



## Kompatible Messsysteme – Unterschiedliche Fahrdynamik- aufgaben synchron messen

Bei der Ermittlung aller für die Beurteilung der Fahrdynamik relevanten Kenngrößen konnten in der Vergangenheit einzelne Anbieter jeweils nur ein Teilspektrum abdecken. Der Kunde musste die Auswahl von benötigten Sensoren und Messsystemen selber festlegen – und sich um Einbau, Korrekturen oder die Vernetzung der Systeme sorgen. Um schlüsselfertige Lösung anbieten zu können, gründeten fünf Unternehmen 2007 die Driveability Testing Alliance (DTA). Zu den Kernkompetenzen zählt das zentrale Datenerfassungs- und Auswertesystem. Hier lassen sich Daten unterschiedlicher aber nun erstmals kompatibler Messsysteme zeitsynchron erfassen, wie ein erstes Fahrdynamikprojekt unter Beweis stellt.

## 1 Einleitung

Mit Eintritt im Jahr 2007 der Firma Kistler Instrumente AG in die Driveability-Testing-Alliance DTA (Fahrndynamik Test Allianz) haben sich mittlerweile fünf Firmen (Corrsys-Datron, Dewetron, GeneSys, Kistler und TÜV SÜD Automotive) zu einem Interessenverband DTA zusammengeschlossen, um zukünftig den Kunden schlüsselfertige Lösungen für messtechnische Einrichtungen von Einzel- bis zu Gesamtsystemen zur Beurteilung fahrdynamisch relevanter Kenngrößen zur Seite zu stellen. Sensoren der Allianz erfassen die von außen auf das Fahrzeug einwirkenden Kräfte und Momente mit Messrädern, alle Bewegungen und Winkelstellungen der Räder und des Fahrzeugaufbaus mit Hilfe von potenziometrischen und optischen Sensoren sowie eines faseroptischen Inertial-Messsystems und liefern die DGPS-gestützte Fahrzeugposition bei jedem Fahrmanöver. Das Herzstück der DTA-Komponenten ist das zentrale Datenerfassungs- und Auswertesystem, mit dem in dem hier vorgestellten Fahrzeugprojekt über 230 Messkanäle konfiguriert und die Signale absolut zeitsynchron aufgezeichnet wurden.

Bis heute geht wegen fehlender Kompatibilität der Messsysteme oft wertvolle Entwicklungszeit durch aufwändige Anpassungen und Synchronisierung der verschiedenen Messsysteme verloren.

Die DTA beschloss zum Ende des Jahres 2007 ein eigenes Messprojekt aufzusetzen, um einerseits zu dokumentieren, dass komplexe Messaufbauten und Systemstrukturen durch die Schaffung einheitlicher Schnittstellen und Datenformate grundlegend zu vereinfachen sind und andererseits nach der Durchführung von ausgesuchten Fahrmanövern Antworten auf folgende Fragen geben zu können:

- Was können die in der DTA entwickelten Sensoren und Systeme im komplexen Zusammenspiel leisten?
- Welche Ergebnisse können aus den Fahrzeugmessungen für die DTA und für Kunden abgeleitet werden?
- Welche Vorteile kann ein Kunde für sich gewinnen, wenn er ein gut funktionierendes, abgestimmtes Gesamtsystem betreibt?
- Sind die Messergebnisse mit den Darstellungen in den Lehrbüchern vergleichbar?

Für die Messungen ausgesuchter Fahrmanöver wurden die Fahrdynamik-Fläche des Testgeländes der Robert Bosch GmbH in Boxberg und zur Aufnahme von Lastkollektiven die Nürburgring-Nordschleife ausgewählt.

Ein Fahrzeug wurde beschafft und in den Fuhrpark des TÜV SÜD Automotive aufgenommen. So kann es für die nächsten Jahre für neue und weiterführende Aufgabenstellungen genutzt werden.

