

Michael Weber*

Pkw-Serienkollisionen

Der nachstehende Aufsatz ist ein für die Fachzeitschrift »Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik« modifizierter Auszug aus Kapitel 4.7 und Kapitel 4.11 des Fachbuches »Die Aufklärung des Versicherungsbetruges durch Kompatibilitätsanalyse und Plausibilitätsprüfung«, das im Juni 95 in der Schriftenreihe des Ingenieurbüros Schimmelpfennig und Becke erschienen ist.

1 Aufgeschoben oder aufgefahren?

Bei der praktischen Bearbeitung von Verkehrsunfällen ist man häufig mit Fragestellungen konfrontiert, die Anstoßvorgänge mit drei oder sogar noch mehr Fahrzeugen betreffen. Die häufigste Fragestellung ist dabei, ob das mittlere Fahrzeug aufgeschoben wurde oder der Fahrer zunächst selbst aufgefahren ist. Aber auch bei Versicherungsbetrügereien ist dieser Unfalltypus durchaus beliebt, da durch eine einzige Heckkollision das mittlere Fahrzeug vorne und hinten und das vordere Fahrzeug hinten beschädigt werden können. Hier stellt sich dann vor allem die Kompatibilitätsfrage.

Da nicht alle Anstöße in etwa längsachsenparallel zwischen Front- und Heck stattfinden, ist zunächst eine Begriffsdefinition erforderlich: Nur diejenigen Serienkollisionen, bei denen die einzelnen Anstöße immer Front auf Heck erfolgen, werden im folgenden als »Ketten-Auffahrunfälle« bezeichnet und alle anderen als »Serienkollisionen«. Die Ketten-Auffahrkollision ist zwar der Regelfall der Serienkollision, jedoch nicht der einzig denkbare, wie der Versuch im Abschnitt 3 der Veröffentlichung zeigen wird.

Um die genaue Anstoßpositionen zu bestimmen, kann in einem ersten Analyseschritt eine Kompatibilitätsanalyse durchgeführt werden. Zu beachten ist allerdings, daß nunmehr mehrfache Anstöße auftreten können. Geht man beispielsweise davon aus, daß zwei Fahrzeuge vor der Kollision stehen und von dem hinteren aufgeschoben werden, dann besitzen nach der Erstkollision die beiden hinteren Fahrzeuge etwa die gleiche Geschwindigkeit. Wenn jetzt der Mittlere durch einen Anprall gegen ein weiteres Fahrzeug abgestoppt wird, verliert er plötzlich an Geschwindigkeit und das nachfolgende, bereits verunfallte Fahrzeug wird bei gewissen Randbedingungen ein zweites Mal auffahren. Nähere Ausführungen hierzu werden bei der Vorstellung der Fahrversuche vorgebracht und wurden auch bereits in [1] veröffentlicht.

Prinzipiell sind bei einer Serienkollision zwischen drei Fahrzeugen verschiedene Ablaufmöglichkeiten denkbar. Sie sind auf den ■ Tafeln A (1/3) bis A (3/3) mit Fall I bis Fall III gekennzeichnet.

Fallkonstellation I:

Geht man davon aus, daß Fahrzeug 03 und Fahrzeug 02 in einem geringen Abstand hintereinander stehen und dann Fahrzeug 01 heckseitig auffährt, dann muß die Schadenintensität der ersten Kollision größer sein als die Schadenintensität der zweiten Kollision. Haben die Fahrzeuge 01 und 02 die gleiche Masse, so bewegen sich die Fahrzeuge nach einem plastischen Stoß mit der halben Aufprallgeschwindigkeit (vorausgesetzt, Fahrzeug 02 steht vor der Kollision). Beide Fahrzeuge bewegen sich also anschließend gemeinsam in Richtung des stehenden Fahrzeugs 03. Wenn sie sich während dieses Auslaufvorgangs nicht voneinander trennen, nehmen also die Massen beider Fahrzeuge bei der nachfolgenden zweiten Kollision an dem Stoß teil. Unter diesen

Bedingungen liegt das Verhältnis der Schadenintensität bei 1,73 (Quadratwurzel aus 3). Dieses Verhältnis bezieht sich auf die Schadenintensität der Erstkollision im Verhältnis zu der Intensität bei der Zweitkollision. Bei größeren Abständen zwischen Fahrzeug 02 und Fahrzeug 03 und starker Abbremsung von Fahrzeug 01 ist es auch vorstellbar, daß nur das mittlere Fahrzeug gegen das davorstehende prallt. Bei gleichen Massen und einem plastischen Stoß ergibt sich hierbei, daß dann das Verhältnis der Schadenintensitäten genau bei 2 liegt. Bei diesen idealisierten Bedingungen muß also die Schadenintensität der Zweitkollision genau halb so groß sein, wie die bei der Erstkollision. Auf Tafel A (1/3) ist ferner noch gezeigt, welche Verhältnisse sich bei teilelastischen Kollisionen mit einer Trennungsgeschwindigkeit von 5 km/h einstellen. Hier besteht nun erstmals ein Geschwindigkeitseinfluß auf das Verhältnis der Schadenintensitäten. Bei geringen Kollisionsgeschwindigkeiten kann das Verhältnis auf 1,6 absinken, bei höheren Kollisionsgeschwindigkeiten liegt es im Bereich von 1,8 bis 1,9.

Für die praktische Bearbeitung sind die exakten Werte des Verhältnisses nur in besonderen Fällen von Interesse. Geprüft werden muß bei der Fallkonstellation I insbesondere, ob die Schadenintensitäten von hinten nach vorne kaskadenförmig abnehmen oder nicht. Dabei sind selbstverständlich die Steifigkeiten der Fahrzeuge angemessen zu berücksichtigen. Liegen die gleichen Steifigkeitskennwerte für den Heckbereich des mittleren und des vorderen Fahrzeugs vor, dann muß das Heck des vorderen Fahrzeugs deutlich weniger eingedrückt sein als das des mittleren. Das Gleiche gilt für die Front des zuerst kollidierenden Pkw 01 und für die Front des aufgeschobenen Pkw 02.

Fallkonstellation II

Wenig bekannt ist selbst in Fachkreisen, daß diese Zusammenhänge nicht mehr gelten, wenn das mittlere Fahrzeug bei der ersten Kollision noch in Bewegung ist. Dann erfolgt nämlich mit wachsender Absolutgeschwindigkeit ein größerer Energieübertrag durch die Kollision. Die Geschwindigkeitsänderung ist zwar die gleiche wie bei einem stehenden mittleren Fahrzeug. Da jedoch bei der Berechnung der kinetischen Energie die Geschwindigkeit quadratisch eingeht, findet gerade bei hohen Geschwindigkeiten ein viel größerer Energieübertrag statt.

