

# dSPACE MAGAZIN

3/2015

## CLAAS

Assistenzsysteme optimieren  
den Ernteprozess | Seite 6

ZF TRW – Lenkung abgesichert mit  
Simulator und Prüfstand | Seite 12

Rimac Automobili – Concept\_One:  
Vollelektrisches Supercar | Seite 18




### Kundenstimmen



„Im Hardware-in-the-Loop (HIL)-Labor von Jaguar Land Rover setzen wir für den Bereich Antriebsstrang seit vielen Jahren dSPACE Simulatoren ein. Ich selbst arbeite seit über 7 Jahren mit der Technologie. Simulatoren von dSPACE sind hochgradig flexibel, leicht konfigurierbar und überaus stabil im Betrieb. Mein Team nutzt zudem verstärkt die Software ControlDesk und AutomationDesk. Sowohl vor als auch nach dem Kauf werden wir bestens vom Kunden-Support betreut. Das ist uns sehr wichtig, da die Testeinrichtungen die Motorsteuerungs-, Getriebe- und Antriebsstrangprogramme aller Fahrzeuge von Jaguar Land Rover unterstützen müssen. dSPACE spielt also eine entscheidende Rolle in der bei uns eingesetzten Simulationstechnologie.“

*Dr. Nancy Liu, HIL-Teamleiterin für Engine Management Systems, Transmission and Driveline, Jaguar Land Rover Ltd.*



„Mit ASM haben wir eine Vielseitigkeit erreicht, die ihresgleichen sucht.“

Ein wichtiger Faktor für den Erfolg von dSPACE ist seit jeher, dass wir verschiedenste Disziplinen kombiniert haben und dabei immer den disziplinübergreifenden Blickwinkel des Regelungstechnikers hatten. Manche mag es verwundert haben, als wir vor genau 10 Jahren unsere eigene Linie von mathematischen Modellen herausbrachten, die Automotive Simulation Models (ASM). Zuvor hatten wir durchaus erfolgreich Drittanbietermodelle in Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulatoren integriert. Doch Modellierung ist dynamisch und wer HIL-Prüfstände in Betrieb nimmt, sollte selbst Zugang zum Innenleben der Modelle haben, um effizient zu arbeiten.

Fahrdynamik- und Antriebsmodelle waren unsere erste Aufgabe. Dabei war es das oberste Ziel, hochwertige Modelle für die HIL-Simulation zu bieten, also echtzeitfähig, integriert, vom Kunden selbst erweiterbar und so präzise, dass Steuergeräte keinen Unterschied zum Einsatz im Fahrzeug merken. Die darüber eventuell hinausgehende Genauigkeit von Modellen für die Dimensionierung und Berechnung war nicht angestrebt. Wohl aber waren wir ehrgeizig genug, die besten Modelle von Spezialanbietern für den HIL-Einsatz zu erreichen oder zu übertreffen, egal ob es sich um Fahrdynamik oder Antrieb handelt.

Wir glauben, dass wir das erreicht haben und dies bei einer Vielseitigkeit, die ihresgleichen sucht. Längst sind die dSPACE Modelle nicht mehr auf Fahrdynamik und Antrieb beschränkt, sondern simulieren auch elektrische Motoren und Komponenten sowie komplexe Verkehrsumgebungen. Die Reduktion auf die HIL-Simulation gibt es ebenfalls nicht mehr, denn die ASM werden heute auch offline eingesetzt, beispielsweise zusammen mit der PC-basierten Simulationsplattform VEOS.

Jüngste Entwicklungen galten der Elektromobilität und Fahrerassistenzsystemen bis hin zur Car2Car-Kommunikation. Geben Sie beispielsweise die Wörter dSPACE und ASM in die Suche eines bekannten Videoportals ein und Sie finden eine Fülle von Demos, die zeigen, was mit ASM bereits alles gemacht wird. Wir sind stolz, dass wir mit unserem „Geburtstagskind“ bei vielen Kunden andere Modelle ablösen konnten, und das auch bei sehr anspruchsvollen Anwendungen. Happy Birthday, ASM!

Dr. Herbert Hanselmann

*Meilensteine 10 Jahre ASM:*

RIMAC AUTOMOBILI | SEITE

18



ZF TRW | SEITE

12



BERGSTROM | SEITE

30

## IMPRESSUM

dSPACE MAGAZIN wird periodisch herausgegeben von:

dSPACE GmbH · Rathenastraße 26  
33102 Paderborn · Deutschland  
Tel.: +49 5251 1638-0  
Fax: +49 5251 16198-0  
dspace-magazine@dspace.com  
www.dspace.com

V.i.S.d.P.: Bernd Schäfers-Maiwald  
Projektleitung: André Klein

Fachredaktion:  
Thorsten Bödeker, Michael Lagemann, Ralf Lieberwirth, Sonja Ziegert, Thomas Pöhlmann, Julia Reinbach, Dr. Gerhard Reiß

Redaktionelle Mitarbeit an dieser Ausgabe:

Dr. Ulrich Eisemann, Gregor Hordys, Doreen Krob, Carsten Rustemeier, Thomas Sander, Tino Schulze

Lektorat und Übersetzung:

Robert Bevington, Stefanie Bock, Anna-Lena Huthmacher, Dr. Michelle Kloppenburg

Gestaltung und Layout:

Jens Rackow, Sabine Stephan

Druck:

Media-Print Group GmbH, Paderborn

Titelfoto © CLAAS

© 2015 dSPACE GmbH

Alle Rechte vorbehalten. Vollständige oder teilweise Vervielfältigung dieser Veröffentlichung ist nur mit schriftlicher Genehmigung und unter Angabe der Quelle gestattet. Die Produkte von dSPACE unterliegen fortwährenden Änderungen. Daher behält sich dSPACE das Recht vor, Spezifikationen der Produkte in dieser Publikation jederzeit ohne vorherige Ankündigung zu ändern.

dSPACE ist ein eingetragenes Warenzeichen der dSPACE GmbH in den Vereinigten Staaten und/oder in anderen Ländern. Eine Liste weiterer eingetragener Warenzeichen finden Sie unter [www.dspace.com/goto?warenzeichen](http://www.dspace.com/goto?warenzeichen). Andere Markennamen und Produktnamen sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der entsprechenden Unternehmen oder Organisationen.

# Inhalt



NASA | SEITE

24

OHIO STATE  
UNIVERSITY | SEITE

34



PEFC zertifiziert  
Das Papier dieses Magazins stammt  
aus nachhaltig bewirtschafteten  
Wäldern und kontrollierten Quellen.  
www.pefc.de

ClimatePartner  
klimaneutral

Druck | ID 53446-1509-1001

## 3 EDITORIAL

### Kundenanwendungen

## 6 CLAAS

### Geregelte Ernte

Effizienz durch automatisierte Ernte-Assistenz-Funktionen

## 12 ZF TRW

### Lenkung auf dem Prüfstand

Echtzeitbasiertes Testen in der ZF TRW Lenkungsentwicklung

## 18 RIMAC AUTOMOBILI

### Concept\_One

Einblick in die Antriebskonzepte eines rein elektrischen Supercars

## 24 NASA

### Nurflügler optimiert

Windkanaltests mit unbemanntem Rautenflügler SensorCraft

## 30 BERGSTROM

### Ambitionierte Klimaziele

Bergstrom will 85 % seiner Regelsoftware virtuell entwickeln

## 34 OHIO STATE UNIVERSITY

### Modellbasiert gewinnen

Ohio State EcoCAR 2 – Hybrid-Power auf dem ersten Platz

## Produkte

## 40 RTI BYPASS BLOCKSET

### Funktionsentwicklung weitergedacht

Frühere Testergebnisse durch virtuelles Bypassing

## 44 AUTOMATIONDESK

### Automatisierte, intuitive Steuergerätestests

Testbeschreibungen so einfach erstellen wie Skizzen auf einem Blatt Papier

## 48 V2X SOLUTION

### Alles auf dem Schirm

Modellbasierte Entwicklung von V2X-Anwendungen

## 52 AUTOSAR

### Komfortabel umsteigen

Umstieg von AUTOSAR 3.x auf AUTOSAR 4.x

## 56 ASM KNC

### Aktion und Analyse

Radaufhängungen effizient entwerfen und testen

## 58 MODEL COMPARE

### Gegenüberstellung

Mehr Transparenz beim Vergleichen komplexer Funktions- und Streckenmodelle

## Business

## 62 HIL-SIMULATION

### Quo vadis, Test?

Testsystemlösungen aus einer Hand

## 66 PRÜFSTÄNDE

### Mechanisch testen

Mechanische Prüfstände komplettieren das Portfolio der dSPACE Testsysteme

## Kurz notiert

69 Elektrische und thermische Batteriesimulation

69 dSPACE unterstützt ISO CAN FD

70 TargetLink 4.1: AUTOSAR-Erweiterungen, FMI-Unterstützung und vieles mehr

## dSPACE an Bord

71 DESERVE: Umgebung erfassen

BMW: Autonom auf Autobahnen

Audi: Autonom mit 160 km/h



Effizienz durch automatisierte Ernte-Assistenz-Funktionen

# Geregelte Ernte

Ein neues Assistenzsystem für Mähdrescher von CLAAS überwacht permanent den Ernteprozess und passt die Maschineneinstellungen automatisch den aktuellen Gegebenheiten an – schneller und genauer, als es ein Fahrer jemals könnte. Ein verteiltes Regelsystem bildet die Grundlage für die automatische Optimierung. Der dSPACE Seriencode-Generator TargetLink unterstützt die Entwickler in dem anspruchsvollen Projekt.



Die jährliche Erntezeit ist ein äußerst knapp bemessenes Zeitfenster. Es gilt, zum Beispiel Weizen, Roggen, Gerste oder Mais exakt zum richtigen Reifegrad zu ernten. Ist der Zeitpunkt erreicht, sind die Mähdrescher fast rund um die Uhr im Einsatz. Dabei ist die Bedienung eines Mähdreschers eine hochkomplexe Aufgabe. Bis zu 50 Einstellparameter von der Haspel bis zum Häcksler nehmen Einfluss auf das Erntergebnis. Rund ein Dutzend der Prozessgrößen sind vom Fahrer kontinuierlich zu beobachten und zu bewerten. Kaum jemand kann gleichzeitig alles im Blick behalten, um das Potenzial der Maschine voll auszuschöpfen.

#### Reduzierte Komplexität auf dem Feld

Die hohe Anzahl an Einstellmöglichkeiten und Parameterabhängigkeiten ergibt sich aus diversen Umgebungseinflüssen wie Klima und

Gelände sowie aus grundlegenden Zielvorgaben wie Durchsatz, Kraftstoffeinsatz und Druschqualität. Die resultierende Optimierungsaufgabe ist hochkomplex. Die Herausforderung, ständig Einstellungen vorzunehmen und Anzeigewerte zu prüfen, ist vom Fahrer kaum zu bewältigen. Um den Fahrer soweit zu entlasten, dass er sich nur noch um wesentliche Einstellungen kümmern muss, können Funktionen teilautomatisiert ausgeführt werden. Ein neues Assistenzsystem namens CEMOS AUTOMATIC (CLAAS Electronic Machine Optimization System) nimmt sich der Herausforderung „Optimales Erntergebnis“ an. Es überwacht den Ernteprozess, reguliert die Prozessparameter und passt die Maschine permanent an die Erntebedingungen an. Der Schlüssel zum Erfolg ist dabei die sogenannte Online-Modellbildung: Das Assistenzsystem rechnet kontinuierlich ein Modell der Maschine und der Umgebung, führt dabei Parame-

terstudien durch und ermittelt den optimalen Parametersatz. Diese Parameter überträgt es auf die Maschine.

#### Automatisierter Ernteprozess

Vor der Arbeit auf dem Feld gibt der Fahrer seine Zielvorgaben über eine grafische Benutzeroberfläche samt Dialogsystem ein. CEMOS AUTOMATIC wertet Zielvorgaben, Sensordaten und Maschineneinstellungen aus und findet nach kurzer Zeit die optimale Parameterkombination. Unter Berücksichtigung der sich im Tagesverlauf ändernden Erntebedingungen wird diese optimale Einstellung immer wieder überprüft und kontinuierlich angepasst. So gewährleistet CEMOS AUTOMATIC eine ständige Nachjustierung, die in dieser Form kein Fahrer manuell leisten könnte. Die automatische Anpassung der Parameter ermöglicht optimale Ergebnisse, beispielsweise einen maximalen Durchsatz bei höchster Kornqualität, Kornsauberkeit und minimalem Kraftstoffverbrauch. Im Zusammenspiel mit weiteren Assistenzsystemen, wie dem CRUISE PILOT für die Regelung der Fahrgeschwindigkeit sowie dem LASER PILOT für die Lenkung, wird ein Mähdrescher zum Mähdrescher-Automat.

*CEMOS AUTOMATIC mit den Subsystemen AUTO SEPARATION, AUTO CLEANING und CRUISE PILOT.*



#### Das Steuergeräte-System für den optimalen Ernteprozess

Die Optimierungsaufgabe gelingt, indem alle Systeme des Mähdreschers koordiniert zusammenarbeiten. Gelöst wird sie mit einer Automatik, die den Steuergeräten der einzelnen Systeme überlagert ist. Der Steuergeräte-Verbund setzt sich aus Geräten für Grundsteuerungsaufgaben und übergeordneten Steuereinheiten zusammen. Ein vollausgestatteter Mähdrescher vom Typ LEXION 780 kommt so auf 35 Steuergeräte, die per CAN miteinander vernetzt sind. CLAAS entwickelt die Steuergeräte der unmittelbar am Ernteprozess beteiligten Systeme selbst. Zukaufsysteme wie der Verbrennungsmotor sind mit den

>>



## Assistenzfunktionen entwickelt mit TargetLink

### DYNAMIC COOLING:

Automatische Einstellung der Kühlanlage des Mähdreschers (für Dieselmotor und Hydrauliksystem) in Abhängigkeit von der benötigten Kühlleistung

### CEMOS AUTO SEPARATION:

Automatische Einstellung der Restkornabscheidung

### CLAAS LASER PILOT:

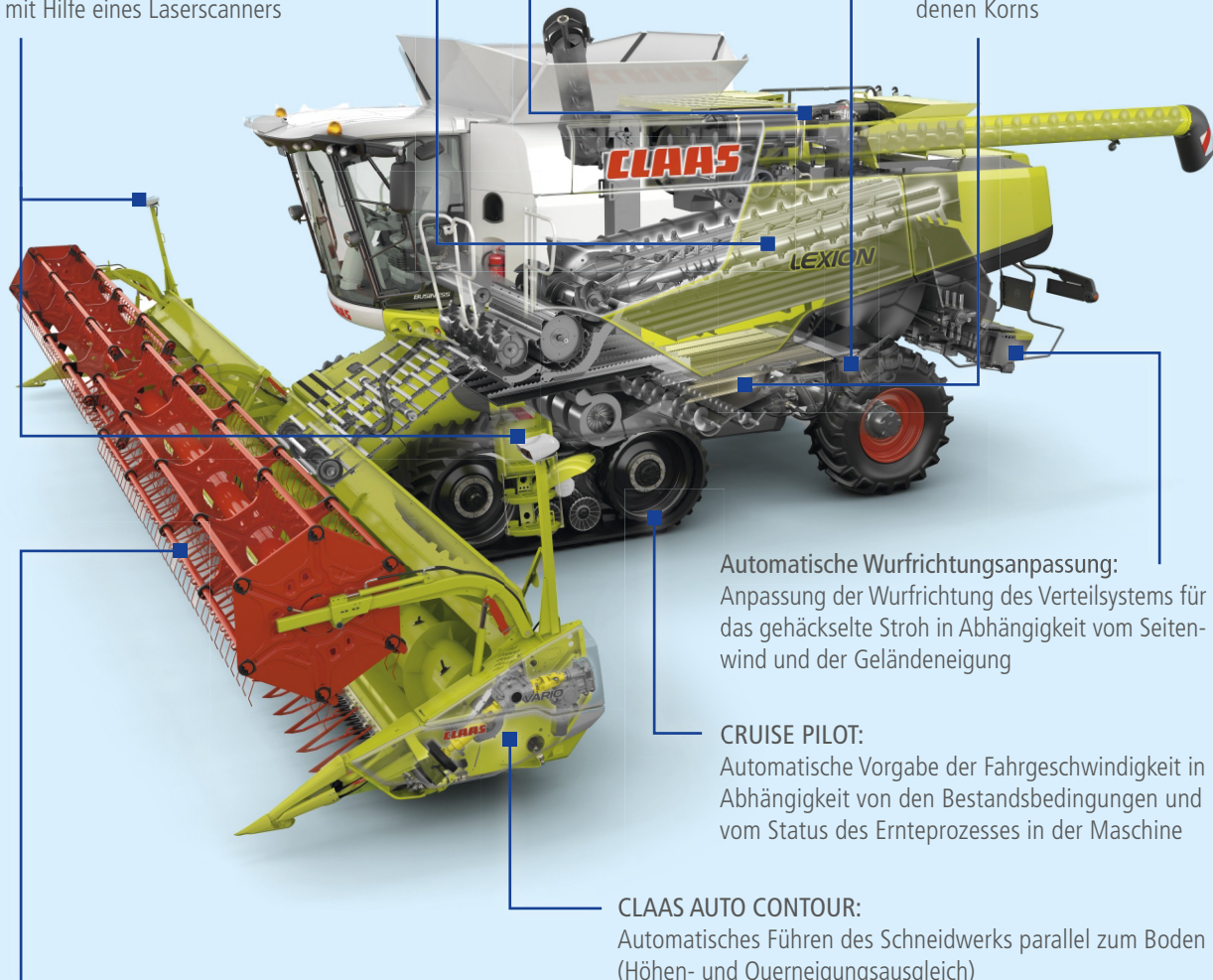
Automatisches Lenken der Maschine entlang der Getreidebestandskante mit Hilfe eines Laserscanners

### MONTANA:

Automatisches Fahrwerk, das durch Verdrehen der Achsportale Seitenneigungen von bis zu 17 % und Längsneigungen von bis zu 6 % ausgleicht und so die Arbeit an steilen Hanglagen erlaubt

### CEMOS AUTO CLEANING:

Automatische Einstellung der Reinigung des abgeschiedenen Korns



### Automatische Wurfrichtungsanpassung:

Anpassung der Wurfrichtung des Verteilsystems für das gehäckselte Stroh in Abhängigkeit vom Seitenwind und der Geländeneigung

### CRUISE PILOT:

Automatische Vorgabe der Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den Bestandsbedingungen und vom Status des Ernteprozesses in der Maschine

### CLAAS AUTO CONTOUR:

Automatisches Führen des Schneidwerks parallel zum Boden (Höhen- und Querneigungsausgleich)

### Haspeldrehzahl-Automatik:

Synchronisation der Umfangsgeschwindigkeit der Haspel zur Fahrgeschwindigkeit der Maschine (2001: Pilotprojekt für TargetLink, 5 Tage Entwicklungszeit von der Verfügbarkeit der Hydraulikkomponenten bis zur Integration des ersten Musters ins Steuergerät)

### Basisfunktionen:

- diverse Drehzahleinstellungen
- diverse Positionseinstellungen



Die grafische Bedienoberfläche für die einfache Eingabe der Zielvorgaben.

>> Steuergeräten der jeweiligen Hersteller ausgestattet. Je nach Aufgabenstellung sind Steuergeräte mit Prozessoren, basierend auf Festkomma- oder Fließkomma-Arithmetik, verbaut. Das Steuergerät der CEMOS AUTOMATIC ist für einen 32-Bit-PowerPC ausgelegt.

#### Steuergeräte-Software modellbasiert entwickelt

Die Software-Entwicklung für die Steuergeräte erfolgt modellbasiert. Alle großen Steuereinheiten werden mit MATLAB®/Simulink® und dSPACE TargetLink® entwickelt. Alle notwendigen Maschinenfunktionen sind nach dem Prinzip einer verteilten Automation in einem Gesamtmodell angelegt. Das umfangreiche Modell kommt auf eine Größe von 50 Megabyte. Als Grundlage für die Task-Steuerung und die Kommunikation zwischen den Systemfunktionen dient das Betriebssystem OSEK

(Offene Systeme und deren Schnittstellen für die Elektronik im Kraftfahrzeug). Mit dem OSEK-Modul von TargetLink werden Schnittstellen und Tasks definiert. Die entwickelte Assistentenfunktion muss somit nur noch an die Umgebung angebunden werden.

#### Code-Generierung und Offline-Tests

Nach der modellbasierten Entwicklung neuer Funktionen lässt sich der Code für den Regler entweder inkrementell oder vollständig generieren. Somit ist es möglich, Code für einzelne Funktionen oder die gesamte Reglerfunktion zu erzeugen. Um frühzeitig die neu entwickelten Funktionen zu testen, unterstützt TargetLink unterschiedliche Simulationsmodi. Dieser Absicherungsphase im Vorfeld der Ernte kommt eine wesentliche Bedeutung zu. Dem Entwicklungsteam

bleibt während der laufenden Ernte keine Zeit, um auf dem Feld nach Implementierungsfehlern zu suchen. Der Start in den Ernteeinsatz muss mit einer gut getesteten Software vonstatten gehen. Neben der Durchführung von Integrationstests erfolgt eine intensive funktionale Absicherung, in der umfangreiche Streckenmodelle verwendet werden. Für die Offline-Testszzenarien werden die großen Datenmengen genutzt, die bei jeder Erntephase auf dem Feld gesammelt werden.

#### Virtuelle Steuergeräte

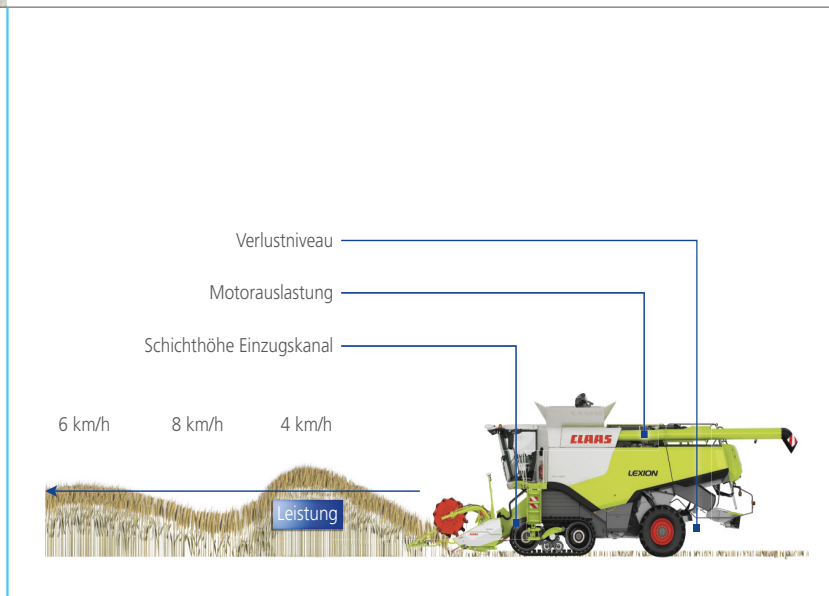
Um im Vorfeld der Ernte das Einsatzverhalten der Erntemaschine unter unterschiedlichen Bedingungen zu trainieren, kommt der CLAAS-Online-Simulator zum Einsatz. Fahrer können die Simulationmöglichkeiten nutzen, um sich mit der Maschine vertraut zu machen oder ihre Kenntnisse aufzufrischen und zu verbessern. Dem Fahrer steht dabei eine PC-basierte Simulation zur Verfügung. Der Online-Simulator nutzt einerseits die virtuelle Nachbildung der verschiedensten Maschinenkomponenten, andererseits ein Prozessmodell, das die Daten aus vielen Jahren Einsatzerfahrung umfasst. Im Hintergrund laufen echtzeitfähige virtuelle Steuergeräte, deren Software den realen Steuergeräten entspricht. Diese Simulationmöglichkeit im Vorfeld der Ernte ist ein weiterer wichtiger Baustein bei der Risikominimierung für Maschinenschäden und Bedienfehler während der Ernte.

#### Bewertung von TargetLink

Basisfunktionen werden bei CLAAS schon seit Jahren erfolgreich mit

„Neue Assistenzfunktionen bringen die Effizienz unserer Mähdrescher entscheidend voran. Für deren Entwicklung setzen wir den Seriercode-Generator dSPACE TargetLink ein.“

Andreas Wilken, CLAAS



Ernteprozess mit Umgebungseinflüssen, Fahrverhalten und Maschinenparametern.

TargetLink erstellt. Dazu gehört beispielsweise die Haspeldrehzahl-Automatik – das erste Pilotprojekt, in dem TargetLink eingesetzt wurde. Schon damals überraschte die kurze Entwicklungszeit von nur 5 Tagen von der Verfügbarkeit der Hydraulikkomponenten bis zur Integration des ersten Musters ins Steuergerät (TargetLink Goes to the Fields, dSPACE NEWS 2001/2). Mit Zunahme der Komplexität der Steuergeräte-Systeme stehen mittlerweile nicht mehr nur die unkomplizierte Handhabung und die kurze Lernkurve im Fokus, sondern auch weitere Aspekte für den Systementwurf. So konnte die Funktion für CEMOS AUTOMATIC sehr einfach im Modell und im komplexen Steuergeräte-Verbund integriert werden. Wichtig ist nach wie vor, dass die Software mit den Bordmitteln von TargetLink im Labor getestet werden kann. Das ermöglicht eine frühe Absicherung der Funktionen. Selbst spezielle Funktionen wie die Definition von Multirate-Tasks oder Hintergrund-Tasks lassen sich mit TargetLink exakt beschreiben und umsetzen. Für CLAAS bedeutet die Kombination aus TargetLink und dem OSEK-Modul, dass sich die Entwickler auf die wesentlichen Entwicklungsaufgaben konzentrieren können. Trotz der Komplexität des Modells lässt sich mit TargetLink schnell effizienter Code generieren, ob für einzelne Funktionen (inkre-

mentelle Code-Generierung) oder für den gesamten Steuergeräte-Verbund.

#### Assistenzsystem CEMOS AUTOMATIC

Das Assistenzsystem CEMOS AUTOMATIC ist ein Paradebeispiel für die Bedeutung von Software im Nutzfahrzeugbereich. Es ist planmäßig für die Mähdrescher der Modellreihe LEXION 740-780 als Ausstattungsoption in Serie gegangen. Mit modellbasierter Entwicklung und Seriercode-Generierung konnte die neue Funktion schnell implementiert und getestet werden. Der generierte Code funktioniert zuverlässig und fehlerfrei und erlaubt während der meist knappen und somit kostbaren Zeit auf der Maschine die Konzentration auf das Wesentliche: den finalen Funktionstest im Feldeinsatz. ■

Andreas Wilken, CLAAS

## Fazit und Ausblick

Die Anforderungen an moderne Mähdrescher hinsichtlich Effizienz sowie Sparsamkeit beim Treibstoffverbrauch steigen stetig. Assistenzsysteme wie CEMOS AUTOMATIC (CLAAS Electronic Machine Optimization System) haben sich als Lösung bewährt und erlangen immer mehr Bedeutung. Bei der Entwicklung dieser Systeme ist der Seriercode-Generator TargetLink fest im Entwicklungsprozess etabliert. Mit einfach zu handhabenden Funktionen unterstützt TargetLink die Entwicklung komplexer Regelsysteme und generiert zuverlässigen Seriercode. Darüber hinaus werden die TargetLink-Modelle zu Lernzwecken auf virtuellen Steuergeräten PC-basiert eingesetzt, um den Bediener bereits im Vorfeld optimal mit der Erntemaschine vertraut zu machen. Solche Werkzeuge sind die ideale Grundlage, um Innovationen voranzutreiben. In Zukunft bieten neue Standards wie AUTOSAR wichtige Voraussetzungen für die Entwicklung verteilter Regler und die einfache Wiederverwendung von Software.

Andreas Wilken

Andreas Wilken arbeitet in der Vorentwicklung im Bereich Funktionstechnik der CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH in Harsewinkel, Deutschland.





# Lenkung

auf dem Prüfstand

Echtzeitbasiertes Testen in der  
ZF TRW Lenkungsentwicklung

Für die Entwicklung und die Validierung sicherheitskritischer, mechatronischer Systeme wie Servolenkungen bedarf es einer geeigneten Prüfumgebung. ZF TRW Tech Center aus Düsseldorf setzt hier auf HiL-Instanzen mit schrittweise steigendem Hardware-Anteil.



*In einer Echtzeitumgebung  
werden unter anderem komplette  
Lenksysteme von ZF TRW getestet.*

Die funktionalen und sicherheitskritischen Leistungsansprüche eines modernen Lenkungssystems steigen stetig: funktional im Kontext des autonomen Fahrens und sicherheitstechnisch im Zusammenhang mit den wachsenden Verfügbarkeitsanforderungen der Lenkungsunterstützung. Beide Aspekte müssen in ein Absicherungskonzept eingebunden werden, das den Anforderungen der ISO 26262 gerecht wird. Darüber hinaus umfasst eine leistungsfähige Absicherung die Aspekte, die aus der Variantenvielfalt der Fahrzeugplattformen resultieren. Der Nachweis des Produktreifegrades muss innerhalb kürzester Zeit und unter wettbewerbsfähigen Kosten erbracht werden.

**Lösungsansatz Virtualisierung**

Um die genannten Herausforderungen anzugehen, setzt das Düsseldorf der ZF TRW Tech Center auf Virtualisierungstechniken und Verwendung von Hardware-in-the-Loop (HiL)-Simulatoren. Bei dieser Technik werden

reale Komponenten (Hardware) in einem Regelkreis betrieben, der durch virtuelle Komponenten geschlossen wird. Dazu zählen insbesondere präzise Modelle des Lenksensors, des Lenkgetriebes, des Fahrerarms sowie der Fahrzeugkommunikation. Diese spezialisierten Teilmodelle lassen sich zusammen mit den Komponenten der ASM (Automotive Simulation Models)-Bibliothek

„Die Offenheit der dSPACE Umgebung bringt uns sowohl bei der Implementierung eigener Modelle als auch bei der Verwendung selbst entwickelter Prüfstandskomponenten ganz klare Vorteile.“

von dSPACE leicht kombinieren. Damit kann zum Beispiel die Fahrzeugdynamik realitätsnah und in Echtzeit abgebildet werden. Die Echtzeitfähigkeit von ASM macht es erst möglich, Steuergeräte-Hardware in einer virtuellen Fahrzeugumgebung zu betreiben. So können modellbasierte Tests zu Zeitpunkten durchgeführt werden, zu denen die entsprechenden Systeme oder Komponenten physikalisch noch nicht verfügbar sind. Fehler- und Versagensereignisse lassen sich risikolos und zerstörungsfrei nachbilden und Tests leicht und

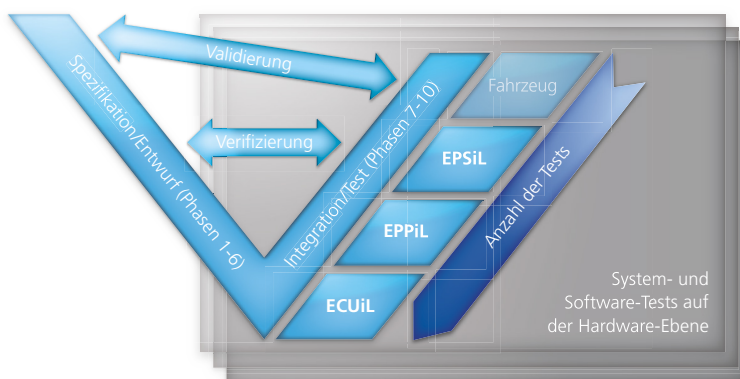
effizient automatisieren. Ganz nebenbei ergeben sich hier noch weitere Vorteile wie exakte Reproduzierbarkeit der Tests oder Unabhängigkeit von Wetterbedingungen, was bei Fahrzeugversuchen eine große Rolle spielt.

