

Virtueller Modell- baukasten

Aufbau einer effizienten Werkzeugkette
für die FMI-basierte Entwicklung

Functional Mock-up Interface

Functional Mock-up Interface (FMI) mit seinen Varianten FMI for Co-Simulation und FMI for Model Exchange ist ein offener Standard für den werkzeugübergreifenden Austausch und die gemeinsame Simulation von Streckenmodellen unterschiedlicher Anbieter. Beide Varianten des FMI-Standards können zum Austausch von Modellen verwendet werden,

jedoch weisen sie für bestimmte Anwendungsfälle unterschiedliche Vor- und Nachteile auf. Der Hauptvorteil von FMI for Model Exchange besteht darin, die Simulation von stark gekoppelten Systemteilen, zum Beispiel Komponenten-Submodellen einer Domäne, zu erleichtern, indem alle erforderlichen Informationen bereitgestellt werden, die ein exter-

ner zentraler Solver (Gleichungslöser) benötigt, um Simulationsergebnisse zu berechnen. FMI for Model Exchange verfügt daher über eine komplexe Schnittstelle, die ein hohes Maß an Kompatibilität und Informationsaustausch zwischen den Werkzeugen und Partnern in der Werkzeugkette erfordert. Im Gegensatz dazu reduziert die schlanke



Schon lange bevor erste Prototypen zur Testfahrt rollen, kann ein Fahrzeug bereits virtuell gefahren und getestet werden. Der FMI-Standard hilft den Entwicklern des Automobilzulieferers DENSO, solche virtuellen Testfahrten aus einem Mix unterschiedlichster Komponentenmodelle zu realisieren. Basis dafür sind Simulationsplattformen von dSPACE.

Moderne Fahrzeuge basieren auf komplexen Systemen, bei deren Weiterentwicklung oder Integration Wissen und Modelle aus unterschiedlichen Disziplinen und Domänen vereint werden müssen. Ein virtuelles Gesamtsystem, das möglichst alle Einzelsysteme beinhaltet, gewinnt daher bei der Fahrzeugentwicklung zunehmend an Bedeutung. Neben den technischen Herausforderungen fällt dabei zusätzlich ins Gewicht, dass der Markt immer kürzere Innovationszyklen erwartet. Die kurzen Time-to-Market-Zeiten stellen die Entwickler vor eine besondere Herausforderung: Frühzeitige Tests einzelner Systeme müssen im Systemverbund durchgeführt werden, ohne dass die Hardware und Software aller Systeme

fertiggestellt und miteinander integriert worden ist. Dies betrifft nicht nur die technischen Komponenten des Fahrzeugs, sondern auch die Umgebungsbedingungen und das Fahrerverhalten. Beide spielen eine wichtige Rolle für das Verhalten des Gesamtsystems.

Standardisierte Zusammenarbeit

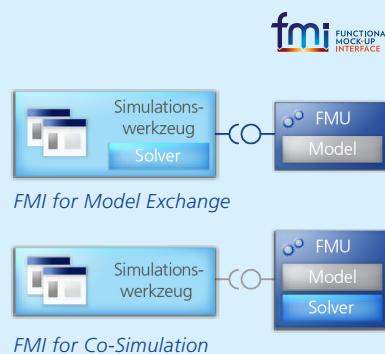
Ein Lösungsansatz besteht darin, die Streckenmodelle aller Komponenten und Systeme auf Gesamtsystemebene zu simulieren. Da die Modelle meist in heterogenen Formaten und Komplexitäten vorliegen, ist jedoch eine standardisierte Zwischenebene für die einfache Modellkomposition erforderlich. Zu diesem Zweck wurde der Standard Functional Mock-up Interface (FMI) etabliert, der es er-

