

Wolfgang Hugemann*, Karl-Heinz Schimmelpfennig**

Der Unfallschreiber

Funktionsprinzipien – Genauigkeit

Auswirkung auf die Tätigkeit

des Sachverständigen

Zusammenfassung

Der Aufsatz gibt eine einführende Übersicht über die wichtigsten technischen Aspekte des Unfallschreibers. Nach einer Beschreibung des inneren Aufbaus der Geräte werden die mathematischen Grundlagen der Rekonstruktion von Bewegungslinien erläutert. Dabei werden die Vor- und Nachteile der konkurrierenden Konzepte erläutert. Des Weiteren wird über Unfallversuche mit Funktionsmustern berichtet, die einen Ausblick auf die im praktischen Einsatz erreichbare Genauigkeit geben. Abschließend wird der Frage nachgegangen, wie sich das Tätigkeitsfeld des Sachverständigen bei Einsatz des neuen Gerätes ändern wird.

Summary

This paper presents an overview over the most important aspects of the Accident Data Recorder (ADR). After a description of the internal structure of the device, the mathematical basis of the reconstruction of trajectories is explained. The advantages and disadvantages of the competing concepts are considered. Furthermore we report on accident simulations with engineering samples of the new device, which give an prospect for the accuracy gained in practical use. Finally we consider the question, in which way the field of activity of the technical expert is affected by the use of the new device.

1 Einleitung

Seit Jahren flackert immer mal wieder die Diskussion um ein Gerät auf, daß von den Medien mit Begriffen wie »Crash-Recorder«, »Black-box im Auto« oder auch »Polizist im Auto« betitelt wird. Vor wenigen Jahren noch erschien die Diskussion um dieses Gerät reichlich spekulativ, doch hat sich in diesem Punkt mittlerweile Entscheidendes geändert. Es wird in naher Zukunft nicht nur einen Bautyp eines derartigen Gerätes im freien Handel geben, sondern gleich zwei konkurrierende Produkte verschiedener Hersteller, die nach teils unterschiedlichen Prinzipien arbeiten. Bei Technikern hat sich als Bezeichnung für die Geräte das Kürzel UDS durchgesetzt, das wahlweise für »Unfall-Dokumentations-System« (MBB) oder »Unfalldatenspeicher« (Mannesmann-Kienzle) steht. Im Titel dieses Aufsatzes wurde die von Dr.Dr. Spiegel als Präsident des Deutschen Verkehrsgerichtstages vorgeschlagene Bezeichnungswahl verwendet.

Den letzten publikumswirksamen Höhepunkt der derzeitigen Entwicklung stellte die Präsentation des Gerätes durch die Fa. Mannesmann-Kienzle auf der letzten IAA in Frankfurt dar. Die Fachwelt konnte sich bereits im Frühjahr letzten Jahres ausführlich über beide konkurrierenden Geräte informieren, da das letzte AFO/GUVU-Seminar ausschließlich dem Thema »Unfalldatenschreiber« gewidmet war. Als Zeitpunkt der Markteinführung gibt Mannesmann-Kienzle etwa Mitte '92 an und beruft sich dabei auf die bisherigen Erfahrungen bei der Einführung von Kfz-Serienprodukten. Bei dem Konkurrenzunternehmen MBB gibt man sich vorsichtiger und spricht von Mitte '93. Den Zielpreis der Geräte geben beide Unternehmen übereinstimmend mit etwa 500 DM an, zusätzlich der Einbaukosten, die in der Größenordnung von 200 bis 300 DM liegen werden.

Reichlich viel Geld für ein Gerät, das man im statistischen Mittel etwa alle neun Jahre benötigt, wird manch einer sagen. Käufer wird es mit

*Dipl.-Ing. Wolfgang Hugemann, Sachverständiger im Ing.-Büro Schimmelpfennig + Becke, Münsterstr. 101, 4400 Münster-Wolbeck
**Dipl.-Ing. (TU) Karl-Heinz Schimmelpfennig, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle, Münsterstr. 101, 4400 Münster-Wolbeck

Sicherheit dennoch finden. Wer erst kürzlich negative Erfahrungen mit der Beweisnot bei der zivilrechtlichen Regulierung von Verkehrsunfällen gemacht hat, wird den Mehraufwand beim Erwerb des nächsten neuen Autos möglicherweise nicht scheuen. Sinnvoll wäre die Anschaffung des Gerätes auch für alle, die beruflich viel mit Kraftfahrzeugen unterwegs sind und deshalb ein erhöhtes Unfallrisiko tragen. Bei MBB und Mannesmann-Kienzle ist man offensichtlich der Ansicht, daß ein Markt für die Geräte besteht, sonst wären die hohen Entwicklungskosten nicht getragen worden. Die Vorentwicklung des UDS der Fa. MBB erfolgte im übrigen in der Arbeitsgemeinschaft Unfalldatenschreiber (ARGE UDS Berlin) im Rahmen eines vom Bundesforschungsministerium und vom Berliner Senat geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens, das im Herbst letzten Jahres abgeschlossen wurde [1]. Bei Mannesmann-Kienzle hat man die Entwicklungskosten allein getragen.

Die ersten Unfälle, bei denen Aufzeichnungen des UDS existieren, werden also etwa ab Ende dieses Jahres die Gerichte und damit die Sachverständigen beschäftigen¹. Man tut gut daran, sich bereits vorab über die Funktionsweise derartiger Geräte und über den Umgang mit den aufgezeichneten Daten zu informieren. Dies ist in unserem Büro bereits gründlich geschehen, da Herr Schimmelpfennig als Mitglied des technischen Arbeitskreises der ARGE UDS an der Definition der technischen Anforderungen an ein solches Gerät beteiligt war. Bei der Erprobung der ersten Funktionsmuster halfen wir bei der Konzeption der Versuche, die auf der unserem Hause angegliederten Crash-Anlage durchgeführt wurden. Die Unfallversuche wurden von unserer Seite im Rahmen einer Studie ausgewertet [2].

Im folgenden sollen zunächst die Funktionsprinzipien der Geräte erläutert werden. Anschließend wird über Unfallversuche mit dem UDS berichtet. Im dritten Schritt soll ein Ausblick auf die mögliche Verarbeitung der Daten durch den technischen Sachverständigen gegeben und der Frage nachgegangen werden, wie sich das Aufgabenfeld des Unfallsachverständigen im Zuge der Entwicklung ändern wird.

