

dSPACE MAGAZIN

2/2023

MAN – Etablierung eines effizienten, durchgängigen Entwicklungs- und Validierungsprozesses für autonome Transportfahrzeuge | Seite 10



Diehl Aerospace – Sicherer Flug mit eVTOL-Lufttaxis dank Simulation | Seite 18

Hyzon Motors – Sauberer Wasserstoff und abgesicherte Brennstoffzellen treiben Nutzfahrzeuge emissionsfrei an | Seite 32

Was ist SOLE?

„... eine cloudbasierte Plattform, die Fahrzeugsysteme, -funktionen und -dynamik zum Zweck der Entwicklung und Validierung des eingebetteten Regelsystems eines Fahrzeugs emuliert ...“



Alles virtualisiert

General Motors installiert eine cloudfähige, skalierbare Entwicklungs- und Integrationstestumgebung für softwaredefinierte Fahrzeuge

Mehr Software in Fahrzeugen bedeutet mehr Software-Tests – in allen Bereichen des Fahrzeugs. Um Software-Innovationen voranzutreiben, sollten virtuelle Tests schnell, gründlich, aber realistisch sein.

Um die Testmöglichkeiten zu verbessern, die Markteinführung zu beschleunigen und die Entwicklung und Validierung von softwaredefinierten Fahrzeugen (SDV) zu ermöglichen, hat General Motors beschlossen, eine virtuelle Umgebung zu erstellen. Sie trägt den Namen SOLE und umfasst alle wichtigen Komponenten für die Organisation und Durchführung von Software-Integrationstests auf Fahrzeugebene.

- Virtuelle Steuergeräte werden co-simuliert.
- Die entsprechenden Streckenmodelle werden über verschiedene Co-Simulationsverfahren in die Plattform integriert.
- Die gesamte erforderliche Infrastruktur für Testwerkzeuge ist in der Plattform vorhanden, so dass der Zugang zum Simulator über verschiedene Schnittstellen-APIs möglich ist.
- Die Orchestrierung und Bereitstellung in der Cloud wird durch eine Vielzahl von Techniken ermöglicht.
- Die auf Standards basierenden Werkzeuge machen die Plattform für alle notwendigen Messungen und Datenaufzeichnungen verfügbar.

VEOS, die Software-in-the-Loop (SIL)- und V-ECU-Integrationslösung von dSPACE, spielt dabei eine zentrale Rolle. Sie ermöglicht es, Software-Innovationen in allen Bereichen voranzutreiben und in frühen Entwicklungsphasen der Fahrzeug-Software bereichsübergreifend zu validieren. Dies verkürzt die Markteinführungszeit für wertvolle Software-Funktionen.

Mit freundlicher Genehmigung von General Motors.

„Gemeinsam Chancen nutzen, um die Mobilität der Zukunft voranzutreiben.“

Liebe Leserinnen und Leser,

die Chance, ein so hervorragend positioniertes Unternehmen wie dSPACE zu leiten, hat mich von der ersten Sekunde an begeistert. Und nach knapp sechs Monaten an der Spitze von dSPACE hat diese Begeisterung nicht nachgelassen. Für alle, die mich noch nicht kennen: Seit April darf ich dSPACE als CEO führen. Vorherige Stationen waren die Entwicklungsabteilungen von Bosch, Hella und Claas. Dort habe ich dSPACE aus der Anwender- und Kundenperspektive kennengelernt. Mein erster Weg führt mich zu Ihnen, unseren Kunden. Aus ersten Gesprächen nehme ich mit, dass die Zusammenarbeit eng, effektiv und produktiv ist, dass wir aber darüber hinaus noch viele Ideen für Innovationen teilen. Deshalb möchte ich Partnerschaften vertiefen und gemeinsam mit Ihnen auch zukünftige Lösungen optimal auf Ihre individuellen Bedürfnisse abstimmen. Dass wir das nicht nur *wollen*, sondern auch *können*, beweisen die vielen erfolgreich abgeschlossenen Kundenprojekte.

Tatsächlich sind die Fähigkeiten von dSPACE noch breiter aufgestellt, als ich es mir zunächst vorgestellt hatte. Unser umfangreiches Software-Portfolio von der Software-in-the-Loop (SIL)-Simulation über die datengetriebene Entwicklung bis hin zur Datenaufzeichnung erweitert die Grenzen dessen, was ich in meinem bisherigen Berufsalltag von Hardware-in-the-Loop (HIL)- und Rapid-Control-Prototyping (RCP)-Systemen kannte. Damit bietet dSPACE Lösungen für nahezu sämtliche Anwendungsfelder in der Fahrzeugentwicklung.

Der enge Austausch mit unseren Anwendern ist unser Kompass, der uns bei der Entwicklung marktgerechter Produkte leitet. Ein Beispiel dafür sind die Batteriemangement- und Power-HIL-Systeme, mit denen wir die steigende Nachfrage aus dem Bereich der Elektromobilität bedienen. Wir unterstützen Sie aber nicht nur mit Produkten, sondern sichern mit unserer Expertise Ihren Erfolg. Um unsere Qualität und Liefertreue zu gewährleisten, erweitern wir stetig unser Team. Allein in diesem



Jahr durfte ich bereits 160 neue kluge und engagierte Köpfe in Paderborn begrüßen.

Unsere globale Anerkennung basiert auf unserer Motivation, unserer Kompetenz und unserer Zuverlässigkeit. Die Anwenderberichte in dieser Ausgabe des dSPACE Magazins verdeutlichen dies. Es erfüllt uns mit Stolz, nicht nur etablierte OEMs wie MAN (Seite 10) auf unserer Seite zu wissen, sondern auch Start-ups aus aller Welt bei ihren Entwicklungen zu begleiten – wie es beispielsweise Human Horizons auf der dSPACE World Conference 2023 berichtet hat.

Die Ausgangsbasis von dSPACE ist grundsolide, und wir bleiben Ihr zuverlässiger Partner für Simulation und Validierung. Gleichzeitig freue ich mich darauf, in Zeiten des rasanten Wandels Chancen zu nutzen und gemeinsam mit Ihnen die Mobilität der Zukunft mit neuen Technologien und Lösungen voranzutreiben.

Ihr Dr. Carsten Hoff



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-magazin@dspace.de
www.dspace.de

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

Fachredaktion:

Susanne Andreas, Janina Freihube, Björn Gaentzsch,
Ralf Lieberwirth, Lena Mellwig, Ulrich Nolte,
Dr. Gerhard Reiß, Sonja Ziegert

Korrektur und Übersetzung:

Robert Bevington, Anna-Lena Huthmacher,
Stefanie Luedeking, Julie Pollington

Gestaltung und Layout:

Jens Rackow, Sabine Stephan

Druck:

Media-Print GmbH, Paderborn

© 2023 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 HELLA

Realistisch betrachtet

Sensorrealistische Simulationen erlauben Tests und Validierungen auf einem extrem hohen Niveau – doch über welche Features sollten diese Tools verfügen?

10 MAN

Autonomer Truck-Pilot

Partnerschaftliche Einführung eines effizienten End-to-End-Entwicklungsprozesses für autonome Transportfahrzeuge mit der hochskalierbaren Simulationslösung SIMPHERA

18 DIEHL AEROSPACE

Mobilitäts-Transformer

eVTOL-Lufttaxis sind dabei, eine neue Epoche der Luftfahrt zu prägen und überzeugen durch hohe Flugsicherheit – dank Absicherung per Simulation

24 ABB

Alle(s) an Bord

Echtzeitsimulation für Hilfsbetriebeumrichter und Bordversorgung in Schienenfahrzeugen

32 HYZON MOTORS

E-Missionsfrei unterwegs

Entwicklung und Absicherung von Brennstoffzellen-Technologien für Nutzfahrzeuge

36 NIO

Mission: E-Auto

Der chinesische Elektrofahrzeugspezialist NIO setzt bei der Entwicklung von Reglerfunktionen für Elektromotoren auf SCALEXIO-Simulatoren von dSPACE

38 INTILION

Stromer auf Schienen

Entwicklung von Batteriesystemen für Bahnanwendungen

42 AISIN

Schneller Schalten

Die Aisin Corporation entwickelt ein Shift-by-Wire-System, das automatische Gangwechsel ermöglicht, um das autonome Fahren weiter voranzutreiben

48 SMVIC

Von Sensorik und Aktorik

SMVIC arbeitet mit zeitsynchronen Integrationstests, um verschiedene Fahrzeugkomponenten zu validieren

52

FRAUNHOFER IWU/M&P

Geräuschreduzierende Software

SIC-Antriebswechselrichter sorgen in Kombination mit dSPACE Echtzeitsystem für Geräuschreduktion bei elektrischen Antrieben

56

KÜS

Fahrerassistenzsysteme regelmäßig auf den Prüfstand

Regelmäßige Prüfungen als Schlüssel für dauerhafte Fahrzeugsicherheit

62

ASTOS SOLUTIONS/OHB

CO₂-Wächter im Orbit

Funktionstest von Satelliten mit Simulatoren von dSPACE

Business

68

PLATTFORM

Partner gesucht

Schneller, einfacher und effizienter entwickeln mit der Open V&V Industry Platform

70

INDY AUTONOMOUS CHALLENGE

KI im Grenzbereich

Die Hatz um die schnellste Rundenzeit ist ein Benchmark für Technikkomponenten im Rennsport



Sensorrealistische Simulationen erlauben Tests und Validierungen auf einem extrem hohen Niveau – doch über welche Features sollten diese Tools verfügen?



Realistisch betrachtet

Gefahrensituationen im Straßenverkehr können vielfältig und komplex sein. Um die neuesten Fahrzeuggenerationen auf möglichst viele Eventualitäten vorzubereiten, bedarf es ausgefeilter Testszenarien, die der Realität möglichst nahekommen und damit möglichst valide Testszenarien bieten.