Dieser größere Energieübertrag verstärkt den Aufschiebeeffect erheblich. Hier kann deshalb nicht mehr mit der Intensitätskaskade gearbeitet werden. Die auf die Erstkollision zurückzuführende Aufprallgeschwindigkeit bei der Zweitkollision ist nunmehr auch vom Kollisionsgeschwindigkeitsniveau beim ersten Auffahren abhängig. Um die grundsätzlichen Zusammenhänge zu verdeutlichen, zeigt ■ Tafel A (2/3), wie sich das Kollisionsgeschwindigkeitsniveau bei der ersten Kollision auf die weitere Unfallentwicklung auswirkt. Dabei wird unterstellt, daß das mittlere Fahrzeug ohne die Heckkollision direkt vor dem davorstehenden Fahrzeug zum Stillstand gekommen wäre. Bei dieser Grenzbetrachtung wird zunächst einmal auf die Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes verzichtet. Die Geschwindigkeit des mittleren Fahrzeugs nach der Kollision kann bei einem plastischen Stoß mit gleichen Massen leicht bestimmt werden. Sie liegt bei der Geschwindigkeit vor der Kollision zuzüglich der halben Differenzgeschwindigkeit bei dieser Kollision. Führt beispielsweise das mittlere Fahrzeug mit 70 km/h und das hintere prallt mit 120 km/h auf, so beträgt die Differenzgeschwindigkeit 50 km/h. Hiervon wird die Hälfte zu der Fahrgeschwindigkeit des Mittleren addiert. Aus der Kollision geht das mittlere Fahrzeug also mit rund 95 km/h. Es kann nun überlegt werden, welchen Bremsweg das mittlere Fahrzeug ohne die Heckkollision benötigt hätte. Bei einer Geschwindigkeit von 70 km/h beträgt dieser Bremsweg bei einer Verzögerung von $7,5 \text{ m/s}^2$ rund 25 m. Durch die Heckkollision ist das Fahrzeug aber nunmehr schneller. Bei den gewählten Beispielszahlen beträgt die zusätzliche Geschwindigkeit 25 km/h. Damit kann auch ausgerechnet werden, welche Geschwindigkeit bei der gleichen Abbremsung des Fahrzeugs mit voll durchgedrückter Bremse nach der zuvor berechneten Bremsstrecke von etwa 25 m vorliegt. Man gelangt zu einem verblüffenden Ergebnis, wieviel Restgeschwindigkeit nach der Bremsstrecke, die normalerweise zum Stillstand geführt hätte, noch vorliegt: diese Restgeschwindigkeit beträgt immerhin 64 km/h.

In der Grafik Tafel A (2/3) sind diese Zusammenhänge für durchaus übliche Differenzgeschwindigkeiten von 10, 30 und 50 km/h dargelegt. Geht man beispielsweise von einer Geschwindigkeit des Mittleren von 40 km/h und einer Aufprallgeschwindigkeit des Hinteren von 50 km/h

*Dipl.-Ing. Michael Weber, c/o Ing.-Büro Schimmelpfennig + Becke, Münsterstr. 101, 48076 Münster-Wolbeck

aus (Differenzgeschwindigkeit = 10 km/h), liegt die Restgeschwindigkeit bei der Zweitkollision des mittleren Fahrzeugs bei 20 km/h. Grundlage dieser Berechnung ist eine Verzögerung von $7,5 \text{ m/s}^2$.

Auf **Tafel A (3/3)** oben ist hierzu noch ein praktisches Beispiel vorgestellt. Ohne Kollision wäre das mittlere Fahrzeug etwa 1 m hinter dem vorderen zum Stillstand gekommen. Während des Bremsvorgangs ereignet sich aber bei einer momentanen Geschwindigkeit von 30 km/h eine Heckkollision am Mittleren, bei der der Nachfolgende mit 50 km/h aufprallt. Hierdurch wird der Mittlere auf 40 km/h beschleunigt, erfährt also einen Geschwindigkeitszuwachs von 10 km/h. Bei der Zweitkollision beträgt nun die Aufprallgeschwindigkeit trotz der mit gleicher Intensität durchgeführten Vollbremsung rund 23 km/h, obwohl das Fahrzeug ansonsten noch 1 m Sicherheitsabstand hätte einhalten können.

Fallkonstellation III:

Die dritte Möglichkeit ist, daß es sich um zwei voneinander unabhängige Einzelkollisionen handelt. Demzufolge fährt zunächst das mittlere Fahrzeug auf das erste und anschließend dann das hintere auf das mittlere. Bei dieser Fallkonstellation sind natürlich beliebige Geschwindigkeitskombinationen denkbar, da keine physikalisch begründete Kausalität zwischen den Einzelkollisionen besteht. Hier wird aber deutlich, welche Schwierigkeiten vorhanden sind, diese Einzelkollisionen von Fall II zu unterscheiden. Eine Betrachtung der Intensitätskaskade ist nur möglich, wenn der mittlere Fahrzeugführer behauptet, daß er gestanden hat. Viel günstiger wäre für ihn zu behaupten, er habe sich noch in Bewegung befunden, als die Heckkollision erfolgte, wäre jedoch ohne die Heckkollision problemlos zum Stillstand gekommen. Unter diesen Bedingungen ist es je nach Geschwindigkeitskombination nicht mehr möglich, Fall II und Fall III allein bei Betrachtung der Beschädigung zu unterscheiden.

Normalerweise ist es allerdings möglich, bei genauer Kenntnis der gesamten Unfallzene zu unterscheiden, in welchem Geschwindigkeitsniveau sich die Kollision auf das mittlere Fahrzeug ereignet hat. Dies setzt voraus, daß entsprechende Ermittlungen an der Unfallstelle durchgeführt werden. In den meisten Fällen genügt es, wenn Fotos der Unfallzene zur Verfügung stehen. Anhand der Lage der Glassplitter läßt sich z.B. ein Rückschluß auf die tatsächliche Lage des Kollisionsorts ziehen.

Noch genauere Aussagen lassen sich treffen, wenn Spurnestigkeiten, Blockier- und Schleuderspuren vorhanden sind und festgehalten werden. Diese Spuren ermöglichen dann eine genaue Festlegung des Kollisionsorts in bezug auf die Fahrzeugendstellungen.

Oftmals wird fälschlicherweise davon ausgegangen, daß das Verspüren zweier Anstöße in dem vorderen Fahrzeug ein Indiz für die eine oder andere Unfallversion ist. Hierzu ist aber zu sagen, daß in allen drei Fallkonstellationen ein zweimaliger Anstoß im vorderen Fahrzeug vorstellbar ist. Bei der Aufschiebeverson Fall I ist der zweite Anstoß allerdings nur noch als sehr gering einzustufen. Er wird dadurch hervorgerufen, daß nach dem Erstanprall des mittleren auf das vordere Fahrzeug nochmals ein zweiter Anstoß am Heck des mittleren stattfinden kann und dann insbesondere bei einer Abbremsung des vorderen ein Sekundärstoß möglich ist. Bei der Version III mit zwei unabhängigen Kollisionen ist dies leichter vorstellbar. Dabei erfolgt zunächst der Anstoß des mittleren an das vordere und danach dann – entsprechend hohe Anstoßintensität vorausgesetzt – der Anstoß des hinteren auf das mittlere, wodurch das mittlere nochmals auf das vordere aufgeschoben wird.

