



Für den Test auf dem Dynamic Chassis Simulator werden Sensoren auch an der Karosserie des Fahrzeugs befestigt; so lässt sich zeitsynchron auch die Bewegung der Karosserie messen, was Rückschlüsse zum Beispiel auf die Steifigkeit zulässt

Simulator für dynamische Fahrwerk-Tests

Weniger Zeit, weniger Kosten, weniger Risiken: Der Charakteristik- und Analyseprüfstand „Dynamic Chassis Simulator“ (DCS) von TÜV Süd Automotive eröffnet in der Chassis-Entwicklung ganz neue Möglichkeiten. Der europaweit einzigartige Prüfstand lässt es zu, den Übertragungspfad Straße, Fahrwerk, Karosserie auf einer einzigen Anlage zu klären. Zudem bringt der Charakteristik- und Analyseprüfstand neue Perspektiven in der Achsentwicklung und -optimierung. Auf Seiten der Zulieferer und OEM bedeutet der DCS einen Mehrwert sowohl für den Bereich Fahrversuche wie auch für den Bereich Simulation. Der Trend geht von statischen zu dynamischen Kinematik-Tests.

1 Reproduzierbarkeit der Messungen

TÜV Süd Automotive begleitet Automobilhersteller und -zulieferer bei der kompletten Produktentwicklung und deckt die Analyseketten von der Fahrbahn bis in die Fahrerhand ab. Dazu werden objektive Messtechnik und subjektive Beurteilung sinnvoll ergänzt: Der Charakteristik- und Analyseprüfstand „Dynamic Chassis Simulator“ (DCS) bildet das Fahrverhalten von der Straßenoberfläche über Reifen/Räder, Assistenzsysteme, Achskomponenten, Lenksysteme bis hin zur Schnittstelle Auto/Fahrer ab. Als Beispiel sei die Anforderung Komfort genannt: Für das subjektive Empfinden von Drehschwingungen am Lenkrad können die TÜV-Süd-Experten zu einem sehr frühen Entwicklungszeitpunkt belegbare Ursachen und Lösungen finden.

Der DCS ist ein innovativer Prüfstand zur Nachbildung dynamischer Fahrwerkszustände. Er ist in Europa einzigartig; weltweit gibt es lediglich drei Anlagen. Das Besondere am DCS: Die Fachleute können vier Freiheitsgrade einsetzen (Longitudinal-, Lateral- und Vertikalkräfte sowie Momente um die Raddrehachse), um damit die resultierenden Kräfte an den

Radaufstandspunkten zu messen (selektiv an vier Freiheitsgraden im Radaufstandspunkt anregen und zeitgleich die Radkräfte und Radmomente, F_x ; F_y ; F_z ; M_x , M_y , M_z messen) und die Radstellung (sechs Freiheitsgrade, Mittelpunktposition, Aufstandsposition und Lagewinkel) präzise überwachen und referenzieren. Die synthetischen Regelsignale erlauben es, dynamische Fahrzustände reproduzierbar abzubilden: dynamische Manöver wie zum Beispiel Bremsentests, Lenk- und Ausweichmanöver. Mit den Messdaten können in der Fahrzeugentwicklung Rückschlüsse auf die Funktion der einzelnen Fahrwerkskomponenten, aber auch auf Assistenzsysteme gezogen werden. Alle Messdaten fließen in die Fahrzeugentwicklung ein. Damit sind alle dynamischen Fahrzustände wie etwa Bremsen, Lenken, aber auch Ausweichen und das Überfahren von Querfugen nachbildbar.

Beim DCS handelt sich um einen Charakteristik- und Analyseprüfstand, der die Dekomposition einzelner Fahrzustände ermöglicht. Stichwort Dekomposition: Bei Kurvenfahrten beispielsweise können die Ingenieure einzelne Kraftrichtungen am Rad sedieren. Der DCS macht es möglich, die Kraftkomponenten einzeln oder

Die Autoren



Dipl.-Ing. Pascal Mast
ist Leiter Dynamic Chassis Simulator bei der TÜV Süd Automotive GmbH in München.



