

# Einsatz von mess- und versuchstechnischen Methoden zur Verkehrsunfallrekonstruktion

## 1 Einleitung

Bei der Analyse von Verkehrsunfällen basiert das technische Gutachten des Sachverständigen in der Regel auf bekannten physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Diese Zusammenhänge werden durch mathematische Formeln beschrieben, welche an die aktuelle Problemstellung über deren Parameter angepasst werden. Solche Parameter sind zB die Fahrgeschwindigkeit, die Reaktionszeit, die Bremsverzögerung oder die Fahrzeugmasse. Eine Reihe solcher unfallspezifischer Parameter liegen dem SV durch die Ergebnisse der Unfallaufnahme unmittelbar vor (zB vermessene Fahrzeugendlagen und Bremsspuren) oder mittelbar vor, wenn Unfallfotos photogrammetrisch ausgewertet werden. Eine nicht minder große Zahl solcher Parameter werden (oder können) jedoch nicht am Unfallort erhoben werden, sind jedoch erforderlich, um selbst simple Gesetzmäßigkeiten der Mechanik in der Unfallanalyse anwenden zu können. So ist zum Beispiel die Kenntnis des Parameters Bremsverzögerung notwendig, um aus einer Bremsstrecke auf die Bremsdauer rückrechnen zu können. Wird die Auslaufphase eines Fahrzeuges nach einer Kollision mittels numerischer Computersimulation analysiert, dann wird dazu eine weit größere Anzahl von Parametern benötigt. Sind diese Daten teilweise unbekannt, so ist der Sachverständige gezwungen, entweder auf Erfahrungswerte (Schätzwerte) zurückzugreifen, oder, im Falle, dass diese auch nicht vorliegen, sich durch geeignete Maßnahmen plausible und nachvollziehbare Daten zu beschaffen. Eine solche Maßnahme kann eine konkrete Messung sein, bei welcher der SV durch den Einsatz von messtechnischen Methoden das erforderliche Datenmaterial gewinnt. Liegen hingegen komplexe physikalische Vorgänge vor, welche sich uU einer technischen (formelmäßigen) Beschreibung weitgehend entziehen, dann ist ein sachgemäß ausgeführtes Experiment oft die einzige Möglichkeit, um nachvollziehbare technische Schlüsse ziehen zu können. In diesem Beitrag wird ein Überblick über mess- und versuchstechnischen Möglichkeiten geboten, welche dem verkehrstechnischen Sachverständigen heute bei der Unfallrekonstruktion zur Verfügung stehen, und es werden einige konkrete Anwendungsfälle gezeigt.

## 2 Begriffsbestimmungen

Eine **Messung** ist der experimentelle Vorgang, durch den ein spezieller Wert einer physikalischen Größe als Vielfaches einer Einheit oder eines Bezugswertes ermittelt wird. Unter dem Begriff **Messen** versteht man das „Ermitteln eines Wertes durch quantitativen Vergleich der Messgröße mit einer Einheit (Normal)“ (DIN 1319 Teil 1). Messen ist also der Vergleich mit einer Einheit und/oder das Zählen selbiger, zum Zwecke des Informationsgewinns über das Messobjekt. Jede Messung stellt daher ein, häufig sehr einfaches, Experiment dar.

Ein **Experiment** (von lateinisch *experimentum* „Versuch, Beweis, Prüfung, Probe“) im Sinne von Wissenschaft und Technik ist eine methodisch angelegte Untersuchungsanordnung. Experimente gibt es in einer Vielzahl von Wissenschaften, besonders in den Naturwissenschaften und in der Psychologie. Das Experiment ist eine besondere Form der Beobachtung, welche zB im Falle einer Messung aus dem Vergleich des Messobjekts mit einer Referenzgröße besteht.

Das Experiment unterscheidet sich von der reinen Betrachtung

dadurch, dass zunächst eine genau definierte Situation herbeigeführt wird. Anschließend wird das Verhalten eines Systems in dieser definierten Situation beobachtet beziehungsweise gemessen, und ggf mit den Voraussagen des zugrunde liegenden Modells verglichen. Auf diese Weise kann eine auf einer theoretischen Überlegung basierende Behauptung (These/Hypothese) untersucht werden und das Experiment kann diese entweder stützen oder widerlegen.

## 3 Systematik einer Messung bzw eines Experiments

Viele Messaufgaben werden im Alltag oder in der beruflichen Praxis routinemäßig erledigt, ohne dass man sich dabei über eine systematische Vorgangsweise Gedanken macht. Bei ausgefallenen Messaufgaben oder solchen, die nur selten durchgeführt werden, kann es aber nützlich sein, sich einer systematischen Vorgangsweise zu bedienen:

1. Eindeutige **Definition der Messaufgabe** (des Messproblems) und der **Messgröße**: Es ist die Aufgabe und die physikalische Messgröße an dem Messobjekt zu definieren.
2. Festlegung der **Maßeinheit** für das Messergebnis gemäß dem Internationalen Einheitensystem mit seinen sieben Basiseinheiten und den abgeleiteten Größen.
3. Festlegung der **Rand- und Rahmenbedingungen** unter denen die Messung/der Versuch durchgeführt werden soll. Dazu zählen zB Umweltparameter (Temperatur, Beleuchtung, etc) aber auch der Zustand des Mess- oder Versuchobjektes (Beladung, Feuchtigkeit, etc).
4. Wahl einer **Messeinrichtung** oder eines Messgerätes. Ist ein fertiges Messgerät für die Messaufgabe vorhanden, kann es verwendet werden. Ansonsten sind **Messverfahren, Messsprinzip, Messmethode** festzulegen und die Messeinrichtung ist aufzubauen.
5. **Kalibrieren** der Messeinrichtung bzw des Messgerätes. Um auf die Basiseinheit rückführen zu können, muss das Gerät zuvor kalibriert worden sein. Das Kalibrieren ist die Ermittlung und Definition des funktionalen Zusammenhangs zwischen Eingangsgröße (x-Wert) und Ausgangsgröße (y-Wert) für dieses Messgerät.
6. **Durchführen der Messung** und Ermitteln des Messergebnisses. Es können auch mehrere Messungen (Vergleichs-/Wiederholmessungen) durchgeführt werden, von denen alle Messergebnisse aufzunehmen sind.
7. **Berücksichtigung der Auswirkungen von Einflussgrößen**. Korrektur von systematischen Messabweichungen und Ermitteln der Messunsicherheit.
8. Ermitteln des **vollständigen Messergebnisses**. Ein Messergebnis besteht immer aus dem Messwert (gegebenenfalls Mittelwert aus einer oder mehreren Messreihen) und der angewandten Maßeinheit. Zusätzlich kann der Messfehlerwert zB abgeschätzter Fehler, der maximale Fehler oder die Standardabweichung angegeben werden.