**Drei Testinstanzen**

Basierend auf der Strategie der Systemintegration, hat ZF TRW drei HiL-Testinstanzen mit unterschiedlich ausbalancierten Hardware- und Modell-

anteilen aufgebaut: ECUiL, EPPiL und EPSiL. Die drei Abkürzungen stehen für Electronic-Control-Unit-in-the-Loop, Electric-Power-Pack-in-the-Loop und Electrically-Powered-Steering-in-the-Loop. Bei dem EPP bildet das Steuergerät (ECU) zusammen mit dem Elektromotor eine funktionelle Einheit. Das EPS-System vereint dann das Steuergerät, den Motor, einen Lenksensor und mechanische Leistungsübertragungselemente zu einem Lenksystem. Mit steigendem Integrationsgrad steigt der Hardware-Anteil der einzelnen Instanzen, während die Anzahl der zu modellierenden Komponenten abnimmt. Diese Instanzen werden dann entsprechend den Phasen des Testprozesses nach ISO 26262 durchlaufen (Abbildung 1). So werden die extensiven Tests der frühen Integrationsphasen kostengünstig auf den ECUiL-Simulatoren durchgeführt, die auch mehrfach vorhanden sind. Die höheren Testinstanzen sind kostenintensiver sowohl in der Anschaffung als auch im Betrieb. Sie erfordern zudem einen erweiterten mechanischen Umrüstaufwand beim Wechsel des Prüflings. Auf der anderen Seite sinkt aber der Testumfang mit steigendem Integrationsgrad. >>

Abbildung 1: Die drei Testinstanzen werden vorzugsweise genutzt, um die Lenkungsalgorithmen funktionell nach ISO 26262 auf Hardware-Ebene abzusichern – Verifikation durch bidirektionale Verfolgbarkeit. Die Validierungsschritte benötigen noch zusätzliche Informationen aus übergeordneten Spezifikationsphasen.



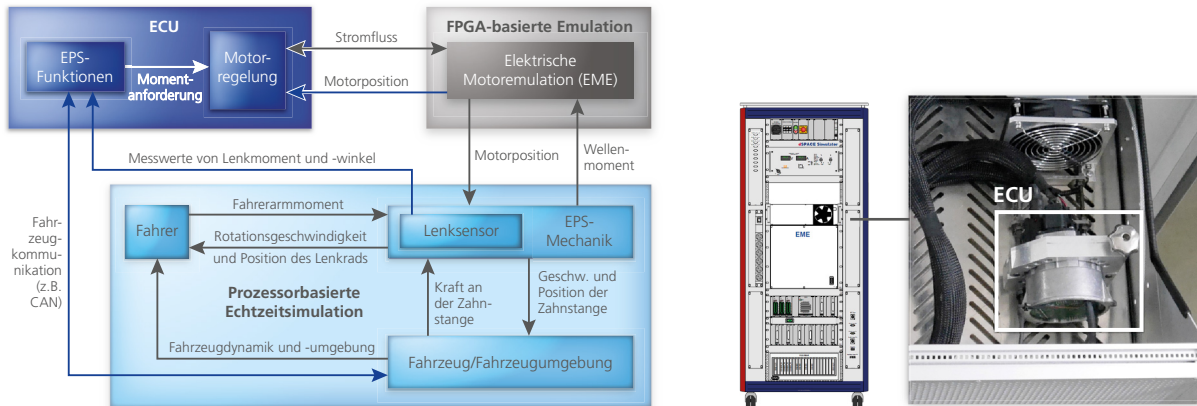


Abbildung 2: Bei den ECUiL-Systemen ist der Anteil der virtuellen Komponenten am größten. Das zu untersuchende Steuergerät wird mit der Simulationsumgebung elektrisch verbunden.

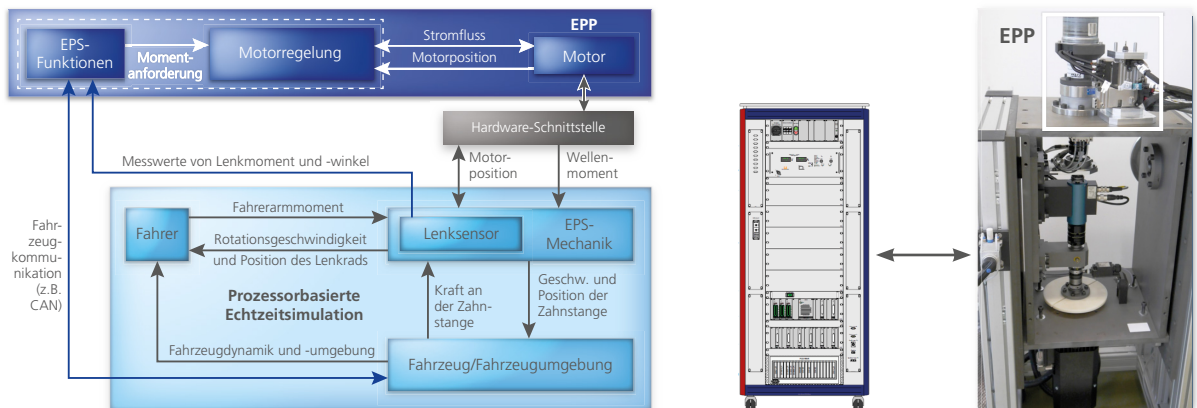


Abbildung 3: Das EPPiL-System beinhaltet zusätzlich zu der ECU den Lenkungsmotor als Hardware. Um den Motor in die Simulationsumgebung einzubeziehen, ist entsprechende Aktuatorik notwendig.

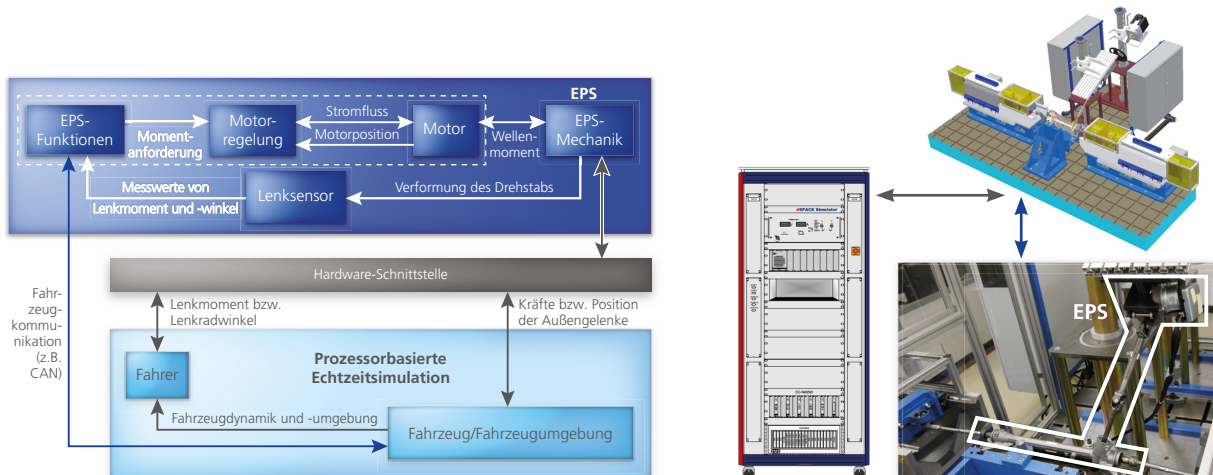


Abbildung 4: Auf dem EPSiL-Simulator wird die komplette Lenkung getestet. Die mechanische Schnittstelle zu der Modellwelt muss dann entsprechend aufwendig ausgeführt werden.

„Die Flexibilität der Echtzeitsysteme von dSPACE ist beeindruckend. Unsere HiL-Infrastruktur wird sowohl in den Applikationsprojekten als auch in der Vorentwicklung effizient eingesetzt.“

Dr. Michael Moczala, ZF TRW

**Instanz 1: Electronic-Control-Unit-in-the-Loop**

Das im Lenkbereich eingesetzte Steuergerät beherbergt sowohl die numerischen Algorithmen der Lenkungenfunktionen als auch den eigentlichen Regler des Elektromotors (Abbildung 2). Der Motor prägt dem Lenksystem ein Drehmoment auf, das den Fahrsituationen bzw. den Fahrervorgaben angepasst ist. Um diese Interaktion darzustellen, ist es notwendig, in einem ECUiL-Testsystem den Motor elektrisch korrekt abzubilden. Dies wird mit Hilfe eines elektrischen Motoremulators (EME) erreicht, der in das dSPACE Echtzeitsystem integriert ist. Dem Entwickler bzw. Tester werden auf diese Weise zusätzliche Eingriffsmöglichkeiten in die Motoreigenschaften bereitge-

stellt. Sie sind dann zusammen mit den Messdaten und den Modellgrößen über die dSPACE Software zugänglich.

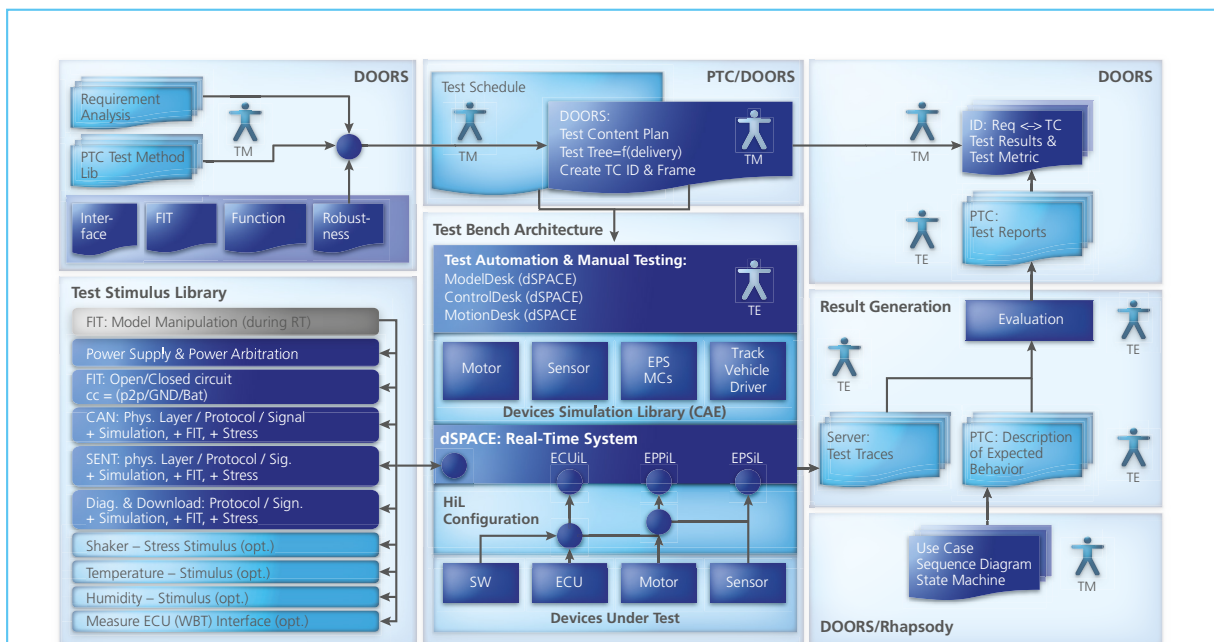
**Instanz 2: Electric-Power-Pack-in-the-Loop**

Bei den EPPiL-Testinstanzen ist die ECU mit dem echten Motor verbunden (Abbildung 3). Entsprechend dem in der Simulation dargestellten Lastfall interagiert der Motor mit einem rotatorischen Aktuator. Passende Sensorik, die einen Teil der Hardware-Schnittstelle darstellt, liefert den Istzustand und der Umrichter des Aktuators empfängt die in der Simulation ermittelten Sollgrößen. Die HiL-Schleife wird dann, ähnlich wie bei den ECUiL-Systemen, durch weitere virtuelle Komponenten geschlossen.

**Instanz 3: Electrically-Powered-Steering-in-the-Loop**

Im Falle des EPSiL-Simulators ist der Anteil der virtuellen Komponenten am geringsten (Abbildung 4). Um jedoch die mechanischen Schnittstellen einer kompletten Lenkung der Modellwelt zugänglich zu machen, ist eine umfangreiche Aktuatorik und Messtechnik notwendig. So wird das Fahrermoment bzw. der Rotationswinkel des Lenkrads über einen Rotationsaktuator realisiert. Auch die Linearaktuatoren, die mit den beiden Außengelenken der Spurstangen der Lenkung verbunden sind, sind als direkte Elektroantriebe ausgeführt. Die enge Kopplung zwischen Echtzeit-Hardware und Antriebsregler über das TWINSync-Protokoll garantiert hochpräzise und dynamische

Abbildung 5: EPS-HiL-Tool-Architektur unter Verwendung von dSPACE Komponenten, die eine geschlossene Lösung für die Bearbeitung und Verwaltung von Testartefakten liefert.



TM: test manager, TE: test engineer



Übertragung der Stellgrößen an die zu untersuchende Lenkungshardware. Messwerte aus mehreren Kraft-, Moment-, Positions- und Beschleunigungssensoren liefern die Zustände der Lenkung zurück ins Echtzeitfahrtdynamikmodell und schließen so die Regelkreise. Der EPSil-Simulator ist eine Komplettlösung der Firma dSPACE.

### Flexible Testumgebung

Die Kontrollumgebung aller drei HiL-Testinstanzen ist so ausgelegt, dass sie nicht nur komplexe Interaktionen zwischen Fahrer, Fahrzeug und Straße in einem virtuellen Umfeld abbilden, sondern auch einfache Kraft- und Wegvorgaben in einem Open-Loop-Betrieb realisieren können. Hier können synthetische Anregungen oder aufgezeichnete Messdaten dem Prüfling über die Hardware-Schnittstelle zu-

geführt werden. Der modulare Charakter der Echtzeitsysteme erlaubt eine große Flexibilität auf der Hardware-Seite. So können die Echtzeitsysteme

zum Beispiel mit relativ geringem Aufwand an die bereits vorhandenen Teststände angeschlossen werden.

### Zusammenfassung und Bewertung

Zur Absicherung von Electrically-Powered-Steering (EPS)-Systemen setzt ZF TRW auf ein Testkonzept aus mehreren HiL-Instanzen, die vom Steuergerätest (ECU-in-the-Loop)

bis zum Test des gesamten Lenksystems auf dem Prüfstand (EPS-in-the-Loop) reichen. Zusammen mit der Hardware der HiL-Simulatoren wurde

im Düsseldorfer Tech Center eine komplette Daten- und Software-Infrastruktur geschaffen, auf die alle HiL-Instanzen zugreifen. Modelle,

*Thomas Maur, ZF TRW*

Bediener-Layouts und Testautomatisierungsskripte werden übergreifend entwickelt. Dabei wird bewusst auf die Durchgängigkeit und Anpassungsfähigkeit der dSPACE Software-Produkte gesetzt. Die Kombination der dSPACE Echtzeit-Hardware mit Werkzeugen wie ControlDesk® Next Generation, AutomationDesk, ASM bzw. ModelDesk gibt den Entwicklern und Anwendern der HiL-Systeme maximale Flexibilität. Der offene Charakter

*Thomas Maur, ZF TRW*

der Echtzeitapplikation, die in MATLAB®/Simulink® beschrieben wird, erlaubt deren Erweiterung durch spezialisierte Teilkomponenten. Nur durch die Verwendung detaillierter Modelle lassen sich die anspruchsvollen Entwicklungs- und Testaufgaben im EPS-Lenkungsbereich bewerkstelligen. Das Datenmanagementsystem SYNECT® rundet die Software-Infrastruktur ab und stellt die notwendigen Schnittstellen zum Testmanagement in PTC® Integrity und zum Anforderungsmanagement in DOORS® her (Abbildung 5). Die eingeführte HiL-Infrastruktur ist geeignet, EPS-Lenkungen nach der ISO-Norm zur funktionalen Sicherheit von Straßenfahrzeugen effizient und zuverlässig zu entwickeln und zu testen. Die Testinstanzen (ECUil, EPPil und EPSil) spiegeln die in der ISO 26262 geforderte Integrationsstrategie wider. ■

*Dr. Michael Moczala, Thomas Maur, ZF TRW*

„Mit der offenen dSPACE Architektur – Echtzeit-Hardware und Software-Tools – ist es uns gelungen, unsere Integrationsstrategie auf die HiL-Testinfrastruktur abzubilden.“

„Mit der Einbindung von SYNECT in unsere dSPACE-basierenden HiL-Konzepte schließen wir unter anderem die Tool-Lücke zwischen Anforderungsmanagement und Test. ‚Testing between DOORS & DOORS‘ ist nun unsere Devise.“

#### Dr. Michael Moczala

*Dr.-Ing. Michael Moczala ist CAE Specialist bei ZF TRW Active & Passive Safety Technology in Düsseldorf, Deutschland.*



#### Thomas Maur


*Dipl.-Ing. (FH) Thomas Maur ist Leiter der Abteilung System Integration & Testing bei ZF TRW Active & Passive Safety Technology in Düsseldorf, Deutschland.*



# Concept\_One

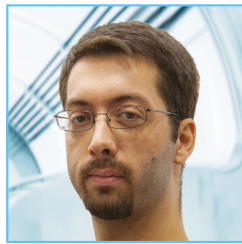
Einblick in die Antriebskonzepte  
eines rein elektrischen Supercars



A blue Rimac Concept\_One electric supercar is shown from a low-angle, front-quarter perspective on the left side of the frame. The car is parked on a paved road that curves through a rugged, mountainous landscape. In the background, a large blue lake is nestled between rocky hills, with snow-capped mountains under a clear blue sky. The road has a white dashed center line and a solid white edge line. A small triangular warning sign is visible on the right side of the road ahead.

Das Concept\_One von Rimac Automobili wurde von Grund auf als rein elektrisches Supercar entworfen – das erste seiner Art. Unbeeindruckt? Wie klingen dann 1088 PS und 4 unabhängige Elektromotoren? Um diese geballte Power zu kontrollieren, kommt eine MicroAutoBox zum Einsatz.

Die Geschichte hinter dem Concept\_One ist einzigartig. Ausgedacht hat es sich Mate Rimac, ein Jungingenieur und Erfinder aus Kroatien. Heute ist er 27 Jahre alt und leitet Rimac Automobili mit seinen 80 Angestellten. Das kroatische Unternehmen entwirft, entwickelt, baut und verkauft anspruchsvolle Elektrofahrzeuge und deren Technologien in die ganze Welt.



„dSPACE ControlDesk hat sich unter realen Testbedingungen als unverzichtbar erwiesen.“

*Kruno Hrvatinic, Fahrdynamikentwickler, Rimac Automobili*

Concept\_One wurde 2011 in Frankfurt vorgestellt. Es ist das erste rein elektrische Supercar der Welt mit beeindruckenden Kennzahlen.

### Entwurf und Konzept des Antriebsstrangs

Was den Concept\_One so besonders macht, ist sein Antriebsstrang. Los ging es mit einem weißen Blatt Papier. Rimac Automobili nahm jede in Frage kommende Komponente genauestens unter die Lupe, um zu entscheiden, welche einen nützlichen Platz im Fahrzeug einnehmen könnte und welche einfach nur Platz wegnimmt. Da man nur durch Allradantrieb vom vollen Grip der Räder

profitiert, werden alle vier angetrieben. Mehrere leistungsstarke Elektromotoren bieten mehr Leistung und wiegen weniger als ein einzelner großer, daher hat jedes Rad einen eigenen Motor. „So hätten wir auf herkömmliche Kupplung und Differenzial verzichten können, dennoch entschieden wir uns für

ein Getriebe. In der Folge ist das Concept\_One das einzige Elektrofahrzeug mit einem 2-Gang-Getriebe an jedem Hinterrad, wodurch die beeindruckende Beschleunigung und die Höchstgeschwindigkeit von 325 km/h erreicht werden“, erläutert Kruno Hrvatinic vom Fahrdynamikteam bei Rimac Automobili.

### Leistungspaket aus Synchronmotor und Hochvoltbatterie

„Wir entschieden uns für Permanentmagnet-Synchronmotoren. Jeder Frontmotor liefert bis zu 330 Nm Drehmoment, die im Heck sogar 440 Nm – und damit 1540 Nm insgesamt. Die Motoren von Rimac Automobili sitzen paar-

weise in einem Gehäuse, um durch das gemeinsame Kühlsystem Platz und Gewicht zu sparen. Jeder Motor hat ein eigenes Getriebe: Die Vorderachsmotoren besitzen jeweils ein 1-Gang-Getriebe und an den Antrieben der Hinterachse kommt jeweils ein 2-Gang-Doppelkupplungsgetriebe zum Einsatz. Bei

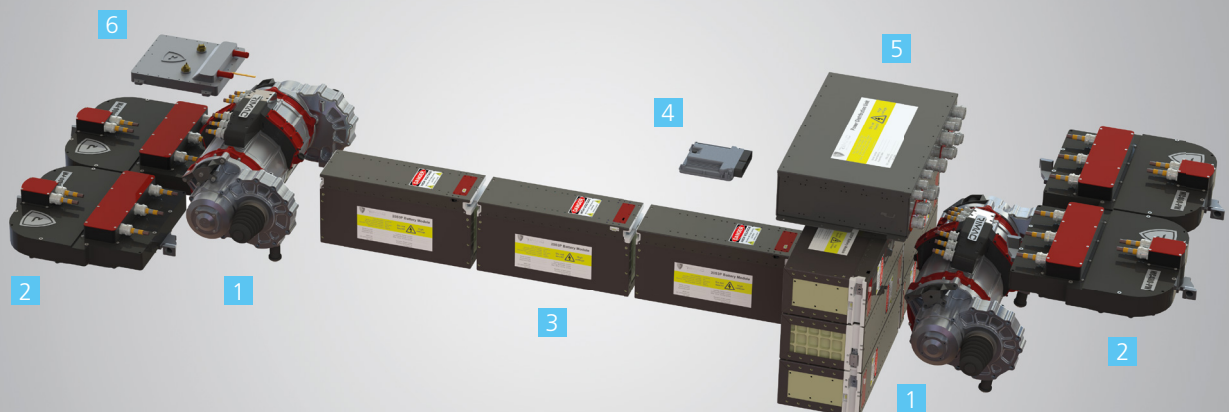
voller Leistung benötigen die Frontmotoren bis zu 400 kW und die hinteren 600 kW;

insgesamt also ein ganzes Megawatt an Batterieleistung“, so Hrvatinic. Die Batterie besteht aus mehreren hundert Lithium-Ionen-Zellen mit einer Betriebsspannung von 650 V. Bei voller Leistung zieht der Motor fast 1600 A. Im reichweiten-optimierten Modus reichen die 82 kWh der Batterie für fast 330 km. Die Zellspannungen und die Temperaturen regelt das von Rimac selbst entwickelte Batteriemanagementsystem, das vom zentralen Fahrzeugsteuergerät über den CAN-Bus gesteuert wird.

### Warum überhaupt elektrisch?

Das Beste an einem Antriebsstrang mit vier unabhängig steuerbaren Motoren

*Der Antriebsstrang aus zwei Motoreinheiten mit Getrieben (1), Wechselrichtern (2) und mehreren Batteriepacks (3). Weitere Komponenten: zentrales Steuergerät (4), Stromverteilereinheit (5) und Heizung (6).*



sind die Freiheitsgrade, die ein solcher Antriebsstrang zulässt. Ein Benziner muss sich auf ein Differenzial verlassen, um das Drehmoment vom Motor auf jedes Rad zu verteilen, also die Leistung mechanisch dahin umzuleiten, wo sie gebraucht wird. Das bringt Verluste mit sich und ist häufig durch die physikalischen Grenzen des Differenzials limitiert. Darüber hinaus können herkömmliche Fahrzeuge nur die Hydraulikbremsen nutzen; diese verschwenden Energie, verschleiben die Bremsscheiben und schlimmstenfalls verlangsamen sie das Fahrzeug mehr als nötig. „Elektromotoren haben diese Nachteile nicht“, fährt Hrvatinčić fort. „Vier Elektromotoren geben uns die Möglichkeit, das Drehmoment an jedem Rad hundertfach in der Sekunde anzupassen, so dass der Motor fast so schnell reagiert, wie die Befehle gesendet werden. Bei Elektromotoren spielt auch die Richtung keine Rolle – sie generieren negatives Drehmoment genauso einfach wie positives. Dieser Prozess heißt rekuperatives Bremsen und produziert nicht nur Wärme, sondern auch elektrische Energie; es wird also ein Teil zurückgewonnen, der für die Beschleunigung des Fahrzeugs genutzt wurde. Dazu kommt der Wirkungsgrad eines Elektromotors auf 95 %, im Vergleich zu rund 35 % bei einem Benziner. Damit haben wir einen leistungsstarken, effizienten, flexiblen und leicht steuerbaren Antriebsstrang.“

### Torque Vectoring

Der nächste Schritt war der Entwurf eines Regelalgorithmus, mit dem sich die hohe Leistung und die Flexibilität des Antriebsstrangs in vollem Umfang nutzen lassen. „Einmal mehr fingen wir bei null an. Wir entwarfen ein physikalisches Modell des Fahrzeugs, analysierten sein passives Verhalten und definierten die Ziele, die wir mit dem aktiven Regelsystem erreichen wollten. Um ein Modell zu haben, mit dem wir testen konnten, nutzten wir alle Daten, die sich erfassen ließen: angefangen bei den physikalischen Abmessungen über



*Concept\_One wird rein elektrisch angetrieben und verfügt über Leistungswerte der oberen Supersportwagenklasse.*



*Mate Rimac, der Erfinder des Concept\_One, am geöffneten Fahrzeugheck. Man sieht die Stomverteilereinheit.*

die Fahrwerksgeometrie bis zu den Reifeigenschaften. Diese Daten wurden dann an eine Software-Suite für automotiv physikalische Simulationen übertragen, wo wir die Modelldaten validieren und mit der Entwicklung unseres dynamischen Fahrzeugregelalgorithmus (Rimac All-Wheel Torque Vectoring,

R-AWTV) beginnen konnten“, berichtet Tomislav Šimunić, Leiter des Fahrdynamikteams.

### Fahrzeugverhalten elektronisch unter Kontrolle

„R-AWTV ist ein System, das Längs- und Querregelung zu einem großen

>>

Ganzen kombiniert. Es überwacht die Kräfte an jedem Rad und stellt sie so ein, dass das Fahrerlebnis für jeden Fahrer und jede Situation angepasst wird. Das passiert einzig und allein durch Steuern des Drehmoments, das von jedem Motor abgegeben wird, und zwar so, dass sich eine Verbesserung gegenüber der passiven Dynamik des Fahrzeugs ergibt. Durch sorgfältige Überwachung des Fahrzeugverhaltens mit präzisen physikalischen Sensoren wie Beschleunigungsmessern, Gyroskopen, Raddrehzahl- und Lenkwinkelsensoren, die in einen Näherungsalgorithmus einfließen, können wir uns ein genaues Bild über den physikalischen Status des Fahrzeugs machen. Die Höhe des Grips oder der verfügbaren Gesamtkraft an jedem Rad wird geschätzt und dient entweder als Grenzwert für maximale Traktion oder er wird absichtlich überschritten, um das Fahrzeug kontrolliert seitlich ausbrechen zu lassen.“

#### Der Fahrer bestimmt die Querdynamik

Rimac wollte ein System, das den durchschnittlichen Fahrer bei hohen Geschwindigkeiten und scharfen Kurven sicher und stabil auf der Straße hält,

aber gleichzeitig dem sehr sportlichen Fahrer nicht das Gefühl gibt, zu viel eingzugreifen. Das System musste also deutlich konfigurierbarer sein und mehr bieten als einen An-/Ausschalter, den die meisten Serienfahrzeuge haben. Die Mittelkonsole des Concept\_One ist so ausgelegt, dass der Fahrer mit einem Drehknopf zwischen den Fahrmodi wechseln kann. Während der Standardmodus auf maximale Stabilität ausgelegt ist, bietet der Dynamikmodus die Möglichkeit, die Fahrbereichsgrenzen deutlich weiter auszuloten. Darüber hinaus ermöglicht die innovative Mensch-Maschine-Schnittstelle dem Fahrer eine vollflexible Drehmomentverteilung. Damit kann das Fahrzeug komplett über Front oder Heck angetrieben werden, aber auch jede Einstellung dazwischen ist möglich.

#### Rolle der MicroAutoBox

„Um die Leistungsfähigkeit und Flexibilität des Antriebsstrangs voll auszunutzen zu können, musste eine Plattform implementiert werden, auf der clevere Regelungen schnell und zuverlässig verarbeitet werden können. Darum haben wir uns entschieden, die MicroAutoBox

als Rapid Prototyping System für die Entwicklung des zentralen Steuergeräts einzusetzen. Sie koordiniert den Verbund aus sekundären Steuergeräten, bietet sicherheitsrelevante Leistungsmerkmale wie einen Schutz vor Überhitzung und eine Gerätefehlererkennung, koordiniert die Anforderungen des Fahrers und implementiert das Drehmomentverteilungssystem von Rimac“, führt Hrvatinic weiter aus. Der Concept\_One nutzt alle vier CAN-Buskanäle der MicroAutoBox für die Kommunikation mit dem Batteriemanagementsystem, dem Steuergerät für die Verteilung und Aufladung, den vier Wechselrichtern und verschiedenen Fahrwerksteuergeräten. Das dSPACE RTI CAN Blockset hat sich an dieser Stelle als besonders nützlich erwiesen, da es die Nachverfolgung und Verwaltung der ca. 200 CAN-Botschaften von und an diverse Geräte auf dem Bus erlaubt. Dafür kommen sowohl die seriellen Standard-Kanäle zum Einsatz als auch die meisten der analogen und digitalen Eingänge. „Das Konvertieren des Regelalgorithmus aus einem Simulink-Modell, das kompatibel mit unserer Simulationssoftware ist, in ein Programm,

*Gespickt mit neuester Technologie: Um die vielfältigen Systeme des Concept\_One miteinander zu vernetzen, setzt Rimac Automobili ein zentrales Steuergerät ein, das mit Hilfe einer dSPACE MicroAutoBox entwickelt wurde.*



v-max  
325 km/h

Power  
1088 HP

0-100 km/h  
2,8 sec



„Die Entwicklungsarbeit mit der MicroAutoBox von dSPACE ist einfach und unkompliziert. So können die Ingenieure ihrer Kernaufgabe Reglerentwicklung nachgehen, ohne sich um den zugrunde liegenden Code zu kümmern.“

*Tomislav Šimunić, Leiter des Fahrtechnikteams, Rimac Automobili*

das auf der MicroAutoBox ausgeführt werden kann, ist einfach und unkompliziert. So können die Ingenieure ihrer Kernaufgabe nachgehen, ohne sich um den zugrunde liegenden C-Code zu kümmern“, resümiert Šimunić.

### Exakte Signalanalyse mit ControlDesk

Hrvatinić weiter: „dSPACE ControlDesk hat sich unter realen Testbedingungen als unverzichtbar erwiesen. Die Möglichkeit, den Wert jedes Signals in Echtzeit zu prüfen und aufzuzeichnen, vereinfacht das Debugging und ist zudem sehr hilfreich bei der Leistungsevaluierung dynamischer Regelsysteme. Nach dem Testlauf kann direkt auf die Test-

daten zugriffen werden, so dass wir den Tag auf der Strecke voll ausnutzen können.“ ControlDesk ist zudem sehr hilfreich bei der manuellen, unmittelbaren Feinabstimmung von Algorithmen-Parametern. Da sich die Werte von Parametern auch leicht ändern lassen, wird die Zeit zwischen Testdurchläufen mit unterschiedlichen Controller-Aufbauten reduziert. Unterschiedliche experimentelle Teilsysteme des Aufbaus können an- und ausgeschaltet werden, ohne dass die Struktur des Reglermodells geändert werden muss.

