

HERAUSFORDERUNG FAHRDYNAMIKSIMULATION EINE KRITISCHE BETRACHTUNG

Sicheres und komfortables Fahrverhalten ist heute selbstverständlich. Die Variantenvielfalt steigt, aktive Systeme müssen geregelt und komplexe Elektronik beherrscht werden. Das ist nur mit Einsatz der Fahrdynamiksimulation möglich. Hersteller können heute auf ein großes Angebot frei verfügbarer Produkte zur Fahrdynamiksimulation zugreifen, und immer mehr Anbieter drängen in den Markt. Tesis Dynaware erläutert die wichtigsten Kriterien für anwendungsorientierte Lösungen.

AUTOR



DR. CORNELIUS CHUCHOLOWSKI
ist Geschäftsführer der Tesis
Dynamare GmbH in München.

Dynamische Simulation verstehen

Mit dynamischer Simulation ist die numerische Integration von Differentialgleichungen gemeint, die das Systemverhalten beschreiben. Der rasante Fortschritt in der Computertechnik erleichtert es, dass dieses aufwändige Rechenverfahren in kleinen Zeitschritten auf immer komplexer werdende Systeme angewendet wird. Auch die Werkzeuge haben sich grundlegend geändert. Während früher die Differentialgleichungen von Hand aufgestellt und programmiert wurden, gibt es heute Spezialwerkzeuge für Mehrkörpersysteme oder generische Modellierungsprogramme, die ohne mathematische Grundlagenkenntnisse angewendet werden können. Außerdem gibt es für immer mehr Teilsysteme fertige Bibliotheken, aus denen sich der Benutzer bedienen kann. Benutzerfreundliche Komplettlösungen für Fahrdynamiksimulation unterstützen den Einsteiger und führen schnell zu Ergebnissen. Die Einfachheit der Bedienung hat aber auch einen Nachteil. Es geht die Notwendigkeit verloren, sich mit den Grundlagen zu beschäftigen und die Ergebnisse kritisch zu hinterfragen. Experten wissen, dass es keine exakte Lösung gibt, sondern nur eine Annäherung an die Realität. Ein Ergebnis kann nur so genau sein, wie es die Modellierung und Numerik erlaubt. Zudem nützt das beste Programm nichts, wenn keine validen Daten zur Parametrierung vorliegen. Simulation zur Absicherung der Fahrdynamik und aktiven Regelungen ist unverzichtbar. Der Anwender sollte sich aber der Hintergründe bewusst sein und angepasste Werkzeuge und Modellierungstiefen wählen. Es ist auch unbestritten, dass Simulation nur mit der Unterstützung des Fahrversuchs den vollen Nutzen erbringen kann ❶.

Anforderungen an Fahrdynamiksimulation

Die Erfahrung von Tesis Dynamare reicht in eine Zeit zurück, in der es keine oder nur wenige Werkzeuge zur dynamischen Simulation gab und jedes Programm individuell erstellt wurde.

Die Simulation ermöglicht vertrauenswürdige Vorhersagen, solange der Anwender sich über die Grenzen im Klaren ist.

Eine Gefahr ist blindes Vertrauen in die Numerik. Das Integrationsverfahren und die Rechenschrittweite sollten problemangepasst gewählt werden. Die Rechenschrittweite orientiert sich an der Dynamik des Systems und muss klein genug sein, um die hochfrequenten Schwingungen auflösen zu können. Zu kleine Rechenschrittweite führt zu „numerischem Schmutz“ und verfälscht das Ergebnis. TESIS DYNARE ist spezialisiert auf echtzeitfähige Simulation, wie sie für den Test von Steuergeräten im HiL-Betrieb erforderlich ist. Im Echtzeitbetrieb müssen Events - z.B. für eine Strukturumschaltung beim Übergang vomhaften ins Gleiten - besonders behandelt werden, um auch mit fester Schrittweite genaue Ergebnisse zu erzielen. Dies wird durch Standardbibliotheken nicht abgedeckt. Umfangreiche Bibliotheken verleiten dazu, die Modelle detaillierter aufzubauen als nötig. Detaillierte Modelle benötigen hohe Rechenleistung, sind aufwändig zu parametrieren und zu validieren. Mit Zunahme der