Zusammengefaßt läßt sich also bei der theoretischen Betrachtung der Ketten-Auffahrkollision sagen, daß nur bei stehenden Fahrzeugen, die heckseitig aufgeschoben werden, eindeutige Verhältnisse vorliegen. Bei Rechtsstreitigkeiten nach normalen Verkehrsunfällen ist hiervon in den meisten Fällen auszugehen, da der Mittlere eine eindeutige Ausgangssituation schaffen will, die eine Anwendung des Anscheinsbeweises erlaubt. Deshalb trägt er – häufig sogar wider besseren Wissens – vor, gestanden zu haben. Dies wirkt sich aber, wie oben gezeigt, nicht etwa positiv, sondern eher negativ für ihn aus. Ein Aufschieben läßt sich nämlich bei einem noch in Bewegung befindlichen und bremsenden Fahrzeug viel leichter erklären als bei einem stehenden.

In der Praxis der Betrugsaufklärung ist in den meisten Fällen von stehenden Fahrzeugen auszugehen, da gerade bei manipulierten Verkehrsunfällen die Beteiligten bemüht sind, eine klare Ausgangssituation zu

schaffen. Dies gelingt am einfachsten, wenn Fahrzeuge im Stand getroffen werden. Unter diesen Bedingungen stellt sich die Haftungsfrage dem Grunde nach überhaupt nicht.

2 Versuche zur Kettenauffahrkollision

2.1 Auswirkungen unterschiedlicher Steifigkeiten

In diesem Abschnitt werden zwei hier durchgeführte Unfallversuche vorgestellt, die die theoretischen Überlegungen hinsichtlich der Intensitätskaskade veranschaulichen. Die vier ■ Tafeln B zeigen einen Unfallversuch, bei dem ein Mercedes Typ 123 mit einer Geschwindigkeit von 53 km/h auf einen stehenden Ford Capri prallt. Dieser Capri ist abgebremst und prallt dann nach einer längeren Auslaufstrecke von etwa einer Fahrzeuglänge gegen das Heck eines ebenfalls stehenden VW Derby. Die Geschwindigkeit bei dieser Zweitkollision wird mittels einer zweiten Lichtschranke gemessen. Sie liegt noch bei 32 km/h.

Da bei einem frei rollenden Fahrzeug nur eine geringe Rollverzögerung wirkt, können aus diesen Meßergebnissen zunächst die theoretischen Erläuterungen zur Anwendung des Impulssatzes praktisch geprüft werden. Bei der plastischen Anwendung des Impulssatzes unter Vernachlässigung der Massenunterschiede ergäbe sich rechnerisch eine Auslaufgeschwindigkeit des Capri von 26,5 km/h. Dieser Wert reicht für eine überschlägige Betrachtung aus. Der bei dem Versuch auftretende Unterschied ist dadurch zu erklären, daß das Versuchsgewicht mit 1.100 kg um 200 kg niedriger liegt als das Versuchsgewicht des auffahrenden Mercedes. Dies führt bei der ideal plastischen Anwendung des Impulssatzes bei Einbeziehung der tatsächlichen Massen zu folgendem Ergebnis:

$$v' = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_1 = \frac{1.300}{1.300 + 1.100} \cdot 53 \text{ km/h} = 29 \text{ km/h}$$

Der restliche Unterschied in der Größenordnung von 3 bis 4 km/h ist darauf zurückzuführen, daß die Kollision nicht ideal plastisch gewesen ist. In vielen Fällen stellt sich eine Trennungsgeschwindigkeit ein, die in einem Bereich von 3 bis 8 km/h liegt.

Auf **Tafel B (2/4)** ist der Kollisionsablauf in vier Phasen unterteilt. Nach der bereits besprochenen Zweitkollision befinden sich alle drei Fahrzeuge in Bewegung. Der Derby und der Capri fahren mit etwa 12 km/h weiter, während der Mercedes mit etwa 25 km/h folgt. Also holt er das mittlere Fahrzeug zwangsläufig wieder ein, wenn der Fahrer des Mercedes nicht stark abbremst. In dem Versuch kommt es deshalb noch zu einer Folgekollision des Mercedes auf den Capri. Dieser Sonderfall einer sogenannten Sekundärkollision wird in [1] ausführlich besprochen. Die Geschwindigkeit liegt dabei in einer Größenordnung von 10 km/h. In dem Versuch entstehen bei dieser Sekundärkollision allerdings keine zusätzlichen markanten Beschädigungen, da die bereits stark verformten Karosseriezononen ein zweites Mal getroffen werden. Es ist aber durchaus vorstellbar, daß durch eine starke Veränderung der Überdekung noch unbeschädigte Karosseriezononen bei einer derartigen Sekundärkollision getroffen werden.

Da in diesem Versuch das mittlere und das vordere Fahrzeug stehen, gelten die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Intensitätskaskade. Auf **Tafel B (1/4)** sind die Verformungsbilder der Erst- und der Zweitkollision in den beiden unteren Bildreihen einander gegenübergestellt. Beim Vergleich der Verformungstiefen im Heckbereich von Capri und Derby könnte man vermuten, daß die Verformungsintensität (energie-äquivalente Geschwindigkeit) am Derby größer ist, da dort eine viel größere Verformungstiefe vorliegt als an dem Capri. Bei Berücksichtigung der Steifigkeiten muß dieses Urteil allerdings revidiert werden. Die Heckstruktur des Capri ist sehr steif ausgelegt. Deshalb hat bei der Erstkollision auch der auffahrende Mercedes sehr viel Energie aufgenommen. Der Heckbereich des Derby dagegen ist äußerst weich aufgebaut. Zudem sind noch zusätzliche Karosserieschwächungen durch die bereits fortgeschrittene Korrosion an diesem Fahrzeugheck vorhanden. Dies zeigt sich auch im Verformungszustand der Capri-Front. Dort liegen nur geringfügige Verformungen vor. Deshalb kann bei der Auswertung der Verformungen im vorliegenden Fall durchaus gesagt werden, daß die Verformungsintensität zwischen Erst- und Zweitkollision knapp um die Hälfte abgenommen hat.

Der Unfallversuch eignet sich auch hervorragend, um eine klassische Kompatibilitätsanalyse durchzuführen. Die Tafeln B (3/4) und B (4/4) zeigen insgesamt sechs Beispiele für die Schadenzuordnung anhand markanter Formspuren. So läßt sich beispielsweise zeigen, daß der Kühlergriff des Mercedes, die an der Front angebrachte Abschleppöse und der rechte vordere Scheinwerfer einschließlich der Kotflügelspitze sehr markante Abformspuren hinterlassen. Ebenso erzeugt das Auspuffrohr des Capri eine Druckspur an der weichen Frontschürze des Mercedes. Die Capri-Front hat sich sehr deutlich am Heck des weich aufgebauten Derby abgestempelt. Dort ist die Formgebung der Capri-Front bereits auf der Übersichtsaufnahme Tafel B (1/4) gut erkennbar.