Dipl.-Ing. Stefan Resch
ist Leiter Längs- und Querdynamik bei der TÜV Süd Automotive GmbH in München.



Dipl.-Ing. Robert Gaffiné
ist Versuchsingenieur am DCS bei der TÜV Süd Automotive GmbH in München.



Dipl.-Ing. Janek Bittnar
ist Versuchsingenieur am DCS bei der TÜV Süd Automotive GmbH in München.



Bild 1: Der DCS beeindruckt durch seine Ausmaße; er kann Fahrzeuge von bis zu 8 t aufnehmen



Bild 2: Vom Leitstand aus können Tests jederzeit wiederholt werden – anders als auf der Teststrecke



Bild 3: Die Raderhebungskurve wird mit einem berührungslosen Erfassungssystem abgenommen; im Unterschied zu bisherigen, mechanischen Abnahmesystemen gibt es also keinen Einfluss auf das bewegte System

kombiniert zu betrachten, die vertikal, quer, längs und in der Drehung wirken. Jeder Freiheitsgrad hat dabei einen Verfahrweg von 200 mm, beim Lenkeinschlag sind bis zu 5° möglich. Die Tests lassen sich mit einer Frequenz von bis zu 30 Hz durchführen. Dabei sind Geschwindigkeiten von 1,6 m/s und Beschleunigungen bis 17 g möglich. Die reproduzierbaren Eingangssignale sind synthetische Signale (Sinus, Dreieck, Rechteck etc.), die sowohl kraft- oder weggesteuert eingeleitet werden können.

2 Kenndaten des Prüfstands

Der DCS auf dem Gelände von TÜV Süd Automotive in Garching bei München beeindruckt nicht nur durch sein Können, sondern auch durch seine Ausmaße: Entkoppelt wird die Anlage mit einer pneumatisch angehobenen Tilgermasse von sage und schreibe 350 t, um die geforderten Spezifikationen zu erfüllen.

In der Prüfstandhydraulik sind rund 1800 l Öl im Umlauf. Die Maschine, **Bild 1**, kann Fahrzeuge bis zu einem Gewicht von 8 t aufnehmen.

3 Testen im Verbund

Die Reproduzierbarkeit der einzelnen Tests ist garantiert; die Temperatur in der Testhalle beträgt konstant 20 °C, **Bild 2**. Anders als auf einer Teststrecke heizen sich auch die Reifen nicht auf. Die Reifen drehen sich nicht, sondern setzen auf einer Aluminiumplattform auf – entsprechende Korrekturwerte sind hinterlegt, um die Nichtdrehung zu kompensieren; der DCS stellt einen Charakteristikprüfstand dar. Der Vorteil: Der Einfluss der Reifen wird konstant mit abgebildet, aber anders als auf der Teststrecke sind keine Kühlrunden für den Reifen erforderlich. Der Prüfstand bietet ein breites Spektrum – von Kinematik und Übereinstimmungstests (Compliance-Tests) über Komponentenerprobung (Integrationsprobleme) bis hin zu diversen Tests von Lenk- oder Assistenzsystemen. Dabei lässt sich sowohl herausfinden, welche Rückmeldung das System dem Fahrer am Lenkrad gibt, als auch das Ansprechverhalten des Systems auf die Lenkbewegungen des Fahrers registriert wird.

Tests, die Fahrzeugentwickler und -hersteller bislang aufwändig in Viertelfahrzeug-Prüfständen durchführten, sind jetzt einfach, schnell und präzise am Gesamtfahrzeug möglich. So sind beispielsweise auch fundierte Aussagen über die Wechselwirkungen der einzelnen Komponenten in einer ganzen Wirkkette möglich. Einen Stoßdämpfer kann TÜV Süd Automotive so beispielsweise im Realverbund Fahrzeug testen. Bislang werden Stoßdämpfer als Einzelkomponente auf Stoßdämpferprüfständen vermessen.