## 4 Das Internationale System der Einheiten (SI-Einheiten)

Wie im vorigen Abschnitt angeführt, ist vor einer Messung die Maßeinheit für die Messgröße festzulegen und das Messergeb-

# Einsatz von mess- und versuchstechnischen Methoden zur Verkehrsunfallkonstruktion

nis dementsprechend anzugeben. Physikalischen Größen werden im Internationalen Einheitensystem (SI-System) Einheiten zugeordnet. Gemäß der 1954 beschlossenen Konvention wurden *Basiseinheiten* zu sieben Basisgrößen festgelegt. Diese sind in der folgenden Tabelle angegeben:

Größe	Einheit	Einheitenzeichen
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Stromstärke	Ampere	A
Temperatur	Kelvin	K
Stoffmenge	Mol	mol
Lichtstärke	Candela	cd

Sieht man von der Stromstärke und der Stoffmenge ab, dann haben alle diese Basisgrößen eine wesentliche Bedeutung in der Arbeit eines unfalltechnischen SV. Neben den Basiseinheiten umfasst das Internationale Einheitensystem auch abgeleitete Einheiten, die aus einer oder mehreren dieser Basiseinheiten durch Multiplikation oder Division zusammengesetzt sind. So können beispielsweise Flächen in Quadratmeter (m<sup>2</sup>) oder Geschwindigkeiten in Meter pro Sekunde (m/s) angegeben werden. Einigen, nämlich 22 dieser zusammengesetzten Einheiten, wurden Namen und Symbole zugeordnet, die selbst wieder mit allen Basis- und abgeleiteten Einheiten kombinierbar sind. Dazu zählen ua die Kraft, der Druck, die Arbeit und die Leistung. Die folgende Tabelle listet einige, in der Mechanik wichtige, *abgeleitete Einheiten* auf.

Größe	Name	Einheitenzeichen	in SI-Basiseinheiten
Ebener Winkel	Radian	rad	m/m
Kraft	Newton	N	kg m/s <sup>2</sup>
Druck	Pascal	Pa	N/m <sup>2</sup> = kg/(m·s <sup>2</sup> )
Energie, Arbeit	Joule	J	W s = N m = kg m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>
Leistung	Watt	W	J/s = N m/s = kg m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>

Anderen gebräuchlichen mechanischen Größen wie beispielsweise der Geschwindigkeit oder der Beschleunigung sind keine eigenen Einheitenamen und Symbole zugeordnet, sodass die korrekten Einheiten *Meter pro Sekunde* (m/s) bzw. *Meter pro Sekundenquadrat* (m/s<sup>2</sup>) lauten.

Gelegentlich werden Beschleunigungen als Vielfache der Fallbeschleunigung auf der Erde angegeben (zB 1,4 g), wobei der Buchstabe „g“ die Schwere- oder Fallbeschleunigung  $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$  (häufig fälschlich als „Erdbeschleunigung“ bezeichnet) angibt. Streng genommen ist eine derartige Angabe nicht zulässig, gelegentlich mag sie aber zur Veranschaulichung ganz nützlich sein. Bekanntermaßen grundsätzlich falsch ist natürlich die in der Umgangssprache verwendete Bezeichnung „Stundenkilometer“, statt der korrekten Angabe „Kilometer pro Stunde“ (km/h).

Bezüglich des Unterschiedes zwischen Gewicht und Masse herrscht leider immer noch mancherorts Unkenntnis, welche auch noch in amtlichen Dokumenten ihren Niederschlag findet. Natürlich trägt die ungenaue Umgangssprache hier dazu bei, in der fälschlicherweise „Gewicht“ und „Masse“ Synonyme sind und daher das Gewicht eines Körpers mit der Einheit für die Masse (kg) angegeben wird. Erschwert wird das Durchsetzen der richtigen Bezeichnungen auch dadurch, dass das Bestimmen der Masse eines Körpers normalerweise über die Messung der Gewichtskraft durch Wägen erfolgt.

## 5 Messmethoden und -anwendungen

Die beiden Tabellen der Basiseinheiten bzw der abgeleiteten Größen eignen sich auch zur groben Gliederung typischer Messmethoden und -aufgaben in der Arbeit des Sachverständigen.

### 5.1 Längenmessung

Die Messung von Strecken, Abständen, Entfernungen, etc zählt wohl zu jener messtechnischen Aufgabe, welche am häufigsten vom verkehrstechnischen Sachverständigen durchzuführen ist. Typische Messaufgaben sind das Vermessen von Unfallstellen und Unfallspuren, das Bestimmen von Fahrzeugdeformationen und das Abmessen von geometrischen Fahrzeugparametern. Als Messmittel kommen dabei nach wie vor die „Klassiker“ Maßband und Messrad zum Einsatz (siehe Bild 1). Fortschritt und Massenproduktion im Bereich der Lasertechnologie haben aber bei Laser-Entfernungsmessern in den letzten Jahren zu erheblichen Preisreduktionen geführt und solche Geräte leistbar gemacht.

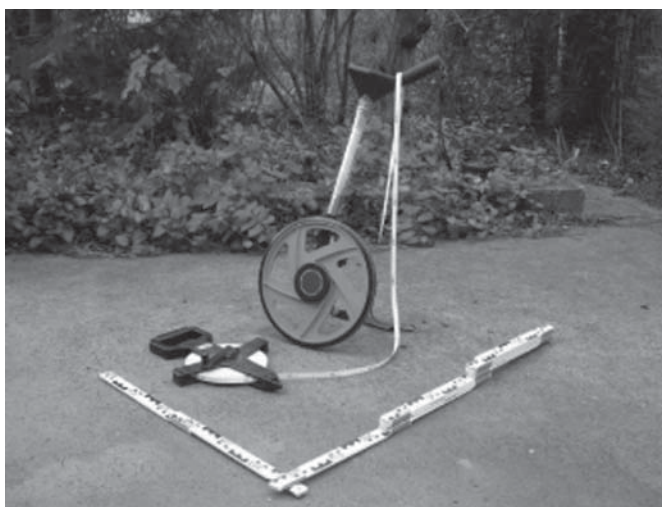


Bild 1: Messrad, Maßstab und Maßband zur Messung von Längen im Bereich von Zentimeter bis Meter.

Die eigentliche messtechnische Aufgabe des Vermessens einer Unfallstelle stellt mit den heutigen Messmitteln keine besondere Schwierigkeit dar. Zu beachten sind jedoch auch die Rahmenbedingungen, insbesondere das Verkehrsaufkommen an der Unfallstelle, welche die Arbeit für den SV erheblich erschweren können. In Einzelfällen kann es daher erforderlich sein, die Messungen an Ort und Stelle zu minimieren, auf eine fotografische Dokumentation auszuweichen und Messgrößen über den Umweg der fotogrammetrischen Bildauswertung zu gewinnen.