2.2 Unfallversuche mit Unfalldatenschreiber (UDS)

Auf den ■ Tafeln C ist ein weiterer Versuch zu einer Serienkollision zwischen drei Fahrzeugen vorgestellt. Dabei waren alle drei Pkw mit einem Unfalldatenschreiber (UDS) ausgerüstet. Dieser Versuch diente dazu, zu klären, inwieweit es mit einem UDS-Gerät möglich ist, die Frage der Kollisionsreihenfolge und damit auch die Frage »Aufgeschoben oder selbst aufgefahren?« befriedigend zu klären. Die Ausgangssituation vor dem Versuch zeigt das linke obere Lichtbild **Tafel C (1/3)**. Die Fahrzeuge 02 und 03, ein Opel Ascona und ein Opel Rekord Caravan (Kombi) sind gemäß der Zeichnung **Tafel C (2/3)** hintereinander mit einem leichten Versatz aufgestellt. Der Abstand zwischen ihnen liegt bei etwa 2,5 m. Weiterhin befindet sich das vordere Fahrzeug etwa 1 m von einem festen Hindernis entfernt. Der mittlere Pkw, ein Opel Ascona, ist frei rollend abgestellt. Im Opel Rekord dagegen wurde vor dem Versuch die Handbremse gezogen und außerdem noch ein Gang eingelegt.

Die Aufprallgeschwindigkeiten werden mit insgesamt drei Lichtschranken gemessen. Zwei davon sind so aufgestellt, daß bei der Erst- und bei der Zweitkollision die Aufprallgeschwindigkeit festgestellt wird. Eine weitere Lichtschranke stellt die Ausgangsgeschwindigkeit des zuerst auffahrenden Mitsubishi bei Beginn des vorkollisionären Bremsvorganges fest. Dieses Fahrzeug ist bereits vor der Kollision ferngesteuert vollgebremst, um einen möglichst realistischen Versuchsablauf zu simulieren.

Nach den Lichtschrankenmessungen liegt die Höchstgeschwindigkeit unmittelbar vor Einleiten des Bremsvorganges bei 53 km/h. Beim Auffahren auf das mittlere Fahrzeug hat sie sich aufgrund des Blockierbremsvorganges auf 37 km/h verringert. Mit dieser Geschwindigkeit erfolgt der Aufprall der Mitsubishi-Front auf das Heck des Ascona. Der frei rollende Ascona wird hierdurch auf 19 km/h beschleunigt und stößt mit etwa dieser Geschwindigkeit auf das Heck des Opel Rekord Kombi. Dabei liegt eine halbseitige Überdeckung nach rechts vor. Nach diesen beiden Kollisionen haben sich alle drei Fahrzeuge voneinander getrennt. Fahrzeug 3 rutscht dann noch leicht gegen den Betonklotz. Anschließend fährt dann das nachfolgende Fahrzeug 2 nochmals auf das bereits stehende Fahrzeug 3 auf. Hierdurch wird dann der Rekord nochmals leicht gegen die Betonwand geschoben. Eine weitere Kollision mit dem Mitsubishi findet allerdings nicht statt. Dies liegt daran, daß der Mitsubishi bis zur Endstellung blockiergebremst ist und deshalb nicht mehr in den Zweitkollisionsbereich der beiden davor befindlichen Fahrzeuge gelangt.

Der gesamte Kollisionsablauf wurde mittels einer Schnellschußkamera fotografisch festgehalten. Er kann der Bildsequenz **Tafel C (3/3)** entnommen werden. Dort sieht man auch sehr schön, wie sich nach der Erstkollision der Mitsubishi blockiergebremst weiterbewegt und der Ascona sich von diesem Fahrzeug rasch entfernt. Die Zweitkollision findet ausweislich der Kamera-Aufzeichnung etwa 0,7 s nach der Erstkollision statt. Sie verläuft stärker teilelastisch, so daß der Opel Rekord zunächst schneller ist und sich von dem Ascona wegbewegt. Er prallt dann nach etwa 1 s gegen den Klotz und wird hierdurch plötzlich bis zum Stillstand verzögert. Es kommt dann zum nochmaligen Auffahren des Ascona gegen den Rekord und in der Folge sogar noch zum zweiten Anprall des Rekord gegen die Betonwand.

Auf Tafel C (2/3) unten sind die Aufzeichnungen aller drei UDS-Geräte überlagert. Dies ist prinzipiell möglich, da bei einer Kollision nach dem Grundsatz »actio = reactio« die Beschleunigungs- und Verzögerungssignale der Kollisionspartner synchronisiert werden können. Das UDS-Gerät zeichnet die wirkende Längsbeschleunigung bzw. Verzögerung neben weiteren Meßgrößen wie beispielsweise der Querbewegung auf. Im vorliegenden Fall ist nur die Längsbeschleunigung von Interesse.

Die Auswertung auf Tafel C (2/3) zeigt die relevanten Ausschnitte aus den Aufzeichnungen. Die dargestellte Zeitspanne beträgt etwa 1,5 s. Die gemessenen Zeitabstände zwischen den Kollisionen decken sich sehr gut mit den Kamera-Aufzeichnungen. Aus den gemessenen Beschleunigungs- und Verzögerungswerten ist es – entsprechende Sachkunde vorausgesetzt – problemlos möglich, die Kollisionsreihenfolge zu bestimmen und ergänzend die Ausgangsgeschwindigkeit des Mitsubishi sowie die jeweiligen Anstoßgeschwindigkeiten zu berechnen. Man gelangt dabei ziemlich genau zu den von der Lichtschranke festgestellten Ausgangsdaten.

In aller Regel ist nicht davon auszugehen, daß alle drei Fahrzeuge mit UDS ausgestattet sind. Es würde aber durchaus genügen, wenn das mittlere Fahrzeug ein derartiges Gerät besitzt. Dort ist als erstes Ereignis eine Beschleunigung aufgezeichnet, die bereits eindeutig belegt, daß zuerst die Heckkollision erfolgt. Danach erst setzt die in umgekehrter Richtung verlaufende Verzögerungsmessung am mittleren Fahrzeug mit einem Zeitversatz von 0,6 s ein. Wenn ein UDS-Gerät nur in einem der beiden anderen Fahrzeuge vorhanden ist, läßt sich die Kollisionsreihenfolge nicht mehr ausschließlich anhand der UDS-Aufzeichnungen festlegen. Eine Auswertung hilft aber auch in diesem Fall deutlich weiter, wenn weitere Informationen zum Unfallablauf, wie Fahrzeugendstellungen und Beschädigungsumfang, bekannt sind.

Bei diesem Versuch sind die Auswirkungen der Intensitätskaskade viel deutlicher zu erkennen als bei dem ersten. Dies liegt daran, daß sich die relative Struktursteifigkeiten von mittlerem und vorderem Fahrzeug genau umgekehrt wie im ersten Versuch verhalten. Deshalb hat man hier überhaupt keine Schwierigkeiten, sich vorzustellen, daß das mittlere Fahrzeug aufgeschoben wurde.