Ein klares Wort aber auch dazu, was der DCS nicht ist, nicht kann und nicht will: Er kann nicht die Straße in die Testhalle holen – schließlich handelt es sich um eine Charakteristikmaschine, die sich speziellen Problemstellungen widmet; und nicht um einen Komplettersatz von Fahrversuchen. Es handelt sich nicht um einen Lastkollektivsimulator, sondern um einen Charakteristik- und Analyseprüfstand, der die Dekomposition einzelner Fahrmanöver ermöglicht. Der DCS hat keine Klimakammer – es herrschen konstant 20 °C.

4 Simulation: Ein Plus an Realität

Für die Hersteller von Simulationstools eröffnen die Daten aus den Tests auf dem DCS die Möglichkeit, näher an die Realität heranzurücken. Mit der Integration von dynamischen Kinematik- und Übereinstimmungs-Daten werden sich die Simulationstools eminent weiter entwickeln. Der Status Quo: In der Fahrzeugsimulation wird derzeit mit Daten gearbeitet, die auf einer quasistatischen Radbewegungskurve basieren. Die Fahrwerksanalyse findet später aber mit einem fahrdynamischen Manöver statt. Eine Inkonsistenz, die sich nun auflösen lässt – was der Fahrwerksentwicklung im Hinblick auf Komfort, Sicherheit und Handling zugute kommen wird.

Die Messdaten des DCS machen es möglich, die Radbewegungskurve, **Bild 3**, dynamisch zu integrieren. Damit wird nicht zuletzt der Tatsache Rechnung getragen, dass sich die elastokinematischen Eigenschaften von Gummiteilen wie Lagern, Buchsen etc. frequenzabhängig verändern

und in realen kombinierten Lastfällen anders verhalten als in konventionellen einachsigen Komponententests. Die Simulationsergebnisse zu Spurwechseln, Bremsmanövern, Schwellenüberfahrten oder Kurvenlagen werden somit einen großen Schritt näher an der Realität kommen – und sie bilden eine realitätsnähere Möglichkeit der virtuellen Fahrwerksentwicklung. Ein weiterer Vorteil: Das Datenmaterial für die Fahrzeugsimulationen wird bislang an verschiedenen Prüfständen mit unterschiedlichen Methoden ermittelt. Hier können sich zum einen Inkonsistenzen ergeben, zum anderen sind für jeden Test Rüstzeiten vonnöten. Am DCS lassen sich die Tests verbinden und am Realsystem durchführen – und damit liegt die Datenbasis schneller vor; noch dazu sind die Tests jederzeit reproduzierbar.

Fahrzeugsimulation aufgewertet um dynamische Kinematik- und Übereinstimmungstests – diese Weiterentwicklung wird auch die Möglichkeit für eine frühzeitige Validierungsschleife eröffnen. Nach der Auswertung der Fahrzeugsimu-

- **CO₂ and emission reduction**
- **Active and passive safety**
- **Mobility and cooperative driving**



www.tno.nl/automotive

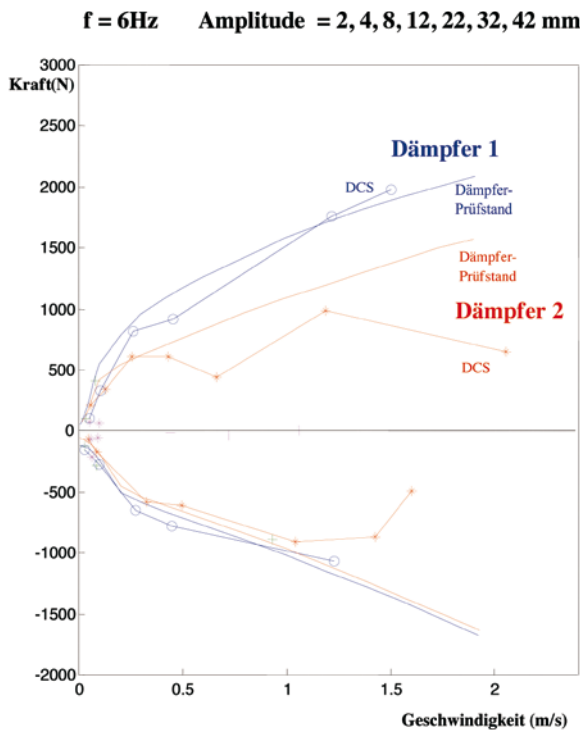


Bild 4: Vergleich gemessener Dämpfer Kennlinien für einen Stoßdämpfer auf einem speziellen Stoßdämpferprüfstand und dem universellen DCS