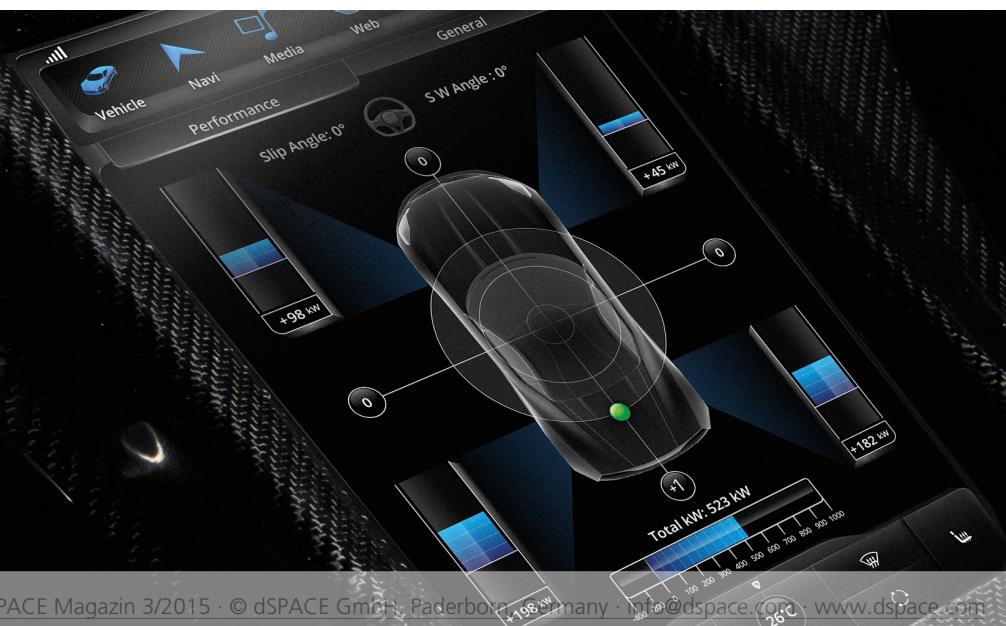
### Ausblick

Nur acht Supercars der ersten Serie Concept\_One World Edition sollen pro-

duziert werden, aber das Design und die Regelalgorithmen werden kontinuierlich weiter verbessert. Die Expertise und die Komponenten, die intern für das Concept\_One entwickelt und hergestellt wurden, unter anderem das Infotainment-System, das Antriebsstrang- und das Batteriesystem, kommen in unterschiedlichen B2B-Projekten zum Einsatz. Rimac arbeitet weiter daran, die leistungsstärksten und raffiniertesten Elektrofahrzeuge der Welt zu entwickeln, zu bauen und damit neue Wege zur Implementierung seiner bahnbrechenden Technologie in unterschiedlichen Bereichen und Industrien zu beschreiten. ■

*Mit freundlicher Genehmigung von Rimac Automobili, Kroatien.*

*Ein Touchscreen in der Mittelkonsole zeigt die Leistungswerte während des Motorbetriebs und bietet exakte Einstellmöglichkeiten.*



# Nurflügler optimiert

AFRL, Boeing und die NASA meistern  
Windkanaltests mit unbemanntem  
Rautenflügler SensorCraft





Bildnachweis: NASA

Das SensorCraft-Projekt am Air Force Research Laboratory (AFRL) dient zur Entwicklung von Technologien für zukünftige unbemannte Überwachungsplattformen in großen Höhen. Ein Teilbereich dieses Forschungsprojekts ist das Aerodynamic Efficiency Improvement (AEI) Program. Zu den Zielen gehören die Flutterunterdrückung und die Böenlastminderung bei reduzierter struktureller Belastung, wodurch sich das SensorCraft-Flugzeug mit weniger Gewicht, größerer Reichweite und Belastbarkeit sowie höherer Ladekapazität konstruieren lässt. Zwei unterschiedliche SensorCraft-Modelle absolvierten während des AEI-Programms die Testreihe im Transonic Dynamics Tunnel, einem NASA-Windkanal in Langley, Virginia. Dabei handelte es sich um einen Nurfügler und einen Rautenflügler (siehe Abbildung 1 sowie Referenzen [1] und [2]). Bei beiden Modellen musste die Konstruktion Freiheitsgrade bei starren Körpern unterstützen, damit sie im Windkanal „geflogen“ werden konnten, was das Projekt deutlich komplexer und risikoreicher machte. Bei den Windkanaltests sind zwei dSPACE Systeme im Einsatz. Das eine ist zuständig für die Flugkontrollregelung, das andere für die Einstellung der Steuerflächen mittels Servoventilen, das WatchDog-System und die Notfallsysteme. Dieser Artikel beschreibt die Flugregelungsarchitektur und die Implementierung mit Hilfe von dSPACE Systemen mit Fokus auf den Rautenflüglertests. Zum Testteam gehörte das Air Force Research Lab (AFRL), Boeing und das NASA-Forschungszentrum.

#### Experimentaufbau

Die Rautenflüglertests wurden im NASA-Windkanal in Langley, Virginia, durchgeführt. Dieser ist speziell darauf ausgelegt, Probleme im Bereich >>

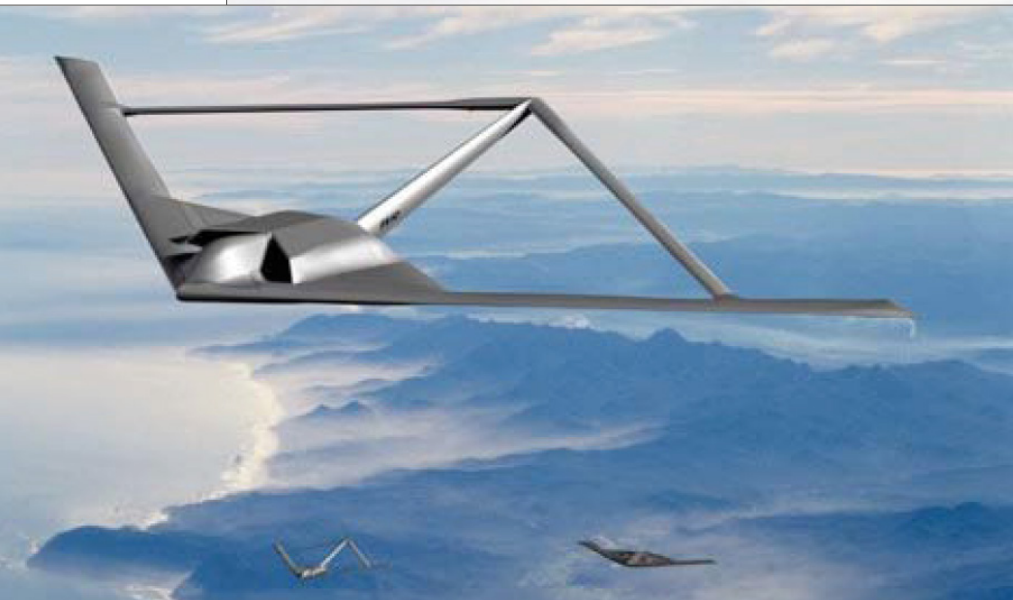
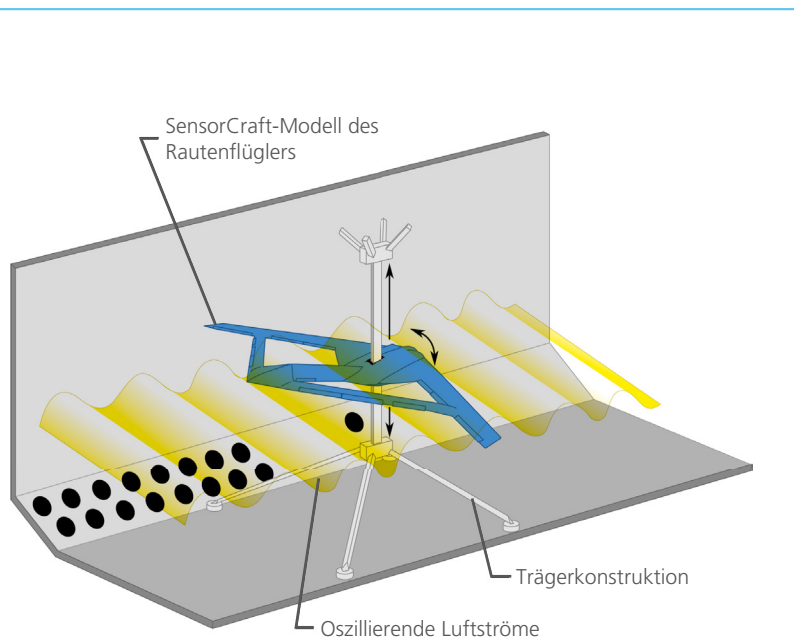


Abbildung 1: Eine der zwei Bauformen für SensorCraft-Flugzeuge.

Aeroelastizität und Aeroservoelastizität zu untersuchen. Der Windkanal hat eine geschlossene Luftführung mit variablem Betriebsdruck und einer Messkammer von knapp 5 x 5 m mit gekappten Ecken. Der Windkanal verwendet entweder Luft oder schweres Gas als Testmedium und kann im Bereich von 0 bis 1,2 Mach betrieben werden. Besonders geeignet ist er für Flattertests, und der Kontrollraum bietet optimale Sicht auf das Modell sowie ein Notfallsystem zu dessen

Schutz. Eine besondere Eigenschaft ist die Möglichkeit für oszillierende Luftströme (Windböen), die in dieser Testreihe ausgiebig zum Einsatz kamen. Abbildung 2 zeigt das Modell des Rautenflüglers und die Trägerkonstruktion. Die Freiheitsgrade werden durch die beiden Pfeile angezeigt. In Abbildung 3 ist der Rautenflügler im Windkanal zu sehen. Die Trägerkonstruktion besteht aus einer speziellen Aufhängung mit einer Führungsschiene, die an den Enden über Dämpfungs-

Abbildung 2: Modell des SensorCraft-Rautenflüglers an einer Trägerkonstruktion mit zwei Freiheitsgraden im NASA-Windkanal in Langley.



einrichtungen verfügt, um ein sanftes Abbremsen zu ermöglichen. Zudem ist das Modell mit zahlreichen Instrumenten ausgestattet, darunter Beschleunigungsmesser, Dehnungsmessstreifen, Gyroskope und Potentiometer, sowie 13 hydraulisch gesteuerten Steuerflächen, jede mit einem Drehfeldgeber (RVDT)-Positionssensor. Die Steuerflächen befinden sich an den Abströmkanten der Flügel, sechs an den vorderen Flügeln, sechs an den hinteren Flügeln und eine an der Mittelstrebe. Um die Tests durchführen zu können, wurde außen am Rautenflüglermodell eine Reihe an Komponenten integriert. Dazu gehören zwei dSPACE Systeme, ein herkömmliches Signalkonditionierungssystem, spezielle Signalkonditionierer für die Drehfeldgeber und die Moog-Servoventile, zahlreiche Netzanschlüsse und ein spezielles Stoßdämpfungssystem. Das Schaltbild in Abbildung 4 zeigt, wie das Windkanalmodell und die unterschiedlichen Systeme miteinander verbunden sind. Bei den externen Signalen an dSPACE Systeme handelt es sich ausschließlich um analoge Signale. Die Anti-Aliasing-Filter waren für die Drehfeldgeber auf 400 Hz eingestellt, da sie mit einem Regelsystem verbunden waren, das eine Abtastfrequenz von 1000 Hz hatte (dSPACE System 1). Alle anderen Signale wurden bei 100 Hz gefiltert, um mit dem anderen Regelsystem kompatibel zu sein, das eine Abtastfrequenz von 200 Hz hatte (dSPACE System 2). Die Datenerfassungsrate im Windkanal betrug 500 Hz.

### Regelsysteme

Zwei dSPACE Systeme übernehmen die Regelaufgaben bei den Windkanaltests des Rautenflüglers. Die Servoregelschleifen für die Positionierung der Steuerflächen durch den Drehfeldgeber und die Servoventile sowie das Watch-Dog-System waren auf dem dSPACE System 1 implementiert. Die Flugsteuerung (Trimming und Böenlastminderung) befand sich auf dSPACE System 2. Die speziell auf die Windkanal-

tests ausgelegte Dämpfungsregelung bestand aus einer Sperrschaltung, diversen Schaltern und einer Stromversorgung. Die Dämpfungsregelung mit den Magnetventilen und die hydraulischen Aktoren an Bord des Modells verhinderten die Starrkörperbewegung. Dieses System kann manuell gestartet werden, allerdings wurde diese Option nie genutzt. Stattdessen löst das automatische WatchDog-System auf dem dSPACE System 1 zuverlässig den Dämpfungsbefehl zum Schutz des Modells aus. Die Kernfunktionen der beiden dSPACE Systeme und des Dämpfungssystems sind in Abbildung 5 dargestellt. Die Eingaben des Anwenders sind dunkelgrau gekennzeichnet. Die Algorithmen zur Böenlastminderung und zur Trimmung wurden im Flugsteuerungsblock auf dem dSPACE System 2 implementiert. Über die Benutzeroberfläche und die Programmierlogik des Blocks werden Ereignisse gesteuert oder ausgelöst, zum Beispiel wird das System zurückgesetzt oder der Startvorgang eingeleitet. Bei Parameteridentifikationstests lässt sich ein Anregungssignal zu mehreren Kom-

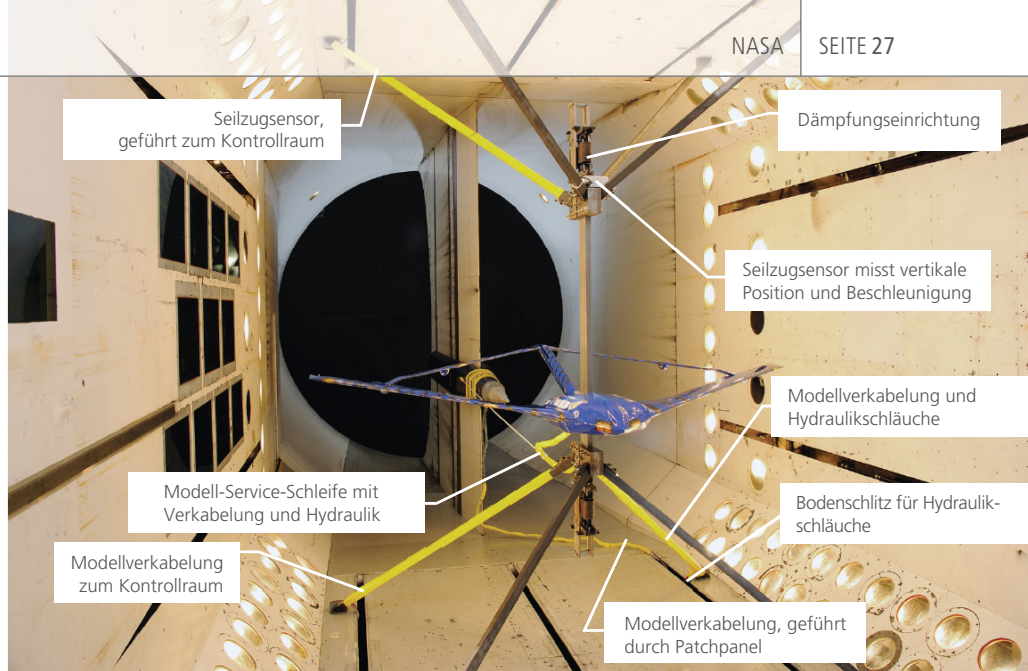


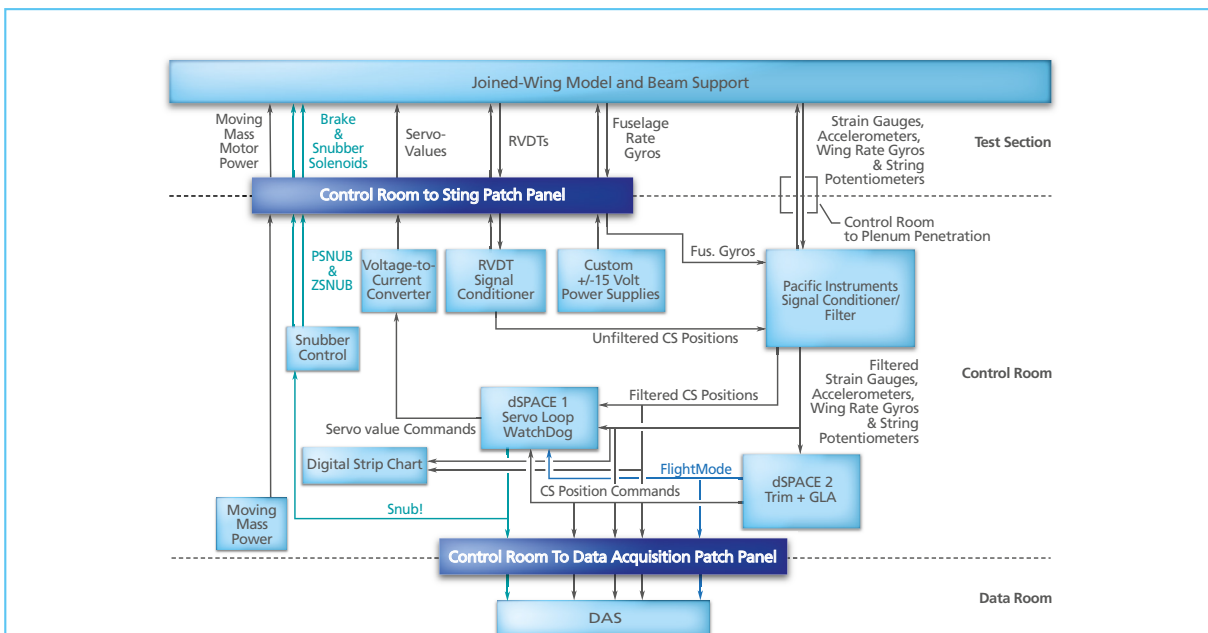
Abbildung 3: SensorCraft-Rautenflügler im NASA-Windkanal Transonic Dynamics Tunnel in Langley.

binationsmöglichkeiten von Steuerflächenbefehlen hinzufügen. Diese Befehle werden als analoge Signale an das dSPACE System 1 ausgegeben. Die Servoregelschleifen und das WatchDog-System waren auf dem dSPACE System 1 implementiert. Bei den Servoregelschleifen handelt es sich um unabhängige PID-Regelschleifen mit Sättigungsblöcken als Ausgang, um ein Übersteuern des Aktors zu verhindern. Das WatchDog-System überwacht die Modellsignale. Tritt eine Stö-

rung auf, wird der Dämpfungsbefehl ausgegeben und über den Schalter in Abbildung 5 an den Notfallalgorithmus übertragen, der die Steuerung übernimmt. Im Störfall stellt der Notfallregler die Steuerflächen augenblicklich in Neutral/Nullstellung. In dem in Referenz [1] beschriebenen Test wurde ein geschlossener Regelkreis angewandt. Wie in Abbildung 5 gezeigt, kommunizieren die unterschiedlichen Systeme über die Statussignale vom Dämpfungsregelsystem an dSPACE

>>

Abbildung 4: Signalfluss in den Rautenflüglertests.



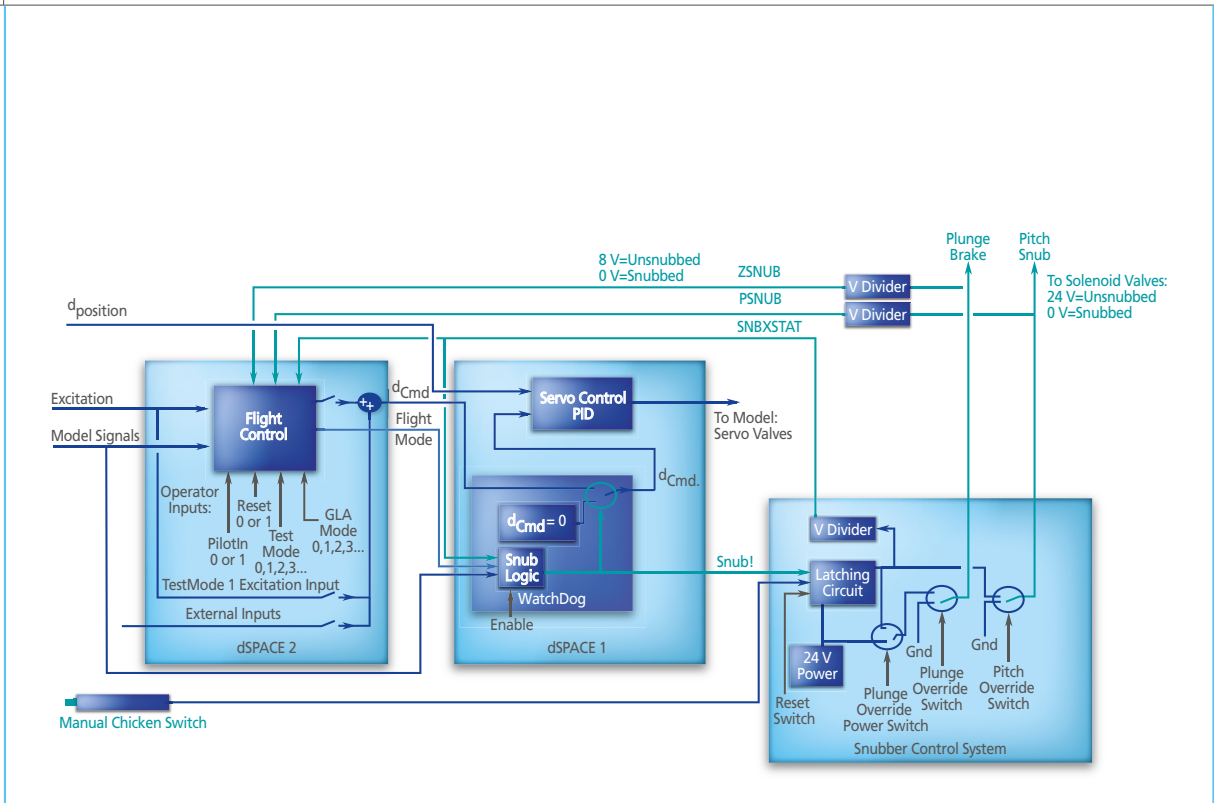


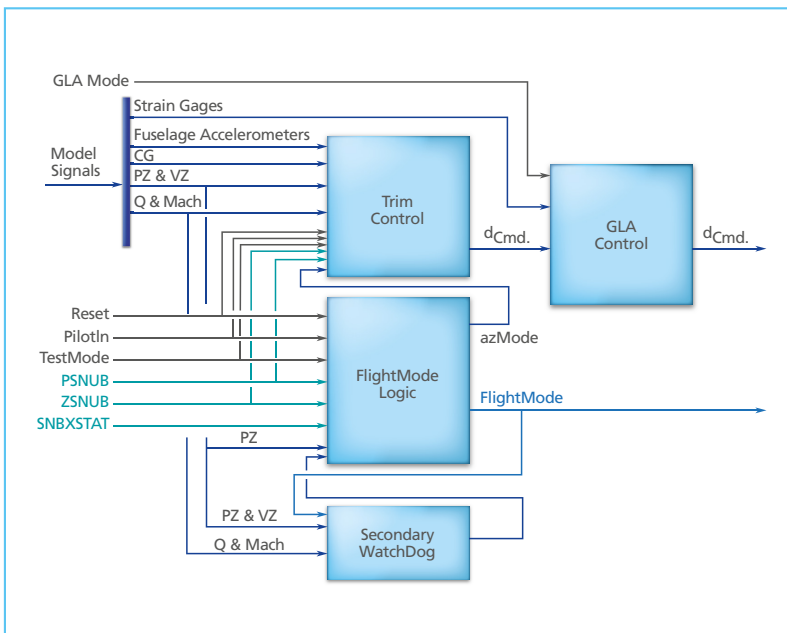
Abbildung 5: dSPACE Systeme und Blockdiagramm der Dämpfungsregelung.

System 1, über das Flugmodussignal von dSPACE System 2 an dSPACE System 1 und über das Dämpfungs-signal von dSPACE System 1 an das Dämpfungsregelsystem. Diese Kommunikationswege zusammen mit Anwendereingaben meistern eine der wesentlichen Herausforderungen des Rautenflüglers im Windkanal:

den Übergang des Modells von ganz unten vertikal nach oben trotz aktivierter Dämpfungseinrichtung bis zum freien Schwebeflug in der Mitte des vertikalen Flugbereichs. Die dazu notwendigen Schritte sind detailliert in Referenz [2] erläutert. Abbildung 6 zeigt die Hauptmerkmale des Flugsteuerungsblocks von dSPACE System 2.

Die Hauptkomponenten sind die Blöcke für Trimmung und Böenlastminderung (GLA) sowie die Blöcke für die Flugmoduslogik und die Fehlererkennung. Dargestellt sind Modellsignale, dämpfungsrelevante Signale, Anwendereingaben und die entsprechenden Modellsignale. Der Trimmungsregler hat zwei Betriebsmodi: Theta Hold und Altitude (Z) Hold. Der genaue Betriebsmodus wird von der Anwendereingabe und der vertikalen Position des Modells bestimmt. Auch enthält der Trimmungsblock eine Logik zum Ändern des Rampen-Sollwerts der vertikalen Position vom unteren Haltepunkt bis zur Windkanalmitte. Der Anwender steuert den Böenlastminderungsblock durch seine Eingabe im GLAMode. Wenn GLAMode gleich 0 ist, durchlaufen die Steuerflächenregelungsbefehle den GLA-Block. Ist GLAMode größer 0, werden mit dem Signal des Dehnungsmessstreifens Befehle für die Steuerflächen zur Böenlastminderung generiert, die zu den Ausgängen des Trimmungsreglers addiert werden. Der Trimmungsregler wurde zum Starten, Fliegen und Landen des Modells im Windkanal entwickelt

Abbildung 6: Blockdiagramm des Flugsteuerungssystems.



und dient als Referenz, um die Böenlast zu reduzieren. Der Trimmungsregler besteht aus zwei Hauptelementen, einem vertikalen (Z) Regelkreis und einem Neigungsregelkreis ( $\theta$ ). Der vertikale Regelkreis besteht aus einem einfachen PID-Regler, der den Beschleunigungsbefehl generiert. Der Neigungsregelkreis besteht aus einer PID- und einer Feed-Forward-Regelung für die Beschleunigung, um aus dem Beschleunigungsbefehl einen Befehl für das Höhenruder zu generieren. Die beiden Regelkreise verwenden Verstärkungen, basierend auf dem Modellschwerpunkt. Der Steuerflächenbefehl durchläuft einen Tiefpassfilter dritter Ordnung, um die Reaktion bei höheren Frequenzen zu dämpfen.

### dSPACE Systeme

Jedes dSPACE System besteht aus einem Host-Rechner, einem Zielprozessor, einer Tastatur, einem Monitor, einem BNC-Patchpanel für die I/O und einer unterbrechungsfreien Stromversorgung. Den Kern des dSPACE Systems bildet ein DS1006 Processor Board mit AMD-Opteron™-Prozessor (2,6 GHz), verbunden mit drei dSPACE D2002 Multi-Channel A/D Boards und einem dSPACE DS2103 Multi-Channel D/A Board. Die A/D Boards haben jeweils 32 Kanäle mit 16 Bit Quantisierung und einem Eingangsbereich

von  $\pm 10$  Volt. Das D/A Board hat 32 Kanäle mit 14 Bit Quantisierung, ist ausgelegt für  $\pm 10$  Volt und hat eine Einschwingzeit von 10  $\mu$ sec. Die Regler-Software wird in MATLAB®/Simulink® entwickelt, kompiliert und über dSPACE Real-Time Interface auf den Zielprozessor heruntergeladen. Eine integrale Komponente der dSPACE Werkzeugkette ist die Experimentiersoftware ControlDesk®. ControlDesk ist die Benutzerschnittstelle zum Zielprozessor für die Entwicklung und Implementierung der GUI. Die GUI wird auf dem Host-Rechner ausgeführt und steuert die Kommunikation zwischen den Prozessoren. ■

David A. Coulson und Robert C. Scott, NASA

### Referenzen

[1] Scott, R., Vetter, T., Penning, K., Coulson, D., and Heeg, J., "Aeroservoelastic Testing of Free Flying Wind-Tunnel Models Part 1: A Sidewall Supported Semispan Model Tested for Gust Load Alleviation and Flutter Suppression," NASA/TP-2013-218051, Oct. 2013.

[2] Scott, R., Castelluccio, M., Coulson, D., and Heeg, J., "Aeroservoelastic Testing of Free Flying Wind-Tunnel Models Part 2: A Centerline Supported Fullspan Model Test for Gust Load Alleviation," NASA/TP-2014-218170, Feb. 2014.

## Ergebnisse

Mit dem Aufbau wurde im Laufe von sechs Wochen eine Vielzahl von Windkanaltests absolviert. Dabei gelang es, die Regelalgorithmen für die Trimmung und die Böenlastminderung schrittweise von Test zu Test zu verfeinern. Generell wurden die Regelungen entworfen, implementiert, getestet und evaluiert. Dieser Prozess wurde in der Testphase mehrfach durchlaufen. Mit fortschreitenden Testreihen wurden optimierte Testprozesse entwickelt, die zu verbesserten Datensätzen aus der Parameteridentifikation führten. Diese Datensätze kamen zur weiteren Optimierung der analytischen Modelle zum Einsatz und halfen bei der Verbesserung der Reglerentwürfe von Trimmung und Böenlastminderung. Das Ergebnis sind Regelalgorithmen, die die Fluglage und Flugstabilität des Flugzeugs soweit optimieren, dass die Belastung durch Böen um deutlich mehr als 50 % geringer ist als zu Beginn der Testreihen. Wegen der schnellen Abfolge und der ständigen Veränderungen der zahlreichen Tests waren zum einen die Anpassbarkeit und die Konfigurierbarkeit des dSPACE Systems ein Schlüsselfaktor für den Erfolg der Experimente, zum anderen die MATLAB/Simulink-Kompatibilität. Dies zeigt sich beispielsweise daran, dass die Entwicklung der Regelalgorithmen von einem Teammitglied an der US-Westküste erledigt wurde, obwohl sich der Windkanal an der US-Ostküste befindet. Überarbeitete Regelungen wurden einfach als neues Simulink-Modell an die Ingenieure am Windkanal geschickt und in den bestehenden Rahmen eingefügt, kompiliert und waren nach wenigen Minuten einsatzbereit. Auf diese Weise ließen sich zahllose Iterationen in kürzester Zeit bewerkstelligen.

### David A. Coulson

David A. Coulson, Senior Research Engineer, Aktive Regelungen NASA-Windkanal, Analytical Sciences & Materials, Inc., Hampton, Virginia, USA.



### Robert C. Scott

Robert C. Scott, Senior Aerospace Engineer, Bereich Aeroelastizität, NASA Langley Research Center, Hampton, Virginia, USA.





Ambitionierte

Klimazie

Eine präzise Regelung der Innenraumtemperatur ist das A und O bei der Entwicklung von Fahrzeugklimaanlagen. Deren sehr zeitaufwendige Kalibrierung will Bergstrom zukünftig um bis zu 80 % verkürzen. Dabei setzt der Klimaspezialist auf einen modellbasierten Ansatz mit zahlreichen dSPACE Werkzeugen.

Nutz- und Spezialfahrzeuge müssen ihre anspruchsvolle Arbeit auch bei extremen Temperaturen immer zuverlässig verrichten. Damit ihre Bediener einen „kühlen Kopf“ bewahren und sich voll und ganz auf ihren verantwortungsvollen Job konzentrieren können, müssen in ihren Fahrerkabinen immer optimale Arbeitsbedingungen herrschen. Einen wichtigen Beitrag zu dieser sogenannten „Konditionssicherheit“ leistet Bergstrom Inc.

