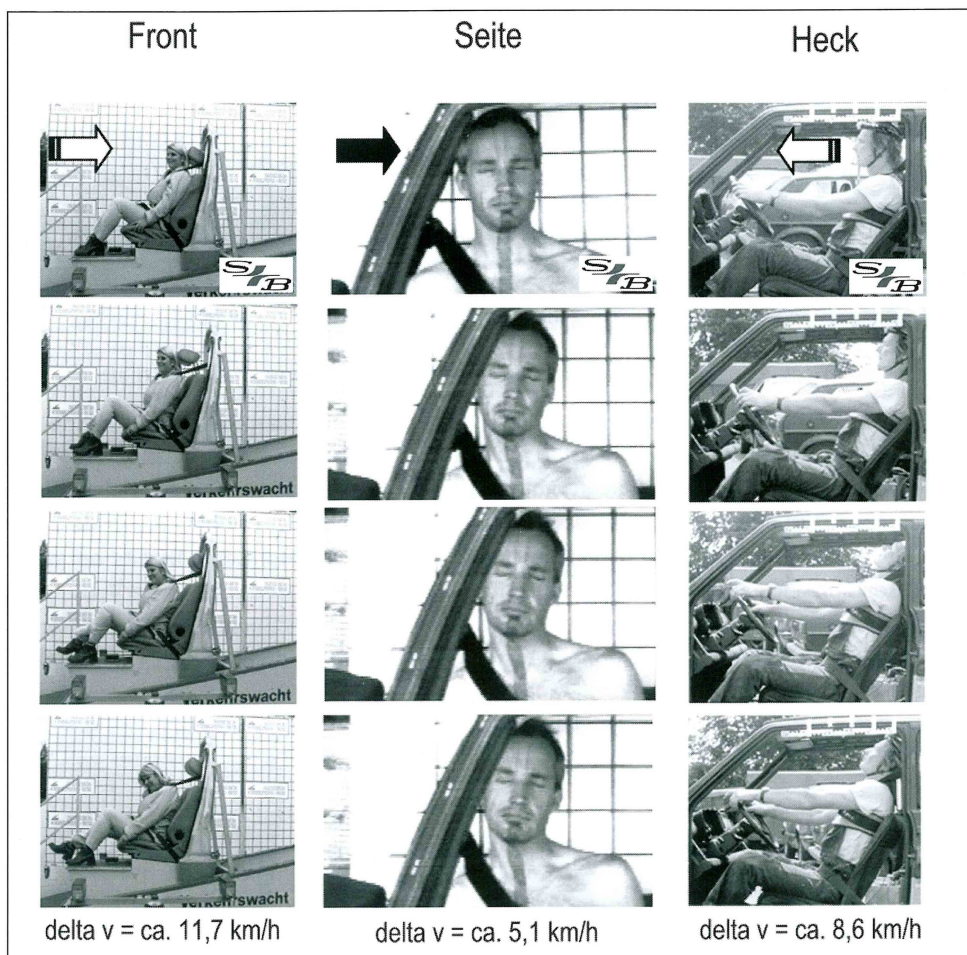


Abb. 5: Insassenbewegungen

Frontalkollision

Die Bildsequenz einer Freiwilligen im Gurtschlitten bei einer Frontalbelastung, lässt sich dem Frontschaden des Opels der Abb. 4 zuordnen. Die Insassenbelastung der Gurtschlittenbenutzerin entspricht dabei einer Geschwindigkeitsabnahme von 11,7 km/h.

Praxistipp:

Die biomechanische Beschleunigungseinwirkung während dieser „Gurtschlittenfahrt“ liegt um ein Vielfaches oberhalb derjenigen während einer Vollbremsung. Daher werden Vollbremsungen von angegurteten Fahrzeuginsassen problemlos ohne Verletzungsfolgen – auch der Halswirbelsäule – toleriert.

Sitzposition bei Seitkollisionen ist zu beachten

In der mittleren Bildsequenz ist ein männlicher Freiwilliger auf dem Beifahrersitz eines an der rechten Karoserieseite angestoßenen Fahrgastzelle abgebildet. Aufgrund der stoßnahen Sitzposition ist dieser Insasse einem höheren Verletzungsrisiko ausgesetzt als ein stoßferner Insasse bei gleicher Anstoßrichtung und gleicher Anstoßintensität. Hier erkennt man auf der stoßzugewandten Sitzposition bereits bei geringer Geschwindigkeitsänderung einen Anstoßmechanismus zwischen Kopf- und Seitenscheibe.

