

dSPACE

2/2015

MAGAZIN



Porsche

– Virtuell fahren
Seite 18

HondaJet – Virtuell fliegen | Seite 6

Continental – Virtuell elektrifizieren | Seite 24

Kunden-Feedback

Pilotiertes Fahren auf der Rennstrecke

Der Audi RS 7 piloted driving concept ist ein innovativer Technikträger, der autonomes Fahren auch auf anspruchsvollen Rennstrecken demonstriert – im Renntempo.

„Die Signalverarbeitung zur Ansteuerung der Aktuatorik des RS 7 piloted driving concept erledigt eine MicroAutoBox – in Echtzeit.“

Peter Bergmiller, Entwicklung Fahrerassistenzsysteme, AUDI AG



Das **Video** zeigt Ihnen pilotiertes Fahren im Grenzbereich mit dem Audi RS 7 piloted driving concept auf dem Hockenheimring (www.dspace.com/go/dMag_20152_RS7).

„Auch bei Aerospace-Projekten sind wir mit unseren Werkzeugen von der Funktionsentwicklung über die Serien-code-Generierung bis zur Absicherung der Regler dabei.“



dSPACE ist trotz des „space-igen“ Namens sehr automobillastig. Das hat sich sowohl aufgrund der enormen Nachfrage aus dieser Industrie ergeben als auch aus der Strategie, die dort in vielen Bereichen erreichte Pole Position nicht wieder abzugeben. Wir freuen uns aber immer über Anwendungen aus anderen Bereichen. Hier ist Aerospace traditionell eines der größeren Segmente, dem wir unter anderem mit speziellen Schnittstellen und Busunterstützung Rechnung tragen.

In dieser Ausgabe widmen sich gleich drei Artikel dem Anwendungsbereich Aerospace. Nein, die Fahrdynamik-Anwendung bei Porsche ist dabei nicht mitgezählt. Der Porsche soll ja gerade nicht abheben.

Stabil in die Luft gehen und wieder landen soll stattdessen die Schwebplattform von Airbus Defence and Space. Sie tut es, und das mit Rapid Control Prototyping in rapiden vier statt fünfzehn Jahren Entwicklungszeit. Wenn man sich das Video anschaut, bekommt man Respekt vor diesem Ritt auf dem Raketenantrieb, der von Modellen auf MicroAutoBoxen an Bord geregelt wird. Ein schöner Vertrauensbeweis für unsere Hard-

ware und Software – wir werden sie aber nicht in MicroSpaceBoxen umbenennen.

Deutlich länger gedauert hat die Entwicklung des HondaJets. dSPACE stieg 2008 mit der Projektierung eines Simulators für den Systemintegrationstest ein, der kurze Zeit später schon im Produktiveinsatz war. Honda Aircraft International berichtete bereits im Jahr 2009 öffentlich über den Simulator-Beitrag zum erfolgreichen Erstflug. Dieses Jahr ist das Flugzeug nun verkaufsfertig. Ich habe selbst vor Jahren die Testeinrichtung besuchen können. Es bestanden aufgrund der außergewöhnlich hohen Zahl von Signalen und den sehr umfassenden automatisierten Tests damals noch Herausforderungen, die in bewährter Manier Schritt für Schritt kooperativ bewältigt wurden. Wenn es mit dem Flugzeug etwas länger gedauert hat als geplant, so lag das nicht an der Avionik und deren Test. Ich beglückwünsche das HondaJet-Team zum Erfolg. Langer Atem zahlt sich aus. Das ist auch dSPACE nicht unbekannt.

Dr. Herbert Hanselmann

HONDA AIRCRAFT | SEITE

6



BMW | SEITE

12

JIAOTONG-UNIVERSITÄT
SHANGHAI | SEITE

36



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 Lillwitz, Thomas Pöhlmann, Julia Reinbach, Dr. Gerhard Reiß

Redaktionelle Mitarbeit an dieser Ausgabe:
Jace Allen, Dr. Ulrich Eisemann, Doreen Krob,
Dr. Klaus Lamberg, Thomas Sander

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 © Porsche

© 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/go/warenzeichen. Andere Markennamen und Produktnamen sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der entsprechenden Unternehmen oder Organisationen.

Inhalt



3 EDITORIAL

Kundenanwendungen

6 HONDA AIRCRAFT
Erstflug in Echtzeit
 Automatisierte Avionik-Tests mit dSPACE Simulatoren

12 BMW
Immer das passende Modell
 HiL-Pilotprojekt zum Austausch von Teilmodellen basierend auf FMI

18 PORSCHE
Sportliche Modelle
 Virtuelle Fahrdynamikentwicklung mit Simulationsmodellen

24 CONTINENTAL
Synchron Asynchron
 Neue Möglichkeiten für kosteneffiziente Mild-Hybride

28 AUTOMOTIVE SAFETY TECHNOLOGIES
Entwicklung intelligenter Assistenten
 Einheitliche modellbasierte Entwicklung von Fahrerassistenzfunktionen für verschiedene Plattformen

32 AIRBUS DEFENCE AND SPACE
HOMER hebt ab
 Multifunktionaler Prototyp für zukünftige Raumfahrzeuge

36 JIAOTONG-UNIVERSITÄT SHANGHAI
Ruckfrei und e-ffizient
 Mit einer elektrischen Keilkupplung zu mehr Schaltkomfort

Produkte

40 AUTOMATIONDESK
Sicher voran
 AutomationDesk vom TÜV SÜD für Tests gemäß ISO 26262 und IEC 61508 zertifiziert

44 AUTOSAR-WERKZEUGKETTE
Rapid AUTOSAR
 MicroAutoBox II als Entwicklungsplattform im AUTOSAR-Kontext

48 TARGETLINK
Sicherer Code nach DO-178C
 Einsatz des Code-Generators TargetLink für Luftfahrtanwendungen

Kurz notiert

- 52 SCALEXIO Ethernet Solution**
 Multiprozessorsysteme mit DS1007 PPC Processor Board
- 53 dSPACE schult die Entwickler von Formula-Student-Rennwagen**
 AutomationDesk 5.0: Testautomatisierung und Testentwicklung optimiert
- 54 ECU Interface Manager 1.6: Unterstützung von Multicore-Steuergeräten**
 ControlDesk 5.4: Erweiterte Hardware-Unterstützung, noch mehr Komfort

dSPACE an Bord

- 55 AdasWorks: Augen für das Fahrzeug**
 ZF: Rangieren per App
 BMW: Driften gegen den Computer



PEFC zertifiziert
 Das Papier dieses Magazins stammt aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern und kontrollierten Quellen.
 www.pefc.de
 PEFC04-01-0810

ClimatePartner[®]
 klimaneutral

Druck | ID: 53446-1505-1001

Honda Aircraft baut eine vollautomatisierte Testeinrichtung (Advanced Systems Integration Test Facility, ASITF) und bringt damit einen neuen Businessjet in Rekordzeit in die Luft.



Erstflug in

Echtzeit



Honda Aircraft legte 2008 am Forschungs- und Entwicklungsstandort in Greensboro, North Carolina den Grundstein für eine weltweit einzigartige Simulations- und Testumgebung für den HondaJet. Die Testeinrichtung ASITF (Advanced Systems Integration Test Facility) ist das Herzstück für die Entwicklung, Validierung und Verifikation von Hondas Engineering-Systemen. Nach einer intensiven Evaluierungsphase mehrerer Hardware-in-the-Loop (HIL)-Anbieter entschied sich Honda Aircraft für HIL-Systeme von dSPACE zur Durchführung der Echtzeitsimulationen. dSPACE entwickelte eine neue HIL-Architektur, mit der Honda seine Avioniksysteme und die Triebwerkssteuerung (Full Authority Digital Engine Control, FADEC) mit der Closed-Loop-Simulation oder mit einer Punkt-zu-Punkt-Prüfung und -Analyse testen konnte. Honda führte den ersten erfolgreichen Flug des HondaJets am 9. Oktober 2009 durch, ca. 14 Monate vor dem eigentlichen Jungfernflug des ersten FAA (Federal Aviation Administration)-konformen HondaJets – ein entscheidender Meilenstein des HondaJet-Programms und ein wichtiger Schritt in Richtung Erstflug eines normgerechten Flugzeugs.

Forschungsphase

Honda begann mit den Forschungen im Bereich Luftfahrt Ende der 1980er Jahre. Honda-Ingenieure können daher auf über 20 Jahre Erfahrung in der Forschung und Entwicklung anspruchsvoller Luftfahrttechnologien zurückblicken. Der erste Entwurf des HondaJets entstand 1997 von Michimasa Fujino, dem heutigen Präsidenten und Geschäftsführer der Honda Aircraft Company. Nur ein Jahr später begannen Forschung und Entwurf des >>



Der Testaufbau bestehend aus dem Iron Bird (links) und den drei dSPACE HIL-Simulatoren (Mitte).

HondaJets mit seiner charakteristischen Triebwerksanordnung über den Flügeln. Viele weitere Meilensteine folgten:

- **2003:** Erster Testflug des HondaJets
- **2005:** HondaJet-Debüt bei der EAA Airventure, Oshkosh, Wisconsin
- **2010:** Jungfernflug des ersten FAA-konformen HondaJets
- **2012:** Produktionsstart des HondaJets
- **2013:** FAA ebnet durch Type-Inspection-Authorization den Weg für Tests an Bord des HondaJets mit FAA-Piloten
- **2014:** Erstflug des serienreifen HondaJets

Der HondaJet vereint viele technologische Innovationen aus dem Flugzeugdesign. Die gewählte Anordnung der Triebwerke sorgt für deutliche Leistungssteigerungen durch geringe-

ren Luftwiderstand und reduzierten Treibstoffverbrauch. Das innovative Design der Flugzeugzelle vermindert darüber hinaus das am Boden hörbare Fluggeräusch und ermöglicht die großzügigen Abmessungen der Kabine sowie die höhere Ladekapazität. Angetrieben wird der HondaJet von zwei hocheffizienten Turbofan-Triebwerken GE Honda HF120.

Advanced Systems Integration Test Facility (ASITF)

Hauptkomponenten der ASITF sind die Flugzeugtesteinrichtung und die Echtzeittest- und Simulationssysteme (Real-time test and simulation, RTSS). Die Entwicklung leitete Masa Hirvonen, Senior Manager Systems Integration. Reale Flugzeugsystem-Hardware und -Software werden im Forschungszentrum miteinander verkabelt. Das RTSS stellt die Systeme sowie die Umgebungs- und Aerody-

namiksimulation bereit. Unterstützt wird das RTSS von dSPACE Echtzeit-Hardware inklusive I/O. Auf dem Echtzeitsystem werden leistungsstarke, Honda-eigene Aerodynamikmodelle mit 6 Freiheitsgraden sowie Triebwerksmodelle ausgeführt. Zusätzliche Simulationsoptionen wurden integriert, um die Navigationsdaten einschließlich GPS und VOR/ILS (VHF Omnidirectional Radio Range/Instrument Landing System)-Signale bereitzustellen. Die HondaJet ASITF verfügt zudem über ein voll ausgestattetes Primär-Flugsteuerungssystem mit einem leistungsstarken Control-Loading-System. Die Avionik-Konfiguration basiert auf der integrierten Garmin G3000™ Avionics Suite mit zwei Touchscreen-Controllern. Zu den realen Bestandteilen des Integrationssystems gehörten zudem die Landeklappenansteuerung (FAS), das Kraftstoffmengensystem, der



„Testautomatisierung und Nachverfolgbarkeit von der Testausführung bis zurück zu den Systemanforderungen sind der Schlüssel zur effizienten, wiederholbaren und vollständig nachverfolgbaren Testbedienung bei der Systementwicklung und -integration. Die Implementierung dieser Schlüsseltechnologien brachte uns einen entscheidenden Vorteil im Vergleich zu anderen Avionikprogrammen.“

Masa Hirvonen, Senior Manager Systems Integration, Honda Aircraft Company



„Mit der Hardware und Software von dSPACE konnten wir die ausgereiften Simulations- und Testmöglichkeiten schnell im HondaJet-Programm implementieren. Durch die offene und erweiterbare Architektur ließ sich die Testeinrichtung leicht aufbauen und erweitern, um die steigenden Anforderungen zu erfüllen. Ohne die hervorragenden Werkzeuge, den Service und den Support von dSPACE hätte unser kleines Team nicht das erreicht, was es erreicht hat.“

Benjamin Hager, Real-Time Control Design and Simulation Engineer, Honda Aircraft Company

automatische Flugsteuerungsrechner (AFCS), die Bugradsteuerung (NWSS) und die Stromversorgung. Diese Einzelkomponenten kombinieren die Möglichkeiten eines maßgeschneiderten Simulators, einer integrierten Testeinrichtung und einem Iron Bird (Aufbau zum Testen elementarer Systeme) in einer einzigen Einrichtung.

Aufbau des Testsystems

dSPACE Inc. liefert das RTSS, das die Testschnittstelle, die Testautomatisierung und die Simulationsmöglichkeiten bereitstellt. Im Wesentlichen besteht das RTSS aus drei Full-Size-HIL-Racks: zwei Racks für die Avionikschnittstellen (RTSS1 und RTSS2) und eines für die Triebwerke (Engine HIL für FADEC-Schnittstellen). Die RTSS-Systeme enthalten sechs DS1006 Processor Boards und fünf Expansion Boxes und unterstützen folgende I/O- und Kommunikationskanäle:

- 820 diskrete I/O-Kanäle (Ein- und Ausgänge)
- 180 ARINC429-Kanäle (90 TX, 90 RX)
- 240 analoge I/O-Kanäle (Ein- und Ausgänge)
- Mehrere serielle Datenbusschnittstellen
- Ethernet-Schnittstellen (UDP und TCP/IP)

Das RTSS verwendet ein spezielles Signal-Break-out-Schnittstellensystem, das den Systemtest und die

Simulation in vier Betriebsmodi ermöglicht:

1. Manuelle Tests (herkömmliches System-Break-out)
2. Computergestütztes Testen (mit ControlDesk®)
3. Automatisiertes Testen (mit AutomationDesk)
4. Pilot-in-the-Loop-Tests (einschließlich Iron-Bird-Einsatz)

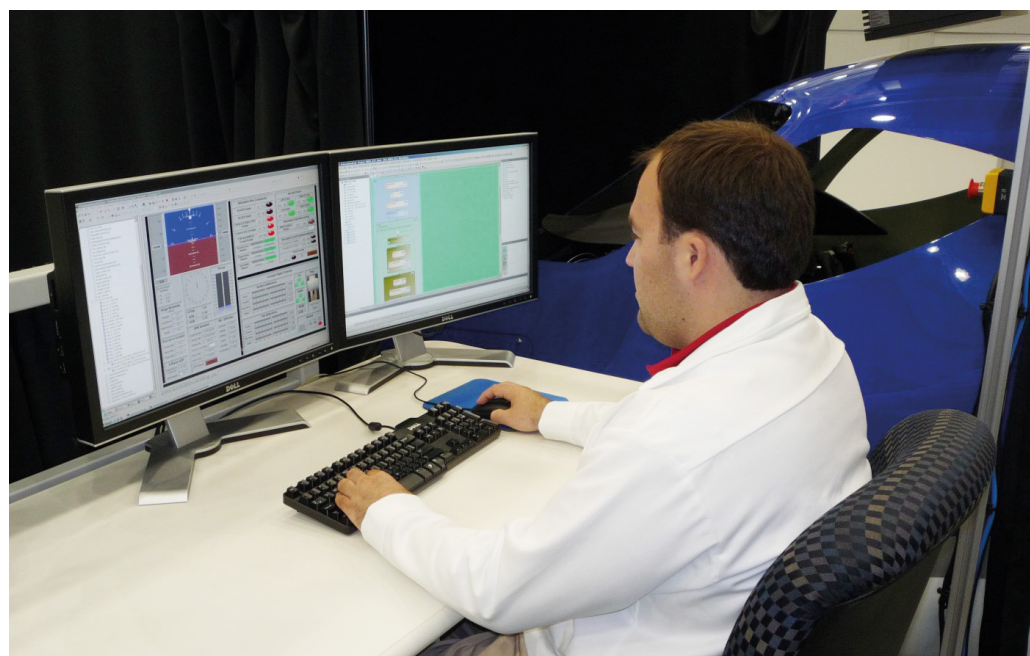
Das RTSS setzt ein Break-out-Box-System ein, um die Signale entweder direkt zu aktivieren, für die Analyse zu unterbrechen, für die Simulation

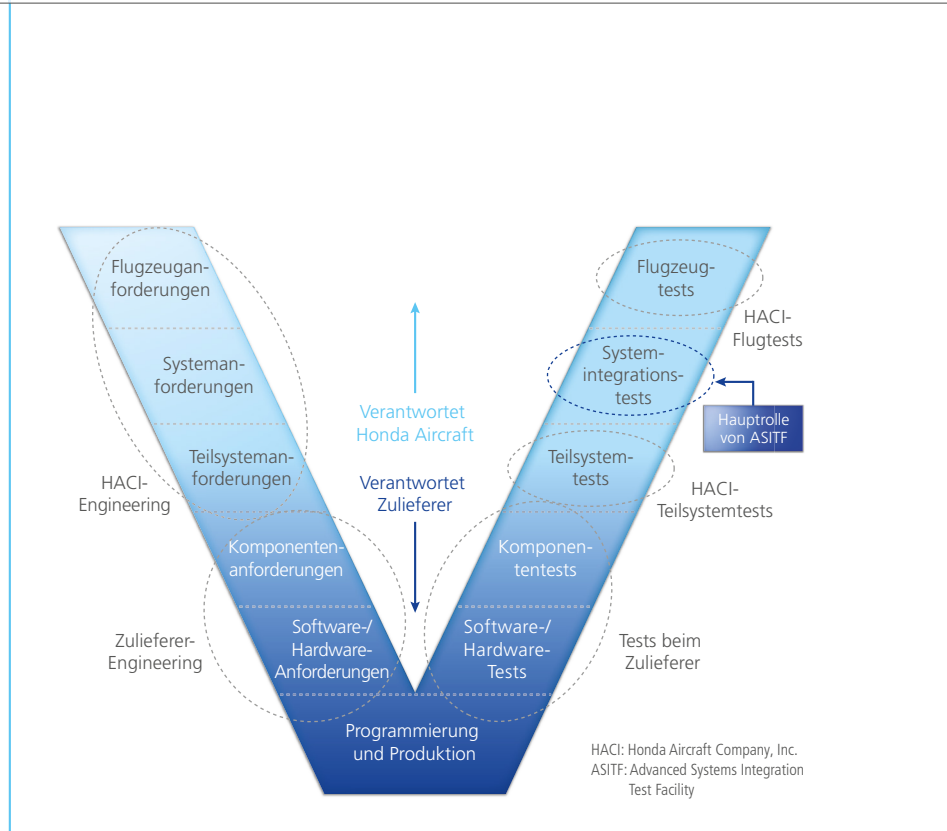
zu umgehen oder direkt für Iron-Bird-Tests anzuschließen.

Systemsimulationssteuerung und Schnittstellen

Der Kern des RTSS-Systems ist ein Flugzeugsimulationsmodell, das mit einem Triebwerkssimulationsmodell und verschiedenen Flugzeugsystemtestschnittstellen integriert ist. Das Modell ist über das Multiprozessorsystem verteilt, um das Modell auf ganzer Bandbreite zu steuern und die Parallelisierung von ARINC-Meldungen und I/O zuzulassen. Mit der Closed-Loop-Simulation im >>

Benjamin Hager, Real-Time Control Design and Simulation Engineer bei Honda Aircraft, bedient das Testsystem mit Hilfe von dSPACE ControlDesk, zusammen mit den Avionik-Instrumenten (Primary Flight Display) und dSPACE AutomationDesk.





Der Entwicklungsprozess des HondaJet-Programms folgt dem V-Modell. Die dSPACE Simulatoren kommen im Wesentlichen während der Systemintegrations- und Testphase zum Einsatz.

RTSS kann das ASITF-„Flugzeug“ in Echtzeit abheben. Die Triebwerksmodellsimulation (RTEM) in Echtzeit ist mit der realen FADEC-Hardware verbunden, so dass die HF 120-Triebwerke im geschlossenen Regelkreis simuliert werden können. Die Echtzeitsimulation von GPS- und VOR/ILS-Signalen (RF-Signale) liefert Navigationsdaten während der bemannten Flüge. Der Pilot-in-the-Loop-Modus verwendet Schnittstellen und Animationsmöglichkeiten des visuellen Systems, um direkte Flugsimulationsinteraktionen bereitzustellen. Dieses visuelle System, das den „Blick aus dem Cockpit“ ermöglicht, ist für Pilot-in-the-Loop-Tests unerlässlich. Honda-Ingenieure nutzen die ControlDesk-programmierbaren Benutzerschnittstellen, um den Schnellzugriff auf die wichtigsten Flugzeugteilsysteme zu ermöglichen und so das Testen zu erleichtern. Über das entsprechende API (application programming interface) erstellten die Ingenieure die Erweiterungen für ControlDesk zur Kali-

brierung sowie Schnittstellen für das Echtzeitmodell und vereinfachten das Vorbereiten von Testaufbauten. dSPACE Testautomatisierungsblöcke der ApplTools Solution helfen dabei, die Komplexität der I/O-Schnittstellen und deren Verwendung zu verwalten. Durch Automatisierung des Layouts und der Modellerstellung von ARINC-Labels gestaltet sich der Umgang mit der Flut an Botschaften deutlich einfacher. Signaldefinitionen stammen nun vom Modell, und Python-Skripte verwenden XML, um die Signale automatisch auf die HondaJet-eigenen Instrumentkonfigurationen zuzuweisen. Schnittstellensteuerungsdefinitionen (ICD) werden für die Verwaltung aller Systemschnittstellensignale eingesetzt, die für die Arbeit mit Signalen in den Modellen und im RTSS-System zum Einsatz kommen. Jede Software im RTSS-System wird per IBM® Rational® ClearCase® gesteuert. IBM Rational ClearQuest® dient der Nachverfolgung von Änderungen und Fragen.



„Die Advanced Systems Integration Test Facility ist ein leistungsstarkes Werkzeug, das unser Entwicklungs- und Zertifizierungsprogramm für den HondaJet weiterhin unterstützt. Mit ASITF konnten wir alle Systemintegrationen evaluieren, die Flugzeugsicherheit erhöhen und unseren anspruchsvollen Light Jet entwickeln. Dieser wird die Erwartungen unserer Kunden übertreffen und ihnen dauerhaft Freude bereiten.“

Michimasa Fujino, Präsident und Geschäftsführer von Honda Aircraft Company.

Entwicklung nach V-Modell

Honda setzt für die Systementwicklung auf das bewährte V-Modell und definiert die Verantwortlichkeiten von Kunden und Zulieferern über Teilsysteme und Methodiken der Systementwicklung. Die Hauptverantwortung von ASITF ist die Systemintegration und -validierung. Die ASITF-Mission ist durch Aufgaben und Verantwortungen gekennzeichnet:

- Hardware-in-the-Loop (HIL)-Testeinrichtung, einschließlich Iron-Bird-Einsatz
- Integrationstests von Flugzeugteilsystemen
- Funktionstests des Flugzeugsystems
- Pilot-in-the-Loop (PIL)-Tests
- Flugtest, Serien- und Flottenunterstützung

Automatisierte Testläufe

Mit Hilfe automatisierter Testskripte, die mit dSPACE AutomationDesk geschrieben wurden, ist das Validierungsteam bestens für die „Lights out Tests“ gerüstet. So können die Flugsteuerungssysteme durchgehend rund um die Uhr getestet werden, auch nachts und am Wochenende mit minimalem Personalaufwand. „Dadurch sind gründlichere und eingehendere Tests im ASITF möglich, gleichzeitig lassen sich die Anforderungen nachverfolgen“, so Jace Allen, Lead Technical Specialist bei dSPACE, Inc. Honda Aircraft schreibt die Anforderungsspezifikationen und Testpläne mit IBM Rational DOORS®. Spezifische Anforderungen sind mit Testfällen in DOORS verbunden und dSPACE Connect&Sync verbindet die HondaJet-Testfälle mit Automation-

Desk-Testprojekten. Die Testergebnisse werden nach den Testdurchläufen in AutomationDesk in das DOORS-Dokument zurückimportiert. Diese Integration ermöglicht Honda Aircraft die Nachverfolgung ihrer Testprozesse und erlaubt die direkte Anbindung von Anforderungen an aktuelle Testergebnisse. Honda will die Nachverfolgbarkeit verbessern und die Testmöglichkeiten durch eine integrierte Testverwaltung mit dSPACE SYNECT® Test Management erweitern. ■

Mit freundlicher Genehmigung der Honda Aircraft Company, Inc.