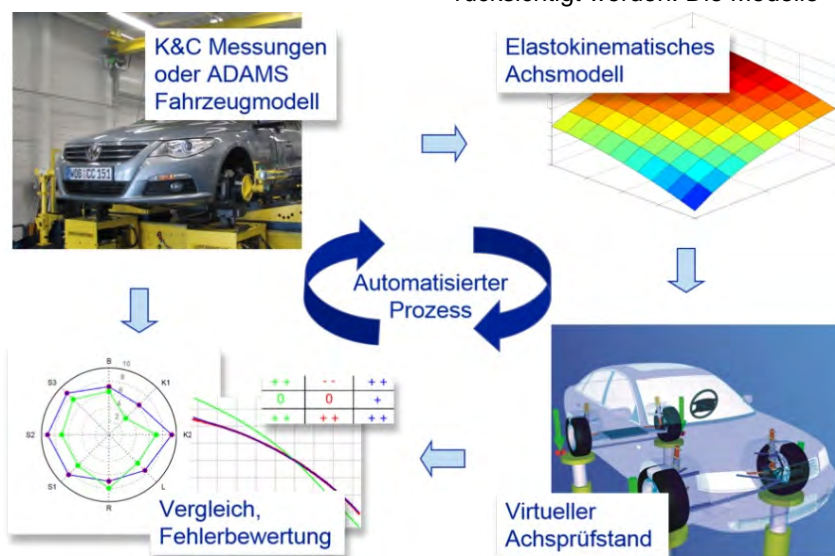


❶ LKW-Kippversuch. Vergleich der Simulation mit Fahrversuch in der Animation.

Parameter steigt auch die Fehleranfälligkeit.

Für Prinzipuntersuchungen ist es angebracht, auf ganz einfache Modelle zurückzugreifen, z.B. ein Punktmassenmodell für Fahrleistung/Verbrauch, ein Einspurmodell für Querdynamik oder ein Viertelfahrzeug für Vertikaldynamik. Diese Modelle erlauben eine analytische Betrachtung, die gut geeignet ist, um Regelstrukturen festzulegen und Regelkonzepte zu testen, aber wenig geeignet, um Parameter zu applizieren. Die klassische Fahrwerksentwicklung verwendet Simulationen, die auf generischen Mehrkörperprogrammen aufsetzen, z.B. ADAMS/Car.

In den High Fidelity Anwendungen können auch flexible Strukturen berücksichtigt werden. Die Modelle



❷ TESIS DYNARE Suspension Analysis Toolbox zur Bestimmung der Achskinematik und Achsnachgiebigkeit aus virtuellen oder realen K&C-Messungen.

werden aus Bauteil- und Konstruktionsdaten abgeleitet. Bei den Fahrzeugherstellern wird sehr viel Aufwand darauf verwendet, die komplexen Modelle zu parametrieren und so weit zu validieren, dass sie als virtuelle Referenzfahrzeuge verwendet werden können. Zulieferer haben selten den Zugang zu den benötigten Daten oder können sich den Aufwand nicht leisten. Schwerpunkt der High-Fidelity Modelle ist die Neukonstruktion. Für die Funktionsentwicklung und den Test von Regelungen, aktiven Systemen und Steuergeräten werden spezialisierte Fahrdynamikprogramme eingesetzt, die einfach zu parametrieren sind und auch in Echtzeit auf HiL-Systemen laufen können. Die Detaillierungstiefe ist reduziert, aber fein genug, um die wichtigsten fahrdynamischen Effekte abzubilden. Bis 30Hz unterscheiden sich die Ergebnisse kaum von denen der High-Fidelity Programme. Die Programme der TESIS DYNAware verwenden Simulink als Laufzeitumgebung. Simulink ist eine bevorzugte Plattform, um Regler vom Entwurf bis zur Serienreife zu entwickeln. Alternativ zur aufgelösten Achsmodellierung kann der Anwender Kinematikfelder mit Nachgiebigkeit vorgeben, die er am realen Fahrzeug ermittelt oder durch Analysen am komplexen Gesamtfahrzeugmodell. Das von der TESIS DYNAware entwickelte Konzept hat sich sehr bewährt und wird auch bei Zulieferern verwendet, denen keine Konstruktionsdaten zur Verfügung stehen. ②