Innovative Anwendungen im Bereich der Fahrerassistenzsysteme (ADAS) und des autonomen Fahrens (AD) basieren auf den Signalen der einzelnen Fahrzeugsensoren. Sie verarbeiten diese und greifen unter bestimmten Umständen aktiv in den

Fahrprozess ein. Mit der Komplexität dieser Funktionen steigen auch die Anforderungen an die Technik, die dann zum Beispiel nur mit einer erweiterten Sensorik erfüllt werden können. Die aktuellen Fortschritte im Bereich ADAS und AD sind daher ohne sensor-

realistische Simulationen nicht denkbar. Diese ermöglichen die genaue Simulation von Fahrzeugsensoren und -umgebungen, zum Beispiel bei unterschiedlichen Wetter- und Lichtverhältnissen, und geben dem Tester ein genaues Bild, ob Umgebung und Ver-



SIL

HIL

kehrsszenarien korrekt erfasst und ausgewertet wurden. So können Steuergeräte unter realistischen Bedingungen getestet und validiert werden, und zwar mit einer Vielfalt relevanter Testszenarien, die exakt reproduzierbar genutzt werden können.

AURELION verbindet SIL- und HIL-Tests

Mit AURELION hat dSPACE ein Tool entwickelt, das dem User gleich mehrere Vorteile bietet:

- Während **Software-in-the-Loop (SIL)**-Tests beliebig schnell ausgeführt werden können, erfolgen **Hardware-in-the-Loop (HIL)**-Tests unter exakten Echtzeitbedingungen. AURELION

adressiert beide Anwendungsfälle gleichermaßen, so dass z.B. die Vorentwicklung in einer SIL-Umgebung gestartet werden kann und dann die Simulationsmodelle inklusive aller Simulationsartefakte nahtlos im HIL-Test verwendet werden können.

- Durch Skalierung von Rechenleistung mit Rechenfarmen oder in der Cloud ist es möglich, Tests parallel auszuführen und dadurch hohe, durch Parameterstudien variantisierte Testumfänge, in überschaubarer Zeit auszuführen. Dies ist für die Entwicklung von automatisierten Fahrfunktionen unerlässlich, da diese mit unzähligen Testkilometern, bestehend aus sicherheitsrelevanten Sze-

narien, validiert werden müssen.

- Grundlage für die Entwicklung und Validierung mit Simulationen sind jedoch realistische synthetische Sensordaten. Ob Lidar, Radar oder Kameras, je genauer die virtuelle Sensorsimulation das reale Gegenstück abbildet, desto valider sind die Ergebnisse. dSPACE pflegt daher langjährige Beziehungen zu namhaften Sensorherstellern in aller Welt, damit deren Sensormodelle in der Simulation abgebildet werden können - natürlich unter Wahrung des IP-Schutzes.
- Darüber hinaus verfügt dSPACE durch die enge Zusammenarbeit über das Know-how, synthetische

>>



Mit AURELION können relevante Gefahrensituationen für die Sensorentwicklung äußerst realitätsnah simuliert und visualisiert werden.

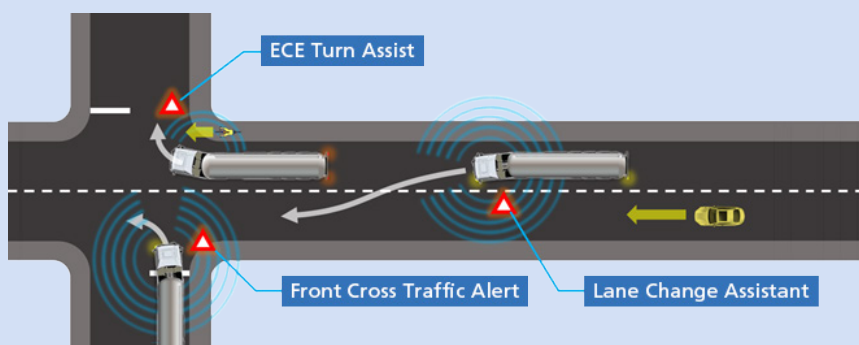
Sensordaten bereits auf Sensorebene einzuspeisen, so dass Kunden bestimmte Bereiche der Sensorverarbeitung testen können.

Testfallsimulation kann Leben retten

Anhand eines konkreten Beispiels soll hier dargestellt werden, wie AURELION in der Radarsensorentwicklung genutzt werden kann. Die Partner HELLA

und dSPACE haben gemeinsam eine Simulationslösung aufgebaut, mit der zum Beispiel Anwendungsfälle im Zusammenhang mit der Regelung „UNECE 151 - Blind Spot Information System for the Detection of Bicycles“ validiert werden können. Michael Lemm, Head of System & Software Radar Sensor Simulation, HELLA erläutert: „Damit soll insbesondere der Schutz gefährdeter Verkehrsteil-

nehmer auf der fahrerabgewandten Seite erhöht werden. Dazu sollen die Lkw mit einem System zur Erkennung und Warnung vor Hindernissen im Bereich des toten Winkels (Blind Spot Information System, BSIS) ausgestattet werden.“ Verschiedene Integrationsszenarien, zum Beispiel der Einbau von zwei Sensoren in unterschiedlicher Höhe zur Ausleuchtung des schwer bis nicht einsehbaren Bereichs, sind mögliche Einsatzzwecke. Die Anforderungen an das System sind in der genannten Regelung definiert, ebenso wie statische und dynamische Testfälle. Den statischen Testfall veranschaulicht zum Beispiel eine Ampelsituation, in der ein Lkw anhält und sich ein Radfahrer rechts vom Lkw der Haltelinie nähert. In diesem Fall schreibt die Regelung vor, dass der Fahrer mindestens 1,4 Sekunden lang gewarnt werden muss, bevor das Fahrrad die Front des Lkw erreicht.



Die Grafik veranschaulicht unterschiedliche Gefahrensituationen, die sich mit frühzeitiger Sensorerkennung entschärfen lassen.

Virtuelle Abdeckung aller Szenarien schon in der Entwicklung

„Um ein BSIS auf Basis von Radarsen-



„Dank der sensorrealistischen Simulation in AURELION konnten wir bei der Entwicklung unseres Blind Spot Information Systems zum Beispiel auch die üblichen äußeren Einflüsse wie Mehrwegreflexionen durch Baustellensituationen oder Randbebauung sowie Einflüsse im Stadtverkehr in unterschiedlichsten Variationen berücksichtigen.“

Michael Lemm, Head of System & Software Radar Sensor Simulation, HELLA

soren zu entwickeln, ist der Einsatz von Radarsimulationslösungen wie **AURELION** hilfreich. Mit Hilfe einer

AURELION= Sensor Realistic Simulation

Radarsimulation kann der oben gezeigte Testfall sehr früh im Entwicklungsprozess eingesetzt werden“, sagt Lemm. Verschiedene Design- und Entwicklungsaktivitäten können parallel durchgeführt werden, ohne einen realen Sensor einsetzen zu müssen. Mit generischen Radarsimulationsmodellen lässt sich beispielsweise der Einfluss verschiedener Sensoreinbaupositionen am Lkw im Hinblick auf eine mögliche Sensorausleuchtung untersuchen. Auf diese Weise können die Algorithmen der BSIS-Sensoren mit spezialisierten Radarsimulationsmodellen entwickelt werden, ohne dass ein konkreter Prototyp vorliegt.

„Darüber hinaus kann durch die Kopplung einer vollständigen Fahrdynamiksimulation (ASM) auch der Einfluss unterschiedlicher Lkw-Beladungen berücksichtigt werden. Dies ist hilfreich, um schon vor der realen Installation im Fahrzeug Aussagen über den abgedeckten Bereich treffen zu können. Ein Vorteil von AURELION als Simulationslösung ist, dass dieselben Simulationsmodelle und dieselben Szenarien

in weiteren Tests wiederverwendet und in einer Vielzahl von Anwendungsfällen bis hin zu den Homologations-/Freigabetests eingesetzt werden können“, kommentiert Lemm. Selbst Kurven- und Geradeausfahrten, unterschiedliche Aufliegeraufbauten und verschiedene Wettersituationen können in der Simulation berücksichtigt werden und sorgen dafür, dass die spätere reale Umsetzung gut vorbereitet werden kann und umfangreiche Nacharbeiten bei der Sensorpositionierung in der Realität vermieden werden können.

Simulation auf die Millisekunde genau

Nach UNECE - 151 müssen Totwinkelassistentensysteme den Fahrer über die potenzielle Gefahrensituation zwischen dem First Point of Information (FPI) und dem Last Point of Information (LPI) informieren. Dabei ist der FPI definiert als der frühestmögliche räumliche Punkt, an dem eine potenzielle Gefahrensituation erkannt werden kann, und der LPI als der letztmögliche räumliche Punkt, an dem das System den Fahrer informiert haben muss. Diese können in AURELION bis auf die Millisekunde genau simuliert werden. Die Simulation ermöglicht Lieferanten und OEMs bereits frühzeitig eine beidseitig abgestimmte

Konfiguration des Systems. Lemm erklärt: „Dank der sensorrealistischen Simulation in AURELION konnten wir bei der Entwicklung unseres BSIS zum Beispiel auch die üblichen äußeren Einflüsse wie Mehrwegreflexionen durch Baustellensituationen oder Randbebauung sowie Einflüsse im Stadtverkehr in unterschiedlichsten Variationen berücksichtigen.“

Mit dem Fahrdynamikmodell ist darüber hinaus auch eine realistische Darstellung von Zugmaschine und Anhänger in verschiedenen Kurvenszenarien möglich. Auch die für die Homologation erforderlichen Dummies können in AURELION simuliert werden.

