



© BMW | Dassault Systèmes 3Dexcite

Effiziente Fahreigenschaftsoptimierung durch echtzeitfähige Mehrkörperachsen

AUTOREN



Dipl.-Ing. Josef Henning
ist Produktmanager
bei der IPG Automotive GmbH
in Karlsruhe.



Dipl.-Ing. Steffen Schmidt
ist Geschäftsführer der
IPG Automotive GmbH in Karlsruhe.



**Dipl.-Medieninformatiker (FH)
Jan Bodenstein**
ist Teamleiter Visual Simulation
bei Dassault Systèmes 3Dexcite
in München.

Kurze Entwicklungszyklen, eine hohe Variantenvielfalt, immer komplexer werdende Systeme und ein steigender Vernetzungsgrad verursachen in der Fahrzeugentwicklung einen hohen Kalibrier- und Absicherungsaufwand, obwohl die Entwicklungsressourcen nicht im gleichen Maß steigen können. Daher werden Methoden benötigt, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Einen Lösungsansatz von IPG Automotive stellt der Einsatz des virtuellen Fahrversuchs dar, mit dessen Hilfe Fahrzeugfunktionen durchgängig im Entwicklungsprozess getestet und validiert werden können.

HERAUSFORDERUNGEN

Jeder OEM hat seine eigene spezifische Fahrzeug-DNA entwickelt, die der Fahrer wahrnehmen soll. Die gewünschte DNA ist die Grundlage, um verschiedene Fahrzeugkomponenten und entsprechende Steuergeräte abzustimmen. Die Lenkungsabstimmung ist ein entscheidender Faktor bei der Bewertung der Fahreigenschaften, da sie eine wichtige Rolle für das Fahrgefühl spielt.

Die Lenkeigenschaften können über viele subjektive und objektive Kriterien bewertet werden. Um möglichst zahlreiche Faktoren zu überprüfen, erfolgt die Lenkungsoptimierung in unterschiedlichen Fahrsituationen, etwa auf Komfortstrecken, in der Stadt, auf Überlandfahrten, der Autobahn oder – je nach Fahrzeugtyp – auch auf Rennstrecken. Ein Kriterium in diesem Zusammenhang ist die Bewertung des On-Centre-Verhaltens. Der Vergleich von HiL-Simulation

und Daten von einem realen Fahrzeug auf der Teststrecke ist in **BILD 1** beispielhaft am On-Centre-Weave-Test mit 5° Lenkwinkelamplitude dargestellt. Dabei bleibt festzuhalten, dass bei diesem Test sowohl für den Drift- als auch für den Pull-Effekt einerseits subjektive, andererseits objektive Bewertungskriterien abgeleitet werden können. Die Möglichkeit, Kriterien objektiv formulieren zu können, stellt für die Durchführung und automatisierte Auswertung in einer Simulationsumgebung die entscheidende Basis dar.

Neben der Lenkung müssen bei der Untersuchung des Fahrverhaltens viele weitere Fahrzeugkomponenten berücksichtigt werden. Dies sind zusätzlich unter anderem die Abstimmung der Lenkfunktionen [1] im EPS-Steuergerät, die Reifeneigenschaften sowie die Achsdesignparameter [2]. Letztere haben einen großen Einfluss auf das Verhalten des Lenksystems. Um den Einfluss der verschiedenen Komponenten auch ohne Hardwareprototypen bereits frühzeitig bewerten zu können, setzen OEMs und Zulieferer häufig bereits früh im Entwicklungsprozess Simulationsumgebungen ein. Der hohe Grad der Interaktion zwischen den in **BILD 2** aufgeführten Komponenten führt zu deutlichen Auswirkungen auf das Lenkverhalten bei Änderung nur eines Parameters. Daher werden Fahrzeugkomponenten inklusive aller zugehörigen Steuergeräte als virtuelle oder reale ECUs als Verbund in das virtuelle Gesamtfahrzeug der offenen Integrations- und Testplattform CarMaker integriert.

EFFIZIENZSTEIGERUNG

Der klassische Arbeitsprozess besteht darin, in einem Simulationswerkzeug für Mehrkörpersystem(MKS)-Achsen (zum Beispiel Adams oder Simpack für das Achsdesign; IPGKinematics beispielsweise für die K&C-Achsauslegung) die entsprechenden Achsen aufzubauen und zu bedaten (Preprocessing, deutsch: Vorverarbeitung). Daraufhin werden Lookup-Tables für das K&C-Verhalten (Kinematics & Compliance, deutsch: Kinematik & Elastokinematik) generiert, um diese dann in einer Gesamtfahrzeugsimulation (zum Beispiel CarMaker) auch mit realen Steuergeräten zu verwenden. Durch den Einsatz realer ECUs ist Echtzeit eine nötige Anforderung an die Simulationsumgebung.