HWS-Belastung

Der Vollständigkeit halber ist im rechten Teil der Abb. 5 die Bildsequenz der Insassenbewegung infolge eines Heckanstoßes dokumentiert. Besonders deutlich ist die Überstreckung der Halswirbelsäule im Rahmen einer Extensionsbewegung. Diese resultiert im Versuchsbeispiel – trotz einer Geschwindigkeitsänderung von nur 8,6 km/h – aus der ungünstigen Sitzergonomie in einem Fiat Panda älteren Baujahrs.

V. Sicherheitsgurt

Interdisziplinäre Begutachtung

Seit Einführung der Gurtpflicht in den 70er Jahren werden häufig technisch-biomechanische Gutachten zur Frage eingeholt, ob ein Insasse beim Unfall angeschnallt war. Im Rahmen einer interdisziplinären (technisch-medizinisch) Begutachtung gelangen hier auch Aussagen hinsichtlich der Verletzungsminderung oder der Verletzungsvermeidung für den Fall einer ordnungsgemäßen Gurtbenutzung.



delta v = 11,1 km/h

Abb. 6: „Gurtmuffel“ beim Frontanstoß

Gurt schützt bereits bei Bagatellkollision

Von sog. „Gurtmuffeln“ wird häufig vorgetragen, dass sie in der Lage seien eine innerstädtische Kollision ohne Gurt abzustützen. Die Abb. 6 zeigt ein Versuchsbeispiel. Der hier abgebildete Freiwillige fuhr mit lediglich 10 km/h unangeschnallt gegen eine Betonwand. Bereits bei dieser Bagatellkollision sind deutliche Abstützkräfte erforderlich. Insbesondere ist dies an der Verformung des Lenkradkranzes zu erkennen. Die Versuchspraxis hat gezeigt, dass hier bereits die Grenze der Abstützbarkeit erreicht wird. Etwas höhere Anstoßintensitäten führen unweigerlich zu Verletzungen bei nicht angegurteten Insassen.



delta v = 22,5 km/h

Abb. 7: Schutzfunktion des Sicherheitsgurtes

Abb. 7 verdeutlicht, dass der Sicherheitsgurt auch bei einer Geschwindigkeitsänderung von 22,5 km/h seine optimale Schutzfunktion erfüllt. Gleichzeitig wird durch die Bruchspinne im oberen Drittel der Beifahrersitzposition eindrucksvoll dokumentiert, dass der Beifahrer-Dummy im Versuch nicht angeschnallt war. Er durchstieß mit seinem Stirnbereich die Frontscheibe des Pkw. Demgegenüber wurde der angegurtete Fahrer vor einem Kontakt mit dem Lenkrad bewahrt.

**Bruchspinne mit Gurt
unmöglich**

Die eindeutigsten Indizien für eine Gurtbenutzung während des Unfalls sind die am Gurtband und den Umlenkpunkten hinterlassenen Belastungsspuren. Diese lassen sich nur durch eine aussagekräftige Fotodokumentation oder einen Ausbau der Sicherheitsgurte beweiskräftig sichern.

Praxistipp:

Belastungsspuren am Gurt als Beleg für die Gurtbenutzung zeitnah beweiskräftig sichern.

VI. Analysematerial

ANALYSE MATERIAL			
Fotos	→	Fahrzeuge (außen, innen), Unfallszene, Sitzposition	
Skizze	→	Polizei oder Beteiligte	
Fzg.-Daten	→	Kfz-Schein-Kopie, Beladungszustand	
Personendaten	→	Gewicht, Größe, Körperhaltung, Bewegungs-/ Anstoßbeschreibung	

In der obigen Abbildung sind abschließend die für eine technisch-biomechanische Unfallanalyse notwendigen Anknüpfungspunkte aufgelistet. Es wurde bereits anschaulich deutlich, dass Fotografien von den Unfallschäden die essenzielle Grundlage für eine Rekonstruktion des Unfallgeschehens sind. Hier ist darauf hinzuweisen, dass Fotos von der Unfallendsituation nur am Unfallort und unmittelbar nach dem Unfallgeschehen angefertigt werden können.

Alle übrigen Daten lassen sich auch retrospektiv von den Unfallbeteiligten oder deren Beauftragten sichern. Auch für die technisch-biomechanische Unfallanalyse gilt der Grundsatz: Je umfangreicher und aussagekräftiger das Material, desto effizienter und genauer ist die Lösung zu erarbeiten.

Praxistipp:

Fotos der Unfallszene und den Fahrzeugschäden anfertigen. Sie sind auch für die technisch-biomechanische Analyse die wichtigsten Anknüpfungspunkte.