## Die Autoren



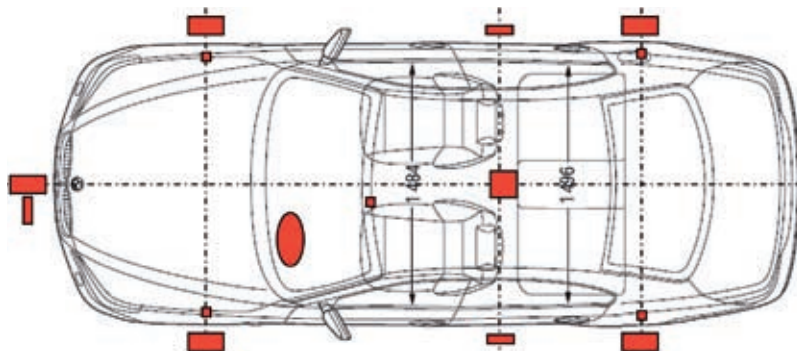
Dr.-Ing. Dieter Barz  
ist Vice President  
Sales & Marketing und  
Mitbegründer der DTA



Dr.-Ing.  
Reinhard Drews  
ist Geschäftsführer der  
DTA, zuvor Fahrwerk-  
Entwicklungsingenieur  
bei der BMW Group.



**Bild 1:** Außenansicht der am Fahrzeug installierten Messtechnik



**Bild 2:** Geometrische Anordnung der Sensoren am Fahrzeug

## 2 Aufbau des Versuchsfahrzeuges

Zu den Kernkompetenzen des TÜV SÜD Automotive zählt – neben der Fahrwerkentwicklung die Analyse von Fahrwerks- und Fahrodynamikcharakteristika. Die messtechnische Ausrüstung des Fahrzeugs und die Durchführung der Messfahrten übernahm der TÜV SÜD für die Allianzpartner.

Bei dem Anschluss der einzelnen Messeinrichtungen, **Bild 1**, wurde besonderer Fokus auf eine professionelle Verlegung der Kabel und Befestigung der einzelnen Komponenten gelegt. Lose verlegte Messleitungen galt es zu vermeiden und sämtliche Verbindungen waren zu kennzeichnen und zu dokumentieren. Die gesamte Verkabelung verbleibt nach Abschluss der Testreihen im Fahrzeug, so dass auch

nach anderweitiger Verwendung der Sensoren innerhalb weniger Tage das Gesamtsystem wieder funktionsgerecht in Betrieb genommen werden kann.

Die gesamte Verkabelung führte ein Team, das sich aus Applikationsingenieuren jedes der Partnerfirmen zusammensetzte, durch.

## 3 Installierte Messtechnik

Folgende Messtechnik wurde von den Allianzpartnern für das Versuchsfahrzeug bereitgestellt:

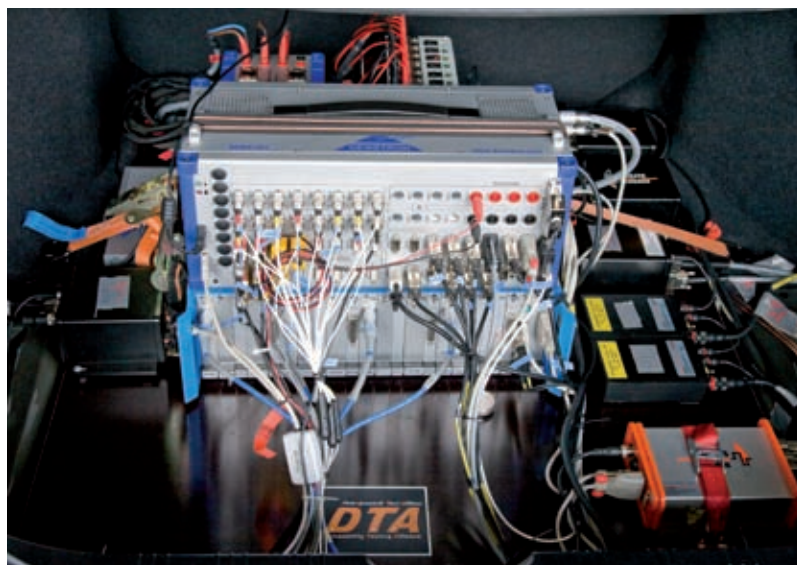
- Correvit S-350 Sensor: schlupffreie Längs- und Quergeschwindigkeit mit Berechnung des Fahrzeug-Schwimmwinkels [1]
- Correvit SFII Sensor: schlupffreie Mes-

sung von Längs- und Quergeschwindigkeit mit Berechnung des Reifenschräglaufwinkels [1]