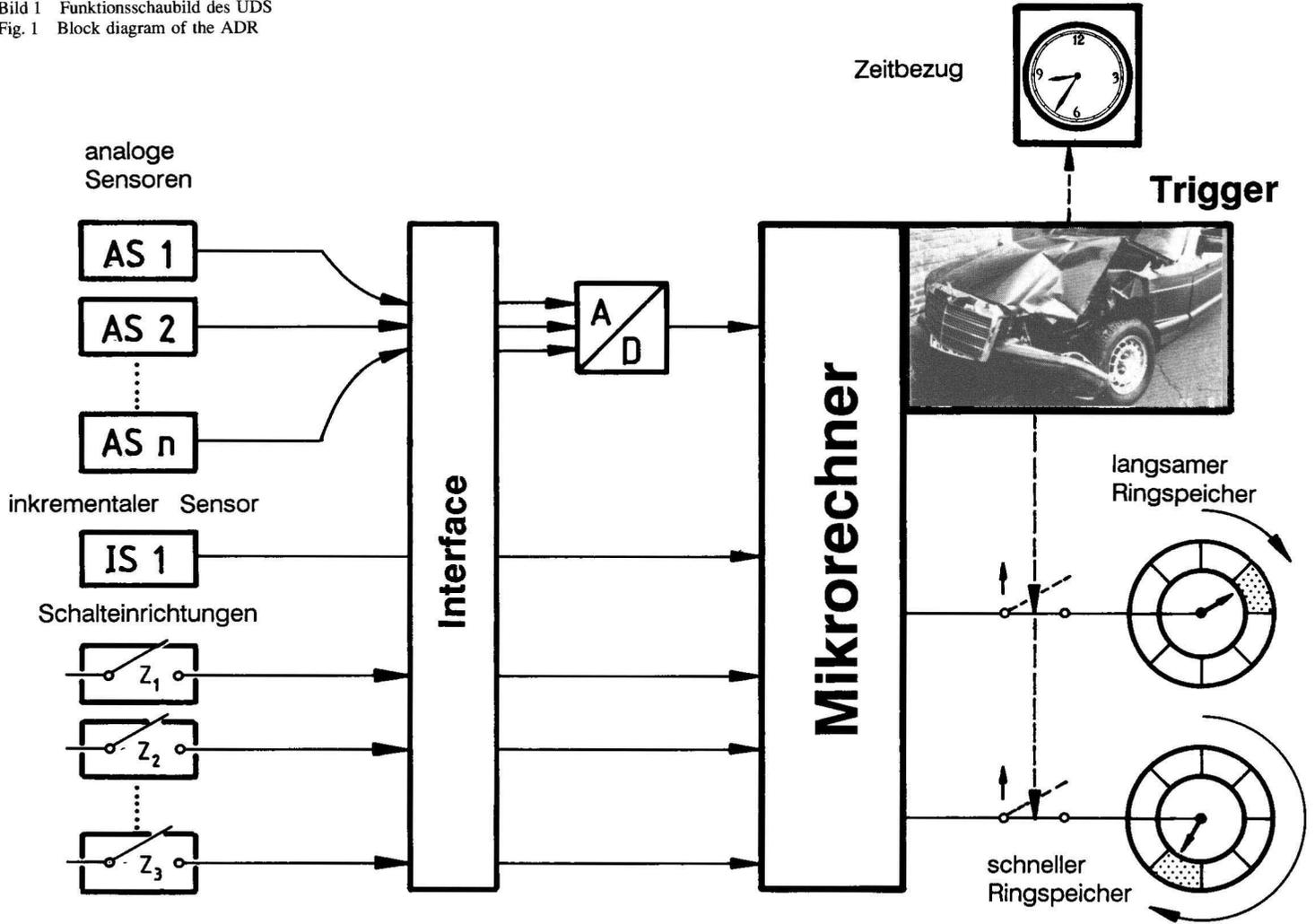
2 Funktionsprinzipien und Bauformen

Aus den vom UDS aufgezeichneten Daten soll das Verhalten des Fahrzeugführers vor einem Unfall, soweit es sich in den von ihm getätigten Steuereingriffen in die Bedienungselemente des Systems »Fahrzeug« dokumentiert, rekonstruiert werden. Hier muß zunächst groß zwischen analogen Betätigungseinrichtungen, wie Lenkrad, Brems- und Gaspedal, und Schalteinrichtungen, wie Blinker und Hupe, unterschieden werden. Mit den erstgenannten Einrichtungen kann die Bewegung des Fahrzeugs beeinflusst werden; die damit verbundenen Daten fallen grundsätzlich in analoger Form an, während sämtliche Schaltsignale über eine einfache Ja/Nein-Entscheidung (1 bit) beschrieben werden können.

Das Herzstück des UDS ist ein Mikrorechner, **Bild 1**, der den Betriebszustand des Fahrzeugs ständig erfaßt. Der Zustand der Schalteinrichtungen kann dabei über das Interface, das den Rechner unter anderem vor Überspannungen schützen soll, direkt eingelesen werden. Die analogen Ausgangssignale der analogen Sensoren müssen, um in den Rechner eingelesen werden zu können, zunächst in einem Analog-Digital-Wandler in digitale Daten umgesetzt werden. Daneben gibt es Sensoren für analoge Signale, die die Digitalisierung der Daten selbst vornehmen; ein Beispiel für diese Kategorie sind die Impulsgeber am Tachowellenanschluß, die in neueren Fahrzeugtypen als Weggeber dienen. Solche seriellen Datenströme – die Information wird durch aufeinanderfolgende Ein/Aus-Zustände übertragen – können direkt in den Rechner eingelesen werden.

Die vom Rechner erfaßten Daten werden fortlaufend in einem Ringspeicher abgelegt, der etwa eine Minute Fahrzeit umfaßt. Daten, die älter als eine Minute sind, werden im normalen Fahrbetrieb fortlaufend überschrieben und damit vernichtet. Unter den analogen Sensoren befinden sich wenigstens zwei Beschleunigungssensoren, die die auf das Fahrzeug in Längs- und Querrichtung einwirkenden Beschleunigungen erfassen. Die Meßwerte dieser beiden Sensoren werden vom Rechner ständig überwacht und auf unfalltypische Muster untersucht. Was als unfalltypisch gelten soll, ist programmtechnisch in einer sogenannten »Trigger-Bedingung« festgehalten, die ihrer Wichtigkeit halber in **Bild 1**

Bild 1 Funktionsschaubild des UDS
Fig. 1 Block diagram of the ADR



als eigener Funktionsblock dargestellt ist. Wird ein Unfall erkannt, so wird die Aufzeichnung nach Verstreichen einer Zeitspanne von etwa 15 bis 30 s angehalten und der Speicherinhalt »eingefroren«. Gleichzeitig wird der aktuelle Stand der internen Uhr festgehalten, so daß sich später bei der Auswertung der Unfallzeitpunkt feststellen läßt².

Im Anschluß an einen Unfall enthält der Speicherinhalt also den Fahrzeugzustand in dem Zeitraum um den Unfallzeitpunkt. Sämtliche Daten liegen in einem festen Zeitraster vor; der zeitliche Abstand zwischen zwei Datensätzen liegt in der Größenordnung von einer Zehntelsekunde. Diese zeitliche Auflösung ist für die Schaltsignale in jedem Fall ausreichend. Bei den analogen Signalen genügt er zumindest für den normalen Fahrbetrieb. Für die Aufzeichnung beispielsweise der Fahrzeugbeschleunigung während der Crash-Phase ist diese zeitliche Auflösung jedoch zu gering. Um den tatsächlichen Beschleunigungsverlauf aus den aufgezeichneten Werten halbwegs rekonstruieren zu können, muß die Abtastfrequenz mindestens doppelt so groß wie die höchste im Signal enthaltene Frequenz sein (Shannonsches Abtasttheorem). Da die gesamte Crash-Phase nur etwa 100 ms umfaßt, sind Abtastzeiten im Bereich von einigen Millisekunden erforderlich, um dieser Forderung zu genügen, was Abtastfrequenzen von 200 Hz bis 1 kHz entspricht. Um die während der Crash-Phase anfallenden Daten mit einer höheren zeitlichen Auflösung aufzuzeichnen, bieten sich zwei leicht unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten an. Deren erste besteht darin, daß man für den Zeitraum unmittelbar um den Triggerzeitpunkt mit höherer Abtastrate aufzeichnet. Als alternative Lösung kann man parallel zum ersten Ringspeicher einen weiteren Ringspeicher verwenden, der bei etwa gleicher Speichergröße eine schnellere Umlaufzeit und damit eine höhere zeitliche Auflösung besitzt; die aufgezeichnete Zeitspanne ist dementsprechend geringer. Bei einem Unfall hält der Trigger dann auch die Aufzeichnung dieses sog. Crashespeichers an, so daß für die Crash-Phase eine Aufzeichnung mit höherer Abtastrate zur Verfügung steht. In Bild 1 ist die zweite Lösungsmöglichkeit angedeutet.

Das soeben beschriebene grobe Funktionsprinzip ist bei beiden Geräten

vergleichbar, wobei sich bei dessen Umsetzung in die Hardware jedoch Unterschiede auftun können, die sich unserer Kenntnis entziehen.

Mag das Innenleben der Geräte auch vergleichbar sein, so ist das äußere Erscheinungsbild doch sehr unterschiedlich, Bild 2 und Bild 3. Der UDS von Mannesmann-Kienzle besitzt ein Kunststoffgehäuse, das ungefähr die Abmessungen einer Zigarrenkiste hat. Es soll bevorzugt unter dem Beifahrersitz am Bodenblech des Fahrzeugs befestigt werden. Seitlich am Gehäuse ist eine Buchse erkennbar, die die Schnittstel-



Bild 2 UDS von Mannesmann-Kienzle
Fig. 2 ADR built by Mannesmann-Kienzle

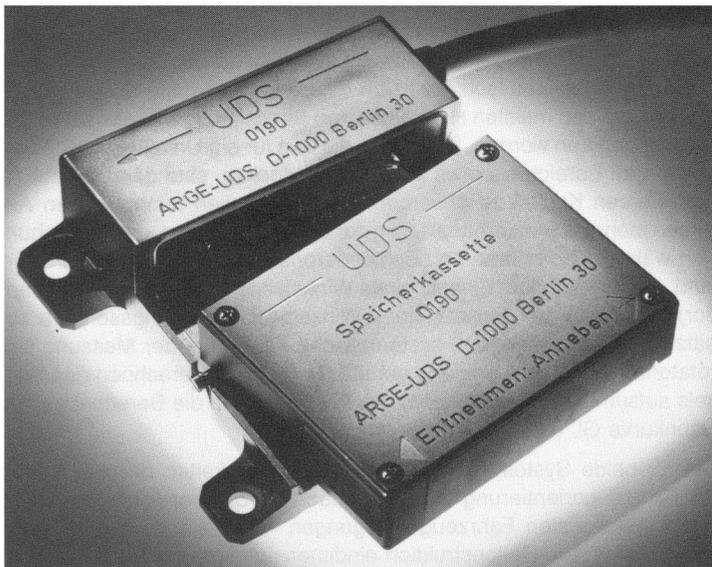


Bild 3 Gehäusestudie UDS von MBB
Fig. 3 Design study for the ADR build by MBB

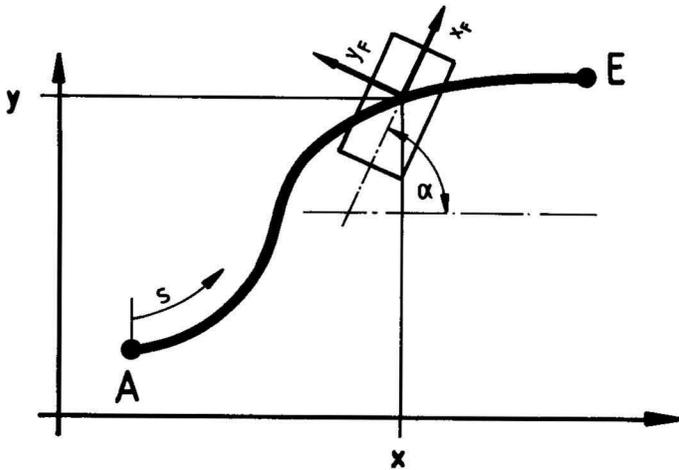


Bild 4 Freiheitsgrade bei ebener Bewegung
Fig. 4 Modes of liberty in planar motion

le zur Bordelektrik bzw. -elektronik bildet. In der Mitte der Gehäusedecke befindet sich eine multifunktionelle Bedientaste, mit deren Hilfe unter anderem eine nicht erwünschte Aufzeichnung gelöscht werden kann. Die Befestigung des Gerätes ist den Herstellerangaben zufolge derart gestaltet, daß der Ausbau im Anschluß an den Unfall ohne Zuhilfenahme eines Werkzeugs erfolgen kann.