3 Fallbeispiel und Versuch zur Serienkollision

Auf den ■ Tafeln D ist ein Fallbeispiel einer Serienkollision zwischen drei Fahrzeugen ausführlich dargestellt. Im wesentlichen ging es dabei um die Frage, ob die auf Tafel D (1/3) dargestellten Beschädigungen an den drei Fahrzeugen mit dem behaupteten Ablauf in Einklang gebracht werden können. Gemäß der Darstellung der Beteiligten fuhr der Fahrer des Audi 80 auf einen Parkplatz vor einer Autohandlung und hat dabei einen abgestellten Opel Ascona übersehen. Er fuhr gegen das Heck dieses Fahrzeugs und schob ihn noch auf einen schräg davor geparkten Citroën 2 CV. Als Grund für dieses Mißgeschick gab er an, er habe in einem Linksbogen in Richtung Verkaufsraum fahren wollen und dabei die auf dem Platz ausgestellten Fahrzeuge betrachtet. Deshalb habe er den geparkten Opel Ascona nicht bemerkt.

Die in Anspruch genommene Versicherung war der Meinung, daß die Beschädigungen an den drei Fahrzeugen nicht zusammenpassen könnten und erstattete Strafanzeige gegen die Beteiligten. Im Auftrag der Strafbehörden sollte aus technischer Sicht geklärt werden, ob hier Schadenkompatibilität vorliegt oder nicht. Hierzu wurde bei der Bearbeitung zunächst eine theoretische Kompatibilitätsanalyse vorgenommen. Aufbauend auf dieser Analyse wurde dann noch ein praktischer Versuch mit den bei der Analyse gewonnenen Anstoßpositionen in Verbindung mit den zuvor berechneten Kollisionsgeschwindigkeiten durchgeführt.

In einem ersten Schritt wird die Kollision zwischen dem Audi und dem Opel betrachtet. An der Front des Audi liegt eine markante, senkrecht verlaufende Einkerbung unmittelbar rechts des linken vorderen Scheinwerfers vor. Bei Betrachtung dieser Verformung könnte zunächst der Eindruck entstehen, das Fahrzeug müsse gegen ein senkrecht stehendes Hindernis gefahren sein. Wie aber z.B. mit dem Vergleichsfall in Tafel 4.6 – D des Fachbuches [2] gezeigt wurde, können derartige Einkerbungen auch bei einem versetzten Anprall entstehen.

Die Erkenntnisse aus diesem Vergleichsfall können auf das Fallbeispiel übertragen werden. Damit ist ein Aufprall mit voller Überdeckung, bei dem die Front des Audi flächig auf das Heck des parkenden Ascona auftritt, bereits vorab sicher auszuschließen. Um die markante Einkerbung am Audi zu erklären, ist es vielmehr erforderlich, daß ein versetzter Aufprall vorgelegen hat, bei dem ein steifer Bereich des Ascona-Hecks am Audi eingedrungen ist. Aus der Steifigkeitsverteilung im Heckbereich derartiger Stufenheckfahrzeuge ergibt sich dann, daß eine ausreichende Steifigkeit nur an den hinteren Seitenteilen vorliegt.

Deshalb ist davon auszugehen, daß die Fahrzeugpartien gemäß der Darstellung auf **Tafel D (2/3)** zuzuordnen sind. Bei dem Anprall ist ferner noch ein deutlicher Längsachsenwinkel zwischen den Fahrzeugen zu berücksichtigen. Auch dieser Winkel ergibt sich bei der Kollision zwingend, da sich bei paralleler Fahrzeugstellung auch am Ascona ein markanter Abdruck des steifen rechten Längsträgerbereichs des Audi befinden müßte. Dieser Abdruck fehlt allerdings völlig, so daß ein Winkel in der Größenordnung von 30° vorgelegen haben muß.

Nachdem nun die Fahrzeugpositionen beim Aufprall feststehen, kann mit einer detaillierteren Analyse begonnen werden. Wie auf dem mittleren Lichtbild **Tafel D (2/3)** herausgestellt, befindet sich an der Seitenfläche des linken hinteren Seitenteils eine direkte Krafteinwirkungsstelle. Hier läßt sich deutlich das Stoßfängerprofil des Audi erkennen. Entsprechende Eindrückungen sind an der Audi-Front vorhanden. Ein weiterer direkter Krafteinwirkungsbereich befindet sich am Ascona Heck an der linken Spoiler-Ecke. Dieser Bereich korrespondiert sowohl von der Höhe als auch von der Ausbildung mit der Haubenvorderkante des Audi.

Der hintere Stoßfänger des Ascona ist unterhalb der Heckleuchte flächig abgeplattet. Hier bestand ein direkter Kontakt mit dem Stoßfänger des Audi. Zwischen dem direkten Krafteinwirkungsbereich unterhalb der Heckleuchte des Ascona und dem direkten Krafteinwirkungsbereich am Seitenteil liegt eine nicht kontaktierte Zone. Hier hat sich in der ersten Kollisionsphase das Seitenteil gestaucht und in der weiteren Eindringphase wurden dann nur noch die erhabenen Bereiche des Seitenteils berührt.

Tafel D (3/3) zeigt einen Vergleich der Berührungsprofile unter Berücksichtigung der zuvor diskutierten Anstoßkonfiguration. Er beweist, daß auch eine geometrische Übereinstimmung der Abstände zwischen den Stoßfängern und der Audi-Haube bzw. dem Abdruck der Audi-Haube am Ascona besteht.

Bei der Kollision ist am Heck des Ascona die Schweißnaht zwischen dem Heckabschlußblech und dem Fahrzeugboden teilweise aufgerissen. Hierdurch bedingt hatte der Heckbereich eine deutlich geringere Steifigkeit, als bei diesem Fahrzeug im Neuzustand zu erwarten wäre. Offensichtlich befanden sich im Bodenbereich bereits erhebliche Korrosionsschäden. Auch zeigt der Zustand des linken hinteren Seitenteils, daß dieses Fahrzeug im Heckbereich bereits einmal einen Unfall erlitten hatte. In der Radlaufzone des Ascona liegen erhebliche Spachtelabplatzungen vor.

Zusammengefaßt ergibt sich nach der geometrischen Analyse dieser Kollision, daß an beiden Fahrzeugen eine Vielzahl von markanten Spuren vorliegen, die exakt zum jeweiligen Kollisionspartner passen. An beiden Fahrzeugen lassen sich keine Hinweise auf unfallbedingte Alt-schäden finden. Die Heckpartie des Ascona war allerdings durch Korrosion und einen Vorunfall deutlich geschwächt.

In einem zweiten Schritt kann dann die Folgekollision des Ascona auf den Citroën analysiert werden. Hier stellt man auf den Original-Farblichtbildern des Ascona grünliche Farbantragungen fest, die exakt zu der Farbgebung des Citroën passen. An der Front des Citroën liegen markante, direkte Krafteinwirkungsspuren vor, die mit in entsprechender Höhe angebrachten Fahrzeugteilen am Ascona geometrisch übereinstimmen. Es handelt sich um die Abdrücke von Motorhaubenvorderkante, Kotflügelspitze, Stoßfängerwulst und Frontspoiler. Auch lassen sich an der Front des Citroën Farbantragungen in einem violetten Farbton ausmachen, die gut zur Farbgebung des Ascona passen.