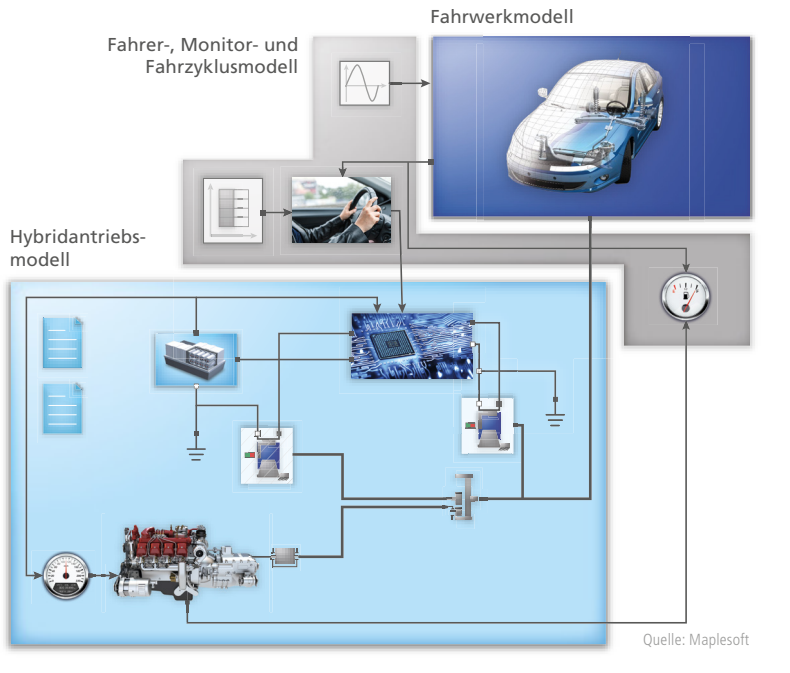
>>

Schnittstelle von FMI for Co-Simulation mögliche Kompatibilitätsprobleme in einer Werkzeugkette, die verschiedene Typen und Versionen von FMI-unterstützenden Werkzeugen beinhaltet, indem die Functional-Mock-up-Unit (FMU)-Funktionen einschließlich Solver-Implementierungen systematisch von den Funktionen des Importierwerkzeugs ge-

trennt werden. So können Co-Simulations-FMUs verifizierte Kombinationen von Solver-Code zusammen mit Modellcode transportieren und sie erleichtern die Kombination von Modellen unterschiedlicher physikalischer Domänen und Systemdynamiken.

www.dspace.com/go/fmi





Aufbau des kommerziellen Simulationsmodells eines Power-Split-HEV. Die markierten Bereiche geben an, in welche Domänenmodelle das Gesamtsystemmodell unterteilt ist.

laubt, Modelle aus unterschiedlichen Domänen über Werkzeuggrenzen hinweg auszutauschen und gemeinsam zu simulieren. Dazu werden die Modelle jeweils in Form einer standardisierten Functional Mock-up Unit (FMU) aufbereitet, welche die Modellimplementierung, ihre Metadaten

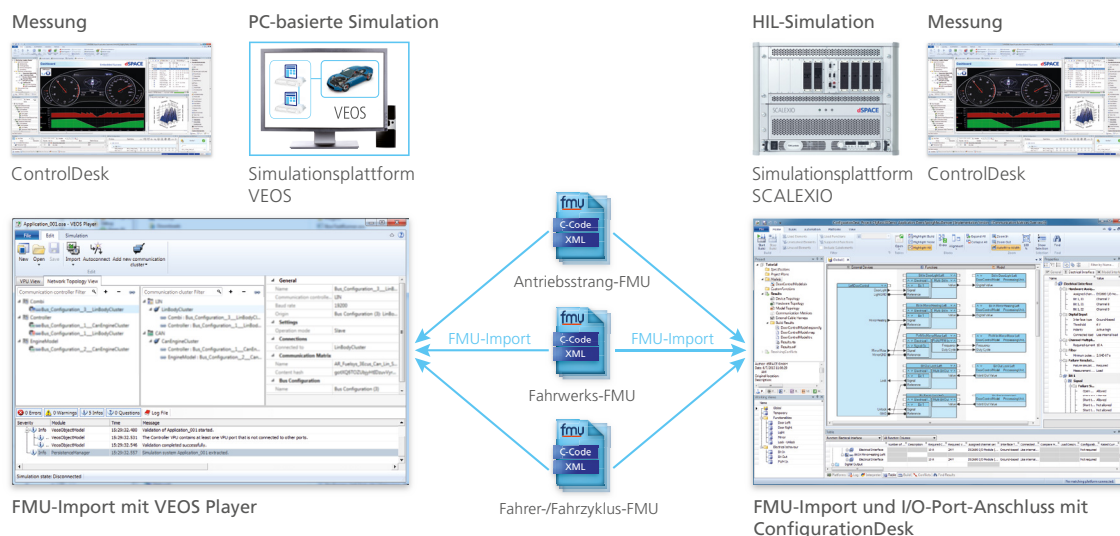
und die Implementierung der FMI-Schnittstelle enthält. Der Standard verfügt über die Varianten „FMI for Co-Simulation“ und „FMI for Model Exchange“, die beide den angestrebten Modellaustausch basierend auf unterschiedlichen technischen Ansätzen ermöglichen.