lation mit Daten vom DCS kann die entsprechende Auswertung eines Fahrversuchs in der Realität folgen. Der neue Baustein der dynamischen Kinematik- und Übereinstimmungs-Tests trägt somit auch zu einer engeren Verzahnung der Bereiche Simulation und Fahrversuche

bei. Zudem wird der Analyseprozess – bestehend aus subjektiver Fahrzeugevaluation, objektivem Benchmark, objektiven Fahrdynamikversuchen, objektiven Komponententests, technischen Fahrzeugdaten sowie Simulation und Optimierung – noch dichter und kompakter.

Am DCS parametrisierte, echtzeitfähige Fahrdynamikmodelle erlauben eine durchgängige Nutzung für Model-in-the-Loop-, Software-in-the-Loop- und Hardware-in-the-Loop-Anwendungen (MiL, SiL und HiL) und liefern damit einen wesentlichen Beitrag zum Frontloading in der Fahrwerksentwicklung. Die Vielfalt von Fahrzeugvarianten kann effizienter beherrscht werden, wenn es gelingt, mehr Versuche virtuell abzusichern und somit die Vorteile aus Messung und Simulation geschickt zu verbinden.

5 Details durch Dekomposition

Der größte Teil der Fahrzeugabstimmung findet nach wie vor im Außenversuch statt. Dort treten in den üblichen Fahrsituationen aber alle Kräfte gleichzeitig auf. Während einer Kurvenfahrt beispielsweise wirken Längs-, Quer- und Vertikalkräfte gleichzeitig auf das Fahrzeug, die Achse und damit auch auf die verschiedenen Fahrwerkskomponenten. Tritt ein Problem auf – wie etwa Achspoltern – kann im Fahrversuch nur mit erheblichem Aufwand ermittelt werden, welches Bauteil für die Problematik verantwortlich ist und wie Abhilfe zu schaffen ist. In vielen Fällen wird zum Beispiel das Domlager getauscht. Das Poltern kann aber auch daher rühren, dass sich der Motor gegen die Achse aufschauelt. Oder das Geräusch kommt von einem Anschlagen der Achse.

Hier kann der Dynamic Chassis Simulator seine Stärken ausspielen: Mit ihm ist es möglich, die Achse mit synthetischen Signalen anzuregen und dabei die verschiedenen Krafrichtungen an- und abzuschalten, **Bild 4**. Unter Laborbedingungen lassen sich reproduzierbar die Einflüsse und Wechselwirkungen der verschiedenen Komponenten in der Achse bestimmen. Diese Manöverdekomposition macht eine effiziente Problemlösung sowie systematische Analyse durch Separation von Einflussgrößen möglich. Im Fahrversuch dagegen kommen die Eingaben direkt von der Straße, eine stochastische Anregung – die Reaktion von Radträger, Stoßdämpfer, Dämpferlager, Bleche etc. lassen sich nie exakt reproduzieren. Auf dem DCS ist dies dagegen möglich – und man kann während der Tests auch die einzelnen Komponenten bei ihrer Funktion beobachten, einen Blick unter