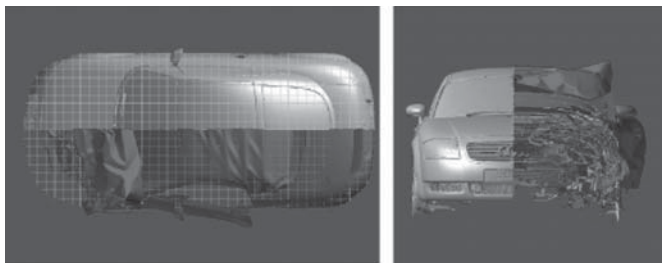


Bild 2: Digitales Fahrzeugmodell eines Unfallfahrzeuges sowie eines unverformten Vergleichsfahrzeuges. © Wissenschaftlicher Dienst (WD) und Unfalltechnischer Dienst (UTD) der Stadtpolizei Zürich, Schweiz.

Die Vermessung und Dokumentation von Fahrzeugdeformationen ist ein Gebiet, dem in der Vergangenheit eher wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Zwar werden praktisch immer

# Einsatz von mess-und versuchstechnischen Methoden zur Verkehrsunfallkonstruktion

Schadensfotos von Unfallfahrzeugen angefertigt, aber diese sind selten dazu geeignet im Hinblick auf örtliche Deformationswege ausgewertet zu werden. Selbst eine punktuelle Vermessung der Fahrzeugdeformationen findet in der Regel nicht statt. Bei schweren Unfällen mit massiven Verformungen der unfallbeteiligten Fahrzeuge können jedoch die genauen und vollständig vermessenen Deformationen wesentlich zur Unfallrekonstruktion beitragen, siehe Bild 2 aus [1]. Mittels räumlich digitalisierter Unfallfahrzeuge lässt sich am Computerbildschirm die Stellung der Fahrzeuge zueinander am Ende der Crashphase relativ genau bestimmen. Dies liefert wichtige Daten für die Rekonstruktion des gesamten Unfallablaufes. Im Abschnitt 6 wird darauf nochmals eingegangen.

Die dazu notwendige, hochgenaue 3D-Digitalisierung erfordert den Einsatz von Scanning-Lasermessgeräten samt entsprechender Software, welche für den einzelnen SV in der Anschaffung unrentabel sind. Kurz- und mittelfristig wird hier aus wirtschaftlichen Gründen der Weg über kollektiv angeschaffte Geräte führen, um diese vielversprechende neue Technologie auch in der Unfallanalyse zu nützen. Dem Autor stehen solche Geräte (Riegl LMS-Z420i, Minolta VIVID 900), wie in Bild 3 dargestellt, als Angehörigen der Technischen Universität Wien zur Verfügung und es ist beabsichtigt, diese in Zukunft auch in der Unfallrekonstruktion einzusetzen [2].



Bild 3: Riegl LMS-Z420i und Minolta VIVID 900/910 3D-Lasermessgeräte der TU-Wien.

## 5.2 Zeitmessung

Bei der Befragung von Unfallbeteiligten in der Gerichtsverhandlung zählen wohl die Fragen nach Ort und Zeit mit zu den häufigsten: „wo haben Sie begonnen und wie lange haben Sie geblickt“, „wo und wie lange sind Sie am Gehsteigrand gestanden“? Da jedoch in der physikalischen Dimension Zeit keine Spuren hinterlassen werden können, beschränken sich die Messaufgaben zur Zeitbestimmung im Wesentlichen auf die Überprüfung von Angaben und auf das Ermitteln von realistischen Prämissen. Einzelne Handlungen wie zB das Absteigen von einem Fahrrad, das Öffnen des Gurtes und Aussteigen aus dem Fahrzeug, die Zeitdauer für die Überquerung einer Fahrbahn, lassen sich mittels Stoppuhr leicht überprüfen bzw es lässt sich der Zeitbedarf bestimmen. Im Einzelfall kann eine solche Messung schon den Charakter eines gründlich vorzubereitenden Experiments annehmen. Die Messung des Zeitbedarfs zur Zurücklegung einer bestimmten Strecke durch eine Person lässt sich aber, wie in [3] angeregt, durchaus in der Verhandlung oder bei einem Ortsaugenschein bestimmen.

Neben der Stoppuhr eignet sich auch die Videoaufzeichnung dank der genau definierten Bildaufzeichnungsfrequenz als probates Mittel zur Zeitmessung. Damit verbunden ist auch gleichzeitig eine Dokumentation der Messung.

Bei sehr raschen Vorgängen und dementsprechend kurzen Messzeiten hat natürlich die Stoppuhr ausgedient. Reaktionszeiten, Wahrnehmungsvorgänge, Blicksprünge, etc erfordern eine aufwändigere elektronische Messtechnik mit Schaltkontakten, Lichtschranken und im Falle der Augenbewegungen ein miniaturisiertes Video-Aufzeichnungssystem, siehe [4]. Auch wenn solche Systeme zur Messung des Reaktions- und Blickverhaltens zurzeit primär im Forschungsbereich eingesetzt werden, so können und werden sie in Zukunft auch in besonderen Fällen in der gutachterlichen Tätigkeit zum Einsatz kommen.



Bild 4: Messbrille zur Verfolgung der Augenbewegung und der Gesichtsfelderfassung, siehe [4].

## 5.3 Geschwindigkeitsmessung

Die Geschwindigkeit setzt sich aus den Basiseinheiten für den Weg (Meter) und für die Zeit (Sekunde) zusammen. In den meisten Fällen basiert deshalb die Geschwindigkeitsbestimmung im Verkehrsbereich auf einer gleichzeitigen Weg- und Zeitmessung.

Jeder im Straßenverkehr zugelassene PKW und LKW muss mit einem Geschwindigkeitsmesssystem ausgestattet sein. Moderne Bremssysteme mit Antiblockiervorrichtung benötigen sehr genaue Daten über die augenblicklichen Raddrehzahlen aller Räder. Damit sind die Voraussetzungen für eine genaue Geschwindigkeitsmessung mittels dem On-board-Messsystem eines Fahrzeuges in der Regel gegeben. Eine entsprechende Kalibrierung ist jedoch trotzdem unumgänglich.

Um einfache Messaufgaben durchzuführen, wie zB die Überprüfung einer angeblich gefahrenen Geschwindigkeit auf einem Straßenstück, reicht daher der fahrzeugeigene Geschwindigkeitsmesser. Um den zeitlichen Verlauf der Geschwindigkeit zu bestimmen, bedarf es einer Aufzeichnungsmöglichkeit mit entsprechend hoher Abtastfrequenz, welche normalerweise an einem Fahrzeug nicht extern zur Verfügung steht. Dazu bieten sich externe Raddrehzahlsensoren oder das berühmte „5. Rad“ (siehe Bild 5) an, deren Signale dann einer Aufzeichnungs- und

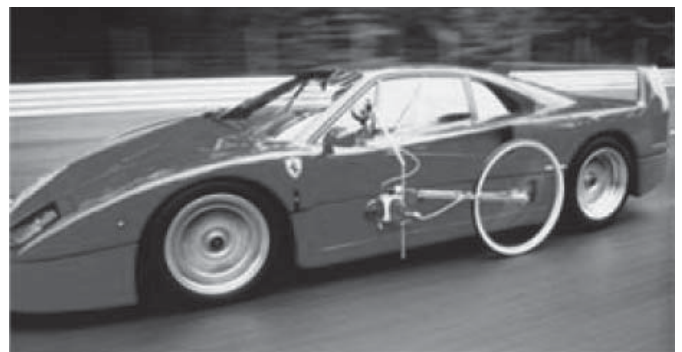


Bild 5: Das „Fünfte Rad“, Geschwindigkeitsmesssysteme der Fa Peiseler [5].