Sicherer in die Zukunft

Dank des UNECE 151 - Blind Spot Information System for the Detection of Bicycles werden die Straßen für Radfahrer in Zukunft viel sicherer sein und schwere bis tödliche Unfälle werden hoffentlich der Vergangenheit angehören. Dieses Beispiel zeigt sehr gut, wie technische Innovationen und hochpräzise Testsznarien den OEMs helfen können, die Technologie weiterzuentwickeln und die Anforderungen dieser Art zu erfüllen. ■

Mit freundlicher Genehmigung von HELLA



MAN: Partnerschaftliche Einführung eines effizienten End-to-End-Entwicklungsprozesses für autonome Transportfahrzeuge mit der hochskalierbaren Simulationslösung SIMPHERA



Autonomer Truck-Pilot

Kaum eine Innovation beschäftigt die Transportbranche mehr als das autonome Fahren. Wie dieses alltagstauglich werden kann, zeigt MAN mit engagierten Machbarkeitsstudien und mit einem daten- sowie cloud-basierten Vorgehen für die Entwicklung und die virtuelle Absicherung.



Der digitale Wandel bietet dem Güterverkehr bereits heute eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung und Kostensenkung durch Vernetzung, GPS-Logistik, Assistenzsysteme etc. Besonderes Potenzial verspricht das autonome Fahren. Autonom fahrende Transporter ermöglichen einen kontinuierlichen Warenfluss zwischen Produzenten, Produktionsstätten, Lagern, Häfen, Umschlagplätzen und Kunden. Dies beschreibt ein nahezu ideales Szenario für die Transport- und Logistikbranche. Für wichtige Abschnitte – insbesondere geschlossene Bereiche – ist die Machbarkeit bereits durch Studien belegt.

Autonom fährt effizient

„Im Hamburger Hafen steuert zum Beispiel ein autonom fahrender Lkw das Containerterminal an und findet selbstständig und präzise seinen Weg zum Umschlagplatz“, erläutert Dr. Eva Karrer-Müller, Senior Manager, Electric/Electronic Validation ADAS & Automation, MAN Truck & Bus SE. Ein Sicherheitsfahrer überwacht die Fahrt sowie die automatische Be- und Entladung. Diesen Erfolg erzielten die Hamburger Hafen und Logistik AG und MAN im gemeinsamen Projekt Hamburg TruckPilot.

Weitere Pilotprojekte zeigen wertvolle Effizienz-Potenziale auf und belegen die Machbarkeit und Praxistauglichkeit autonomer Systeme:

- EDDI: Lkw-Platoons (Kolonnenfahr-

ten) im realen Logistikbetrieb mit dem Projektpartner DB Schenker

- aFAS: Ein unbemanntes Sicherheitsfahrzeug folgt vollautomatisch beweglichen Baustellen.
- ANITA: Die „Autonome Innovation im Terminal-Ablauf“ ermöglicht es, Fahrzeuge durch effizientere Steuerung des Container-Umschlagprozesses und Entkoppelung von den Lenk- und Ruhezeiten der Lkw-Fahrer flexibler einzusetzen.

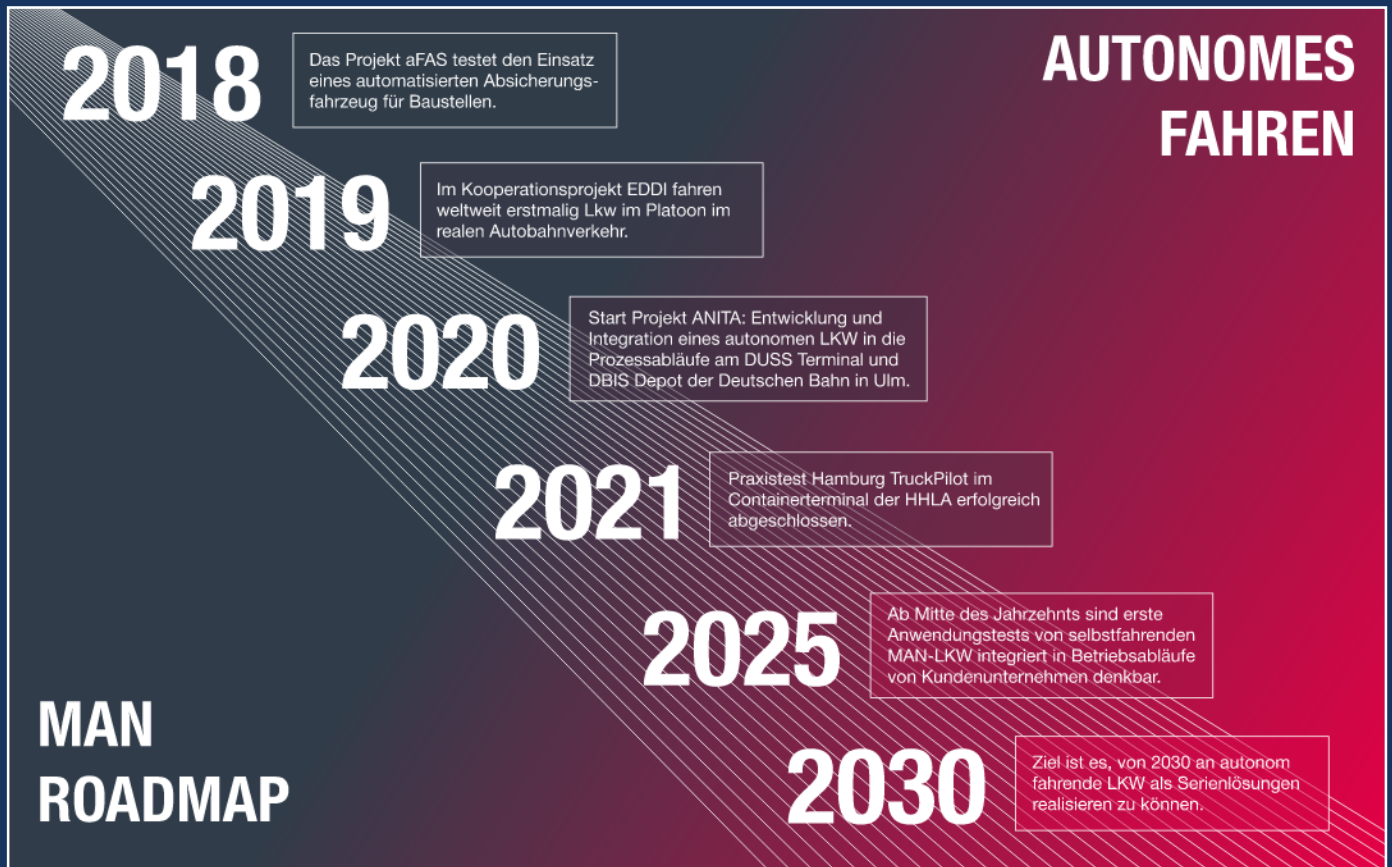
Wichtige Erkenntnisse aus den Projekten sind ein geringerer Kraftstoffverbrauch durch vorausschauendes automatisiertes Fahren, eine erhöhte Sicherheit und ein geringerer Personalbedarf in Zeiten des zunehmenden Personalmangels. Claus Hellberg, Vice President, Head of Electric/Electronic Verification & Validation, MAN Truck & Bus SE, macht deutlich: „Das autonome Fahren hat das Potenzial, das Transportwesen grundlegend zu verändern.“

Entwicklung von autonomen Fahrern anstelle von Funktionen

Was für Kunden und Anwender aus der Transportbranche besonders reizvoll ist, stellt die Entwickler jedoch vor spannende Herausforderungen. Die Level 4-Automatisierung verursacht eine immense, zusätzliche Komplexität bei der Entwicklung und Absicherung von Fahrsteuerungen: Es geht nicht mehr nur darum, technische Funktionen zu entwickeln und >>

Vorteile des autonomen Güterverkehrs

- Mehr Sicherheit auf den Straßen und reibungsloserer Verkehr
- Hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit
- Die hohe Verfügbarkeit fördert das Geschäft des Kunden.
- Potenzial für neue Dienstleistungen
- Geringere Gesamtbetriebskosten
- Kompensation von Fahrermangel



Der Weg zum autonomen Fahren folgt einer definierten Roadmap.

Bildnachweis: © MAN

zu testen, sondern den menschlichen Fahrer bestmöglich zu ersetzen. „Um Vertrauen in den künstlichen, autonomen Fahrer aufzubauen, muss er sich durch unfallfreies Fahren in relevanten Testszenarien beweisen“, fasst Lorenz Bernwieser, Team Lead, Electric/Electronic Validation ADAS & Automation, MAN Truck & Bus SE die Herausforderungen zusammen.

Wie wird autonomes Fahren wirtschaftlich erfolgreich?

Die Herausforderung für einen OEM (Original Equipment Manufacturer) besteht darin, neben den herkömmlichen Entwicklungsmethoden ein neues Vorgehen mit neuen Methoden und Komponenten effizient ein- und durchzuführen. Dazu gehören die Aufzeichnung von Sensordaten, maschinelles Lernen, datengetriebene Entwicklung und Absicherung. „Hier-

für müssen unter hohem Zeit- und Kostendruck Know-how aufgebaut sowie neue Prozesse und Werkzeugketten entwickelt und implementiert werden“, berichtet Claus Hellberg.

Effizient Erfolge erzielen

Für die Einführung eines effizienten, nachhaltigen Vorgehens evaluierte MAN diverse Anbieter von Prozess-Consulting und Entwicklungswerkzeugen. Schnell wurde klar, dass für den bestmöglichen Erfolg eine ganzheitliche Lösung aus einer Hand gesucht werden sollte. Konkret ging es um Lösungskompetenz von der Datenaufzeichnungskampagne bis zur Homologation. Die bei dSPACE bereits verfügbaren oder in Entwicklung befindlichen Lösungsbausteine, unterstützt durch Beratungs- und Engineering-Dienstleistungen sowie ein Partnernetzwerk, überzeugten und führten

zu einer auf mehrere Jahre ausgelegten partnerschaftlichen Zusammenarbeit.