Für das UDS von MBB liegt derzeit nur eine Gehäusestudie vor, **Bild 3**, deren Aussehen sich von den Gehäusebauformen der z.Z. erprobten Geräte unterscheidet. Auffällig ist zunächst die zweigeteilte Bauform, die in Aluminium ausgeführt ist. Die Speicherkassette, die ihrer Bezeichnung zum Trotz den gesamten Mikrorechner incl. Sensorik enthält, ist mittels eines einfachen Handgriffs vom Gehäuseträger zu lösen. Der Schnappmechanismus ist so konstruiert, daß während des normalen Fahrbetriebs eine spielfreie Arretierung der Speicherkassette garantiert wird. Durch diese Konstruktionsweise kann der Gehäuseträger incl. aller elektrischen Anschlüsse nach dem Unfall im Fahrzeug verbleiben, während die Speicherkassette direkt zur Hand ist. Das Gehäuse ist insgesamt kleiner ausgelegt als beim Konkurrenzprodukt; die Speicherkassette bringt es nicht einmal auf die Größe einer Zigaretenschachtel. Der Anschluß an die Bordelektrik (-elektronik) wird über das am Trägergehäuse angebrachte Kabel hergestellt.

Die Zahl der erfaßten Zustandssignale wird mehr durch den Arbeitsaufwand beim Einbau des UDS denn durch dessen Hardware beschränkt. Bei Anschluß an den Sicherungskasten (oder in absehbarer Zeit an den Fahrzeug-Datenbus) kann prinzipiell der Zustand sämtlicher Schaltein-

richtungen überwacht werden. Bei MBB will man sich, was die erfaßten Zustandssignale betrifft, eng an den Empfehlungen des juristischen Arbeitskreises der ARGE UDS orientieren.

3 Rekonstruktion der Fahrzeugbewegung

Die Bewegung eines Straßenfahrzeugs erfolgt in der Regel im Kontakt mit der Fahrbahn. Auch bei Unfällen stellen Kippvorgänge oder Überschläge Ausnahmefälle dar. Sieht man von letztgenannten Fällen ab, so handelt es sich um eine ebene Bewegung, die durch Angabe der Position und Orientierung des Fahrzeugs vollständig beschrieben werden kann, **Bild 4**. Korrespondierend zu diesen drei Freiheitsgraden der Bewegung benötigt man i.a. drei voneinander unabhängige Sensorsignale, um diese Bewegung rekonstruieren zu können. Für den Fall, daß die Seitenführungskräfte der Fahrzeugreifen nicht überschritten werden, können zwei unabhängige Sensorsignale genügen [3].

Bei der Auswahl der analogen Sensorsignale gehen MBB und Mannesmann-Kienzle leicht unterschiedliche Wege. Im folgenden soll zunächst das Konzept von Mannesmann-Kienzle erläutert werden, da es unseres Erachtens leichter verständlich ist. Beim UDS von Mannesmann-Kienzle werden

- Fahrzeuglängsbeschleunigung \ddot{x}_F
- Fahrzeugquerbeschleunigung \ddot{y}_F
- Fahrzeugorientierung α

über zwei Beschleunigungssensoren³ und einen Erdmagnetfeldsensor erfaßt⁴. Über die Transformation

$$\ddot{x} = \cos \alpha \ddot{x}_F - \sin \alpha \ddot{y}_F \quad (1)$$

$$\ddot{y} = \sin \alpha \ddot{x}_F + \cos \alpha \ddot{y}_F$$

oder kürzer

$$\ddot{\underline{x}} = \underline{A} \cdot \ddot{\underline{x}}_F \quad (2)$$

mit

$$\underline{A} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (3)$$

können die im fahrzeugfesten Bezugssystem gemessenen Beschleunigungen auf die Beschleunigungen im erdfesten Bezugssystem umgerechnet werden. An dieser Stelle muß angemerkt werden, daß die von den Sensoren gemessenen Beschleunigungen \ddot{x}_s, \ddot{y}_s mit den Fahrzeugbeschleunigungen \ddot{x}_F, \ddot{y}_F nur für den Fall übereinstimmen, daß keine Fahrbahnneigung vorliegt und das Fahrzeug weder Nick- noch Wankbewegungen durchführt, da ansonsten die Erdbeschleunigung fast immer berücksichtigt und zumindest quasistatisch kompensiert werden muß [4]. Über eine doppelte Integration läßt sich die Position des Fahrzeugs dann, ausgehend von einem Punkt bekannter Position \underline{x}_0 und Geschwindigkeit $\dot{\underline{x}}_0$, zu jedem Zeitpunkt ermitteln

$$\underline{x}(t) = \int_0^t \int_0^{t'} \ddot{\underline{x}}(t'') dt'' dt' + \dot{\underline{x}}_0 \cdot t + \underline{x}_0 \quad (4)$$

Wie alle Gleichungen der Mechanik ist Gl. (4) invariant gegenüber einer Zeitumkehr, man kann die Sache genauso zeitlich rückwärts betreiben, ohne daß sich etwas ändert. Ist die unfallbedingte Endstellung eines Fahrzeugs bekannt, so kann an diese Position angeknüpft und die Bewegung des Fahrzeugs vor dem Erreichen dieser Endstellung zurückverfolgt werden.

Beim UDS von MBB werden hingegen

- Fahrzeugbeschleunigung \ddot{x}_F
- Fahrzeugquerbeschleunigung \ddot{y}_F

- Gierbeschleunigung $\ddot{\alpha}$
- Fahrstrecke s

über Sensoren erfaßt. Zum Erfassen von Längs- und Querbesehleunigung dienen wiederum Beschleunigungssensoren. Zum Messen der Gierbeschleunigung soll ein Winkelbeschleunigungssensor eingesetzt werden. Obwohl diese drei Meßsignale zur Rekonstruktion der Bewegungslinie theoretisch ausreichend sind, wird aus praktischen Erwägungen zusätzlich die Fahrstrecke s über einen Impulsgeber an der Tachowelle aufgezeichnet. Die Signale dieses Sensors können nur in Phasen mäßiger Beschleunigung oder Verzögerung des Fahrzeugs verwendet werden, da der Reifenschlupf ansonsten zu große Meßfehler verursachen würde. Andererseits ist gerade in Phasen mäßiger Beschleunigung das Nutzsignal des Längsbeschleunigungssensors klein und der relative Meßfehler damit groß, so daß Längsbeschleunigungssensor und Weggeber sich gegenseitig ergänzen.

Da es sich bei der Fahrzeugbewegung um eine ebene Bewegung handelt, können nicht alle vier Signale unabhängig voneinander sein, es gilt

$$\ddot{x}^2 = \ddot{x}_F^2 + \ddot{y}^2 = \ddot{x}_F^2 + \ddot{y}_F^2 \quad (5)$$

Die Orientierung des Fahrzeugs läßt sich, ausgehend von einem Punkt mit bekannter Orientierung und bekannter Giergeschwindigkeit, analog zu Gl. (4) berechnen.

$$\alpha(t) = \int_0^t \int_0^{t'} \ddot{\alpha}(t'') dt'' dt' + \dot{\alpha}_0 \cdot t + \alpha_0 \quad (6)$$

Mit den vier aufgezeichneten Signalen bestehen dann größere Kombinationsmöglichkeiten bei der Auswahl der für die Rekonstruktion verwendeten zwei bis drei Signale.

4 Vor- und Nachteile der beiden Meßkonzepte

Beide konkurrierende Meßkonzepte stellen Kompromisse zwischen der erreichbaren Genauigkeit und den damit verbundenen Herstellungs- und Einbaukosten dar. Beginnen wir wieder mit den Vor- und Nachteilen des Kienzle-Konzeptes.

Hier hat man es sich offensichtlich zum Ziel gesetzt, die Bewegung des Fahrzeugs möglichst autark, ohne Rückgriff auf extern angebrachte Sensoren, zu erfassen. Entsprechend ist der Einsatz eines Weg- oder Geschwindigkeitsgebers nicht zwingend vorgesehen. Zum Preis dafür muß die Rekonstruktion der Fahrbewegung des Fahrzeugs zwangsweise ausgehend von der Endstellung erfolgen, da die Fahrgeschwindigkeit \dot{x} in anderen Punkten nicht bekannt ist. Wie bei allen Meßaufnehmern gibt es auch bei Beschleunigungssensoren eine Reihe möglicher Fehlerquellen, die eine Verfälschung des Meßsignals bewirken. Der besondere Nachteil besteht bei der Vorgehensweise gemäß Gl. (4) darin, daß insbesondere systematische Abweichungen über der Zeit integriert, also aufsummiert werden. Bei langen Auslaufvorgängen im Anschluß an die Kollision sind damit erhebliche Abweichungen zwischen berechneter und tatsächlicher Geschwindigkeit nicht auszuschließen.