Bei diesem kennfeldbasierten Preprocessing-Ansatz muss bei jeder Änderung eines Achsdesignparameters, etwa der Position der Anlenkpunkte, eine neue Lookup-Tabelle generiert werden. Um die zentralen Anforderungen der Echtzeitfähigkeit und der Möglichkeit, Achsdesignparameter in einem Tool ohne Preprocessing-Schritt zu optimieren, umzusetzen, hat IPG Automotive für die offene Integrations- und Testplattform CarMaker echtzeitfähige MKS-Achsen entwickelt [3], **BILD 3**.

Mit dem neuen Ansatz ist es in CarMaker möglich, Achsen bereits frühzeitig umfassend in nur einem Tool zu untersuchen und detaillierte Ergebnisse zur Interaktion im Gesamtfahrzeugkontext zu bekommen, sodass Entscheidungen für den weiteren Entwicklungspro-

zess getroffen werden können. Die Implementierung der echtzeitfähigen Achsmodelle erfolgte auf Basis von Mesa Verde (Mechanism, Satellite, Vehicle and Robots Dynamic Equations), einem von Prof. Dr.-Ing. Jens Wittenburg und Dr.-Ing. Udo Wolz an der Universität Karlsruhe entwickelten System [4]. Durch die heutzutage zur Verfügung stehende Rechnerleistung sowie die optimierte Modellierung können die MBS-Achsen in CarMaker in Echtzeit gerechnet werden. Verfügbare Achsen sind die McPherson-, **BILD 4**, McPherson-Extended- und die Fourlink-Achse. Mit dem CarMaker Release 5.0 werden zusätzlich die Achstypen Fourlink Extended, Twistbeam, Twistbeam Extended sowie Double Wishbone zur Verfügung stehen.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die McPherson-Vorderachse in Kombination mit einer Vierlenker-Hinterachse in >1,8-facher Echtzeit auf einem Standard-PC gerechnet werden kann. Durch den Einsatz dieser Achsmodelle kann der klassische Arbeitsprozess effizienter gestaltet werden, da zeitraubende Arbeitsschritte wie die ständige Neuerstellung einer Lookup-Tabelle bei Änderung eines Designparameters entfallen, wie in **BILD 5** verdeutlicht wird. Im neuen Prozess wird die Achse in CarMaker einmal bedatet. Dies kann auch mit einem Parameterübertrag aus anderen Tools erfolgen. Dann können diverse Achs-Designparameter (beispielsweise die Position der Anlenkpunkte oder die Steifigkeit der Lager) komfortabel im gleichen Tool geändert sowie zusätzliche Fahrwerkgrößen direkt während der Simulation beobachtet und