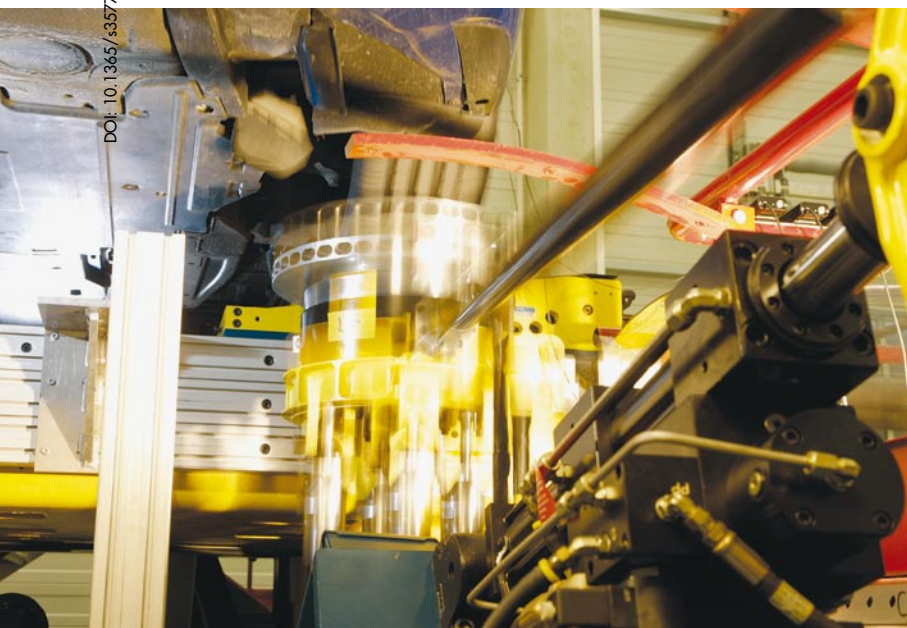


Bild 5: Mit hochdynamischer Vertikalanregung wird die Dämpfercharakteristik ermittelt; dabei kann man jederzeit einen Blick unter das Fahrzeug werfen

den Wagen werfen, Videos filmen etc., **Bild 5.** Kombinierte Messgeräte mit Hochgeschwindigkeitskameras (bis zu 200 Bilder pro Sekunde) stehen für die Analyse zur Verfügung. Die Messdaten vom Prüfstand liefern dabei dem Testingenieur wichtige Informationen für seine Arbeit.

Weiteres Beispiel: Charakteristik der Stoßdämpfer. Die Stoßdämpfer stellen eines der wichtigsten Elemente für die Achsdynamik dar, mit maßgeblichem Einfluss auf Handling und Komfort. Sie müssen längere Bodenwellen genauso ausgleichen wie kleinere Stöße, müssen nieder- und hochfrequente Anregungen gleichsam schlucken. Bislang wurde der Dämpfer auf einem speziellen Prüfstand getestet und seine Charakteristik bestimmt. Bei Abstimmfahrten wird die Charakteristik des Dämpfers nach den Vorgaben des Versuchsingenieurs geändert, um das gewünschte Fahrverhalten zu erreichen. Welches Verhalten der Dämpfer im Realverbund Fahrzeug an den Tag legt, muss der Versuchsingeni-

eur nach seinen Erfahrungen einschätzen oder nach dem Prinzip „Trial and Error“ herausfinden.

Die Bestückung des Testfahrzeugs mit anderen Dämpfern und die nötigen Fahrversuche kosten Zeit und Geld. Auf dem DCS lässt sich das Verhalten des Dämpfers in Interaktion mit anderen Bauteilen schon vorab ermitteln. Die Dämpfungscharakteristik (Dämpfer plus dämpfende Eigenschaften der Fahrwerkskomponenten in der Realkarosserie) kann somit genauer ermittelt werden, und der Versuchsingenieur hat für seine Testfahrten eine weitaus bessere Arbeitsgrundlage. Die Abstimmung semiaktiver Dämpfer kann mit echtzeitfähigen Achsmodellen in einem vorgesehenen HiL-Gesamtkonzept noch effektiver durchgeführt werden.