Sehen Sie, wie der erste serienreife HondaJet abhebt:
www.dspace.com/go/dMag_20152_HJET



Zusammenfassung des HondaJet-Projekts

Die Honda Aircraft Company erstellte eine weltweit einzigartige Simulations- und Testeinrichtung für HondaJet. Diese Advanced Systems Integration Test Facility (ASITF) ist das Zentrum für die Entwicklung, die Validierung und die Verifikation ihrer Engineering-Systeme. Durch den Einsatz von Werkzeugen wie dSPACE Simulatoren und die Testautomatisierungs-

software AutomationDesk ist Honda Aircraft in der Lage, alle Flugsteuerungs- und Avioniksysteme vollständig und automatisiert zu testen. Die Ingenieure bei Honda Aircraft sind überzeugt, dass die Hardware- und Software-Werkzeuge von dSPACE entscheidend dazu beitragen, die Avionik-Systeme zuverlässig und effizient zu validieren und zu verifi-

zieren. Mit dSPACE Werkzeugen konnten die Entwickler folgende Testmethoden einsetzen:

- Manuelle Tests
- Computergestütztes Testen mit dSPACE ControlDesk
- Automatisiertes Testen mit dSPACE AutomationDesk
- Pilot-in-the-Loop-Tests (einschließlich Iron-Bird-Einsatz)

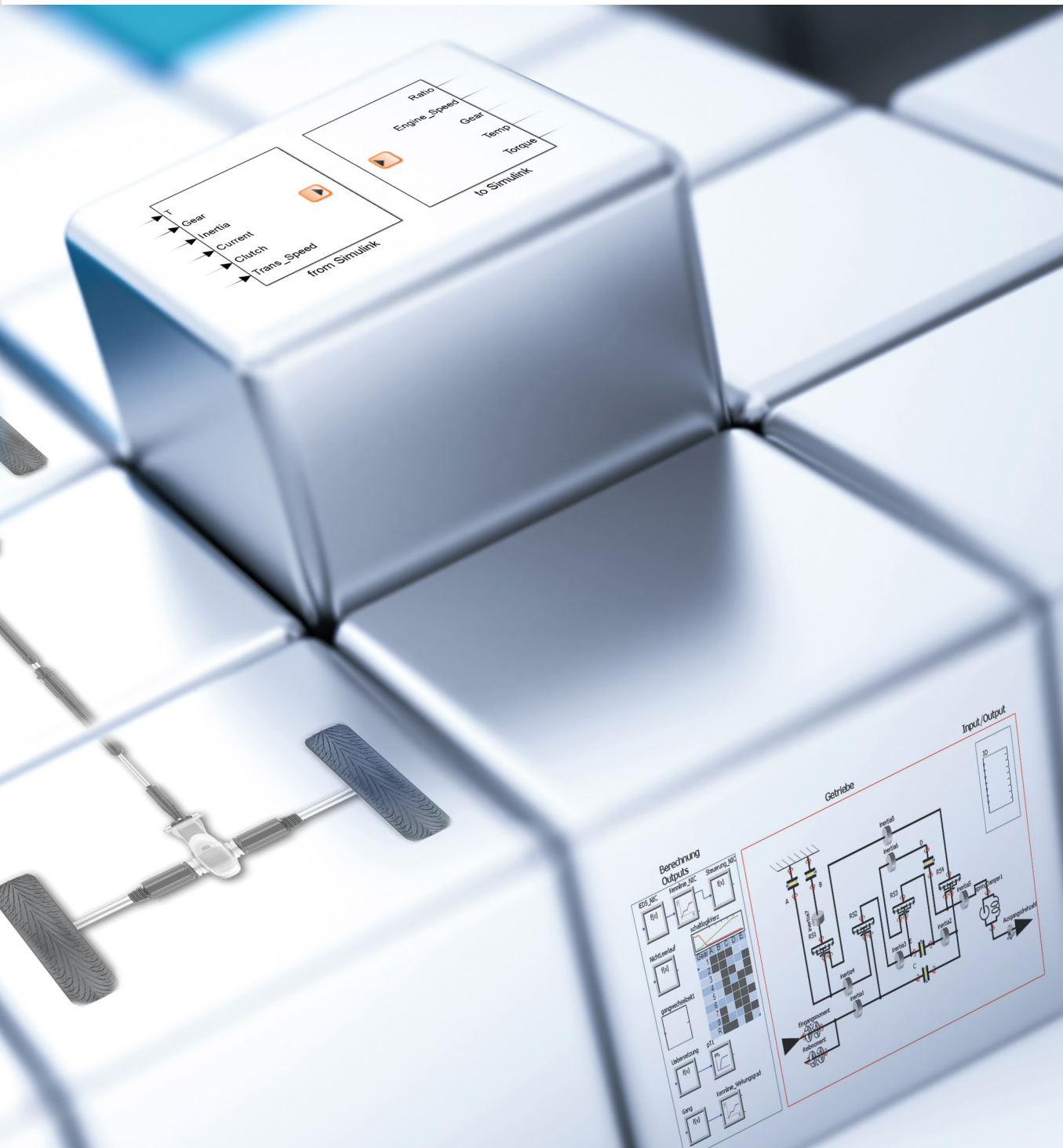


HIL-Pilotprojekt zum Austausch von
Teilmodellen basierend auf FMI

Immer das

passende Modell

Für aussagekräftige Hardware-in-the-Loop-Tests werden echtzeitfähige Modelle benötigt, die das erforderliche Systemverhalten mit ausreichender Genauigkeit darstellen können. Gemeinsam testen BMW, ITI und dSPACE die Weitergabe und Verwendung eines echtzeitfähigen Modellteils über ein offenes, werkzeugunabhängiges Interface.



Zusammen in einem Gemeinschaftsprojekt haben BMW, dSPACE und ITI anhand eines Automatikgetriebemodells untersucht, ob der Functional-Mock-up-Interface (FMI)-Standard (Version 2.0) für den Einsatz in einer Echtzeit-Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulation geeignet ist. Zusätzlich wurde der Prozessablauf für den Austausch von Modellteilen in einem bestehenden Simulationsmodell gegen FMI-basierte Modellteile prototypisch erprobt.

Aufbau des Testsystems

Für den Test von Steuergeräten am HIL-Simulator sind zwei Dinge notwendig, damit die Simulation ausreichend real wirkt und somit keine Einträge im Fehlerspeicher des Steuergeräts entstehen: das korrekte Zusammenspiel der Steuergeräte-Schnittstellen mit dem HIL-Simulator und realitätsnahe Simulationsmodelle. Nur so kann das Verhalten des Steuergeräts naturgetreu getestet werden.

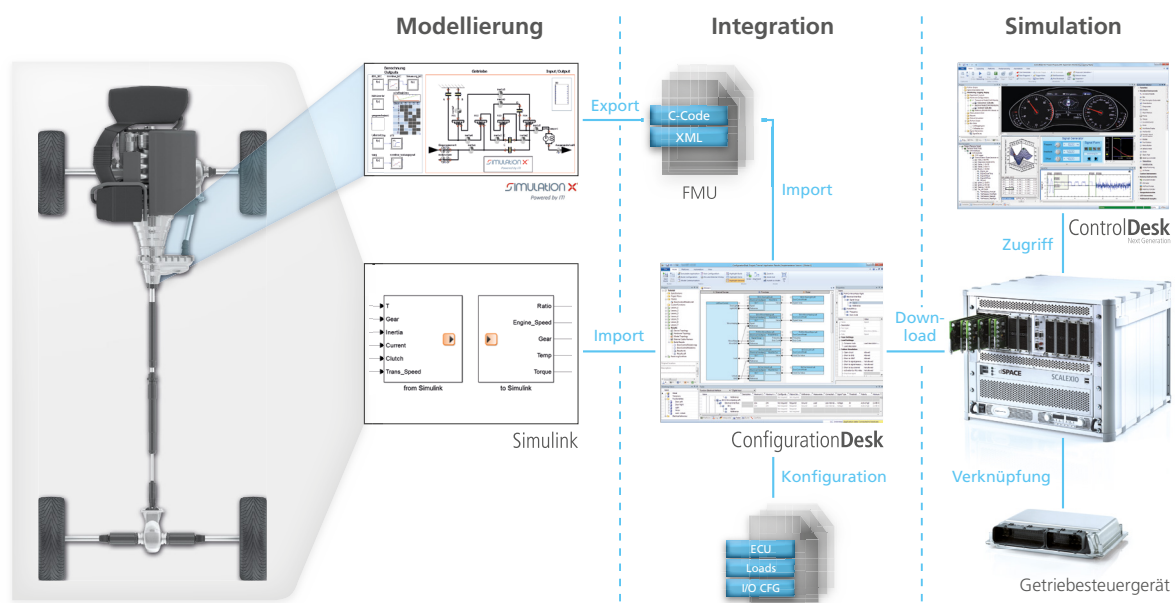
Um im Projekt die Tests für einen realistischen Anwendungsfall durchzuführen, wurden das elektrische Interface und die Umgebungssimulationsmodelle von einem bestehenden HIL-Aufbau für das Steuergerät eines 8-Gang-Automatikgetriebes übernommen und für den dSPACE HIL-Simulator SCALEXIO® umgesetzt. Neben MATLAB®/Simulink® und SimulationX® von ITI zur Modellierung wurde im Projekt die dSPACE Software ConfigurationDesk® zur Konfiguration des SCALEXIO-Systems sowie dSPACE ControlDesk® Next Generation zur Steuerung der HIL-Simulation (Abbildung 1) eingesetzt.

Die Idee hinter FMI

Grundgedanke bei FMI ist das Vermeiden doppelter Arbeit: Ziel ist es, einmal entwickelte Simulationsmodelle, die von unterschiedlichen Zulieferern stammen können, sowohl in verschiedenen Entwicklungsphasen als auch in verschiedenen Abteilungen

eines Unternehmens wiederzuverwenden. Dazu ist ein Standard erforderlich, der die Weitergabe und die Integration von Umgebungsmodellen vereinfacht, die mit Modellierungswerkzeugen unterschiedlicher Tool-Anbieter entwickelt wurden. Functional Mock-up Interface (FMI) ist ein solcher offener, anbieterunabhängiger Standard. Durch ihn ist es möglich, Teilmodelle mit dem jeweils idealen Modellierungsansatz zu entwickeln und diese einfach in einem Projekt zusammenzuführen. Weitergegeben werden die Modellteile über sogenannte Functional Mock-up Units (FMU). Diese FMUs sind komprimierte Ordnerstrukturen und enthalten die Modellfunktionalität sowie die notwendige Interface-Beschreibung als ANSI-C-kompatible API und XML-Datei. Zusätzlich können noch Dokumentation und weitere vom Modell benötigte Daten hinzugefügt werden. Für HIL-Projekte sind die neuen Funktionen des FMI-2.0-Standards vor-

Abbildung 1: Aufbau des Gesamtsystems. Das Simulink-Modell und die FMU von ITI werden in ConfigurationDesk zu einem Gesamtmodell integriert, konfiguriert und anschließend für die HIL-Simulation auf SCALEXIO geladen. Die Simulationskontrolle erfolgt mit ControlDesk Next Generation.



teilhaft, beispielsweise die Möglichkeit zur Anpassung von Parameterwerten zur Laufzeit der Simulation und die direkte Definition von Schrittlängen für echtzeitoptimierte Solver. Daher wird in diesem Projekt FMI 2.0 for Co-Simulation verwendet. In der Variante FMI for Co-Simulation ist der passende echtzeitoptimierte Solver bereits in der FMU integriert.

Vorteile des neuen Modells

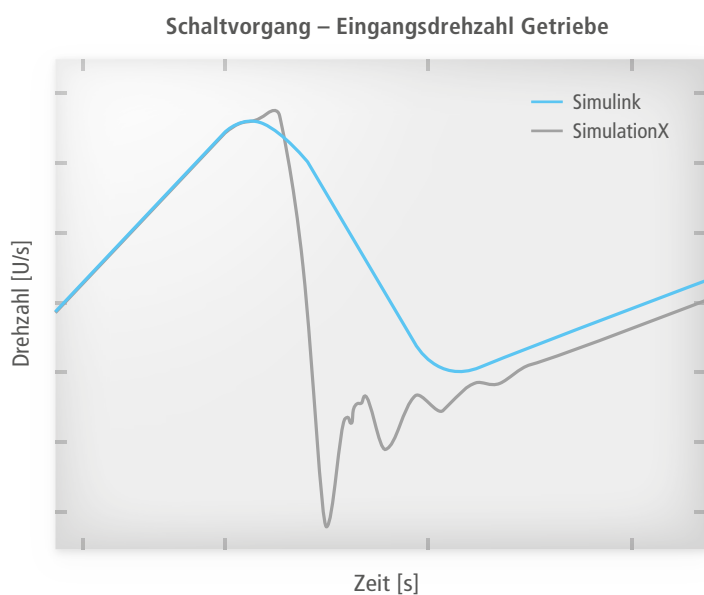
Die beschriebenen Vorteile von FMI sollen im Projekt genutzt werden, um ein neues, Modelica-basiertes, akausales, dynamisches Getriebemodell in das bestehende auf Simulink basierende Gesamtmodell des Antriebsstrangs zu integrieren. Ziel ist es, dadurch das elastische Verhalten des Getriebes in der Simulation des Gesamtverhaltens besser zu berücksichtigen. Hierfür wurden von ITI vier Planetenradsätze mit variablen Übersetzungen in SimulationX modelliert, inklusive der entsprechenden Träg-

heiten und Elastizitäten sowie dem Eingangs-, Ausgangs- und Reibmoment. Die schaltbaren Kupplungen sind als Reibstellen mit entsprechenden physikalischen Reibverhalten inklusive Wechsel zwischen Haften und Gleiten modelliert. Die Kupplungen werden von einer Schaltlogik mit drehzahl- und drehmomentabhängigem Schaltdiagramm angesteuert. Abbildung 2 verdeutlicht den Unterschied in der Abbildungsgenauigkeit des dynamischen Getriebeverhaltens, simuliert mit dem einfachen Simulink- und dem SimulationX-Modell. Das Umgebungsmodell des Antriebsstrangs wird mit einer Simulationsschrittweite von 1 ms in Echtzeit berechnet. Das neue in SimulationX modellierte und als FMU exportierte Teilmodell des Getriebes muss diesen Echtzeitanforderungen genügen.

Integration des neuen Modellteils

Zum Startzeitpunkt des Projekts wurde das Modell-Interface für >>

Abbildung 2: Die blaue Kurve (Simulink) zeigt den idealisierten Drehzahlsprung beim Schaltvorgang des bisherigen signalflussorientierten Getriebemodells, die graue Kurve (SimulationX) macht das schwingungsbehaftete und somit realistischere Verhalten des Getriebes durch die akausale Modellierungsweise deutlich.



Über FMI

Der FMI-Standard wurde zuerst 2011 im Rahmen des MODELISAR-Projekts definiert und wird derzeit vom FMI-Projekt der Modelica Association weiterentwickelt. Schwerpunkt ist der Austausch von Modellen dynamischer Systeme, d.h. von Modellen, die durch Differential-, algebraische und diskrete Gleichungen definiert sind. Die aktuelle Version 2.0 des Standards enthält neue Funktionen, die für die HIL-Simulation von Vorteil sind. Besonders hilfreich ist die Möglichkeit der initialen Festlegung der Schrittweite für echtzeitoptimierte Solver und die sogenannten „tunable parameters“, mit denen sich Parameterwerte während der Simulation ändern lassen. Erforderlich ist dies für interaktive Experimente und HIL-Simulationen, die nicht einfach erneut gestartet werden können, da sich echte Hardware im Regelkreis befindet.

www.dspace.com/go/fmi

Über ProSTEP

ProSTEP ist ein international aktiver Verein, der sich der Entwicklung von zukunftsweisenden Lösungsansätzen und Standards für das Produktdatenmanagement und die virtuelle Produktentstehung verschrieben hat.

www.prostep.org

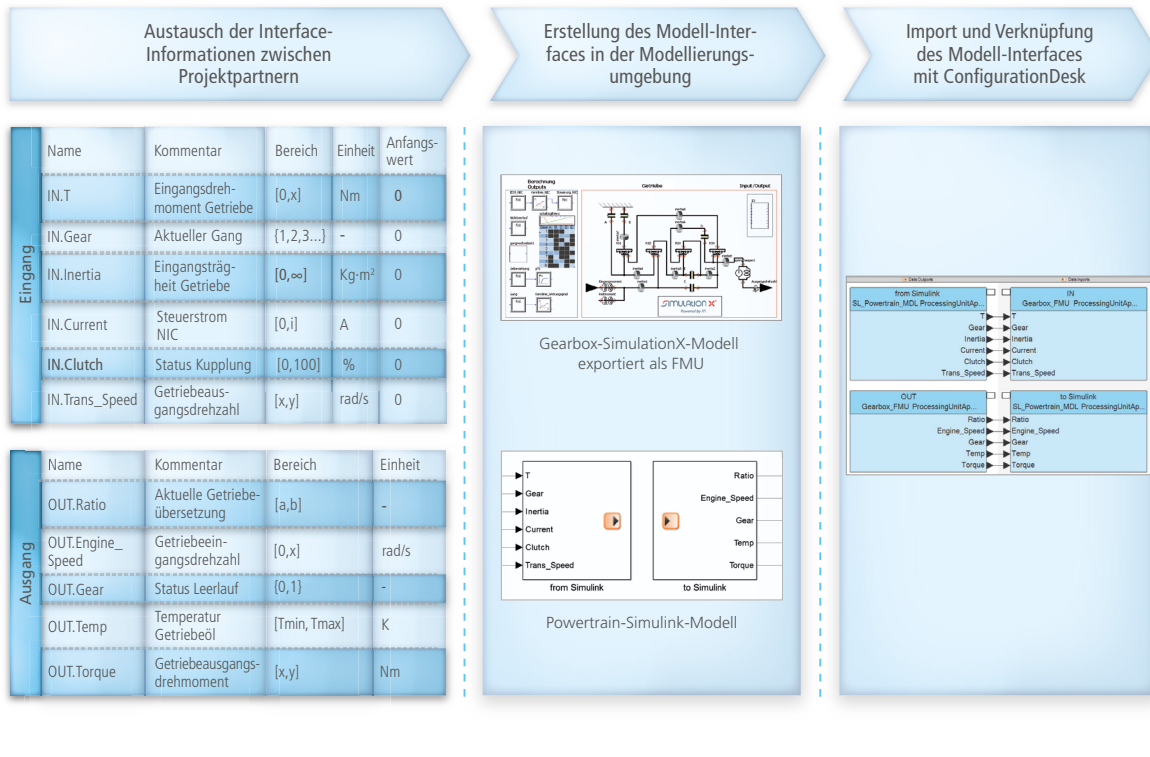


Abbildung 3: Das vorgegebene Modell-Interface wird durchgängig in allen Arbeitsschritten berücksichtigt und umgesetzt.

die Integration des Getriebemodells definiert und durchgängig im Projekt von allen Projektpartnern verwendet (Abbildung 3). Um das neue Getriebemodell in das bestehende Simulink-basierte Antriebsstrang-Umgebungsmodell zu integrieren, wurden folgende Schritte durchgeführt:

1. Das vorhandene einfache Getriebemodell wurde aus dem Simulink-Modell ausgeschnitten.
2. Im Simulink-Modell wurden die notwendigen Modellschnittstellen mittels dSPACE Model-Port-Blöcken hinzugefügt.
3. Die notwendigen Daten für die Erstellung des neuen Getriebemodells wurden an ITI weitergeleitet. Dazu gehörten
 - a. eine Schnittstellenbeschreibungsdatei,

- b. die benötigte Modellfunktionalität,
 - c. die technischen Randbedingungen (verwendete C-Compiler, Echtzeitanforderungen u.a.).
4. ITI erstellte basierend auf diesen Daten ein physikalisches SimulationX-Modell und lieferte eine FMU und eine Simulink-basierte S-Funktion als Vergleichsbasis für Tests.
 5. Zunächst wurde über die Einbindung der S-Funktion die korrekte Funktionsweise des SimulationX-Getriebemodells getestet (Variante 1); danach konnte die FMU in das Gesamtmodell eingebunden und die Funktion des Interfaces getestet werden (Variante 2).

Tests und Ergebnisse

Für beide Varianten, d.h. die Einbindung über S-Funktion über Simulink

integriert (Variante 1) und per FMU mit Hilfe von ConfigurationDesk in das Gesamtmodell eingebunden (Variante 2), wurden mit ControlDesk Next Generation am dSPACE HIL-Simulator SCALEXIO Closed-Loop-Testszenerarien durchgeführt. In beiden Fällen ergaben sich nahezu identische Berechnungszeiten für das getestete Modell, und die Testergebnisse waren Bit-identisch. Die neue Variante des Getriebemodells, die das dynamische Verhalten mit Vibrationsphänomenen bis zu 40 Hz berücksichtigt, konnte numerisch stabil in Echtzeit mit einer Schrittweite von 1 ms berechnet werden. FMI 2.0 for Co-Simulation bietet sich daher für die standardisierte, werkzeugunabhängige Weitergabe von echtzeitfähigen Modellen an. Der FMI-Standard kann somit dabei helfen, den abteilungsübergreifenden Aus-

tausch von Umgebungsmodellen zu vereinfachen.

Werkzeugkettenintegration

Der Austausch eines Modellteils ist nur der erste Schritt; wichtig ist jedoch auch, wie das ausgetauschte Element in der bereits bestehenden Werkzeugkette verwendet werden kann. Um einen zeit- und ressourcensparenden Anpassungsprozess zu erreichen, dürfen keine wesentlichen Anpassungen an den Konfigurations- oder Experimentierwerkzeugen erforderlich sein. Weil die Konfigurationssoftware ConfigurationDesk sowohl Simulink als auch FMI als Importformat für Umgebungsmodelle unterstützt, ließ sich der Modelteilaustausch über das etablierte Modell-Interface sehr schnell und einfach durchführen. Die neuen Modellschnittstellen wurden von ConfigurationDesk erkannt und konnten zur Weiterleitung der Modellsignale genutzt werden. Auch in ControlDesk Next Generation sind die Modellparameter und Variablen der FMU in gleicher Weise verfügbar wie in Modellen, die auf Simulink basieren. Die bestehenden Tests und

das Experiment-Layout für das Getriebe-HIL-System konnten dadurch einfach angepasst und wiederverwendet werden. Dies ermöglichte in dem Projekt die Wiederverwendung des bereits eingeführten Arbeitsprozesses und der zugehörigen HIL-Tests ohne weitergehende Anpassungen, nachdem im Gesamtmodell das neue Getriebemodell basierend auf FMI integriert war.