Tafel D (2/3) zeigt in der rechten Grafik die zur Erklärung der Verformungen erforderliche Anstoßkonfiguration. Gemäß dieser Zuordnung wurden beide Fahrzeugkonturen akribisch nach möglicherweise vorhandenen Vorschädigungen abgesucht. Dabei konnten keine Hinweise dafür gefunden werden, daß irgendwelche ereignisfremden Krafteinwirkungen vorhanden sind. Gut erkennbar ist der Scheinwerferabdruck des Ascona an der Front des Citroën. Er ist auf dem rechten oberen Foto **Tafel D (2/3)** mit einem Pfeil hervorgehoben. Die Form des Scheinwerfers und der Abdruck der Kotflügelspitze sind gut nachzuvollziehen. Die Karosseriefläche in diesem Bereich weist markante Zerkratzen auf, die typisch für das Zerreiben von Glassplittern der Streuscheibe innerhalb der Kollisionsphase sind. Zusammengefaßt ergibt sich also auch für diese Folgekollision kein Hinweis darauf, daß die Schäden nicht einander zugeordnet werden könnten. Es liegt auch hier vollkommene Schadenkompatibilität vor.

Die zur Erklärung der Verformungen erforderliche Ausgangsposition der drei Fahrzeuge ist auf der linken Grafik **Tafel D (2/3)** dargestellt. Demzufolge müßte der Ascona etwa um eine halbe Fahrzeugbreite nach rechts versetzt in einem Abstand von etwa 1 m vor dem Citroën gestanden haben. In die beiden parkenden Fahrzeuge muß der Audi unter einem Winkel von etwa 30° seitlich leicht nach links versetzt gefahren sein. In einem Vorgutachten zu diesem Fall wurde die geometrische Schadenkompatibilität aufgrund fehlender »Individualspuren« ausgeschlossen. Darüber hinaus wurden auch Diskrepanzen bei den Verformungsintensitäten abgeleitet. Deshalb wurde zur eindeutigen Klärung des Falls ein Crash-Versuch mit typengleichen Fahrzeugen durchgeführt. Dies gelang zu vertretbaren Preisen, da alle drei Fahrzeuge aus alten Bauserien stammen. Der Korrosionszustand der Versuchsfahrzeuge ergibt sich aus **■ Tafel E (1/3)**. Aus praktischen Gründen wurde eine spiegelbildliche Anordnung der Fahrzeuge beim Versuch gewählt. An der Front des Audi war ein leichter Vorschaden vorhanden. Der rechte vordere Scheinwerfer war bereits zersplittert und es befand sich eine leichte Einbeulung in der Motorhaube. Diese Abweichungen wurden in den nachfolgenden Überlegungen berücksichtigt. Die genaue Anordnung der Fahrzeuge ergibt sich aus der Grafik **Tafel E (1/3)**. Mittels einer Beschleunigungseinrichtung wurde der Audi im Versuch mit einer Geschwindigkeit von 41 km/h auf das Heck des Ascona gezogen.

Wie die Auswertung der Filmaufnahmen des Crashes zeigt, kommt es erstaunlicherweise zu einem Abheben des rechten Vorderrades des Ascona während der Zweitkollision, vgl. Bild rechts unten auf **Tafel E (2/3)**. Dies kann durch die ungewöhnliche Formgebung der Front des Citroën erklärt werden. Die Endposition der Fahrzeuge nach dieser Kollision sind auf **Tafel E (2/3)** abgebildet. Dort sind auch die Endstellungen und Glassplitterverteilungen vor den Fahrzeugen in Detailaufnahmen vorgestellt.

Durch die etwas zu hohe Kollisionsgeschwindigkeit sind die Schadenintensitäten höher als beabsichtigt. Dies gilt insbesondere für das Heck des Ascona, das zudem bei dem verwendeten Versuchsfahrzeug noch etwas stärker korrodiert war als im realen Unfall. Das Versuchsziel wurde aber in vollem Umfang erreicht. Obwohl das Ascona Heck und insbesondere das hintere Seitenteil bis in den Bereich des Hinterrades zusammengeschoben ist, liegt an der Front des Audi nur eine dem realen Unfall vergleichbare Anstoßintensität vor. Zudem zeichnet sich ein sehr gut vergleichbarer senkrechter Abdruck an diesem Fahrzeug ab.

Auch die Schadenbilder an der Front des Citroën und an der Front des Ascona gemäß **Tafel E (2/3)** lassen sich sehr gut mit den Deformationen im realen Unfall vergleichen. Die Verformungsintensität ist aufgrund der zu hohen Aufprallgeschwindigkeit etwas größer. Es entstehen aber die gleichen markanten Formspuren wie im Fallbeispiel.

Zusammengefaßt ergibt sich also nach Durchführung des Versuchs ohne Zweifel, daß die Schäden an den drei Fahrzeugen zusammenpassen. Hieraus folgt eindeutig, daß die von den Beteiligten behaupteten Kollisionen in der Tat stattgefunden hat.

Bisher wurde nur untersucht, ob eine Kollision stattgefunden hat. Hierauf aufbauend ist aber noch zu analysieren, ob diese Kollision in der gegebenen Unfallörtlichkeit plausibel ist. Diese Frage kann im vorliegenden Fallbeispiel erschöpfend nicht allein durch eine technische Betrachtung beantwortet werden. Hier ist die juristische Wertung gefragt:

Die Auffahrgeschwindigkeit ist aus dem Versuch mit etwa 35 km/h bekannt. Dies bedeutet, daß in einer Sekunde etwa 10 m zurückgelegt werden. Aus der Höhenzuordnung der Fahrzeuge bei der Kollision folgt, daß der Audi weitgehend ungebremst auf den Ascona aufgefahren ist. Hätte der Audi-Fahrer das Fahrzeug stark verzögert, dann wäre es zu einem Eintauchen der Fahrzeugfront gekommen. Dieses Eintauchen fehlt, so daß nicht auf eine Abwehrrbremsung zur Vermeidung des Unfalls geschlossen werden kann.

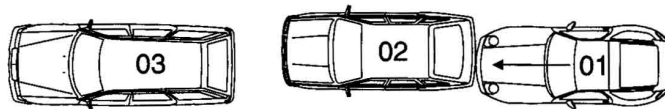
Zum Unfallzeitpunkt war es zweifellos taghell. Es ist davon auszugehen, daß der Audi-Fahrer durch eine Toreinfahrt auf das Gelände aufgefahren ist. Das Büro und der Verkaufsraum liegen am linken Parkplatzbereich. In diese Richtung hat aber offensichtlich der Audi-Fahrer nicht gelenkt, sondern er ist über mehrere Sekunden geradeaus mit einer etwa konstanten Geschwindigkeit in das Ascona Heck gefahren. Ein derartiger Fahrvorgang kann nur als sehr ungewöhnlich bezeichnet werden und widerspricht normalen Verhaltensmustern von Kraftfahrern.