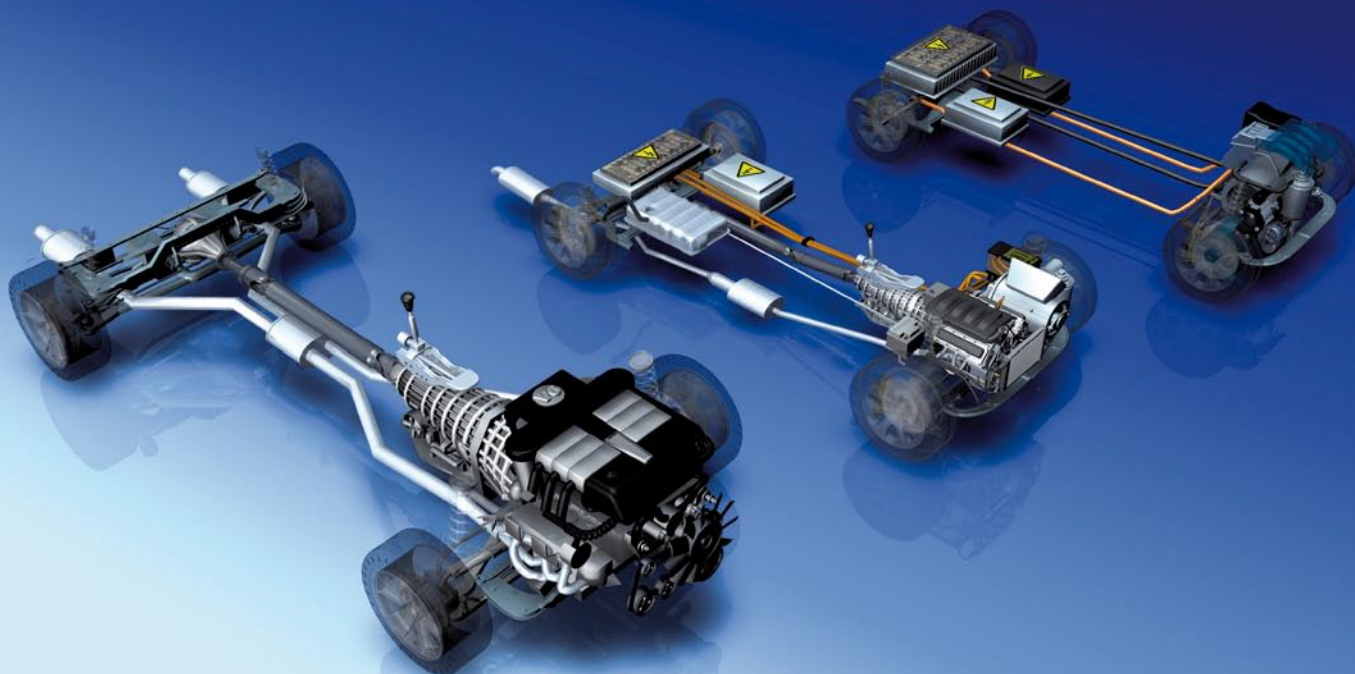
6 Ausblick

Statische Tests durch dynamische Versuche ergänzen oder ersetzen – diese Mög-

lichkeiten, die der „Dynamic Chassis Simulator“ (DCS) des TÜV Süd Automotive eröffnet, nutzen sowohl dem Bereich Simulation als auch dem Bereich Fahrversuch. Und die Arbeit mit dem DCS bietet zudem die Chance, diese beiden Entwicklungsstationen noch enger zu verknüpfen. Geht es bei der Fahrzeugentwicklung nicht so sehr ins Detail einzelner Bauteile, sondern werden diese Bauteile früher im Verbund getestet, bedeutet dies einen Beitrag zur Risikominimierung.

Die immer kürzeren Entwicklungszeiten haben die Risiken ansteigen lassen – der DCS leistet wiederum einen Beitrag zur Minimierung. Der Mehrwert des DCS noch einmal zusammengefasst: In Zeiten steigender Rohstoff- und Energiepreise, scharfer Kostenkalkulation und vor dem Hintergrund der globalen Umweltdiskussion hilft der Prüfstand den Ingenieuren der Automobilindustrie, wetterunabhängig zu testen, reale Fahrversuche zu reduzieren und Entwicklungskosten und -zeiten zu sparen. ■

Energy-efficient Powertrain Systems



Any Class. Any Vehicle Branch. Any System.