Ausblick

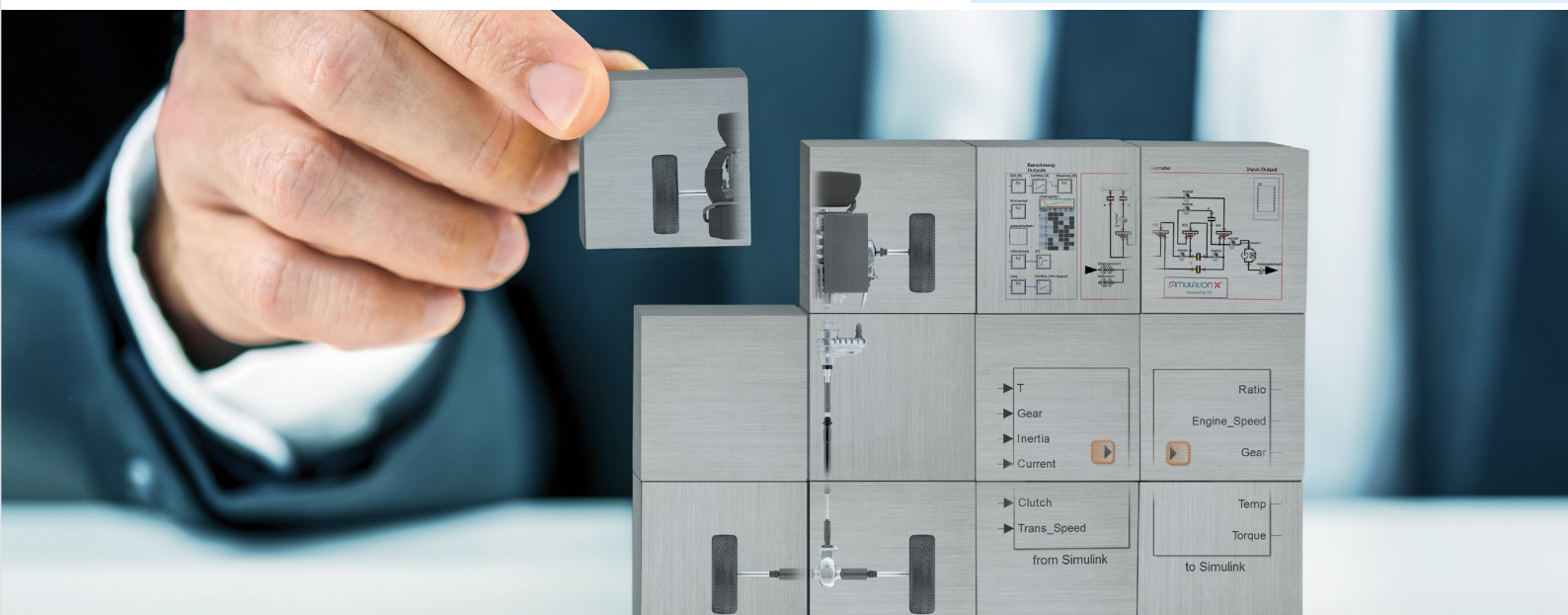
Die bei der Durchführung des Projekts gesammelten Erfahrungen flossen auch in den vom ProSTEP Smart Systems Engineering Project veröffentlichten Arbeitsablauf für die Zusammenarbeit mehrerer Partner beim Modellaustausch basierend auf FMI ein. Es ist geplant, das hier beschriebene Projekt weiterzuführen, um den Arbeitsablauf zum Austausch von Intellectual-Property (IP)-geschützter FMUs für HIL-Tests zu untersuchen. ■

Mit freundlicher Genehmigung der BMW AG

Zusammenfassung

In einem Pilotprojekt haben BMW, dSPACE und ITI anhand eines Automatikgetriebemodells untersucht, ob der Functional-Mock-up-Interface (FMI)-Standard für den Einsatz in einer Echtzeit-Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulation geeignet ist. Die neue in SimulationX modellierte, auf FMI basierende Variante des Getriebemodells konnte numerisch stabil in Echtzeit mit einer Schrittweite von 1 ms berechnet werden. FMI 2.0 for Co-Simulation erscheint daher für die Weitergabe von echtzeitfähigen Modellen geeignet. Durch die gute Integration der FMI-basierten Modelle in die dSPACE Toolkette konnten bestehende Tests und Experiment-Layouts mit wenig Aufwand wiederverwendet werden. Da das Steuergerät des Automatikgetriebes fehlerspeicherfrei am SCALEXIO-HIL-System läuft, sind nun detailliertere HIL-Tests unter Berücksichtigung der dynamischen Effekte des Getriebes in Echtzeit möglich.

Durch die Nutzung des FMI-Standards können zukünftig herstellerunabhängig genau die Modellelemente kombiniert werden, die am besten passen.



Sportliche Modelle

Die Fahrdynamik ist eine Paradedisziplin im Fahrzeugbau. In einem effizienten, durchgängigen Fahrzeugentwicklungsprozess sorgt Porsche für ausgezeichnete fahrdynamische Gene von den ersten Entwicklungsschritten bis zum finalen Produkt.





Abbildung 1: HIL-Prüfstände für die Absicherung der Domäne Antrieb/Fahrwerk, in der Mitte hinten ein Aufbau zur Aufnahme der Steuergeräte und für die Integration realer Komponenten (z.B. Drosselklappen, Injektoren, Getriebe-Ventile, Aktoren für die elektrische Parkbremse, Kühlerjalousie, etc.).

Porsche-Fahrzeuge sind für ihre exzellente Fahrdynamik bekannt. Um diese herausragende Qualität zu erreichen, müssen alle Baugruppen am Fahrzeug, besonders Karosserie, Fahrwerk und Reifen, exakt aufeinander abgestimmt sein. Für die angestrebten Ziele im Fahrdynamikbereich spielen aktive Fahrwerkskomponenten eine immer wichtigere Rolle. Beispiele sind neben dem elektronischen Stabilitätsprogramm (ESP) die aktive Dämpferregelung sowie die Dynamic Chassis Control, welche die Wankneigung in Kurven praktisch auf null reduziert und so Agilität und Komfort verbessert. Weil die Zahl der Fahrzeugvarianten stetig wächst, während

gleichzeitig die Entwicklungszeiträume immer kürzer werden, gewinnt die virtuelle Abbildung des Fahrzeugs im Entwicklungsprozess zunehmend an Bedeutung.

Funktions- und Steuergeräteabsicherung mit HIL-Prüfständen

Für automatisierte Tests der elektronischen Steuergeräte während der

Entwicklung für die Domänen Antrieb/Fahrwerk sowie Karosserie/Infotainment eingesetzt. An diesen Prüfständen sind alle Steuergeräte der jeweiligen Domäne verbaut (Abbildung 1). Während an der Karosserie/Infotainment-Domäne relativ einfache Simulationsmodelle ausreichen, ist der Modellierungsaufwand für die Domäne Antrieb/Fahrwerk ungleich

höher. Beispiele sind die komplexen Modelle für Verbrennungsmotoren und Getriebe. Diese Modelle simulieren sämtliche Systemgrößen (z.B. Sensorsignale, Bussignale) und stellen sie über den HIL-Simulator für den Test der Steuergeräte zur Verfügung. Ausnahmen sind Systeme, bei denen eine Trennung zwischen

„Bei der Absicherung der Fahrdynamik-Steuergeräte mit dem HIL-Verfahren setzen wir auf ASM Vehicle Dynamics von dSPACE.“

Dr. Günter Hetzel, Porsche AG

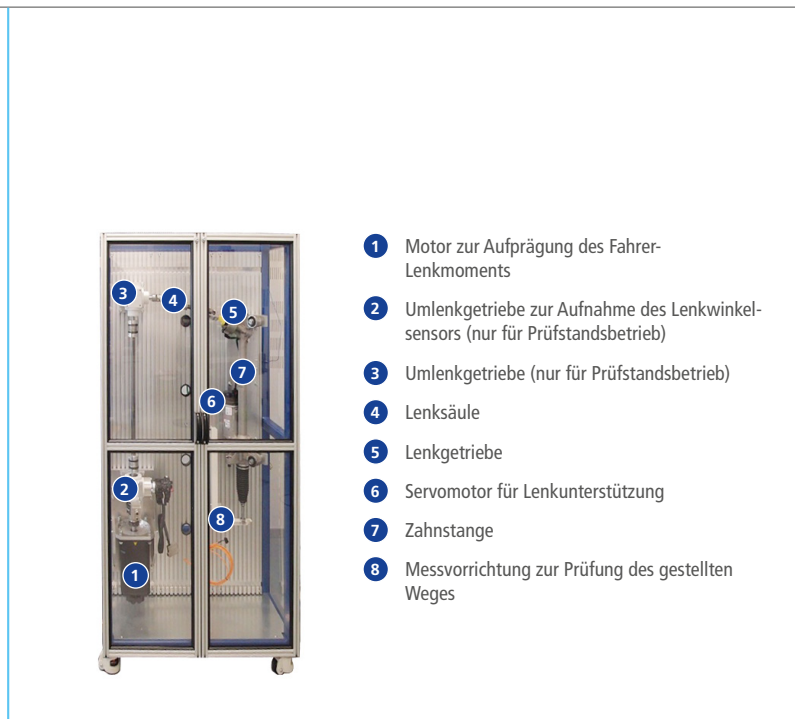
Entwicklung hat sich bei Porsche die Hardware-in-the-Loop-Simulation (HIL-Simulation) durchgesetzt. Sie ist heute ein elementarer Bestandteil im Entstehungsprozess eines Produkts. HIL-Verbundprüfstände werden bei der Integration und Funktionsabsi-

cherung für die Domänen Antrieb/Fahrwerk sowie Karosserie/Infotainment eingesetzt. An diesen Prüfständen sind alle Steuergeräte der jeweiligen Domäne verbaut (Abbildung 1). Während an der Karosserie/Infotainment-Domäne relativ einfache Simulationsmodelle ausreichen, ist der Modellierungsaufwand für die Domäne Antrieb/Fahrwerk ungleich höher. Beispiele sind die komplexen Modelle für Verbrennungsmotoren und Getriebe. Diese Modelle simulieren sämtliche Systemgrößen (z.B. Sensorsignale, Bussignale) und stellen sie über den HIL-Simulator für den Test der Steuergeräte zur Verfügung. Ausnahmen sind Systeme, bei denen eine Trennung zwischen

Steuergerät und Aktorik nicht so einfach möglich ist, zum Beispiel die elektrische Lenkung. In diesem Fall wird deshalb zusätzlich das komplette mechatronische System inklusive Steuergerät, E-Maschine und Lenksäule verbaut. Ein Servomotor übernimmt dabei die Rolle des Fahrers und generiert das Lenkmoment (Abbildung 2). Die Komplexität der Funktionen der Fahrwerksteuergeräte stellt ebenfalls hohe Ansprüche an die am HIL-Prüfstand eingesetzten Fahrzeugmodelle. Vor allem für die Untersuchung und Prüfung der fahrdynamischen Funktionen des Steuergeräteverbunds werden validierte Modelle benötigt, die das reale Fahrzeugverhalten sehr genau abbilden. Die an Antrieb/Fahrwerk-Prüfständen verwendeten Simulationsmodelle setzen sich aus Porsche-eigenen Modellen (z.B. für Getriebe) und den Automotive Simulation Models (ASM) von dSPACE zusammen. Die Simulation der Fahrdynamik erfolgt dabei mit ASM Vehicle Dynamics.

Fahrdynamiksimulation im Fahrzeugentwicklungsprozess

Simulationsmodelle können schon in frühen Projektphasen die objektive Beurteilung fahrdynamischer Fahrzeugeigenschaften unterstützen. Sie erlauben eine systematische, automatisierte und damit effiziente und umfassende Überprüfung aller



- 1 Motor zur Aufprägung des Fahrer-Lenkmoments
- 2 Umlenkgetriebe zur Aufnahme des Lenkwinkelsensors (nur für Prüfstandsbetrieb)
- 3 Umlenkgetriebe (nur für Prüfstandsbetrieb)
- 4 Lenksäule
- 5 Lenkgetriebe
- 6 Servomotor für Lenkunterstützung
- 7 Zahnstange
- 8 Messvorrichtung zur Prüfung des gestellten Weges

Abbildung 2: Aufbau zum Test der elektrischen Lenkung.

relevanten Kriterien. Abhängig von der Fragestellung kommen im Bereich Fahrwerk/Fahrdynamik im Entwicklungszentrum Weissach der Porsche AG unterschiedliche Modellklassen zum Einsatz (Tabelle 1):

- Referenzmodelle mit hoher Abbildungsgüte der Fahrwerks- und Fahrzeugkomponenten, aber erhöhter Rechenzeit
- Funktionsmodelle mit vereinfachter Abbildung der Bauteile, die in Echtzeit oder schneller simuliert werden können
- Eigenschaftsmodelle mit zusammenfassender Beschreibung der Komponenten und ähnlicher Komplexität wie Funktionsmodell, aber sehr kurzer Rechenzeit

- Komponentenmodelle ohne Gesamtfahrzeugmodell zur Betrachtung einzelner Baugruppen im Sinne eines Prüfstandmodells

Um diese Modellklassen für die jeweilige Aufgabenstellung gleichbedeutend und ohne Zusatzaufwand nutzen zu können, wurde ein Prozess zur durchgängigen Parametrierung und einheitlichen Validierung etabliert (Abbildung 3). Mit Hilfe dieser Vorgehensweise lassen sich die Modelle aus den jeweils übergeordneten Klassen erstellen und auf Basis einheitlicher Fahrmanöver validieren. Da hierbei nur Open-Loop-Fahrmanöver – beispielsweise Vorgabe eines Lenk- und Geschwindigkeitsprofils – zum Einsatz kommen, >>

Typ	Echtzeitfähigkeit	Bedatungsaufwand	Bauteilmodelle
Referenzmodell	nein	hoch	exakte Abbildung
Funktionsmodell	ja	teilautomatisierte Bedatung aus Referenzmodell	vereinfacht
Eigenschaftsmodell	ja	teilautomatisierte Bedatung aus Referenzmodell, Funktionsmodell oder Messungen	vereinfacht, Zusammenfassung von Bauteilen
Komponentenmodell	modellabhängig	modellabhängig	modellabhängig

Tabelle 1: Klassen der Fahrdynamikmodelle.

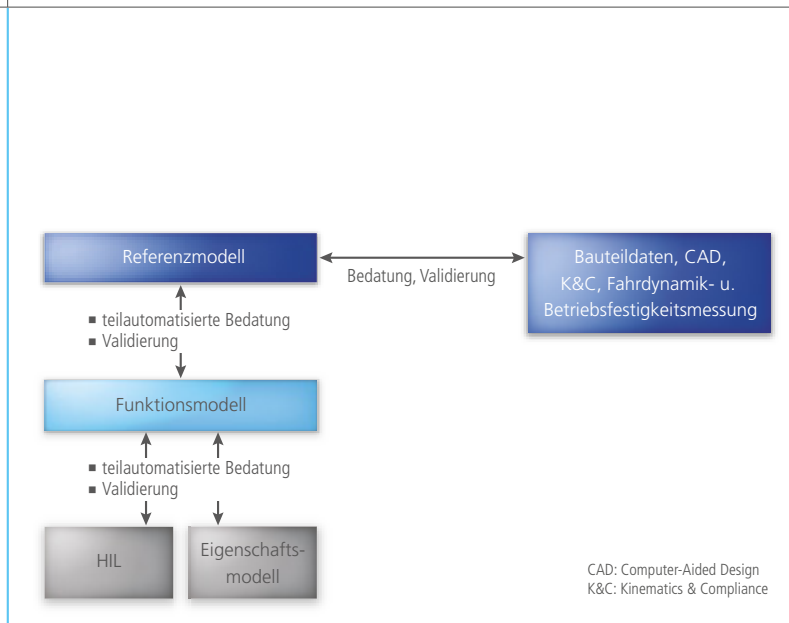


Abbildung 3: Prozess zur durchgängigen Modellbedatung.

ist eine objektive Erfassung der Fahrzeugeigenschaften sowohl im Fahrversuch als auch in der Simulation auf einfache Weise möglich. Dabei wird sowohl das stationäre als auch das dynamische Verhalten berücksichtigt.

Kombination der Stärken am HIL-Prüfstand

Um einerseits vom einheitlichen Modellbereitstellungsprozess zu profitieren, andererseits aber die ausgereifte Testautomatisierung und robuste dSPACE ASM-Umgebung weiterverwenden zu können, wurde eine Funktion zur Übersetzung der Parameter des Funktions-

modells erstellt. Hierdurch können nun vollautomatisch Modelldatensätze für den HIL-Prüfstand erzeugt werden, die bezüglich der Fahrwerkseigenschaften weitestgehend mit dem Referenzmodell übereinstimmen. Mit den fahrdynamisch validen Modellen lassen sich die funktionalen Aspekte des Steuergerätes zufriedenstellend und hinreichend überprüfen.

Win-Win-Situation

Durch die beschriebene Vorgehensweise stehen innerhalb des schon etablierten Modellbereitstellungsprozesses auch die am HIL-Prüfstand benötigten, vollständig para-

metrierten Fahrwerksmodelle zur Verfügung. Die Steuergeräteentwicklung und -prüfung profitiert dadurch in frühen Projektstadien von validierten Fahrwerksmodellen. Die mit dem Steuergeräteverbund durchgeführten Simulationen dienen im Weiteren zur Validierung einer Software-in-the-Loop (SIL)-Umgebung, in der mit denselben Fahrzeugdatensätzen Software-Modelle der Steuergeräte untersucht werden können. Hierdurch steht eine leistungsfähige und robuste Werkzeugkette für alle Phasen der Fahrzeugentwicklung zur Verfügung.

Ausblick

In Zukunft soll für alle kommenden Fahrzeugprojekte eine durchgängige Palette von Modellen zur Verfügung stehen. In einem nachfolgenden Schritt sollen dann sowohl die Parameterbereitstellung als auch die Validierung und der Vergleich der Ergebnisse von HIL- und SIL-Simulation automatisiert werden. Dies wird die Arbeitsabläufe bei der virtuellen Erprobung noch effizienter gestalten. ■

Dr. Günter Hetzel, Florian Strecker,
Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG

Dr. Günter Hetzel

Dr. Günter Hetzel ist Fachreferent für Testtools und Methoden bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG in Weissach, Deutschland.



Florian Strecker

Florian Strecker ist Fachreferent für Fahrdynamik-Berechnung und Systemdynamik bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG in Weissach, Deutschland.



Sehen ist wissen: Die Animationssoftware MotionDesk ist das perfekte Werkzeug, um simulierte Fahrmanöver zu visualisieren.

ASM Vehicle Dynamics

ASM Vehicle Dynamics ist ein Simulationsmodell, mit dem das fahrdynamische Verhalten eines Fahrzeugs realitätsnah in Echtzeit dargestellt wird. Die physikalischen Fahrzeugeigenschaften werden durch ein Mehrkörpersystem mit 26 Freiheitsgraden abgebildet. Es beinhaltet einen konfigurierbaren Antriebsstrang mit elastischen Wellen, ein Bremskreislauf- und Motormodell, unterschiedliche Reifenmodelle, nicht-lineare Kinematik- und Elastokinematikeigenschaften des Fahrwerks, eine dreidimensionale Beschreibung der Aerodynamik sowie ein komplexes Lenkungsmodell mit mehreren Freiheitsgraden. Auch die Umgebung, bestehend aus einer Straße, Fahrmanövern



sowie einem Open- und Closed-Loop-Fahrer, ist enthalten. Sämtliche Parameter können zur Laufzeit geändert werden. Darüber hinaus können die modularen Komponenten

der zusätzlichen ASM zu virtuellen Gesamtfahrzeugen verschaltet werden, um z.B. Steuergeräte-Netzwerke in einer HiL-Umgebung testen zu können.

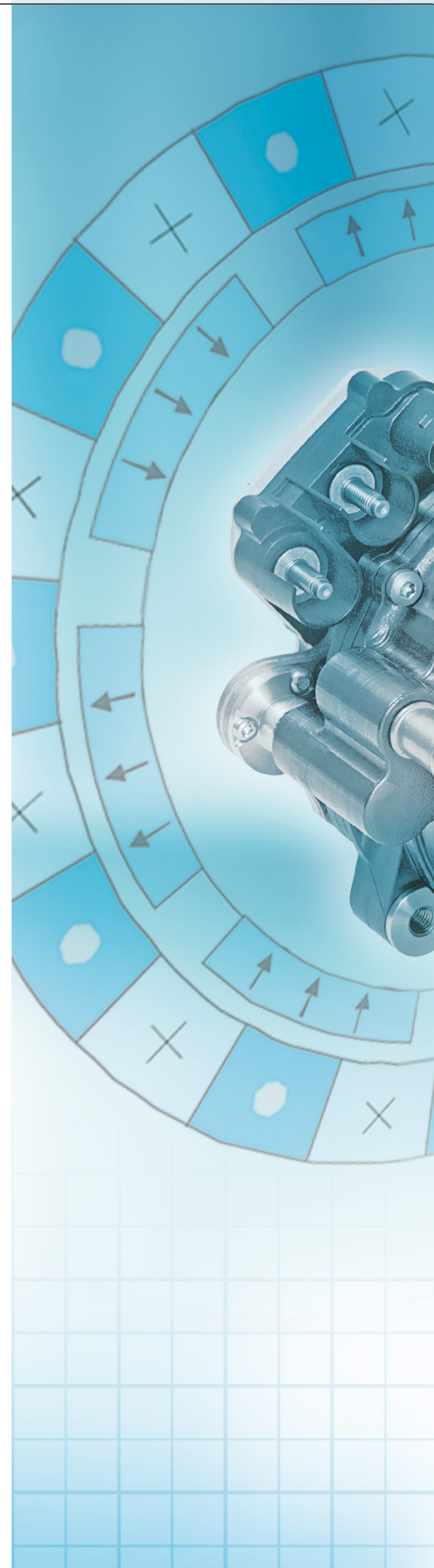


In seinem neuen Riemenstartergenerator setzt Continental nicht nur auf das 48-V-Bordnetz, sondern erstmals auch auf eine Asynchronmaschine als Elektromotor und Generator. Die Entwicklung des Mild-Hybrid-Steuergeräts profitiert dabei von den flexiblen dSPACE HIL-Testsystemen.

Auf Altgriechisch bedeutet „synchronos“ in etwa „gemeinsam mit der Zeit“. Bei Elektromotoren und -generatoren wird der Ausdruck „Synchronmaschine“ daher oft für eine durch Magnete permanenterregte Maschine (PSM) oder eine mit Schleifkontakten versehene fremderregte Maschine (FSM) verwendet, bei denen der Rotor den Stator exakt, also synchron, mit der daran angelegten Drehfeldfrequenz umläuft. Anders verhält es sich mit asynchronen Maschinen (ASM), bei denen der Läufer dem Statorfeld als Generator voroder als Elektromotor nachläuft. Ihre Leistungsdichte ist zwar nicht ganz so hoch wie bei einer PSM, dafür sind ASM kostengünstiger, weil sie keine teuren Permanentmagnete enthalten. Zudem benötigt die ASM keine Verbindung zum Läufer und kann daher auf Schleifkontakte verzichten. Durch diesen einfachen Aufbau ist sie sehr robust. In der Industrie hat sich die ASM deswegen seit Jahrzehnten bewährt und auch in der rauen Umgebung des Verbrennungsmotors kann dieser Vorteil im Hinblick auf die Zuverlässigkeit des Systems entscheidend sein. Mit dem Ziel, auch hohe Stückzahlen kostengünstig zu realisieren, setzt Continental daher als erster Automobilzulieferer auf einen Asynchronmotor in einem 48-V-Riemenstartergenerator (RSG), der zahlreiche neue Funktionen zur CO₂-Einsparung in einem bezahlbaren Mild-Hybrid abbildet.