#### Ambitioniertes Wunschziel

Im Bereich Fahrerhaus-Klimasysteme bietet das Unternehmen zwei kommerzielle Produkte: ein klassisches, motorgetriebenes und ein batteriebetriebenes System (vermarktet als

NITE, Kurzform für No-Idle Thermal Environment) für den Betrieb der Klimaanlage bei stehendem Fahrzeug. Eine der Kernkomponenten aller Bergstrom-Systeme ist das automatische Temperaturreglergerät, für dessen Test und Kalibrierung bisher sehr lange Iterationszeiten benötigt werden. Seine Entwicklung soll daher langfristig beschleunigt und mehr Kalibriereschritte offline im Zuge eines neuen, modellbasierten Entwicklungsprozesses durchgeführt werden. Die Messlatte legte das Unternehmen dabei von Anfang an sehr hoch: Bergstrom setzte sich das Wunschziel, zukünftig sämtliche Regelsoftware zu 85 % virtuell zu entwickeln und 80 % der Kalibrierungszeit einzusparen. >>

Bergstrom plant, 85 % seiner Regelsoftware virtuell zu entwickeln

# le



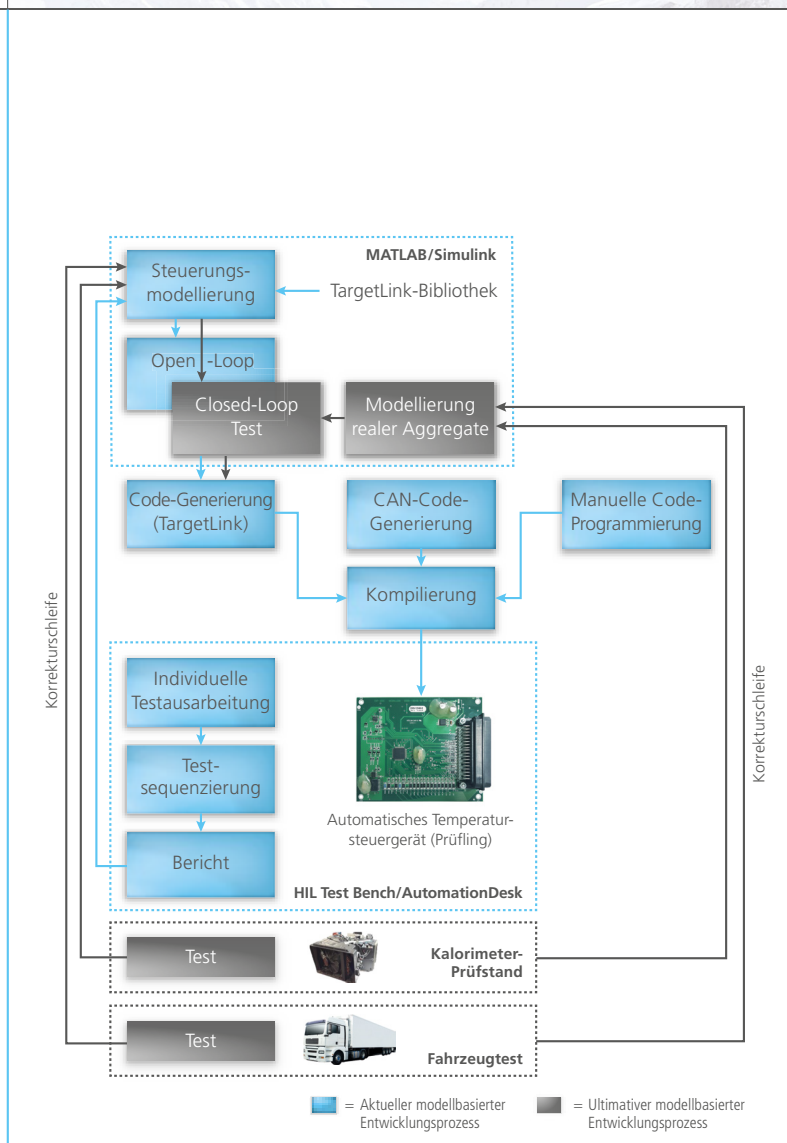


Abbildung 1: Derzeitiger (blau) und ultimativer (grau) modellbasierter Entwicklungsprozess bei Bergstrom.

### Leistungsfähige Werkzeugkette erforderlich

Nachdem damit das Ziel der Reise zur modellbasierten Entwicklung bestimmt war, musste Bergstrom die passenden Transportmittel wählen, um es zu erreichen. Neben effizienten Prozessen war dafür auch eine bewährte und leistungsfähige Werkzeugkette erforderlich. Unter Beteiligung mehrerer dSPACE Produkte setzt das Unternehmen dabei auf

Entwicklungswerkzeuge auf dem neuesten Stand der Technik, im Detail auf:

- Ein Datenmanagementsystem, um die Entwicklungsdaten (Modelle, Dokumente, Spezifikationen, Software, Abbildungen, Tests etc.) strukturiert sowie aktuell zu verwalten und an einem zentralen Ablageort für alle Entwicklungsteams weltweit bereitzustellen

- Ein Software-Versionskontrollsystem für die Nachverfolgbarkeit im Lebenszyklus
- Ein Anforderungsmanagementsystem zum Dokumentieren, Analysieren, Nachverfolgen und Priorisieren der Anforderungen
- Die Modellierungsumgebung (MATLAB®/Simulink®) für die modellbasierte Software-Entwicklung
- Den Seriene-Generator dSPACE TargetLink®, um Modelle automatisch in effizienten, serienreife Code umzuwandeln
- Die Testautomatisierungssoftware dSPACE AutomationDesk in Kombination mit einem dSPACE Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulationssystem, um Software-Tests zu automatisieren

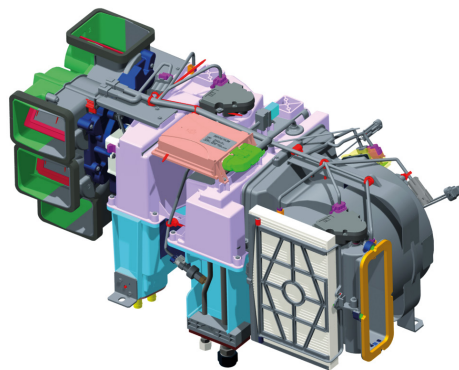
### Neu strukturierter Entwicklungsprozess

Bei der initialen Verankerung dieser Werkzeuge in einem grundlegenden modellbasierten Entwicklungsprozess (Abbildung 1, blaue Elemente) lag eine der ersten Aufgaben darin, die Anforderungen bestehender Produkte mittels Reverse Engineering zu erfassen und zu dokumentieren. Die so gewonnenen Design-Informationen erlaubten Bergstrom, mit der Modellierung der Regelalgorithmen in MATLAB/Simulink anzufangen. Auf derselben Plattform konnte die modellierte Steuerung auch gleich im Open-Loop-Verfahren funktional getestet werden, wodurch die Entwickler schon in der Entwurfsphase erste Einblicke in das tatsächliche Verhalten ihrer Algorithmen bekamen. Waren die Tests erfolgreich, wurden die Steuerungsmodelle mit TargetLink in entsprechenden

„Für die Reise zur modellbasierten Entwicklung fiel die Wahl auf Tools von dSPACE, da uns das Unternehmen als Marktführer Entwicklungswerkzeuge auf dem neuesten Stand der Technik bietet.“

Bjorn Hansson, Bergstrom Inc.





Klassisches Heizungs-, Lüftungs- und Klimasystem

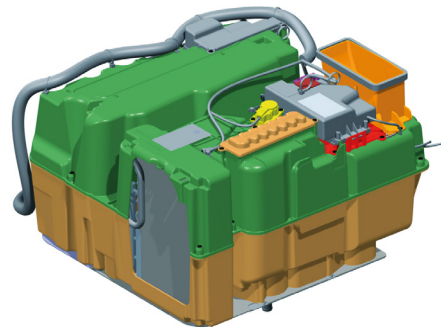
Automatisches  
Temperatursteuer-  
gerätNITE (No-Idle Thermal Environment) –  
Batteriebetriebenes Heizungs-, Lüftungs- und Klimasystem

Abbildung 2: Das automatische Temperatursteuergerät (Mitte) ist eine der Schlüsselkomponenten sowohl in Bergstroms klassischem Heizungs-, Lüftungs- und Klimasystem (links) als auch im batteriebetriebenen NITE (No-Idle Thermal Environment)-System (rechts).

Seriencode umgesetzt. Dieser wurde anschließend, gemeinsam mit zusätzlich generierten Kommunikationsschnittstellen (CAN-Code), einem Kalibrierprotokoll (XCP) und von Hand programmierten Ergänzungen, kompiliert und auf dem Steuergerät implementiert. Danach folgten ausgiebige Tests des Steuergerätes auf einem Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulator. Um diese Tests zu vereinfachen, erstellte Bergstrom mit AutomationDesk eine Reihe von automatisierten Testfällen. Mit Hilfe der Ergebnisberichte dieser Tests konnten die Entwickler das Regelungsmodell korrigieren und anpassen.

### Erste Tests im Fahrzeug

Nachdem ein einzelner Prototyp am HIL-Simulator getestet wurde, folgten die Integrationstests in einem echten Lkw-Fahrerhaus. Dazu wurden die Regler- und Schnittstellenmodelle mit TargetLink in Serieneinrichtung umgesetzt und auf dem Steuergerät implementiert. Im Fahrzeug konnte das Steuergerät mit einem Kalibriersystem über das XCP-Protokoll weiter abgestimmt werden. Weil der Prototyp im Testfahrzeug problemlos zum Laufen gebracht werden konnte, gestalteten sich diese Integrationstests erfolgreich.

### Vielversprechendes Zwischenergebnis

Die erfolgreichen Tests im Fahrzeug zeigten, dass die Software-Steuerung bereits an diesem Punkt alle im Vorfeld gestellten Anforderungen erfüllt. Ein funktionierendes Modell ist jedoch nur der erste Schritt. Es zu kalibrieren und seine korrekte Funktion sicherzustellen, erfordert von den Entwicklern weiteren Aufwand. Die Erkenntnisse aus der physikalischen Welt auf die Modelle zu übertragen, gehört somit zu den aktuellen Entwicklungsaufgaben der Bergstrom-Ingenieure.

### Der weitere Weg zum ultimativen Entwicklungsprozess

In der Folge sollen etablierte modellbasierte Arbeitsweisen verfeinert und durch weitere Testverfahren schrittweise ergänzt werden (Abbildung 1, graue Elemente). Beispielsweise werden die Korrekturschleifen, in denen die Modelle weiter verfeinert werden, dann auch Testergebnisse vom Kalorimeterprüfstand und aus realen Fahrzeugversuchen berücksichtigen. Dafür werden diese realen Aggregate auch in MATLAB/Simulink modelliert, um Regelungen in Zukunft im Closed-Loop-Verfahren testen zu können. So kann die Modellierung schon deutlich früher

und umfangreicher funktionsseitig validiert und abgesichert werden. Langfristig soll so das anvisierte Ziel von 85 % virtueller Entwicklung und Absicherung der Regelsoftware erreicht werden, und zwar vor Beginn der Tests im Fahrzeug, um so die Kalibrierungszeit auf mechanischer Ebene um 80 % zu reduzieren. In der Folge erwartet Bergstrom eine deutliche Zeit- und Kostenersparnis. Am Ende von Bergstroms Reise zur modellbasierten Entwicklung können dann nicht nur die Fahrer der Nutzfahrzeuge, sondern auch die eigenen Controller immer einen kühlen Kopf bewahren. ■

*Bjorn Hansson, Bergstrom Inc.*

#### *Bjorn Hansson*

*Bjorn Hansson arbeitet als Chief Mechatronics Engineer bei Bergstrom Inc. in Rockford, Illinois, USA.*



Ohio State EcoCAR 2 –  
Hybrid-Power auf dem ersten Platz

# Modellbasiert. gewinnen



Beim Wettbewerb EcoCAR 2 belegte das Team der Ohio State University (OSU) mit seinem Plug-in-Hybrid-Konzept einen beeindruckenden ersten Platz. In dreijähriger Arbeit und mit Werkzeugen aus der Industrie entworfen, implementierten und testeten die Studenten einen energieeffizienten Elektro- und Ethanolantrieb inklusive elektrischer Rekuperation. In einem 2013er Chevrolet Malibu überzeugte er sowohl Tester als auch Jury auf ganzer Linie.



Foto von Myles Regan/ CC BY-ND 2.0

<https://www.flickr.com/photos/doeavtc/14338888602/in/album-72157644984645925>

dSPACE Magazin 3/2015 · © dSPACE GmbH, Paderborn, Germany · info@dspace.com · www.dspace.com

„**E**inem Serienfahrzeug mit einem eigenen Konzept eine solche Verbrauchs- und Emissionsenkung zu verpassen – bei Erhalt der vollen Leistung – ist ein gigantisches Ergebnis, obendrein für Studenten, die dies im Rahmen ihres Studiums bewältigen“, so Santhosh Jogi, Director of Technology bei dSPACE Inc. „Der erste Platz in der Gesamtwertung des EcoCAR-2-Wettbewerbs war mehr als verdient. Und wir sind natürlich stolz, dass Werkzeuge von dSPACE eine so entscheidende Rolle im Entwicklungsprozess gespielt haben. Zusätzlich haben wir dem Team auch den ersten Platz des dSPACE Embedded Success Awards verliehen, denn es hat die Produktentwicklung, den modellbasierten Entwicklungsprozess und den Werkzeugeinsatz umfangreich verinnerlicht und effektiv miteinander verbunden“, erläutert Jogi weiter.

### Wettbewerb für die Macher von morgen

„Das war eine große Sache“, berichtet M.J. Yatsko, EcoCAR-3-Co-Teamleiterin sowie verantwortlich für die EcoCAR-2-HIL-Tests. „Der ganze drei

Jahre dauernde Wettbewerb EcoCAR 2 mit 15 nordamerikanischen Uni-Teams, gesponsert vom US-Energieministerium (DOE), General Motors (GM) und zahlreichen weiteren Institutionen und Unternehmen, ließ uns Studenten die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen der Automobilindustrie hautnah spüren.“ Beim Wettbewerb galt es, die Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit eines bereits etablierten Serienfahrzeugs, des 2013er Chevrolet Malibu, weiter zu optimieren. Jedes Team hatte drei Jahre Zeit, seine Fahrzeugentwürfe zu konzipieren, zu entwickeln und zu implementieren, ohne dabei Abstriche bei Leistung, Sicherheit und Verbraucherakzeptanz zu machen. Während der Entwicklungsarbeit orientierte sich das OSU-Team bei den zu lösenden Teilaufgaben an den bei General Motors etablierten Entwicklungsprozessen. Das Plug-in-Hybrid-Konzeptfahrzeug erzielte ein Kraftstoffverbrauchsäquivalent von 4,7 Litern Benzin sowie einen Stromverbrauch von 19,6 kWh pro 100 Kilometern – bei deutlich verbesserten Abgaswerten.

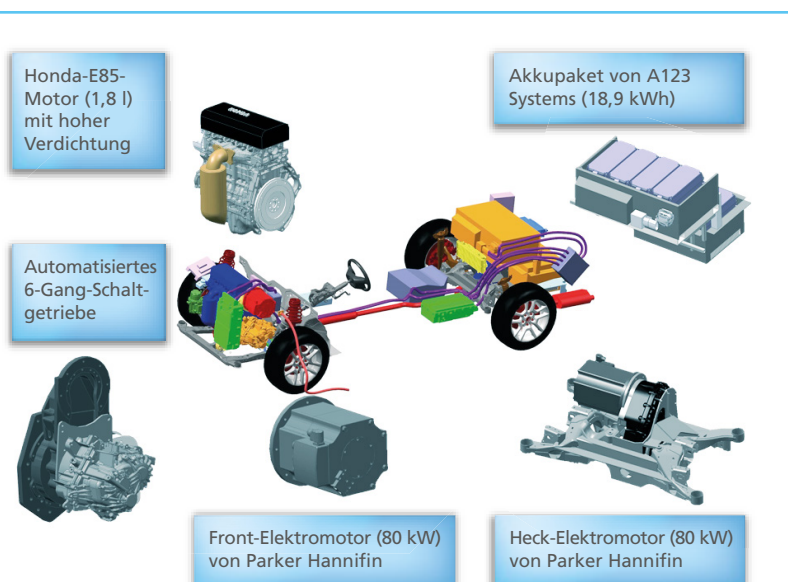
### Im Herzen des EcoCAR 2

„Als Fahrzeugarchitektur wählten wir ein Plug-in-Hybridkonzept“ erklärt Jason Ward, Projektleiter im OSU-Team. „Für Kraft ist hier mehrfach gesorgt: Die Frontachse wird von einem Honda-Ethanol-Verbrennungsmotor mit 1,8 Liter Hubraum und 6-Ganggetriebe angetrieben. Zusätzliches Drehmoment liefert ein 80-KW-Elektromotor, der über einen Riemen an das Getriebe gekoppelt ist. Die Hinterachse wird von einem weiteren 80-KW-Elektroantrieb angetrieben.“ Andrew Huster, Leiter des Elektrik-Teams, stellt die wesentlichen Vorteile dar: „Die verschiedenen Antriebskomponenten lassen sich flexibel miteinander kombinieren und so zu Antriebsmodi wie Verbrennungsantrieb, Hybridantrieb und rein elektrischem Antrieb zusammenfassen. Die Batterieeinheit kann je nach Antriebsmodus gezielt aufgeladen, durch Rekuperation erhalten oder im Betrieb entladen werden.“ Speziell für die reibungslosen Übergänge von einem Modus zum anderen wurden vom OSU-Team umfangreiche Tests durchgeführt. Die Plug-in-Hybrid-Reglerarchitektur ist hierarchisch aufgebaut. Die übergeordnete zentrale Steuereinheit übernimmt eine dSPACE MicroAutoBox® II. Darunter befinden sich, über mehrere CAN-Bus-Schnittstellen angebunden, die Low-Level-Controller für Motor, Batterie, Bremsen, Getriebe, Elektromotoren etc. Die Architektur lässt sich leicht erweitern, sie ist fehler-tolerant und macht es zudem einfacher, verschiedene Reglervarianten auszuprobieren.

### HIL-Tests mit dem dSPACE Simulator

Im ersten Jahr des Wettbewerbs konzentrierten sich die Studenten auf die Fahrzeugarchitektur und die Fahrzeugteilsysteme. Neben SIL-Tests (überwiegend mit einer von der OSU selbst entwickelten SIL-Simula-

Abbildung 1: Die Fahrzeugarchitektur – flexible Kraftverteilung auf beide Achsen.





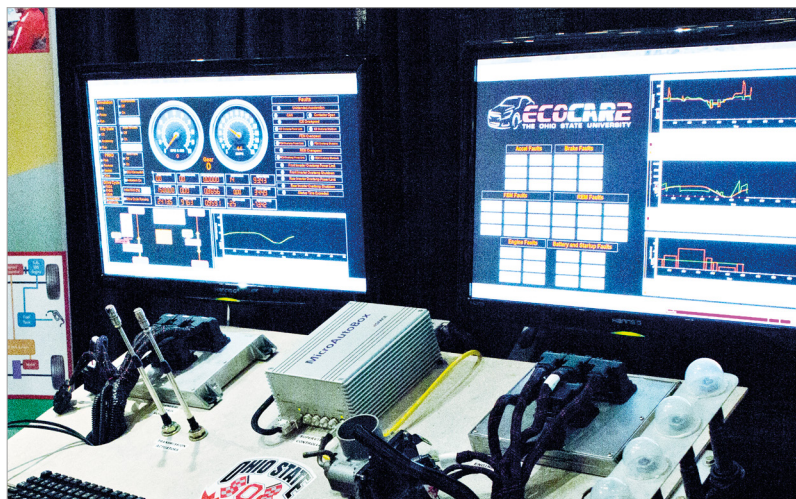
„dSPACE Werkzeuge haben signifikant dazu beigetragen, dass unser Team die Meilensteine und Spezifikationsziele für EcoCAR 2 erreicht hat. Die dSPACE Werkzeuge erlaubten es uns, den Steuerungscode komfortabel zu testen, während parallel die mechanischen und elektrischen Teilsysteme entworfen und erstellt wurden.“

*Matthew Yard, damaliger Leiter des OSU-EcoCAR-2-Teams*

tionslösung) wurden intensive HiL-Tests mit Hardware und Software von dSPACE durchgeführt. Im zweiten Jahr ging es dann an die konkrete Fertigstellung eines Prototyps und die Integration der Komponenten. Im dritten Jahr schließlich wurde das Fahrzeug, begleitet von zahlreichen Fahrtests, mit Hilfe der eingerichteten Werkzeugkette weiter optimiert, um die vom Wettbewerb geforderten Verbrauchs- und Emissionsziele zu erreichen. Um bei den HiL-Tests sowohl jeden der vom Team programmierten Controller mit Hilfe von Simulation und Fehlertests auf Herz und Nieren zu prüfen als auch die Kommunikation zwischen den Controllern zu testen, arbeitete das OSU-Team mit 4 verschiedenen HiL-Konfigurationen auf Basis eines dSPACE Simulators Mid-Size. Das Team nutzte diese HiL-Konfigurationen mit dynamischen Closed-Loop-Reglermodellen, um das funktionale Verhalten, die Fehlererkennung und -behebung, die Steuergerätekommunikation sowie viele andere Komponenten- und Fahrzeugfunktionen zu testen. Die vier HiL-Konfigurationen:

- **Fall 1:** Validierung des Hauptcontrollers mit Hilfe einer dSPACE MicroAutoBox® II. Es kamen Simulationsmodelle verschiedener Hersteller zum Einsatz. >>

*Abbildung 3: Katherine Bovee (OSU) zeigt Michael Knotek (US-Energieministerium) das Fahrzeug.*



*Abbildung 2: ControlDesk® Next Generation für die HiL-Tests mit einem dSPACE Simulator Mid-Size und für die Regleranwendungen auf der dSPACE MicroAutoBox II.*



*Ausschnitt des Originalbildes von Myles Regan/CC BY-ND 2.0  
<https://www.flickr.com/photos/doesavtcl14221296830/in/album-72157644984645925/>*

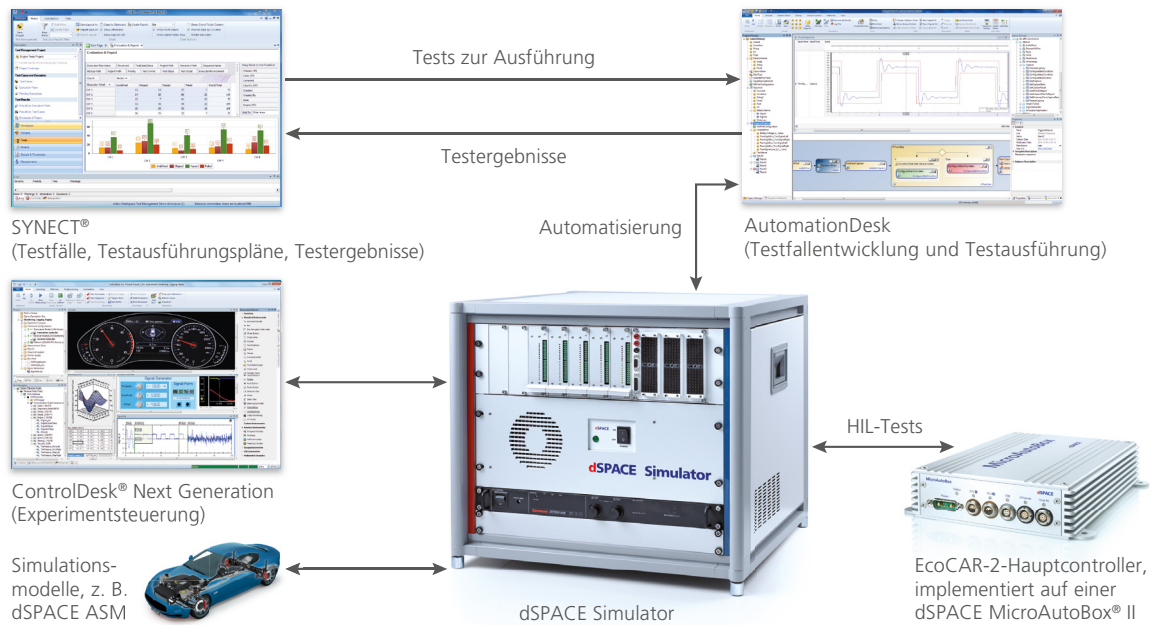


Abbildung 4: dSPACE Werkzeugkette mit SYNECT als zentraler Datenmanagement-Software.

- **Fall 2:** Validierung der Verbrennungsmotorsteuerung mit dSPACE ASM (Automotive Simulation Models) als Simulationsmodell und einem Entwicklungssteuergerät.
- **Fall 3:** Validierung der Getriebesteuerung mit dSPACE ASM als Simulationsmodell und 128-Pin Woodward MotoTron als Controller.
- **Fall 4:** Validierung der CAN-Kommunikation des gesamten vom OSU-Team realisierten Controller-Netztes.

„Anfangs wurden die Tests von unserem Team manuell durchgeführt, doch es wurde sehr schnell klar, dass hier ‚mehr‘ nötig war, um die Sicherheit des Steuerungs-

codes zu erreichen“, berichtet Amanda Hyde, damalige Leiterin des EcoCAR-2-Fehlerdiagnose-Teams.

„Es mussten umfangreiche, automatisierte Regressionstests für jede neu erstellte Code-Version durchlaufen werden, unter Berücksichtigung der vollen Controller-Funktionalität. Zur Lösung wurde eine leistungsstarke Werkzeugkette mit dSPACE SYNECT®, dSPACE AutomationDesk sowie dem dSPACE Simulator aufgebaut. Durch die Automatisierung entstand dem OSU-Team ein entscheidender Zeitvorteil für die Tests im Fahrzeug. Insgesamt wurden 74 % der HIL-Tests automatisiert.“

#### AutomationDesk – Test Authoring und Automatisierung

Die grafische Programmierung der Testroutinen und die Erstellung der Testskripte wurden in AutomationDesk durchgeführt. Mit der integrierten Debugging-Funktion und der Möglichkeit, Breakpoints zu setzen und Tests schrittweise zu untersuchen, wurde sichergestellt, dass Fehler schnell gefunden wurden, was in zuverlässigen Testsequenzen resultierte. Insgesamt nutzte das Team 76 automatisierte Tests, die aufgrund von geschickter Testgruppierung und Parametrierung durch nur 16 Test-Skripte abgedeckt werden konnten.

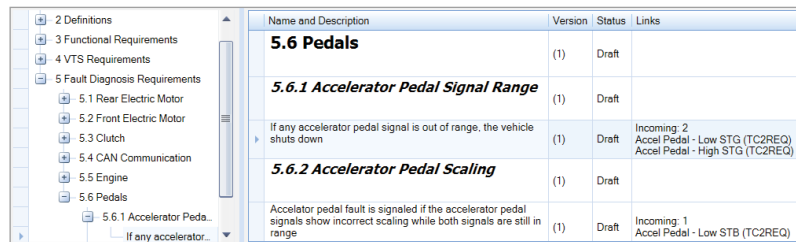


„dSPACE SYNECT war eine großartige Hilfe für unsere Regressionstests im dritten Jahr des Wettbewerbs. Wir konnten uns so mehr auf die Tests im Fahrzeug und auf die übergreifenden Optimierungen am Fahrzeug konzentrieren, während SYNECT ein zentrales Tool für die Verwaltung unserer Entwicklungsdaten und der Testläufe war.“

Amanda Hyde, damalige Leiterin des OSU-EcoCAR-2-Fehlerdiagnose-Teams

## SYNECT – Souveränes Datenmanagement beim automatisierten Testen

SYNECT, die Datenmanagement-Software von dSPACE, spielte eine zentrale Rolle für das automatisierte Testen. Zunächst lud das OSU-Team die Liste der Anforderungen aus dem Anforderungsdokument („Control Requirements and Validation Document“) in SYNECT. Zur Definition der Tests importierten die Studenten parametrisierte Skripte aus AutomationDesk. Die definierten Testfälle, verknüpft mit den Anforderungen für optimale Nachverfolgbarkeit, konnten in SYNECT komfortabel über die Testausführungspläne abgearbeitet werden. So ließ sich der Erfolg der Tests im Verlauf des Testzeitraums mit entsprechend konfigurierten Testberichten leicht verfolgen. Änderungen der Anforderungen und der zugehörigen Testfälle und AutomationDesk-



Name and Description	Version	Status	Links
<b>5.6 Pedals</b>	(1)	Draft	
<b>5.6.1 Accelerator Pedal Signal Range</b>	(1)	Draft	
If any accelerator pedal signal is out of range, the vehicle shuts down	(1)	Draft	Incoming: 2 Accel Pedal - Low STG (TC2REQ) Accel Pedal - High STG (TC2REQ)
<b>5.6.2 Accelerator Pedal Scaling</b>	(1)	Draft	
Accelerator pedal fault is signaled if the accelerator pedal signals show incorrect scaling while both signals are still in range	(1)	Draft	Incoming: 1 Accel Pedal - Low STB (TC2REQ)

Abbildung 5: Anforderungsliste in SYNECT mit verknüpften Testfällen.

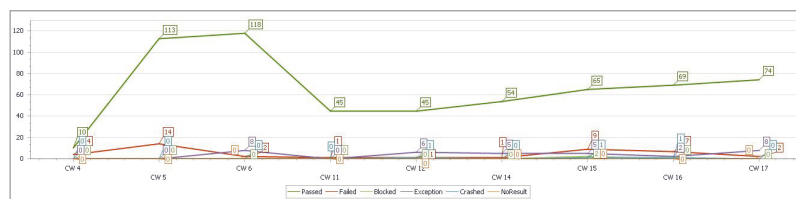


Abbildung 6: Anschauliche Verfolgung des Testfortschritts in SYNECT.

Automatisierungsskripte ließen sich in SYNECT jederzeit mit wenigen Klicks aktualisieren. ■

Mit freundlicher Genehmigung des EcoCAR-2-Teams der Ohio State University.

## Ausblick und Fazit

„Durch die von Beginn an hoch gesteckten Ziele und die beachtliche Komplexität des Plug-in-Hybrids konnte unser Team den erzielten Erfolg nur mit Hilfe eines besonders effizienten Entwicklungsprozesses und mit professionellen Werkzeugen erreichen“, fasst Matthew Yard, damaliger Leiter des OSU-EcoCAR-2-Teams, das Projekt zusammen. Die knappen Zeitressourcen mussten optimal verteilt werden, was dem Team eindrucksvoll gelang. Dabei arbeiteten sich die Studenten schnell in Entwicklungsprozess und Werkzeuge ein und beherrschten die dSPACE Werkzeugkombination aus dSPACE Simulator, MicroAutoBox II, SYNECT, AutomationDesk und ControlDesk Next Generation schon nach kurzer Zeit souverän. Mittler-



Abbildung 7: Strahlende Sieger – der erste Platz für das Plug-in-Hybrid-Konzept des EcoCAR-2-Teams der Ohio State University.

weile ist bereits der Wettbewerb EcoCAR 3 in vollem Gange, dessen Anforderungen nochmals erhöht wurden. In einem nun vierjährigen Prozess soll ein 2016er Chevrolet Camaro optimiert werden, zusätzlich zu den Anforderungen von EcoCAR 2 auch im Hinblick auf weitere Krite-

rien wie Kosten und Innovationsgrad. Das mittlerweile neu aufgestellte OSU-Team gewann bereits das erste Jahr dieses neuen Wettbewerbs. dSPACE gratuliert dem Team der Ohio State University zur beeindruckenden Leistung und wünscht weiterhin viel Erfolg!

Die neue Reglerfunktion ist in Simulink fertiggestellt – jetzt soll sie einfach(er) und schnell(er) im Gesamtkontext der vorhandenen Steuergeräte-Software getestet werden. Hierfür bietet die dSPACE Virtual-Bypassing-Werkzeugkette eine hocheffiziente Lösung.

Für die Weiterentwicklung von Regelalgorithmen ist die modellbasierte Vorgehensweise auf Basis von MATLAB®/ Simulink® weltweit etabliert. Nachdem die ersten Funktionsentwürfe fertig sind, müssen sie im realistischen Zusammenspiel mit anderen Software-Komponenten oder sogar einer vollständigen Steuergeräte-Software getestet werden. Bisher mussten Funktionsentwickler hierfür warten, bis Prototypen eines passenden Seriensteuergerätes verfügbar waren. Diese sind jedoch erst später im Entwicklungsprozess in hinreichender Anzahl vorhanden.