Evaluierung von FMI mit der installierten Werkzeugkette

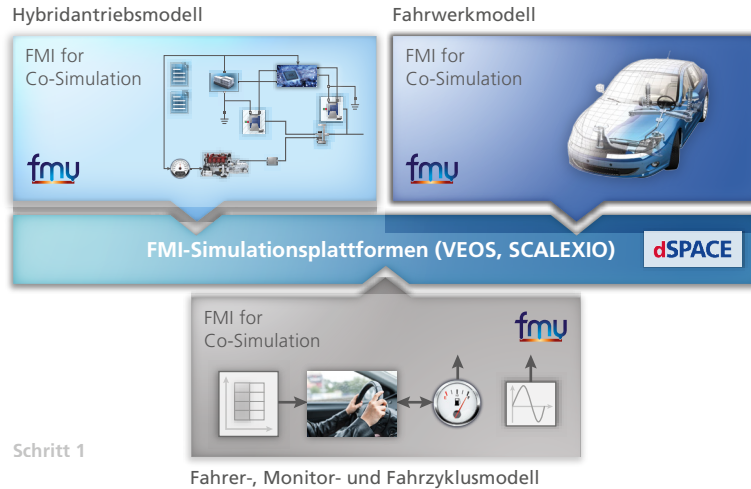
Das Ziel von DENSO war es, die Vorteile einer FMI-basierten Vorgehensweise für den Entwicklungsprozess zu untersuchen. Unter Berücksichtigung der bei DENSO installierten Werkzeugkette wurden dazu zwei wesentliche Vorgänge betrachtet:

- In Schritt 1 wurde untersucht, ob man ein in mehrere FMUs aufgeteiltes Gesamtfahrzeugmodell sowohl für die PC-basierte Simulation mit VEOS als auch mit der Hardware-in-the-Loop (HIL)-Plattform SCALEXIO unter Wiederverwendung der Projektbestandteile nutzen kann und dabei die zuvor bekannten Simulationsergebnisse des Gesamtfahrzeugmodells reproduziert. Die FMUs wurden gemäß dem Standard FMI for Co-Simulation aufgebaut.
- In Schritt 2 ist geplant, mehrere als FMUs modellierte Komponenten einer Fahrzeugdomäne – also eng gekoppelte Modellteile – gemäß dem FMI-for-Model-Exchange-Standard zu verschalten und das resultierende Domänenmodell dann wiederum als FMU gemäß

Die präparierten FMUs werden auf den Simulationsplattformen VEOS (links) und SCALEXIO (rechts) integriert.



Oben: Die identischen FMUs können sowohl mit VEOS als auch mit SCALEXIO simuliert werden.
 Mitte: Im Gesamtsystemmodell werden einzelne Komponenten-Modellteile durch neue FMUs ersetzt (FMI for Model Exchange). Anschließend wird das in Domänen aufgeteilte Gesamtsystemmodell auf den Simulationsplattformen VEOS und SCALEXIO ausgeführt (FMI for Co-Simulation).
 Unten: Qualitative Darstellung und Vergleich der Simulationsergebnisse, die auf den Plattformen VEOS und SCALEXIO erzielt wurden, in dSPACE ControlDesk. In der Grafik: (1) Fahrzeuggeschwindigkeit, (2) Motordrehzahl, (3) Kraftstoffverbrauch, (4) Ladezustand.



Schritt 1

Fahrer-, Monitor- und Fahrzyklusmodell

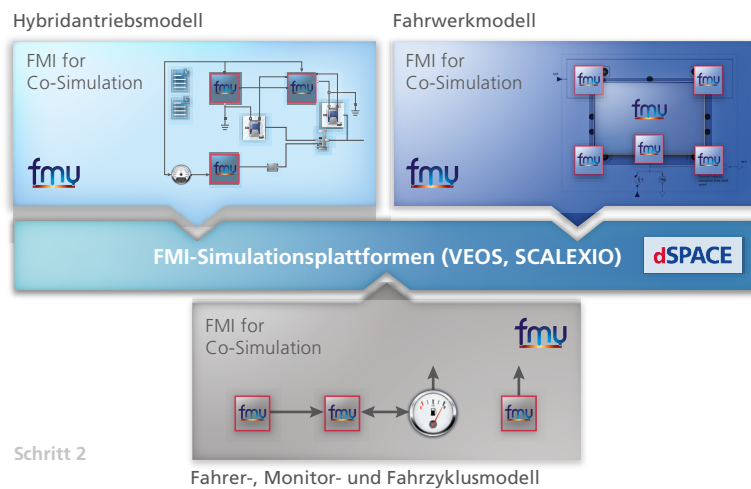
dem Standard FMI for Co-Simulation zu exportieren. Anschließend wird geprüft, ob Schritt 1 möglich ist.

