



# Entwicklung und Test verteilter Funktionen

## Simulation und Virtualisierung von Fahrzeugsystemen

Intelligente Systeme, die das Fahrzeug automatisieren, vernetzen und umweltverträglich machen, ermöglichen eine neue Klasse von Automobilen. Mit Etas Cosym lassen sich diese vernetzten, eingebetteten Systeme in virtuellen Umgebungen effizient testen und validieren.

Autoren: Dr. Ulrich Lauff, Dr. Christoph Störmer, Deepa Vijayaraghavan

**W**ie können Funktionen des automatisierten Fahrens, an denen zahlreiche elektronisch gesteuerte Systeme des Fahrzeugs beteiligt sind, innerhalb kurzer Zeit mit hoher Qualität und wettbewerbsfähigen Preisen zur Serienreife gebracht werden? Wie lassen sich komplexe Antriebe mit Elektro- und Verbrennungsmotoren, Fahrbatterie, Katalysatoren und Automatikgetriebe optimal auslegen? Diesen wichtigen Fragen geht der folgende Beitrag nach.

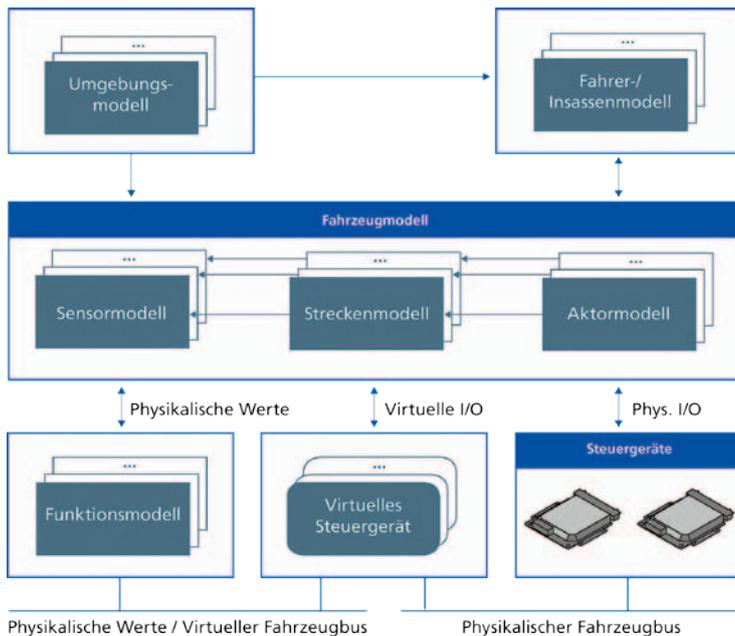
Die typischen Bestandteile elektronischer Systeme im Fahrzeug sind Sensoren, Aktoren, Fahrzeugbusse sowie Steuer- und Regelstrecken, wie Antriebsstrang, Lenkung, Bremsen oder Fahrwerk. Entwicklung und Test von Funktionen des autonomen Fahrens erfordern die Nachbildung von Fahrodynamik, Wegstrecken, Fahrbahneigenschaften, Gelände und Bebauung, Wetter- und Witterungsbedingungen, anderer Verkehrsteilnehmer und gegebenenfalls von Infrastrukturen wie Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikations- oder Verkehrsleitsystemen. Infolgedessen nimmt der Umfang der Software im Fahrzeug stark zu. Gleichzeitig ist die Logik komplexer Fahrzeugfunktionen in vielen Fällen auf mehrere miteinander vernetzte elektronische Steuerungen verteilt, die beispielsweise mit Sensorsystemen integriert sind oder zentrale Berechnungen und Koordinationsaufgaben

ausführen (Bild 1). Diese Funktionen lassen sich mit konventionellen Methoden an Hardware-in-the-Loop-Prüfständen (HiL) und im Fahrzeug nicht mehr effizient absichern. Um das komplexe Verhalten verteilter Funktionen insbesondere in Bezug auf die Sicherheit und Zuverlässigkeit des autonomen Fahrens in ausreichender Tiefe und Breite testen zu können, werden leistungsfähige Umgebungen zur Virtualisierung und Simulation der vernetzten Systeme benötigt.