Eine weitere systematische Fehlerquelle besteht in der begrenzten Auflösung der Sensoren, die bei kleinen Beschleunigungen einen relativ größeren Meßfehler verursacht. Bei zeitlich langen Fahrvorgängen mit niedriger Beschleunigung, beispielsweise Überholvorgängen auf der Autobahn, führt die begrenzte Auflösung im Zusammenspiel mit der langen Zeitspanne, über die integriert werden muß, zu größeren Fehlern.

Eine Quelle weiterer Fehler stellt der Erdmagnetfeldsensor zur Winkelmessung dar, der auf lokale Störungen des Erdmagnetfeldes, beispielsweise verursacht durch große Eisenmassen, reagiert. Auch elektromagnetische Felder können zu einer Verfälschung des Meßsignals führen. Diese Abweichungen sind systematischer Natur und wirken sich über die Transformation Gl. (1) auf die Rekonstruktion der Bewegungslinie Gl. (4) aus. Ungeklärt ist auch, welchen Einfluß die metallene Masse des Fahrzeugs selbst oder Kurzschlußströme im Bordnetz als Folge eines Unfalls auf den Magnetfeldsensor haben.

Was den UDS der Fa. MBB betrifft, kann man vielleicht am letztgenann-

ten Punkt anknüpfen. Hier werden durch den Einsatz eines Winkelbeschleunigungssensors die mit dem Erdfeld verbundenen Probleme vermieden. Doch auch der Einsatz von Winkelbeschleunigungssensoren ist nicht unproblematisch, was sich beispielsweise darin dokumentiert, daß sie von den meisten Herstellern von Beschleunigungssensoren gar nicht angeboten werden. Sensoren, die den für die Unfallrekonstruktion relevanten Bereich bis etwa 50 s^{-2} [5] abdecken, sind derzeit nicht zu vertretbaren Kosten zu erwerben. Bei MBB sollen nach eigenen Angaben mehrere Sensorbauarten in der Entwicklung sein, die die Drehungen während Kollisions- und Schleuderphase zu erfassen in der Lage sind. Gegenüber dem Einsatz eines Winkelsensors (Erdmagnetfeldsensor) ergibt sich bei Einsatz eines Winkelbeschleunigungssensors zusätzlich das Problem, daß systematische Fehler bei der Messung der rotatorischen Beschleunigung gemäß Gl. (6) beim Berechnen des Winkels aufsummiert werden, bevor sie über Gl. (1) in die Berechnung der Bahnkurve Gl. (4) eingekoppelt werden.

Die für beide Systeme geschilderten Schwierigkeiten beim Erfassen der Fahrzeugorientierung betreffen jedoch nur Unfallereignisse mit echt zweidimensionalen Fahrzeugbewegungen – vor, während oder nach der Kollision. Die Rekonstruktion eindimensionaler Fahrzeugbewegungen, beispielsweise bei Auffahrunfällen, bleibt davon unberührt.

Die bis jetzt im vorstehenden erläuterten Vorgehensweisen bei der Rekonstruktion der Bahnkurve stellen das meßtechnische Pendant zur bisher üblichen Rückwärtsrechnung bei der Rekonstruktion von Verkehrsunfällen dar. Mit der Verwendung eines Weggebers, wie er im UDS von MBB vorgesehen ist, eröffnen sich jedoch in bezug auf die Unfallrekonstruktion prinzipiell neue Möglichkeiten. Fährt ein Fahrzeug ungebremst in die Kollision, so ist seine Fahrgeschwindigkeit zum Kollisionszeitpunkt über die Weggeberdaten bekannt, so daß auf eine Rückwärtsrechnung vollständig verzichtet werden kann. Für den Fall einer Blockierbremsung vor der Kollision ist immer noch die Ausgangsgeschwindigkeit des Fahrzeugs bekannt, so daß über die während der Blockierbremsung aufgezeichneten Beschleunigungsdaten die Kollisionsgeschwindigkeit zeitlich vorwärts gerichtet berechnet werden kann. Eine Rückwärtsrechnung ist bei Verwendung eines Weggebers also nicht mehr unbedingt erforderlich. Sofern der Kollisionsort bekannt ist, kann man sich damit auf die Rekonstruktion der juristisch relevanten Pre-Crash-Phase beschränken.

Wozu dann noch der Aufwand mit der doppelten Integration der Beschleunigung bei der Rückwärtsrechnung? Ist es dann nicht von vornherein sinnvoller, sich unter Verwendung eines Weggebers auf die Rekonstruktion der Pre-Crash-Phase zu beschränken? Sieht man vom Mehraufwand beim Einbau ab, wäre die letzte Frage für den Fall zu bejahen, daß die Wegsensoren die entsprechende Genauigkeit aufweisen. Tatsächlich ist die Wegmessung über die Reifen jedoch mit einer Reihe von Meßfehlern behaftet, die systematische Abweichungen von bis zu 5%, in Extremfällen sogar mehr [2], hervorgerufen werden können. Die Fehler beruhen darauf, daß der tatsächliche Abrollumfang des Rades nicht mit dem für die Messung zugrundegelegten übereinstimmt. Die Abweichungen werden durch die Fertigungstoleranzen ($\pm 2\%$), die Abnutzung der Reifen (bis + 2,5%), die Beladung (bis + 1,5%), sowie falschen Reifeninnendruck⁵ hervorgerufen. Diese Fehlereinflüsse können zwar dadurch kompensiert werden, daß möglichst unmittelbar im Anschluß an den Unfall eine Nachkalibrierung vorgenommen wird, doch besteht einer der Hauptzwecke des UDS gerade darin, von derartigen Untersuchungen vor Ort unabhängiger zu werden. Doch selbst wenn man all diese Fehler in Kauf nimmt, liegt die Unsicherheit von 5% deutlich unterhalb der derzeit von seriösen Sachverständigen angegebene Ergebnisbandbreiten. Im übrigen besteht bei manchen Unfällen noch die Möglichkeit, die Weggeberdaten mittels der Beschleunigungssignale und der doppelten Integration Gl. (4) nachzukalibrieren.

5 Unfallversuche mit dem UDS

Nach der Beschäftigung mit Vor- und Nachteilen verschiedener Meßprinzipien sowie den damit verbundenen Fehlerquellen soll nunmehr über eine Überprüfung der Genauigkeit des UDS im Versuch berichtet werden. Die Versuche wurden im Rahmen des bereits erwähnten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens »UDS für Fahrzeuge« auf unserer Crash-Anlage mit den ersten Funktionsmustern des UDS von MBB

durchgeführt. Die Ergebnisse spiegeln den damaligen Entwicklungsstand der Geräte wieder. Die getesteten Funktionsmuster verfügten noch nicht über den für die Seriengeräte vorgesehenen Winkelbeschleunigungssensor, so daß die Rekonstruktion zweidimensionaler Bewegungen nur eingeschränkt möglich war. Im Rahmen der Versuchsdurchführung war es möglich, die Weggeber im eingebauten Zustand über das Abfahren einer ausgemessenen Strecke mit dem Versuchsfahrzeug sehr genau zu kalibrieren. Dadurch gelang es, die im letzten Abschnitt genannten Fehlerquellen bei der Wegmessung zu eliminieren. Bei der Bewertung der Versuchsergebnisse muß berücksichtigt werden, daß dies in der späteren Praxis nicht der (Regel-)Fall ist.

Über die mit dem Konkurrenzgerät von Mannesmann-Kienzle durchgeführten Versuche liegen uns keine vergleichbaren Unterlagen vor, so daß im Rahmen eines Aufsatzes keine Aussagen über dessen Genauigkeit möglich sind.

Die drei nachgestellten Unfälle umfaßten

- Fußgängerunfall
- Kettenauffahrunfall
- Kreuzungsunfall

und deckten damit ein möglichst großes Spektrum verschiedener Unfalltypen ab. Zum Zwecke einer realitätsnahen Simulation des Unfallgeschehens wurden die Fahrzeuge vor der Kollision beim Passieren bestimmter Auslösepunkte automatisch blockierend abgebremst. Bei sämtlichen Versuchen wurde eine große Anzahl von Versuchsparametern objektiv erfaßt. So wurden

- Startposition der Fahrzeuge
- Endstellungen der Fahrzeuge
- Punkt des Bremsbeginns
- Bremsausgangsgeschwindigkeiten
- Kollisionsgeschwindigkeiten

für sämtliche Fahrzeuge ermittelt. Die Dokumentation der erfaßten Versuchsparameter und die Auswertung der Aufzeichnung des UDS erfolgte in streng getrennten Arbeitsgruppen, so daß anschließend ein objektiver Vergleich möglich war.

5.1 Fußgängerunfall

Das Bild 5 zeigt das Ergebnis des Fußgängerunfalls. Die Darstellung des Versuchsaufbaus zeigt die Lage der beiden Lichtschranken, die Position des Dummys (50%-Mann) und die Endstellung des Pkw. Die Position der links in der Zeichnung befindlichen Lichtschranke ist mit dem Punkt des Bremsbeginns identisch. Nach Verstreichen der Schwellzeit (in allen Versuchen gut 0,3 s) beginnt die Spurzeichnung, die aufgrund eines Defektes in der Bremsanlage nur mit den Hinterrädern erfolgte.