Das Evaluierungsmodell

Für die Untersuchung wurde ein kommerzielles Modell eines Power-Split-Hybrid-Fahrzeugs (Power-Split-HEV) aus der MapleSim-Bibliothek verwendet. Anhand dieses Modells lässt sich die Eignung des FMI-basierten Arbeitsablaufs für bereits vorhandene Gesamtfahrzeugmodelle darstellen. Für die weitere Betrachtung des Modells gelten folgende Definitionen:

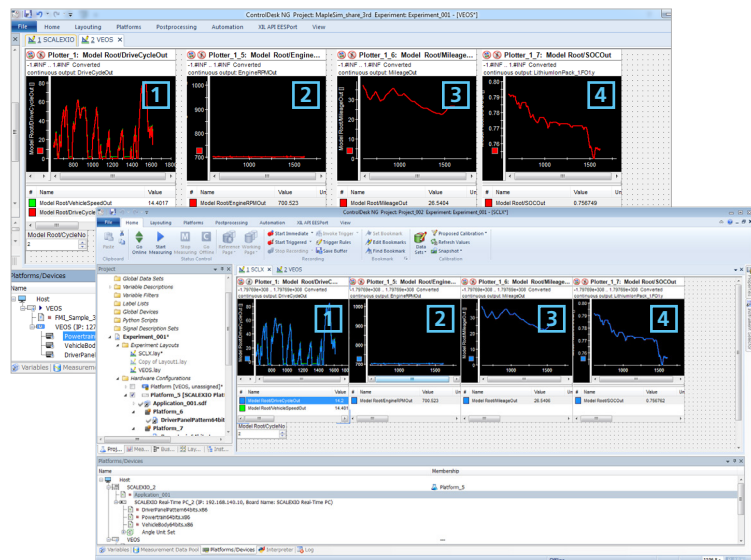
- **Gesamtsystemmodell:** Das vollständige Fahrzeugmodell, bestehend aus mehreren FMUs.
- **Domänenmodell:** Modell eines funktionalen Bereichs, z. B. des Antriebsstrangs bestehend aus Verbrennungsmotor, E-Motor, Getriebe usw.
- **Komponentenmodell:** Modelle der Komponenten, die zusammen eine Domäne bilden, z. B. Getriebe.

Das Power-Split-HEV-Modell besteht aus den Komponentenmodellen eines Motors, eines Getriebes, einer Drosselklappe, eines einfachen Reglers, eines Motor-Generators, einer Batterie, eines Inverters, der Reifen, eines Differentialgetriebes und des Chassis.



Schritt 2

Fahrer-, Monitor- und Fahrzyklusmodell



>>

„Auf der Simulationsplattform dSPACE SCALEXIO konnten wir das aus mehreren Funktional Mock-up Units aufgebaute Modell eines Hybridfahrzeugs erfolgreich implementieren und in Echtzeit simulieren.“

Fumiyasu Shirai, DENSO

Präparieren der FMUs

Im ersten Schritt wurde das Gesamtsystemmodell in drei Domänenmodelle aufgeteilt, die entsprechend dem FMI-for-Co-Simulation-Standard als FMUs aufbereitet wurden. Die Unterteilung in Hybrid-System, Chassis, Fahrer/Fahrzyklus wurde vorgenommen, um jeder FMU auf einer SCALEXIO-Recheneinheit mit vier Prozessorkernen einen dedizierten Kern zu weisen zu können; der vierte Kern wird für die Kommunikation mit dem Host-PC verwendet.

Implementierung und Evaluierung der FMUs

Die aufbereiteten Domänen-FMUs wurden zunächst auf der PC-basierten Simulationsplattform VEOS und anschließend mit identischer Parametrierung auch auf dem HIL-Simulator SCALEXIO verwendet. Ziel war es, die korrekte Funktion

der FMUs sowie die Performance auf beiden Plattformen zu untersuchen. Alle durchgeführten Tests wiesen eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen PC-basierter- und HIL-Simulation auf und deckten sich mit bekannten Simulationsergebnissen des Gesamtsystemmodells in MapleSim. Das komplexe, dynamische Modell kann somit erfolgreich in Echtzeit ausgeführt werden und die leistungsstarke SCALEXIO-Prozessorplattform verfügt noch über umfangreiche Reserven für komplexere Modelle, I/O-Anbindungen oder Bussimulationen.