- HF-500C Sensor: Höhenstandsmessung an 3 Fahrzeugpositionen mit Berechnung von Wank- und Nickwinkel [1]
- RV-4 Sensor: Mechanische Radvektorbestimmung durch simultane Berechnung der Radwege in x-, y- und z-Richtung sowie Spur- und Sturzwinkel [1]
- MSW/S Sensor: Messlenkrad (Lenkraddrehgeschwindigkeit, -moment und -winkel) [1] Pedalkraftsensor [1]
- GPS-/Inertial System ADMA: (Automotive Dynamic Motion Analyzer) [2] Fahrzeugbeschleunigung, -geschwindigkeit, -winkel und -position x,y,z Drehraten und Winkel (Nick, Wank, Gier- und Schwimmwinkel)
- Messrad Roadyn P650 System 2000: piezoelektrische Messung von Radkräften und -momenten und Raddrehwinkel [3]
- Beschleunigungssensor PiezoStar: Messung der 3-axialen Radträgerbeschleunigung [3]
- Beschleunigungssensor K-BEAM: Messung der triaxialen Beschleunigung an der Fahrersitz-Sitzschiene [3]
- T<sup>3</sup>M Temperatursensor: Messung der Temperatur in der Reifenlauffläche [4].

Den Messaufbau ergänzten zusätzliche Seilzugweg-Aufnehmer, die parallel zum Federbein angeordnet wurden. Die Fahrzeug-CAN-Busdaten (zum Beispiel Fahrgeschwindigkeit, Längsbeschleunigung oder Fahrpedalwinkel) wurden abgegriffen und aufgezeichnet. Durch das parallele Registrieren der Sensorrohdaten und ihrer daraus abgeleiteten berechneten Größen zeichneten die Ingenieure insgesamt 234 Messkanäle im zentralen Messdatenerfassungssystem [5] parallel auf.

Während der Verkabelung der Messeinrichtungen und der mechanischen/elektrischen Inbetriebnahme sammelte die Allianz-Partner wertvolle Erkenntnisse, die sie in einem „lessons-learned-Logbuch“ für die Weiterentwicklung der Messsysteme archivieren und wieder verwendbar halten. Für die DTA war die Realisierung dieses Fahrzeugprojekts in der zur Verfügung stehenden Zeit von nur sechs Wochen eine gewaltige Herausforderung und mit Sicherheit ein für Her-



**Bild 3:** Messdatenerfassungssystem mit angeschlossenen Signaleingängen (analog, digital, CAN, Ethernet, Video)

**Tabella 1:** Ausschnitt aus dem Messstellenkatalog

Zeichen	Messstelle	Kanal-Name	Messgerät	Signalart	Polarität	Einheit	Messbereich	Auflösung
$\delta_{\text{Lenk}}$	Lenkrad-winkel	aSter-MSW	Mess-lenkrad CDS	A oder CAN	Links-krumme	Grad	-1110/ 1110	0,05°
ay	Fzg.-Quer-beschl.	Accel_ Hor_Y	Kreisel-plattform GeneSys	CAN	Nach links	g	+/- 2,5	
$F_{zVR}$	Aufst.-kraft Rad VR	FZMRVR	Messrad P650 Kistler		Kraft nach oben	kN	+/- 45 kN	
TVLa	VL_a	TAMRVL	T <sup>3</sup> M	A		°C	-40 – 200°C	

steller und Kunde gewinnbringender Lernprozess.

Für die Messung von Nick- und Wankwinkel werden drei optische Höhenstandssensoren (seitlich und vorne angeordnet) verwendet, die den Abstand zwischen Fahrbahn und Fahrzeug bestimmen. Die Messgenauigkeit der Sensoren wird in erheblichem Umfang von der geometrischen Anordnung der Sensoren am Fahrzeug bestimmt. Dabei gilt die Faustformel, dass die Messgenauigkeit umso höher ausfällt desto größer der Abstand zwischen den Sensoren ist.