# Einsatz von mess- und versuchstechnischen Methoden zur Verkehrsunfallkonstruktion

Auswerteeinheit zugeführt werden. Vielfach ist ein derartiges Geschwindigkeitsmesssystem nur eine Komponente eines umfangreicheren Fahrzeugdatenerfassungssystems, welches zumindest mit einer Wegmessung und einer Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsmessung kombiniert ist.

## 5.4 Beschleunigungsmessung

So wie die Geschwindigkeit ergibt sich auch die Beschleunigung bzw. Verzögerung (= negative Beschleunigung) aus den Basiseinheiten für den Weg (Meter) und für die Zeit (Sekunde). Die Beschleunigung drückt die Geschwindigkeitsänderung je Zeiteinheit aus und lässt sich daher aus Weg- und Zeitmessung bestimmen. Da jedoch die Beschleunigung proportional der Kraft ist, die aufgewendet werden muss, um eine Masse zu beschleunigen, kann die Beschleunigungsmessung auch auf eine Kraftmessung zurückgeführt werden. Das in der Zeit der rein mechanischen Messgeräte häufig verwendete Gerät „Motometer“ basiert auf der Kraftmessung der Trägheitskraft an einer sogenannten seismischen Masse zur Beschleunigungsmessung. Das Messergebnis wird auf einem Papierstreifen aufgezeichnet und ausgegeben. In der heutigen Zeit sind Beschleunigungssensoren hochminiaturisierte mechatronische Komponenten von Messsystemen, welche in einer Vielzahl von Anwendungen im Fahrzeugbau eingesetzt werden.

In der täglichen Praxis des Sachverständigen sind es in erster Linie die Bremsverzögerungswerte, welche bei der Rekonstruktion eines Unfalls von entscheidendem Interesse sind. Bremsmanöver mit hoher Verzögerung oder solche, bei denen Räder blockieren, können zur Spurabzeichnung auf der Fahrbahn führen. In solchen Fällen ist ein durchgeführter Bremsvorgang objektiv nachweisbar und für die Rekonstruktion nutzbar. Allerdings belegt eine Brems- oder Blockierspur nur einen Teil der Bremsstrecke, nicht aber die dabei erzielte Bremsverzögerung. In der Regel müssen daher Verzögerungswerte aus Literaturquellen benutzt und entsprechend fachkundig eingesetzt werden, um diese Informationslücke zu schließen.

Es kann aber in Einzelfällen sinnvoll oder gar notwendig sein, Verzögerungsmessungen mit einem Fahrzeug durchzuführen, insbesondere bei selten anzutreffenden Straßenoberflächen und/oder ungewöhnlichen Verhältnissen (zB feuchte Holzbrücke, Schotterstraße), oder wenn es sich um Sonder- oder Spezialfahrzeuge handelt. Dazu stehen dem Sachverständigen mittlerweile recht kleine, kompakte Geräte zur Verfügung, welche für solche Messaufgaben entwickelt wurden wie zB die in Bild 6 dargestellten Geräte VC3000DAQ von Vericom [6] und XL-Meter von Inventure [7], oder solche deren Einsatzbereich erweitert wurde, wie dies beim VDO-Kienzle Unfalldatenschreiber [8] der Fall ist. Selbstverständlich kann auch das oben erwähnte „Peiseler-Rad“ [5] zur Bremsmessung eingesetzt werden und es gibt darüber hinaus noch weitere, gleichfalls geeignete Produkte auf dem Markt.

Bei einfachen Berechnungsmodellen (Formeln) ist die gemittelte Bremsverzögerung einzusetzen, um Ergebnisse zu berechnen. In den ungleich aufwändigeren Simulationsmodellen sind hingegen praktisch immer der aktuelle maximale Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn und die gewählte Abbremsung als Eingangsgrößen zu verwenden. Die Bremsverzögerung ergibt sich dann ua als Ausgangsgröße der Simulationsstudie. Auf das Thema der Messung des Kraftschlusses wird etwas später noch eingegangen.

Bei der Kurvenfahrt treten Beschleunigungen quer zur Fahrtrichtung auf, sogenannte Querbearbeitungen, welche Fahrzeuge zum Schleudern oder zum Umkippen veranlassen können. Die Messung von Querbearbeitungen setzt entsprechende Beschleunigungssensoren voraus, da sich diese aus der Messung von Raddrehzahlen nicht bestimmen lassen. Die oben erwähnten Produkte [6], [7] und [8] erlauben auch solche

Messungen über eingebaute oder extern anschließbare Sensoren.



Bild 6: VC3000DAQ von Vericom [6], XL-Meter Pro Gamma von Inventure [7] und VDO-Kienzle Unfalldatenschreiber (UDS) [8].

## 5.5 Bestimmung von Masse und Massenträgheitsmoment

Die Masse ist eine der sieben Basiseinheiten und wird in der Einheit Kilogramm angegeben. Diese ist durch das sogenannte „Urkilogramm“ festgelegt, welches in Paris aufbewahrt wird und seit 1889 als Referenz dient. Die Masse eines Körpers zu bestimmen ist, genau betrachtet, gar nicht so einfach. Wie bei der Länge führt ein Weg über die vergleichende Messung mittels einer Waage und geeichten Gewichten. Es bedarf wohl keiner Erläuterung, dass diese Methode sehr rasch unhandlich bis undurchführbar wird, wenn es um Massen jenseits von einigen hundert Kilogramm geht. Auch der Einsatz der altbewährten Dezimalwaage stößt bald auf Grenzen der Machbarkeit.

Deshalb erfolgt die Massenbestimmung sehr oft über den Umweg einer Kraftmessung. Letztere wiederum basiert auf kalibrierten Deformationselementen, welche die Rückrechnung auf die Gewichtskraft erlauben. Das anschaulichste Beispiel ist wohl die Federwaage, bei der die Dehnung der Feder proportional der Gewichtskraft ist, und diese wiederum proportional der Masse des zu messenden Körpers. Moderne elektronische Waagen verwenden natürlich elektromechanische Sensoren, das Messprinzip ist aber das gleiche.

Sofern sich die Notwendigkeit der Massenbestimmung für den SV ergibt, wird diese durch Wägung mit einer geeigneten Waage erfolgen. Bei entsprechend großen Objekten (Fahrzeuge) wird ggf eine Brückenwaage heranzuziehen sein. Diese kommt natürlich auch zum Einsatz, wenn Achslasten zu bestimmen sind, aber dieser Fall wird weiter unten bei der Kraftmessung kurz besprochen.