Gründe für die Auswahl von dSPACE:

- Umfangreiches Prozesswissen für die Absicherung von Systemen für Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) / Autonomous Driving (AD)
- Etabliertes Lösungsangebot für die Virtualisierung der Steuergeräte-Funktionalität (V-ECU)
- Durchgängiges Portfolio für die datengetriebene Entwicklung von der Datenerfassung über die Annotation bis zum nachfolgenden Datenmanagement
- Nachgewiesene Kompetenz und Erfahrung in Simulation und Absicherung in den Bereichen Hardware-in-the-Loop (HIL)- und Software-in-the-Loop (SIL)
- Cloud- und On-Premise-Lösung SIMPHERA für die hochskalierbare

>>

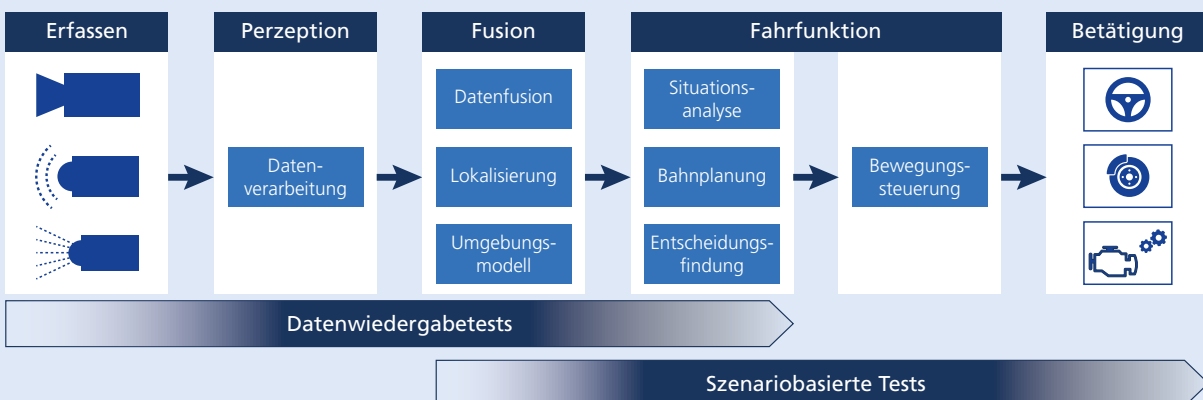
SIL



Bildnachweis: © MAN

„Mit SIMPHERA stellen wir komplexe, sicherheitskritische Fahr-situationen in szenariobasierten Tests zusammen, um unser auto-nomes Fahrsystem mit parallel ausgeführten Simulationen zu testen und zu validieren.“

Lorenz Bernwieser, Team Lead, Electric/Electronic Validation ADAS & Automation, MAN Truck & Bus SE



Alle Verarbeitungsstufen eines autonomen Systems und das Gesamtsystem werden durch Simulation abgesichert.



Wesentliche Prozessschritte für eine zuverlässige und effiziente AD-Entwicklung.

Simulation von unzähligen Fahrkilometern mit relevanten Fahrscenarien

- Partnernetzwerk für ergänzende Themen

Aufgrund der langjährigen Zusammenarbeit in früheren Entwicklungsprojekten mit konventioneller, modellbasierter Entwicklung und Absicherung auf Basis von Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulation bestand hohes Vertrauen seitens MAN in die Zuverlässigkeit von dSPACE.

Partnerschaftliche Prozessentwicklung, die zum Ziel führt

„Gemeinsam mit dSPACE und weiteren Partnern wurde die mehrstufige Teststrategie für die Absicherung ei-

nes EBA (Emergency Brake Assistant) entwickelt. Dies diente der Vorbereitung weiterer Absicherungsschritte künftiger L3/L4-Funktionen“, erläutert Dr. Eva Karrer-Müller. Der konzipierte Prozess führt den Paradigmenwechsel der datengetriebenen Entwicklung ein und ist auf höchstmögliche Durchgängigkeit angelegt. Die Software-Entwicklung und Absicherung verläuft in den folgenden Schritten:

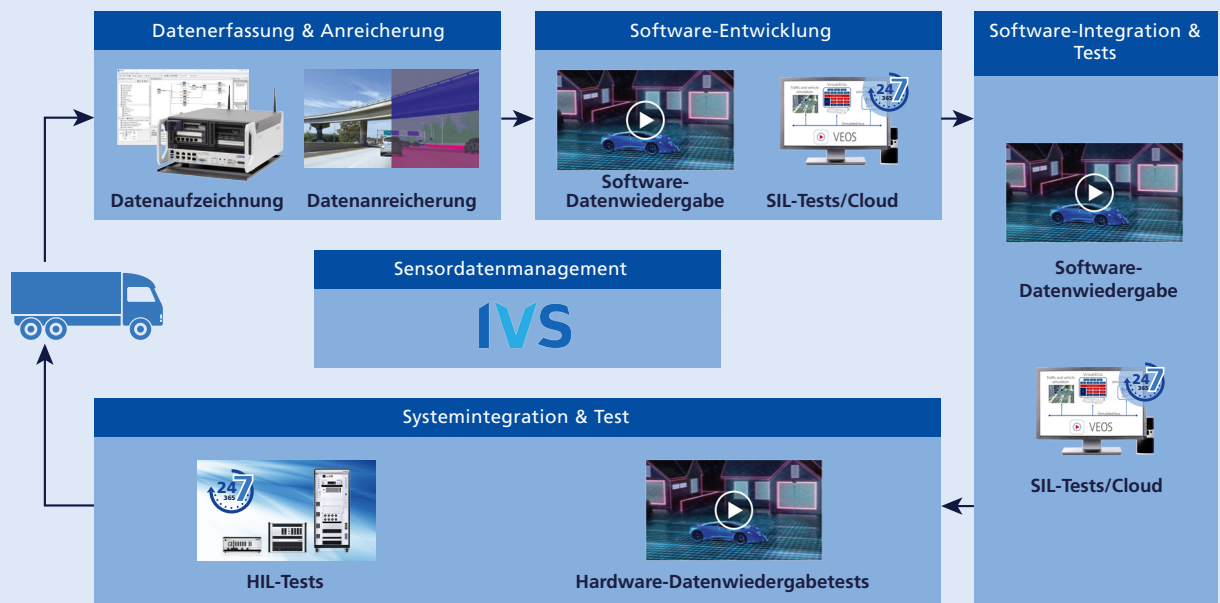
- Zielgerichtete Datenerhebung im Fahrversuch
- Data Ingest und Data Enrichment (Annotation, Tagging, Selection)
- Data Replay für Entwicklung und Test, primär im SIL-Bereich, aber auch am HIL-Simulator

- Entwicklungsbegleitende, iterative Simulation und Validierung
- Ableitung von Homologationsargumentationen

Eine Lösungstoolkette, die abliefern

Um die vielfältigen Themen autonomer Fahrsysteme erfolgreich zu bearbeiten, bedarf es geeigneter, leistungsfähiger Werkzeuge und Kompetenzen. Gemeinsam mit dSPACE wurde eine integrierte Werkzeugkette konzipiert, iterativ entwickelt und in Betrieb genommen, mit der Entwickler den vielfältigen Herausforderungen begegnen können:

- Für die Aufzeichnung aller Daten (Sensorrohdaten, Kameravideos,



Diese Werkzeugketten und Methoden unterstützen den End-to-End-Prozess und haben sich bei der Entwicklung und Validierung des AD-Stacks bewährt. IVS, die Plattform zur Verwaltung von Sensordaten, gewährleistet maximale Konsistenz.

ISO
26262

Busdaten, XCP-Daten) setzt MAN auf den In-Vehicle-Daten-Logger AUTERA AutoBox.

- Mit Hilfe der AUTERA Upload Station werden die aufgenommenen Daten in die Storage-Systeme eingespielt und damit den Entwicklern zur Verfügung gestellt.
- Mittels der Sensor-Daten-Management-Plattform IVS werden die Daten strukturiert und organisiert. Die Entwickler erhalten jederzeit Zugriff auf die Daten aller Verarbeitungsschritte und die Verwaltung der riesigen Datenmengen wird erleichtert.
- Auf Basis des Produktiv-Codes werden virtuelle Steuergeräte als Test-

objekte erstellt und im Rahmen einer Continuous-Integration (CI)-Build-Pipeline produziert.

- Mit Hilfe der **ISO26262** zertifizierten zentralen, web-basierten Simulations- und Testplattform SIMPHERA werden Open- und Closed-Loop Testausführungen konfiguriert und die skalierte Testausführung in der Cloud orchestriert.

Einblick in einen Entwicklungs- und Absicherungsschritt

Ein praktisches Beispiel zeigt, wie dies im Entwicklungsalltag eines Steuergeräts funktioniert. Dieses wird zunächst als virtuelles Steuergerät (**V-ECU**)

erstellt. Dabei muss MAN selbst entwickelten Code und Komponenten von Zulieferern so integrieren, dass sie performant bleiben, korrekt funktionieren sowie spezielle V-ECU-Anforderungen erfüllen. Für die Absicherung dient der folgende Prozess:

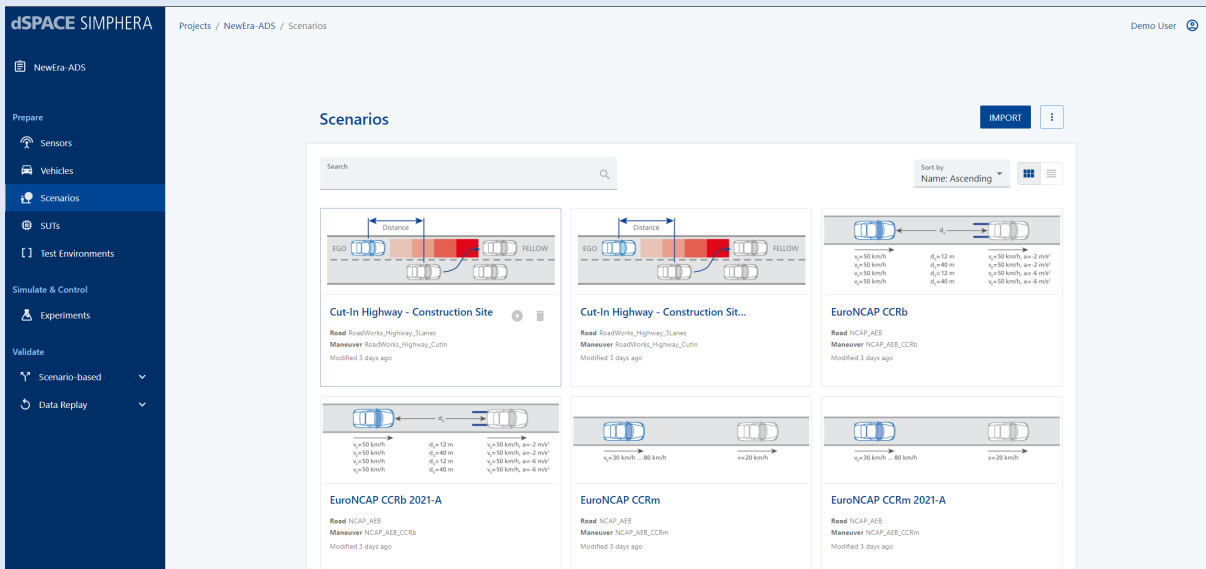
- Einbindung der Integrationen und des Builds der V-ECUs in die Continuous-Integration (CI)-Pipeline von MAN
- Validierung von Anforderungen im Bereich Realdaten per hochgradig skaliertem Data Replay Testing in SIMPHERA
- Validierung komplexer, sicherheitskritischer Szenarien per szenarioba-

>>

V-ECU

Warum benötigt man skalierbare Simulationen?

Autonome Fahrsteuerungen müssen höchsten Sicherheitsanforderungen genügen. Jede neue Softwareversion einer Fahrsteuerung muss ihre Sicherheit in umfangreichen Tests beweisen: Sie muss viele Millionen Fahrkilometer ohne katastrophale Unfälle erfolgreich bewältigen. Es würde Jahrzehnte dauern, dies mit Echtzeittests zu verifizieren. Um die Testzeiten deutlich zu verkürzen, werden relevante sicherheitskritische Testszenarien parallel ausgeführt. Hier kommt die Simulationslösung SIMPHERA ins Spiel, die nicht nur hochgradig parallelisierte Simulationen in der Cloud ermöglicht, sondern auch den gesamten Kanon unterschiedlichster Absicherungsmethodiken beherrscht.



Die cloud-basierte, hochskalierbare Lösung SIMPHERA sorgt mit szenariobasierten Tests zuverlässig für die Simulation und Validierung von Funktionen für das autonome Fahren.

„Für ein souveränes Vorgehen im datenbasierten Entwicklungsprozess bedarf es ausgeprägter Datenkompetenzen kombiniert mit einem durchgängigen, datengetriebenen End-to-End-Entwicklungsprozess. Gemeinsam mit dem Entwicklungspartner dSPACE setzen wir dies um.“

Dr. Eva Karrer-Müller, Senior Manager, Electric/Electronic Validation ADAS & Automation, MAN Truck & Bus SE



siertem Testen mit hochgradig skalierten Simulationen in SIMPHERA

Dieser Prozess wird iterativ so lange durchgeführt, bis die Software den definierten Anforderungen genügt. Parallel wird die Software auf dem

realen Steuergerät integriert, und es werden weitere Tests am Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulator für ausgewählte Betriebspunkte (Cornercases) vorgenommen. Mit SIMPHERA als zentraler Plattform lassen sich Test-szenarien und Artefakte aus der SIL-

Simulation im **HIL**-Test weiterverwenden. Dies gilt auch für die Simulationsmodelle inklusive deren Parametrierungen. Die in den SIL-Tests verwendeten Szenarien stehen schon in SIMPHERA zur Auswahl oder wurden für spezielle Anwendungssituationen ergänzend erstellt. Die Testparameter der einzelnen Szenarien wie Geschwindigkeit, Abstände etc. lassen sich in SIMPHERA komfortabel automatisiert variieren, um eine hohe Testabdeckung zu erzielen.

HIL

Bewertung des Vorgehens

Mit dem beschriebenen Absicherungsprozess und -vorgehen wird ein Notbremsassistent entwickelt, der den neusten Regularien entspricht. Real-



„Das partnerschaftlich mit dSPACE durchgeführte Projekt legt einen wichtigen technischen Grundstein für das autonome Fahren im Güterverkehr.“

Claus Hellberg, Vice President, Head of Electric/Electronic Verification & Validation MAN Truck & Bus SE



testfahrten sichern den Reifegrad der Software flankierend ab. Im Entwicklungsalltag beweisen der gemeinsam entwickelte Prozess und die Toolkette täglich ihre hohe Eignung für das weitere anspruchsvolle Vorhaben: Sie werden sukzessive auf weitere Level-3- und Level-4-Fahrfunktionen ausgerollt und leisten einen essentiellen Beitrag zur Gesamtabsticherung. „Als Leitkunde ist MAN eng in den SIMPHERA-Entwicklungsprozess eingebunden, und es findet regelmäßig ein gegenseitiger Abgleich statt. Das zielgerichtete, schnelle Vorgehen gelang insbesondere aufgrund der agilen Zusammenarbeit, die flexible Reaktionen auf neue Anforderungen ermöglicht“, berichtet Lorenz Bernwieser. Im partnerschaftlichen Vorgehen wurde die Lösungskompetenz von dSPACE und MAN effizient zusammengeführt.

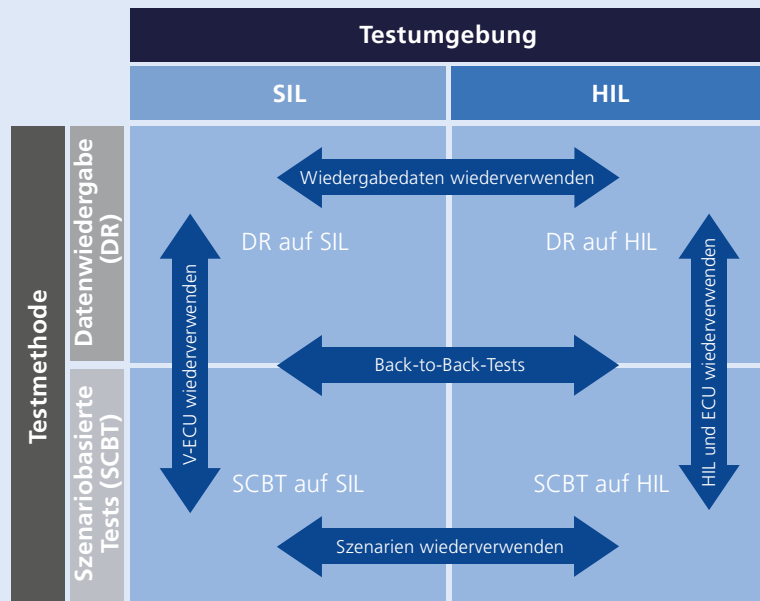
Autonomes Fahren wird ein Game-changer im Transportwesen

„Das partnerschaftliche Projekt legt einen wichtigen technischen Grundstein für das autonome Fahren im Güterverkehr“, resümiert Claus Hellberg. Schon jetzt fahren autonome Lkw in der virtuellen Welt und lernen von den dort gemachten Erfahrungen. Das Replay von realen Sensordaten kombiniert mit synthetisch kreierten

Szenarien bildet eine gelungene Testmischung für den Reifegrad der Algorithmen. Ein wichtiges Zukunftsthema ergibt sich mit der Homologation des autonomen Fahrzeugs. Das dSPACE Lösungsangebot wird dafür durch Werkzeuge und Dienstleistungen von

dSPACE Partnern ergänzt. Die Erkenntnisse aus Studien und technischer Innovation zeigen: Das Transportwesen erfährt mit AD einen Gamechanger. ■

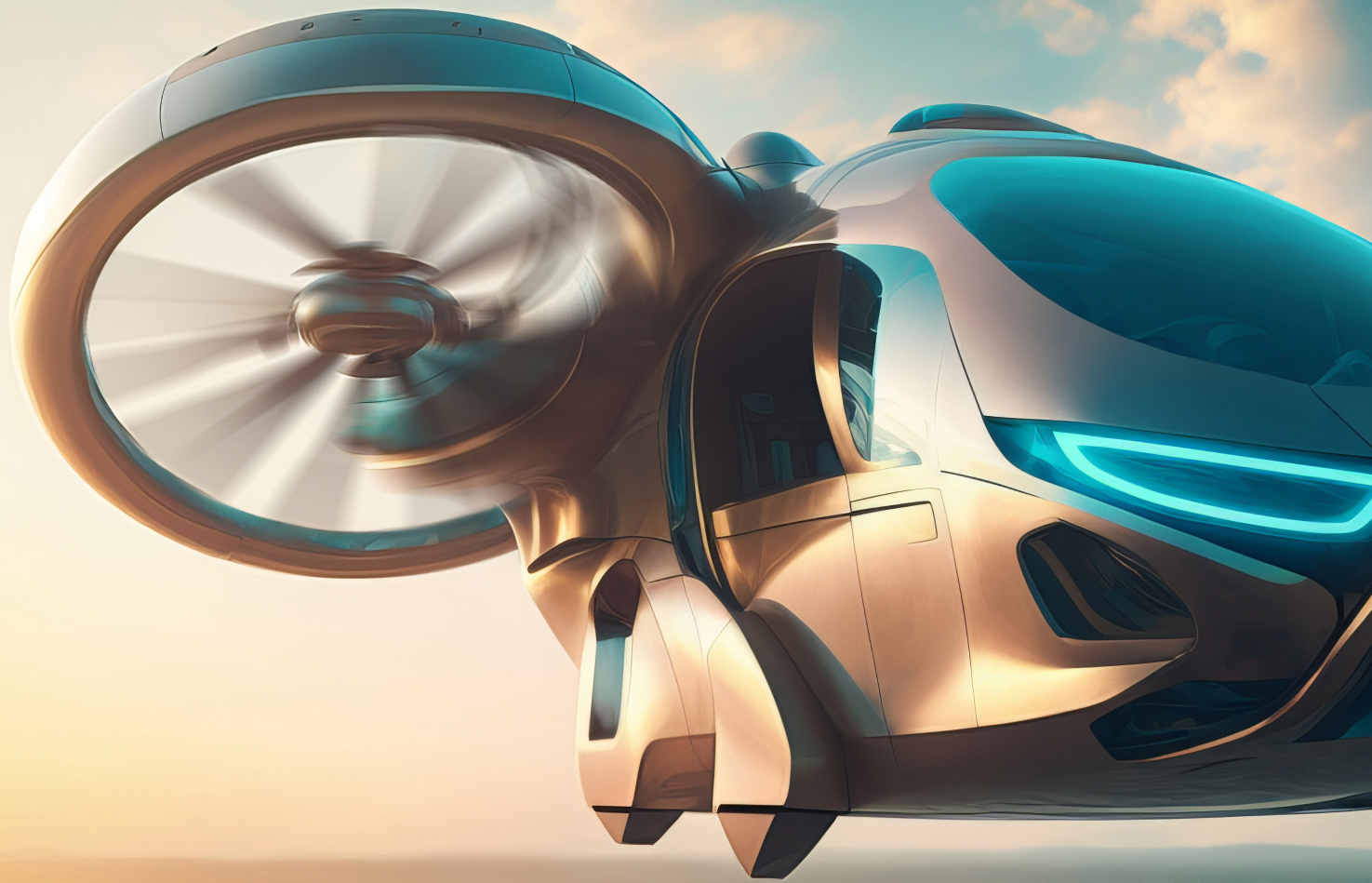
Mit freundlicher Genehmigung von MAN Truck & Bus SE