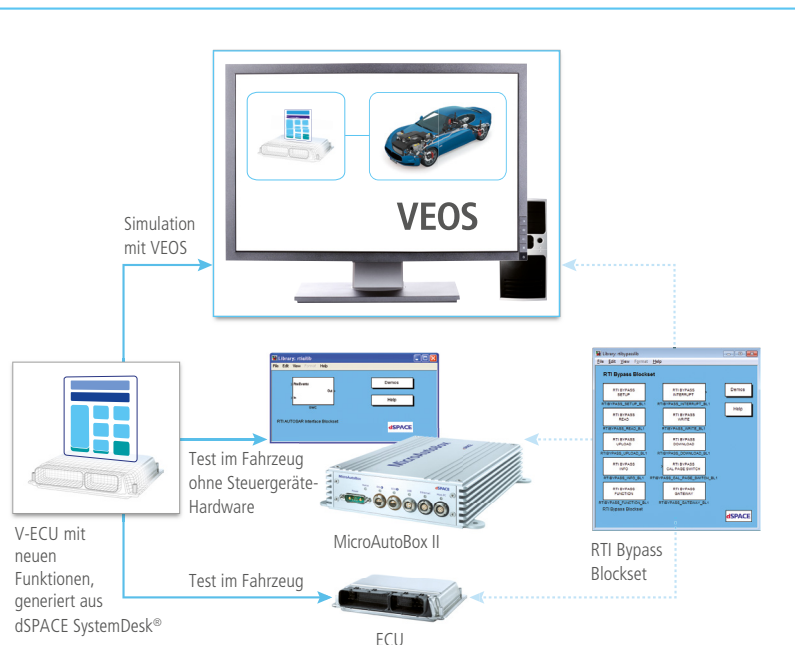
Aber je später die Tests beginnen, desto weniger Zeit bleibt den Entwicklern für Integration, Fehlersuche, Korrektur und Optimierungen. Dies erhöht den Projektdruck, denn die Termine für neue Serien sind generell eng gesetzt und die Erwartungen von Unternehmensleitung und Kunden sind hoch.

#### Testvorverlagerung mit virtuellem Bypassing

Der Ansatz: Werden neue Funktionen mit virtuellem Bypassing in eine bestehende Steuergeräte-Software bzw. in ein virtuelles Steuergerät (V-ECU) eingebunden und in dessen Kontext auf dem PC

des Funktionsentwicklers simuliert, können Funktionstests weitaus früher beginnen. So kann der Entwickler viel früher – unabhängig von verfügbarer Steuergeräte-Hardware oder Zugriff auf die physikalische Regelstrecke – prüfen, ob seine Änderungen das gewünschte Ergebnis erzielen. Virtuelles Bypassing ermöglicht dabei ein schnelles und unkompliziertes Einbinden neuer Funktionen in eine bestehende Steuergeräte-Software, da die neue Funktion durch einfaches Auswählen eingesetzt wird, ohne dass eine Änderung des Steuergeräte-Source-Codes notwendig ist. Daher muss die Steuergeräte-Software auch nicht neu kompiliert werden, was lange Build-Zeiten erspart und somit wesentlich mehr Entwicklungsiterationen in derselben Zeit ermöglicht.

Abbildung 1: Mit dem RTI Bypass Blockset können neu entwickelte Steuergeräte-Funktionen auf verschiedenen Plattformen wie VEOS, MicroAutoBox II oder dem Steuergeräte-Prototyp genutzt werden.



#### Virtual-Bypassing-Werkzeugkette

Möglich wird das virtuelle Bypassing durch das dSPACE RTI Bypass Blockset, dasselbe Werkzeug, das bisher schon für externes Bypassing und On-Target Prototyping genutzt wurde, und durch VEOS®, die PC-basierte Simulationsplattform von dSPACE. VEOS erlaubt die Simulation ganzer virtueller ECUs auf dem PC im Zusammenspiel mit komplexen Streckenmodellen wie den dSPACE Automotive Simulation Models (ASM). Eine V-ECU kann dabei von einem Software-Integrationsexperten bereitgestellt werden. Funktionsentwickler müssen ihre Simulink-Funktionen

&gt;&gt;





Frühere Testergebnisse  
durch virtuelles Bypassing

Funktionsentwicklung  
**weitergedacht**

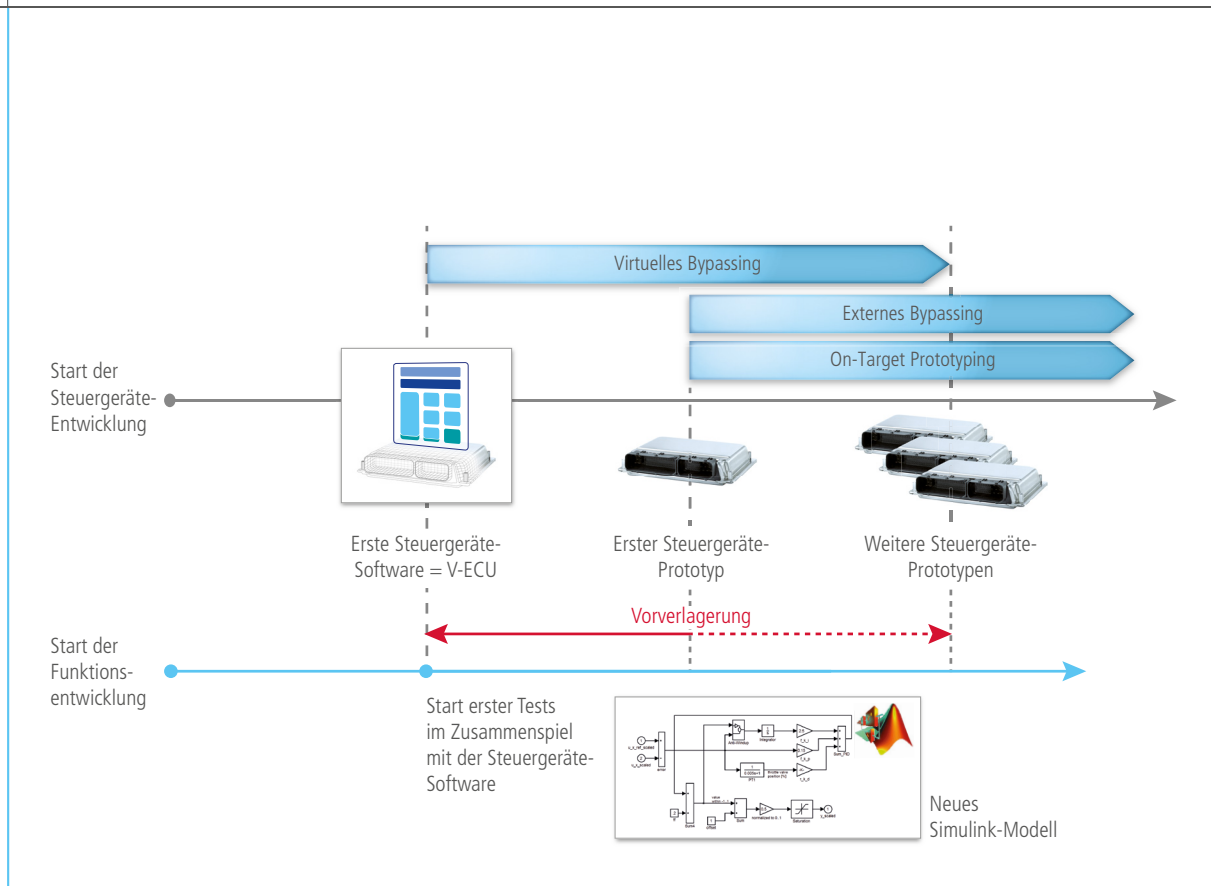


Abbildung 2: Die Nutzung virtueller Steuergeräte ermöglicht einen früheren Start der Funktionstests und führt somit schneller zu einer höheren Software-Qualität.

nur noch im RTI Bypass Blockset mit den Funktionen der Steuergeräte-Software verbinden, ganz ohne spezielle Software-Kenntnisse oder spezielles Integrationswissen. So können sie sich auf die Implementierung und Optimierung ihrer Funktion und auf den Test mit anderen Software-Komponenten konzentrieren. Zudem können mehrere Entwickler dieselbe V-ECU für die Arbeit an völlig verschiedenen Reglerkomponenten nutzen, ohne dass eine Neugenerierung notwendig ist (Abbildung 2). Damit vermeidet virtuelles Bypassing unnötigen Aufwand.

#### Mehr Iterationen schneller validieren

Das RTI Bypass Blockset erlaubt nicht nur die Einbindung neuer Funktionen in die V-ECU ohne neuen Software-Build, sondern ermöglicht sogar den Austausch der Reglermodelle während der laufenden Simulation. So lassen sich ohne Neustart der Simulation

und damit ohne Zeitverlust mehrere Varianten eines Reglers ausprobieren und miteinander vergleichen. Dass VEOS schneller als Echtzeit simulieren kann, erhöht dabei zusätzlich die Effizienz dieses Ansatzes. Daneben besteht der Vorteil der virtuellen Bypass-Methodik darin, dass Tests zu einem Zeitpunkt möglich sind, zu dem noch kein Hardware-Prototyp vorliegt. Die Tests können also früher starten. Durch diese Vorverlagerung verzerrt sich der meist enge Zeitplan für Entwicklung und Test. Projektrisiken werden durch eine Vorverlagerung entschärft.

#### Offline wie online nutzbar

Sobald das reale Steuergerät verfügbar ist, kann mit den Echtzeittests im Zusammenspiel mit der physikalischen Regelstrecke, im Labor oder im Fahrzeug begonnen werden. Der Anwender wechselt vom virtuellen zum sogenannten externen oder internen Bypassing. Hierzu wird

die neue Reglerfunktion in die finale Steuergeräte-Software auf der echten Steuergeräte-Hardware eingeklinkt. Der Übergang erfolgt nahtlos, ebenfalls mit dem dSPACE RTI Bypass Blockset, so dass kein zusätzlicher Einarbeitungsaufwand notwendig ist. Direkt im Blockset wählt der Anwender einfach eine andere Ausführungsplattform – beispielsweise ein Steuergerät anstelle der V-ECU (Abbildung 1). Mess- und Kalibrierdaten sowie Experimentierlayouts lassen sich dabei mit ControlDesk® Next Generation plattformübergreifend nutzen.

#### Echtzeittests auch ohne Steuergerät

Sollen die Echtzeittests mit dem Fahrzeug bereits beginnen, obwohl noch kein Steuergeräte-Prototyp verfügbar ist, ersetzt das Prototyping-System dSPACE MicroAutoBox II das Steuergerät. Mit dem RTI AUTOSAR Blockset wird die V-ECU auf die MicroAutoBox gebracht

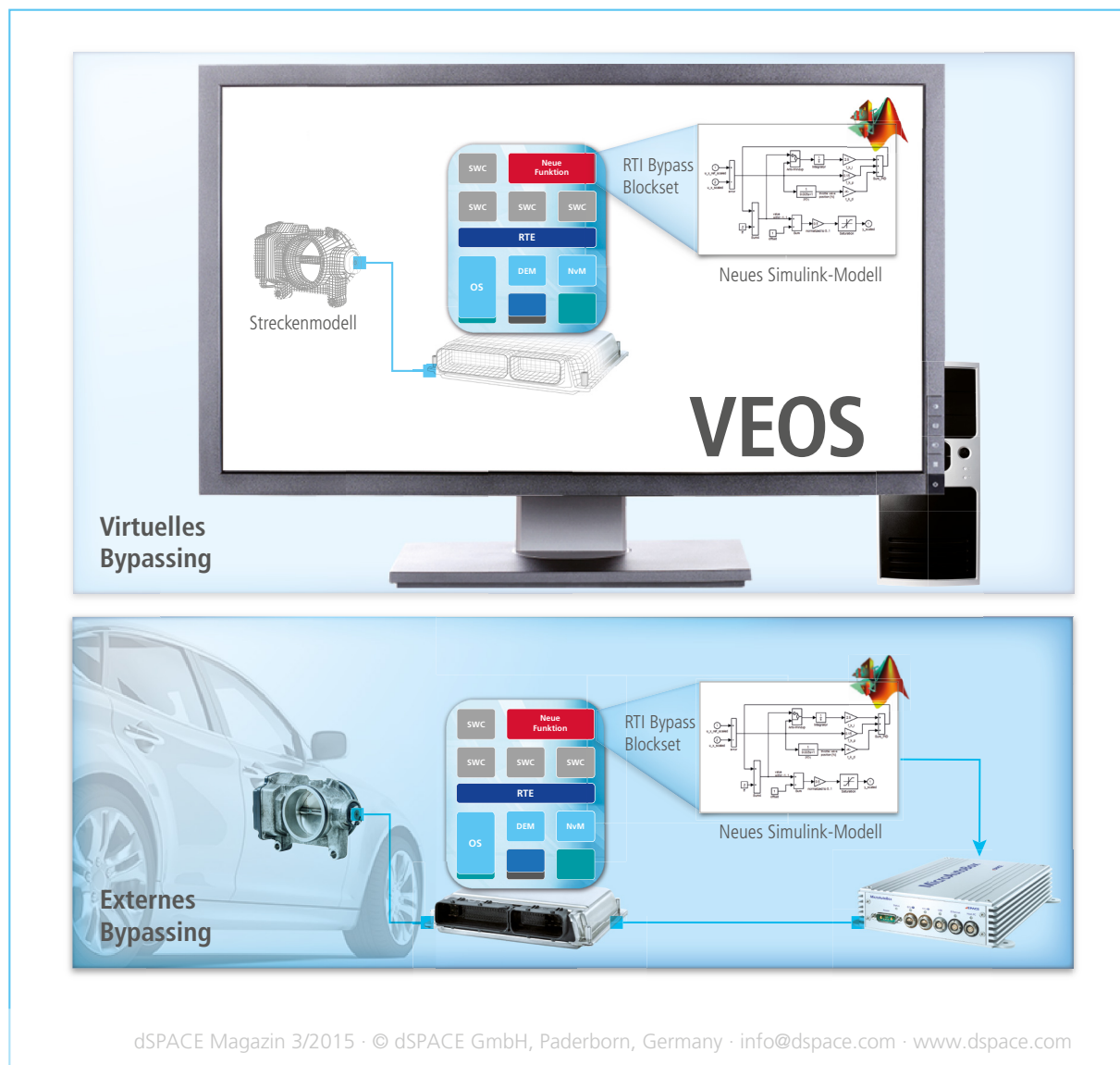
und im Fahrzeug genutzt. Um die Funktionen der V-ECU zu erweitern, kommt virtuelles Bypassing zum Einsatz. Auch hier kann das Simulink-Modell einer neuen Funktion inklusive der Bypass-Blöcke komplett unverändert bleiben, was einen nahtlosen Übergang von VEOS erlaubt. ■

## Fazit

Durch virtuelles Bypassing können Funktionstests in die PC-basierte Simulation mit VEOS vorverlagert und deutlich früher gestartet werden. Es erlaubt mehr und schnellere Entwicklungsiterationen, und das ganz ohne Steuergeräte und physikalische Regelstrecken.

Dabei bietet das RTI Bypass Blockset den nahtlosen Übergang zwischen den verschiedenen dSPACE Entwicklungsplattformen und ermöglicht so einen durchgängigen, hocheffizienten Entwicklungsprozess mit minimaler Einarbeitungszeit.

Abbildung 3: Das dSPACE RTI Bypass Blockset ermöglicht einen nahtlosen Übergang vom virtuellen Bypassing mit VEOS zum externen Bypassing mit der MicroAutoBox II und dem Seriensteuergerät.



AutomationDesk ist ein leistungsstarkes Werkzeug für Test Authoring und Testautomatisierung. Es kommt zum Testen elektronischer Steuergeräte zum Einsatz und erlaubt die grafische Definition von Testabläufen. Jetzt wird AutomationDesk noch leistungsfähiger. Eine neuartige, signalbasierte Testbeschreibung ermöglicht die schnelle und übersichtliche Testerstellung und -durchführung in Echtzeit.

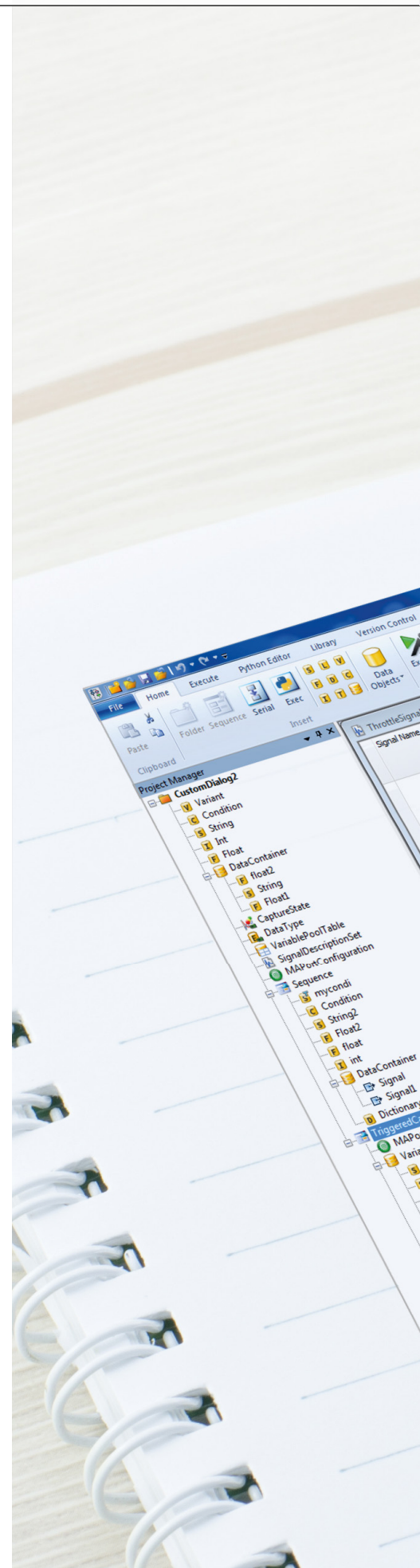
**B**lockbasiertes Testen, also das Testen durch Zusammenstellung grafischer Funktionsblöcke, ist durch AutomationDesk bereits lange etabliert und in tausenden von Projekten erfolgreich im Einsatz.

Trotzdem gibt es Testszenarien, die besser anhand von Signalverläufen beschrieben werden können. Dies sind vor allem

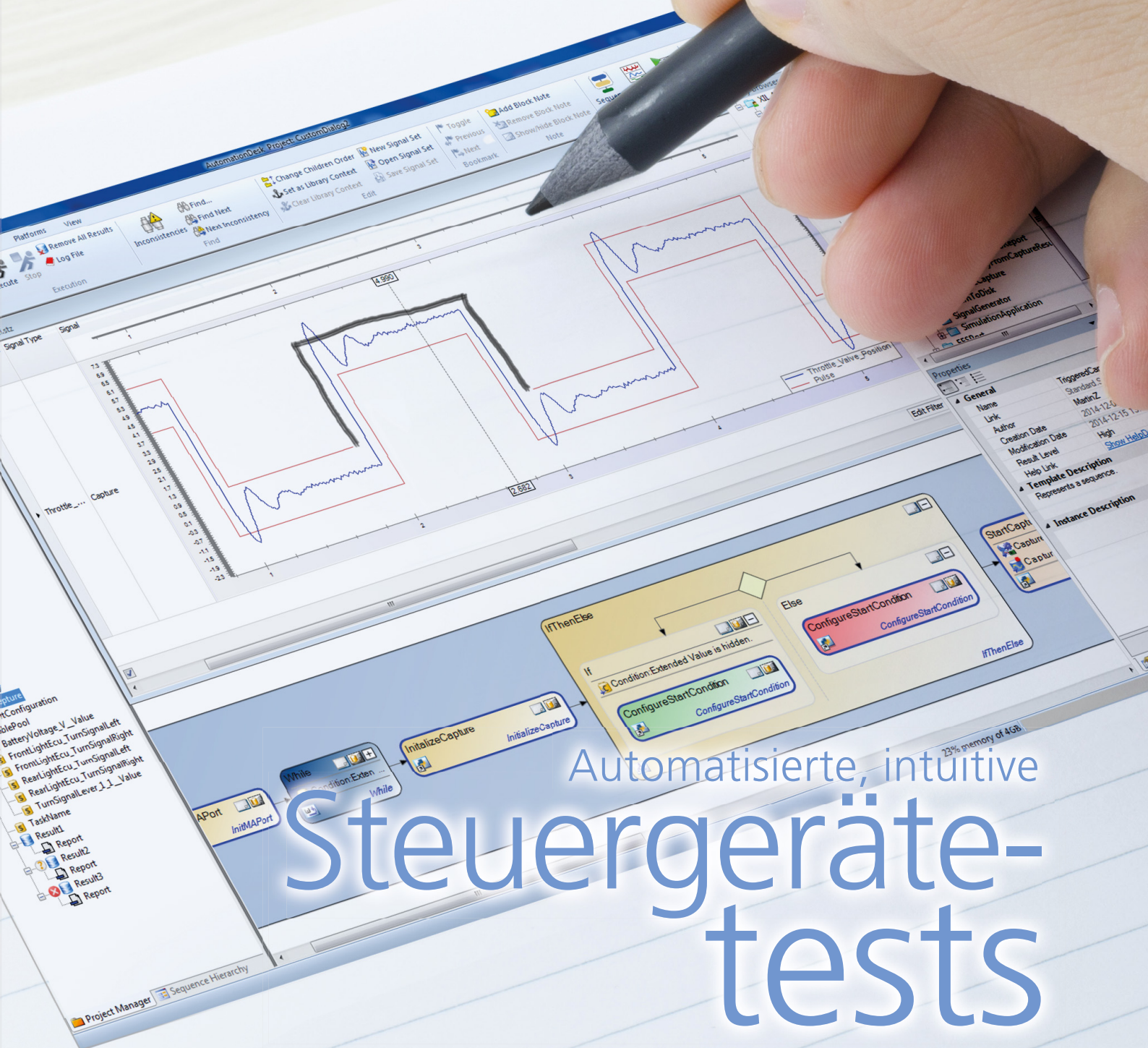
- Testbeschreibungen, in denen Signalverläufe als Referenz zur Evaluierung von Messgrößen dienen.
- Tests, in denen Stimuli in Echtzeit eingespielt oder Bedingungen in Echtzeit ausgewertet werden müssen.

Hier kommen signalbasierte Tests zum Einsatz. Diese bieten eine neu-

artige Testbeschreibung, die so einfach und intuitiv wie auf einem Blatt Papier zu erstellen ist. Mit signalbasierten Tests können Stimuli- und Referenzsignale für Simulationsgrößen in einem Editor, ähnlich einem Plotter, intuitiv beschrieben werden. Die Dokumentation der durchgeführten Tests enthält einen Report mit aussagekräftigen Plots und Parameterinformationen. Vorteil dieser neuen Methode ist die größere Transparenz. Der Anwender kann die Testspezifikation in einem Editor vornehmen. Die Reports sehen den Testspezifikationen sehr ähnlich, darüber hinaus sind die Referenz- und Signalverläufe exakter sichtbar. Man sieht auf einen Blick, welche Prüfkriterien angelegt wurden und wie das Ergebnis ausfällt. Das signalbasierte Testen ist also sehr intuitiv. >>



Testbeschreibungen so einfach erstellen  
wie Skizzen auf einem Blatt Papier –  
AutomationDesk 5.0 macht's möglich



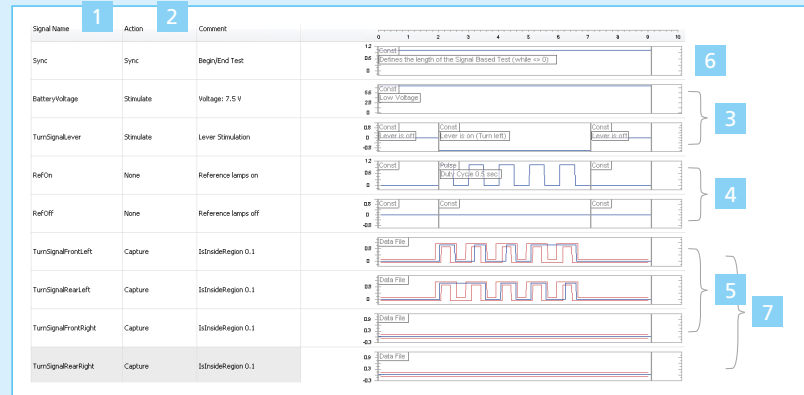
Automatisierte, intuitive

# Steuergeräte- tests



Abbildung 1 (links): In diesem Beispiel wird der Verlauf des Blinkersignals nach Betätigung des Blinkerhebels und bei niedriger Bordspannung (7,5 V) signalbasiert getestet.

Abbildung 2 (unten): Stimuli- und Referenzsignale für Simulationsgrößen werden in einem Editor, ähnlich einem Plotter, intuitiv beschrieben. Ergebnisse aus der Simulation werden direkt in der grafischen Testbeschreibung eingebildet.



>> **Signalbasierte Tests erstellen**

Signalbasiertes Testen mit AutomationDesk verläuft typischerweise in sieben Schritten:

- 1 Variablen zuordnen:  
Welche Variablen des Simulationsmodells sind welchem Signalverlauf im Test zugeordnet?
- 2 Aktionen festlegen:  
Welches Signal dient als Stimulation, Messung oder Referenz?
- 3 Stimulationssignale definieren:  
Aus welchen Segmenten soll ein Stimulationssignal bestehen, zum Beispiel Sprung, Rampe oder Sinus?
- 4 Referenzsignale definieren:  
Aus welchen Segmenten soll ein Referenzsignal bestehen, zum Beispiel Sprung, Rampe oder Sinus? Hier werden die gleichen Beschreibungssegmente wie in der Stimulation genutzt.
- 5 Evaluierungsmethode bezüglich der Referenzsignale definieren:  
In welchem Rahmen (Toleranz) dürfen sich die erfassten Werte bewegen, damit der Test als bestanden gilt?
- 6 Dauer des Tests festlegen:  
Wie lange soll der Test maximal laufen?
- 7 Testausführung und Auswertung:  
Liegen die Signalverläufe tatsächlich im Rahmen der festgelegten Toleranz?

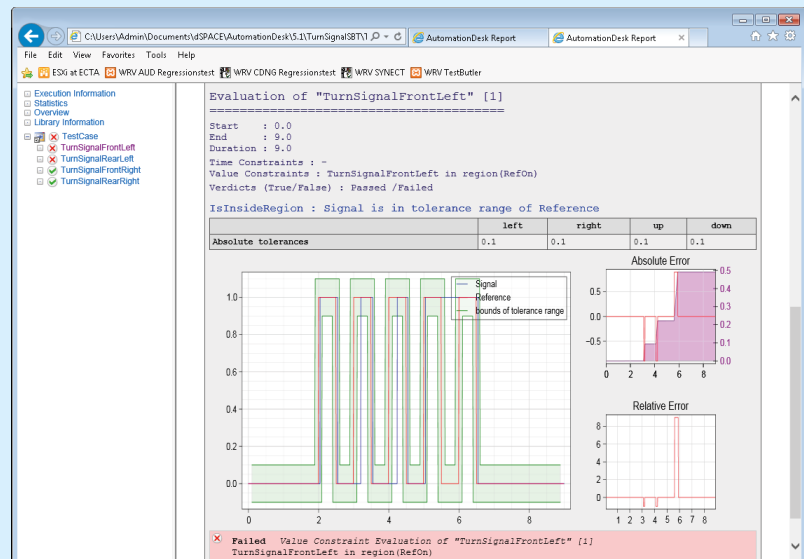


Abbildung 3: Wie erwartet, entspricht das Blinkersignal bei niedriger Bordspannung nicht den Vorgaben; damit gilt der Test als „Failed“. Die Darstellung von Toleranzband und Ergebnisverlauf zusammen mit Fehlerkurven bietet eine größtmögliche Transparenz.

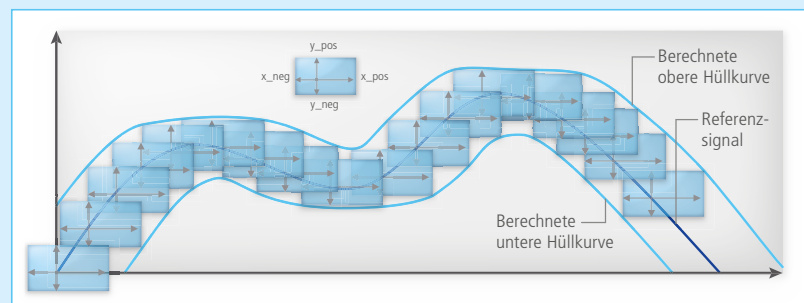


Abbildung 4: Durch die Definition von Toleranzwerten wird um jeden Punkt des Referenzsignals ein zulässiger rechteckig parametrierbarer Bereich für das Messsignal definiert. Verbindet man die Ecken aller möglichen Rechtecke, erhält man die obere und untere Hüllkurve des zulässigen Signalverlaufs.

## Wie auf einem Blatt Papier

Alle Signalverläufe werden bei signalbasiertem Testen in einem sehr intuitiven Editor grafisch angelegt und verändert. Die Testausführung selbst erfolgt wie üblich in AutomationDesk – mit den bewährten Mechanismen, die auch bei blockbasiertem Testen zur Verfügung stehen.

Besonders nützlich ist die Möglichkeit, Evaluierungsgrenzen mittels Referenzsignal und Toleranzwerten für die Signalamplitude und die Zeit zu definieren. Hieraus ergibt sich ein Evaluierungskriterium in Form einer Hüllkurve, in der sich das Messsignal befinden muss.

Toleranzwerte können sowohl absolut als auch relativ in Abhängigkeit eines Variablenwerts angegeben werden. Dadurch können sich Hüllkurven – abhängig von Signalverläufen – erweitern oder verengen.

## XIL-API-konform

Testbeschreibungen beim signalbasierten Testen mit AutomationDesk sind XIL-API-konform und bieten daher einen standardisierten Zugriff auf die Simulationsplattform. Das bedeutet, die Tests sind auf jeder XIL-API-konformen Hardware ausführbar. Die Testbeschreibung ist also plattformunabhängig und somit auch bei anderen Simulationsumgebungen wiederverwendbar. Auch die Beschreibungsmittel wie

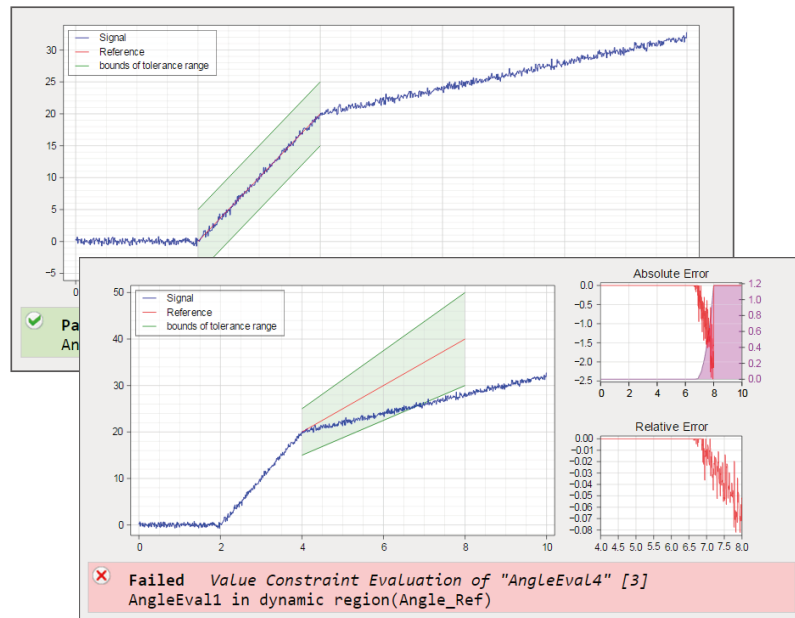


Abbildung 5: In den verschiedenen Segmenten kann es unterschiedliche Evaluierungsregeln geben, hier zum Beispiel ein absoluter Toleranzwert von 2-4 Sekunden und ein relativer, errechneter Toleranzwert von 4-8 Sekunden.

Segmente, Signale und Conditions für die signalbasierten Tests basieren auf ASAM XIL. AutomationDesk-Kunden können also ihre erarbeiteten ASAM-XIL-Kenntnisse und -Prinzipien zur Definition von Stimuli bei der Definition der Referenzsignale einbringen und somit wertvolles Know-how nutzen.