Während die Masse eines Körpers (Einheit Kilogramm) bei der linearen Bewegung eines Körpers durch Massenkräfte in Erscheinung tritt, ist für die rotierende Bewegung das Massenträgheitsmoment die entscheidende physikalische Größe. Die Einheit des Massenträgheitsmomentes ist *Kilogramm-Meter zum Quadrat* ( $\text{kgm}^2$ ). So wie bei der linearen Bewegung setzt ein hohes Massenträgheitsmoment einer beschleunigten Drehbewegung mehr Widerstand entgegen als ein niedrigeres. Im täglichen Leben wird man praktisch nie mit der Einheit  $\text{kgm}^2$  des Massenträgheitsmomentes eines Objektes konfrontiert, zumal diese Angabe nur für eine bestimmte Rotationsachse Gültigkeit hat.

Bei der Berechnung der Bewegung von schleudernden Fahrzeugen oder bei Motorrädern spielt jedoch das Massenträgheitsmoment eine gleich wichtige Rolle wie die Masse. Leider sind aber diesbezügliche Fahrzeugdaten nur sehr selten verfügbar und der SV ist auf Richtwerte und Formeln zur näherungsweise Berechnung angewiesen. Somit wäre die (Nach-) Messung des Massenträgheitsmomentes oft wünschenswert, scheitert jedoch an geeigneten Messmöglichkeiten. Massenträgheitsmomente (es gibt drei Werte für jeden starren Körper!) werden in der Regel durch einen Schwingversuch bestimmt, bei dem der zu messende Körper auf einer schwingfähigen Plattform befestigt wird und die Schwingfrequenz bestimmt wird. Die Messung der Massenträgheitsmomente eines Körpers ist

# Einsatz von mess- und versuchstechnischen Methoden zur Verkehrsunfallkonstruktion

daher weit schwieriger als die Bestimmung der Masse des Körpers, da es hierfür keine ähnlich einfachen Messvorrichtungen wie Waagen gibt.

## 5.6 Kraftmessung

Die Kraft ist eine abgeleitete physikalische Größe und wird zu Ehren des berühmten Physikers *Sir Isaac Newton* mit der Einheit „Newton“ (N) angegeben. In SI-Basiseinheiten ausgedrückt entspricht  $1\text{ N} = 1\text{ kgm/s}^2$ , also der Kraft, welche notwendig ist um eine Masse von  $1\text{ kg}$  mit  $1\text{ m/s}^2$  zu beschleunigen. Die Gewichtskraft eines Körpers mit der Masse  $1\text{ kg}$  ergibt sich damit zu  $9,81\text{ Newton}$ , da die Fallbeschleunigung auf der Erde bekanntlich rund  $9,81\text{ m/s}^2$  beträgt.

Wie schon bei der Bestimmung der Masse ausgeführt, ist jede Waage im Prinzip eine Kraftmesseinrichtung und daher geeignet, Kräfte zu messen. Allerdings beschränkt sich diese Einsetzbarkeit auf stationäre und statische Messungen. Statische Rad- und Achslasten lassen sich mittels Spezialwaagen (Radlastwaagen, Brückenwaagen) relativ leicht bestimmen. Neben der Überprüfung von Herstellerangaben und der Einhaltung von Beladungsvorschriften lassen sich aus den bekannten Achslasten das Fahrzeuggewicht und die Schwerpunktlage bestimmen. Letztere ist eine wichtige geometrische Größe eines immateriellen Fahrzeugpunktes, welche nur auf diese Art und Weise bestimmt werden kann. Sofern verlässliche Herstellerangaben fehlen oder Beladung bzw Umbauten am Fahrzeug den Schwerpunkt wesentlich verschoben haben, ist eine messtechnische Überprüfung durch den SV notwendig, um in Simulationsberechnungen entsprechend korrekte Daten zu verwenden.

Die Messung von dynamischen (zeitlich veränderlichen) Kräften erfordert geeignete und geeignet angebrachte Kraftmesssensoren. Im Bereich der Radkräfte, man denke an Traktions- und Seitenkräfte, setzt dies eine extrem kostenintensive Ausrüstung voraus und bleibt Fahrzeugherstellern und bestens ausgestatteten Forschungseinrichtungen vorbehalten. So wie die Kraftmessung als Mittel zur Messung der Beschleunigung benutzt werden kann, ist auch die Umkehrung möglich. Es kann eine Messaufgabe zur dynamischen Kraftmessung unter Umständen über eine Beschleunigungsmessung erfolgen.

Im Bereich der Ladungssicherung kommt der ausreichenden Vorspannung von Spanngurten eine große Bedeutung zu. Für diese Zwecke wurden sehr einfache Messmittel entwickelt, mit Hilfe derer man in guter Näherung die Vorspannkraft in einem gespannten Befestigungsgurt bestimmen bzw überprüfen kann. Ebenfalls wichtig ist die Kenntnis der Reibungsverhältnisse zwischen Ladefläche und Ladung, also die maximal möglichen Kräfte die im Kontakt übertragen werden können.



Bild 7: Transportable Radlastwaage System TPS „Professional“, Messbereich bis 10 kN, siehe [9].

## 5.7 Messung des Kraftschlusses

Der Kraftschluss zwischen zwei Kontaktflächen, landläufig auch Reibung oder im Straßenwesen Griffigkeit bezeichnet, ist eine sehr wichtige Kenngröße und letztlich dafür verantwortlich, dass es überhaupt möglich ist, mit einem Fahrzeug auf einer Straße zu fahren. Bei der Unfallrekonstruktion stellt sich de facto fast immer die Frage nach dem maximal möglichen Kraftschluss zwischen der Bereifung eines Fahrzeuges und der Fahrbahn, wenn es zB um die Beurteilung eines Bremsmanövers geht.

Der Kraftschluss wird üblicherweise durch den Reibungskoeffizienten beschrieben, welcher das Verhältnis zwischen einer Druck- oder Normalkraft und der maximal erzielbaren Zugkraft senkrecht dazu angibt. Je nachdem, ob sich die Kontaktflächen relativ zueinander bewegen oder nicht, wird zwischen dem Gleitreibungs- und dem Haftreibungskoeffizienten unterschieden, wobei in der Regel letzterer höher ist als ersterer. Im Detail ist das Thema Reibung an sich schon schwierig, bei einem rollenden und bremsenden Rad werden die Kraftschlussverhältnisse durch sehr komplexe Vorgänge hervorgerufen.

Kraftschluss findet immer zwischen zwei Kontaktflächen statt, kann daher nie als die alleinige Eigenschaft eines der beiden Kontaktpartner gesehen werden. Dies deutet bereits an, dass an der Messung des Reifen-Fahrbahn-Kraftschlusses eigentlich beide Komponenten beteiligt sein müssen/müssten. Im Regelfall stehen die Reifen des Unfallfahrzeuges nicht mehr für Messungen zur Verfügung, sodass man sich ohnehin schon mit Ersatzreifen behelfen müsste. Außerdem sind auch die Rand- und Rahmenbedingungen (Reifen- und Fahrbahntemperatur, Luftfeuchtigkeit, etc) zum Unfallzeitpunkt kaum genau genug bekannt und daher sind Nachmessungen der Fahrbahngriffigkeit (Kraftschlussmessungen) von vorneherein mit Messunsicherheiten behaftet.