Mit einer offenen und skalierbaren Simulationsplattform, mit dem der Test und die Validierung vernetzter Steuergeräte in Kombination mit Simulationen der Steuer- und Regelstrecken sowie der Umgebung möglich wird, lassen sich viele der neuen Heraus-

### Eck-DATEN

Cosym ist eine offene Plattform für den Test und die Validierung verteilter Funktionen und vernetzter, eingebetteter Systeme im Fahrzeug über den gesamten Entwicklungszyklus hinweg, die auf neuen Softwaretechnologien basiert. Mit Cosym lässt sich Steuergerätesoftware im Entwicklungsprozess kontinuierlich integrieren und testen. Durch die unmittelbare Verfügbarkeit von Testergebnissen lassen sich hohe Effizienzgewinne bei der System- und Softwarevalidierung erzielen.



**Bild 1: Gesamtsystemmodell eines Fahrzeugs mit virtuellen und realen Steuergeräten.**



**Bild 2: HiL-Prüfstände lassen sich auf der Basis der Network-Labcar-Technologie von Etas zu umfangreichen Gesamtsystemen koppeln.**

forderungen meistern. Dieser Beitrag diskutiert den Bedarf und die Anwendungen für diese Plattform und die Anforderungen, denen sie genügen muss, sowie die neue Lösung Cosym von Etas.

### MiL/SiL versus HiL

Zur Evaluierung neuer Fahrzeugfunktionen dienen ausführbare Spezifikationen, die das Verhalten der Funktionen modellieren. Diese lassen sich in Kombination mit einer geeigneten Systemsimulation im geschlossenen Regelkreis, einer sogenannten Model-in-the-Loop-Umgebung (MiL), validieren. Die fertig spezifizierten Steuergerätefunktionen werden anschließend auf Softwarekomponenten abgebildet, die in Software-in-the-Loop-Umgebungen (SiL) getestet werden können. Zusammen mit den Steuergeräten wird die Software dann für Fahrversuche am HiL freigegeben. Dazu werden die Steuergeräte über physikalische Ein-/Ausgabe- (I/O-) und Busschnittstellen mit elektrischen Lasten und Computersimulationen des restlichen Systems verbunden. Durch Kopplung von HiL-Prüfständen lassen sich umfangreiche Gesamtsystemtests realisieren (Bild 2).

Für SiL-Tests ist der Einsatz virtueller Steuergeräte von Vorteil, da sie die gleiche Software-Architektur wie die Zielsteuergeräte besitzen. Weil virtuelle Steuergeräte unabhängig von Hardwareprototypen der Zielsteuergeräte zur Verfügung gestellt und ohne zusätzliche Kosten vervielfältigt werden können, werden sie auch bei HiL-Tests nutzbringend eingesetzt. Virtuelle Steuergeräte können entweder über virtualisierte oder physikalische I/O- und Busschnittstellen mit der Simulation verbunden werden. Mithilfe virtueller Steuergerätenetze lässt sich beispielsweise die Buskommunikation genau nachbilden und die herkömmliche Restbusimulation damit ersetzen.

Im herkömmlichen Ablauf werden MiL-, SiL- und HiL-Tests sequenziell in unterschiedlichen Abteilungen verschiedener Bereiche der Entwicklung und Qualitätssicherung durchge-

führt. Die Systemsimulationen sind der jeweiligen Aufgabenstellung angepasst, die vom Funktions-, Softwarekomponenten-, Software-Integrations-, Steuergeräte- und Systemtest, Überprüfung der Onboard- und Fehlerdiagnose bis hin zur Validierung der E/E-Architektur des gesamten Fahrzeugs reicht. Testingenieure setzen an HiL-Prüfständen typischerweise andere Simulationen ein als Funktions- und Software-Entwickler in ihren MiL-/SiL-Umgebungen.