## Segmentbasiert Testen

Signalbasierte Tests können in einzelne Segmente aufgeteilt werden. Segmentierung erlaubt eine geziel-

tere Anwendung von Prüfkriterien. Neben der einfachen und schnellen Evaluierungsbeschreibung für ein gesamtes Signal ist auch die abschnittsweise Beschreibung von Gütefunktionen (durch Segmente) möglich, die zum Beispiel Anfang (Startup) und Ende (Shutdown) eines Signals von der Evaluierung ausnimmt. ■



„Die AutomationDesk-Bibliothek für signalbasiertes Testen macht das Definieren unserer Testfälle gleichzeitig leichter und präziser. Zudem erhalten wir aussagekräftige Testberichte. Signalbasiertes Testen garantiert, dass die Messdaten innerhalb von 10 Millisekunden auf ein Stimulussignal reagieren. Durch diese Methode erreichen wir eins unserer Hauptziele: so viele Signale wie möglich gleichzeitig zu prüfen.“

Dr. Yoon Kwon Hwang,  
Chefingenieur, Advanced Test & Development Team, Hyundai MOBIS, Südkorea



# Alles auf dem Schirm

Modellbasierte Entwicklung  
von V2X-Anwendungen

Die Markteinführung der V2X-Technologie eröffnet vielfältige Möglichkeiten für mehr Sicherheit, Komfort, Zeit- und Kraftstoffeinsparung im Straßenverkehr. Um die entsprechenden Anwendungen effizient entwickeln und testen zu können, bietet dSPACE eine maßgeschneiderte Lösung.





Heutige Fahrerassistenzsysteme nutzen Umfoldsensoren wie Radar und Kamera, um die Fahrzeugumgebung zu erfassen. Ist diesen Systemen jedoch der Blick versperrt, beispielsweise durch andere Fahrzeuge oder dichte Bebauung an einer schwer einsehbaren Kreuzung, bleiben die Informationen über die Umgebung lückenhaft (Abbildung 1). Diese Einschränkung könnte mit Einführung der V2X-Technologie aber bald der Vergangenheit angehören. Das „X“ steht für andere Objekte in der Umgebung, also nicht nur für andere Fahrzeuge, sondern auch für Teile der Infrastruktur wie Ampeln oder Straßenschilder. Die V2X-Technologie, oft auch als C2X oder Car2X bezeichnet, erlaubt den Informationsaustausch zwischen all diesen Objekten über den auf WLAN basierenden Ad-hoc-Netzwerkstandard ITS-G5 (IEEE 802.11p). Die ausgetauschten Datenpakete enthalten Informationen über Position, Geschwindigkeit und Fahrtrichtung sowie zu plötzlichen Ereignissen wie Staus, Baustellen oder Straßenglätte. Die Einführung der V2X-Technologie hat das Ziel, die Verkehrssicherheit und den Fahrkomfort zu erhöhen sowie den Verkehrsfluss zu optimieren. Damit ist diese Technologie ein weiterer Schritt auf dem Weg zu autonom fahrenden Fahrzeugen.

### Entscheidend: Übergreifende Strategie zur Markteinführung

Die Markteinführung der V2X-Technologie stellt für Automobilhersteller eine besondere Herausforderung dar. Denn um die oben genannten Ziele erreichen zu können, ist eine Mindestverbreitung am Markt von 10 % die Voraussetzung. Daher arbeiten Fahrzeughersteller im CAR 2 CAR Communication Consortium (C2C-CC) zusammen mit Zulieferern und Werkzeuganbietern wie dSPACE an einer gemeinsamen Strategie zur V2X-Einführung und der Definition eines europäischen Standards. Dies geschieht in enger Kooperation mit

den Standardisierungsgremien ETSI und CEN sowie in Harmonisierungsgremien zwischen EU, USA und Japan. Dabei liegt das Augenmerk nicht allein auf der drahtlosen Kommunikation, sondern auch auf Aspekten wie der Festlegung unterstützter Anwendungen, einheitlichen Erkennungskriterien für Ereignisse wie Stau, Nebel und Straßenglätte, der Definition notwendiger Datenprotokolle sowie einem umfangreichen Konzept zur Datensicherheit. Auch in den USA wird intensiv an der Einführung von V2X gearbeitet. Die dort festgelegten Standards ähneln der europäischen Lösung in vielen Bereichen. Im Gegensatz zum Vorgehen in Europa wird hier jedoch eine gesetzlich verpflichtende Vorgabe diskutiert. Mit der Markteinführung von V2X ist in Europa und den USA noch in diesem Jahrzehnt zu rechnen.

### Entwicklung von V2X-Anwendungen

Anwendungsfunktionen werden typischerweise modellbasiert entwickelt, zum Beispiel in MATLAB®/Simulink®. Der Fokus der Ingenieure liegt dabei auf der Implementierung und dem Test der eigentlichen Anwendung, weniger auf der Umsetzung spezifischer Protokolle und Standards im Modell. Das neue dSPACE V2X-Blockset für Simulink bietet genau dafür Unterstützung und den einfachen Zugang zur V2X-Welt, beginnend mit der schnellen Funktionsentwicklung (Rapid Control Prototyping) bis hin zum Testen fertiger Anwendungen (Abbildung 2). Dazu werden dedizierte Blöcke zur Verfügung gestellt, mit denen sich die V2X-Nachrichten (CAMs bzw. DENMs) vorbereiten, kodieren, übertragen, dekodieren und verwalten lassen. Dabei werden die Inhalte einer jeden Nachricht in Simulink als Signalvektor zur Verfügung gestellt. Um stets eine optimale Übersicht zu gewährleisten, sorgt ein vom Anwender konfigurierbarer Filtermechanismus dafür, dass nur die für eine Anwendung benötigten Nachrichtenin-

&gt;&gt;

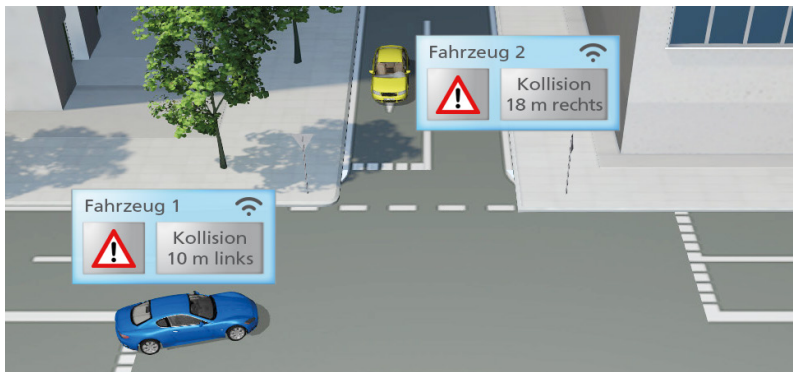


Abbildung 1: Fahrzeuge tauschen untereinander ihre Bewegungsdaten aus und berechnen damit die wahrscheinlichen Bewegungspfade. Bei Kollisionsgefahr werden die Fahrer frühzeitig gewarnt, hier am Beispiel Kreuzungsassistent.

halte im Modell bereitgestellt werden. Die Kodierungs- und Dekodierungsblöcke werden aus den vom ETSI standardisierten ASN.1-Beschreibungen automatisch generiert. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass das V2X-Blockset einfach an neue Versionen der Beschreibungsdateien angepasst werden kann. Die Ankopplung der entsprechenden Entwicklungs- und Testplattformen und des V2X-Blocksets an den Funkkanal erfolgt über einen V2X-Hardware-Adapter, zum Beispiel mit Hilfe der MK5-OBU von Cohda Wireless. Dieser wird über

Ethernet UDP/IP angeschlossen und verwendet das standardisierte Basic Transport Protocol (BTP) zur Nachrichtenvermittlung. Für die Positionsdatenerfassung kann der in der MK5-OBU integrierte GPS-Empfänger verwendet werden. Alternativ steht ein dediziertes Blockset zur Auswertung von GPS-Daten nach dem NMEA-0183-Standard zur Verfügung.

### Effiziente Nachrichtenverwaltung mit Local Dynamic Map

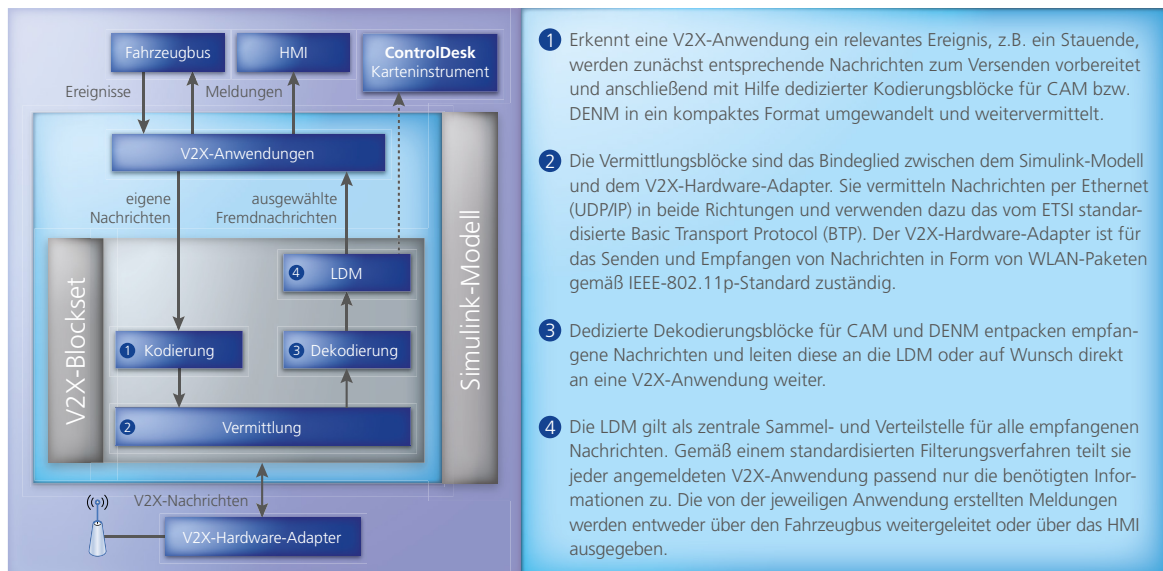
Ein zentraler Dreh- und Angelpunkt beim Empfang von V2X-Nachrichten

ist die sogenannte Local Dynamic Map (LDM). Sie speichert, verwaltet und verteilt alle relevanten Informationen zur lokalen Verkehrslage wie Fahrzeugpositionen, Geschwindigkeiten, Ampelstatus, Wetterinformationen, Straßenglätte etc. und wird ständig aktualisiert. Die V2X-Anwendungen registrieren sich zunächst bei der LDM für den Empfang ausgewählter Nachrichteninhalte, beispielsweise aller DENMs mit Warnungen vor verunglückten Fahrzeugen. Die LDM sorgt dann automatisch für Zuteilung relevanter Informationen an die Anwendungen. Sind Nachrichten veraltet oder beziehen sie sich auf zu weit entfernte Objekte, so werden sie automatisch entfernt.

### Highlight: Karteninstrument in ControlDesk

Zu den gewohnten ControlDesk-Funktionen, die den Anwendungs- und Testentwicklern bei der Manipulation von Nachrichteninhalten, Aufzeichnung von Daten etc. unterstützen, kommt mit der V2X Solution ein speziell entwickeltes Karteninstrument hinzu. Es wird von der LDM mit Informationen versorgt und

Abbildung 2: dSPACE V2X-Blockset zum Entwickeln und Testen von V2X-Anwendungen.



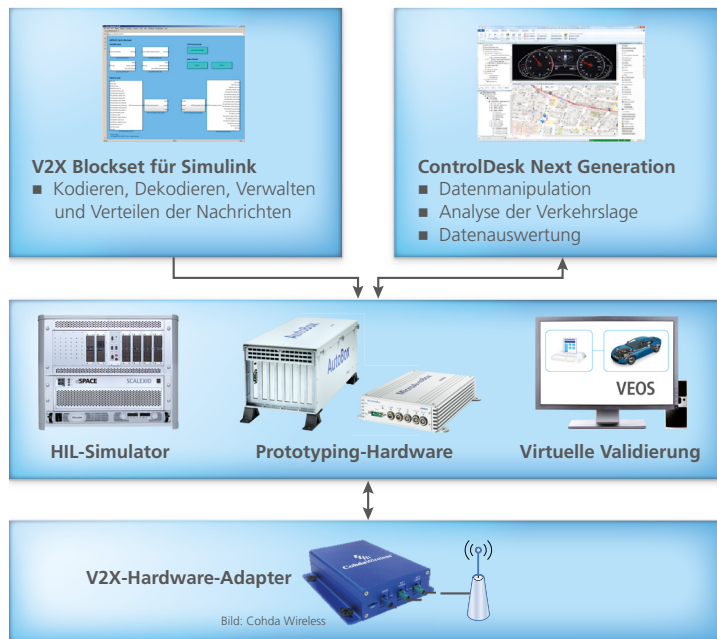


Abbildung 3: Entwicklungs- und Testumgebung für V2X-Anwendungen.

## Zusammenfassung und Ausblick

Mit der neuen V2X Solution begegnet dSPACE den aktuellen Anforderungen, welche die V2X-Technologie an Entwicklungs- und Testsysteme stellt. Die Lösung ist nahtlos in bestehende Werkzeugketten integrierbar und bietet weitreichende Unterstützung von der Implementierung einer V2X-Anwendung bis hin zum Test (Abbildung 3). Zusätzlich ist die Bereitstellung eines Testkatalogs mit einer Auswahl der im C2C-CC spezifizierten Tests geplant.

zeigt auf einer Umgebungskarte zum Beispiel die aktuellen Teilnehmer eines V2X-Netzwerks und deren

Bewegung an. Es bildet auf den ersten Blick das ab, was auch die V2X-Applikation sehen kann. Mit dem in-

tuitiv bedienbaren Karteninstrument wird die Datenanalyse erheblich vereinfacht. ■

## Glossar

Ad-hoc-Netz	Drahtloses Kommunikationsnetz, das sich spontan aufbaut und selbständig konfiguriert.
ASN.1	Abstract Syntax Notation One. Beschreibungssprache zur Definition von Datenstrukturen.
BTP	Basic Transport Protocol. Datentransport-Protokoll für den Einsatz in intelligenten Verkehrssystemen.
C2C-CC	CAR 2 CAR Communication Consortium. Konsortium aus Automobilherstellern, Zulieferern, Werkzeuganbietern und Forschungseinrichtungen mit dem Ziel, die Sicherheit und Effizienz im Straßenverkehr durch den Einsatz von kooperativen und intelligenten Systemen auf Basis von V2X zu erhöhen.
C2X bzw. Car2X	Car-to-X. Synonym für die Ad-hoc-Kommunikation in einem Verkehrssystem. Das „X“ steht sowohl für andere Fahrzeuge als auch für Teile der Infrastruktur wie Ampeln oder Straßenschilder (vgl. V2X).
CAM	Cooperative Awareness Message. Nachricht über Position, Geschwindigkeit, Typbezeichnung, Status etc., die jeder Teilnehmer des V2X-Netzwerks regelmäßig sendet.
CEN	Comité Européen de Normalisation. Europäisches Komitee für Normung in allen technischen Bereichen außer Elektrotechnik und Telekommunikation (vgl. ETSI).
DENM	Decentralized Environmental Notification Message. Nachricht zum spezifischen Ereignis, zum Beispiel Unfall, Gefahrenstelle etc.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute. Europäisches Institut für Telekommunikationsnormen.
HMI	Human Machine Interface. Mensch-Maschine-Schnittstelle.
IEEE 802.11p	Standard für die Etablierung der WLAN-Technik in Fahrzeug-Ad-hoc-Netzen. In Europa auch als ITS-G5 bekannt.
LDM	Local Dynamic Map. Datenbank zur Verwaltung aktueller verkehrsrelevanter Informationen aus der unmittelbaren Fahrzeugumgebung.
NMEA 0183	Ein von der National Marine Electronics Association definierter Standard, der auch für die Kommunikation zwischen GPS-Empfängern und PCs sowie mobilen Endgeräten genutzt wird.
OBU	Onboard Unit
V2X	Vehicle-to-X (vgl. C2X bzw. Car2X)

# AUTOSAR Central



Umstieg von AUTOSAR 3.x auf AUTOSAR 4.x

# Komfortabel umsteigen



Der AUTOSAR-Standard steht für Sicherheit, Austausch und Wiederverwendung von Software-Komponenten. Für den Umstieg von Version 3 auf Version 4 bietet dSPACE weitreichende Unterstützung.

Verglichen mit AUTOSAR 3 beinhaltet AUTOSAR 4 weit aus mehr Funktionen, zum Beispiel für den Bereich der funktionalen Sicherheit, die Unterstützung von Multicore-Anwendungen und die Möglichkeit, Timing-Anforderungen zu beschreiben. Viele Firmen wollen diese Funktionen verwenden und steigen deshalb auf die neue Version um. Andere, wie beispielsweise manche Zulieferer, bekommen die neue Version vorgegeben, wenn ihre Kunden auf AUTOSAR 4 wechseln.

#### **Weiterverwendung durch Migration**

Der AUTOSAR-Standard zeichnet sich besonders durch die Wiederverwendung von bereits erprobten >>

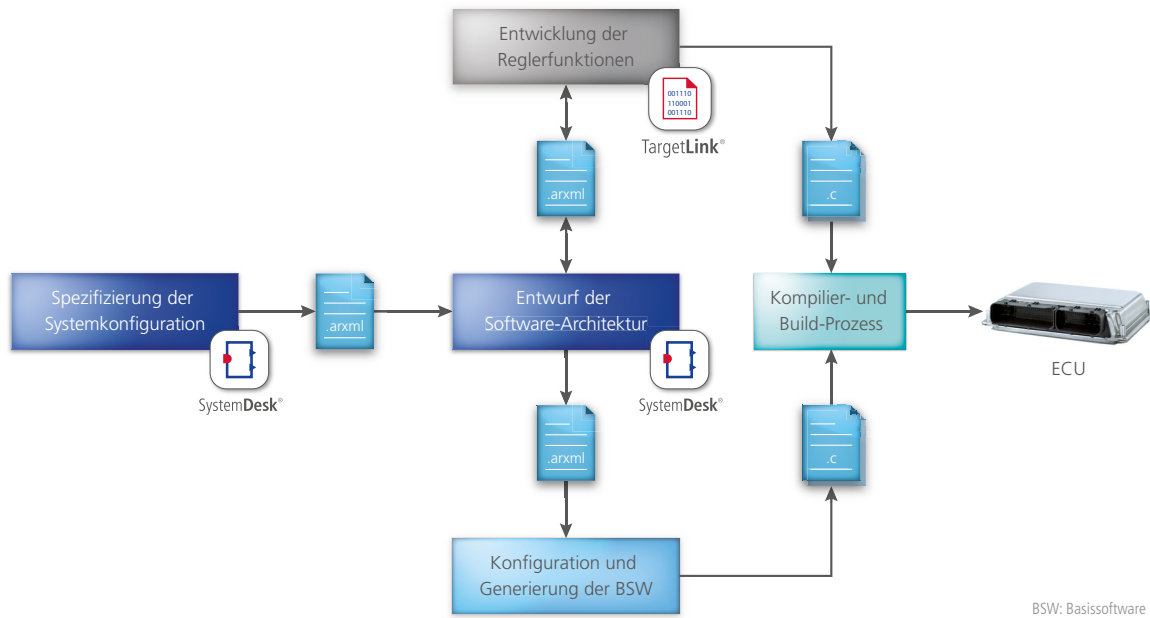


Abbildung 1: Elemente einer möglichen AUTOSAR-Werkzeugkette, die bei der Migration zu berücksichtigen sind.

Komponenten aus, so dass sich der Entwicklungsaufwand für nachfolgende Projekte reduziert. Das gleiche Ziel gilt auch für den Umstieg von Version 3 auf 4. Bestehende gemäß AUTOSAR 3 modellierte Projekte sollen möglichst automatisiert nach AUTOSAR 4 migriert

werden. Danach lassen sich die neuen Features und Funktionen von AUTOSAR 4 bei der Weiterentwicklung nutzen. Zu einer vollständigen Migration gehören mehrere Arbeitsschritte, wobei dSPACE bei Bedarf durchgehende Unterstützung bereitstellt.

**Migration des Komponenten-Codes**

Für die Migration einzelner Software-Komponenten ist TargetLink®, der Seriencode-Generator von dSPACE, gut geeignet. Bei der Generierung des Seriencodes aus den einzelnen Funktionen kann der

Tabelle 1: Für die AUTOSAR-Migration bietet dSPACE umfassende Unterstützung und Beratungsservice an.

Service (Beispiele)	Details (Beispiele)
Integration der AUTOSAR-Werkzeuge in den Entwicklungsprozess	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integration mit Basiswerkzeugen für die Software-Konfiguration</li> <li>Integration mit TargetLink und anderen Werkzeugen für die Verhaltensmodellierung</li> <li>Anpassung an projektspezifische Lösungen für die Datenverwaltung (1D- und 3D-Bewegungsplattformen, Lenkprüfstände, Aufsteckmodule für FPGA Base Board)</li> </ul>
Migration vorhandener Architekturen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Import bestehender System- und Software-Informationen aus Nicht-AUTOSAR-Formaten</li> <li>Integration von Nicht-AUTOSAR-Code</li> </ul>
AUTOSAR-Unterstützung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unterstützung bei der Einführung der AUTOSAR-kompatiblen Entwicklung von Software-Architekturen</li> </ul>
Modellanalyse und Beratung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unterstützung bei der Analyse von Modellen und Modellierungsarten für mehr Effizienz, Sicherheit und Wiederverwendbarkeit</li> <li>Unterstützung bei der Erstellung und Optimierung spezifischer Richtlinien sowie bei der Anwendung industriebewährter Standards</li> </ul>
Automatisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entwicklung projektangepasster Skripte (z.B. Mapping von Architekturelementen basierend auf Benennungskonventionen, Verbindung von Software-Komponenten basierend auf eigenen Regeln)</li> </ul>

Anwender festlegen, auf welcher AUTOSAR-Version der Code basieren soll. Da die Algorithmen für Steuerungs- und Regelungsfunktionen an sich unabhängig von bestimmten AUTOSAR-Versionen sind, ist lediglich eine Verknüpfung mit versionsspezifischen Daten notwendig. Daher müssen nur diese verknüpften Daten an die AUTOSAR-Version 4 angepasst werden. Target-Link hält sie in einem versionsunabhängigen Data Dictionary vor, so dass die Generierung von AUTOSAR-4-konformem Code durch Ändern einer globalen Einstellung möglich ist.

### Migration der Architektur

Durch den großen und komplexen Unterschied zwischen den beiden AUTOSAR-Versionen kann die Migration von vollständigen Software-Architekturen oder größeren Systemauszügen nicht auf Knopfdruck ablaufen. Zwar lassen sich einige Aspekte mittels Skripten automatisieren, dennoch sind individuelle Anpassungen an die jeweilige Situation notwendig. Mit einem Konverter lassen sich all jene AUTOSAR-3-Elemente automatisch konvertieren, die Teil des AUTOSAR-Software-Komponenten-Templates sind. Somit ist sichergestellt, dass keine Informationen verloren gehen. Der Konverter erstellt aber keine mit AUTOSAR 4 neu hinzugekommenen Elemente. Zusammen mit dem Kunden spricht dSPACE ab, wie die Architektur mit AUTOSAR 4 aussehen soll. Auf dieser Basis werden per Engineering individuelle Skripte erstellt, die über die SystemDesk-Automatisierungsschnittstelle die gewünschte Architektur erzeugen. Die Konvertierung erfolgt entweder bei dSPACE oder beim Kunden. dSPACE bietet für die Migration verschiedene dSPACE Engineering Services (Tabelle 1).

### Anpassung der Werkzeugkette

Für einen erfolgreichen Umstieg ist es zusätzlich wichtig, nicht nur

isoliert die AUTOSAR-Dateien zu betrachten, sondern die gesamte dahinterliegende Werkzeugkette. Werden die Dateien von AUTOSAR 3 nach 4 migriert, kann es notwendig sein, die verwendeten AUTOSAR-Werkzeuge ebenfalls zu aktualisieren, damit die neuen AUTOSAR-4-Dateien anschließend weiterbearbeitet werden können (Abbildung 1). Hierfür bietet dSPACE sowohl eine ausgereifte Werkzeugkette als auch individuelle Beratung und Unterstützung an, so dass die Anwender von langjähriger Projekterfahrung profitieren. In enger Zusammenarbeit mit dem Kunden wird geprüft, welche Daten migriert werden sollen, in welcher Form die Daten vorliegen und ob es sich um einzelne Software-Komponenten handelt oder um eine komplette Software-Architektur. Die Migrationslösung wird exakt an die Projektbedürfnisse angepasst. Des Weiteren führt dSPACE umfangreiche Schulungen zum Thema AUTOSAR 4 durch, um die Änderungen der neuen Version kennenzulernen.

### Validierung mit SystemDesk

Nach der Migration ermöglicht dSPACE SystemDesk® umfangreiche Validierungen. Hierzu wird entweder die komplette Software-Architektur nach SystemDesk importiert oder einzelnen Software-Komponenten, die verschaltet und zu einer Steuergeräte-Software integriert werden. Die SystemDesk-Version 4 unterstützt das komplette AUTOSAR-4-Datenmodell inklusive Multi-User-Unterstützung. Integrierte Validierungsprozesse ermöglichen ein Überprüfen des Projekts auf Konsistenz und Vollständigkeit. Des Weiteren kann SystemDesk aus einer Steuergeräte-Software virtuelle Steuergeräte erzeugen. Diese lassen sich ohne zusätzliche Hardware direkt auf dem eigenen PC mit der Simulationsplattform dSPACE VEOS simulieren und testen. ■

## Unterschiede zwischen AUTOSAR 3 und 4

Einige Aspekte von AUTOSAR 3 können nicht eindeutig AUTOSAR-4-Aspekten zugeordnet werden, so dass bei ihrer Migration manuell nachgearbeitet werden muss. Beispiele hierfür sind in AUTOSAR 4 die Application Data Types (ADT) für physikalische Informationen wie Einheit, Limits oder Skalierungen sowie die Implementation Data Types (IDT) für die Definition des Datentyps wie Integer. Über ein Data Type Mapping Set wird jedem Application Data Type für eine Software-Komponente konkret ein Implementation Data Type zugeordnet. In AUTOSAR 3 gibt es hingegen lediglich Data Types (DT), die diese beiden Informationen beinhalten. Um aus den AUTOSAR 3 Data Types für AUTOSAR 4 ADTs, IDTs und Data Type Mapping Sets zu erzeugen, gibt es vielfältige gültige Möglichkeiten. Daher kann die Zuordnung nicht automatisch erfolgen, sondern muss projektspezifisch definiert werden.



# Aktion und Analyse

Radaufhängungen effizient  
entwerfen und testen

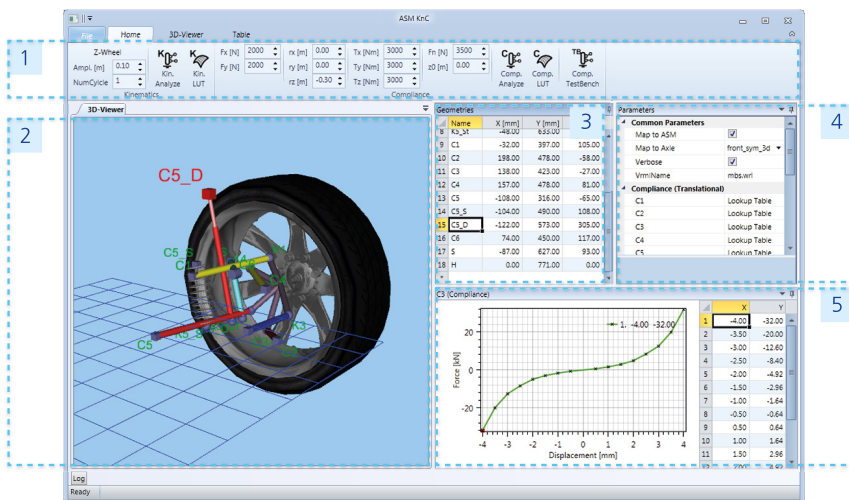
Ein virtueller Prüfstand verlagert aufwendige mechanische Achskonstruktionen und einen Großteil ihrer Erprobung von der Teststrecke auf den Schreibtisch des Entwicklers. In virtuellen Testfahrten müssen die modellierten Radaufhängungen zeigen, was sie können.

Die Automotive Simulation Models (ASM) bilden eine Tool Suite für die Echtzeitsimulation automotiver Anwendungen, beispielsweise im Bereich der Fahrdynamik. Sollen im Rahmen von Fahrdynamiksimulationen die Radaufhängungen des simulierten Fahrzeugs genauer untersucht werden, steht den Anwendern das Spezialwerkzeug ASM KnC zur Verfügung. ASM KnC (Kinematics and Compliance, deutsch: Kinematik und Nachgiebigkeit) ist ein virtueller Achsprüfstand, der den Entwurf und die Analyse von Radaufhängungen unterstützt. Anwender sind damit in der Lage, Aufhängungen für zahlreiche Fahrzeugvarianten virtuell zu erproben, zu optimieren und im Hardware-in-the-Loop (HIL)-Test wiederzuverwenden.

#### Intuitive grafische Bedienung

Die aktuelle Version 7.0 von ASM KnC wurde mit einer vollständig überarbeiteten Bedienoberfläche sowie verbesserter Nutzerführung ausgestattet. Aus Vorlagen wählt man den Typ der Aufhängung, wobei gebräuchliche Varianten wie McPherson, Doppelquerlenker-, 3-Lenker-, 4-Lenker- und Mehrlenkerachsen etc. zur Verfügung stehen. Die exakte





Die Bedienoberfläche von ASM KnC.  
 1) Prüfstandssteuerung 2) Interaktives 3D-Vorschauenfenster, 3) Definition der Achsgeometrie, 4) Konfigurationsverwaltung, 5) Definition der Lagersteifigkeit

Geometrie, die Anlenkpunkte und die Steifigkeit der Lager lassen sich komfortabel grafisch oder numerisch definieren. Als Grundlage dienen dazu beispielsweise CAD-Daten oder die Angaben aus Zulieferer-Datenblättern. Die definierte Achskonstruktion kann sofort mit einer geeigneten Radanregung auf dem Prüfstand animiert werden. Dabei lässt sich der Aufbau frei im Raum drehen und so visuell inspizieren.

siert verändern und die Auswirkung auf die gesamte Fahrdynamik überprüfen. Für definierte Fahrmanöver kann so die am besten geeignete Achskonstruktion ermittelt werden. Das reduziert den Testaufwand mit Versuchsfahrzeugen und realen Prüfständen. Damit trägt ASM KnC zur Vorverlagerung von Tests bei und beschleunigt die Fahrzeugentwicklung. ■

**Workflow und Vorteile**

Am ASM-KnC-Prüfstand kann man die kinematischen Verdrehungen und Verschiebungen des Rades unter Einwirkung der vertikalen Radauslenkung und Zahnstangenbewegung sowie die elastokinematischen Zusammenhänge unter Kraft- und Momenteneinwirkungen simulieren und untersuchen. Die definierte Konstruktion lässt sich in Form von Kennfeldern in das Simulationsmodell ASM Vehicle Dynamics übernehmen und dort in echtzeitfähigen Fahrdynamiksimulationen einsetzen. Durch die vollständige Automatisierbarkeit von ASM KnC lassen sich Parameterstudien iterativ ohne manuelle Anpassungen durchführen. Beispielsweise lässt sich per Skript ein Anlenkpunkt automati-

**Anwendungsbeispiele**

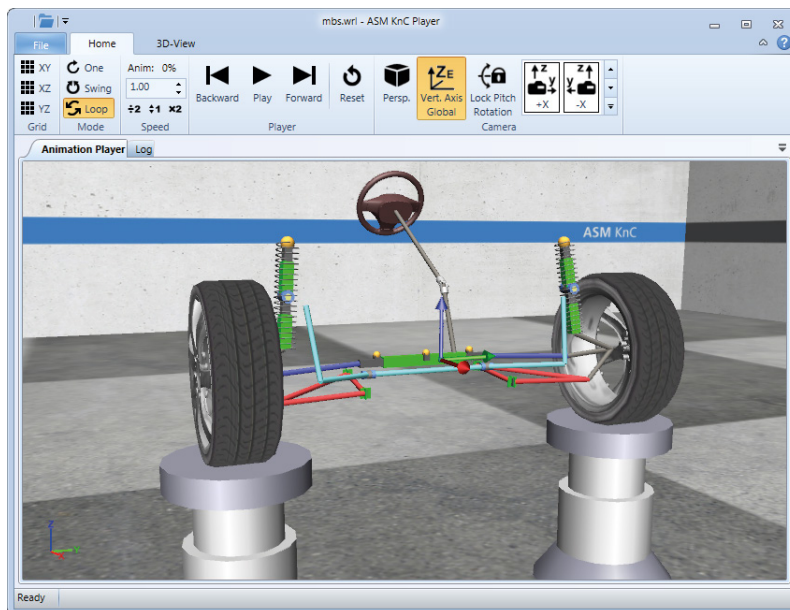
**Modellparametrierung –**  
 Generierung von Kinematik- und Nachgiebigkeitskennfeldern für Fahrdynamikmodelle.