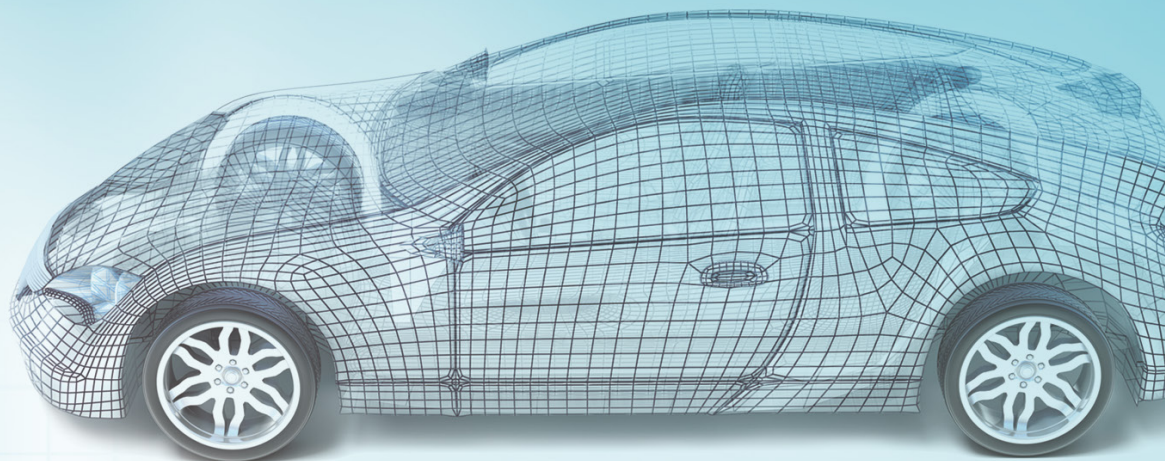
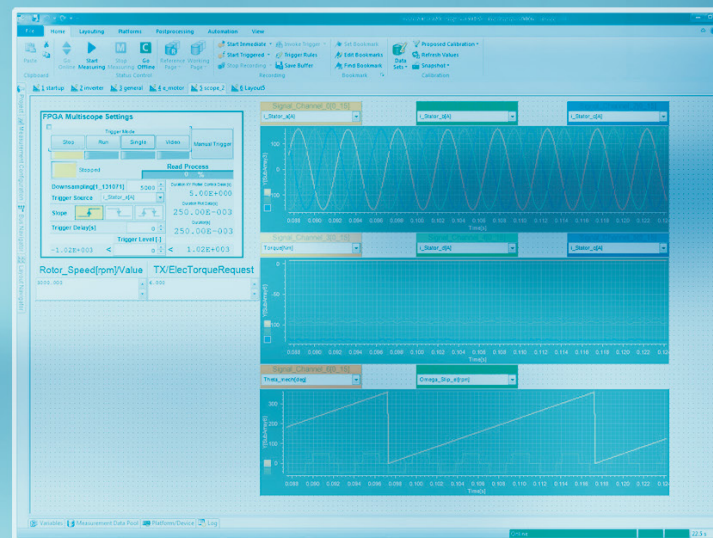
Bewährte Testplattformen

Das 48-V-Bordnetz besteht, neben dem Elektromotor mit Antriebsriemen und integriertem Inverter, aus einer Lithium-Ionen-Batterie und einem DC/DC-Wandler für das 12-V-Bordnetz nebst zugehöriger Regelssoftware. Die Entwicklungsschwerpunkte liegen neben dem Entwurf, der Implementierung und der Validierung dieser Regelungsumfänge auch auf der funktionalen Sicherheitssoftware. Aufbauend auf der langjährigen Erfahrung in der Entwicklung von Hochvolt-Leistungselektronik, setzt Continental für den 48-V-RSG konsequent auf bewährte Konzepte, Plattformen und nicht zuletzt auch Werkzeuge auf. Dadurch verkürzen sich die Entwicklungszeiten erheblich, die Robustheit nimmt zu und die Entwicklungskosten sinken. Hier zahlt sich vor allem die große Flexibilität und Realitätsnähe der dSPACE Hardware-in-the-Loop (HIL)-Testsysteme aus, die bei Continental schon seit vielen Jahren entwicklungsbegleitend zur zeitnahen Validierung der Regelungsfunktionen eingesetzt werden. Sie dienen als Bindeglied zwischen reiner Simulation am PC und den wesentlich teureren und zeitaufwändigeren Prüfstandsaufbauten mit realen Elektromotoren. Letztere können mit Hilfe der in den Simulationen aus MATLAB®-Modellen entwickelten Regelalgorithmen und der ermittelten Motorparameter kontinuierlich weiter optimiert werden. >>



Synchron Asynchron

Neue Möglichkeiten für
kosteneffiziente Mild-Hybride



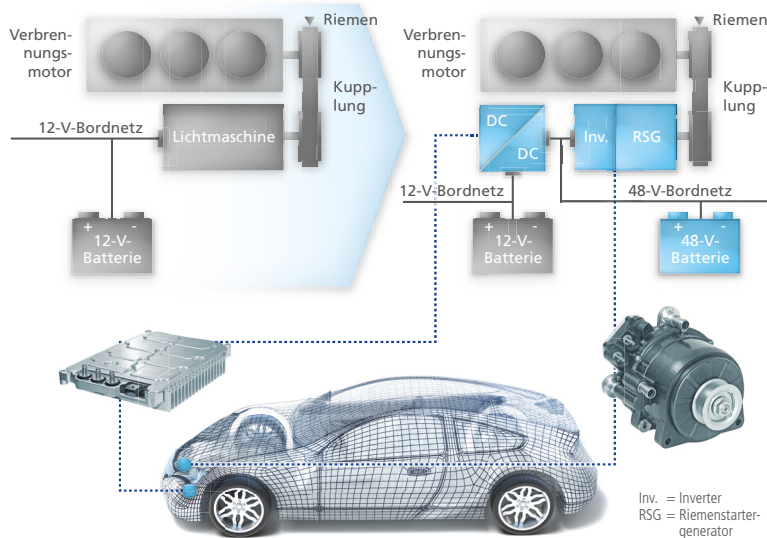


Abbildung 1: In seinem „48 Eco Drive“ erweitert Continental die herkömmliche 12-V-Bordelektrik um ein zusätzliches 48-V-Bordnetz für die Mild-Hybrid-Komponenten (hellblau).

Frühzeitige Optimierungen und Tests

Auf der Inverter-Hardware können die entstandenen Funktionen bereits in einem sehr frühen Stadium getestet und analysiert werden. Die HIL-Simulation übernimmt dabei die Rolle des realen Motors. Dieses Vorgehen ermöglicht es den Entwicklern, etwaige Fehler im Zusammenspiel der beiden Komponenten frühzeitig zu erkennen, zu beheben und bereits erste Optimierungen vorzunehmen, noch bevor die Regelungssoftware im kompletten 48-V-RSG an den Systemprüfstand geht. Darüber hinaus bietet die Testautomatisierung am HIL-Simulator eine schnelle und umfassende Methode, ein breites Testspektrum abzudecken und die Software schon frühzeitig in Bezug auf die Kundenanforderungen zu validieren. Diese werden zusammen

mit den Tests in IBM® Rational® DOORS® spezifiziert. Die daraus entstehenden automatisierten Regressionstests werden vor jeder Software-Auslieferung an den Kunden am HIL-Simulator ausgeführt, analysiert und in einem Bericht mit automatisierten Testabdeckungsmetriken zusammengefasst.

Unbürokratische Hilfe für den langjährigen Partner

Für den 48-V-RSG setzt Continental die neue hochdynamische dSPACE FPGA-Plattform DS5203 mit der Xilinx® System Generator (XSG) Library ein. Diese besteht aus quasikontinuierlichen Modellen für den Inverter, die Mechanik und nicht zuletzt für den Elektromotor. Um diesen auch für die Entwicklung des 48-V-RSG korrekt abzubilden, musste in die XSG Electric Components Library

erstmalig eine Asynchronmaschine integriert werden. Obwohl deren Modellierung zum damaligen Zeitpunkt erst für das nächste dSPACE Release geplant war, erhielt Continental Zugriff auf eine Beta-Version der neuesten XSG-Bibliothek. So konnte man bereits frühzeitig gemeinsame Praxiserfahrungen mit den neuen Modellen sammeln, die mittlerweile regulär veröffentlicht wurden.

Exakte Simulation der Asynchronmaschine

In Zusammenarbeit mit dSPACE erfolgte innerhalb weniger Tage im HIL-Labor bei Continental in Regensburg die Inbetriebnahme einer ersten FPGA-basierten Asynchronmaschine, die mit dem Invertersteuergerät in vollem Umfang interagieren konnte. Um möglichst realistische Simulationsergebnisse zu erzielen, wurden neben strom- und temperatur- auch frequenzabhängige Effekte berücksichtigt. Die hierfür notwendigen Erweiterungen des FPGA-Modells erwiesen sich mit der ebenfalls FPGA-basierten dSPACE XSG Utils Library als einfach und schnell umsetzbar. So konnten unter Verwendung des neuen Modellansatzes viele relevante Effekte berücksichtigt werden, wodurch die am realen Prüfstand aufgenommenen Kennfelder eins zu eins für den HIL-Betrieb übernommen werden konnten. So gelang es, das reale Verhalten der Maschine in der Simulation möglichst exakt abzubilden.

Hohe Flexibilität und Simulationsgüte

Die hohe Flexibilität der dSPACE Modellierungsschnittstelle ermöglicht es sogar, neu aufgenommene Kennfelder auf dem FPGA zu simu-

„Aufgrund der sehr guten Erfahrungen in der Entwicklung des 48-V-RSG setzen bereits erste Folgeprojekte bei Continental auf die HIL-Simulation auf Basis von FPGA und Maschinenmodell.“

Anja Poppe, Continental

lieren, ohne hierfür einen weiteren FPGA-Stand zu erzeugen. Die Kennfelder können entweder in MATLAB®-Simulink® neu hinterlegt oder in dSPACE ControlDesk® Next Generation während der Laufzeit angepasst werden. Damit wird eine maximale Flexibilität gegenüber möglichen zukünftigen Anwendungen beibehalten, beispielsweise bei der späteren Validierung einer neuen Motorvariante. Durch die Integration des Multiscope-Instruments der XSG Utils Library in ControlDesk kann Continental FPGA-interne Größen (beispielsweise Ströme, Spannungen, Induktivitäten oder Flüsse) im FPGA-Takt visualisieren. Damit lassen sich die Regelstrategien optimieren und die Regelgüte wird laufend verbessert. Weitere Optimierungen bei der Modellierung der ASM und auch Korrekturen von Problemen, die Continental in der bisherigen Testphase entdeckte, wurden umgehend von dSPACE zur Verfügung gestellt und brachten die 48-V-RSG-Entwicklung weiter voran.

Auf dem Weg zur Serienreife

Mittlerweile setzen bereits erste Folgeprojekte bei Continental auf die bewährte HIL-Simulation auf Basis von FPGA und Maschinenmodell, nicht zuletzt aufgrund der sehr guten Erfahrungen in der Entwicklung des 48-V-RSG. Dieser senkt den Verbrauch eines Fahrzeugs der Kompaktklasse um bis zu 20 %, unter anderem aufgrund der effizienten Energierückgewinnung. Und nicht nur beim Rekuperieren, also im Generatormodus der Asynchronmaschine, gilt wieder die altgriechische Definition. Denn ähnlich wie hier der Läufer dem Statorrehfeld wird beim Start der Serienfertigung 2016 auch der gesamte 48-V-RSG seiner Zeit ein gutes Stück voraus sein. ■

Anja Poppe, Josef Laumer,
Continental



Abbildung 2: Einer der HIL-Teststände bei Continental in Regensburg.



Abbildung 3: Multiscope-Instrumentierung in ControlDesk Next Generation.

Anja Poppe

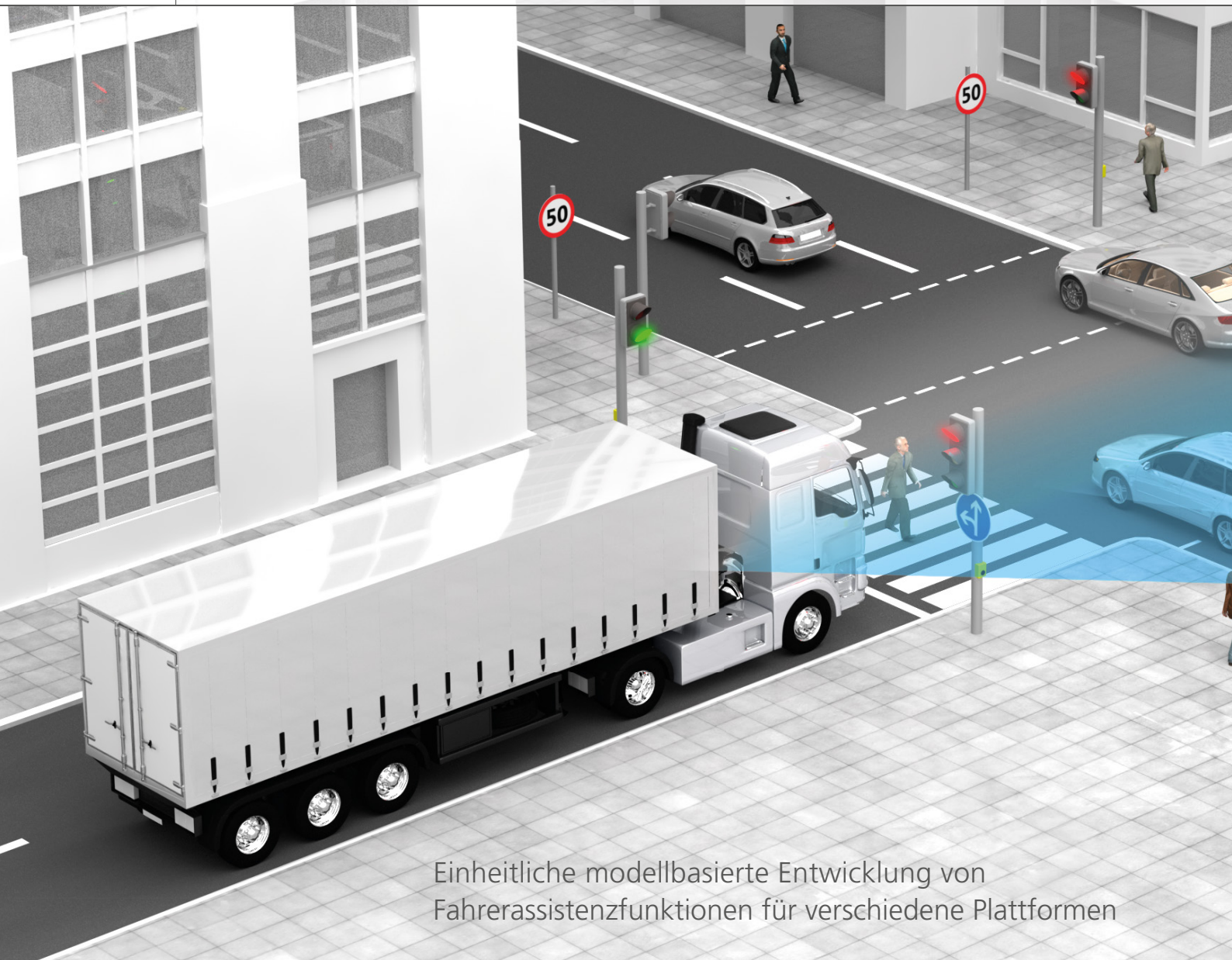
Anja Poppe ist Software-Test-Managerin und Verantwortliche für Teststrategie und Testequipment im Bereich Software & Systems Engineering Hybrid & Electric Vehicle bei Continental in Regensburg, Deutschland.



Josef Laumer

Josef Laumer ist Funktionsentwickler für elektrische Maschinenregelung im Bereich Software & Systems Engineering Hybrid & Electric Vehicle bei Continental in Regensburg, Deutschland.

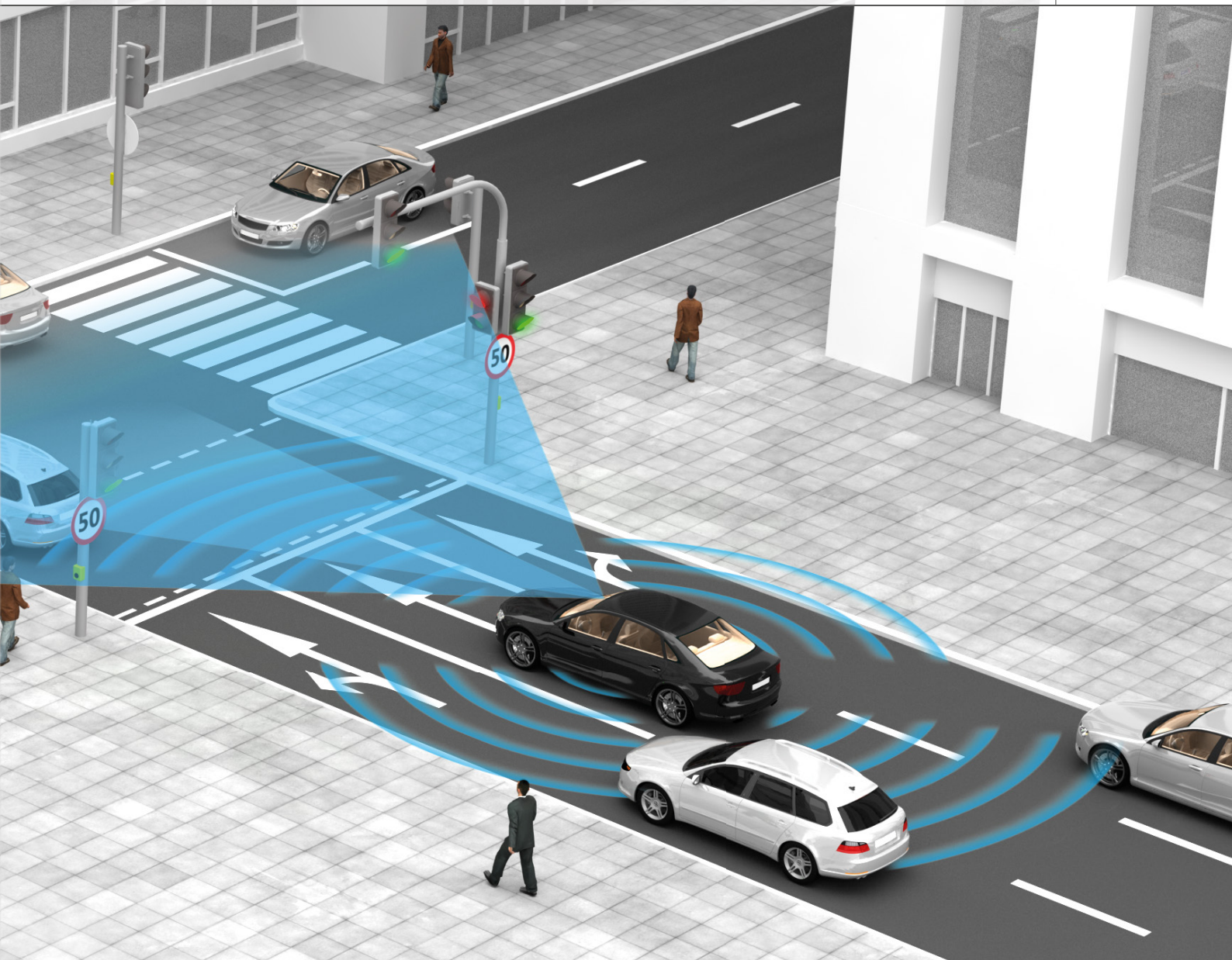




Einheitliche modellbasierte Entwicklung von Fahrerassistenzfunktionen für verschiedene Plattformen

Entwicklung intelligenter Assistenten

In einem Vorentwicklungsprojekt für sensorgestützte Fahrerassistenzsysteme bei der Automotive Safety Technologies GmbH gilt es, komplexe Daten sicher zu handhaben und zu analysieren. Der Seriercode-Generator TargetLink unterstützt diese Aufgabe und ermöglicht einen durchgängigen, effizienten Workflow.

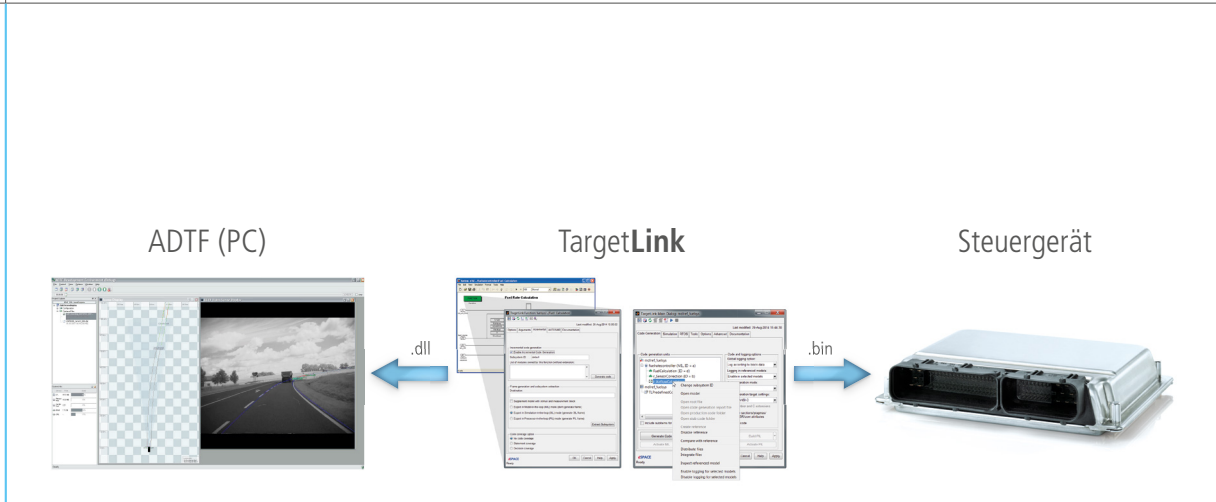


Bei Entwicklungen im Bereich der sensorgestützten Fahrerassistenz mit einer Vielzahl von Datenfusionen verschiedener Sensoren entstehen komplexe Algorithmen und Datenstrukturen sowie umfangreiche Datenmengen. In einem Vorentwicklungsprojekt mit Fokus auf Quer- und Kreuzungsverkehr geht es um die effiziente Verarbeitung von

- Datenfusionen verschiedener Sensoren (Kamera, Radar, Laser),
- Objektbildung auf Basis von Laser-Rohdaten,
- Kamerabasiertes Tracking von Objekten (z.B. Fahrzeuge, Fußgänger).

Um während der modellbasierten Entwicklung die Diagnose der komplexen Funktionen zu gewährleisten, muss eine Reihe funktionsinterner und somit nicht direkt zugänglicher Informationen zur Überprüfung und zu Testzwecken verfügbar gemacht werden. Diese Detailinformationen benötigen zusätzlichen Speicher und erhöhte Laufzeit, was nur innerhalb der Entwicklungsphase akzeptabel ist. Ab Auslieferung der Funktion werden diese Informationen nicht mehr benötigt, stattdessen liegt dann der Fokus auf minimalem Speicherbedarf und optimierter Laufzeit. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, eine Software-

Komponente (SWC) hinsichtlich ihres nicht-funktionalen Umfangs skalierbar zu erstellen und je nach Anwendungsfall entsprechend flexibel kompilieren zu können. Während der Entwicklungsphase stehen oft noch nicht die entsprechenden Zielplattformen zur Verfügung, bzw. ist es gerade in der Vorentwicklung wichtig, schnell prototypische Funktionen ohne Relevanz auf konkrete Plattformen umzusetzen. Hierfür eignet sich beispielsweise die Entwicklungsumgebung ADTF (Automotive Data and Time triggered Framework), die es ermöglicht, Funktionen auf PC-Basis auszu- >>



Vereinfachte Darstellung der Integration einer aus dem Funktionsmodell generierten Software-Komponente (SWC): Während im Steuergerät die SWC als Binärdatei (.bin) integriert wird, bindet ADTF die SWC als ausführbare Bibliothek (.dll, Windows) ein.

führen und mit anderen Komponenten zu verschalten.

Entwicklungsumgebung für Sensordaten

ADTF stellt eine Umgebung dar, um entweder online im Fahrzeug Sensordaten synchron aufzunehmen und der relevanten Funktion zuzuführen oder aufgenommene Daten offline abzuspielen und somit die Funktionen unabhängig vom Aufnahmezeitpunkt ablaufen zu lassen. Neue Komponenten können per Hand programmiert werden, alternativ lassen sich bereits existierende Komponenten auf der ECU ansteuern. So ist es möglich, prinzipiell

dasselbe Modell für die Steuergeräte-Code-Generierung zu verwenden sowie eine Windows®/Linux-Bibliothek zu erstellen. Zusätzlich möchte man, wie eingangs erwähnt, für die Entwicklungsphase hier möglichst viele funktionsinterne Informationen von außen einsehbar machen, um die Funktionsweise (gerade bei Fehlverhalten) analysieren und nachvollziehen zu können. Diese internen Daten müssen zu diesem Zweck allerdings bereits vom Modell zur Verfügung gestellt werden. Die Komponente, die innerhalb der Entwicklungsumgebung das kompilierte Modell aufruft, kann diese Daten dann auswerten, visualisieren oder wiederum

an andere Komponenten weiterleiten.