Unterhalb der Darstellung des Versuchsaufbaus befindet sich der anhand der aufgezeichneten Daten rekonstruierte Geschwindigkeitsverlauf. Gegenüber den mittels der Lichtschranken gemessenen Geschwindigkeiten⁶ ergibt sich im Kollisionspunkt eine Abweichung von 1,3 km/h (+3%) und dem Bremspunkt eine Abweichung von 2,9 km/h (+6,4%). Die Kollision des Pkw mit dem gut 75 kg schweren Objekt erfüllte die damals implementierte Triggerbedingung nicht. Da die Aufzeichnung bei Stillstand des Fahrzeugs automatisch angehalten wurde, standen die Daten dennoch für die Auswertung zur Verfügung.

Hätte es sich um einen Realunfall gehandelt, wäre die Bestimmung des Kollisionsortes dem Sachverständigen anheim gefallen. Der Ermittlung der Bremsausgangsgeschwindigkeit und damit der Beantwortung der Frage, inwieweit die Vorderräder an der Bremsung beteiligt waren⁷, wäre er jedoch enthoben worden.

5.2 Kettenauffahrunfall

Welcher Sachverständige kennt sie nicht, die endlose Diskussion um die Kollisionsreihenfolge bei Kettenauffahrunfällen. Die Frage nach der zeitlichen Abfolge der Einzelkollisionen ist vielfach nicht mit Sicherheit zu beantworten. Das ist eine Folge des Umstandes, daß die Zeit als Rekonstruktionsparameter einer direkten Bewertung nicht zugänglich ist, sondern nur mittelbar, beispielsweise über die Bewegung der Fahrzeuge, erschlossen werden kann. Hier konnte das UDS, das gerade die Zeit zur Basis seiner Messungen macht, seine Überlegenheit voll ausspielen.

Bild 5 Versuchsaufbau und zugeordneter Geschwindigkeitsverlauf beim Fußgängerunfall
Fig. 5 Experimental setup and according velocity in the collision with the pedestrian

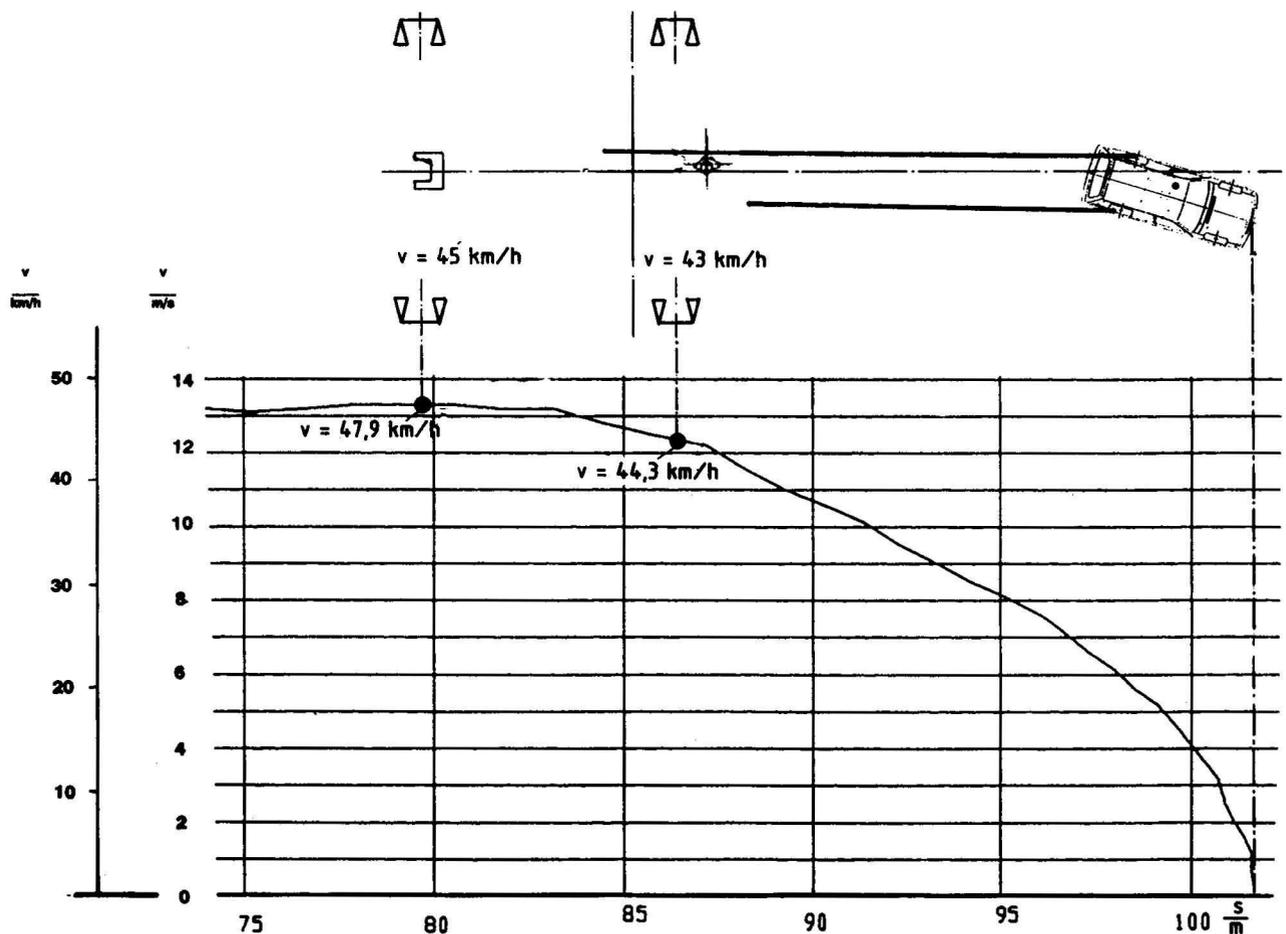
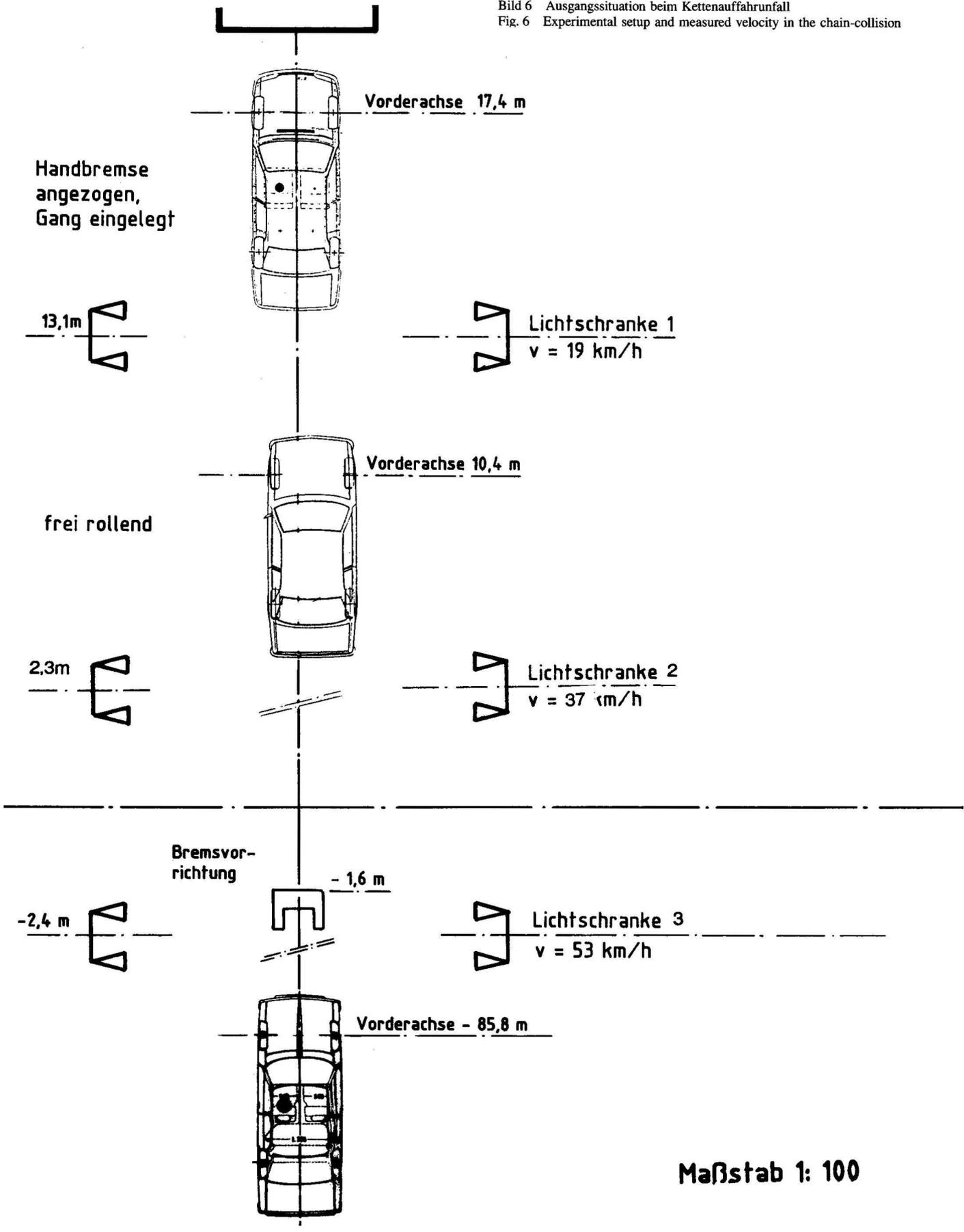


Bild 6 Ausgangssituation beim Kettenauffahrunfall
Fig. 6 Experimental setup and measured velocity in the chain-collision



Maßstab 1: 100

Die Ausgangssituation und die Geschwindigkeitsmeßwerte der Lichtschranken zeigt das **Bild 6**. Das Fahrzeug 1 bremste aus einer Ausgangsgeschwindigkeit von 53 km/h auf 37 km/h Kollisionsgeschwindigkeit ab und beschleunigte beim Aufprall das stehende Fahrzeug 2, das freiliegend mit 19 km/h auf Fahrzeug 3 auffuhr. Fahrzeug 3 fuhr trotz angezogener Handbremse vor den Betonblock, so daß Fahrzeug 2 mit geringer Restgeschwindigkeit ein weiteres Mal auf Fahrzeug 3 auffuhr, das daraufhin nochmals gegen den Block stieß.