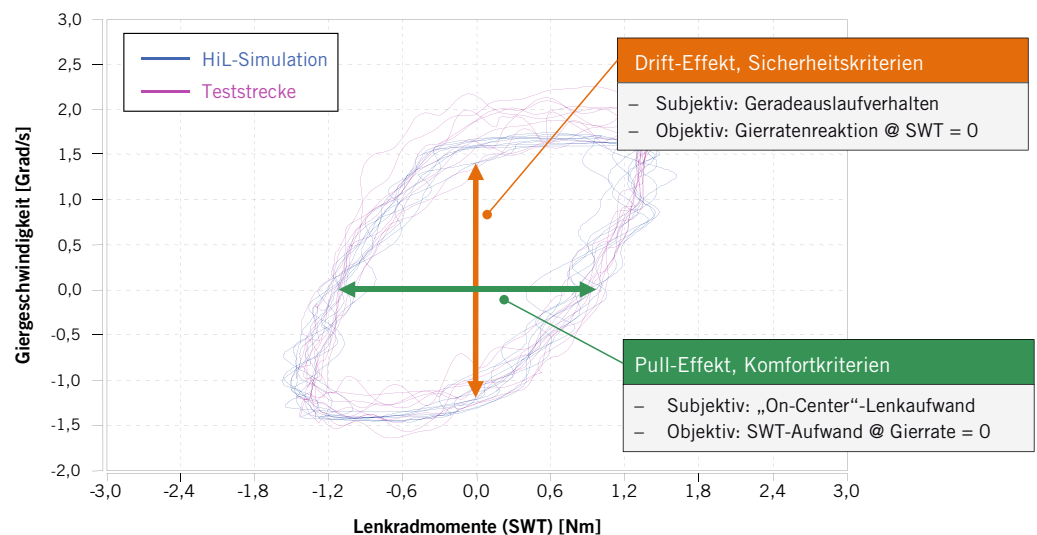


BILD 1 On-Centre-Weave-Test

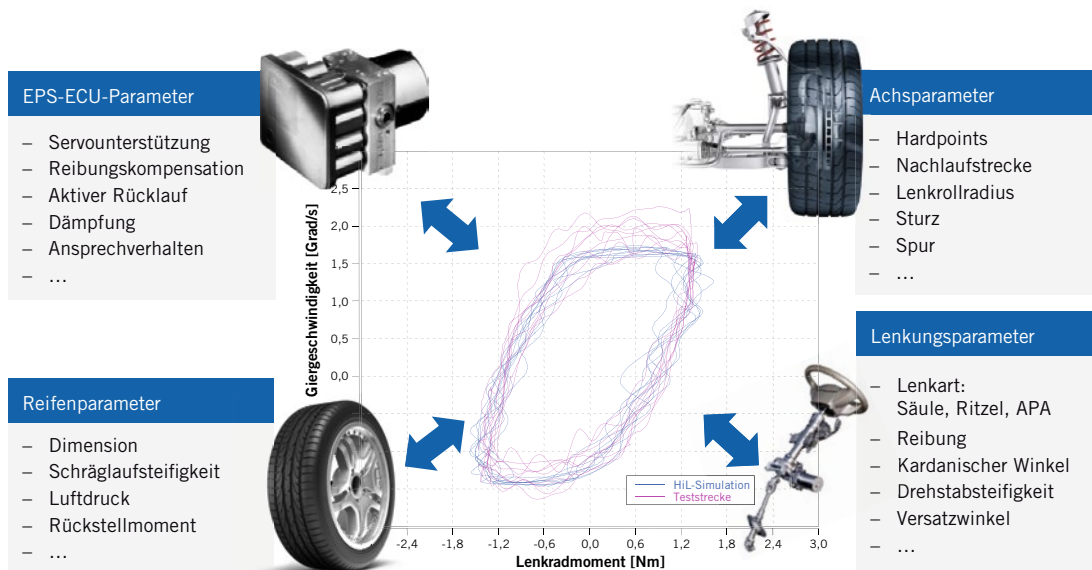


BILD 2 Das Lenksystem beeinflussende Parameter

im gleichen globalen Simulations-Ergebnisfile gespeichert werden.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass für die Optimierung der Achsen keine unterschiedlichen Tools mehr benötigt werden, sondern die in CarMaker verfügbare Testautomatisierung (Testmanager) dafür verwendet wird. In Testmanager ist es darüber hinaus möglich, die eingangs erwähnten objektiven Bewertungskriterien zu formulieren und automatisiert auszuwerten, sowie die Ergebnisse in Form von konfigurierbaren Reports zu dokumentieren. Zusätzlich lässt sich CarMaker in Verbindung mit gängigen Design-of-Experiments(DoE)-Tools für eine automatisierte Optimierung verwenden.

EXEMPLARISCHE ANWENDUNGSFÄLLE

Wie zuvor aufgeführt, kommt den Achsen eine zentrale Rolle bei der Optimierung des Lenkverhaltens zu. Über Model-in-the-Loop (MiL) und Software-in-the-Loop (SiL) hinaus kann CarMaker auch auf HiL-Prüfständen – bei Bedarf auch auf Lenkungsprüfständen mit real integriertem, komplettem Lenksystem – eingesetzt werden, sodass der durchgängige Einsatz im gesamten Entwicklungsprozess möglich ist.

Ein weiterer typischer Anwendungsfall der echtzeitfähigen MBS-Achsen ist die Untersuchung der Regler-Robustheit gegen Fehlanregelungen, wie dies unter anderem bei ESP denkbar ist. Dies kann etwa aufgrund von Änderungen am Fahrwerk auftreten, wenn das ESP-System an

weitere Fahrzeugvarianten angepasst werden soll. Mithilfe der echtzeitfähigen MKS-Achsen ist außerdem eine Lenkbewertung an Fahr simulatoren durchführbar. Unabhängig von der Analyse der Achsparameter zur Fahrwerksauslegung spielt die Möglichkeit der realitätsnäheren, echtzeitfähigen Mehrkörperachsen auch in einem anderen Bereich eine große Rolle, nämlich der Produktion von Bildern, Animationen und Filmen anhand von CGI (Computer Generated Imagery). Die offene Integrations- und Testplattform CarMaker wird etwa von Dassault Systèmes 3Dexcite verwendet, um exakte Bewegungsmanöver so optimiert wie möglich aus CAD-basierten 3D-Mastermodellen für Anwendungen in der Produktentwicklung nutzen zu können.