Die Positionen der außen am Fahrzeug angebrachten Sensoren müssen exakt geometrisch vermessen sein, um zum Beispiel die Lage der Sensoren zum Fahrzeugschwerpunkt in den Korrekturrechnungen wie dem Schwimmwinkel mathematisch genau zu berücksichtigen. **Bild 2** zeigt, die Anordnung der einzelnen Sensoren am Fahrzeug. Die Schwerpunktlage des Fahrzeugs mit komplett installierter Messtechnik wur-

de auf einer professionellen Pendeleinrichtung vorgenommen, die über die Schwerpunktsposition in x-, y- und z-Richtung hinaus auch die Massenträgheitsmomente um die Längs-, Quer- und Hochachse ermittelt. Mit der Kenntnis von Fahrzeugmasse, Massenträgheitsmoment und Radstand lässt sich der so genannte Agilitätsfaktor eines Fahrzeugs berechnen.

Für die Bestimmung des Fahrzeug-Schwimmwinkels sind aufgrund des vorhandenen Messequipments zwei Möglichkeiten gegeben: Einerseits lässt sich der Schwimmwinkel direkt aus dem Inertialsystem ableiten, andererseits kann die Berechnung aus den Signalen eines optischen 2-Achsen-Geschwindigkeitssensors unter Einbeziehung der Gierrate (Drehwinkel um die Hochachse des Fahrzeugs pro Zeiteinheit) aus dem Inertial-Messsystem erfolgen.

Auch das im Fahrzeuginneren fest montierte Inertialmesssystem kann nicht genau im Schwerpunkt des Fahr-

zeugs angeordnet werden, folglich müssen die Lagekorrekturen zur Ausgabe von korrekten Messdaten mathematisch berücksichtigt werden.

In **Tabella 1** wird ein Ausschnitt aus dem Messkatalog mit insgesamt 234 Messkanälen gezeigt, der die Polaritäten nach DIN 70000 berücksichtigt.

Mit der im zentralen Messdaten-Erfassungssystem Dewe501 implementierten Software können die Messkanäle entsprechend der getroffenen Konventionen konfiguriert werden. Dies gilt für die Skalierung der verschiedenen Daten und für die Auswahl des Messbereichs. Gleichzeitig können erforderliche Verknüpfungen einzelner Messkanäle mit gegebenenfalls notwendigen mathematischen Operationen durchgeführt werden. Weitere mögliche Features sind eine Sensor-Unterstützung vom Messverstärker und die TEDS-Funktionalität einzelner Module.

Für die Beurteilung der Signalgüte der aufgezeichneten Messinformationen



**Bild 4:** Fahrmanöver: VDA-Ausweichetest

ist besonders bedeutend, dass alle Daten zueinander synchron sind. In der täglichen, bekannten Messpraxis können zumeist die Messdaten von unterschiedlichen Sensoren und Messsystemen nur mit großen Zeittoleranzen korreliert werden, was einen ausgesprochen großen Zeitbedarf in Anspruch nimmt.

In der in **Bild 3** gezeigten Messdaten-Erfassungseinheit wird ein hochpräziser, Quarz-stabiler Systemtakt mit einer Frequenz von 80 MHz und einer Flanken-genauigkeit von 2 Nanosekunden ( $10^9$  s) erzeugt, mit dem alle Messsignale synchronisiert und mit einem Echtzeitstempel versehen werden. In der implementierten Datenbank legt die DTA alle Informationen mit ihren Zeitinformationen ab. Durch die hohe Präzision des Zeittaktes und durch die Synchronisierung über eigene Hardware-Leitungen handelt es sich in diesem Fall um eine Echtzeit-Messdatenerfassung.

Der interne Systemtakt kann zusätzlich noch mit einem externen Taktsignal phasengleich gekoppelt werden, um so zum Beispiel über das pps-Signal eines GPS-Satelliten absolut-zeitsynchron zu messen, was in dem Fall der gleichzeitigen Messung mehrerer Fahrzeuge erforderlich ist.

Mit der realisierten Technologie gelang es allen Beteiligten, aufwändige Nachbearbeitungszeiten von den Messsignal um bis zu 70 % zu reduzieren und die Qualität der Messergebnisse um den

Faktor 5 bis 10 zu verbessern. Eine vertrauensvolle Zusammenarbeit der Entwicklungsabteilungen der DTA-Partner war dabei eine essentielle Voraussetzung. Der wesentliche Vorteil möglicher Anwender liegt in der Kompatibilität aller verwendeten Messgeräte zueinander, beginnend mit der Hardware (unter anderem Stecker, Verkabelung, Signalpegel), die Einbindung aller unterschiedlichen Datenprotokolle und die Fähigkeit der Synchronisierung untereinander.