Dieser Kollisionsablauf läßt sich aus den Aufzeichnungen der drei UDS lückenlos rekonstruieren, vgl. **Bild 7**. Die Fahrzeuggeschwindigkeiten spielen bei Kettenauffahrunfällen zur Klärung der Schuldfrage eine untergeordnete Rolle. Über den UDS wurde die Kollisionsgeschwindigkeit von Fahrzeug 2 zu 19 km/h ($\pm 0\%$), die Kollisionsgeschwindigkeit von Fahrzeug 1 zu 34 km/h ($- 8,1\%$) und die Bremsausgangsgeschwindigkeit von Fahrzeug 1 zu 48 km/h ($- 9,4\%$) bestimmt. Trotz dieser Abweichungen wäre beim Einsatz des UDS im Realunfall eine unkomplizierte und gerechte Schadenregulierung möglich gewesen.

5.3 Kreuzungsunfall

Waren die ersten beiden Unfälle zur Erprobung der Funktionsmuster noch eindimensional, so sollte mit dem Kreuzungsunfall **Bild 8** und **Bild 9**, ein zweidimensionales Kollisionsereignis in die Erprobung einfließen. Zu diesem Zweck wurden beide Kollisionsgegner gemeinsam beschleunigt. Das Geschwindigkeitsverhältnis wurde über Flaschenzüge fest auf 2 : 1 eingestellt. Bei diesem Unfall wurde lediglich das schnellere der beiden Fahrzeuge vor der Kollision verzögert, da sich ansonsten die Koordinaten der Bewegungsvorgänge zu schwierig dargestellt hätte. Die Bremsausgangsgeschwindigkeit des schnelleren Fahrzeugs wurde über eine Lichtschranke zu 36 km/h ermittelt; für das langsamere Fahrzeug ergibt sich entsprechend eine Ausgangs- und Kollisionsgeschwin-

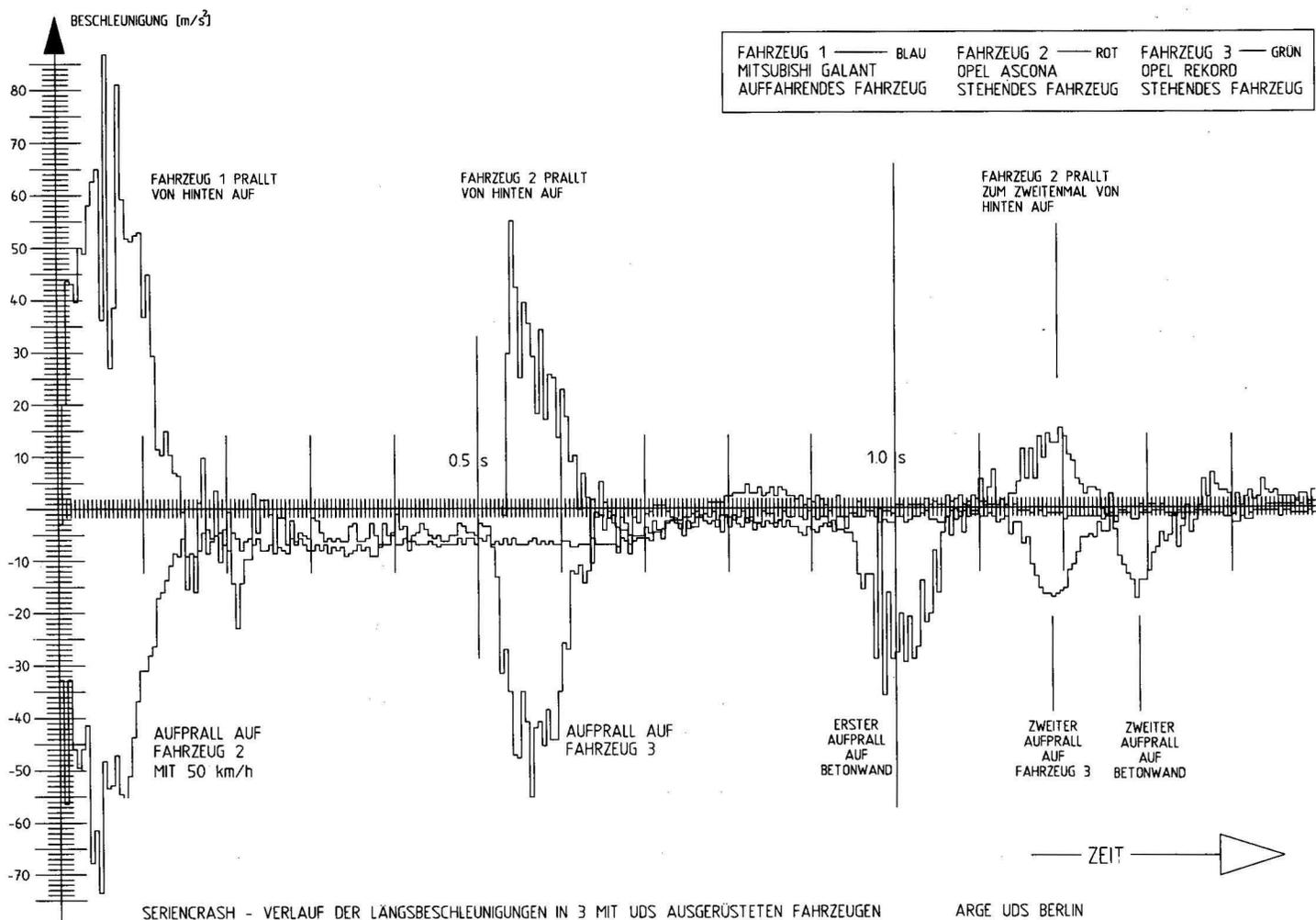
digkeit von 18 km/h. Eine Ermittlung der Kollisionsgeschwindigkeit des gebremsten Fahrzeugs wäre bei diesem Versuch nur mit einigem Aufwand möglich gewesen, da die Platzierung einer Lichtschranke auf der Fahrbahn direkt vor der Kollisionsstelle aus geometrischen Gründen nicht möglich war. So beschränkte man sich auf die Ermittlung der Geschwindigkeit während des Bremsvorgangs in einem Punkt möglichst nahe am Kollisionspunkt⁶. Hier wurde eine Geschwindigkeit von 45,5 km/h ermittelt.

Das schnellere Fahrzeug wurde durch den seitlichen Anstoß in Rotation versetzt und vollführte während des Auslaufs nahezu eine 90°-Drehung. Da die für die Versuche eingesetzten Funktionsmuster des UDS zum Zeitpunkt der Erprobung noch nicht über einen Winkelbeschleunigungssensor verfügten, war eine Rekonstruktion der Auslaufbewegung gemäß Gl. (1), (4) und (6) noch nicht möglich, die Rekonstruktion der Kollisionsgeschwindigkeit dieses Fahrzeugs stützte sich hauptsächlich auf die Weggeberdaten. Da das langsamere der beiden Fahrzeuge völlig ungebremst war, konnte sich die Rekonstruktion auch für dieses Fahrzeug hauptsächlich auf die Weggeberdaten stützen. Da die Weggeber unmitelbar vor den Versuchen kalibriert worden waren, ist die Genauigkeit der Rekonstruktion nicht weiter verblüffend. Die Bremsausgangsgeschwindigkeit des schnelleren Fahrzeugs ergab sich zu 35 km/h ($-2,8\%$), die Fahrgeschwindigkeit in der Mitte der zweiten Lichtschranke zu 34,7 km/h ($+ 0,6\%$). Für das langsamere Fahrzeug wurde die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Abkoppelns von der Beschleunigungseinrichtung zu 18 km/h ($\pm 0\%$) bestimmt.

Bild 7 Überlagerung der einzelnen Aufzeichnungen in den Kurzzeitspeichern beim Kettenauffahrunfall [6]

Fig. 7 Overlapping of the different recordings of the ADRs in the chain-collision

⁶ Die Meßgenauigkeit der verwendeten Polizei-Lichtschranken liegt, wie von uns vorgenommene Messungen ergaben, unterhalb von 1 km/h.