Anforderungen an die technische Umsetzung

Für die Umsetzung der Funktionen in ausführbare Steuergeräte-Software kommt der Seriene-Code-Generator TargetLink® von dSPACE zum Einsatz. Mit ihm wird aus dem Funktionsmodell Code für eine SWC generiert und sowohl ins Steuergerät als auch in die Entwicklungsumgebung integriert. Für diese beiden Zielplattformen soll eine Verhaltensanalyse der SWC zur Laufzeit nachvollziehbar bzw. visualisierbar sein. Dies geschieht in beiden Laufzeitumgebungen (Entwicklungsumgebung und Steuergerät) jedoch unterschiedlich. Beim Steuergerät stellt die SWC die vordefinierten Laufzeitvariablen über ein Mess- und Kalibrierprotokoll (XCP) einem externen Werkzeug zur Verfügung. Bei der Entwicklungsumgebung hingegen können beliebige SWC-Variablen an andere Programme übergeben und ggf. visualisiert werden. Da eine PC-basierte Umgebung anders als ein Steuergerät keine Speicherbedarfsanforderung an die SWC stellt, kann die SWC beliebig um weitere Debug-Variablen erweitert werden, um die Debugging-Funktionalitäten voll auszuschöpfen. Die Herausforderung hierbei ist, einerseits den Steuergeräte-Code weitestgehend unverändert zu lassen, andererseits

Spezifikationen im TargetLink Data Dictionary, mit denen die gewünschte Flexibilität bei der Code-Generierung für Debug-Variablen ermöglicht wird.

Property	Values
Description	„Variable class“
Storage	default
Scope	global
ArgClass	< >
Volatile	off
Const	off
Macro	off
Alias	off
InitAtDefinition	off
RestartFunctionName	„InitPredictionVariables“ Initialisierungsfunktion
SectionName	„UAS_API“ Compiler-Schalter
TypePrefix	{ }
DeclarationStatements	{ }
UseName	on

„Mit TargetLink realisieren wir einen automatisierten, durchgängigen Workflow für die effiziente Entwicklung leistungsfähiger Fahrerassistenzfunktionen, der eine umschaltbare Code-Generierung sowohl für die Entwicklungsplattform als auch für den Zielprozessor unterstützt.“

Matthias Ibbrücker, Automotive Safety Technologies GmbH

die Anforderungen für die Integration der SWC zu berücksichtigen, z.B. möglichst viele Variablen für Debug-Zwecke zur Verfügung zu stellen. Eine weitere Herausforderung ist ein hoher Automatisierungsgrad für die Integration in der jeweiligen Zielplattform (Linux oder Windows), um manuelle Eingriffe im Arbeitsablauf zu reduzieren. Die Lösung basiert auf Anpassungen im SWC-Modell, in der SWC-Datenbank sowie mittels entsprechender Skripte.

Automatisierte Umsetzung mit TargetLink

Um diese Automatisierung zu erreichen und die Integration von TargetLink in den Entwicklungsprozess zu unterstützen, wurde der Callback-Mechanismus innerhalb von TargetLink genutzt. TargetLink-spezifische Hook-Funktionen unterstützen benutzerspezifische Anpassungen während des Kompilervorgangs. Benutzerdefinierte Anweisungen werden beim Aufruf der Hook-Funktionen automatisiert ausgeführt, was zusätzliche manuelle Anpassungen überflüssig macht. Mit TargetLink gelang es, die zusätzlichen Debug-Variablen als Arrays umzusetzen, die beim Kompilervorgang per Compiler-Schalter entweder erzeugt (Entwicklungsumgebung) oder ausgelassen werden (Steuergerät). Mittels Kompilervarianten kann derselbe Code für die unterschiedlichen Entwicklungsplattformen entwickelt und

beim Kompilervorgang auf die gewünschte Ausprägung reduziert werden. Da diese Debug-Variablen Arrays mit unterschiedlichen Breiten und Datentypen sein können, wurde eine wiederverwendbare generische Lösung in Form einer Bibliothek implementiert. Darüber hinaus war es mit Präprozessor-Anweisungen und automatisiert eingefügten Präfixen möglich, identischen C-Code für die unterschiedlichen Laufzeitumgebungen (Steuergerät, Entwicklungsumgebung für Windows oder Linux) abhängig vom Compiler-Schalter zu generieren. ■

*Matthias Ibbrücker, Automotive Safety Technologies GmbH
Mohinder Pandey*

Matthias Ibbrücker

Matthias Ibbrücker arbeitet in der Serienentwicklung von Kreuzungsassistenten bei der Automotive Safety Technologies GmbH in Gaimersheim, Deutschland.



Fazit

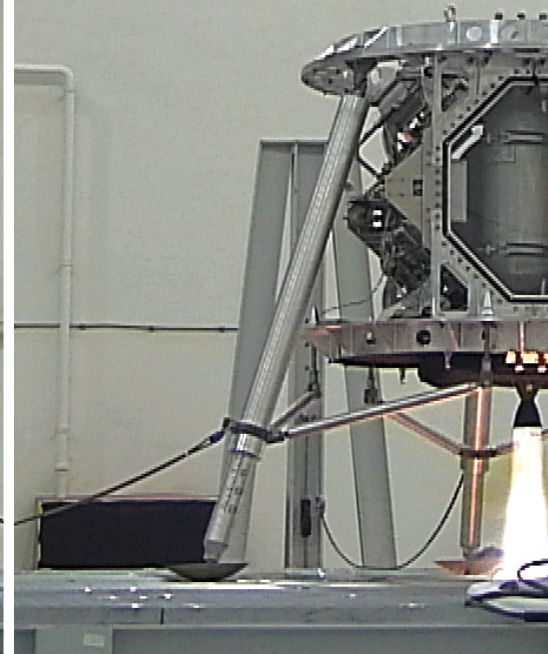
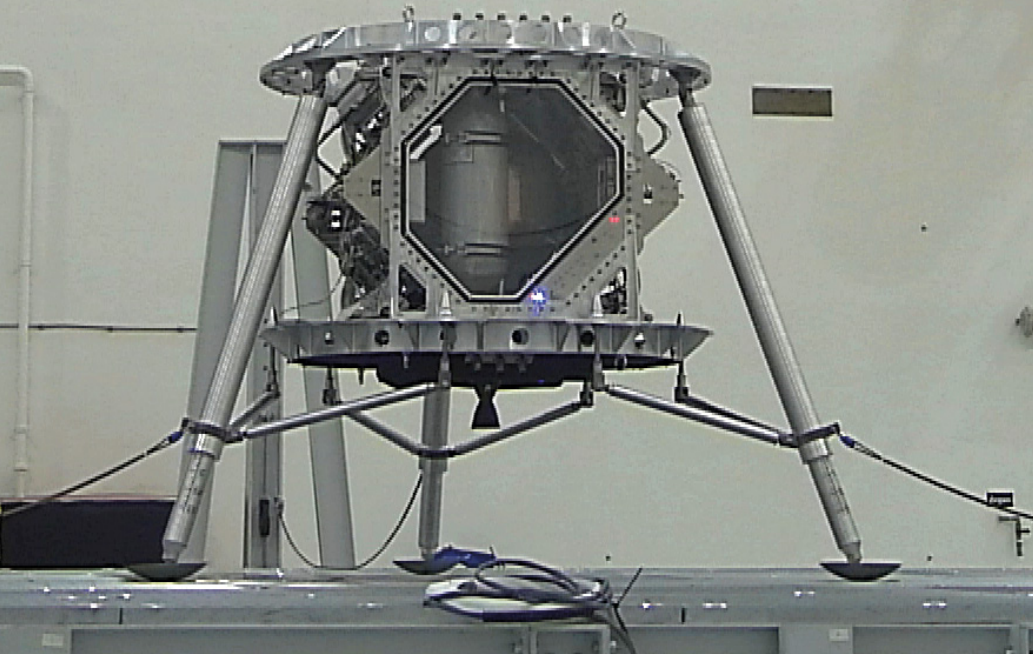
Um den Anforderungen an eine effiziente durchgängige Entwicklung gerecht zu werden, nutzt die Automotive Safety Technologies GmbH den Serien-code-Generator TargetLink zur zielplattformgerechten Code-Generierung. Per Compiler-Schalter lässt sich aus einem Funktionsmodell automatisiert Code generieren, der entweder mit erweiterten Debug-Variablen ausgestattet oder für den Betrieb auf Steuergeräten optimiert ist. Der Vorteil: Aus exakt demselben Funktionsmodell wird die Entwicklungsumgebung ADTF gespeist, um hier komfortabel Fahrerassistenzfunktionen zu entwickeln, den Code für Steuergeräte zu generieren und unter realen Laufzeitbedingungen zu testen.

Mohinder Pandey

Mohinder Pandey arbeitete in der Vorentwicklung von Kreuzungsassistenten bei der Automotive Safety Technologies GmbH in Gaimersheim, Deutschland.



Beim Testflug hat HOMER eine Schwebeflugphase, ein Rollmanöver und eine weiche Landung erfolgreich absolviert.



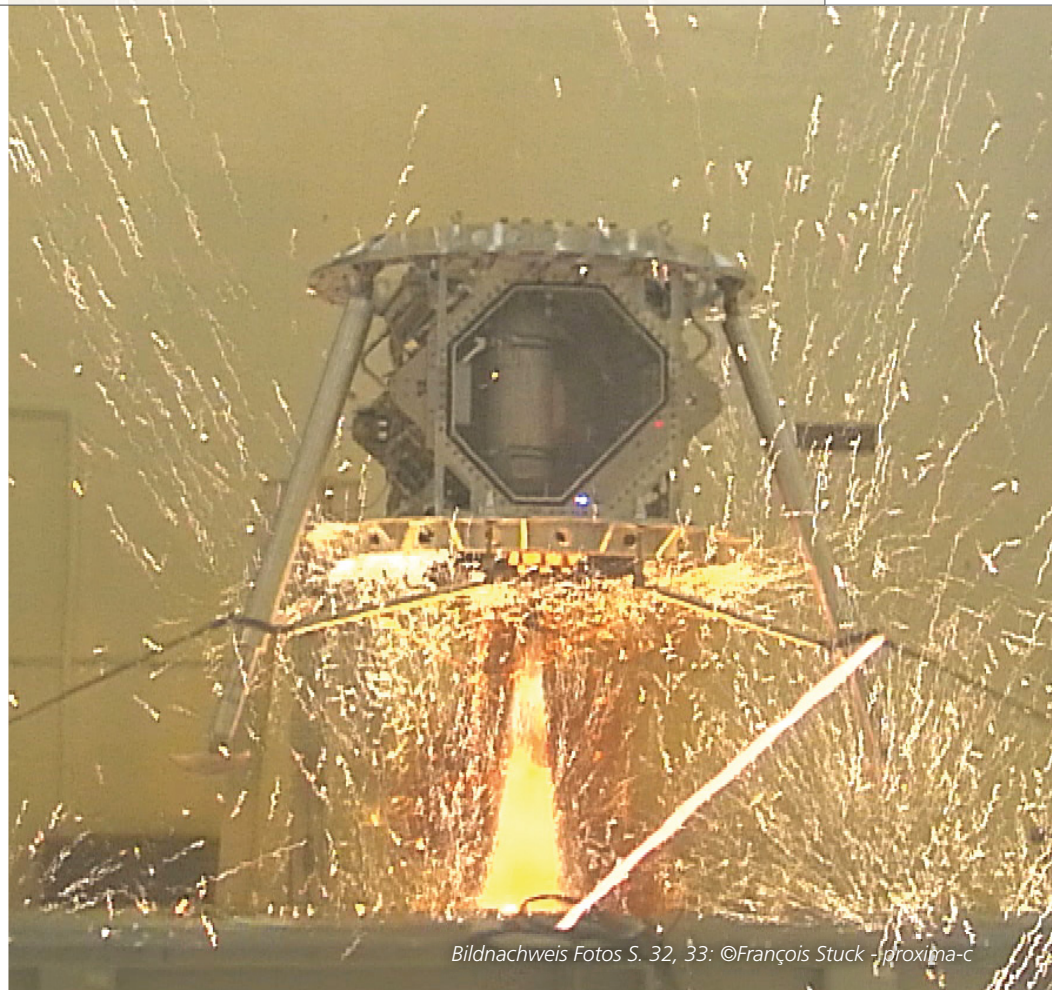
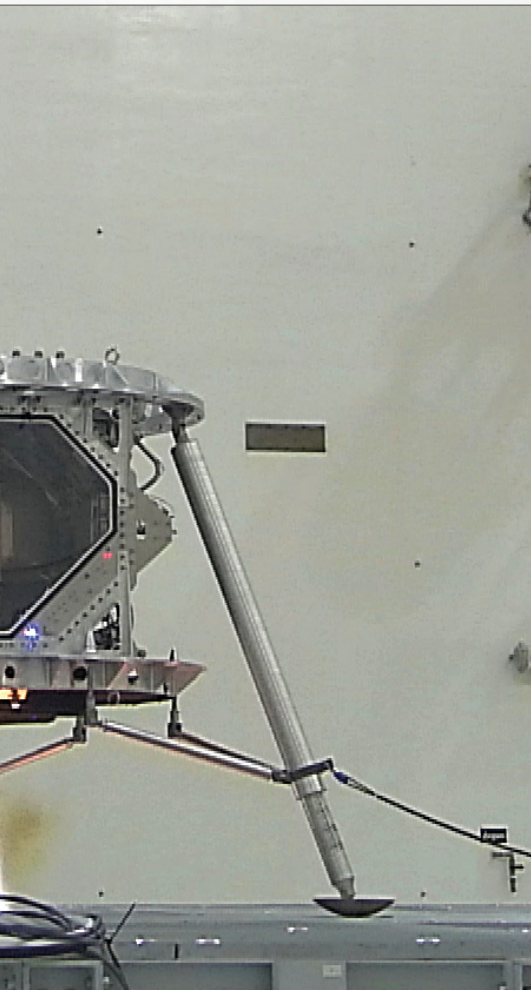
HOMER hebt^{ab}

Mit HOMER (HOVer ManoEuvRe) hat Airbus Defence and Space einen innovativen „2 in 1“-Prototyp für zukünftige Raumfahrzeuge geschaffen, der sowohl Lande- als auch Schwebemanöver beherrscht. Die Flugtests wurden von zwei dSPACE MicroAutoBoxen an Bord geregelt.

Das Projekt HOMER war bei Airbus Defence and Space hinsichtlich der verwendeten Werkzeuge eine Premiere, denn zum ersten Mal kamen COTS-Produkte (COTS = Commercial off-the-shelf) für derart anspruchsvolle Entwicklungsarbeiten zum Einsatz. HOMER gehörte zu den

Top-5-Projekten von Airbus Defence and Space und zielte darauf ab, den Reifegrad von neuen Technologien und des dazugehörigen Know-hows zu bewerten sowie neue Schlüsselkompetenzen zu entwickeln. Gedacht war das System als eine Art Brutkasten für neue Technologien. Eine der größ-

ten Herausforderungen bei HOMER ist die Gewichts- und Volumenbeschränkung (max. 300 kg in einem Volumen von 1 m³). Bei anderen Projekten von Airbus Defence and Space sind die Randbedingungen weniger hart, denn dort geht es üblicherweise um erheblich größere



Bildnachweis Fotos S. 32, 33: ©François Stuck -proxima-c



„Der erfolgreiche Einsatz der dSPACE Produkte beim Projekt HOMER hat die Voraussetzung geschaffen, um dSPACE Lösungen auch für weitere F&T-Projekte in Betracht zu ziehen.“

Stéphane Heynen, verantwortlich für Bodenkontrollsysteme, Airbus Defence and Space

Raumfahrzeuge mit einem Gewicht von 20 Tonnen und mehr.

Raumfahrzeug in zwei Varianten

HOMER lässt sich für zwei Einsatzfälle konfigurieren. Eine Version ist auf Landemanöver, die andere auf Schwebemanöver spezialisiert. Bei der Landeversion („ODYSSEY“) besitzt HOMER stoßdämpfende Landebeine und einen Antrieb für vertikale Bewegungen, bei der Schwebeversion („ILIAD“) sind statt der Landevorrichtung zwei zusätzliche Antriebe für seitliche Manövrierbewegungen eingebaut (Abbildung 2). Während der

ersten Tests und Prüfungen lag das Augenmerk zunächst auf der Variante für Landemanöver.

Länder- und fachübergreifender Entwicklungsprozess

Am Projekt HOMER sind sechs verschiedene Niederlassungen von Airbus Defence and Space beteiligt, zwei aus Frankreich und vier aus Deutschland. Um hierbei eine reibungslose Zusammenarbeit sicherzustellen, musste eine völlig neue Organisationsstruktur geschaffen werden. Ein typisches Beispiel ist die Zusammenarbeit von Teams aus den Bereichen Simu-

lation und Flugregelung in einer dafür gegründeten Gruppe. Dieses neue Projektteam besteht aus etwa 25 Personen, die in mehrere Untergruppen aufgeteilt sind, bestehend sowohl aus französischen als auch deutschen Ingenieuren. Jede Gruppe beschäftigte sich mit einer Teilaufgabe, unter anderem dem Lageregelungssystem oder dem Hauptantriebssystem.

Rapid Prototyping mit dSPACE Werkzeugen

Das COTS-System für die Entwicklung der Hard- und Software für HOMER >>

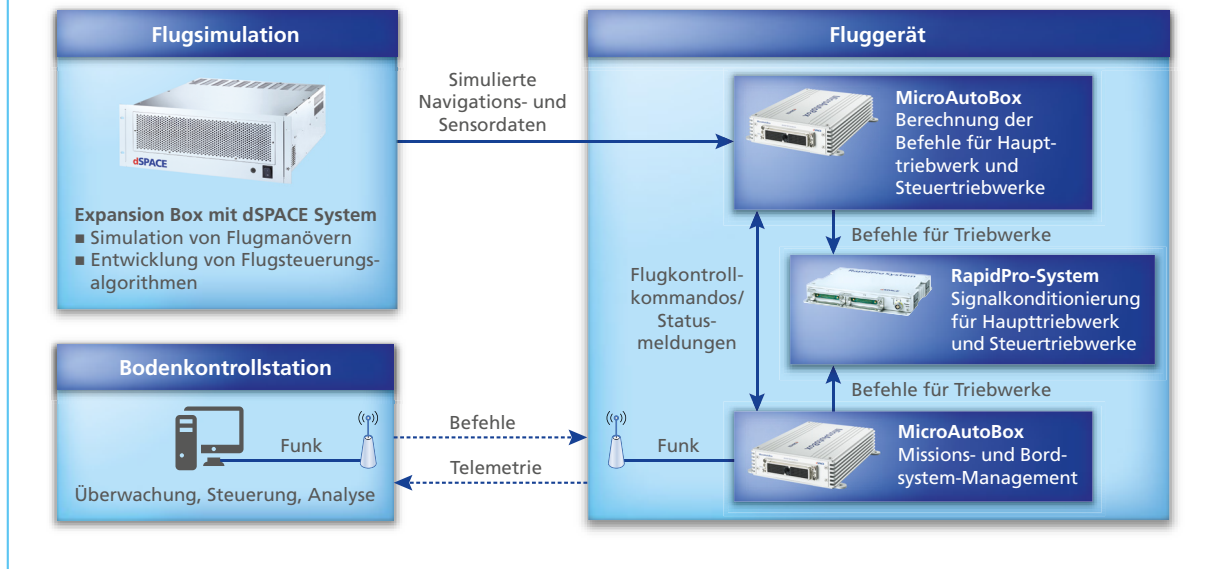


Abbildung 1: Für die Entwicklung der Flugsteuerungsalgorithmen wurde HOMER an ein modulares dSPACE System in einer dSPACE Expansion Box angeschlossen. Auf diese Weise konnten die Flugmanöver inkl. der zugehörigen Sensordaten schon vor dem eigentlichen Testflug simuliert werden.

musste hohe Anforderungen erfüllen, unter anderem hinsichtlich I/O-Fähigkeit, Gewicht und Konfigurierbarkeit. Denn trotz der Forderung nach einem schlanken und kosteneffizienten Entwicklungssystem durften im Hinblick auf die Sicherheitsanforderungen keine Abstriche gemacht werden. Die Wahl fiel schließlich auf die dSPACE Werkzeuge, unter anderem weil sie sich bereits in verschiedenen früheren Projekten bei Airbus Defence and Space bewährt hatten. Die dSPACE MicroAutoBox erlaubt mit ihren flexiblen I/O-Möglichkeiten einen bequemen Anschluss von bereits vorhandener Hardware. Konkret sind dies bei HOMER ein Trägheitsnavigationssystem, eine Kamera, ein Radarhöhenmesser sowie verschiedene Sensoren und Aktoren. Die modellbasierte Heran-

gehensweise, d.h. der Modellentwurf mit MATLAB®/Simulink® und die automatische Code-Implementierung via Real-Time Interface (RTI) auf der dSPACE Hardware, gestaltete den Funktionsentwurf dabei sehr komfortabel (Abbildung 1). „Die wichtigsten Vorteile der dSPACE Werkzeuge sind die einfache Programmierung direkt aus dem Blockschaltbild heraus, die reichhaltigen Instrumentierungsmöglichkeiten mit der Experimentier-Software Control-Desk sowie die Echtzeitfähigkeit“, so Thierry Poirrier, verantwortlich für die Entwicklung der elektrischen Subsysteme. Insgesamt kamen bei den Entwicklungsarbeiten fünf MicroAutoBox- und RapidPro-Endstufen-Konfigurationen zum Einsatz, inklusive der zugehörigen Implementierungs- und Experimentier-Software.

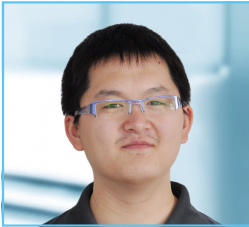
Flugtests mit zwei dSPACE MicroAutoBoxen an Bord

HOMER wurde in Deutschland am Standort Bremen zusammengebaut und anschließend zum Testzentrum in Aquitaine in Frankreich transportiert. Am 23. Oktober 2012 absolvierte HOMER den Validierungstest, bestehend aus einer Schwebeflug-Phase, einem Rollmanöver und einer anschließenden weichen Landung aus 1 m Höhe (siehe Video). „Auf Systemebene wurde HOMER mittlerweile freigegeben“, freut sich Stéphane Heynen, der die Bodenkontrollsysteme verantwortet. HOMER hat zwei dSPACE MicroAutoBoxen an Bord. Die eine ist für das Missions- und Bordsystem-Management zuständig, die andere für die konkrete Flugkontrolle. Aufgrund der extremen Vibrationen, die



„dSPACE Produkte kamen im gesamten Entwicklungs- und Validierungsprozess zum Einsatz. Das kosteneffiziente dSPACE Equipment schuf bei allen Testsystemen die Möglichkeit für optimale, repräsentative Tests.“

Thierry Poirrier, verantwortlich für elektrische Subsysteme, Airbus Defence and Space



„Die dSPACE Produkte ermöglichten den Aufbau einer zuverlässigen und robusten Prototyping-Umgebung und erlaubten es, dass wir uns ganz auf unsere Kernaufgaben fokussieren konnten.“

Clément Gu, verantwortlich für Simulations- und Flugkontroll-Software, Airbus Defence and Space

bei HOMER gerade während der Start- und Landephase auftreten, empfahl ein Konstruktionsexperte, beide MicroAutoBoxen mit zusätzlichem Dämmschaum zu füllen, um Ausfällen vorzubeugen.