Es existieren verschiedene Messsysteme und -geräte zur Kraftschlussmessung auf Fahrbahnen. Das einfachste Gerät ist das tragbare Griffigkeitsmessgerät „Skid Resistance Tester“ [10]. Dieses Gerät besteht im Wesentlichen aus einem Pendel, welches ausgelenkt wird und durch die untere Gleichgewichtslage durchschwingt. Dabei berührt es mit einer definierten Gleitfläche den Untergrund auf dem es aufgestellt und einjustiert wird, und die Ausschwinghöhe gibt Aufschluss über die Reibungsverhältnisse. Dieses Gerät ist weltweit im Einsatz und eignet sich zB recht gut zur Prüfung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen. Wegen der sehr punktuellen Messung ist es zur Messung von durchschnittlichen Reibungsverhältnissen auf Fahrbahnen nur bedingt geeignet. Darüber hinaus erfordert die Umwandlung der Messergebnisse in konkrete Gleitreibungswerte für Fahrzeugreifen Erfahrung und Vergleichswerte.

Der „Griptester“ [11] ist ein kleiner Anhänger, welcher von einem Zugfahrzeug über die Fahrbahn gezogen wird und auf zwei profilierten Go-Cart Reifen rollt. Ein drittes Rad mit einem profillosen Messreifen rollt, über eine Kette angetrieben, unter definiertem Schlupf. Mittels Drehmomentmessung am Messrad wird die Straßengriffigkeit bestimmt. Normalerweise wird die Fahrbahn definiert bewässert, ein Einsatz auf trockener Fahrbahn ist möglich, aber nicht vorgesehen. Einen „Griptester“ besitzt und betreibt das Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU-Wien [12]. Das Gerät eignet sich recht gut für Griffigkeitsmessungen auf nasser Fahrbahn und kann auch für Messungen im Verkehr bei Geschwindigkeiten bis zu  $60\text{ km/h}$  eingesetzt werden.

„RoadSTAR“ ist die Bezeichnung für ein Messfahrzeug, welches von Arsenal Research [13] aufgebaut und betrieben wird und einen Messreifen von normaler PKW-Dimension verwendet. Mit dem RoadSTAR – **R**oad **S**urface **T**ester of **A**rsenal **R**esearch – können im fließenden Verkehr bei Messgeschwindigkeiten zwischen  $40\text{ km/h}$  und  $120\text{ km/h}$  (Standardgeschwindigkeit  $60\text{ km/h}$ ) die wichtigsten Oberflächeneigenschaften sowie Trassierungsparameter der Fahrbahn erfasst werden. Der RoadSTAR ist auf einem 2-Achs-LKW der Marke ÖAF aufgebaut. Die Leistung des LKW wurde so gewählt, dass dieser mit vollem Wassertank eine Straße mit einem Griffigkeitsbeiwert von  $\mu = 1,0$  und einer Steigung von  $8\%$  noch mit einer Fahrgeschwindigkeit von  $80\text{ km/h}$  messen kann. Das Fahrzeug wird zur Überprüfung des Zustandes des Hauptstraßennetzes in Österreich eingesetzt.



Bild 8: Messgeräte „Skid Resistance Tester“ [10], „Griptester“ [11], [12] und „RoadSTAR“ [13].

Diese kurze Übersicht zeigt, dass es möglich ist, Griffigkeitsmessungen in Einzelfällen selbst durchzuführen oder als Auftragsarbeit ausführen zu lassen. Daneben steht dem SV natürlich die Möglichkeit offen, sich mittels Bremsverzögerungsmessung (siehe oben) Erfahrungen und Messwerte zum Kraftschluss zu beschaffen, insbesondere für Fahrbahnen oder Umweltbedingungen, für die es nur spärliche Ergebnisse gibt (unbefestigte Straßen, schnee- und eisglatte Fahrbahnen).

## 6 Versuchsmethoden und -anwendungen

Im Abschnitt „Begriffsbestimmung“ wurde schon erwähnt, dass jeder Messvorgang eigentlich ein Experiment darstellt, mit dem Ziel eine Messgröße zu bestimmen. In diesem Abschnitt sollen einige Versuchsmethoden und -anwendungen beschrieben werden, bei denen es nicht die Absicht ist, eine physikalische Größe möglichst genau zu ermitteln, sondern wo es eher um Kausalaussagen (Ursache-Wirkung-Beziehungen) geht und die Auswertung der Versuchsergebnisse zu Schlussfolgerungen führt, durch welche Hypothesen untermauert oder widerlegt werden können.

Da solche Versuche immer im Hinblick auf eine konkrete Problemstellung geplant und durchgeführt werden, gleicht kaum ein Experiment dem anderen, und es ist schwierig, eine Systematik zu finden. Im Folgenden werden einige ausgewählte Versuche exemplarisch vorgestellt, um einen Einblick in diesen Bereich der SV-Tätigkeit zu geben.



Bild 9: Beispiele für die praktische Durchführung einer Stellprobe. © SV Dr Kamelreiter.

### 6.1 Stellprobe

Die Stellprobe ist eine klassische Methode, um die Lage von Deformationen und Kontaktpuren an Fahrzeugen oder festen Einrichtungen wechselseitig auf Kausalität und Plausibilität zu überprüfen. Im Prinzip geht es darum, die Lage von geometrischen Orten vergleichend zu beurteilen. Die praktische Stellprobe erlaubt, diesen Vergleichsvorgang auch ohne aufwändige Messtechnik durchführen zu können, siehe Bild 9.

Die zu prüfenden Objekte, meist Fahrzeuge, werden so zueinander in Stellung gebracht, dass es durch Sichtprüfung möglich wird, einen gegenseitigen Kontakt nachzuweisen oder zu widerlegen. Vor der Versuchsdurchführung sind die Rahmenbedingungen festzulegen und herzustellen. Beispielsweise wird es ggf notwendig sein, die Beladung zum Unfallzeitpunkt in geeigneter Weise wiederherzustellen, damit die Einfederung des Fahrwerks jener bei der Kollision entspricht. Im Falle des Kontaktes von zwei Motorrädern in Kurvenfahrt muss zum Beispiel die entsprechende Schräglage zum Unfallzeitpunkt herbeigeführt werden, um zu richtigen Schlussfolgerungen zu kommen.



Bild 10: Virtuelle Stellprobe am Computerbildschirm mittels digitaler Fahrzeugmodelle [1]. © Wiss. Dienst (WD) und Unfalltechn. Dienst (UTD) der Stadtpolizei Zürich, Schweiz.

Es ist schon heute technisch möglich, den Vorgang der Stellprobe virtuell am Computerbildschirm durchzuführen [1]. Dies setzt allerdings computergerecht digitalisierte, graphische Fahrzeugmodelle voraus, welche zurzeit im Allgemeinen nicht zur Verfügung stehen. Sind bei einer praktischen Stellprobe gravierende Probleme zu erwarten, weil zB die Fahrzeuge infolge massiver Deformationen nicht mehr vernünftig bewegt und relativ zueinander in Stellung gebracht werden können, dann bietet sich jedoch der Computereinsatz an.