### Paradigmenwechsel

Um die neuen, komplexen Systeme schnell zur Marktreife zu bringen, müssen die Abläufe in der Entwicklung enger miteinander verzahnt und agiler werden. Wenn beispielsweise die Prüfung von Testfällen, die nicht notwendigerweise an kostenintensiven HiL-Prüfständen validiert werden müssen, in MiL/SiL-Anordnungen am Rechner erfolgen kann, lassen sich die erforderlichen Tests insgesamt schneller und kostengünstiger durchführen. Eine Voraussetzung dafür sind skalierbare Systemsimulationen, die sich gemeinsam von MiL/SiL- und HiL-Tests nutzen lassen.

Darüber hinaus sind Paradigmenwechsel in Abläufen und Organisationen hin zu agilen Prozessen und hin zur Auflösung von starr getrennten Aufgaben in Entwicklung und Test notwendig. Nur so lassen sich beispielsweise neue Versionen von Softwarekomponenten verteilter Funktionen, an deren Entwicklung mehrere Teams verschiedener Unternehmen beteiligt sind, kontinuierlich integrieren und validieren.

Um die Einführung neuer Abläufe und Methoden in Entwicklung und Test reibungslos zu gestalten, müssen neue Lösungen flexibel mit vorhandenen Werkzeugen, Modellen, Konfigurationen und Prozessen zusammenspielen. Dasselbe gilt für die Wiederverwendung von Ergebnissen und Konfigurationen vorangehender Entwicklungsschritte und anderer Projekte.

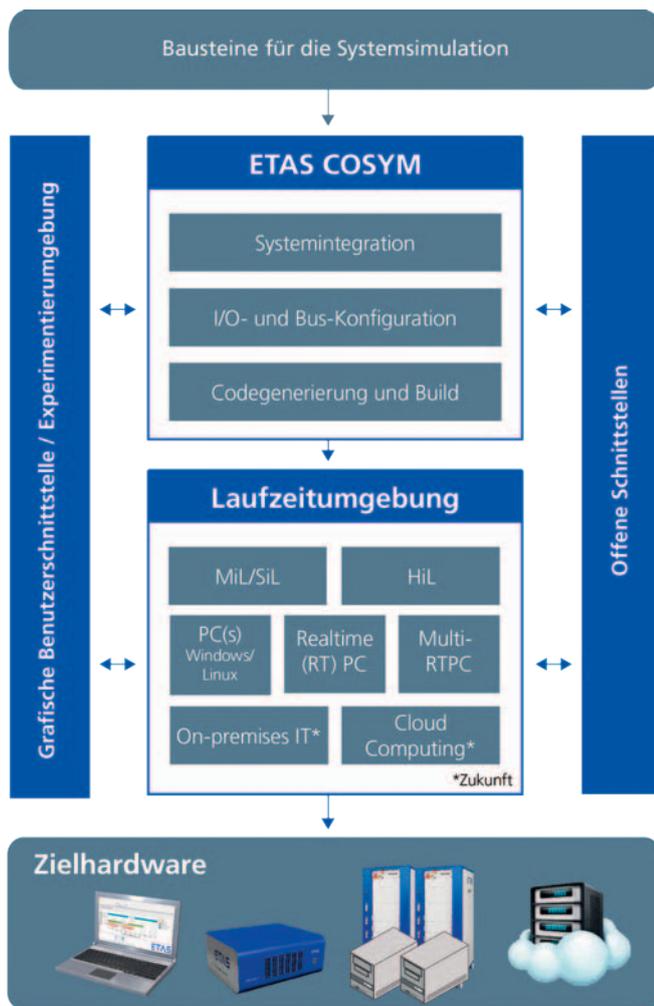


Bild 3: Systemübersicht über die offene Simulationsplattform Cosym.