Methoden und Testumgebungen für die Absicherung: Ein Mix aus Data Replay (DR) von realen Sensordaten und synthetisch generierten szenariobasierten Tests (ScbT) auf SIL- und HIL-Plattformen.

Consulting- und Engineering-Dienstleistung

Die Entwicklung komplexer E/E-Systeme und Software mit immer mehr sicherheitskritischen Funktionen, insbesondere im Bereich der autonomen Systeme, wirft die Frage auf, wie die funktionale Sicherheit gewährleistet werden kann. Zugleich müssen Wege für eine effiziente Entwicklung gefunden werden. In den Bereichen funktionale Sicherheit, Teststrategieentwicklung sowie Verifikation und Validierung setzt MAN auf die Expertise und Beratung von dSPACE, um ein kompetentes und effizientes Vorgehen zu gewährleisten. Die Consulting Services von dSPACE übernehmen wichtige konzeptionelle Aufgaben und sorgen für deren effiziente und erfolgreiche Umsetzung im Projekt von MAN.



Mobilitäts- Transformer

Wie stellt man sicher, dass das Steuerungssystem eines neuartigen Elektroflugzeugs in allen Flugphasen zuverlässig funktioniert? Bei Diehl Aerospace muss es sich zunächst in der virtuellen Welt bewähren.



eVTOL-Lufttaxis sind dabei, eine neue Epoche der Luftfahrt zu prägen und überzeugen durch hohe Flugsicherheit – dank Absicherung per Simulation

Die urbane Luftmobilität per Lufttaxi – auch Urban Air Mobility (UAM) genannt – ermöglicht schnelle und staufreie Transporte in dichtbesiedelten Gebieten. Die dafür in der Entwicklung befindlichen vollelektrischen Fluggeräte mit vertikaler Start- und Landefähigkeit, auch als eVTOL (Electric Vertical Take-off

and Landing) bezeichnet, haben vielversprechendes Potenzial: Sie sind öffentlich akzeptiert, benötigen wenig Infrastruktur und bieten hohe Flexibilität für neue Mobilitätsdienstleistungen. Darüber hinaus tragen sie durch ihren emissionsfreien Antrieb zur Erreichung nachhaltiger Mobilitätsziele bei.

Wieviel Reichweite darf es sein?

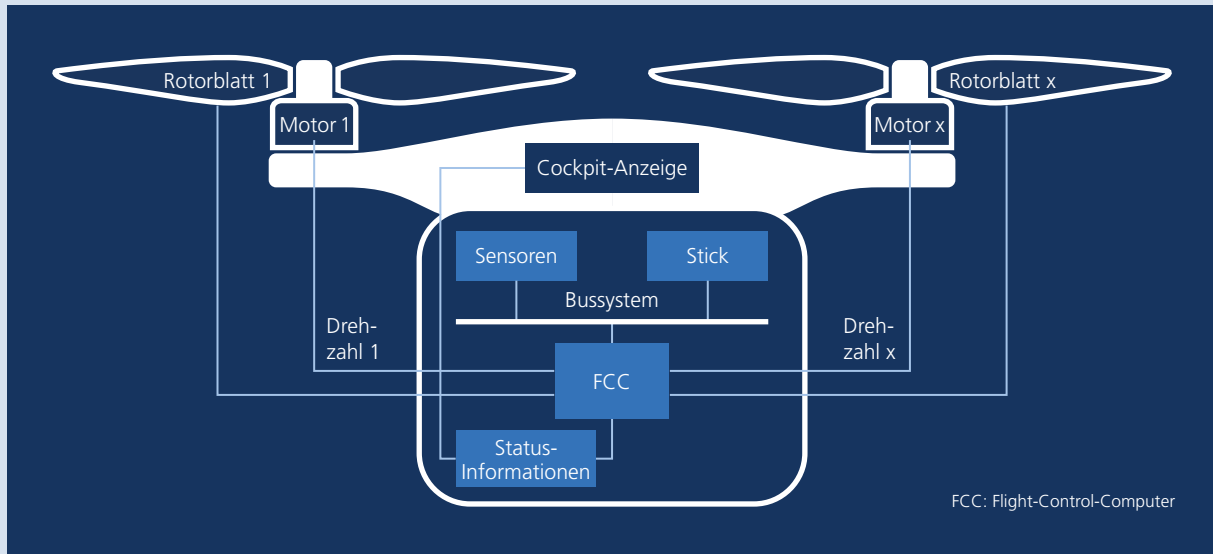
Aktuell untersuchen zahlreiche Unternehmen verschiedene Ansätze zur Lösung technischer Herausforderungen von eVTOL-Flugzeugen. Dabei spielt das geplante Einsatzspektrum eine entscheidende Rolle. Im Wesentlichen unterscheidet man innerstädtische Flüge mit einer Reichweite von bis zu 50 km und Flugverbindungen zwischen Städten, die Reichweiten von 300 km und mehr erfordern. Heinrich Fischer, Head of Software and Validation+Verification Avionics bei Diehl Aerospace, ist überzeugt: „Die Fähigkeit, wie ein Hubschrauber zu schweben und gleichzeitig mit relativ hoher Reisegeschwindigkeit und Reichweite zu fliegen, macht eVTOL zu einem effektiven schnellen Punkt-zu-Punkt-Transportmittel.“

Transformer transportieren

Eine mögliche technische Lösung für den Antrieb von eVTOL-Flugzeugen sind verstellbare Tiltrotoren, die je nach Rotorwinkel sowohl Senkrechtstarts als auch horizontales Fliegen ermöglichen. Dieser Antrieb ist besonders für Langstreckenflüge geeignet. Eine andere Option sind mehrere herkömmliche, starr montierte Rotoren, wie sie von Quadcoptern bekannt sind. Hierbei kann die Flugeschwindigkeit und -richtung durch unterschiedliche Drehzahlen der elektrisch betriebenen Rotoren gesteuert werden.

Ohne Software kein sicherer Flug

Die elektronischen Geräte, die für den Betrieb moderner, elektrifizierter Flugzeuge unverzichtbar sind, werden als Avionik bezeichnet. Zu ihnen gehört der Flight-Control-Computer (FCC), in dem Steuerungsstrategien integriert sind, die in Abhängigkeit von den Flugbedingungen, der Flugzeugkonfiguration und dem Pilotenwunsch arbeiten. Heinrich Fischer erklärt: „Unser Flight-Control-Computer kann eVTOL-Plattformen vollständig steuern und unterstützt den Piloten, um einen sicheren Betrieb in jeder Flugphase zu ermöglichen. Bei Start, Landung und Flug >>



Simplifiziertes elektrisches System des eVTOL. Der Flight-Control-Computer (FCC) ermittelt aus den Eingangsdaten die Sollwerte, z. B. Motordrehzahlen für die einzelnen Rotoren. Aufgrund der hohen Sicherheitsanforderungen sind im FCC auch Überwachungsalgorithmen implementiert.

stellt der Flight-Control-Computer das Bindeglied zwischen Pilot und Antrieb sowie weiteren Systemen im Flugzeug dar. Das System ist in der Lage, die Rotoren für die individuellen Flugphasen optimal anzusteuern, ihre Drehzahlen zu regeln und gegebenenfalls Fehler im System zu erkennen.“

Wer hoch fliegt, muss hohe Anforderungen erfüllen

Sicheres Fliegen ist eine absolute Prämisse bei der Entwicklung der Flight-Control-Computer (FCC) – dies stellt besondere Herausforderungen an die Entwicklung dieser Geräte. Der hochperformante Computer vereint alle sicherheitskritischen Funktionen eines Flugzeugs. Seine Zuverlässigkeit ist maßgeblich entscheidend für die Sicherheit des Fluggeräts und seiner Insassen. Wie in der Luftfahrt erforderlich, ist das

System redundant ausgelegt: bestehend aus Primär- und Backup-Steuereingangscomputer. Für die Überprüfung der korrekten Funktionalität der FCCs bei Diehl Aerospace sind zwei Anforderungen von besonderer Bedeutung:

- Testen des korrekten Realzeitverhaltens der Flight-Control-Computer (FCC)
- Testen aller relevanten Eingangs- und Ausgangssignale und der zugehörigen Busprotokolle