-0,08 s



+0,16 s



0 s kurz nach Erstkontakt



+0,24 s



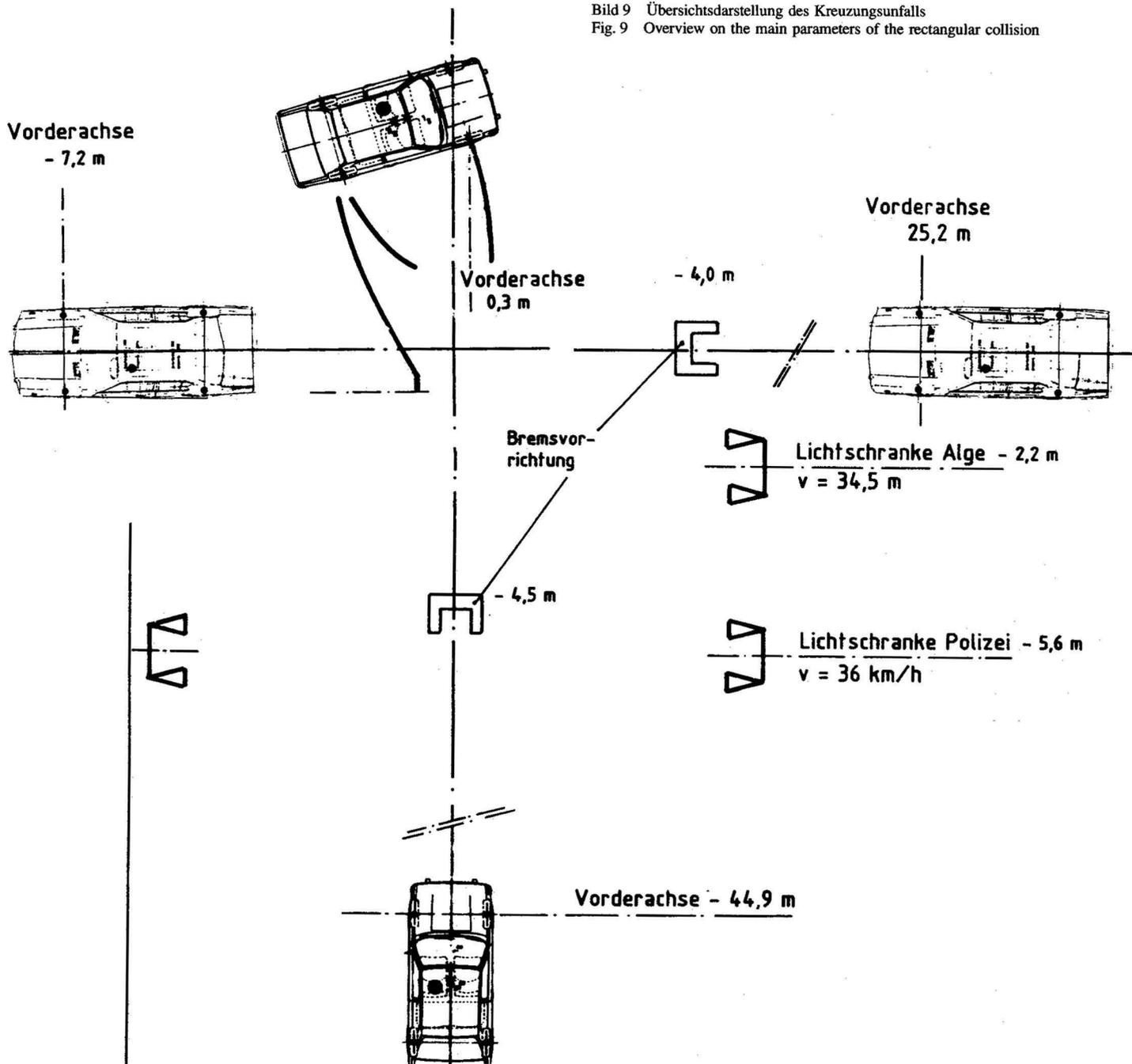
+0,08 s



+0,32 s

Bild 8 Kollisionsablauf beim Kreuzungsunfall
Fig. 8 Motion of the cars during the rectangular collision

Bild 9 Übersichtsdarstellung des Kreuzungsunfalls
Fig. 9 Overview on the main parameters of the rectangular collision



6 Aufbereitung der Daten beim Realunfall

Durch die Auswertung der drei Unfallversuche im vorigen Abschnitt wurde die Leistungssteigerung, die mittels der datenbasierten Rekonstruktion gegenüber der bisherigen Vorgehensweise erreicht werden kann, offensichtlich. Auf welchem Wege können nun beim Realunfall die aufgezeichneten Daten in die Unfallrekonstruktion einfließen und in welcher Form sollen sie aufbereitet werden?

Um die im UDS gespeicherten Daten weiterverarbeiten zu können, müssen sie zunächst über die Schnittstelle ausgelesen werden und auf ein gängiges Speichermedium transferiert werden. Hierbei erfolgt auch eine Dechiffrierung der abgespeicherten Daten, da beide Hersteller eine Verschlüsselung der Aufzeichnung vornehmen, um die Verwendung der Aufzeichnung durch Unbefugte zu verhindern. Das Auslesen der aufgezeichneten Daten soll den Vorstellungen bei Mannesmann-Kienzle zufolge durch den Sachverständigen erfolgen, der auch die Auswertung vornimmt, während das Nutzungskonzept von MBB ein zentrales Datensicherungs-Center vorsieht. Die letzte Vorgehensweise bietet einige Vorteile, die gegen die damit verbundenen Umstände abzuwägen sind. So wird beispielsweise das Dechiffrierungsprogramm bei dieser Vorgehensweise lediglich an einer zentralen Stelle eingesetzt, so daß eine unbefugte Verbreitung unwahrscheinlich ist. Sollte es hardwareseitige

Probleme beim Auslesen der Daten geben, so befindet sich das Gerät bereits in den Händen der richtigen Fachleute. Außerdem ist bei dieser Vorgehensweise eine Rekalibrierung der Sensoren innerhalb des UDS möglich. Auf diese Weise kann sicher ausgeschlossen werden, daß mögliche Änderungen der Sensorparameter durch Alterungsprozesse bei der Umrechnung der Aufzeichnung in physikalischen Größen zu Fehlern führen. Mannesmann-Kienzle setzt, was das Auslesen und Dechiffrieren der aufgezeichneten Daten betrifft, auf die Qualifikation und Verantwortung des bestehenden Sachverständigenwesens. Dort ist man der Ansicht, daß ein unbefugtes Verbreiten von Dechiffrierungsprogrammen und Manipulationen auch durch ein zentrales Datensicherungs-Center nicht verhindert werden können.

Im Anschluß an den ersten Schritt der Auswertung stehen die noch nicht weiter manipulierten Rohdaten auf einem gängigen Speichermedium, in der Regel eine Floppy-Disk, zur Verfügung. Die auf diesem Speichermedium befindlichen Daten bilden dann die Grundlage der datenbasierten Rekonstruktion durch den Unfallsachverständigen. Ihm obliegt nun die Aufgabe, die zur Rekonstruktion des Unfalls, bzw. zur Beantwortung der Beweisfragen notwendige Auswertung der Daten vorzunehmen. Die dazu erforderlichen Programme werden in absehbarer Zeit durch die Hersteller von UDS angeboten werden. Die Auswertung umfaßt die Einbeziehung der ansonsten bekannten Anknüp-

fungstatsachen, sowie die Berücksichtigung etwaiger Besonderheiten der Unfallstelle, wie Fahrbahnquerneigung oder -längsneigung. Im Anschluß an diesen Rekonstruktionsschritt sind die Bewegungen der Fahrzeuge vor und nach der Kollision bekannt. Den Abschluß der Rekonstruktion bildet wie bisher die Zuordnung der Fahrvorgänge und eine darauf aufbauende Vermeidbarkeitsbetrachtung.

Entschließt sich der Sachverständige, die Zusammenhänge grafisch in Weg-Zeit-Diagramm zu illustrieren, so ist zu berücksichtigen, das die simple Unterscheidung zwischen Fahrlinien konstanter Geschwindigkeit und Kurven konstanter Beschleunigung, wie sie bisher vorgenommen wurde, nicht mehr möglich ist. Die Übergänge sind nunmehr fließend, da die Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs niemals konstant ist und der Übergang in die Vollverzögerungsphase nicht schlagartig erfolgt, wie bei der Darstellung bisher idealisierend angenommen wurde, sondern mit einem kontinuierlichen Anstieg der Verzögerung über einen kurzen Zeitraum verbunden ist. Aus diesem Grunde sollten die Bewegungsgeschwindigkeit und die Beschleunigung der Fahrzeuge unterhalb des Weg-Zeit-Diagramms ebenfalls über dem Weg aufgetragen sein. Auf diese Weise sind an jedem Punkt des Weg-Zeit-Diagramms Geschwindigkeit und Beschleunigung durch einfaches Herunterloten zu ermitteln. Auch die Zustände der unfallrelevanten Statusdaten können unterhalb des Weg-Zeit-Diagramms über dem Weg aufgetragen werden. Obwohl es damit prinzipiell möglich ist, den Zustand eines Fahrzeugs an jedem Punkt durch einfaches Herunterloten zu ermitteln, sollten markante Punkte, wie beispielsweise »Bremsbeginn« oder »Setzen des Blinkers« in den Bewegungslinien im Weg-Zeit-Diagramm markiert und entsprechend beschriftet werden. Außerdem empfiehlt es sich, die Geschwindigkeiten zu markanten Zeitpunkten, wie beispielsweise beim Überfahren einer Haltelinie, als Zahlenwert in das Weg-Zeit-Diagramm einzutragen.