Entwicklungszeit nur 4 statt 15 Jahre

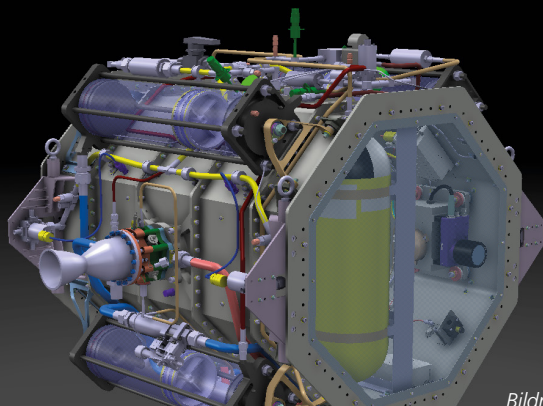
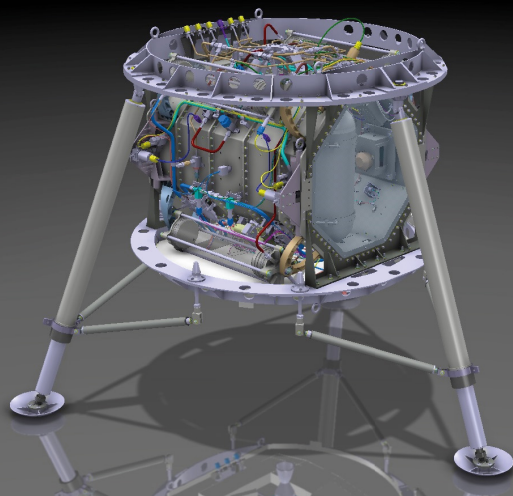
„Der Zeitraum von den ersten Arbeiten bis zur Fertigstellung des Prototyps betrug lediglich 4 Jahre statt der übli-

chen ca. 15 Jahre, die für klassische Raumfahrzeuge veranschlagt werden“, berichtet Clément Gu, Entwickler der Simulations- und Flugkontroll-Software. Durch dieses Projekt positionierte sich Airbus Defence and Space als das erste Raumfahrtunternehmen in Europa, das derartige Testflugkompetenzen vorweisen kann. Weil sich die neuen Technologien und die neu praktizierten Arbeitsmethoden

bewährt haben, werden sie bei Airbus Defence and Space auch für zukünftige Raumfahrtprojekte zum Einsatz kommen. Ein typisches Beispiel ist ein Raumfahrzeug zur Entsorgung von Weltraumschrott, für das hochpräzise Antriebs-, Steuerungs- und Andockfähigkeiten unentbehrlich sind. ■

Mit freundlicher Genehmigung von Airbus Defence and Space

Abbildung 2: Oben die Landeversion (ein Vertikaltrieb, drei Landebeine); unten die Schwebversion (ein Vertikaltrieb plus zwei Horizontaltriebe anstelle der Landebeine).



Fazit

Mit HOMER (HOver ManoEuvRe) hat Airbus Defence and Space einen multifunktionalen Prototyp für zukünftige Raumfahrzeuge entwickelt, der sowohl Lande- als auch Schwebemanöver beherrscht. Bei der Entwicklung und den Flugtests von HOMER kamen verschiedene dSPACE Produkte zum Einsatz, unter anderem befanden sich zwei MicroAutoBoxen für die Flugsteuerung an Bord. Die Entwicklung von HOMER dauerte lediglich 4 Jahre, statt der sonst üblichen 15 Jahre für Raumfahrtprojekte.

Das Video zeigt den ersten Testflug von HOMER:
www.dspace.com/go/dMag_2015_HOMER



Bildnachweis Fotos S. 35:

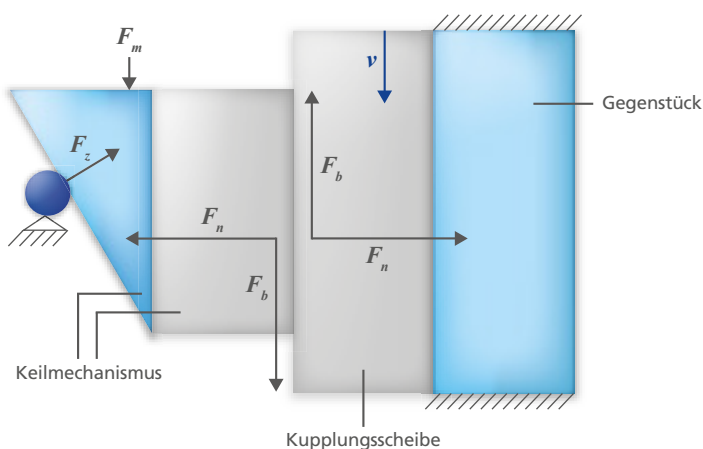
Bisherige Versuche mit Keilkupplungen in Automatikgetrieben scheiterten oft an unschönen Schaltrucken. Forscher der Jiaotong-Universität Shanghai wollen dieses Problem durch einen präzise gesteuerten Elektromotor lösen. Dessen Validierung baut auf Hard- und Software-Werkzeuge von dSPACE.

Der aktuelle Trend der Automobilindustrie zur Elektrifizierung des Antriebsstranges geht auch an den Getrieben nicht spurlos vorbei. In Automatikgetrieben könnten elektrische Aktuatoren beispielsweise die herkömmlicherweise hydraulisch betriebenen Kupplungen ablösen. Zum einen sind elektrische Stellantriebe in der Regel kompakter und leichter als hydraulische, zum anderen können sie die aufgebaute Kraft auch ohne den permanent laufenden Verbrennungsmotor aufrechterhalten. Weil dadurch eine signifikante Menge Kraftstoff gespart werden kann, evaluierten Forscher der Jiaotong-Universität Shanghai (SJTU) kürzlich eine elektrisch betriebene Keilkupplung.

Herausfordernde Übergangsphase

Der namensgebende Keil wird dabei zwischen die rotierende Kupplungsscheibe und ein fixiertes Widerlager getrieben (Abbildung 1). Je weiter der Elektromotor den Keil vorantreibt, desto fester wird die Kupplungsscheibe an ihr Gegenstück gepresst. Mit einem unveränderlichen Keilwinkel wird dabei allerdings irgendwann ein kritischer Punkt erreicht, an dem das Verhältnis zwischen der Antriebskraft des elektrischen Stellmotors und der Reibkraft an der Kupplungsscheibe enorm groß wird. Das heißt, schon eine geringe Betätigungskraft kann plötzlich eine sehr große Normalkraft an den Kupplungsscheiben verursachen. Im Getriebeausgangsmoment äußert sich dieser >>

Abbildung 1: Kräfteanalyse an einem vereinfacht dargestellten Keilkupplungsmechanismus. Schon eine geringe Betätigungskraft F_m kann eine enorm hohe Normalkraft F_n zwischen den Kupplungsscheiben hervorrufen. Ein daraus entstehender Ruck würde den Fahrkomfort beeinträchtigen.



Ruckfrei und e-ffizient

Mit einer elektrischen Keilkupplung
zu mehr Schaltkomfort

D
-
N
-
Z
R
P

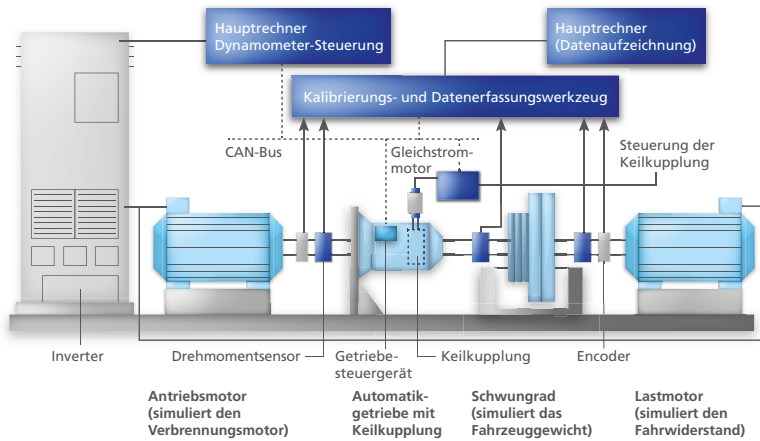
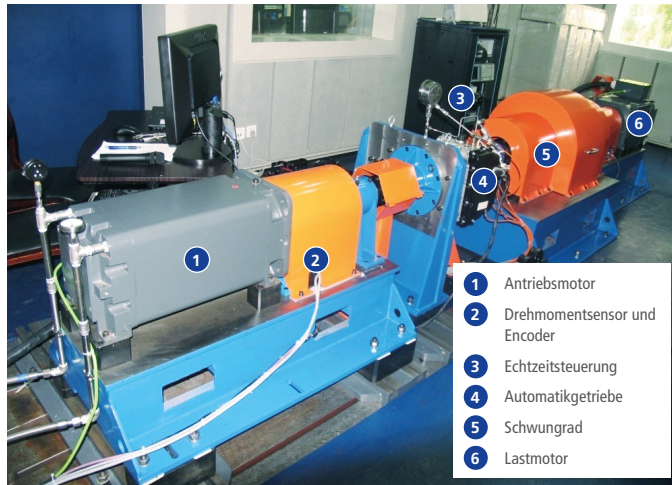


Abbildung 2: Der Dynamometer-Prüfstand simuliert einen Mittelklasse-Pkw zur effizienten Validierung des Keilkupplungssystems.

plötzliche Übergang zwischen „Rutschen“ und vollem Kraftschluss dann in Form eines deutlichen Rucks, der den Fahrkomfort stark beeinträchtigen und damit die Serienchancen der Keilkupplung zunichtemachen würde.

Validierung auf dem Prüfstand

Durch eine optimale Steuerung des elektrischen Stellantriebs wollen die

Forscher der SJTU genau das verhindern und es der Keilkupplung ermöglichen, bei niedrigerem Drehmoment und geringen Leistungsverlusten ruckfrei ein- und auszukuppeln. Um die Machbarkeit einer solchen Steuerung, und damit der Keilkupplung selbst, schnell und präzise auf ihrem Dynamometer-Prüfstand zu validieren, setzten die Ingenieure

die dSPACE MicroAutoBox II in Verbindung mit einem sogenannten PID-Regler (Proportional-Integral-Derivative Controller) ein. Dessen Aufgabe ist es, die Schwankungen der Normalkraft an den Kupplungsscheiben binnen weniger Millisekunden zu steuern und so das Schaltverhalten zu optimieren.

Simulation eines Mittelklasse-PKW

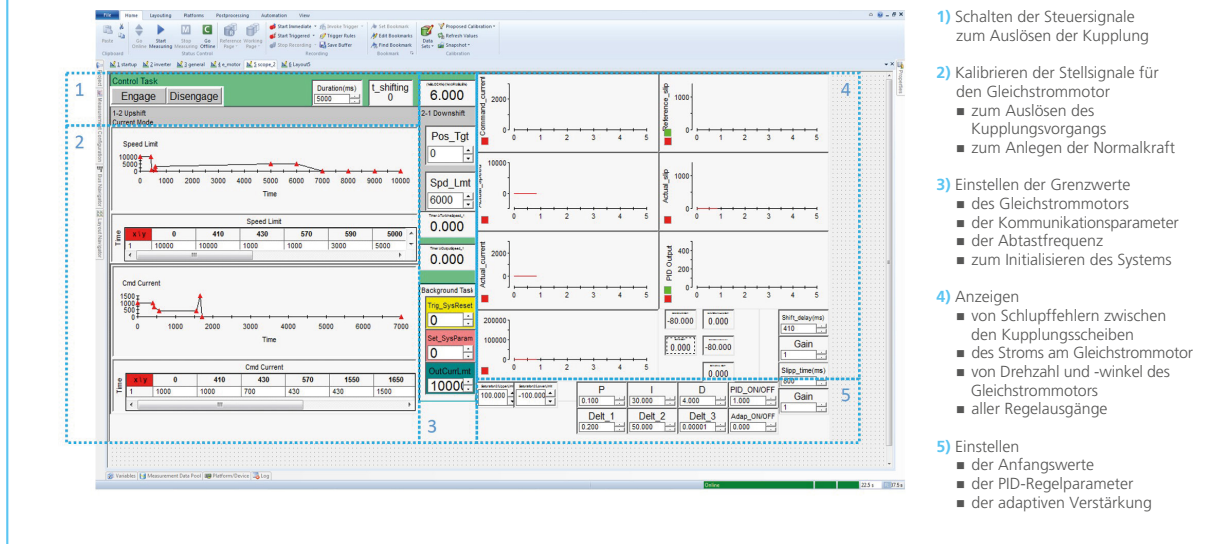
Als Eingangsgröße verwendet der PID-Regler dafür die Abweichung zwischen vorgegebener Soll- und Ist-Normalkraft an der Kupplungsscheibe, auf deren Basis die Spannung des mit Gleichstrom betriebenen Stellmotors als Ausgangsgröße geregelt wird. Diese wird gemeinsam mit dem Drehwinkel in ein entsprechendes Lastmoment auf die Keilkupplung umgesetzt. Letztere ist in die Getriebeglocke in der Mitte des Dynamometer-Prüfstands (Abbildung 2) eingebaut. Auf deren Antriebsseite emuliert ein schnell ansprechender Elektromotor Pkw-Verbrennungsmotoren mit bis zu 1,6 Liter Hubraum und einem Drehmoment von bis zu 297 Nm bei etwa 6500 U/min. Auf der Abtriebsseite sitzen dagegen ein Schwungrad, das die Massenträgheit eines Mittelklasse-Pkw simuliert, und ein Lastmotor zur Abbildung unterschiedlicher Fahrwiderstände.

Adaptive PID-Regler im Einsatz

Durch den Einsatz des PID-Reglers im Closed-Loop-Verfahren ließen sich Schlupfabweichungen zwischen den Kupplungsscheiben der An- und Abtriebsseite in kurzer Zeit auf ein Minimum reduzieren, so dass die Gänge reibungslos wechseln können. Da herkömmliche PID-Regler bei komplexen Fahrbedingungen und variierenden

„Unsere Forscher waren beeindruckt von der nahtlosen Integration der dSPACE Werkzeuge. So konnten sie sich gleich voll auf die Algorithmen-Entwicklung konzentrieren.“

Jian Yao, Jiaotong-Universität Shanghai



- 1) Schalten der Steuersignale zum Auslösen der Kupplung
- 2) Kalibrieren der Stellsignale für den Gleichstrommotor
 - zum Auslösen des Kupplungsvorgangs
 - zum Anlegen der Normalkraft
- 3) Einstellen der Grenzwerte
 - des Gleichstrommotors
 - der Kommunikationsparameter
 - der Abtastfrequenz
 - zum Initialisieren des Systems
- 4) Anzeigen
 - von Schlupffehlern zwischen den Kupplungsscheiben
 - des Stroms am Gleichstrommotor
 - von Drehzahl und -winkel des Gleichstrommotors
 - aller Regelausgänge
- 5) Einstellen
 - der Anfangswerte
 - der PID-Regelparameter
 - der adaptiven Verstärkung

Abbildung 3: ControlDesk Next Generation half den Entwicklern, eine umfangreiche Benutzeroberfläche für die Signalüberwachung und -verwaltung ihrer Testumgebung herzustellen.

Systemparametern instabile Ergebnisse produzieren, verwendeten die Forscher hier adaptive PID-Regler mit arbeitspunktabhängiger Parametersteuerung, um den realen Stellmotor auf dem Prüfstand zu steuern.

Tests wie unter realen Fahrbedingungen

Die Regelungskonzepte wurden von den Forschern in MATLAB®/Simulink® entwickelt und während des Tests auf einer dSPACE MicroAutoBox II kompiliert und ausgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass der PID-Regler dabei ein sehr robustes Verhalten aufweist und alle Referenzkennlinien beim Ändern der Systemparameter und Fahrbedingungen voll einhält. So konnte das Getriebe wie unter realen Fahrbedingungen gesteuert werden. Neben der MicroAutoBox, deren zahlreiche I/O-Schnittstellen leicht integrierbar waren, profitierte der SJTU-Prüfstand auch von der dSPACE Experimentier- und Visualisierungssoftware ControlDesk® Next Generation.

Umfangreiche Testinstrumentierung

Mit den zahlreichen Instrumenten von ControlDesk schufen die Forscher der SJTU für ihre Versuchs-

umgebung eine umfassende Benutzeroberfläche für die Signalüberwachung und -verwaltung (Abbildung 3). Damit konnten sie unter anderem die Kalibrierung der Stellsignale für den Gleichstrommotor oder die Einstellung wichtiger Anfangswerte und Parameter des PID-Reglers bequem am Bildschirm vornehmen. Darüber hinaus ließen sich alle wichtigen Signale detailliert wiedergeben und analysieren, von Schlupffehlern zwischen den Kupplungsscheiben über Strom, Drehzahl und -winkel des Gleichstrommotors bis hin zu verschiedenen Regelausgängen.

Wegbereiter für zukünftige Tests

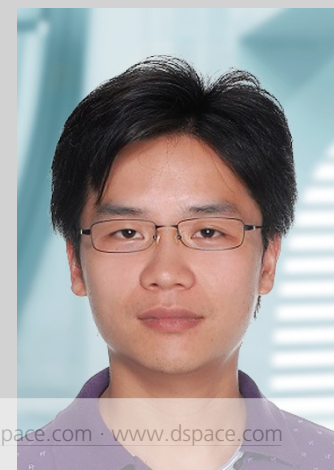
Vor allem von der nahtlosen Verknüpfung zwischen den dSPACE Werkzeugen und MATLAB/Simulink waren die Forscher der SJTU angezogen. In der Folge konnten sie dem kompakten und robusten Hardware-System voll und ganz vertrauen und sich auf die Algorithmen-Entwicklung konzentrieren. Aufgrund der guten Erfahrungen sind weitere Tests geplant, um die entwickelten Regelalgorithmen zu vervollständigen und einen realen Regler

für die vielversprechende Keilkupplung zu entwickeln. In deren fortschreitender Entwicklung sollen dann auch weitere dSPACE Werkzeuge wie der Seriencode-Generator TargetLink® oder ein Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulator eingesetzt werden. ■

Jian Yao,
Jiaotong-Universität Shanghai

Jian Yao

Jian Yao ist Doktorand an der Jiaotong-Universität Shanghai (SJTU) und forscht schwerpunktmäßig an der Steuerung von Automatikgetrieben, mit besonderem Augenmerk auf der Elektrifizierung von Aktuatoren und Getrieben.



Die im November 2011 in Kraft getretene ISO 26262 („Road vehicles – Functional safety“) beschreibt Prozesse und Methoden für die Einhaltung der funktionalen Sicherheit bei der Entwicklung und Produktion sicherheitsrelevanter elektrischer und elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen. Sie definiert den Stand der Technik und ist damit von Automobilherstellern nachweisbar einzuhalten. Doch wie lassen sich die generischen Vorgaben und Anforderungen in konkrete Entwicklungsmaßnahmen umsetzen? Referenzworkflows und Werkzeuge, die durch akkreditierte Prüfstellen wie den TÜV qualifiziert oder zertifiziert wurden, bieten einen möglichen Ansatz, der letztlich auch geeignet ist, Risiken im Bereich der Produkthaftung zu reduzieren.

Anforderungen der ISO 26262 an die Verwendung von Software-Werkzeugen

ISO 26262 fordert, dass ein Software-Werkzeug, das in sicherheitsrelevanten Projekten eingesetzt wird, im konkreten Anwendungskontext zunächst klassifiziert wird. Dabei wird analysiert, welchen Einfluss das Werkzeug im Hinblick auf die Einhaltung oder Verletzung der funktionalen Sicherheit hat. Als Ergebnis der Klassifizierung ergibt sich der sogenannte Tool Confidence Level (TCL). Auf dieser Basis muss das Werkzeug gegebenenfalls qualifiziert werden (s. Infobox Seite 42). Abhängig vom ASIL (Automotive Safety Integrity Level) des Systems, das mit Hilfe des Software-Werkzeugs entwickelt und getestet wird, ist für die Qualifizierung typischerweise eine Kombination geeigneter Qualifizierungsmethoden auszuwählen. Die Umsetzung dieser Qualifizierungs- >>



2014 zertifizierte der TÜV SÜD die Testautomatisierungssoftware AutomationDesk von dSPACE für den Test sicherheitsrelevanter Systeme gemäß ISO 26262 und IEC 61508 – als erste kommerzielle Software für die Testautomatisierung im Bereich Hardware-in-the-Loop-Simulation überhaupt. Aber was bedeutet das konkret für den Anwender?

Sicher voran

Das TÜV-SÜD-Zertifikat für AutomationDesk erleichtert die Klassifizierung, Qualifizierung und Validierung gemäß den Standards ISO 26262 und IEC 61508

Qualifizierung

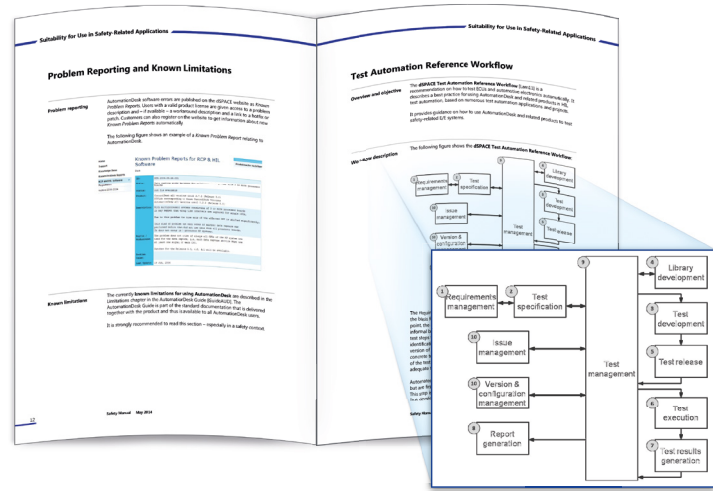
Was definieren ISO 26262 und IEC 61508?

Die IEC 61508 ist der weltweit anerkannte generische Standard für die Entwicklung sicherheitsrelevanter elektronischer Systeme. Im Bereich der Automobilindustrie wurde die IEC 61508 Ende 2011 durch die Einführung der ISO 26262 als Norm zur funktionalen Sicherheit von Personenkraftwagen abgelöst.

ISO 26262 ist eine Anpassung der IEC 61508 an die spezifischen Gegebenheiten im Automobilbereich. Die Umsetzung der Norm soll die funktionale Sicherheit eines Systems mit elektrischen/elektronischen Komponenten im Kraftfahrzeug gewährleisten. Zu einer normgerechten Entwicklung gemäß diesen beiden Standards gehört die Klassifizierung und Qualifizierung bzw. Validierung der Software-Werkzeuge, die für die Entwicklung der elektrischen/elektronischen Komponenten eingesetzt werden.

Die ISO 26262 definiert vier unterschiedliche Methoden für die Tool-Qualifizierung, aus denen Anwender – abhängig vom vorliegenden ASIL – typischerweise eine geeignete Kombination auswählen:

- a. Increased confidence from use (ISO 26262-8, 11.4.7 to 11.4.10)
- b. Evaluation of the tool development process (ISO 26262-8, 11.4.8)
- c. Validation of the software tool (ISO 26262-8, 11.4.9)
- d. Development in accordance with a safety standard (ISO 26262-8, 11.4.10)



Das AutomationDesk Safety Manual mit dem „Test Automation Reference Workflow“.

methoden ist aus Anwendersicht jedoch extrem schwierig und aufwendig, denn sie erfordert tiefen Einblick und umfangreiche Kenntnisse der Prozesse und Methoden, nach denen das Werkzeug entwickelt wird. Hier benötigt man Experten, die sich mit der Bewertung der Tool-Entwicklung vor dem Hintergrund der ISO 26262 sehr gut auskennen.