VISUELLE ERLEBBARKEIT

Im Rahmen des Entwicklungsprozesses ist die realistische 3D-Visualisierung

besonders hilfreich, um Zusammenhänge aus Geometrie und Funktion sichtbar und somit verständlicher abzubilden. Für die fotorealistische Darstellung der einzelnen Komponenten in CarMaker kommt die Visualisierungssoftware 3Dexcite Deltagen zum Einsatz, wobei die Nutzung der verfügbaren CAD-Daten eine detaillierte Betrachtung bis auf einzelne Komponentenebenen (Festkörper wie Bodies oder flexible Bauteile wie Bushings) ermöglicht.

Die Integration der Visualisierungslösung Deltagen Real Drive als Schnittstelle in CarMaker bildet die Grundlage für die virtuelle Fahrsimulation, sodass der Entwicklungsprozess zu einem greifbaren und emotionalen Produkterlebnis für alle Prozessbeteiligten wird. Die realistische 3D-Simulation von Fahrzeug und Verkehr innerhalb einer immersiven Umgebung unterstützt die effiziente Präsentation aktueller Serienentwicklungsstände und die Validierung im Kontext

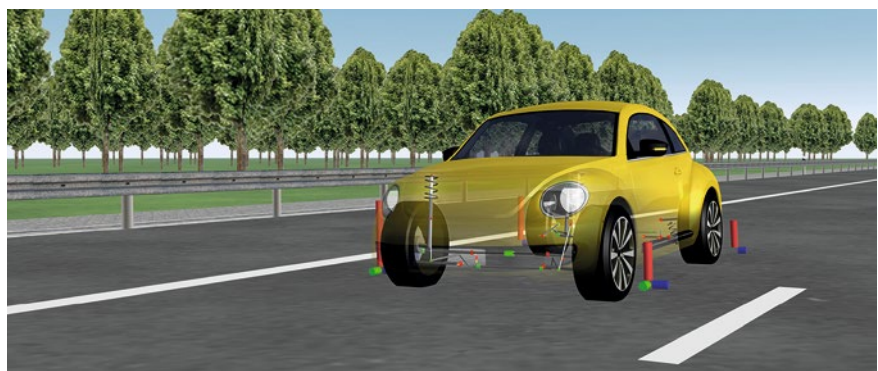


BILD 3 Echtzeitfähige Mehrkörperachse in CarMaker

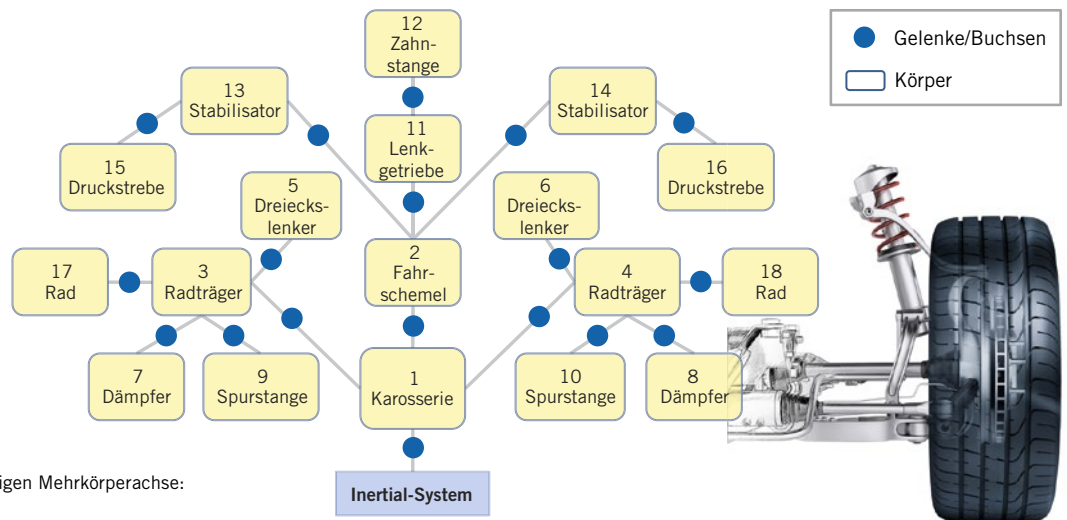


BILD 4 Beispiel einer echtzeitfähigen Mehrkörperachse: McPherson-Vorderachse

mit der Fahr-situation. Dabei werden das Fahrzeug, die Räder, die Bodies und Bushings aus der simulierten MKS-Achse direkt an die Konstruktionsdaten gekoppelt und das zu prüfende Szenario fotorealistisch und physikalisch korrekt simuliert. So lassen sich technische Zusammenhänge am Gesamtfahrzeug insbesondere durch die High-End-3D-Visualisierung leichter nachvollziehbar für Entscheidungsträger und Produktverantwortliche darstellen. Direkt an der Achse geänderte Parameter können beispielsweise im direkten Vergleich aus ausgewählten Simulationsergebnissen und mittels Animation direkt im Gesamtfahrzeug verglichen werden.

In der Praxis ist ein wie im Aufmacherbild dargestellter VDA-Spurwechsel ein gängiges Fahrdynamik-Manöver, um die Fahrstabilität des Pkws im dynamischen Grenzbereich zu validieren.

ZUSAMMENFASSUNG