#### 4 Fahrndynamikversuche – Testgelände Boxberg

Auf der Fahrndynamikfläche des Testgeländes in Boxberg führte die DTA einige standardisierte Fahrversuche durch. Die-

se signifikanten Fahrmanöver liefern Aussagen über charakteristische Kenngrößen für das Fahrverhalten und Handling eines Fahrzeuges und sind für seine Entwicklung und Abstimmung unverzichtbar. Zu den aussagekräftigen Kenngrößen zählen zum Beispiel das Eigenlenkverhalten (stationäre Kreisfahrt) oder das Übertragungsverhalten (Lenkwinkelsprung und Sinustest).

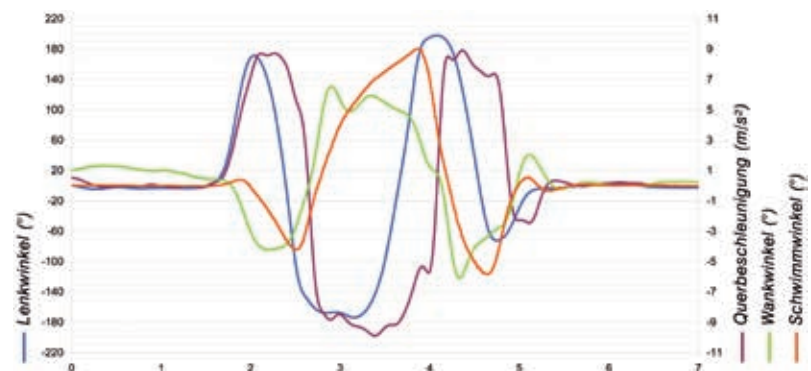
Im Einzelnen wurden folgende Fahrmanöver durchgeführt:

- ISO-Spurwechseltest (ISO 3888-1)
- VDA-Ausweichetest (ISO 3888-2)
- Stationäre Kreisfahrt (DIN ISO 4138)
- Lastwechsel aus stationärer Kreisfahrt (ISO 9816)
- Bremsen aus stationärer Kreisfahrt (ISO 7975)
- Lenkwinkelsprung und Sinustest mit Lenkroboter (ISO 7401 und ISO 13674).

Im Sinne der Vergleichbarkeit geben Normen detaillierte Testbedingungen vor – ebenso die Art der Versuchsdurchführung und der Versuchsauswertung. Nur bei korrektem Einhalten der normgerechten Bedingungen lassen sich Fahrzeuge verschiedener Hersteller miteinander vergleichen oder intern Entwicklungsstände bewerten.

##### 4.1 VDA Ausweichetest

In seiner ursprünglichen Form war der VDA-Ausweichetest – als „Elchtest“ bekannt – eingeführt worden, um die Kippstabilität von Fahrzeugen nachzuweisen. Die Testbedingungen ließen dem Fahrer jedoch so viele Freiheitsgrade bei der Durchführung, dass durch seinen Einfluss der Test keine objektiven und reproduzierbaren Ergebnisse brachte.



**Bild 5:** signifikante Signalverläufe als Funktion über die Zeit

Den Ausweichtest überarbeitete der VDA und der Kurs ist nun mit einer Gesamtlänge von 61 m streng vorgegeben. Die Zeitmessung wird in der Einfahrgasse gestartet und endet vor Verlassen der Ausfahrgasse. Gleichzeitig wird in der Einfahrgasse das Fahrpedal losgelassen, so dass das Fahrzeug im Schubetrieb durch den Kurs bewegt wird. Dies entspricht der normalen Verhaltensweise von Autofahrern. **Bild 4** zeigt das Versuchsfahrzeug beim Verlassen der Einfahrgasse vor Eintreten in die Ausweichgasse.

Während des Versuches dürfen keine Pylonen getroffen werden. Andernfalls ist der Versuch ungültig. Die Einfahrgeschwindigkeit wird schrittweise erhöht. Die Versuche werden mit und ohne ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm) gefahren. Bei dem verwendeten Fahrzeug betrug die maximal mögliche Einfahrgeschwindigkeit circa 70 km/h.