Gesamtfahrzeugbaukasten

3D-Fahrdynamik deckt Quer-, Längs- und Vertikaldynamik ab. Die Bereiche sind stark verflochten. Die Verteilung der Antriebs- und Bremsmomente auf Vorder- und Hinterachse verändert das Eigenlenkverhalten. Bei einem Elektro- bzw. Hybridfahrzeug mit achsselektivem Antrieb steht dies mit Energiemanagement in Zusammenhang. Auch Wankstabilisierung oder aktive Federung verändern nicht nur die Vertikaldynamik, sondern auch Quer- oder Längsdynamik. Nicht in jeder Entwicklungsphase wird zu

jedem Aspekt die gleiche Detailtiefe benötigt. Aber es empfiehlt sich, in allen Bereichen den gleichen Grundbaukasten eines Gesamtfahrzeugs zu verwenden, der dann auch in allen Phasen des V-Modells eingesetzt werden kann.

Im Simulationsframework DYNA4 der TESIS DYNAware können daher die Simulationsmodelle problemangepasst zusammengestellt werden.

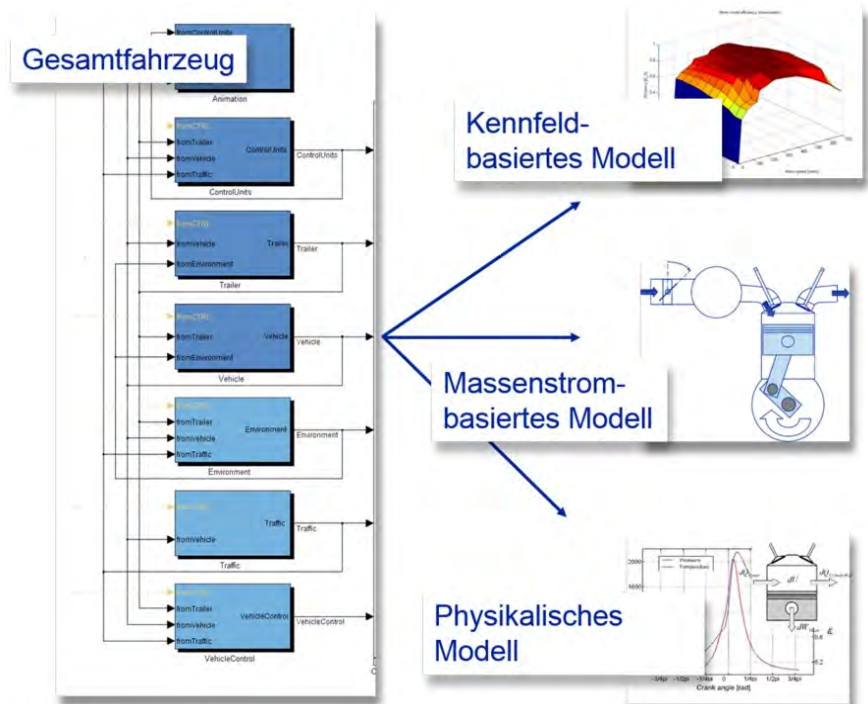
Die Grundarchitektur Fahrer-Fahrzeug-Umwelt ist für Gesamtfahrzeugsimulation immer gleich. Auch die Bedienung und Ansteuerung ändert sich wenig. Lenkmanöver, Verbrauchszyklen oder allgemeine Fahrerregelung werden in ähnlicher Weise aus einem Manöverkatalog ausgewählt. Im Umgebungsmodul können der Trassenverlauf oder Verkehrsbedingungen festgelegt werden. Welche Informationen davon verwendet werden ist vom Manöver abhängig.