## Durchgängige Systemsimulationen

Um neue Funktionen mithilfe von MiL/SiL- und HiL-Umgebungen nahtlos entwickeln und flexibel testen zu können, werden leistungsfähige Umgebungen zur Generierung virtueller Steuergeräte, fortschrittliche Werkzeuge zur Integration und Konfiguration modular aufgebauter Systemmodelle und skalierbare Plattformen zur Ausführung von Simulationen benötigt. Die einzelnen Komponenten der Systemmodelle bilden einzelne Systembestandteile ab, die sich zur Simulation eines einzelnen oder vernetzten Systems flexibel miteinander kombinieren lassen. Im Fall von Einzelsystemtests lässt sich die Simulation auf einem Rechenknoten und im Fall des Tests eines vernetzten Systems parallel auf mehreren Rechenknoten ausführen. Je nach Anforderung der Simulation kann die Rechnerplattform ein gewöhnlicher Windows-Laptop oder die Multi-Echtzeitrechnerstruktur eines umfangreichen Netzwerk-HiL-Systems zum Test der Gesamtfahrzeug-Elektrik/Elektronik sein.

Am Markt werden unterschiedliche Modellierungsumgebungen verschiedener Hersteller für spezifische Aufgabenstellungen angeboten, die zum Teil eine hohe Reife besitzen. Ebenso sind elaborierte Modelle, die das Verhalten einzelner Systeme, des Fahrzeugs und der Umgebung nachbilden, oft schon vorhanden.

Falls möglich sollen existierende Modelle, die sich im Einsatz bewährt haben, als Bestandteil von Gesamtsimulationen wiederverwendet werden können.

## Offenheit ist Voraussetzung

Die Integration von Funktionsmodellen, virtuellen und physikalischen Steuergeräten mit Systemsimulationen in MiL/SiL- und HiL-Umgebungen unterscheidet sich bezüglich des Zeitverhaltens und der Schnittstellen. Am HiL werden Steuergeräte über physikalische I/O- und Busschnittstellen mit der Simulation verbunden. Funktionsmodelle lassen sich dagegen unmittelbar über den Austausch physikalischer und logischer Werte in eine Simulation einbetten. HiL-Tests erfolgen in Echtzeit, während die Zeitskalen von MiL/SiL-Simulationen spezifischen Fragestellungen einzelner Testaufgaben gemäß angepasst werden können. Aus diesen Gründen sind etwa die Hardwarekonfiguration eines HiL-Prüfstands und die Konfiguration der Simulation des Systems auf der Rechnerplattform getrennt voneinander zu betrachten.

Schlüssel zur Einbettung eines neuen Werkzeugs in die vorhandenen Entwicklungs- und Testumgebungen sind eine offene Architektur sowie die Unterstützung von Standards wie FMU/FMI, Acosar und Autosar sowie der relevanten Kommunikationsprotokolle auf den LIN-, CAN-, Flexray- oder Automotive-Ethernet-Netzwerken und Bussen, die zur Kopplung von Strecken- und Funktionsmodellen sowie Steuergerätenetzen dienen. Zur Integration domänenspezifischer Streckenmodelle und Steuergerätfunktionen müssen relevante Schnittstellen und Protokolle vorgehalten oder einfach ergänzt werden können. Zur Automatisierung von Testabläufen ist eine Testautomatisierungsschnittstelle erforderlich. Die von Asam standardisierte XIL API ermöglicht es den Anwendern, Werkzeuge ihrer Wahl für die Testdurchführung und -automatisierung zu verwenden.

Um das geistige Eigentum von Herstellern und Zulieferern bei der Zusammenarbeit in gemeinsamen Projekten wechselseitig zu schützen, sollen geeignete Mechanismen den Zugriff auf Quellinformationen von Artefakten einschränken.