PRAXIS

Tafel A Mögliche Abläufe bei einer Ketten-Auffahrkollision (1/3)

A

Fall I: 03 und 02 stehen, 01 fährt auf 02 und schiebt ihn auf 03



Aus Gründen der Anschaulichkeit und zur Verdeutlichung der allgemeinen Zusammenhänge wird in den folgenden Überlegungen davon ausgegangen, daß alle Fahrzeuge gleiche Massen und Steifigkeitskennwerte besitzen. Fall I zeigt hierfür den klassischen Aufschiebeunfall.

Das mittlere Fahrzeug steht und wird von dem nachfolgenden Fahrzeug auf das vordere geschoben. Unter diesen Voraussetzungen kann bei kleinen Abständen der Fahrzeuge mit der Intensitätskaskade gearbeitet werden. Sie besagt, daß die Verformungsenergien der Erstkollision etwa doppelt so groß sein müssen wie die der Zweitkollision.

Wie die folgende Herleitung beweist, gilt diese Faustregel auch dann noch annähernd, wenn man die Trennungsgeschwindigkeit der Fahrzeuge 01 und 02 berücksichtigt. Auch der Fall, daß sich 01 und 02 nicht trennen, sondern gemeinsam auf 03 auffahren, wird durch die Faustformel annähernd richtig beschrieben.

$$\left(\frac{2 \cdot \Delta E}{m}\right)_1 = v^2 - \left\{ \left[\frac{1}{2} \cdot (v - \Delta v') \right]^2 + \left[\frac{1}{2} \cdot (v + \Delta v') \right]^2 \right\}$$

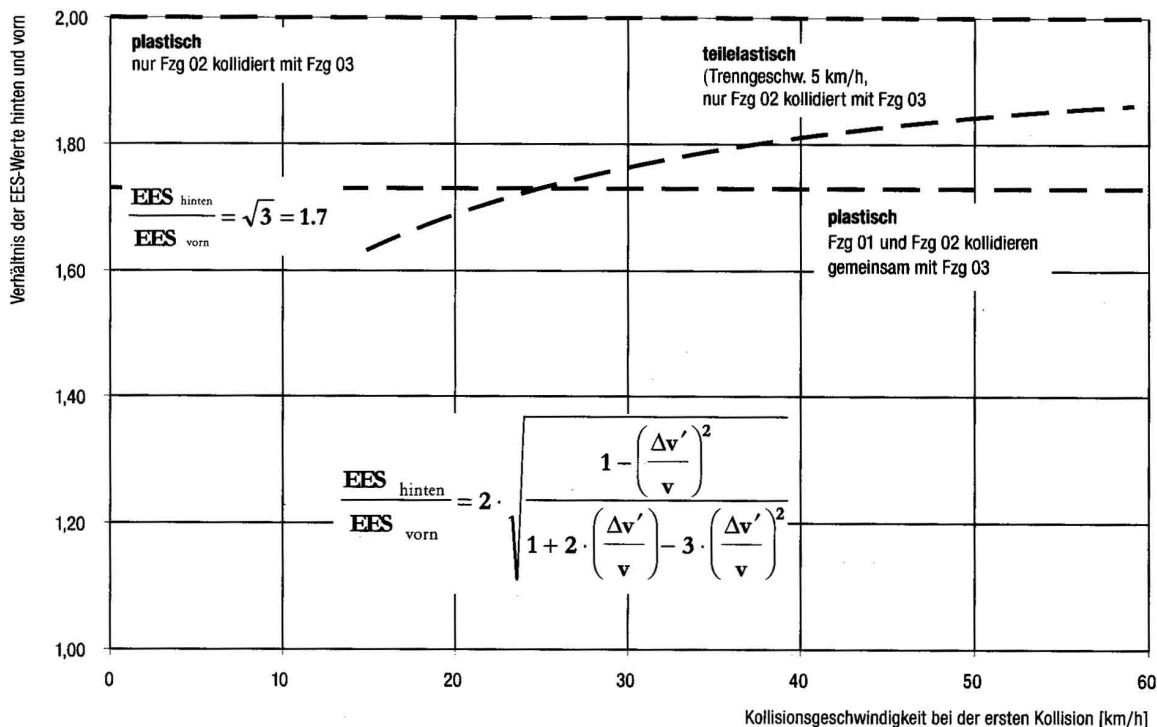
$$\left(\frac{2 \cdot \Delta E}{m}\right)_1 = \frac{1}{2} (v^2 - \Delta v'^2)$$

In der gleichen Beziehung ist für die Zweitkollision

v durch $\frac{1}{2} \cdot (v + \Delta v')$ zu ersetzen:

$$\left(\frac{2 \cdot \Delta E}{m}\right)_2 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{4} (v^2 + 2v \cdot \Delta v' - 3\Delta v'^2) \right]$$

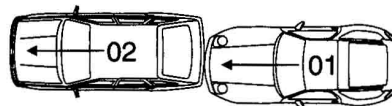
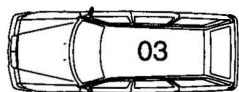
Nach Division der beiden Terme erhält man den in der Grafik dargestellten Zusammenhang:



Tafel A Mögliche Abläufe bei einer Ketten-Auffahrkollision (2/3)

A

Fall II: 03 steht schon, 02 bremst und wäre direkt hinter 03 zum Stehen gekommen, 01 fährt auf 02 und schiebt ihn auf 03



Überraschende Zusammenhänge stellen sich ein, wenn das mittlere Fahrzeug bei höherer Geschwindigkeit heckseitig angestoßen wird. In diesem Fall kann nicht mit der Intensitätskaskade gearbeitet werden. Infolge des bei fahrenden Fahrzeugen größeren Energieaustausches (Integral Kraft über Weg!) ergibt sich nach dem unten dargestellten Zusammenhang an dem fiktiven Anhalteort eine Restgeschwindigkeit, die zum einen von der Kollisionsgeschwindigkeit des mittleren Fahrzeugs und zum anderen von der Überschußgeschwindigkeit des heckseitig auffahrenden abhängt.

Nach der Erstkollision besitzt das mittlere Fahrzeug bei einem plastischen Stoß mit gleichen Massen die Geschwindigkeit