**Analyse der Radaufhängung –**  
 Überprüfung von Achsmodifikationen mit anschaulicher Visualisierung.

**Fahrdynamikanalysen –**  
 Überprüfung von Achsmodifikationen (Kinematik und Lagernachgiebigkeit) in Gesamtfahrdynamikmodellen. Schneller als Echtzeit.

**Virtuelle Optimierungen –**  
 Automatisierbare Radaufhängungsoptimierungen. Ziel: Frühzeitige Verbesserung des fahrdynamischen Fahrzeugverhaltens.

Das Video zeigt den Workflow mit ASM KnC.  
[www.dspace.com/go/dMag\\_20153\\_KnC](http://www.dspace.com/go/dMag_20153_KnC)



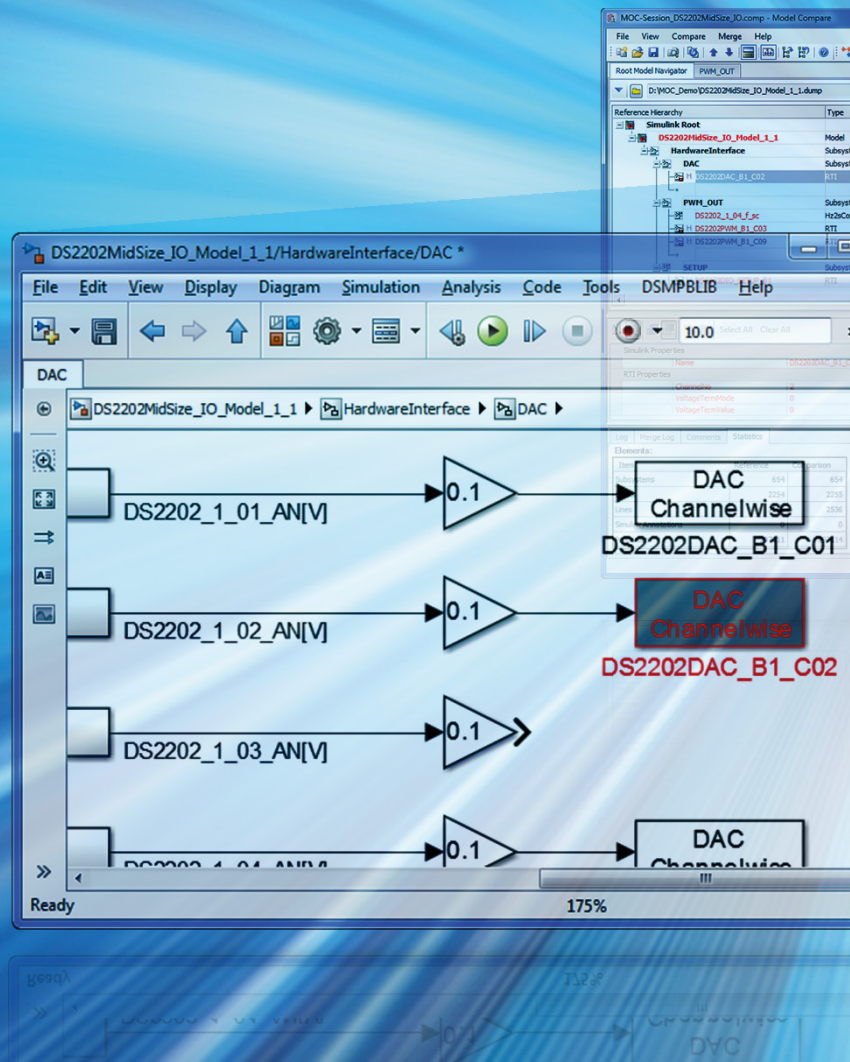
Animation von Vorderachsaufhängung und Lenkung.

Schnell und einfach alle Unterschiede zwischen zwei Modellen ermitteln und übersichtlich darstellen: Das macht das etablierte dSPACE Werkzeug Model Compare. Auch die Unterschiede großer Modelle lassen sich damit sofort anzeigen und so innerhalb von Minuten visuell vergleichen, was ohne Tool-Unterstützung praktisch unmöglich wäre. Ein äußerst leistungsfähiger Vergleichsalgorithmus sorgt dabei für ein zuverlässiges Erkennen aller Modellunterschiede sowie die korrekte Zuordnung der Modellelemente, selbst wenn deren Position, einzelne Eigenschaften und sogar die Namen geändert wurden. Dank der integrierten TargetLink-Unterstützung werden beispielsweise die für Nutzer des dSPACE Serienelement-Generators relevanten Modellunterschiede übersichtlich aufbereitet. Redundante, implementierungsspezifische Details, zum Beispiel unterhalb von Blockmasken, werden dagegen standardmäßig ausgeblendet. So kann der Anwender Modelle nicht nur sehr effektiv, sondern auch äußerst effizient vergleichen. Ein neuer Mechanismus in Model Compare 2.6 ermöglicht diese einfach lesbare und sehr nachhaltige Aufbereitung jetzt auch für weitere Simulink-basierte Modellbibliotheken. Damit können nun auch Entwickler aus anderen Aufgabenbereichen wie Rapid Control Prototyping (RCP) oder Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulation die nützlichen Funktionen von Model Compare beim Vergleichen ihrer Modelle noch effizienter als bisher nutzen.

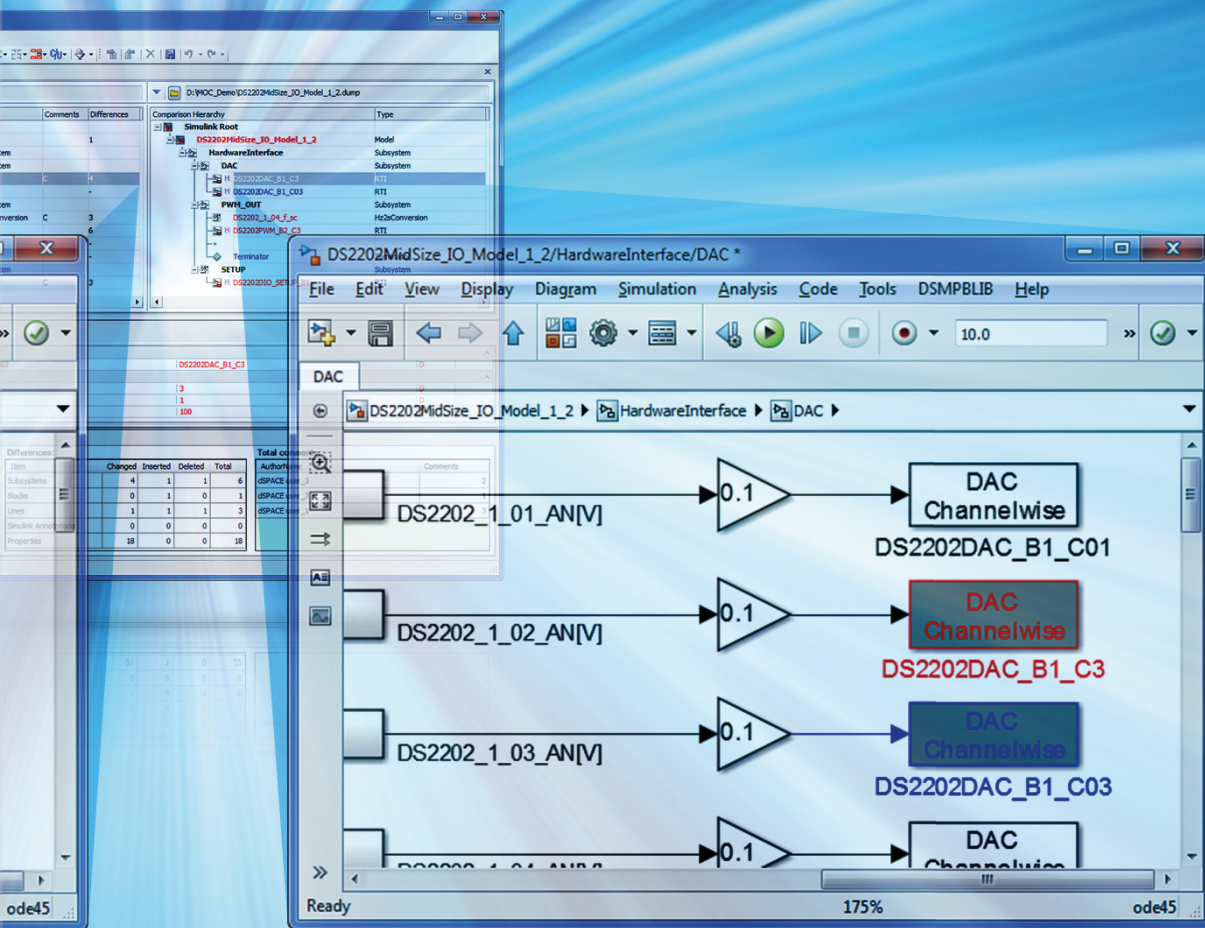
#### Alle Unterschiede auf einen Blick

Die komfortable grafische Benutzeroberfläche von Model Compare zeigt die Vergleichsergebnisse übersichtlich und farblich markiert in synchronisierten Hierarchieebenen (Seite 60, Nr. 1). So ist auf einen Blick zu erkennen, welche Modellelemente zusammengehören und welche Elemente geändert, hinzugefügt oder gelöscht

>>

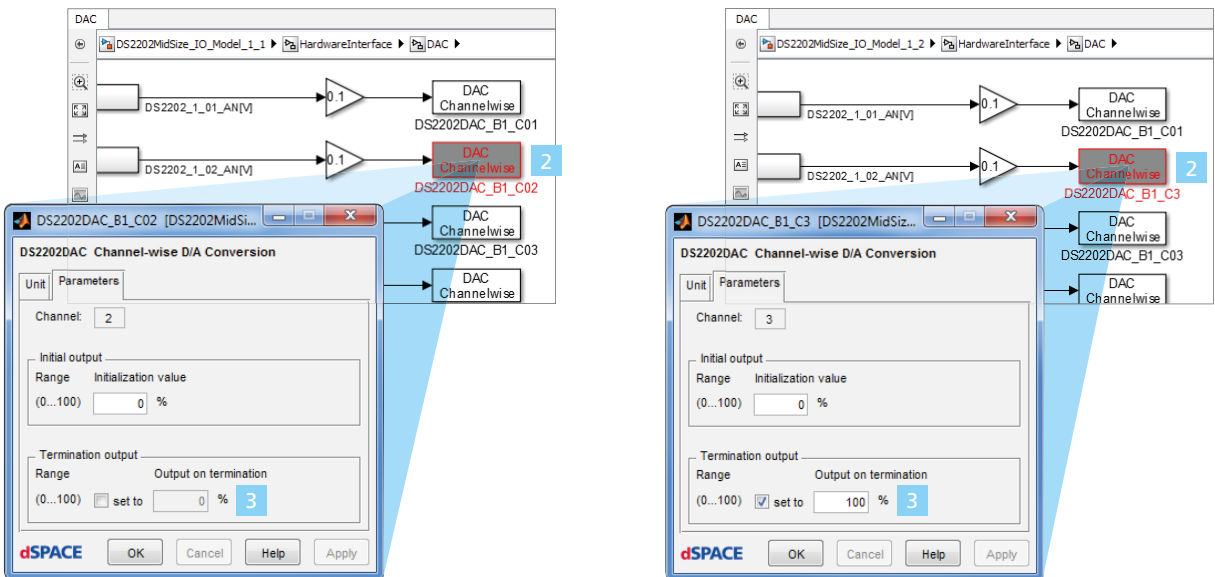
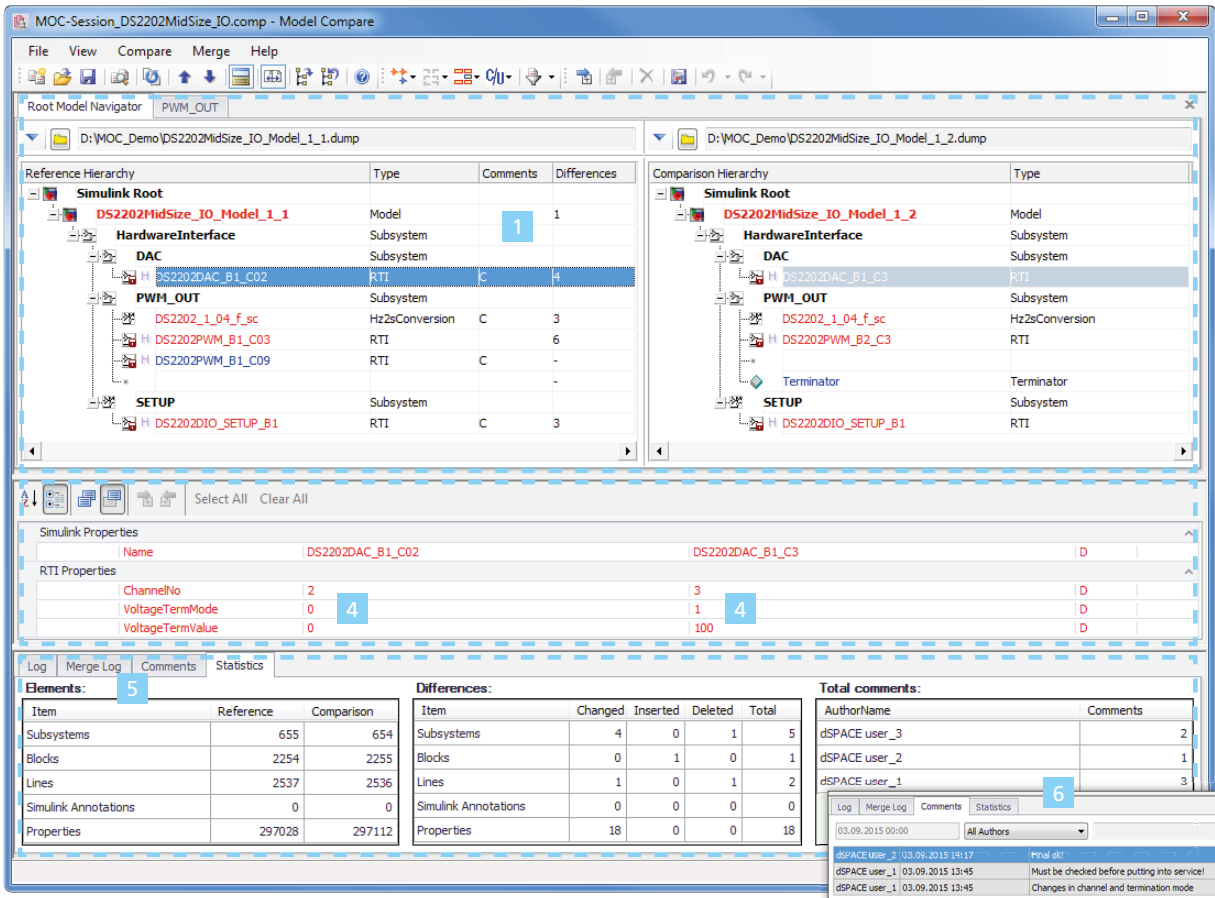


Mehr Transparenz beim Vergleichen komplexer Funktions- und Streckenmodelle



# Gegenüber- stellung

In der modellbasierten Entwicklung liegen nicht selten mehrere unterschiedliche Stände eines Modells vor. Da fällt es manchmal schwer, die Übersicht zu behalten. Was waren noch mal die Unterschiede? Model Compare schafft Klarheit – mit Version 2.6 jetzt auch bei HIL- und vielen weiteren Modellen.



- 1 Die GUI von Model Compare stellt alle Modellunterschiede in synchronisierten Hierarchiebäumen dar.
- 2 Vergleich von RTI-Blöcken. Die in den Konfigurationsdialogen vorgenommenen Einstellungen 3 werden von Model Compare erkannt und in klar lesbarer Form im Property Inspector 4 dargestellt.
- 5 Der Statistics Viewer im Tool Window bietet einen zusammenfassenden Überblick über alle gefundenen Unterschiede sowie über die Modelle selbst.
- 6 Model Compare unterstützt Review-Kommentare und auch komplexe Review-Sessions mit mehreren Teilnehmern.

## Komplexe Modelle lassen sich innerhalb von Minuten vergleichen, was ohne Tool-Unterstützung praktisch unmöglich wäre.

wurden. Initialisierungsroutinen für die Modelle wie auch für deren Umgebung bzw. Werkzeugketten können dabei mitberücksichtigt werden. Um Unterschiede besonders anschaulich darzustellen, können diese auch direkt in den Simulink®/TargetLink®-Modellen farblich markiert werden (Seite 60, Nr. 2). Sie lassen sich so komfortabel im jeweiligen Modellkontext grafisch inspizieren. Die Anzeigen von Modell und Hierarchiebaum sind verknüpft, so dass Unterschiede mit einem Klick zwischen beiden Darstellungen bidirektional zurückverfolgt werden können.

### Umfangreiche Filtermöglichkeiten

Zur Sicherstellung einer möglichst effizienten Arbeitsweise bietet Model Compare umfangreiche Filteroptionen. Zum einen kann über verschiedene Display-Filter definiert werden, welche Modellelemente im zentralen Darstellungsbereich (S. 60, Nr. 1) angezeigt werden sollen, beispielsweise nur die geänderten oder die hinzugefügten/gelöschten Blöcke oder Linien; auch beliebige Kombinationen aus beidem sind möglich. Zum anderen stehen zahlreiche vordefinierte Filter bereit, die es dem Anwender ermöglichen, sich auf eine spezielle Art von Unterschieden zu fokussieren, zum Beispiel bei TargetLink-Modellen auf alle funktionalen oder nur auf implementierungsspezifische Änderungen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, mittels frei definierbarer Filter gezielt einzelne oder mehrere Element-Eigenschaften oder auch ganze Modellelemente vom Vergleich auszuschließen. Zur Wiederverwendung der definierten Filtereinstellungen in anderen Projekten können diese zum Beispiel als Favoriten gespeichert werden.

### Review- und Merge-Support

Während eines Modell-Reviews können mit Model Compare Unterschiede auf Block- wie auch auf Property-Ebene mit Review-Kommentaren versehen werden. Dabei werden Zeitstempel und Autoren-Infos vom Werkzeug automatisch hinzugefügt, so dass auch komplexe Reviews mit mehreren Teilnehmern unterstützt werden (Seite 60, Nr. 6). Sollen parallele Entwicklungen zusammengeführt oder Änderungen auf andere Modellvarianten übertragen werden, erfolgt dies benutzerfreundlich mit direkt in der Vergleichsansicht anwendbaren Befehlen wie „copy to right“ oder „copy to left“. Das Zusammenführen („Mergen“) ist sowohl auf Element- wie auch auf Property-Ebene möglich. Es können sowohl einzelne Element-Eigenschaften als auch Modellelemente bzw. ganze Subsysteme zusammengeführt („merged“) werden. Ein intelligentes „Line Handling“ sorgt dafür, dass beim Zusammenführen von Blöcken die entsprechenden Verbindungen ebenfalls kopiert bzw. gelöscht werden. Darüber hinaus werden alle Merge-Operationen von Model Compare im Merge Log Viewer des Tool Windows (S. 60, Nr. 5) protokolliert.

### Dokumentation der Vergleichsergebnisse und Tool-Automatisierung

Zur Weitergabe oder Archivierung der Vergleichsergebnisse können diese als PDF-, HTML oder XML-Report gespeichert werden. Review-Kommentare, Filtereinstellungen oder auch Screenshots der Modelle lassen sich in die Reports integrieren, die somit zum Beispiel auch für Modell-Reviews genutzt werden können. Eine leistungsfähige API (Application Programming Interface) ermöglicht unter

## Fazit

Mit dem neuen Add-on-Mechanismus ermöglicht Model Compare 2.6 nun auch für Modelle mit beliebigen Simulink-basierten Blockbibliotheken einen sehr effektiven wie effizienten Modellvergleich. Damit können Entwickler aus unterschiedlichen Bereichen wie Rapid Control Prototyping (RCP) oder Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulation gleichermaßen von den nützlichen Model-Compare-Funktionen profitieren und Model Compare beim Vergleichen ihrer Strecken- oder I/O-Modelle effizient nutzen.

*Eingeschränkte Verfügbarkeit außerhalb Europas und Asiens. Bitte kontaktieren Sie dSPACE.*

anderem das automatisierte Starten von Modellvergleichen oder das automatisierte Erzeugen von Vergleichsberichten und sorgt darüber hinaus für eine einfache Integration von Model Compare in bestehende Werkzeugketten.

### Neuer Add-on-Mechanismus

Neben reinen Simulink-, Stateflow- und TargetLink-Modellen kann Model Compare auch Modelle mit beliebigen Simulink-basierten Blockbibliotheken vergleichen. Ein neuer Add-on-Mechanismus in Model Compare 2.6 bietet hier die Möglichkeit, blockspezifisches Wissen mittels sogenannter Hook-Skripte in den Vergleich beliebiger Modelle einzubringen. Modellunterschiede in Masken-Variablen oder Blockdialog-Parametern können so direkt angezeigt werden (Seite 60, Nr. 4). Damit kann Model Compare nun auch für viele weitere Modelle einen präzisen und effizienten Modellvergleich liefern, zum Beispiel für RCP- oder auch HIL-Modelle. Dazu gehören natürlich auch die RTI (Real Time Interface)-Blocksets von dSPACE. ■

Wie teste ich komplexe, vernetzte Funktionen bis hin zu kompletten Fahrzeugen möglichst früh und möglichst flexibel? Wie kann ich Testartefakte von einem Prozessschritt in den nächsten übernehmen, um Aufwand zu sparen? dSPACE Testsysteme unterstützen Sie bei allen aktuellen und kommenden Herausforderungen.

Es lässt sich nicht exakt vorher-sagen, in welche Richtung sich Fahrzeuge weiterentwickeln werden, aber schaut man auf die vergangenen Jahre, dann führt der Weg weiter zu mehr und komplexeren Elektrik/Elektronik (E/E)-Funktionen im Fahrzeug. 100 Millionen Code-Zeilen für ein gesamtes Steuergeräte-Netzwerk sind in modernen Fahrzeugen vielerorts bereits Realität und die Komplexität nimmt weiter zu, unter anderem durch Fahrerassistenzsysteme. Um diese Komplexität absichern zu können, steigen auch die

Herausforderungen an die Absicherungs- und Testsysteme.

**Große Herausforderungen**

Mehrere Aspekte beeinflussen die zukünftigen Testprozesse und Testsysteme:

■ **Vernetzte Funktionen**

Neue Fahrerassistenzfunktionen benötigen vernetzte Sensoren und Aktuatoren, von denen sie Informationen über die Umgebung oder andere Verkehrsteilnehmer erhalten. Dies erfordert detaillierte Simula-

tionsmodelle der Fahrzeuge, der Sensoren und der Umgebungen. Zahlreiche Steuergeräte interagieren hierbei eng miteinander. Hier kommen neben den klassischen Fahrzeugbussystemen neue Kommunikationsnetzwerke wie CAN FD und Ethernet zum Einsatz, deren Verhalten in den Tests ebenfalls abgesichert werden müssen.

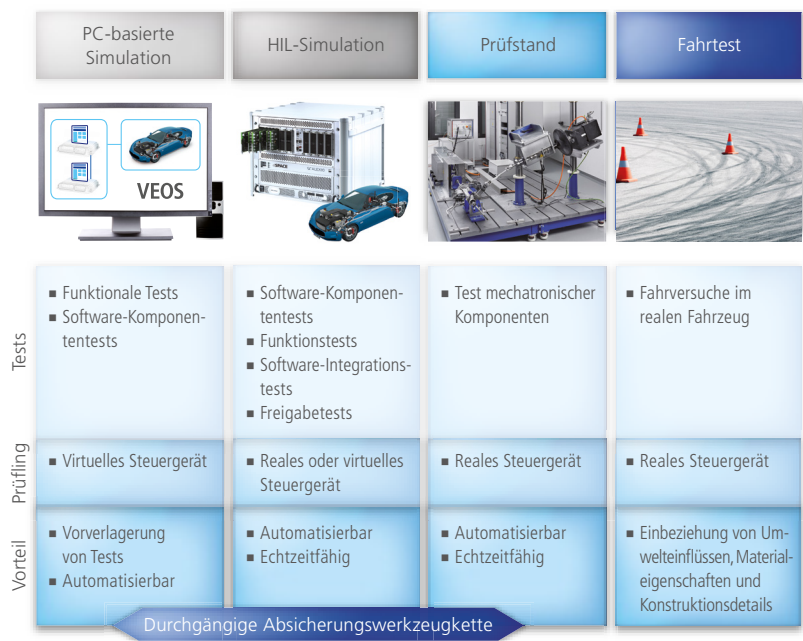
■ **Fahrzeug- und Modellvarianten**

Zur steigenden Vernetzung der Funktionen und Steuergeräte kommen eine hohe Varianten- und Modellvielfalt der Fahrzeuge sowie neue Antriebskonzepte wie Elektro- oder Hybridfahrzeuge hinzu. Dies erhöht die Vielfalt der abzusichernden Steuergeräte und eingebetteten Software, da Steuergeräte über mehrere Fahrzeugvarianten hinweg eingesetzt werden. Hier kommt es zunehmend auf ein intelligentes und prozesssicheres Datenmanagement für das Testsystem an.

■ **Spezielle Anforderungen von Verbrennungs- und Elektromotoren**

Neue Technologien im Bereich des Batteriemangements und der Elektromotoren verändern den Absicherungsprozess, da im Vergleich zu konventionellen Antrieben beispielsweise deutlich höhere Ströme und schnellere Regelalgorithmen zu berücksichtigen sind. Bei Verbrennungsmotoren führen neue Abgas-gesetze zum verstärkten Einsatz von Abgasreinigungssystemen und präziseren Einspritzsystemen, die wiederum im Absicherungstest berücksichtigt werden müssen. >>

Abbildung 1: Die dSPACE Testwerkzeugkette kommt über mehrere Testphasen hinweg durchgängig zum Einsatz.



A person wearing a blue and white plaid shirt and blue jeans is walking away from the camera down a long, brightly lit server aisle. The aisle is lined with server racks on both sides, and the perspective is drawn out, creating a strong sense of depth. The floor is dark blue with white lines. The overall color palette is dominated by blues and greys.

# Quo vadis, Test?

Testsystemlösungen aus einer Hand

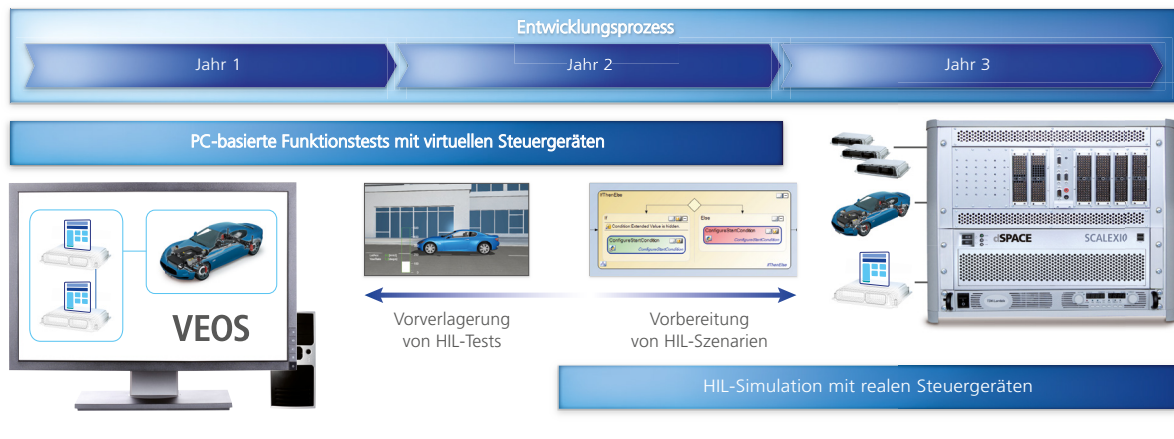


Abbildung 2: Die Kombination von PC-basierter Simulation mit HIL-Tests ermöglicht eine frühzeitige Funktionsabsicherung sowie die Vorbereitung von Testscenarien während des gesamten Entwicklungsprozesses.

#### ■ Standards und Normen

Testsysteme werden zunehmend durch geltende Standards und Normen beeinflusst, beispielsweise durch die ISO 26262 zur Entwicklung sicherheitsrelevanter E/E-Systeme für Kraftfahrzeuge.

#### Durchgängige Testsysteme

dSPACE bietet durchgängige Testsystemlösungen aus einer Hand, um die komplexen Herausforderungen beherrschbar zu machen. Hardware-in-the-Loop (HIL)-Tests und Fahrversuche spielen hierbei eine große Rolle, werden aber durch die reine Software-Simulation mit virtuellen Steuergeräten ergänzt (Abbildung 1).

#### Frühzeitige Absicherung am PC

Eine steigende Anzahl von Modellvarianten, erhöhte Funktionsvielfalt und kürzere Entwicklungszyklen machen es immer schwieriger bis unmöglich, alle Tests mit Fahrzeugprototypen durchzuführen. Neben der HIL-Simulation ermöglicht die Absicherung am PC deutlich früheres Testen, da funktionale Tests in frühere Entwicklungsphasen vorverlagert werden. dSPACE bietet dafür die PC-basierte Simulationsplattform VEOS® an. Funktionsentwickler erhalten damit ihre eigenen Testplatfor-

men, um mit virtuellen Steuergeräten funktionale Tests durchzuführen. So können sie jederzeit frühzeitig und kosteneffizient Entwicklungsschritte überprüfen.

#### Zuverlässige Echtzeittests am HIL-Simulator

Mit dem HIL-Simulator dSPACE SCALEXIO® schließen sich die HIL-Tests an die PC-basierte Simulation an. Die HIL-Simulation ist ein etablierter und effizienter Prozessschritt, um die später im Fahrzeug verbauten Steuergeräte automatisiert prüfen zu können. Insbesondere die Buskommunikation, unter anderem über CAN/CAN FD, LIN oder Ethernet SOME/IP, kann mit einem dSPACE HIL-System verlässlich und reproduzierbar in einer simulierten Fahrzeugumgebung überprüft werden.

Für Anwendungen mit speziellen Anforderungen bietet dSPACE darauf abgestimmte Hardware. Beispielsweise stehen für den Test von Elektroantrieben, die kurze Regelungszyklen und hohe Ströme erfordern, die dSPACE Simulationsmodelle Automotive Simulation Models (ASM) und FPGA-basierte Hardware zur Verfügung. Für Fahrerassistenzanwendungen bietet dSPACE Simulationen für die Fahrzeugumgebung und die Sensorik, um die Viel-

zahl von Verkehrsszenarien in der virtuellen Welt am HIL überprüfen zu können.