## Die Leistungen der Plattform

Etas Cosym bietet eine offene Simulationsplattform, die auf neuen Softwaretechnologien basiert (Bild 3). Im Kern ermöglicht Cosym durchgängige MiL/SiL/HiL-(XiL)-Tests von Systemen unter besonderer Berücksichtigung von Steuergerätenetzwerken. Cosym umfasst Werkzeuge für die folgenden Schritte:

- Erstellung eines Systemmodells (Bild 4), zum Beispiel durch Import von Strecken-, Funktions- und Restbusmodellen sowie deren Signalverknüpfung. Weiterhin werden die Erstellung virtueller Netzwerke und deren Verknüpfung mit virtuellen und physikalischen Steuergeräten ermöglicht. Das erstellte Systemmodell besteht somit nicht nur aus einer Signalkopplung von Modellen, sondern kann auch die Netzwerkkommunikation berücksichtigen. Wird das virtuelle Steuergerät auf der Ebene der Mikrocontrollerabstraktionsebene eingebunden, zum Beispiel mit Etas Isolar-Eve, kann eine deutlich genauere Simulation erfolgen als im Vergleich zu einer Einbindung auf Applikationssoftwareebene (Bild 4).

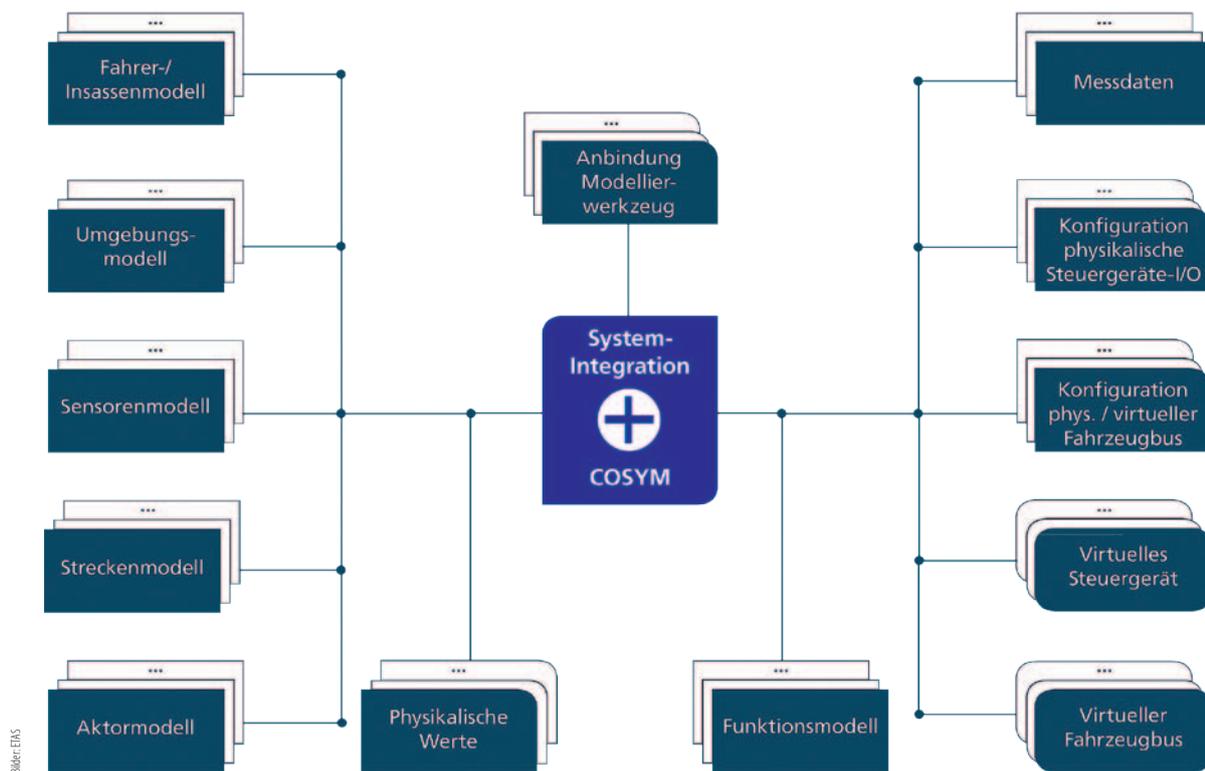


Bild 4: Die verschiedenen Bausteine für die Systemsimulation auf einen Blick.