Effiziente, durchgängige Entwicklung

Die eingesetzte dSPACE Werkzeugkette garantiert nicht nur eine konsistente Simulation sowie Parameterzugriffe auf beiden Simulationsplattformen, sondern auch die

reibungslose Zusammenarbeit mit weiteren Werkzeugen für den HIL-Test und die virtuelle Absicherung. Das heißt, die Entwickler können nicht nur die echtzeitfähigen FMUs wiederverwenden, sondern auch die dazugehörigen Tests und Experimente, basierend auf Werkzeugen wie dSPACE ControlDesk und AutomationDesk sowie dem XIL-API-Standard. Dadurch werden das FMI-Konzept der einfachen, unmittelbaren Wiederverwendung von Modellen sowohl für die virtuelle Absicherung als auch für den HIL-Test vervollständigt und ein effizienter, durchgängiger Entwicklungsprozess ermöglicht.

Weiterer Ausbau der FMI-basierten Vorgehensweise

Die Erfahrungen mit dem Power-Split-HEV-Modell werden von DENSO sukzessive in die Entwicklung der

„Die PC-basierte Simulationsplattform dSPACE VEOS ermöglicht die Vorverlagerung von komplexen, FMI-basierten Simulationen im Entwicklungsprozess.“

Nobuya Miwa, DENSO

FMI-Modelle für SCALEXIO-Mehrkernprozessoren

Echtzeitfähige Functional Mock-up Units (FMUs) einer Vielzahl von Modellierungstools sind direkt in SCALEXIO-basierte HIL-Projekte integrierbar. Die FMUs lassen sich zusammen mit weiteren FMUs und anderen unterstützten Modellformaten zu einem Gesamtmodell integrieren. Für eine optimale

Berechnungsperformance können den FMUs SCALEXIO-Rechenkerne zugewiesen werden. Hierbei unterstützt SCALEXIO mit dSPACE Release 2017-B auch die Ausführung mehrerer FMUs auf einem SCALEXIO-Rechenkern. Durch die konsequente Unterstützung des FMI-Standards mit SCALEXIO bie-

tet dSPACE ein offenes System zur Integration von Modellen aus unterschiedlichsten Quellen.

„Die durchgängige Werkzeugkette von dSPACE ermöglicht eine effiziente Vorgehensweise im FMI-basierten Entwicklungsprozess.“

Satoshi Koike, DENSO

Simulationsmodelle übernommen. Im Rahmen unternehmensübergreifender Fahrzeugentwicklungsprojekte lassen sich diese dann leicht mit anderen Projektbeteiligten austauschen. Ziel ist es, die vorhandenen Komponentenmodelle des zu entwickelnden Fahrzeugs als FMUs gemäß dem FMI-for-Model-Exchange-Standard aufzubereiten und diese dann nach dem FMI-for-Co-Simulation-Standard zu einer Domänen-FMU zusammenzufassen. Diese Vorgehensweise ermöglicht es, die Vorteile der zwei Varianten des FMI-Standards zu kombinieren und so den Aufbau eines flexiblen, echtzeitfähigen und numerisch stabilen Gesamtsystemmodells zu realisieren. ■

*Satoshi Koike, Nobuya Miwa,
Fumiyasu Shirai,
DENSO CORPORATION*

Auf einen Blick

Die Aufgabe

- Evaluierung einer FMI-basierten Vorgehensweise im Entwicklungsprozess
- Einsatz von Teilmodellen aus potentiell unterschiedlichen Quellen, um ein vollständiges automotives Gesamtsystem zu simulieren

Die Herausforderung

- Implementierung der FMI-basierten Vorgehensweise auf der installierten Werkzeugkette
- Gewährleistung eines effizienten Entwicklungsprozesses

Die Lösung

- Integration von FMUs auf den Simulationsplattformen VEOS (MIL/SIL-basiert) und SCALEXIO (HIL-basiert)
- Effiziente Wiederverwendung der Projektdaten mit durchgängiger, offener dSPACE Werkzeugkette

FMI/FMU: Functional Mock-up Interface/Unit
MIL/SIL/HIL: Model-/Software-/Hardware-in-the-Loop



Satoshi Koike

Satoshi Koike ist Projektleiter in der Abteilung Process Development & Engineering der Electronics Platform R&D Division bei der DENSO CORPORATION in Aichi, Japan.



Nobuya Miwa

Nobuya Miwa ist Projektleiter im 2nd R&D Departement der Electronics Platform R&D Division bei der DENSO CORPORATION in Aichi, Japan.



Fumiyasu Shirai

Fumiyasu Shirai arbeitet im 2nd R&D Departement der Electronics Platform R&D Division bei der DENSO CORPORATION in Aichi, Japan.