Das TÜV-SÜD-Zertifikat

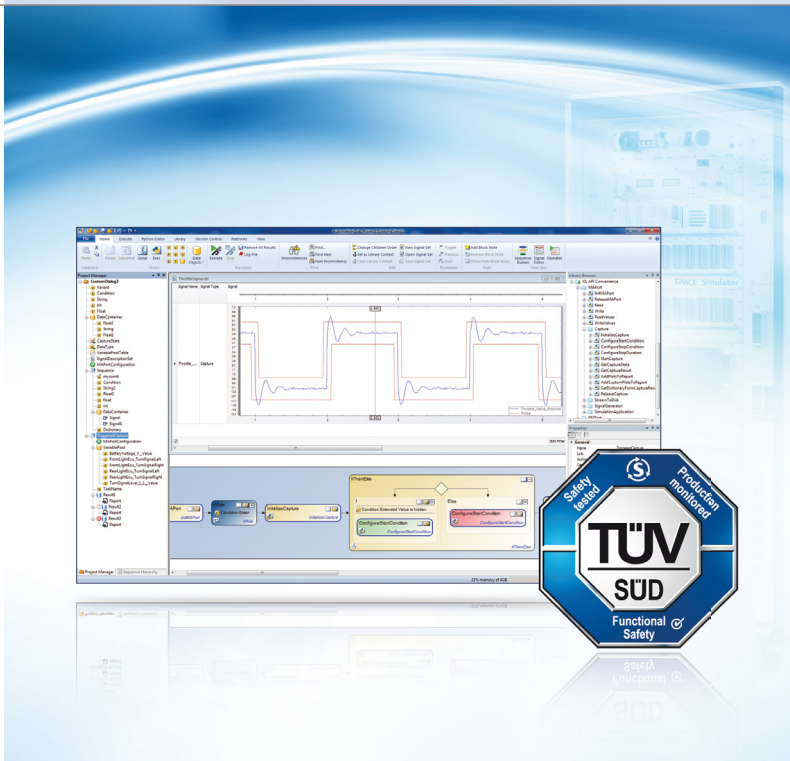
In enger Zusammenarbeit mit der dSPACE GmbH in Paderborn hat der TÜV SÜD vor allem die dSPACE-internen Prozesse und Dokumentationen für die Entwicklung und Qualitätssicherung von AutomationDesk genau unter die Lupe genommen (s. Infobox Seite 43). Weitere untersuchte Kriterien waren der Kundeninformationsprozess und das Bug Reporting sowie das neu erstellte AutomationDesk Safety Manual. Als Ergebnis hat AutomationDesk ein TÜV-Zertifikat als „Software Tool for Safety Related Development“ erhalten, das die Eignung von AutomationDesk für den Test sicherheitsrelevanter Systeme in den Bereichen Automotive, Nutzfahrzeuge, Flugzeugindustrie und vielen anderen

Industriebereichen unterstreicht. Damit wird offiziell bestätigt, dass AutomationDesk „fit for purpose“ für den Test sicherheitsrelevanter Systeme gemäß ISO 26262 und IEC 61508 ist, und zwar für alle Automotive Safety Integrity Level, von ASIL A bis ASIL D bzw. SIL1 bis SIL3.

Das „AutomationDesk Safety Manual“

Ein zentraler Bestandteil der Zertifizierung ist das AutomationDesk Safety Manual, eine ergänzende Benutzerdokumentation für den Einsatz von AutomationDesk in sicherheitsrelevanten Projekten. Es enthält insbesondere

- einen generellen Überblick über AutomationDesk sowie über sämtliche verfügbaren Produkt- und Benutzerdokumentationen,
- Empfehlungen und Best Practices für die Inbetriebnahme und den Einsatz von AutomationDesk, einschließlich des AutomationDesk „Test Automation Reference Workflows“,
- eine Abbildung des „Test Automation Reference Workflows“ auf den von der ISO 26262 vorgegebenen Testprozess,



AutomationDesk: erstes kommerzielles Software-Produkt für die Testautomatisierung im HiL-Bereich mit Zertifikat.

- eine Tool-Klassifizierung für AutomationDesk,
- den „Fit-for-purpose“-Nachweis für AutomationDesk gemäß ISO 26262 und IEC 61508.

Wertvolle Unterstützung bei der Entwicklung sicherheitsrelevanter Systeme

Mit dem Zertifikat bestätigt der TÜV SÜD als unabhängige Organisation nicht nur die hohe Qualität des Entwicklungsprozesses sowie die umfangreiche Qualitätssicherung für AutomationDesk. Wenn AutomationDesk konsequent gemäß Safety Manual eingesetzt wird, können Anwender sogar auf die aufwendige Erstellung einer eigenen Tool-Klassifizierung verzichten. Auch die Qualifizierung von AutomationDesk wird durch das Zertifikat erheblich erleichtert, bestätigt es doch die Einhaltung der relevanten Kriterien der Qualifizierungsmethoden „Evaluation of the tool development process“ und „Validation of the software tool“ sowie in großen Teilen die der „Increased confidence from use“. AutomationDesk ist das erste kommerzielle Software-Produkt für die Testautomatisierung im Bereich

Hardware-in-the-Loop-Simulation, das ein solches Zertifikat erhalten hat. Zusammen mit dem AutomationDesk Safety Manual bekommen Anwender wertvolle Unterstützung für den Einsatz von AutomationDesk bei der Entwicklung und dem Test sicherheitsrelevanter Systeme nach ISO 26262 und IEC 61508. Das TÜV-SÜD-Zertifikat erleichtert den Anwendern also erheblich die Klassifizierung, Qualifizierung und Validierung gemäß den Standards.

Ausblick

Die Zertifizierung wurde für AutomationDesk 4.1 durchgeführt. Für die neue Version, AutomationDesk 5.0, die im Sommer 2015 erscheint, steht eine Zertifizierung kurz bevor. Für zukünftige Versionen erfolgt eine Zertifizierung je nach Bedarf. Bitte wenden Sie sich an Ihren Vertriebsansprechpartner, wenn Sie weitere Informationen zum TÜV-SÜD-Zertifikat für AutomationDesk wünschen. ■

Grundlage der Prüfung durch den TÜV SÜD

Um die Zertifizierung von AutomationDesk durchzuführen, hat der TÜV SÜD die dSPACE Abteilungen einem Audit unterzogen, die für AutomationDesk verantwortlich sind. Geprüft wurden

- der Entwicklungsprozess von AutomationDesk, z.B. Requirements Management, Change Management, Release Management,
- die Validierung von AutomationDesk, z.B. Nachverfolgbarkeit von Testergebnissen entsprechend den Anforderungen,
- der Kundeninformationsprozess,
- das Safety Manual.

Basis für diese Prüfungen im mehrtägigen Vorort-Assessment waren alle relevanten Entwicklungsdokumente für AutomationDesk, z.B. das Pflichtenheft, funktionale und komponentenorientierte Detailspezifikationen, Design-Unterlagen, Testkataloge, Testergebnisse, Prozessdokumentationen, unternehmensweite Entwicklungsrichtlinien und deren projektspezifische Anpassungen. Für das gute und schnelle Ergebnis der Zertifizierung war die Zusammenarbeit aus unterschiedlichen Abteilungen ausschlaggebend.

Dabei hat sich gezeigt, dass die Prozesse rund um AutomationDesk schon sehr gut passten. Einige Verbesserungsvorschläge konnten zeitnah für die finale Prüfung und somit zur Erlangung des Zertifikats umgesetzt werden.



Rapid

AUTOSAR

MicroAutoBox II als leistungsfähige
Prototyping- und Entwicklungsplatt-
form im AUTOSAR-Kontext

Mit dem neuen RTI AUTOSAR Blockset 2.0 unterstützt dSPACE nun die Ausführung kompletter Steuergeräte-Applikationssoftware auf der MicroAutoBox II. Das Ergebnis: viel mehr Möglichkeiten und höhere Produktivität als bei der steuergerätebasierten Vorgehensweise.

Für den Erfolg in serienorientierten Entwicklungsprojekten sind effiziente Prozesse essentiell. Ein wichtiger Baustein ist dabei ein nahtloser Übergang zwischen Rapid Control Prototyping (RCP) und AUTOSAR-basierter Seriensoftware-Entwicklung. So möchte man z.B. existierende Software-Komponenten (SWCs) für den Entwurf neuer Regler in MATLAB®/ Simulink® wiederverwenden, neu entwickelte Regelalgorithmen im Kontext der Steuergeräte-Software testen oder die komplette Applikationssoftware eines Steuergerätes so früh wie möglich validieren. Daher wird eine frühzeitige AUTOSAR-Unterstützung immer wichtiger. Die technische Komplexität von AUTOSAR erschwert es Funktionsentwicklern allerdings, den Standard einzusetzen. Zudem richten sich gängige AUTOSAR-Werkzeuge vor allem an Software-Experten. Das RTI AUTOSAR Blockset 2.0 und die MicroAutoBox II, das kompakte Rapid-Control-Prototyping-System von dSPACE, schlagen die Brücke zwischen modellbasiertem Funktionsentwurf und AUTOSAR-Seriensoftware. Damit erleichtern sie Funktionsentwicklern die Beherrschung der komplexen Thematik.

Einfache Software-Wiederverwendung

Oft bauen neue Regelstrategien auf bereits entwickelten Funktionen auf. Liegen diese nicht als Simulink- oder TargetLink®-Modelle vor, sondern als serientauglicher C-Code, war es in der Vergangenheit meist auf-

wändig, diese für modellbasierte Entwicklung wiederzuverwenden. Entweder wurden entsprechende Modelle mit viel Aufwand nachentwickelt, oder der C-Code wurde mit kundenspezifischen und damit kostenintensiven Lösungen an Simulink adaptiert. Mit dem RTI AUTOSAR Blockset 2.0 ist es möglich, nach dem AUTOSAR-Standard entwickelte Software-Komponenten ohne Mehraufwand automatisiert in Simulink zu importieren und dort in neue Reglermodelle zu integrieren.

Früher Start von Prototyping und Tests

Wichtige Bestandteile des Entwicklungsprozesses sind das Testen neuer Regelstrategien im Kontext der Steuergeräte-Software sowie das Erproben und Bewerten des Regelverhaltens im Zusammenspiel mit der physikalischen Regelstrecke, in vielen Fällen direkt im Fahrzeug. Prototypen neuer Steuergeräte stehen jedoch oft erst Monate nach Entwicklungsstart zur Verfügung, und anfangs nur in begrenzten Stückzahlen. Auch sind zu Beginn noch nicht alle Basis-Software-(BSW)-Module wie I/O-Treiber für neue Sensoren und Aktoren vollständig implementiert und getestet. All dies kann den Test neuer Regelstrategien spürbar verzögern. Das RTI AUTOSAR Blockset 2.0 erlaubt es, die MicroAutoBox II als universelles, AUTOSAR-basiertes Entwicklungssteuergerät zu nutzen. So können Prototyping und Tests durchgeführt werden, lange bevor erste Prototypen des Seriensteuergeräts verfügbar sind.

>>

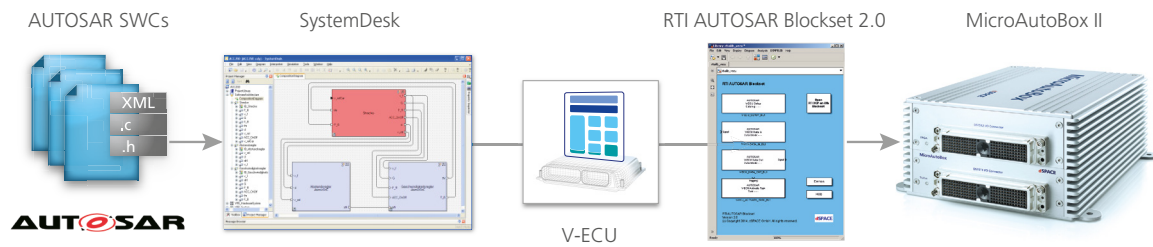


Abbildung 1: AUTOSAR-basierter Workflow für Rapid Control Prototyping.

MicroAutoBox II und AUTOSAR

Die MicroAutoBox II bietet ein umfangreiches AUTOSAR-Echtzeitbetriebssystem mit niedrigen I/O-Latenzen, vergleichbar mit denen von Seriensteuergeräten. Unterstützt werden die AUTOSAR-Versionen 3.x und 4.x. Die Erfüllung der AUTOSAR OS Scalability Class 1 gewährleistet einen hohen Grad an Kompatibilität zum AUTOSAR-Standard. Auch werden die wichtigsten Basis-Software-Dienste wie ECU State Manager (EcuM), NV RAM Manager (NvM) oder AUTOSAR CAN Stack unterstützt. AUTOSAR-Software-Komponenten können daher weitgehend ohne Einschränkungen in einer realistischen AUTOSAR-Umgebung für Rapid Control Prototyping, Benchmarking und Tests eingesetzt werden, lange bevor erste Prototypen eines Seriensteuergeräts verfügbar sind.

Flexibles AUTOSAR-Entwicklungssystem

Ein Kernziel von AUTOSAR ist es, die freie Integration von Software-Komponenten unterschiedlicher Lieferanten in eine Steuergeräte-Software zu vereinfachen. Für Lieferanten besteht die Herausforderung oft darin, ihre Funktionalitäten um kundenspezifische Funktionen zu erweitern und unter den kundenspezifischen Einsatzbedingungen zu erproben und zu testen. Mit der MicroAutoBox II als AUTOSAR-fähigem Entwicklungssystem können Lieferanten sehr früh Änderungen an ihren Software-Komponenten vornehmen und diese effizient testen. Sie müssen dazu weder auf Prototypen des Seriensteuergeräts warten noch sich in die projektspezifischen Entwicklungsumgebungen einarbeiten. Bei üblichen Serienwerkzeugen machen die Vielzahl der Parameter und deren komplexe Querabhängigkeiten die Konfiguration einer Basis-Software aufwändig und fehleranfällig. Demgegenüber erlaubt es der modellbasierte Ansatz, Betriebssystem und I/O der MicroAutoBox II intuitiv zu konfigurieren und kundenspezifische Aktoren und Sensoren schnell und flexibel anzubinden. So lassen sich kundenspezifische Testumgebungen mit minimalem Aufwand aufsetzen. Dies erlaubt es Lieferanten, zu einem

sehr frühen Zeitpunkt prototypische Lösungen für einen Kunden zu entwickeln, ohne an dessen Werkzeugketten gebunden zu sein.

Nahtlose Werkzeugkette

Neben dem RTI AUTOSAR Blockset 2.0 und der MicroAutoBox II bietet dSPACE mit TargetLink, SystemDesk® sowie VEOS® leistungsstarke Werkzeuge für die modellbasierte Software-Entwicklung, die Software-Integration und die Offline-Validierung. Gemeinsam decken sie alle Phasen der Funktions- und Software-Entwicklung ab, vom Entwurf neuer Reglerfunktionen bis hin zur Software-Architektur und -Integration, von der PC-basierten Simulation bis zum Rapid Control Prototyping und Test direkt im Fahrzeug. Zudem ermöglichen sie die Etablierung eines nahtlosen Entwicklungsprozesses (Abbildungen 1 und 2). Vervollständigen lässt sich diese Werkzeugkette mit der Experimentier-Software ControlDesk® Next Generation, die konsequent die gleichen Mess- und Kalibrierdaten sowie Experimentier-Layouts über die verschiedenen Plattformen hinweg bis zum Seriensteuergerät durchgängig unterstützt und so Anpassungsaufwände vermeidet. Das Bindeglied zwischen Software-Entwicklung und anschließenden Prototyping- und Test-Aktiv-

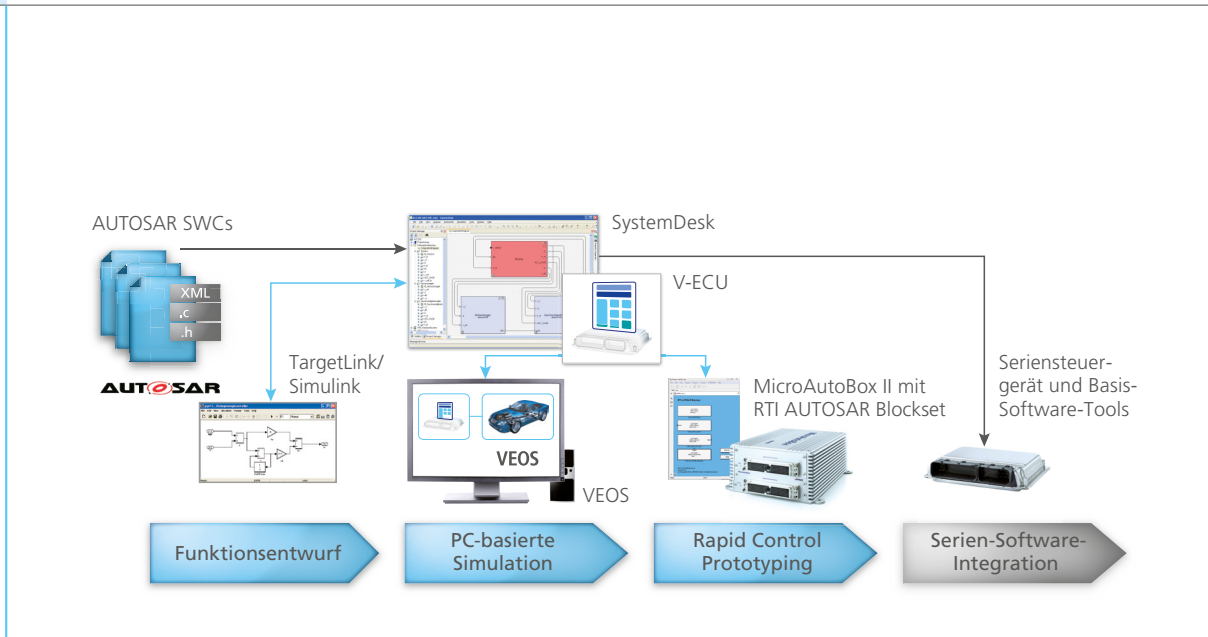


Abbildung 2: Durchgängige dSPACE Werkzeugkette für Funktionsentwurf, Rapid Control Prototyping und Test.

Die durchgängige AUTOSAR-Werkzeugkette von dSPACE verbessert die Produktivität im Entwicklungsprozess.

täten bildet SystemDesk. Mit SystemDesk lassen sich AUTOSAR-SWCs importieren und zu einer Applikationssoftware verschalten. SWCs können sowohl vom Seriencode-Generator TargetLink als auch von anderen AUTOSAR-Werkzeugen stammen. SystemDesk erlaubt es, AUTOSAR-Betriebssystem, Basis-Software und Run-Time-Environment (RTE) des Zielsystems zu konfigurieren oder eine solche Konfiguration von anderen AUTOSAR-Werkzeugen zu übernehmen. Auf Basis dieser Informationen kann mit dem SystemDesk V-ECU Generation Module eine virtuelle Steuergeräte-Software (Virtual ECU, V-ECU) generiert werden, die sowohl von der PC-basierten Simulationsplattform VEOS als auch vom RTI AUTOSAR Blockset 2.0 für Offline-Validierung und Rapid Control Prototyping verwendet werden kann. In beiden Fällen lässt sich die V-ECU um zusätzliche Funktionen auf Basis von Simulink-Modellen erweitern.

Maximale Testabdeckung

Während sich funktionale Eigen-

schaften einer V-ECU mit VEOS in der Offline-Simulation effizient validieren lassen, kann dieselbe V-ECU mit dem RTI AUTOSAR Blockset 2.0 auf der MicroAutoBox II im Zusammenspiel mit der physikalischen Regelstrecke ausgeführt werden. So können auch echtzeitspezifische Teile des Software-Verhaltens getestet und die V-ECU unter realistischen Einsatzbedingungen, auch im Fahrzeug, erprobt und getestet werden. Dadurch sind eine sehr umfangreiche Validierung funktionaler und nicht-funktionaler Eigenschaften und eine hohe Testabdeckung erreichbar.

Fazit

Die MicroAutoBox II wird mit dem neuen RTI AUTOSAR Blockset 2.0 zum universellen, echtzeitfähigen AUTOSAR-Entwicklungssystem für serienorientierte, modellbasierte Entwicklung und Test. Damit können die Möglichkeiten und die Produktivität steuergerätebasierter Entwicklungsprozesse bei weitem übertroffen werden. ■

Auch ohne AUTOSAR?

Und wenn Ihre Steuergeräte-Software nicht auf AUTOSAR basiert? Es gibt Möglichkeiten, auch für Nicht-AUTOSAR-Software durchgängige Werkzeugketten und -prozesse aufzusetzen. Wenn Sie weitere Informationen benötigen, wenden Sie sich bitte per E-Mail an rcp@dSPACE.de.



MicroAutoBox II: Universelles, echtzeitfähiges Entwicklungssystem mit den Erweiterungen Embedded PC (Mitte) und RapidPro-Signal-Konditionierung (rechts).

Seit Ende 2011 ist die Nachfolgenorm der DO-178B, die DO-178C, veröffentlicht und zeichnet sich gegenüber ihrem Vorgänger besonders dadurch aus, dass neuen Methoden zur Software-Entwicklung in Form von Standardergänzungen breiter Raum eingeräumt wird. Ganz wesentlich sind dabei die Standarderweiterungen zu Techniken des modellbasierten Entwurfs und der modellbasierten Verifikation, die im Supplement-Dokument DO-331 beschrieben sind. Diese Schlüsseltechniken des Software-Entwurfs bieten viel Potenzial, die Software-Entwicklung im Luftfahrtbereich hocheffizient zu gestalten und die hohen Qualitäts- und Sicherheitsansprüche an die Software nicht nur zu halten, sondern noch auszubauen. Im Folgenden wird näher gezeigt, wie sich der Einsatz von TargetLink im Kontext der DO-178C/DO-331 darstellt und welche Aspekte dabei zu beachten sind.

Modelle: Türöffner für den Einsatz innovativer Methoden

Ein entscheidender Fortschritt für eine effiziente und qualitätsbewusste Software-Entwicklung ergibt sich aus der Darstellung von Anforderungen durch Modelle entsprechend der DO-331. Ein Übergang von rein textuellen zu formalisierten Anforderungen in Form von Modellen eröffnet eine Fülle von Möglichkeiten zur automatisierten Analyse, Quellcode-Erzeugung sowie Verifikation. Software-Anforderungen gibt es nach DO-178B/C bzw. DO-331 in zwei unterschiedlichen Formen:

■ High-Level Requirements (HLR)

Sie beschreiben im Wesentlichen, „was“ die Software tun soll, aber nicht „wie“, sind also eine „Black-Box“-Sicht auf die Software. HLRs werden wiederum aus Anforderungen an das eigentliche System

>>

```

description: number of axis#1 points */
    6 /* Ny:
description: number of axis#2 points */
    (const uint16 *) &(Ramp_Rate__Ki__x_tabl
    (const uint16 *) &(Ramp_Rate__Ki__y_tabl
    (const uint16 *) &(Ramp_Rate__Ki__z_tabl
*/
TLStaticLocalInit: Default storage class
*/
static sint32 X_Sc4_Discrete_Time_Integrator
    1.99993896484375 */;
*/
BusInport: TL_FuelsysController/Run_Airf
te_Read_RpCorrectedSensors_Sensors(&Sensor
*/
# combined # TargetLink outport: TL_Fuel
*/
# combined # Discrete Integrator: TL_Fue
egrator */
te_IrvIWrite_Run_AirflowCorrection_Airflow
((sint32) 800));
*/
Discrete Integrator: integration
# combined # Product: TL_FuelsysControll
# combined # 2D-TableLookup: TL_FuelsysC
# combined # Sum: TL_FuelsysController/R
# combined # Relational: TL_FuelsysContr
_Sc4_Discrete_Time_Integrator += ((sint32)
Tab2DS17I2T4169(&Sc4_Ramp_Rate__Ki__map, S
((sint16) (((uint16) (Sensors.Ego <= 8199

```




Code-Generator TargetLink
für Luftfahrtanwendungen

Sicherer Code

nach

DO-178C

Der dSPACE Seriencode-Generator TargetLink ist nicht nur exzellent für automotive Serienprojekte geeignet, sondern auch für solche in der zivilen und militärischen Luftfahrt. Speziell für die Anwendung von TargetLink in DO-178C-konformen Luftfahrtprojekten bietet dSPACE eine umfangreiche Workflow-Beschreibung an, die den Einsatz einer TargetLink-basierten Werkzeugkette zur vereinfachten Zertifizierung der Software beschreibt.

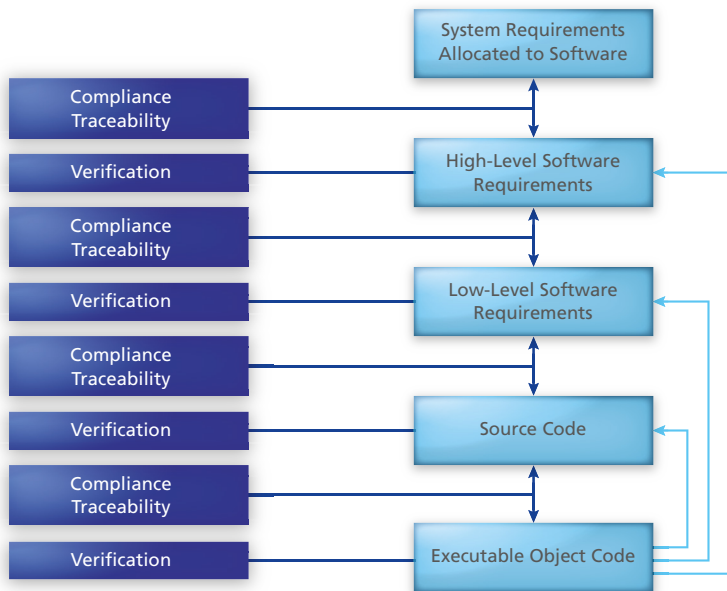


Abbildung 1: Wichtige Entwicklungsphasen entsprechend DO-178C, inklusive erforderlicher Verifikationsschritte.

abgeleitet, die im Systemprozess, etwa nach ARP 4754 (Aerospace Recommended Practice), aufgestellt wurden.