Die relevanten Messgrößen für den VDA-Ausweichtest sind:

- Fahrzeuglängs- und -quergeschwindigkeit
- Lenkradwinkel und -moment
- 3-axiale Radkräfte und -momente
- Spur- und Sturzwinkel sowie 3-axiale Radwege
- Fahrzeug-Schwimmwinkel
- Schräglaufwinkel
- Nick-, Wank-, Gier- und Schwimmwinkel
- Längs-, Quer- und Gierbeschleunigung

Der beim Einfahren in die erste Gasse bereits vorhandene Wankwinkel im **Bild 5** ist aus der besonderen Anordnung des vormarkierten VDA-Ausweichtests zu erklären: die Beschleunigungsstrecke weist einen Winkel von etwa  $10^\circ$  zur Richtung der Einfahrgasse auf, so dass unmittelbar vorher die Lenkkorrektur vorgenommen werden muss, die sich naturgemäß als Wankwinkel auswirkt. Beim ersten Kurswechsel steigt die Querbeschleunigung noch annähernd phasengleich mit dem Lenkwinkel an, im späteren Verlauf kommt es zu einem deutlichen Phasenverzug von Querbeschleunigung und Wankwinkel. Auch ist der zeitverzögerte Aufbau des Fahrzeug-Schwimmwinkels auffällig, der durch die Trägheit der Fahrzeugmasse zu erklären ist.

Nach [6] ist mit dem VDA-Ausweichtest nur bedingt eine Aussage zur Kipp-

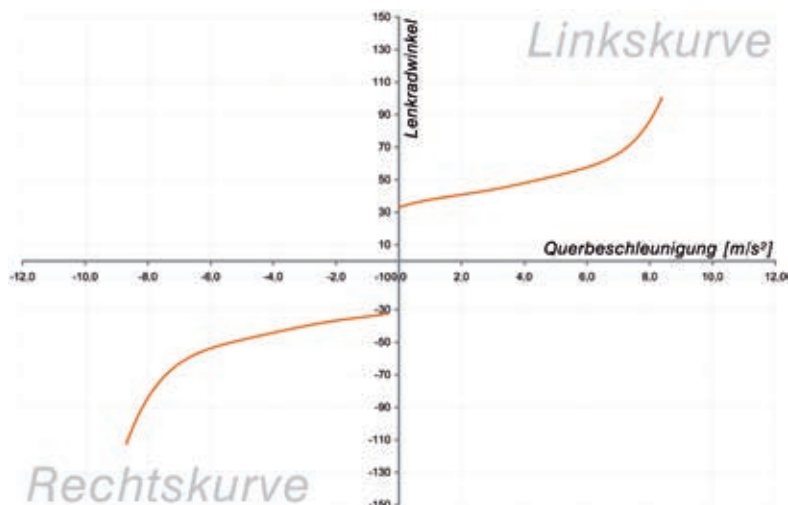


Bild 6: Lenkraddrehwinkel  $\delta_H = f(a_{\text{quer}})$

stabilität von Fahrzeugen möglich. Hierfür wird in der Regel der so genannte „Fish-Hook-Test“ durchgeführt, bei dem das Kriterium Kippen durch das gleichzeitige Abheben von zwei Rädern um mindestens 50 mm erfüllt ist.

#### 4.2 Stationäre Kreisfahrt

Bei der stationären Kreisfahrt handelt es sich um einen „Open-Loop-Test“, der nach den Methoden konstanter Radius, konstanter Lenkraddrehwinkel oder konstante Geschwindigkeit gefahren wird. Die Versuche führen die Tester mit konstanten Querbeschleunigungen in genormten Abstufungen bis zum fahrdynamischen Grenzbereich durch. Während der stationären Versuchsphase sind Lenkraddrehwinkel und Fahrpedalstellung über eine ebenfalls vorgegebene Zeitdauer konstant zu halten. Die Signalverläufe (unter anderem Lenkwinkel, Schwimmwinkel, Wankwinkel, Spur- und Sturzwinkel) werden üblicherweise über die Querbeschleunigung aufgetragen. Im Bild 6 wird der Lenkradwinkelbedarf über die Querbeschleunigung vorgestellt.