# Einsatz von mess- und versuchstechnischen Methoden zur Verkehrsunfallkonstruktion

## 6.2 Fahrversuch

Manche fahrdynamische Phänomene entziehen sich der Untersuchung mit rechnerischen Methoden, weil dazu der Aufwand unverhältnismäßig groß oder diese Vorgangsweise nicht erfolgversprechend wäre. In solchen Fällen kann es angezeigt sein, zu versuchen, eine Klärung des Problems über ein fahrtechnisches Experiment herbeizuführen. Selbstverständlich müssen dazu eine Reihe von Voraussetzungen erfüllt sein, beginnend mit der Verfügbarkeit des Unfallfahrzeuges oder eines baugleichen Ersatzfahrzeuges, usw.

Die Vorbereitung solcher Fahrversuche erfordert sorgfältige Planung und ausreichende Erfahrung. Besonders wenn es darum geht, eine Unfallsituation nachzustellen, ist natürlich mit allergrößter Vorsicht vorzugehen. In der Regel wird man solche Situationen nur insoweit nachstellen, als die Versuchsparameter keine kritischen Fahrzustände erwarten lassen. Allerdings ist dann die Unfallkausalität schwer zu überprüfen.

Je nach Problemstellung können die Ergebnisse von Fahrversuchen mittels objektiver Messmethoden gewonnen werden oder auf den subjektiven Eindrücken des Testfahrers aufbauen. Besonders Fragen zum Fahrzeug-Handling lassen sich oft nur mit umfangreicher Messtechnik objektiv beantworten, während der erfahrene Testfahrer häufig durch subjektive Beurteilung zu gleichen oder sogar besseren Ergebnissen gelangt.

Neben den rein technischen Problemen, die es bei der Vorbereitung von Fahrversuchen zu lösen gilt, stehen auch gesetzliche und versicherungstechnische Fragen an. Ein verkehrsuntüchtiges Fahrzeug kann natürlich nicht im Straßenverkehr bewegt werden und es bedarf eines Testgeländes, um etwa die Kausalität des technischen Mangels im Bezug auf einen Unfall zu überprüfen. Allgemeine Unfallversicherungen schließen meist das Risiko von Versuchsfahrten aus und daher muss eine Zusatzversicherung abgeschlossen werden, so der SV nicht das Risiko voll tragen kann und will. Nicht zuletzt deshalb werden Fahrversuche eher selten durchgeführt, obwohl ein gut organisierter und erfolgreich durchgeführter Fahrversuch sehr überzeugend und anschaulich sein kann.

## 6.3 Experimentaufbau unter Laborbedingungen

Nicht immer ist es erforderlich oder möglich, einen Versuch an Ort und Stelle des Unfalls durchzuführen. Unter Laborbedingungen lassen sich natürlich die Rahmenbedingungen des Experiments wesentlich besser kontrollieren und es steigt die Verlässlichkeit der Aussagen.

In einem konkreten Fall ging es darum, den sehr langsamen aber immer noch ungewöhnlich raschen Luftverlust eines PKW-Rades nachzuweisen. Die übliche Überprüfungsmethode durchgeführt im Wasserbad eines Reifenfachbetriebes zeigte keine Undichtigkeiten des Rades. In einem Fahrversuch erwies sich jedoch alsbald, dass die Vorwürfe des Klägers zu Recht



Bild 11: Versuchsanordnung zur Dichtheitsprüfung eines PKW-Rades in einem Wasserbad unter simulierter Betriebsbelastung.

bestanden. Um jedoch den Luftverlust wirklich „dingfest“ zu machen und unwiderlegbar zu demonstrieren, wurde eine Reifenwasserbad-Prüfeinrichtung aufgebaut, siehe Bild 11. Dieses Wasserbad unterschied sich insofern von jenen bei Reifenfachhändlern, als es möglich war, den Reifen auch noch mittels hydraulischer Pressen radial zu belasten und dadurch die Beanspruchung im Fahrbetrieb zu simulieren. Erst dabei zeigte sich der Luftverlust, zwar langsam aber deutlich.

Im Zusammenhang mit einem atypischen Motorradunfall wurde ein relativ simpler Kraftmess-Prüfstand aufgebaut, siehe Bild 12, um die Widerstandsfähigkeit von Sportschuhen gegen die Einwirkung von äußeren Kräften zu überprüfen und mit jener eines Motorradstiefels zu vergleichen. Obwohl an diese Versuchseinrichtung keine besonders hohen Genauigkeitsansprüche gestellt werden konnten, erfüllte sie insofern ihren Zweck, als es sehr gut möglich war, vergleichende Messungen durchzuführen. Dabei zeigte sich, dass die Sohlen bei manchen Sportschuhen teilweise widerstandsfähiger gegen äußere Belastungen sind, als jene eines bestimmten Motorradstiefels.



Bild 12: Belastungsprüfung an einem Sportschuh zur vergleichenden Bewertung der Sohlendeformation.

## 6.4 Crashtests

Ein wesentlicher Unsicherheitsfaktor bei der Unfallrekonstruktion stellt die näherungsweise Ermittlung der Kollisionsgeschwindigkeit aus den Fahrzeugschäden dar, wenn es sonst keine objektivierte Anknüpfungspunkte gibt. Die Crashversuche der Fahrzeughersteller sind oft nicht auswertbar, da sie erstens selten zugänglich gemacht werden und zweitens wurden sie meist nur für ganz bestimmte Kollisionswinkel und -geschwindigkeiten durchgeführt. Eine relativ teure aber technisch realisierbare Möglichkeit der Informationsbeschaffung besteht darin, den Kollisionsvorgang mit baugleichen Fahrzeugen nachzufahren, und aus den Ergebnissen Rückschlüsse auf die Kollisionsgeschwindigkeit der Unfallfahrzeuge zu ziehen.

Ein Anbieter für die Durchführung von Kollisionsversuchen speziell für die Rekonstruktion von Verkehrsunfällen ist Crashtest-Service [14]. Im Unterschied zu den standardisierten Crashtests der Fahrzeughersteller werden in Versuchen eine Vielzahl von unterschiedlichen Anstoßkonfigurationen, Kollisionspartner und Geschwindigkeiten untersucht.

Zusätzlich zu den bereits vorhandenen Versuchen werden laufend neue Versuche durchgeführt. Dafür steht eine vielseitig verwendbare Crashtestanlage zur Verfügung, die verschiedenste Kollisionsversuche mit Lkw, Pkw, Motorrädern, Fahrrädern, Fußgängern etc erlaubt. Crashtests mit einem oder zwei bewegten Fahrzeugen unter verschiedenen Winkeln gehören genauso zum Spektrum der Möglichkeiten dieser Versuchsanlage wie die Analyse komplexer Insassenbewegungen und die Untersuchung der Kompatibilität von Fahrzeugschäden oder der Wahrnehmbarkeit von Kollisionen (Stichwort „Fahrerflucht“).