Genau wie bisher üblich, sind in das Diagramm die sich im Rahmen der Vermeidbarkeitsbetrachtung ergebenden Bewegungslinien einzuzichnen. Die prinzipielle Vorgehensweise bei der Darstellung des Rekonstruktionsergebnisses ändert sich damit nicht, wohl aber wird die Darstellung in der Regel komplexer werden.

7 Weitere Entwicklung des UDS und der Auswertesoftware

Die bisher durchgeführten Unfallversuche geben einen Ausblick auf die Leistungsfähigkeit der datenbasierten Unfallrekonstruktion. Die Nutzungskonzepte sehen eine Interpretation der Rohdaten mittels eines Programmsystems durch den technischen Sachverständigen vor. In unserem Hause hat man bereits recht konkrete Vorstellungen, wie die Ergebnisse der datenbasierten Rekonstruktion für die Präsentation grafisch aufzubereiten sind. Der Weg, den die zukünftige Entwicklung des Gerätes nehmen wird, scheint damit vorgezeichnet.

Als nächster Schritt der Entwicklung werden Flottenversuche⁹ anstehen, bei denen eine große Zahl von Fahrzeugen mit Prototypen des UDS ausgestattet wird wobei man hofft, daß es zu einer großen Zahl von Vorfällen kommt, die euphemistisch als »Schadensereignisse« bezeichnet werden. Hier wird sich zeigen, wie brauchbar die Aufzeichnungen in der Praxis sind.

Parallel dazu ist es erforderlich, weitere Unfallversuche unter kontrollierten Bedingungen durchzuführen, um über den Vergleich der Rekonstruktion mit gemessenen Parametern Aussagen über die erzielbare

Genauigkeit abzuleiten. Wie in den vorausgegangenen Abschnitten deutlich wurde, ist die über den UDS durchgeführte Rekonstruktion nicht das Maß aller Dinge, sondern unterliegt, wie jede Messung, Toleranzen und möglicherweise sogar systematischen Fehlern. Die wichtigste Forderung ist in diesem Zusammenhang die nach der Transparenz des Verfahrens. Die Funktionsweise der Geräte und die mathematischen Grundlagen bei der Rekonstruktion müssen mitsamt allen Fehlermöglichkeiten vom Hersteller dargelegt werden, damit der Sachverständige die volle denkbare Ergebnisbandbreite aufzeigen kann. Die Genauigkeit der Geräte in Kombination mit den zugehörigen Software-Werkzeugen könnte im Rahmen einer Abnahmeprüfung beispielsweise von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt überprüft werden. In einem weiteren Schritt könnten umgekehrt auch Mindestanforderungen an die Genauigkeit der Geräte aufgestellt und überprüft werden.

Was die Software-Werkzeuge zur Auswertung der aufgezeichneten Daten betrifft, so kann im Hinblick auf die demnächst Betroffenen nur die Hoffnung ausgesprochen werden, daß die Praktiker in die Entwicklung der Programme einbezogen werden, damit die Programme nachher auch handhabbar sind. Die Erfahrung lehrt, daß die Handhabung anspruchsvoller Programme theoretisches Vorwissen über die Arbeitsweise des Programms und die mathematischen Grundlagen erfordert, ein Wissen, das außerhalb des derzeitigen Aufgabenfeldes des Unfallsachverständigen liegt. Eine spezielle Weiterbildung für alle diejenigen, die mit derartigen Programmen arbeiten wollen, wäre deshalb dringend zu empfehlen.

Aus der Sicht des Praktikers ist es bedauerlich, daß es zumindest mittelfristig zwei konkurrierende Systeme mit unterschiedlichen Arbeitsprinzipien und damit verbundenen spezifischen Fehlereinflüssen geben wird. Langfristig sollte in diesem Zusammenhang im Interesse aller Beteiligten eine Vereinheitlichung, sprich Normung, angestrebt werden.

8 Zusammenfassung

Trotz einer Reihe technischer Schwierigkeiten ist beim Einsatz der datenbasierten Unfallrekonstruktion eine deutliche Leistungssteigerung gegenüber der bisherigen Vorgehensweise zu erwarten. Es gibt Unfalltypen, die überhaupt erst bei Einsatz des Unfalldatenschreibers einer detaillierten Rekonstruktion zugänglich werden.

Der Einsatz von UDS macht den technischen Sachverständigen keineswegs überflüssig; sein Aufgabenfeld wird angesichts dieser neuen Entwicklung eher anspruchsvoller. Auch wenn der technische Sachverständige in manchen Fällen, so zum Beispiel wenn beide Fahrzeuge über einen Unfalldatenschreiber verfügen, Teilen seiner Aufgaben, wie der Auslauf- und Kollisionsanalyse, entzogen wird, so ist doch Spezialwissen zu Datenauswertung und Fehlerquellen des UDS erforderlich, um die neuen Rekonstruktionswerkzeuge nutzen zu können. Die Vorstellung, daß technische Laien anhand der vom UDS aufgezeichneten Daten eigenständig Unfallrekonstruktion betreiben können, ist als illusorisch zu bezeichnen. Es bleibt weiterhin die Aufgabe des technischen Sachverständigen, die gewachsene Fülle technischer Anknüpfungstatsachen zu einem Bild des Unfallablaufs zusammenzufügen. Dieses Bild in Zukunft genauer nachzeichnen zu können, wird viele Sachverständige eine größere Befriedigung in ihrer Tätigkeit finden lassen.

Wir möchten an dieser Stelle Herrn Dr. Laucht von der Fa. MBB sowie den Herren Dipl.-Ing. Pfeiffer und Dipl.-Phys. Barth von der Fa. Mannesmann-Kienzle danken, die zur inhaltlichen Gestaltung des Manuskriptes durch zahlreiche Anregungen beitrugen.

Literaturnachweis

- [1] Kolley K., Zottnik E., Heigl H., Laucht H., Hugemann W., Schimmelpfennig K.-H., Meissner S.: Ergebnisse des FuE-Vorhabens »Unfalldatenschreiber (UDS) für Fahrzeuge« Phase II Schlußbericht der ARGE UDS, Berlin. Zu beziehen über TIB – Technische Informationsbibliothek Hannover – Deutsche Forschungsberichte-, Welfengarten 1 B, 3000 Hannover
- [2] Hugemann W., Schimmelpfennig K.-H.: Verbesserung von Verkehrsunfallrekonstruktion und Rechtsfindung durch den Unfalldatenschreiber, Analyse auf Grundlage dreier Unfallversuche, Studie, Selbstverlag 1990

- [3] Patentanmeldung Nr. P 41 32 981.3: Verfahren zur Rekonstruktion der Bewegungstrajektorie eines Straßenfahrzeugs. Anmelder: Ing.-Büro Schimmelpfennig + Becke
- [4] Knur J.: Aufbau und Inbetriebnahme eines Meßwertfassungssystems auf PC-Basis und darauf aufbauende Erfassung relevanter physikalischer Größen bei typischen Fahrmanövern und Fahrkollisionen. Diplomarbeit an der Fachhochschule Osnabrück 1989
- [5] Burg/Lindenmann: Unfallversuche. Verlag Information Ambs GmbH, Kippenheim 1982
- [6] Laucht, H.; Zottnik, E.: Unfall-Dokumentations-System .
ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 93 (1991), S. 760-771.

¹ Hier sind lediglich die Unfälle nach Markteinführung der Geräte gemeint. Tatsächlich werden die ersten Unfälle bereits bei den Flottenversuchen (vgl. Abschnitt 7) erwartet.

¹ Als Ringspeicher wird eine Speicherorganisation bezeichnet, bei der die aktuelle Information auf der jeweils nächsten Speicherstelle abgelegt wird. Bei Erreichen des Speicherendes wird am Speicheranfang mit der Speicherung fortgefahren. Der Speicheranfang schließt sich also sozusagen wie bei einem Ring an das Speicherende an.

² Die Anforderungen an die Ganggenauigkeit der Uhr betreffen lediglich den Zeitraum zwischen Unfall und Auswertung, da beim Ankoppeln des UDS an die Auswerteinrichtung die Normalzeit problemlos zur Verfügung steht und nur die seit dem Unfall verstrichene Zeitspanne über die interne Uhr bestimmt wird.

³ Möglicherweise werden, vergleichbar den beiden parallel laufenden Ringspeichern, jeweils zwei Beschleunigungssensoren zum Messen einer Beschleunigungskomponente verwendet, da die notwendigen Meßbereiche für den normalen Fahrbetrieb und den Crash-Fall sehr verschieden sind.

⁴ Optional soll auch der Anschluß eines Weggebers möglich sein.

⁵ Einer repräsentativen Untersuchung des TÜV Rheinland, die im TÜV-Jahresbericht 1984 veröffentlicht wurde, entnimmt man, daß nur etwa 1/4 aller Pkw-Fahrer die Reifen ihres Fahrzeugs mit dem vorgesehenen Druck beaufschlagen.

⁷ Die mittlere Bremsverzögerung lag im Versuch bei 5 m/s^2 .

⁸ Die Differenz zwischen der Genauigkeit in der Mitte der Lichtschranke und der von der Lichtschranke angezeigten Geschwindigkeit ist auch für vollgebremste Fahrzeuge denkbar gering. Sie beträgt bei einer Geschwindigkeit von 36 km/h (10 m/s) maximal $0,03 \text{ km/h}$.

⁹ Den Angaben der beiden Hersteller zufolge läuft die Felderprobung bereits.