Das Kernstück der Simulationsumgebung bildet das Fahrzeugmodul, das ohne Modellierungskennnisse interaktiv flexibel konfiguriert werden kann. Ein Merkmal der Modellstruktur sind flexible Datenbusse. Damit ist es möglich, Modellkomponenten mit

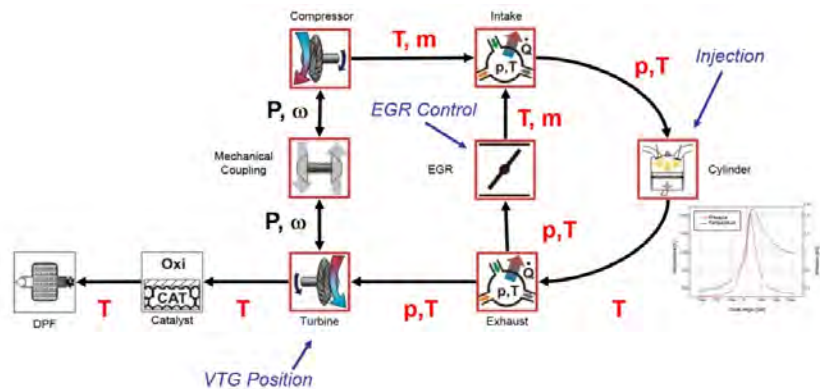
sehr unterschiedlichem Detaillierungsgrad per Checkbox auszutauschen, z.B. einen einfachen Kennfeldmotor durch ein komplexes Motormodell mit echtzeitfähiger Kreisprozessrechnung ③.

DYNA4 verwaltet Simulink Module. Über Wizards, in denen die Metadaten abgefragt werden, können eigene Module eingebunden werden. Der Anwender mit Modellierungs-Know-how kann auch selbst Änderungen im Simulinkmodell vornehmen und die Änderungen in der Modellbibliothek verwalten lassen.

Für Anwendungen in der Fahrzeugtechnik steht inzwischen eine große Menge von Modelica-basierten Bibliotheken z.B. für Antriebsstrangkomponenten, Elektrik oder Hydraulik zur Verfügung. Bei geeigneter Wahl der Systemgrenzen lassen sich aus den physikalischen Modellen Funktionsmodule erstellen, die als „functional mockup unit“ (FMU) in die DYNA4 Benutzeroberfläche eingebunden und parametrisiert werden können. Andererseits ist es auch in Simulink möglich, sehr modulare Bibliotheken aufzubauen und diese in DYNA4 zu verwalten. ④.



③ Auf der obersten Ebene gleichbleibende Struktur der Gesamtfahrzeugsimulation im Detail flexibel anpassbare Komponenten, z.B. verschiedenen komplexe Motormodelle



④ enDYNA Bibliothekskonzept für Motorsimulation auf Simulink-Basis

Durchgängige Modellnutzung von MiL, SiL bis HiL

In den TESIS DYNAware Modellen sind Regelung und Strecke strikt getrennt.

Nur so ist es möglich, eine durchgängige Nutzung im V-Prozess zu gewährleisten, d.h. in einer späteren Entwicklungsphase die Soft-ECU im HiL-Betrieb durch ein echtes Steuergerät zu ersetzen. Das Simulationsframework ist damit für funktionsorientierte Untersuchungen geeignet.

Ergebnisdarstellung und Reporting

Die Ergebnisaufbereitung und das revisionssichere Reporting der Ergebnisse sind wichtiger Bestandteil der Fahrdynamiksimulation. Hilfreich ist die parallel zur Simulation laufende Animation, sowohl im Office- als auch im HiL-Betrieb. Nicht jedes generische Simulationsprogramm beinhaltet diese Option oder muss erst aufwändig dafür eingerichtet werden.