$$v' = v + \frac{1}{2} \Delta v$$

Ohne die Heckkollision betrüge der restliche Bremsweg des mittleren Fahrzeugs

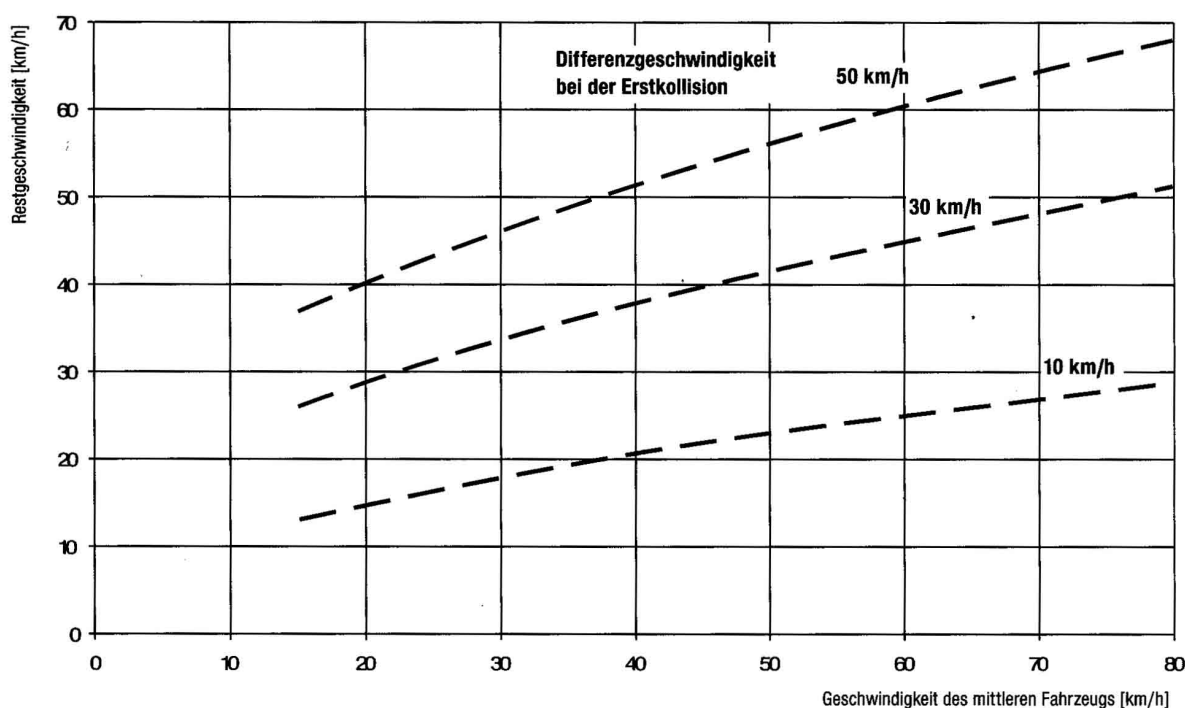
$$s = \frac{v^2}{2 \cdot a}$$

Infolge der Heckkollision liegt die Restgeschwindigkeit nach dem berechneten Bremsweg bei

$$v_R = \sqrt{v'^2 - 2 \cdot a \cdot s}$$

Nach Einsetzen, Kürzen und Umformen ergibt sich

$$v_R = \sqrt{v \cdot \Delta v + \frac{\Delta v^2}{4}}$$

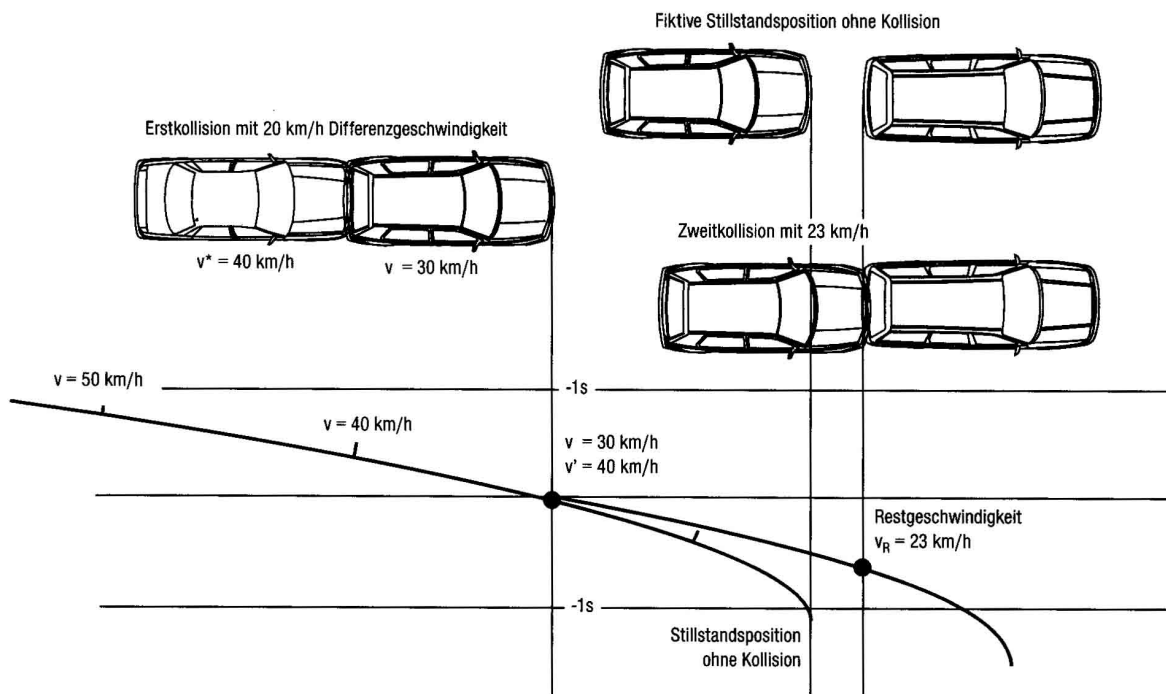


PRAXIS

Tafel A Mögliche Abläufe bei einer Ketten-Auffahrkollision (3/3)

A

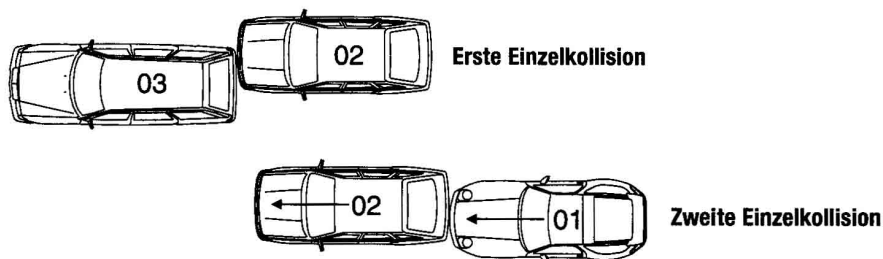
Praktisches Beispiel zu Fall II: Aufschieben während des Bremsvorgangs



In diesem Beispiel wäre das mittlere Fahrzeug 02 ohne Heckkollision ca. 1 m hinter Fahrzeug 03 zum Stillstand gekommen. Wenn jetzt z.B. während des Bremsvorgangs 02 durch die Heckkollision mit 01 um nur 10 km/h

schneller wird, erfolgt trotz des theoretisch noch vorhandenen Abstands von 1 m eine Heckkollision mit Fahrzeug 03 mit immerhin 23 km/h.

Fall III: Voneinander unabhängige Einzelkollisionen: Fahrzeug 02 auf 03, danach 01 auf 02



Zunächst fährt Fahrzeug 02 auf Fahrzeug 03, und erst zu einem späteren Zeitpunkt ereignet sich dann der Aufprall von 01 auf 02. Die Insassen im mittleren Fahrzeug werden dabei zunächst nach vorne in den Gurt geschleudert und

erst bei der Heckkollision nach hinten in den Sitz gepreßt. Die Insassen im vorderen Fahrzeug können je nach den Auslaufbedingungen einen oder zwei Anstöße verspüren.