„Insbesondere Echtzeittests liefern entscheidende Aussagen, ob eine Funktion wirklich sicher ist und geben im Fehlerfall beispielsweise Rückschlüsse auf mangelnde Timings, Synchronisation von Signalen und Busdaten etc.“, erklärt Fischer. Für eine effiziente Testdurchführung mit aussagekräftigen Rückschlüssen zur Fehlerbehebung

legte man bei Diehl Aerospace besonderen Wert auf:

- Testautomatisierung (TA)
- Reproduzierbare Tests mit dokumentierten Ergebnissen
- Einfache Erstellung der Tests mit verfügbaren Entwicklungstools, z.B. Python Interface
- Stabile Testumgebung, die über viele Jahre wartbar ist

Genau hinsehen: Sicherheitsvorschriften

Im Bereich der Luftfahrtentwicklung gelten mannigfaltige Standards, Sicherheitsvorschriften und Richtlinien, die Diehl Aerospace bei der Absicherung berücksichtigen muss. Dazu zählen beispielsweise:

- ARP4754: Systemzertifizierung
- DO-178: Entwicklung sicherheitskritischer Software

„Der Simulator von dSPACE erfüllt unsere Anforderungen. Mit ihm gelingt es, unseren Flight-Control-Computer gemäß den anspruchsvollen Richtlinien der Luftfahrt zu entwickeln und zu testen.“

Heinrich Fischer,
Head of Software and Validation+Verification Avionics, Diehl Aerospace





- DO-254: Entwicklung elektronischer Hardware
- DO-160: Umgebungsbedingungen und Testverfahren für Luftfahrt-ausrüstung

Es liegt auf der Hand, dass sich ein Testsystem, an das derart komplexe Anforderungen gestellt werden, nahtlos in bestehende Entwicklungsinfrastrukturen integrieren muss. Auch die einfache Erweiterbarkeit spielte bei der Entwicklung eine bedeutende Rolle. „Wir suchten eine Lösung, die skalierbar und modular ist, wenn sich unsere Anforderungen ändern“, berichtet Fischer.

Testen im virtuellen Flugzeug

Mit dem Ziel, eine Testlösung für die skizzierten Anforderungen zu finden, evaluierte Diehl Aerospace sorgfältig den Markt der Hardware-in-the-Loop

(HIL)-Simulatoren und fand im HIL-Portfolio von dSPACE ein passendes System aus Hardware und Software, das nahtlos in die bereits bei Diehl Aerospace vorhandene Testautomatisierungsumgebung integriert werden konnte.

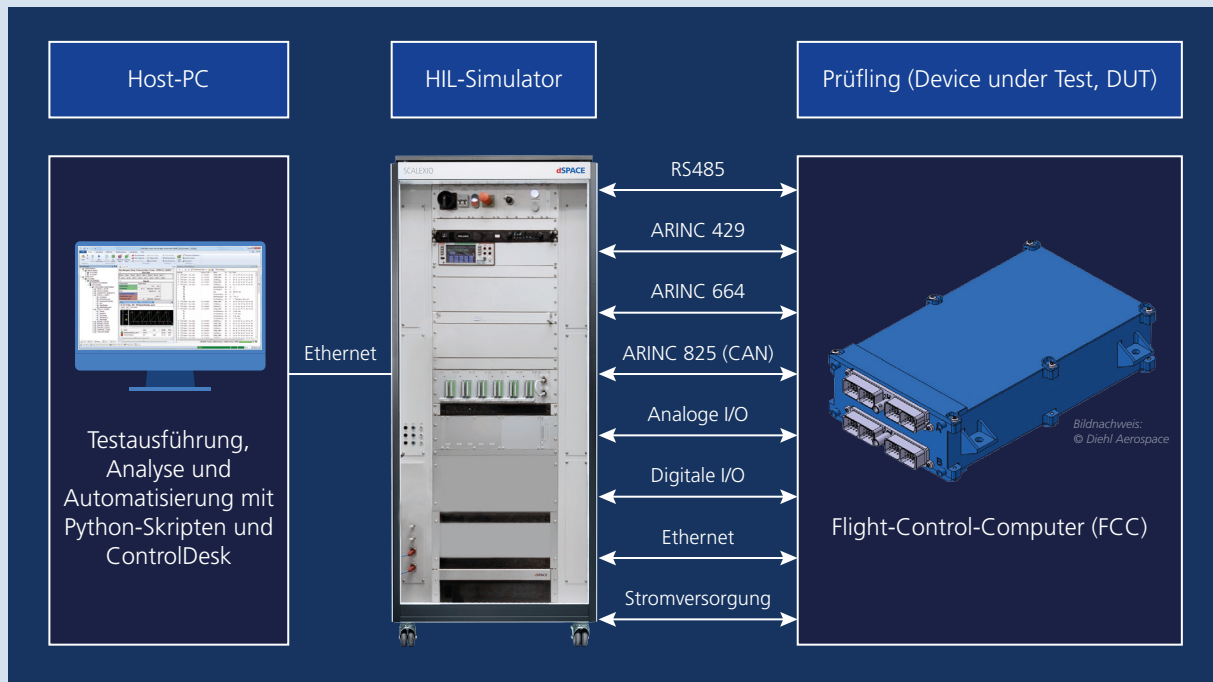
Der SCALEXIO-HIL-Simulator bildet die Umgebung für den FCC virtuell ab, so dass sich dieser wie in einem Fluggerät verhalten kann, für das er entwickelt wurde. Das Testsystem ist so konfiguriert, dass er mit den vielfältigen Schnittstellen des Flight-Control-Computers (FCC) kommuniziert, um so Signale für Sensoren, Aktuatoren und Steuerung auszutauschen. Der HIL-Simulator ist sowohl für den Test des Primär- als auch des Backup-Steuerungscomputers ausgelegt. Beim Testbetrieb kann das zu testende Gerät in der Testautomatisierung ausgewählt

>>



Über Diehl Aerospace

Diehl Aerospace ist ein Joint Venture zwischen Diehl Aviation und dem französischen Unternehmen Thales und zählt zu den führenden Luftfahrtzulieferern mit einem breiten Produktportfolio für unterschiedliche Flugzeug-Programme.



Aufbau des Testsystems: Die zentrale Komponente ist der Simulator, an dem der FCC als Prüfling angeschlossen ist. Auf dem Host-PC wird der Simulator mit ConfigurationDesk konfiguriert und die Testautomatisierung wird mit Python-Skripten ausgeführt. Einzelne Tests können mit ControlDesk durchgeführt werden.

werden. Ein identisches Testsystem wurde beim Systemintegrator aufgebaut, um den FCC im Zusammenspiel mit weiteren Komponenten zu prüfen.

Echtzeitfähigkeit entscheidet über Sicherheit

„SCALEXIO ermöglicht es uns, zeitkritische Eingangssignale in Echtzeit zu stimulieren, dabei das Verhalten des FCC mit Hilfe der Ausgangssignale exakt zu überwachen und wenn nötig auch weitere Komponenten durch Simulation in die Testumgebung

einzubinden“, berichtet Fischer. Er erklärt das weitere Vorgehen: „Mit dem Simulator können wir auch wichtige Signalverläufe in Echtzeit aufzeichnen und diese grafisch auswerten. Letztlich bilden wir damit den operationellen Betrieb des FCC ab und können seine korrekte Funktion sicherstellen.“

Flugtauglichkeit per Simulation sicherstellen

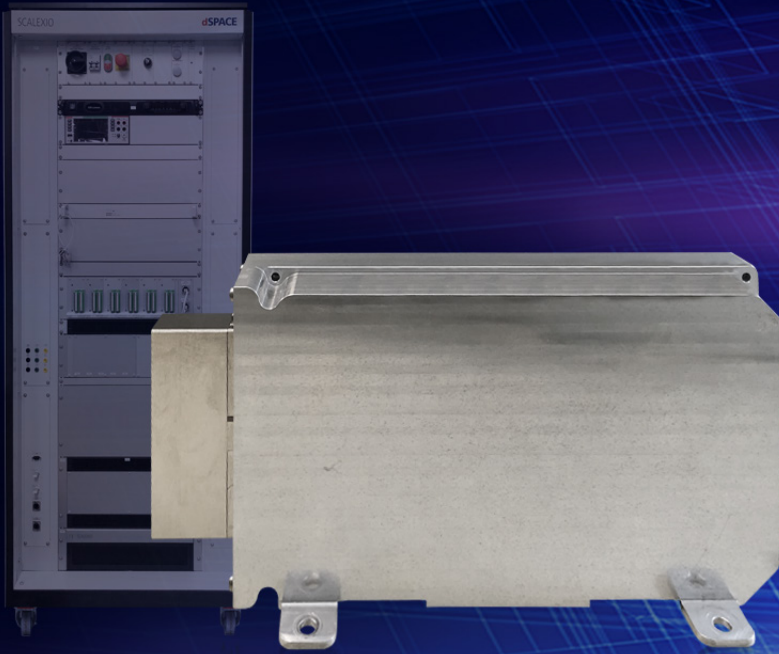
„Mit dem SCALEXIO-HIL-Simulator können wir unseren FCC gründlich untersuchen und seine sicherheits-

kritischen Funktionen validieren“, erläutert Fischer. Die präzise Simulation der Regelstrecken erlaubt einen Betrieb, der sich nicht vom Einsatz im Fluggerät unterscheidet. Der Simulator ermöglicht eine flexible Testerstellung und automatisierte Testdurchführung inklusive Erstellung von Testprotokollen. Das Testsystem bewährt sich im Testalltag durch hohe Stabilität, Robustheit und Verfügbarkeit. Diehl Aerospace kann den Simulator individuell konfigurieren und eigenständig erweitern. „Der Simulator von dSPACE

„Die einfache Erweiterbarkeit von SCALEXIO hat uns wirklich beeindruckt.“

Heinrich Fischer, Head of Software and Validation+Verification Avionics, Diehl Aerospace