⑤ „Virtuelle Realität“ für Fahrdynamikprogramme zum Test von Fahrerassistenzsystemen

Fahrerassistenzsysteme und Fahrzeugvernetzung

Der zunehmende Einsatz von Fahrerassistenzsystemen und Fahrzeugvernetzung stellt auch für

die Fahrdynamiksimulation eine Herausforderung dar. Nicht die Fahrdynamik selbst, sondern die Abbildung der Umwelt, der Sensorik und der Kommunikation rücken in den Vordergrund. Abgesehen von Seitenwind hat das Fahrzeug nur über den Reifen Kontakt zur Umwelt. Der im Simulationsprogramm eingesetzte „virtuelle Fahrer“ muss nur den Straßenverlauf abfragen und steuert oder regelt seine Aufgabe.

Wenn Assistenzsysteme mit im Spiel sind, muss sich auch das Fahrermodell wie ein assistierter Fahrer verhalten. Die Umwelt muss viel genauer abgebildet werden, um z.B. die Sichtbarkeit, Kreuzungen oder Verkehr darzustellen. Wesentliches Element ist die Qualität und der Inhalt der grafischen Darstellung. Der Aufwand für die Erstellung des Inhalts ist aber nicht zu unterschätzen.

TESIS DYNAware setzt hier auf eine Werkzeugkette, bei der aus Navigationsdaten, und anderen

allgemein zugänglichen Informationen eine virtuelle Umwelt erzeugt wird, die den Assistenzsystemen eine virtuelle Realität vorspiegelt ⑤.

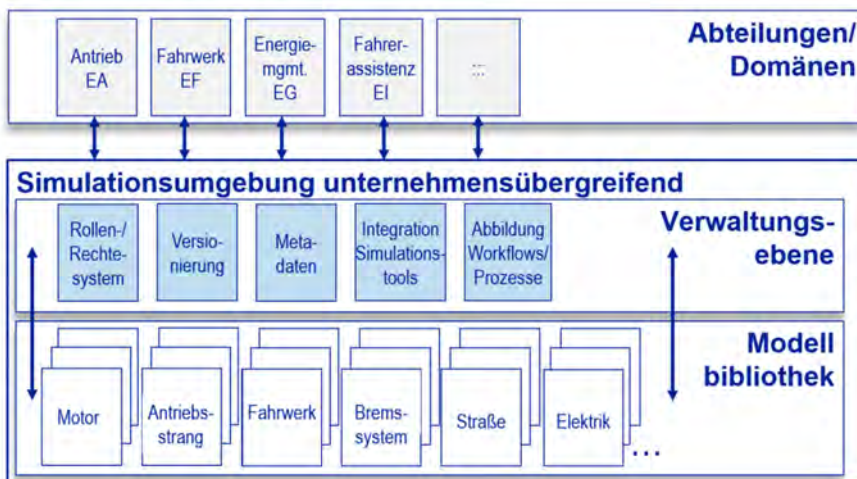
Ausblick

Für jede Anwendung gibt es also zugeschnittene Lösungen. Fast genauso wichtig wie die richtige und schnelle Fahrdynamiksimulation ist die Unterstützung der Zusammenarbeit im Unternehmen über verschiedene Abteilungen, Bereiche und Domänen hinweg. Zudem verpflichten Qualitäts- und Abnahmevorschriften zur nachvollziehbaren Simulation und Dokumentation. Das alles ist nur realisierbar, wenn die Simulationsumgebung flexibel darauf abgestimmt wird. Oberstes Prinzip ist, dass alle die gleiche Basis verwenden und sich aus einer gemanagten Modellbibliothek bedienen können ⑥.

Ein systematisches Modell- und Ergebnisablagensystem führt zu Nachvollziehbarkeit und Transparenz. DYNA4 bietet bereits Unterstützung für diese Anforderungen und wird sich in diese Richtung weiterentwickeln.

Kontakt

TESIS DYNAware GmbH
 www.thesis-dynaware.com
 Tel: +49 89 7473 777 444
 E-Mail: thesis.dynaware@thesis.de



⑥ Collaborative Engineering durch unternehmensübergreifende Verwaltung der Simulationsobjekte in einer einheitlichen Umgebung