Der Verlauf des Lenkraddrehwinkels über die zunehmende Querbeschleunigung ist ein wichtiges Beurteilungskriterium für das Eigenlenkverhalten des Fahrzeugs. Seine Zunahme ist ein Indiz für untersteuerndes Verhalten. Aus Gründen der Fahrstabilität und des Sicherheitsempfindens der Fahrzeuginsassen wird in der Regel ein untersteuerndes bis neutrales Eigenlenkverhalten angestrebt. Das

Erreichen des fahrdynamischen Grenzbereiches wird durch stark ansteigenden Lenkwinkelbedarf signalisiert. Damit ist auch in der Regel eine starke Abnahme des Lenkradmoments verbunden.

Nach [7] kennzeichnet der Eigenlenkgradient  $> 0$  ein untersteuerndes Verhalten,  $= 0$  ein neutrales Verhalten des Fahrzeugs. Ein übersteuerndes Verhalten ist bei einer modernen Fahrzeugentwicklung praktisch nicht mehr gegeben. Es ist aber mit Sicherheit eine Frage der Abstimmungsphilosophie von Fahrzeugen, wie weit sich der Gradient von Giergeschwindigkeit und Lenkwinkel der kritischen Geschwindigkeit nähert und das Fahrzeug dabei am empfindlichsten auf Lenkeingaben reagiert. Dabei begegnet man kennzeichnenden Beschreibungen wie „Fahrspaß“ oder „Gutmütigkeit“.

#### 5 Ausblick

Die Driveability Testing Alliance DTA verfolgt mit ihrer grundlegenden Zielsetzung zur Vereinfachung komplexer Messaufbauten mit unterschiedlichsten Messsystemen verschiedener Hersteller ein ehrgeiziges Ziel, das in der Fahrzeug- und Komponentenentwicklung auf breite Zustimmung stoßen dürfte. Nur mit der erforderlichen Kompatibilität lassen sich in Zukunft Kosten im Versuch sparen. Die Machbarkeit wurde grundsätzlich anhand einer Reihe standardisierter Tests der fahrdynamischen Untersuchung von Fahrzeugen sowie der Auf-

nahme eines Lastkollektives für die Nürburgring Nordschleife für zwei Kernbereiche der Fahrzeugentwicklung nachgewiesen. Die im Text dargestellten Testergebnisse sind nur eine Auswahl aus dem vorliegenden Datenpool, der in der Kürze der Zeit noch nicht vollständig ausgewertet und dargestellt werden konnte.

Zunächst wird die DTA die zentrale Anlaufadresse bei Kundenanfragen nach Fahrndynamik-Messsystemen sein. Bei entsprechender Intensität kann auch über eine von den Allianz-Firmen unabhängige Geschäftsstruktur nachgedacht werden.

Insbesondere die vollständige Darstellung der Messergebnisse und ihr Vergleich mit den Inhalten klassischer Lehrbücher der Fahrndynamik ist daher mit Spannung abzuwarten. Schulungsveranstaltungen, Beratung der Kunden und Dienstleistungen erreichen so eine völlig neue Dimension, die erstmalig so umfassend durch die DTA realisiert werden.

#### Literaturhinweise

- [1] CORRSYS-DATRON GmbH, Charlotte-Bamberg-Str. 12, D-35578 Wetzlar, [www.corrsys-datron.de](http://www.corrsys-datron.de)
- [2] GeneSys Elektronik GmbH, In der Spöck 10, D-77656 Offenburg, [www.genesys-offenburg.de](http://www.genesys-offenburg.de)
- [3] Kistler Instrumente AG, Eulachstr. 22, CH-8408 Winterthur, [www.kistler.com](http://www.kistler.com)
- [4] TÜV SÜD Automotive GmbH, Daimlerstr. 11, D-85748 Garching, [www.tuev-sued.de/fahrwerk](http://www.tuev-sued.de/fahrwerk)
- [5] Dewetron Ges.m.b.H., Parkring 4, A-8074 Graz-Grambach, [www.dewetron.com](http://www.dewetron.com)
- [6] Braess/Seiffert: Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Vieweg, 2007, S. 606-612
- [7] Heißing/Ersoy: Fahrwerk-Handbuch, Vieweg, 2007, S. 142-144

Download des Beitrags unter  
[www.ATZonline.de](http://www.ATZonline.de)

**ATZ**  
online

**ATZ**  
elektronik

Read the English e-magazine.  
Order your test issue now:  
[viewegteubner@abo-service.info](mailto:viewegteubner@abo-service.info)