- Konfiguration der Simulation für MiL-, SiL- und HiL-Umgebungen, abhängig von der Ausführungsplattform und dem Zeitverhalten (Echtzeit oder synchron zur Zeitskala der Simulation).
- Durchführung von Experimenten mithilfe der bewährten Etas Experimentierumgebung.
- Automatisierung über die XiL API oder die native Rest-Schnittstelle, welche eine moderne softwaretechnische Anbindung von „Continuous Integration“-Umgebungen ermöglicht. Damit erlaubt Cosym die Projekterstellung und zukünftig auch das Experimentieren im Serverbetrieb.

Cosym basiert auf einer modernen Softwaretechnologie mit konsequenter Trennung von Services und Benutzerführung. Die gut dokumentierte Rest-Schnittstelle zu den Services ermöglicht eine einfache Integration in eigene Benutzerführungen oder Automatisierungen. Cosym beinhaltet standardmäßig eine Web-basierte Benutzerschnittstelle. Durch die serviceorientierte Architektur kann die Plattform aber auch in integrierte Entwicklungsumgebungen (IDEs) wie zum Beispiel Eclipse eingebunden werden.

## Ausblick

Die Einführung von Cosym wird in drei Phasen im Rahmen von Pilotprojekten erfolgen. Ende 2017 wird Cosym für Labcar-HiL-Systeme von Etas zur Verfügung gestellt. Dadurch wird die Vorverlagerung von HiL-Tests in rein virtuelle Umgebungen zum Beispiel auf dem PC ermöglicht. Hierfür lassen sich unter anderem Streckensimulationen der Labcar-Model-Familie verwenden. Werden die physikalischen Steuergeräte durch virtuelle Steuergeräte oder geeignete Funktionsmodelle ersetzt, ist die Virtualisierung des Gesamtsystems möglich. In der zweiten Phase können bis Mitte 2018 virtuelle Netzwerke für

alle gängigen Fahrzeugbusse integriert werden. Zusätzlich dazu werden virtuelle Zeitskalen als Alternative zur Echtzeitsimulation sowohl von Cosym als auch von Labcar-Model unterstützt. Damit lassen sich Tests wesentlich schneller als in Echtzeit am HiL durchführen.

In Phase drei werden die Voraussetzungen für die Kalibrierung komplexer Systeme in virtuellen Umgebungen geschaffen. Das besondere Augenmerk liegt dabei einerseits auf der Emissionierung von Antrieben im Hinblick auf den tatsächlichen Fahrbetrieb (Real-Driving Emissions / RDE). Andererseits lassen sich so in Zukunft ADAS- und Fahrautomatisierungs-Anwendungen, beispielsweise mithilfe von Messdaten aus Fahrversuchen, in der virtuellen Umgebung anpassen und trainieren.

Die Cosym-Plattform wird mittelfristig für die Ausführung auf leistungsfähigen Serverinfrastrukturen, wahlweise im Unternehmen („on-premises“) oder in einer externen Cloud ausgebaut. Um die datenintensive Entwicklung von Systemen für das autonome Fahren noch besser zu unterstützen, wird ein weiterer Schwerpunkt in der Anbindung von Big-Data-Lösungen liegen, mit denen in großen Datenbeständen schnell auf geeignete Messdaten für den Vergleich oder die Kombination mit Simulationen zugegriffen werden kann. (ku) ■

## Autoren

**Dr. Ulrich Lauff**, Senior Marketing Communication Expert bei ETAS

**Dr. Christoph Störmer**, Leiter Vorausentwicklung bei ETAS

**Deepa Vijayaraghavan**, Produktmanagerin bei ETAS