#### Mechatronische Tests am Prüfstand

In manchen HIL-Testfällen ist der Zugriff auf das Steuergerät nicht alleine über seine elektrischen Schnittstellen möglich, so dass der mechanische Zugriff unverzichtbar ist, zum Beispiel beim Anlegen mechanischer Lasten an Elektroantriebe, bei der Stimulation der integrierten Sensoren für Mechatronik-Steuergeräte oder für die Stimulation von Mensch-Maschine-Schnittstellen. Hier bietet dSPACE hochdynamische Prüfstände für mechatronische Komponenten und Systeme in Kopplung mit der Echtzeitsimulation. Lesen Sie hierzu auch das Interview auf Seite 66.

#### Prozesssichere Werkzeugkette

Standards und Normen werden für Testsysteme immer wichtiger. Die ISO 26262 beispielsweise nennt HIL-Tests ausdrücklich als Absicherungsschritt. Für eine prozesssichere Testumgebung bietet dSPACE nicht nur die passenden Testsysteme an, sondern setzt auch bei seiner Software auf Standards. Die Testautomatisierungssoftware AutomationDesk wurde vom TÜV SÜD für den Test



sicherheitsrelevanter Systeme gemäß ISO 26262 und IEC 61508 zertifiziert. Das Zertifikat bestätigt die Eignung für die Entwicklung und den Test sicherheitsrelevanter Systeme in den Bereichen Automobilindustrie, Nutzfahrzeuge, Luft- und Raumfahrt und auf vielen anderen Gebieten. AutomationDesk ist die erste Software für die Testautomatisierung im Bereich der HIL-Simulation, die ein solches Zertifikat erhalten hat.

### Offenheit durch Standards

Oftmals müssen die Testsysteme in bereits vorhandene Software-Umgebungen integriert werden. Mit seinen Produkten unterstützt dSPACE zahlreiche Standards wie AUTOSAR, Functional Mock-up Interface (FMI) und ASAM XIL API. Standardisierte Schnittstellen an den dSPACE Testsystemen erleichtern den Austausch von Simulationsmodellen, beispielsweise zwischen OEM und Zulieferer (Abbildung 3).

### Komfortable Datenverwaltung mit SYNECT

Durch die Komplexität der Testaufgaben und -systeme ergibt sich eine riesige Datenmenge. Testszenarien und -varianten sowie Modelle und Testergebnisse müssen verwaltet, versioniert und leicht abrufbar gespeichert werden, um den Testprozess möglichst effizient zu gestalten. dSPACE SYNECT® ist die hierauf abgestimmte Datenmanagement-Software mit Schwerpunkt auf der modellbasierten Entwicklung und dem Test von Steuergeräten. SYNECT verwaltet sowohl die Daten im gesamten Entwicklungsprozess, zum Beispiel Modelle, Signale, Parameter, Tests und Testergebnisse, als auch die Datenabhängigkeiten, Versionen, Varianten und außerdem Links zu den zugrunde liegenden Anforderungen. ■

## Alle Lösungen aus einer Hand

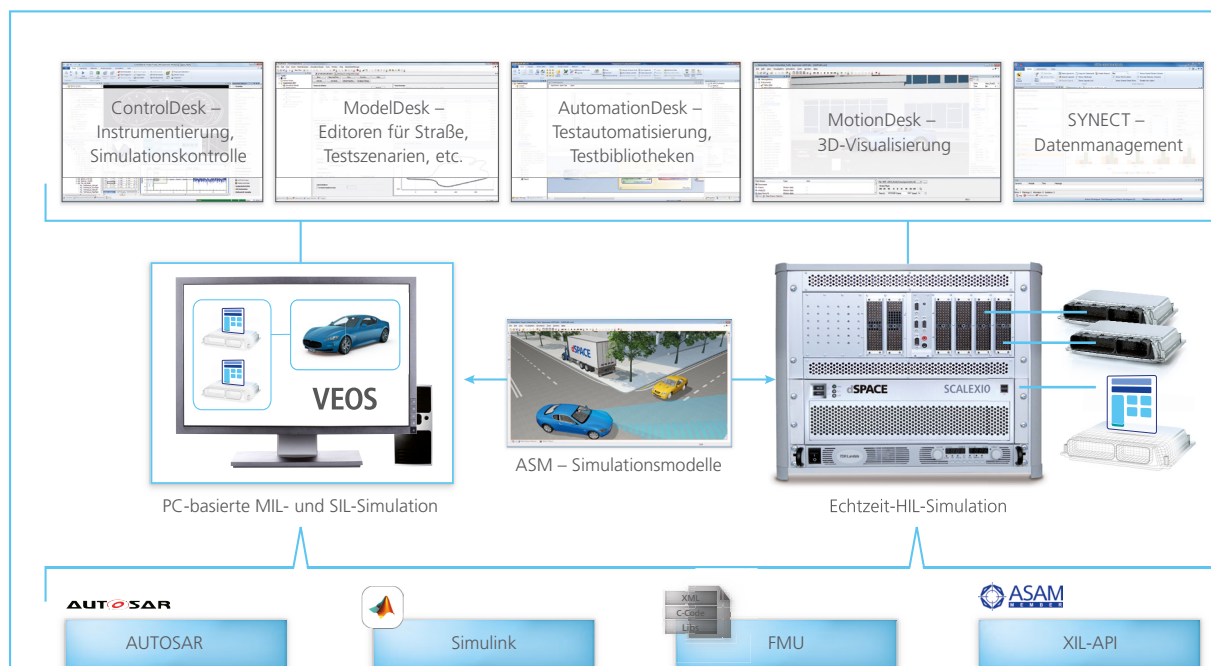
Von der PC-basierten Simulation über HIL-Testsysteme bis hin zu mechatronischen Prüfständen bietet dSPACE eine harmonische Hardware- und Software-Werkzeugkette. Zusammen mit den über Jahrzehnte gesammelten Erfahrungen im Aufbau der Systeme bei vielen tausend Anwendungen unterstützt dSPACE seine Kunden bei der Gestaltung effektiver Testprozesse – heute wie in Zukunft.

Weitere Informationen erhalten Sie auf der dSPACE Website unter:

[www.dspace.com/goldMag\\_20153\\_HILD](http://www.dspace.com/goldMag_20153_HILD)



Abbildung 3: Die durchgängige Werkzeugkette und die Unterstützung verschiedener Standards ermöglichen einen einfachen Austausch von Testszenarien, Modellen und Konfigurationen.





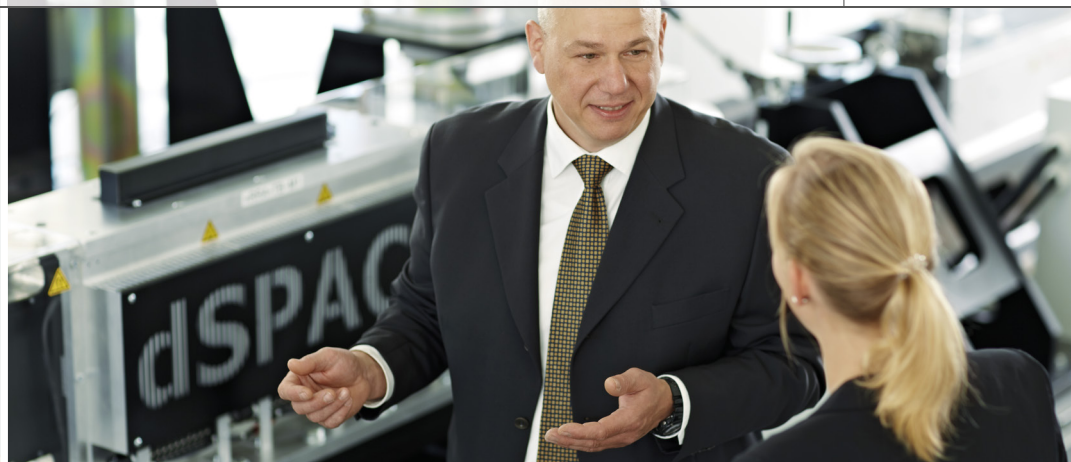
# Mechanisch testen

Mechanische Prüfstände komplettieren das Portfolio der dSPACE Testsysteme

Die vollständige Absicherung eines komplexen Regelsystems umfasst oft auch den Test mechanischer Komponenten. Matthias Deter, bei dSPACE zuständig für den Bau mechanischer Prüfstände, erläutert, welche unverzichtbare Rolle die Prüfstände von dSPACE beim Testen mechatronischer Systeme einnehmen.



3D-Bewegungsplattform für ESC (Electronic Stability Control)-Tests.



*Herr Deter, man kennt dSPACE als Anbieter von Rapid Control Prototyping (RCP)-Systemen und Hardware-in-the-Loop (HiL)-Simulatoren für die Steuergeräteentwicklung. Warum liefert dSPACE auch Prüfstände?*

Eine vollständige Absicherung eines Steuergeräts unter Laborbedingungen gelingt oft nur, wenn auch das Testsystem die reale Steuergeräteumgebung vollständig nachbildet. Immer mehr Steuergeräte benötigen für eine vollständige Integration in die Testumgebung auch eine Anregung ihrer mechanischen Schnittstellen und Sensoren. Ein Beispiel sind ESC-Steuergeräte mit integriertem Gierraten-sensor. Da es seit jeher das Ziel von dSPACE ist, seinen Kunden schlüsselfertige HiL-Testsysteme zu liefern, ist es aus unserer Sicht auch logisch, dass wir diese Prüfstandsanteile mit abdecken, um ein optimal abgestimmtes Gesamtsystem anbieten zu können. Beim Prüfstands-aufbau helfen uns unsere Erfahrung und Produkte aus dem RCP-Umfeld, mit deren Hilfe wir die notwendigen Lastmaschinen ansteuern.

*Sind Prüfstände ein neues Geschäft für dSPACE?*

dSPACE hat bereits viel Erfahrung in diesem Bereich. So haben wir in den letzten 7 Jahren mehr als 50 Prüfstände konstruiert, gebaut und schlüsselfertig an unsere Kunden übergeben. Prüfstände sind eins unserer am stärksten wachsenden Betätigungsfelder.

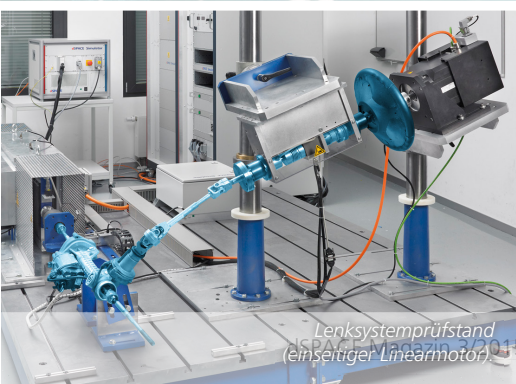
*Was sind typische Anwendungen?*

Typische Anwendungen sind überwiegend elektrische Lenkungen, aber auch Bremsverstärker, 3D-Bewegungsplattformen für Fahrdynamikregelungen oder mechanische Lasten für echte Pumpenmotoren. Hinzu kommen weitere automotiv-e Anwendungen wie etwa Sitzsteuerungen, Lüfter, Gurtstraffer oder elektrische Tankdeckel. Wir haben keine Berührung-sängste.

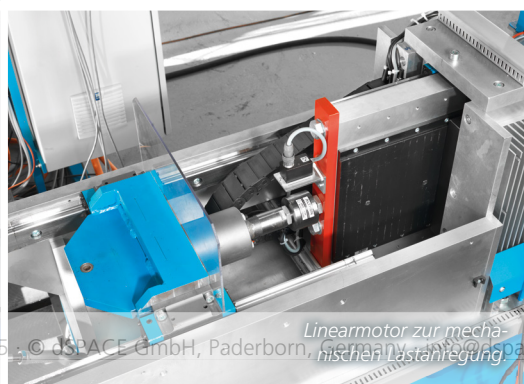
*Worin hebt sich dSPACE im Prüfstands-umfeld von seinen Markt-begleitern ab?*

Zunächst ist es wichtig zu wissen, dass man bei dSPACE alle Komponenten aus einer Hand erhält. Das

**Schlüsselfertige Simulatoren für mechatronische Systeme aus einer Hand.**



Lenksystemprüfstand (einseitiger Linearmotor)



Linearmotor zur mechatronischen Lastanregung



Lenkradprüfstand



ist bei anderen Anbietern meist nicht der Fall. dSPACE verfügt über ein umfassendes Portfolio an Echtzeit-Hardware sowie Simulationsmodellen für den HIL-Betrieb. Darüber hinaus bieten wir maßgeschneiderte Engineering-Dienstleistungen für Konzipierung, Aufbau und Inbetriebnahme von Prüfständen. Die mechanischen Bestandteile planen wir selbst und lassen sie von lokalen Spezialunternehmen fertigen. Unser Kunde hat immer exakt einen Ansprechpartner: dSPACE. Dann gibt es noch eine Prüfstandscharakteristik, die wirklich hervorsteicht: die Dynamik! Anwender berichten uns, dass ihre von anderen Anbietern geprägten Erwartungen hinsichtlich Regeldynamik und Regelgenauigkeit von den dSPACE Prüfständen übertroffen werden. Wir setzen dazu auf das für uns offene TWIN-sync-Protokoll der Firma LTI, das auf unserer Echtzeit-Hardware Vorteile wie latenzarme Regelung mit 8 kHz sowie Synchronität zur Umrichter-Pulsweitenmodulation der Antriebsmotoren bietet. Selbstverständlich haben wir auch Erfahrung mit anderen Protokollen und Industriebussen.

*Warum setzt dSPACE beim Prüfstandsbau auf elektrische Antriebe?*

Elektrische Antriebe bieten ein optimales Verhältnis von Dynamik und Energieeffizienz sowie eine überschaubare, einfache Infrastruktur und sind einfach zu regeln. Wenn es darauf ankommt, können wir beispielsweise mit einem Linearmotor Kräfte im zweistelligen Kilonewton-Bereich aufbringen – und dabei die Dynamik darstellen, die auf eine Spurstange bei hohen Geschwindigkeiten und unebenem Untergrund wie Kopfsteinpflaster wirkt.

*Wie stellt dSPACE sicher, dass die Prüfstände auch den Kundenbedarf abdecken?*

Die Realisierung der Prüfstände erfolgt in Kundenprojekten, das heißt, dass wir eng mit dem Kunden zusammenarbeiten und seine spezifischen Anforderungen im Detail kennen und verstehen lernen. Die Anforderungen des Kunden gehen direkt in das Prüfstandskonzept ein, so dass immer eine kundenspezifische, optimale Lösung entsteht. Natürlich führen neue Herausforderungen wiederum zu Innovationen bei unserer Hardware und Software. Somit bietet dSPACE immer einen optimalen Mix aus innovativen Produkten und kundenspezifischen Engineering-Anteilen.

*Mit welchen Maßnahmen hat sich dSPACE für die Bearbeitung solcher Projekte aufgestellt?*

Unsere internen Kompetenzen, Werkzeuge und Prozesse wurden für die Entwicklung mechanischer Aufbauten erweitert. Insbesondere der adäquate Umgang mit 3D-Konstruktionsdaten bringt neue Anforderungen mit sich. Außerdem haben wir entsprechende Prozesse für Produktionsfreigaben, Sicherheitsanforderungen und Qualitätssicherung eingeführt. Diese elementare Themen beherrschen wir und sorgen so für einen sicheren und effizienten Prüfstandsbetrieb bei den Anwendern. Wir freuen uns natürlich, dass unsere Kunden unsere Anstrengungen würdigen, wie folgende Aussage eines Premiumherstellers bestätigt: „Die Termintreue und korrekte Umsetzung bei einem solch komplexen Projekt habe ich bei anderen Firmen nie erlebt.“

*Herr Deter, wir danken Ihnen für das Gespräch!*

*Matthias Deter ist als Group Manager Engineering zuständig für Kundenprojekte mit mechanischen Prüfständen bei dSPACE in Paderborn, Deutschland.*

## ■ Dynamik ist die Paradedisziplin der Prüfstände von dSPACE.



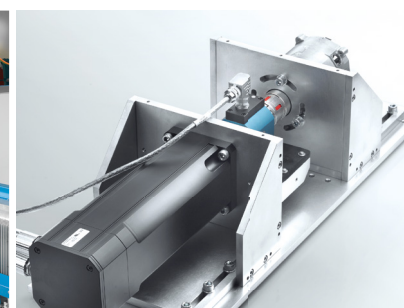
Fahrsimulator/Sitzkiste



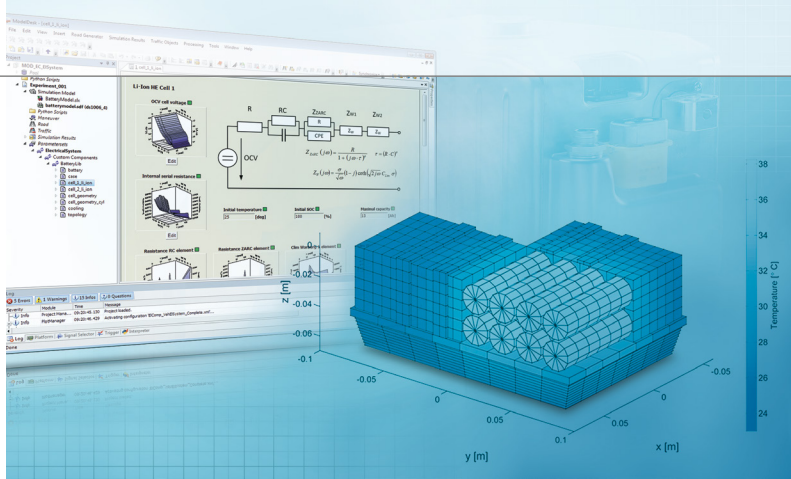
Prüfstand für elektro-mechanische Bremsen



Lenksystemprüfstand (beidseitiger Linearmotor)



Lastmaschine



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

## Elektrische und thermische Batteriesimulation

Unter der Bezeichnung „Toolbox Speichersysteme“ haben dSPACE und das Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) der RWTH Aachen eine Simulationsumgebung für elektrische Energiespeicher entwickelt, die ein besonders breites Spektrum physikalischer Batterieeigenschaften unterstützt. Sie ist dafür ausgelegt, das thermische und elektrische Verhalten von verschiedenen Batterien, Superkondensatoren

und weiteren elektrischen Energiespeichern in Abhängigkeit von ihrer Bauform und Kühlung realitätsnah und komfortabel zu simulieren. Die Simulationsumgebung bietet Entwicklern vielfältige Einstellmöglichkeiten, die Aspekte wie die Batterietechnologie, die geometrische Form, die Anzahl und Anordnung der Speicherzellen oder die Kühlperipherie umfassen. So können beispielsweise Kühlstrategien untersucht und mögliche

Überhitzungszonen (Hotspots) identifiziert werden, die sich beim Betrieb des Batteriesystems ergeben würden. Die von der Europäischen Union und vom Land Nordrhein-Westfalen geförderte Entwicklung ist in die Werkzeugkette von dSPACE integriert und kann daher durchgängig im modellbasierten Entwicklungsprozess eingesetzt werden. ■

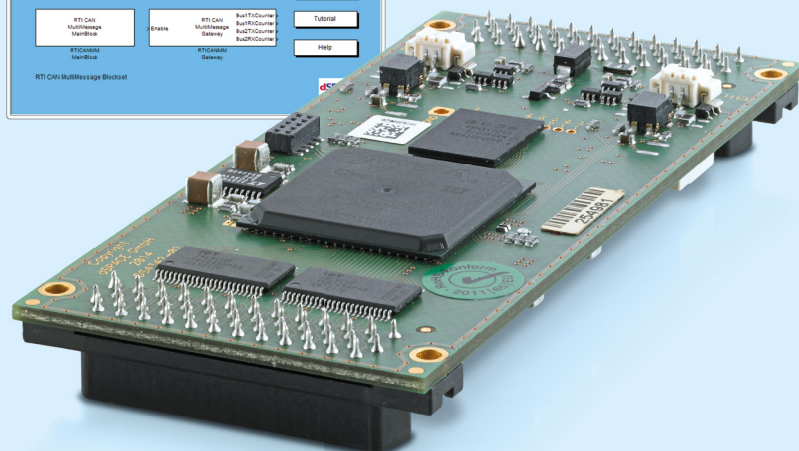
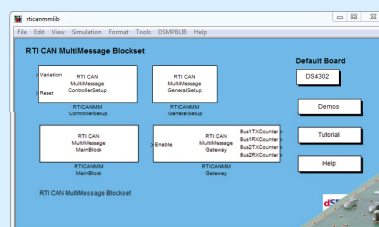
## dSPACE unterstützt ISO CAN FD

Mit dSPACE Release 2015-B unterstützt dSPACE zusätzlich zu „Non-ISO CAN FD“ nun auch die überarbeitete Version „ISO CAN FD“. Das Busprotokoll CAN FD (Flexible Data Rate) bietet eine deutlich höhere Datenübertragungsrate und längere Nutzdatenfelder für dSPACE Rapid-Control-Prototyping- und Hardware-in-the-Loop-Systeme als das klassische CAN.

Das dSPACE DS4342 CAN FD Interface Module unterstützt beide Protokollversionen – ISO CAN FD und Non-ISO CAN FD – zusätzlich zum klassischen CAN, so dass der Anwender für den Umstieg keine neue Hardware benötigt. Bestehende Systeme werden komfortabel per Software aktualisiert. Unabhängig vom Anwendungsfall kommt als

Implementierungssoftware immer das RTI CAN MultiMessage Blockset

zum Einsatz, so dass weitere Einarbeitungszeit entfällt. ■



## TargetLink 4.1: AUTOSAR-Erweiterungen, FMI-Unterstützung und vieles mehr

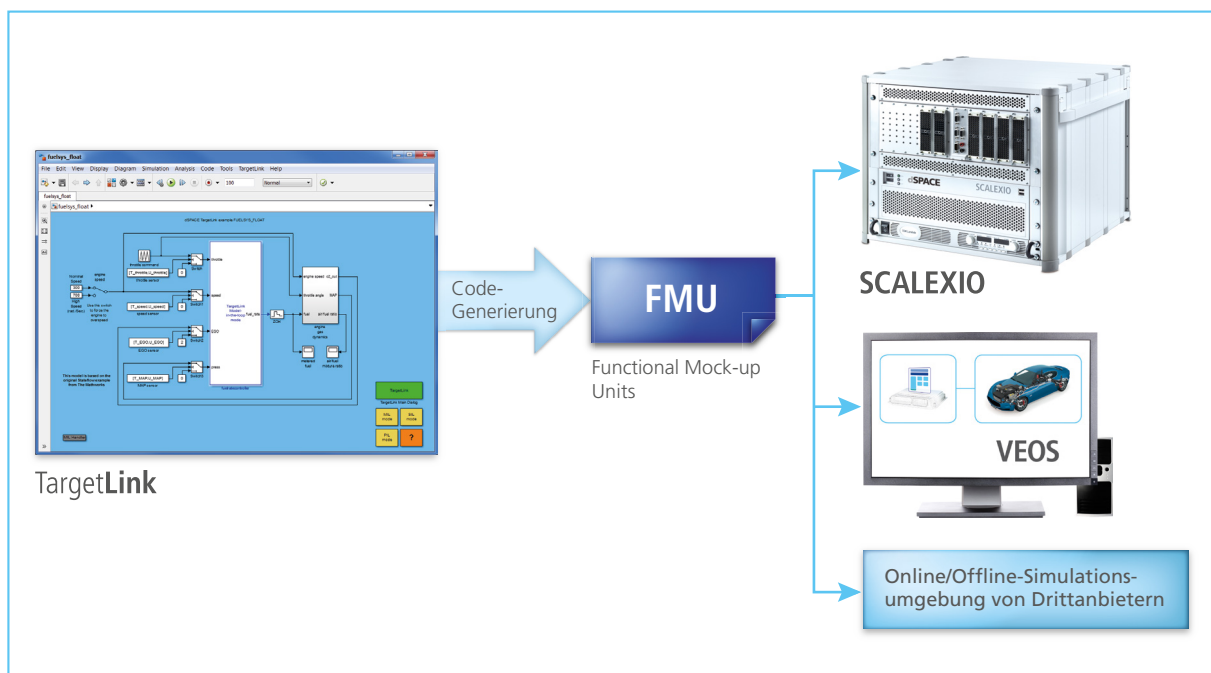
Die neue Version 4.1 des dSPACE Seriencode-Generators TargetLink® bietet unter anderem substantielle Erweiterungen im Bereich der AUTOSAR-konformen Entwicklung. Neben der Unterstützung der AUTOSAR-Version 4.2 stellt TargetLink insbesondere Funktionalitäten für den effizienten Lese- und Schreibzugriff auf NVRAM (Non-Volatile RAM) über NVData Interfaces bereit. Darüber hinaus unterstützt TargetLink 4.1 sogenannte AUTOSAR Transformer, mit deren Hilfe End-to-End Communication Protection für sicherheitskritische Anwendungen und die Kommunikation über Automotive Ethernet mit Hilfe von SOME/IP (Scalable Service-Oriented Middleware over IP) ermöglicht werden. Weitere Neuerungen von TargetLink 4.1 betreffen die Modellierung in Simulink®/Stateflow®: So wird insbesondere der

Simplified Initialization Mode in Simulink mit seiner klareren Initialisierungssemantik unterstützt, genauso wie die vereinfachte Modellierung mit Bussen durch den Bus Assignment Block, Busse an der Simulink/Stateflow-Schnittstelle, Strukturen in der Stateflow Action Language, Verwendung von Signal Conversion Blocks etc. Elementare Erweiterungen enthält die neue Version im Bereich der Code-Generator-Kernfunktionalität: Neben Verbesserungen der MISRA-C:2004/MISRA-C:2012-Konformität und der Code-Effizienz ist der leistungsfähige Function-Reuse-Mechanismus von TargetLink zur projektübergreifenden Wiederverwendung von Funktionen nun auch optimal mit inkrementeller Code-Generierung nutzbar, sei es in Form von parametrisierten, referenzierten Modellen oder mit Hilfe von inkrementell

generierten, wiederverwendbaren Subsystemen.

Mit TargetLink 4.1 können Functional Mock-up Units (FMUs) aus TargetLink-Modellen exportiert werden, die auf dem FMI (Functional Mock-up Interface)-Standard 2.0 basieren. Der Standard dient dazu, Modelle aus unterschiedlichen Modellierungsumgebungen zu integrieren und zu simulieren. Auf Basis des FMI 2.0 for Co-Simulation Standards kann von TargetLink generierter Code auf dSPACE VEOS®, dSPACE SCALEXIO® sowie Offline- und Echtzeit-Simulationsumgebungen von Drittanbietern zur Ausführung gebracht werden.

Informationen zu FMI/FMU:  
[www.dspace.com/go/dMag\\_20153\\_fmi](http://www.dspace.com/go/dMag_20153_fmi) ■



Export von Functional Mock-up Units aus TargetLink zur Ausführung in FMI-unterstützten Simulationsumgebungen.

# dSPACE an Bord

Entdecken Sie spannende und innovative Anwendungen, realisiert mit Entwicklungswerkzeugen von dSPACE.

## Umgebung erfassen

Im Rahmen des DESERVE (DEvelopment platform for Safe and Efficient dRIVE)-Projektes entsteht eine Entwicklungsplattform für Fahrerassistenzsysteme, die auch die Verarbeitung von Kameradaten unterstützt. dSPACE stellt für das Prototyping von Algorithmen eine MicroAutoBox®-Plattform bereit, die um einen leistungsfähigen Embedded PC und ein schnelles Kintex®-7 FPGA-Board für Bildverarbeitungs- und Datenfusionsalgorithmen erweitert wurde.



Kamerabasierte Assistenzsysteme erfassen das nahe Fahrzeugumfeld und detektieren die für den Fahrbetrieb relevanten Objekte.



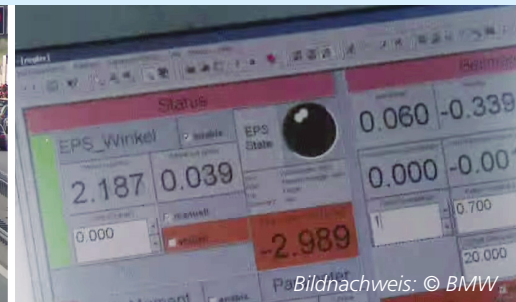
Bildverarbeitende Algorithmen werden zusammen mit Datenfusionsalgorithmen auf einer speziellen Prototyping-Plattform von dSPACE entwickelt.

## Autonom auf Autobahnen

Eine von BMW durchgeführte Technologiestudie demonstriert hochautomatisiertes Fahren im realen Verkehr auf Autobahnen. Das Testfahrzeug ist mit Sensoren wie Radar, Kamera, Laserscanner und Ultraschall ausgestattet. dSPACE Software und Hardware unterstützt die Steuerung des Fahrzeugs, das Straßenverkehrsregeln einhalten und auf neue Verkehrsszenarien reagieren muss.



Hochautomatisiertes Fahren heißt, unterschiedlichste Verkehrsszenarien zu meistern. [www.dspace.com/goldMag\\_20153\\_BMW](http://www.dspace.com/goldMag_20153_BMW)



ControlDesk ist Teil des Equipments für autonomes Fahren, das im Prototyp-Fahrzeug installiert ist.

## Autonom bei 160 km/h

Die AUDI AG untersucht mit einem Audi RS7 sämtliche Aspekte des autonomen Fahrens. Auf einer Teststrecke beherrscht das Fahrzeug bereits eine Vielzahl von Fahrmanövern bei hoher Fahrgeschwindigkeit, zum Beispiel Vollbremsungen und Ausweichmanöver vor Hindernissen. Eine dSPACE MicroAutoBox spielt eine zentrale Rolle bei der Berechnung der Fahrbefehle.



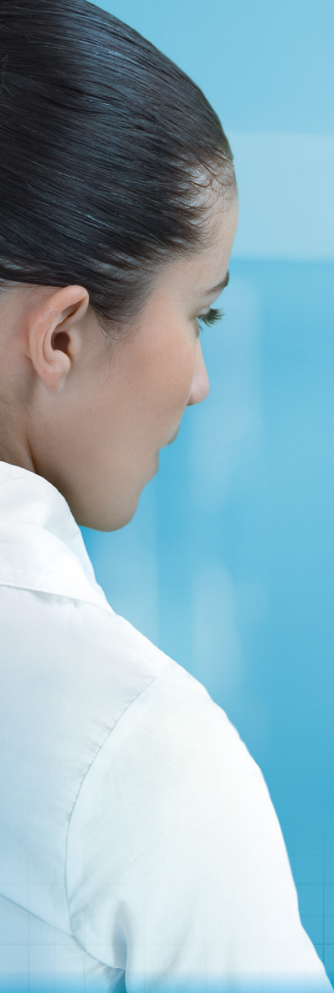
Der Audi RS7 bei schneller Kurvenfahrt auf der Teststrecke. [www.dspace.com/goldMag\\_20153\\_ARD](http://www.dspace.com/goldMag_20153_ARD)



Eine dSPACE MicroAutoBox ist ein wesentlicher Bestandteil der Fahrzeugsteuerung.



Erfahren Sie mehr über diese Anwendungen mit Videos, Fotos und Berichten im Internet: [www.dspace.com/goldMag\\_20153\\_REF\\_D](http://www.dspace.com/goldMag_20153_REF_D)



## Die ganze Welt des Testens – mit dSPACE

Fahrerassistenzsysteme, autonome Fahrzeuge, Car2Car-Kommunikation – immer komplexere Systeme mit Millionen Code-Zeilen bei stetig kürzeren Innovations- und Testzyklen. Wie sichern Sie neue Funktionen heute und in Zukunft ab?

dSPACE Testwerkzeuge ermöglichen eine frühzeitige Absicherung: am PC ohne Hardware-Prototypen, mit Hardware-in-the-Loop-Prüfständen von klein bis groß, mit offenen Simulationsmodellen, mit einer grafischen Testbeschreibung und mit einer zentralen Verwaltung für Ihre Testdaten.

Egal ob für Fahrerassistenzsysteme, Antriebs-, Karosserie- oder weitere Anwendungen – dSPACE hat die Lösung!

ASM  
SCALEXIO  
AutomationDesk  
SYNECT  
VEOS

Weitere Produktinformationen finden Sie unter  
[www.dspace.com/go/testen](http://www.dspace.com/go/testen)

Embedded Success **dSPACE**