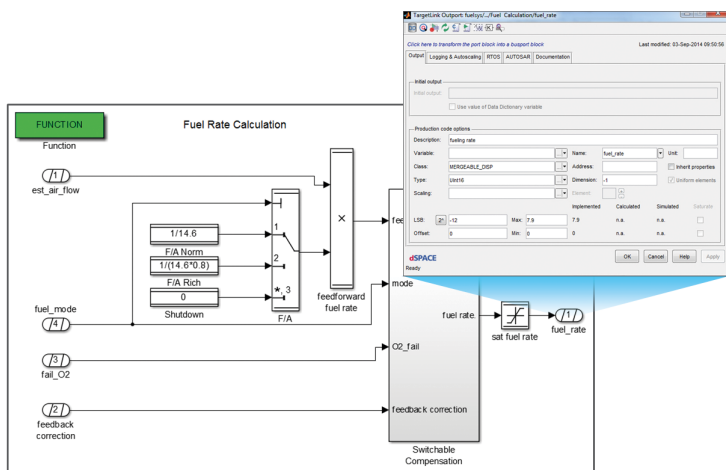
■ **Low-Level Requirements (LLR)**

Diese beschreiben das Innenleben der Software, also das „wie“, und geben somit eine „White Box“-

Sicht auf die Software. LLRs werden naturgemäß aus den HLRs abgeleitet. Aus LLRs muss sich direkt der eigentliche Quellcode erzeugen lassen.

Modelle zur Repräsentation von Anforderungen können nun auf diesen

Abbildung 2: Simulink/TargetLink-Design-Modelle werden direkt zur automatischen Quellcode-Generierung mit TargetLink verwendet.



beiden Ebenen eingesetzt werden (Abbildung 1). Besonders verbreitet sind Simulink®/TargetLink®-Modelle zur Repräsentation von LLRs, aus denen anschließend direkt der eigentliche Quellcode durch automatische Code-Generierung erzeugt wird. Solche Modelle zur Repräsentation von LLRs werden nach DO-331 als Design-Modelle bezeichnet und beinhalten neben der Beschreibung der eigentlichen Funktionalität alle notwendigen Detailinformationen über die Software, wie beispielsweise interne Datenstrukturen, Kontrollflussinformationen und eventuelle Festkomma-Repräsentationen (Abbildung 2).

Vom Design-Modell zum Quellcode auf Knopfdruck

Die Repräsentation von Anforderungen als Design-Modelle (nach DO-331) eröffnet einen direkten Zugang zur Erstellung des Quellcodes für die Software: die Nutzung automatischer Code-Generierung statt manueller Codierung. TargetLink ist in Bezug auf Qualität und Zuverlässigkeit menschlichen Programmierern weit überlegen und produziert völlig deterministisch und auf Knopfdruck Quellcode:

■ Der von TargetLink generierte Code ist sehr gut lesbar und geeignet für Reviews. Dies wird durch umfangreiche Quellcode-Kommentierung, leicht verständliche Symbolnamen und die Nutzung eines Sprach-Subsets der Sprache C gewährleistet.

■ Er lässt sich direkt zum Entwurfsmodell zurückverfolgen. Hierdurch wird unmittelbar Nachverfolgbarkeit zwischen Quellcode und dem zugehörigen Modell, aus dem der Code erzeugt wurde, hergestellt.

■ Der mit TargetLink zu generierende Code ist darüber hinaus in sehr hohem Maße konfigurierbar, um Kodierungsrichtlinien einzuhalten, den TargetLink-generierten Code mit existierendem Legacy-Code zu

verbinden und den zu generierenden Code optimal in die Software-Architektur ohne aufwendige Wrapper einzupassen.

Generell sind Qualität, Konfigurierbarkeit und Effizienz des generierten Codes herausragende Merkmale von TargetLink, die sich in allen Anwendungsbereichen zeigen.

Modellbasierte Verifikation – Schlüssel zur einfacheren Zertifizierung

Die großen Vorteile beim Einsatz von Modellen zur Spezifikation von Anforderungen (HLRs und LLRs) zeigen sich neben der automatischen Code-Generierung insbesondere im Bereich der Verifikationsschritte. Diese müssen entwicklungsbegleitend in den einzelnen Phasen zur Überprüfung der entwickelten Artefakte wie Modelle, Quellcode und Objekt-Code durchgeführt werden (Abbildung 1).

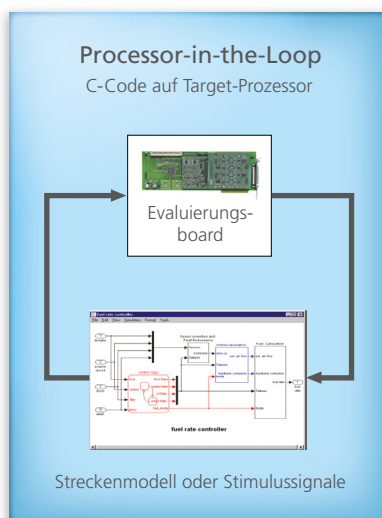
Zum Nachweis, dass die Modelle die Anforderungen erfüllen, aus denen sie abgeleitet wurden (Abbildung 1), bietet sich insbesondere eine Kombination aus Modellsimulationen, Abdeckungsanalyse und Testfallgenerierung an. Testfälle müssen nach DO-178B/C ausschließlich anforde-

rungsbasiert erstellt werden. Ist nun die Anforderung selbst in Form eines Modells spezifiziert, etwa durch ein Simulink/TargetLink-Modell, so können Techniken zur automatischen Testvektorgenerierung angewandt werden, wie sie etwa der BTC EmbeddedTester® bietet. Zum Nachweis der Konformität des ausführbaren Objekt-Codes mit den HLRs und LLRs entsprechend Abbildung 1 wird der Objekt-Code typischerweise auf der Zielplattform ausgeführt. TargetLink bietet hierzu äußerst leistungsfähige Mechanismen in Form von Processor-in-the-Loop-Simulation, um den automatisch generierten Code direkt mit dem Target-Compiler zu übersetzen und auf einem Evaluation-Board des Zielprozessors zur Ausführung zu bringen (Abbildung 3).

DO-178C/DO-331-Workflow-Dokument für TargetLink

Für den Einsatz von TargetLink in DO-178C/DO-331-kompatiblen Projekten stellt dSPACE das Workflow-Dokument „TargetLink – Model-Based Development and Verification of Airborne Software“ bereit. Das Dokument beschreibt, wie sich die einzelnen Anforderungen bzw. „Objectives“ der DO-178C/DO-331 besonders einfach erfüllen lassen. Betrachtet wird hierbei nicht nur TargetLink selbst, sondern die gesamte TargetLink-Umgebung in Form einer kompletten, modellbasierten Werkzeugkette unter Berücksichtigung von Drittanbieterwerkzeugen. Dazu gehören die Werkzeuge der TargetLink-Kooperationspartner BTC Embedded Systems, Model Engineering Solutions und AbsInt. Das Dokument kann per E-Mail an TargetLink.Info@dspace.de angefordert werden. ■

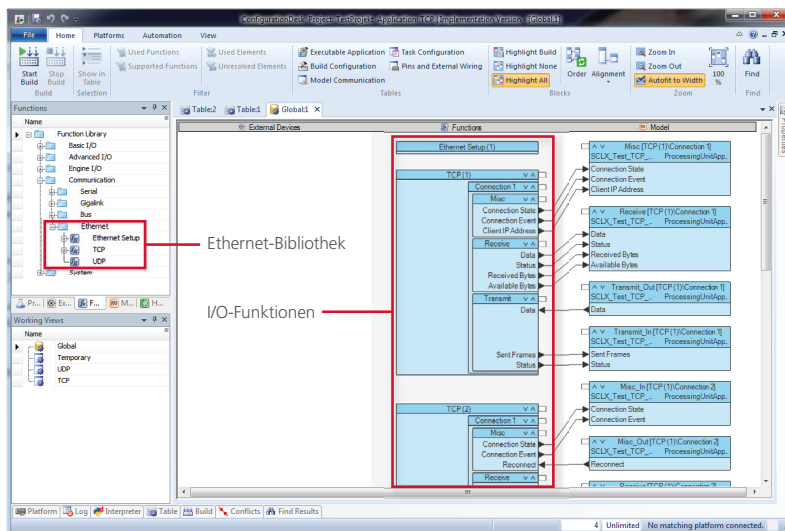
Abbildung 3: Ausführung des „Executable Object Codes“ in Processor-in-the-Loop-Simulationen, um nachzuweisen, dass der Objekt-Code die Anforderungen erfüllt.



Fazit

Für Luftfahrtanwendungen lässt sich mit TargetLink in DO-178C-konformen Projekten hochqualitativer Quellcode auf Knopfdruck erzeugen. Der Code ist aufgrund seiner Kommentierung des Layouts und der Symbolnamen sehr gut lesbar, bietet nahtlose Rückverfolgbarkeit zu den Anforderungen und ist leicht konfigurierbar, zum Beispiel um geforderte Richtlinien zu erfüllen. Außerdem bieten TargetLink und dessen Integration mit Drittanbieterwerkzeugen eine ideale Umgebung für Verifikation, Simulation, Analyse und Tests. Von den Anforderungen bis hin zum fertigen Quellcode – mit TargetLink haben Anwender ihre DO-178C-konformen Entwicklungsprojekte im Griff.

SCALEXIO Ethernet Solution



Für SCALEXIO® bietet dSPACE die neue SCALEXIO Ethernet Solution an. Sie erweitert die Bediensoftware ConfigurationDesk® um Ethernet-I/O-Funktionen und ermöglicht so während Hardware-in-the-Loop-Tests das Senden und Empfangen von Daten basierend auf TCP/IP und UDP/IP. Die Konfiguration der SCALEXIO Ethernet Solution erfolgt vollständig grafisch in ConfigurationDesk. Mit der neuen Solution können Anwender beispielsweise Drittanbietersysteme wie Prüfstände und Messsysteme anbinden oder Co-Simulationsanwendungen koppeln, bei denen auf zwei Simulationssystemen gerechnet wird. ■

Multiprozessorsysteme mit DS1007 PPC Processor Board



Ab dem dSPACE Release 2015-A bietet das DS1007 PPC Processor Board nun auch die umfangreiche Multiprozessorunterstützung modularer Echtzeit-Hardware. Auf diese Weise lässt sich durch Zusammenschalten mehrerer DS1007 Boards neben dem I/O-Umfang auch die Rechenleistung steigern und an die Komplexität der Anwendung anpassen. Die synchrone Kopplung der Prozessor-Boards erfolgt dabei wie gewohnt über ein speziell für diese Zwecke entwickeltes Aufsteckmodul (Gigalink-Modul), das die Prozessor-Boards latenzarm über Glasfaserleitungen verbindet. Die Verteilung der Modelle auf die verschiedenen Rechenkern lässt sich mit Hilfe der Software „Real-Time Interface for Multiprocessor Systems“ (RTI-MP) komfortabel durchführen. ■

dSPACE schult die Entwickler von Formula-Student-Rennwagen

Ende Februar und Anfang März konnte dSPACE erneut hoffnungsvollen Motorsport- und Ingenieur-nachwuchs am Paderborner Standort des Unternehmens willkommen heißen. Insgesamt 21 Entwickler und eine Entwicklerin aus der „Formula Student“ besuchten ihren Team-Sponsor, um sich im Umgang mit dSPACE Entwicklungswerkzeugen für die Steuerung und Regelung der Rennwagen fortzubilden. Bereits seit 2007 unterstützt dSPACE ausgewählte Teams der Formula

Student mit Entwicklungswerkzeugen sowie fachlichem Know-how. Im Jahr 2015 profitieren insgesamt 22 verschiedene akademische Renn-teams von dieser Kooperation, zu der traditionell auch umfangreiche Schulungen und Weiterbildungen gehören. Mit diesem Engagement denkt dSPACE heute schon an den Fachkräftebedarf von morgen und hilft jungen Nachwuchsforschern, ihre Ideen frühzeitig auf die Straße zu bringen. ■

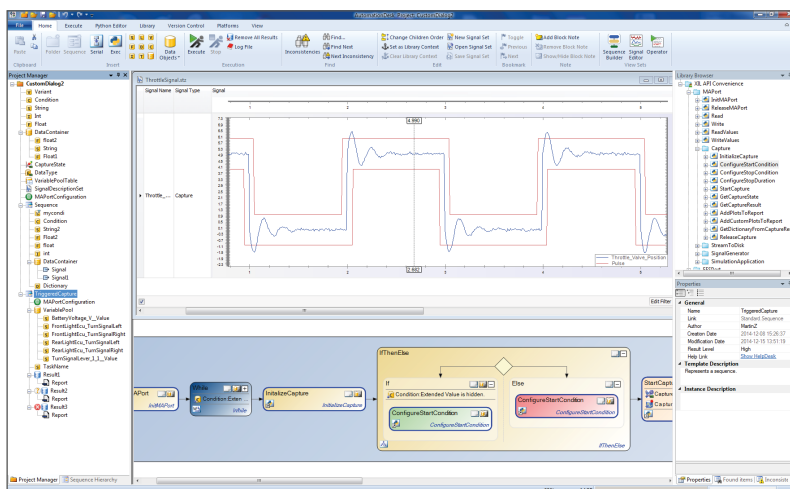


AutomationDesk 5.0: Testautomatisierung und Testentwicklung optimiert

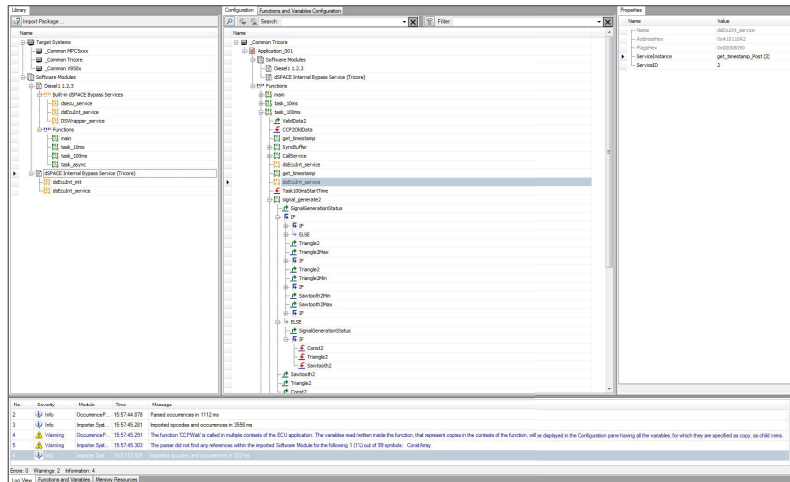
Die aktuelle Version 5.0 der Testautomatisierungssoftware AutomationDesk bietet eine noch bessere Bedienbarkeit. Neu ist das „Signalbasierte Testen“, eine intuitive grafische Beschreibung von Signalen für Stimuli und Evaluierung. Damit ist eine Testentwicklung auf einfache Art, fast wie auf einem Blatt Papier, möglich. AutomationDesk erfüllt außerdem den Standard ASAM XIL 2.0 und bietet damit eine herstellerunabhängige Schnittstelle zu Prüfständen. Durch die hochwertige Implementierung des Standards in AutomationDesk kann der Anwender komfortabel auf Simulationsvariablen zugreifen und Fehlerpotentiale auf Steuergeräte-Pins aufschalten. Außerdem verfügt AutomationDesk nun über eine Bibliothek für die

direkte Verbindung mit MotionDesk, der Visualisierungssoftware von dSPACE für Steuergeräte-Tests. Damit wird der systematische Test von Fahrerassistenzsystemen, bei-

spielsweise auf Basis von Kameras, noch durchgängiger. ■



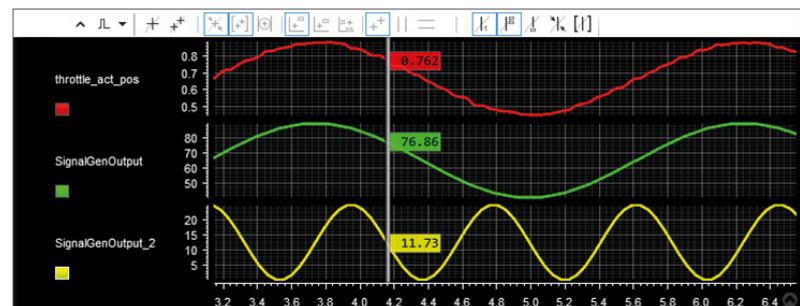
ECU Interface Manager 1.6: Unterstützung von Multicore- Steuergeräten



Mit der Version 1.6 des dSPACE ECU Interface Managers lässt sich nun auch Steuergeräte-Software von leistungs-fähigen Multicore-Steuergeräten für Bypassing-Anwendungen vorbereiten. Die bewährten Vorteile der auf HEX-Code basierten Bypass-Integration bleiben voll erhalten: Ohne Zugriff auf die Build-Umgebung und den Quellcode der Steuergeräte-Software können Funktionsentwickler schnell und weitgehend autonom einen Bypass implementieren und in schnellen Iterationszyklen neue Funktionen im Kontext eines Seriensteuergeräts erproben und testen. Unterstützt werden Mikrocontroller-Familien für automotiv Anwendungen von Infineon, Freescale, Renesas und ST Microelectronics. Bei der Bypass-Integration sorgt der ECU Interface Manager automatisch für Datenkonsistenz auch über Prozessorkerngrenzen hinweg. So hält er die Komplexität der Multicore-Software vom Anwender fern. ■

ControlDesk 5.4: Erweiterte Hardware-Unterstützung, noch mehr Komfort

Mit der aktuellen Version 5.4 der Experimentier-Software ControlDesk® Next Generation bietet dSPACE zahlreiche erweiterte Möglichkeiten für neue Projekte. Hardwareseitig werden nun sowohl Multiprozessorsysteme auf Basis des DS1007 PPC Processor Boards als auch das Vector VN5610 Interface für die CAN-Bus-Einbindung unterstützt. Die Aufzeichnungsmöglichkeiten sind mit ControlDesk 5.4 noch vielfältiger geworden, auch Kennfelder und Kennlinien können nun im Datenformat ASAM MDF 4.1 aufgezeichnet werden. Der Signal Editor ermöglicht das Importieren und Exportieren von Signalbeschreibungen und Signalgeneratoren nach ASAM AE XIL API 2.0.1; ein neues Data File Segment erlaubt hierbei das



flexiblere Abspielen von aufgezeichneten Messdaten mit direkter Wahl von Startzeitpunkt und Abspiel-dauer. Für das immer bedeutsamer werdende Einsatzfeld der virtuellen Validierung können Simulationssysteme aus virtuellen Steuergeräten und Streckenmodellen jetzt noch

einfacher aufgesetzt werden. Über das neue XIL API MAPort Platform Modul kann ControlDesk an Simulationsplattformen von Drittanbietern über den Standard ASAM XIL API angebunden werden, um auf diesen Simulationsgrößen zu lesen, zu schreiben und zu messen. ■

dSPACE an Bord

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

Augen für das Fahrzeug

AdasWorks ist ein Software-Werkzeug zur Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen und autonomen Fahrzeugen. Integriert in ein Fahrzeug, das mit einer Frontkamera ausgestattet ist, navigiert AdasWorks dieses völlig autonom anhand der Kameradaten. Eine dSPACE MicroAutoBox berechnet dabei die digitalen Ausgangssignale für die elektromechanischen Aktoren und lenkt, bremst oder beschleunigt so das Fahrzeug.



Bildnachweis: © AdasWorks

AdasWorks und ThyssenKrupp Presta Hungary demonstrieren das autonome Fahrzeug.
www.dspace.com/go/dMag_20152_ADASW



Bildnachweis: © AdasWorks

Der folgende Medienbericht erläutert die Anwendung und den Einsatz der MicroAutoBox:
www.dspace.com/go/dMag_20152_VISYS

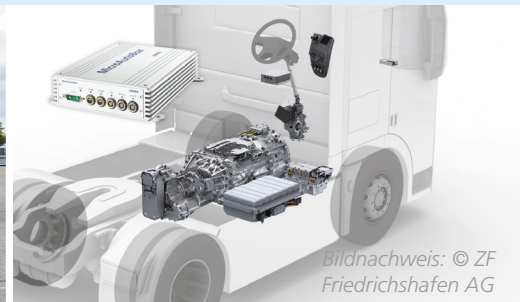
Rangieren per App

Ein neuer Rangier- und Ankuppel-Assistent von ZF macht das Rangieren von Lkw auch mit mehreren Anhängern buchstäblich zur Fingerübung. Über eine Tablet-App lässt sich der Lastzug an die gewünschte Position dirigieren – einfach und präzise. Zwei im Lkw verbaute MicroAutoBoxen von dSPACE setzen die Rangierbefehle in Steuersignale für Motor, Bremse und Lenkung um.



Bildnachweis: © ZF Friedrichshafen AG

Ein Lkw mit 25 Metern Länge rangiert präzise auf Fingerdruck.
www.dspace.com/go/dMag_20152_ZFD



Bildnachweis: © ZF Friedrichshafen AG

Die Technik des ZF Innovation Trucks nutzt unter anderem zwei MicroAutoBoxen.

Driften gegen den Computer

Kann ein Computer besser fahren als ein Mensch? Diese Frage möchte ein Testteam einer Automobilzeitschrift auf der Rennstrecke beantworten. Ihr Herausforderer ist der Prototyp eines BMW M235i, der über alle elektronischen Komponenten verfügt, um auch ohne Fahrereingriff auf einer Kreisbahn kontrolliert zu driften. Teil des Computersystems ist eine im Kofferraum verbaute dSPACE AutoBox.



Bildnachweis: © AutoBild.tv

Der autonome BMW M235i im Drift auf der Kreisbahn.
www.dspace.com/go/dMag_20152_ABTV



Bildnachweis: © AutoBild.tv

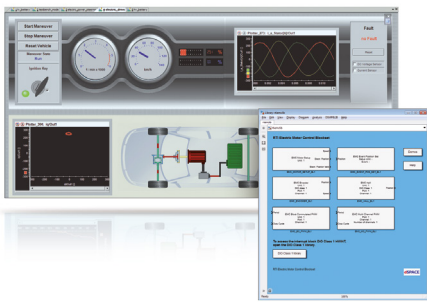
Auch eine dSPACE AutoBox trägt zum kontrollierten Driftspaß bei.



Erfahren Sie mehr über diese Anwendungen mit Videos, Fotos und Berichten im Internet:
www.dspace.com/go/dMag_20152_REF_D



dSPACE MicroLabBox – Echte Größe ganz kompakt



Sie suchen ein leistungsstarkes Entwicklungssystem für zahlreiche Laboranwendungen, das nur wenig Platz benötigt, und das zu einem attraktiven Preis? Die neue dSPACE MicroLabBox bietet einen Simulink®-programmierbaren Echtzeitprozessor mit hoher Rechenleistung in Kombination mit einem FPGA sowie mehr als 100 I/O-Schnittstellen. All das auf kaum mehr Stellfläche als für ein herkömmliches Notebook. Ideal für das komfortable Erstellen, Optimieren und Testen von Regelungen in Antriebstechnik, Robotik, Medizintechnik und vielen weiteren Bereichen. MicroLabBox – Ihr neues All-in-One-System für Forschung und Entwicklung.



MicroLabBox erleben!

[www.dspace.com/go/
dMag_20152_MLBX_D](http://www.dspace.com/go/dMag_20152_MLBX_D)

Embedded Success **dSPACE**