Zur Messung der bei den Crashtests auftretenden kollisions- und biomechanischen Werte kommen mehrere Messverfahren

# Einsatz von mess- und versuchstechnischen Methoden zur Verkehrsunfallkonstruktion



Bild 13: Beispiele für Anstoßkonfiguration von auftragsmäßig durchgeführten Crashtests. © crashtest-service.com GmbH, Münster, Deutschland, <http://www.crashtest-service.com>

ren zum Einsatz. Die Massen der Versuchsfahrzeuge werden durch Wägung mit Hilfe von DMS-Kraftaufnehmern bzw. mittels einer Radlastwaage ermittelt. Die Messung der Kollisionsgeschwindigkeiten der Versuchsfahrzeuge erfolgt mit Infrarotlichtschrankentechnik und mittels Laserlichtschranken. Standardmäßig werden die Fahrzeugbewegungen unter Verwendung von Unfalldatenspeichern (UDS) mit einer Aufzeichnungsfrequenz von bis zu 500 Hz aufgezeichnet. Eine computergestützte Crashdatenerfassung ermöglicht Aufzeichnungsfrequenzen von bis zu 2000 Hz. Videoaufzeichnungen können mit Hochgeschwindigkeitskameras mit bis zu 1000 Bildern pro Sekunde aufgenommen werden.

Ähnliche Dienstleistungen und messtechnische Ausstattung bietet in der Schweiz das „Dynamic Test Center“ [15] an, wobei für eine der beiden verfügbaren Crash-Anlagen ein spezieller Beschleunigungsschlitten für Motorrad Crashtests verfügbar ist, der auch für Fahrräder, Skater und Skifahrer geeignet ist. In Österreich können Crash-Tests nach Kundenwünschen von DSD [16] durchgeführt werden, wobei besondere Erfahrungen auf den Gebieten Seitenaufprall und Heckaufprall sowie bei der Wirksamkeit von Nackenstützen vorhanden ist. Je nach Anforderungen können Indoor-Tests mit bis zu 35 km/h Aufprallgeschwindigkeit und Tests auf einem Freigelände mit bis zu 110 km/h durchgeführt werden. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Fahrzeugsicherheit der TU-Graz [17] steht auch eine Reihe von Dummies samt entsprechender Messtechnik zur Verfügung, welche in Crash-Tests eingesetzt werden können, sich aber auch für andere Versuche im verkehrstechnischen Bereich eignen.

## 7 Schlussbemerkungen

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über mess- und versuchstechnische Möglichkeiten, welche einem Sachverständigen bei der Unfallrekonstruktion zur Verfügung stehen. Die Darstellung ist natürlich nicht vollständig, sondern beschränkt sich auf wesentliche Messgrößen und Versuchstechniken. Insbesondere den kriminaltechnischen Diensten der Polizei stehen für bestimmte Untersuchungen Labor- und Analysemethoden zur Verfügung, welche hohes Spezialwissen erfordern über die technischen Möglichkeiten eines Verkehrssachverständigen hinausgehen.

Die in diesem Beitrag enthaltenen konkreten Angaben zu Herstellern von Messgeräten oder Anbietern von Dienstleistungen

sollen dem interessierten Leser die Informationssuche erleichtern. Weder erheben diese Angaben den Anspruch auf Vollständigkeit noch soll dadurch eine Präferenz gegenüber nicht erwähnten Produkten oder Anbietern ausgedrückt werden.

Schließlich möchte sich der Autor bei all jenen Kollegen und Institutionen bedanken, welche Informationen oder Bildmaterial für diesen Beitrag zur Verfügung gestellt haben.

## 8 Quellen und Urheberrechtshinweise

In den Kapiteln 2, 3 und 4 wurde Material aus den Wikipedia-Artikeln „Messen“, „Experiment“ und „SI-Einheitensystem“ benutzt, siehe dazu <http://de.wikipedia.org/>.

[1] Arnold, J.: Unfallaufnahme, Spurensicherung und 3D-Fotogrammetrie als Grundlage der Unfallrekonstruktion, 29. Int. Fachseminar Straßenverkehrsunfall und Fahrzeugschaden, Bad Hofgastein, 2006.

[2] TUWILScan-Center of Competence, <http://tuwilscan.cg.tuwien.ac.at/>.

[3] Fucik-Hartl-Schlosser-Wielke (Hrsg.): „Handbuch des Verkehrsunfalls“, 2. Teil „Unfallaufklärung und Fahrzeugschaden“, Manz-Verlag, Wien, 1998.

[4] Pflieger, E.: Neueste Erkenntnisse aus der Blickverhaltensforschung, Der Sachverständige, Heft 4, 2003, sowie <http://www.viewpointssystem.at/>.

[5] Peiseler, Road Test Equipment, D-82140 Olching bei München, <http://www.peiseler-gmbh.de>.

[6] Vericom Computers Inc., <http://www.vericomcomputers.com>.

[7] Inventure Automotive Electronics, H-1111 Budapest, Karinty Frigyes u. 26, <http://www.inventure.hu>.

[8] VDO Kienzle Vertrieb und Service GmbH: Produktinformation Kienzle UDS 2.0, Frankfurt am Main, 1998 sowie [http://www.kienzle.de/index.php?108&backPID=108&tt\\_products=33](http://www.kienzle.de/index.php?108&backPID=108&tt_products=33), und [http://www.siemens-vdo.de/products\\_solutions/fleet-management/telematics/sensor-systems/uds/UDS.htm](http://www.siemens-vdo.de/products_solutions/fleet-management/telematics/sensor-systems/uds/UDS.htm).

[9] Koch GbR, D-94486 Osterhofen – Gergweis, <http://www.kochwaagen.de>.

[10] Zehntner GmbH, Testing Instruments, Sissach, CH-4450 Schweiz, [www.zehntner.com](http://www.zehntner.com).

[11] Findlay Irvine Ltd, Midlothian, Scotland, UK, EH26 9BU <http://www.findlayirvine.com>.

[12] Technische Universität Wien, Inst. für Straßenbau und Straßenerhaltung, 1040 Wien, <http://www.istu.tuwien.ac.at>.

[13] Arsenal Research, A-1210 Wien, <http://www.arsenal.ac.at>.

[14] Crashtest-Service, D-48155 Münster, <http://www.crashtest-service.com>.

[15] Dynamic Test Center CH-2537 Vauffelin, <http://www.dtc-ag.ch>.

[16] DSD Dr Steffan Datentechnik, 4020 Linz, <http://www.dsd.at>.

[17] Technische Universität Graz, Inst. für Fahrzeugsicherheit, 8010 Graz, <http://www.vsi.tugraz.at>.

### Korrespondenz:

Dipl.-Ing. Dr. techn. Horst Ecker  
Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger  
1160 Wien, Montleartstraße 9A  
Telefon 01/914 88 33  
und  
Technische Universität Wien  
Institut für Mechanik und Mechatronik  
1040 Wien, Wiedner Hauptstraße 8–10/E325  
Telefon 01/58801-30312