Bislang waren die Bereiche Detaillierte Simulation von Mehrkörpersystem-Achsen und Echtzeitsimulation separat. Mit Hilfe der entwickelten MKS-Achsmodele in CarMaker wird eine effizientere Durchführung von Fahrdynamik-Bewertungen im Gesamtfahrzeug geboten. Ebenfalls ist es möglich, ganze Fahrzeugkomponenten, wie die Lenkung inklusive EPS-Steuer-

geräte, unter Zuhilfenahme umfangreicher Manöverkataloge mit einer leistungsfähigen Testautomatisierung effizient zu kalibrieren und abzusichern. Der Einsatz der echtzeitfähigen Mehrkörperachsen in CarMaker kann so dem steigenden Entwicklungsaufwand entgegenwirken und ermöglicht gleichzeitig sowohl eine effiziente Lenkungsoptimierung als auch das Testen eines komplexen Gesamtfahrzeugverbunds. Die Untersuchung, wie das Lenkverhalten durch andere Fahrzeugkomponenten und deren Regelsysteme beeinflusst wird, kann schnell, frühzeitig und ohne Prototypen über den gesamten Entwicklungsprozess (MiL-SiL-HiL) in nur einem Tool erfolgen.

Klassischer Arbeitsprozess



Verbessertes Arbeitsprozess

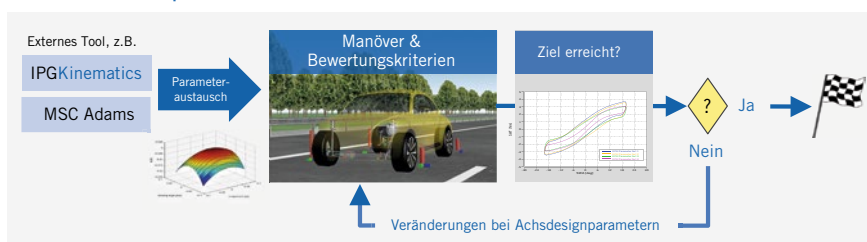


BILD 5 Gegenüberstellung des herkömmlichen und des verbesserten Arbeitsprozesses

LITERATURHINWEISE

- [1] Reimpell, J.; Betzler, J.: Fahrwerktechnik: Grundlagen. 4. völlig überarbeitete Auflage, Würzburg: Vogel-Buchverlag, Kapitel Lenkung, S. 275-316, 2000
- [2] Wittenburg, J.: Dynamics of Multibody Systems. 2. Auflage, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008
- [3] Schmidt, S.; Schmidt, E.; Henning, J.; Schick, W.: Optimization of Vehicle Handling Performance Using a Full Vehicle Model With Multibody System (MBS) Suspensions in Multiple Real Time – Applying the DoE Method. JSAE, Paper No. 20140225, 2014
- [4] Wolz, U.: Dynamik von Mehrkörpersystemen. Theorie und symbolische Programmierung. VDI-Fortschritt-Berichte, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1985

DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.springerprofessional.de/ATZ

READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
 order your test issue now:
springervieweg-service@springer.com