Der Flight-Control-Computer (FCC) nutzt die bewährte Dual-Lane-Architektur in Kombination mit der leistungsstarken Dual-Core-Lockstep-Datenverarbeitungstechnologie (Echtzeitdiagnose mit Hilfe eines zusätzlichen Prozessors und eines Komparators), um eine sichere, zuverlässige, leistungsfähige und robuste Plattform für die Flugsteuerung oder andere hochgradig sicherheitskritische Funktionen zu bieten. Die funktionale Sicherheit wird mit automatisierten Tests am Simulator verifiziert.

erfüllt unsere Anforderungen“, fasst Fischer zusammen. „Mit ihm gelingt es, unseren FCC gemäß den anspruchsvollen Richtlinien der Luftfahrt zu entwickeln und zu testen. Die einfache Erweiterbarkeit gepaart mit den vielfältigen Konfigurationsmöglichkeiten hat uns wirklich beeindruckt.“

Weiterflug schon gebucht

Vor Kurzem wurde der FCC auf einer Luftfahrtmesse präsentiert und hat dabei für positive Resonanz auch bei der europäischen Luftfahrtbehörde ge-

sorgt. Dies ermuntert Diehl Aerospace zu neuen Entwicklungsaufgaben: Der Einsatz von weiteren Avionik-Geräten mit neuen Sensoren und Aktuatoren für weitere Fluggeräte wird vorbereitet, und neue Software-Versionen werden den Funktionsumfang zukünftiger FCCs bereichern. Diehl Aerospace freut sich darauf, mit dem Simulator von dSPACE auch bei diesen Entwicklungen sichere Erfolge zu erzielen. ■

Mit freundlicher Genehmigung von Diehl Aerospace

Auf einen Blick

Anwendung

- Absicherung eines Flight-Control-Computers (FCC) für eVTOL (Electric Vertical Take-off and Landing)-Flugzeuge



Herausforderungen

- Safety first: Die Sicherheit des Fluggeräts und seiner Insassen gewährleisten
- Die korrekte Funktionalität der FCCs und seiner sicherheitskritischen Funktionen nachweisen
- Die Sicherheitsstandards der Luftfahrt einhalten



Lösung

- Absichern des FCC mit einem per Hardware-in-the-Loop-Simulator virtualisierten Flugzeugs
- Testen zeitkritischer Signale unter Echtzeitbedingungen
- Automatisierte, reproduzierbare Tests mit dokumentierten Ergebnissen belegen die funktionale Sicherheit des FCC




Eingesetzte dSPACE

Werkzeuge

- SCALEXIO: Modular erweiterbare Echtzeit-Rechenplattform zur Simulation der Verhaltensmodelle (Regelstrecken) und Bereitstellung von Hardware-Schnittstellen
- ConfigurationDesk: Konfiguration der Hardware-Schnittstellen sowie Implementierung von Verhaltensmodellen und I/O-Funktionscode auf SCALEXIO
- ControlDesk: Experiment- und Instrumentier-Software, um Simulationen auszuführen und zu analysieren

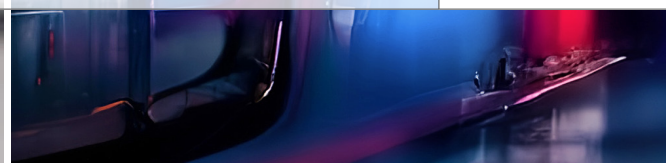




Alle(s) an Bord

Echtzeitsimulation für Hilfsbetriebeumrichter und Bordversorgung in Schienenfahrzeugen

Geschwindigkeit, Sicherheit und Komfort während einer Zugfahrt – das sollte selbstverständlich sein. Dafür sorgt ABB mit seinen leistungsstarken Traktionsumrichtern für den Antrieb des Fahrzeugs und mit Hilfsbetriebeumrichtern für die Bordnetzversorgung im Zug. Um die Regelungssoftware für diese Umrichter effektiv und effizient zu entwickeln und zu testen, setzt ABB auf die generische Echtzeitsimulation mit dSPACE Produkten.



Einer der wichtigsten Parameter, der ein modernes Schienenfahrzeug charakterisiert, ist die Zugkraft, die ein Fahrzeug in Bewegung setzt. Eine leistungsfähiger Antriebsstrang erfordert auch andere Teilsysteme wie Hilfsbetriebeumrichter (Abbildung 1), die eine wichtige Rolle für das Funktionieren des Fahrzeugs spielen. Es ist schwer vorstellbar, dass eine Zugfahrt heute ohne den Komfort von Heizung, Lüftung und Klimaanlage, Beleuchtung oder Steckdosen zum Aufladen tragbarer Geräte stattfindet. Aber nicht nur die Fahrgäste brauchen eine „kühle“ Fahrt, sondern auch die Komponenten des Antriebsstranges wie Traktionsumrichter, Traktionstransformatoren und Antriebsmotoren müssen gekühlt werden, um einen zuverlässigen und effizienten Betrieb zu gewährleisten. Außerdem sind Kompressoren für den Betrieb des Bremssystems und des Stromabnehmers unerlässlich. Alle diese zusätzlichen Lasten an Bord werden von einem Hilfsbetriebeumrichter versorgt. ABB bietet Hilfsbetriebeumrichter für eine breite Palette von Fahrzeugen an, die entweder in den Traktionsumrichter integriert oder eigenständige Einheiten sind (Abbildung 2).

Der Teufel steckt im Detail

Hardware-in-the-Loop (HIL)-Tests sind der technische Standard für den Test der Regelungssoftware von Traktions- und Hilfsbetriebeumrichtern. Zu diesem >>

ABB

ABB ist ein führendes Technologieunternehmen in den Bereichen Elektrifizierung und Automation, das eine nachhaltigere und ressourceneffizientere Zukunft ermöglicht. Die Lösungen des Unternehmens verbinden technische Expertise mit Software, um die Art und Weise, wie etwas hergestellt, bewegt, angetrieben und betrieben wird, zu verbessern. Seit vielen Jahren engagiert sich ABB auch in der Entwicklung von führenden Werkzeugen für die Echtzeitsimulation zum Testen seiner Produkte. Das dSPACE Echtzeitsystem der ABB Traction Division bietet eine Umgebung für den effizienten und kostengünstigen Test von Regelungssoftware leistungsfähiger Leistungselektroniksysteme für Schienenfahrzeuge und schwere Elektrofahrzeuge wie Oberleitungsbusse, Busse und Lastwagen.

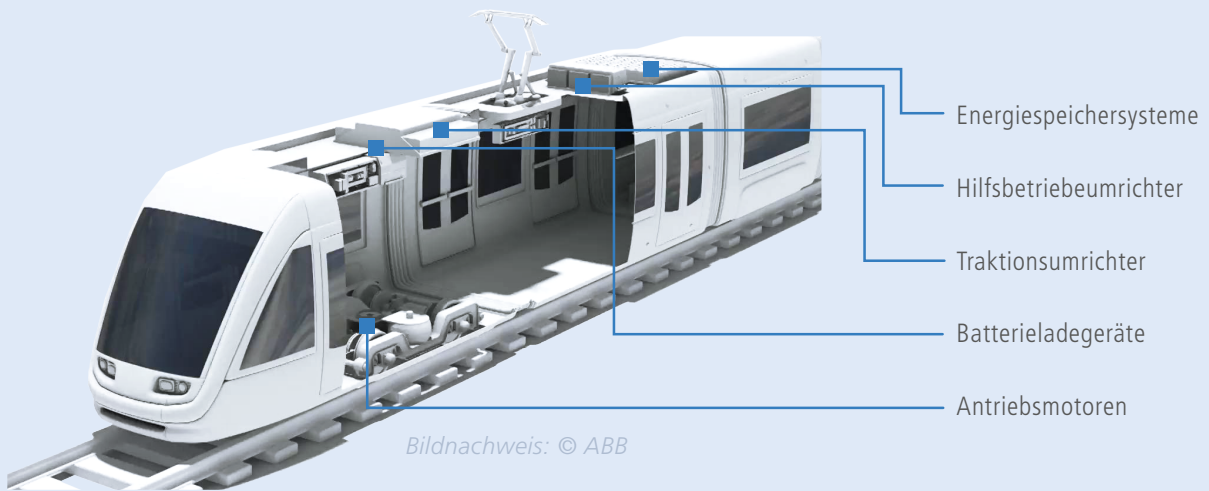


Abbildung 1: Straßenbahn mit ABB-Traction-Produkten, einschließlich Hilfsbetriebeumrichtern.

Zweck verwendet ABB die dSPACE Entwicklungslösung, die im Textkasten auf der nächsten Seite ausführlich beschrieben wird. Seit vielen Jahren nutzt ABB dSPACE Produkte – wie z. B. die HIL-Simulation elektrischer Antriebe – zum Testen und Entwickeln von Regelungssoftware für eine optimale Kraftübertragung auf die Räder. Hilfsbetriebeumrichter haben jedoch eine höhere Schaltfrequenz als Traktionssysteme. Dies wiederum erfordert eine hohe Simulationsgenauigkeit und entsprechend hohe Abtastraten in der Simulationsumgebung, wie sie nur auf **FPGAs** (Field-Programmable Gate Array) basierende Simulationen bieten können.

Fokus auf das Wesentliche

ABB benötigt eine generische Testumgebung, um die große Vielfalt an Steuergeräten und Bordsystemen in der Entwicklung und Validierung zu berücksichtigen. So können sich die Ingenieure auf ihre Kernaufgaben konzentrieren, nämlich die Entwicklung und das Testen von Software für Hilfsbetriebeumrichter, und müssen sich

nicht mit komplexen mathematischen Modellen oder FPGA-Programmierung befassen. Daher musste die dSPACE Entwicklungslösung komfortabel, einfach zu bedienen und flexibel in der Anpassung der Parameter an unterschiedliche Anforderungen sein. Die Lösung, insbesondere das Electrical

Power Systems Simulation Package (EPSS), führt schnelle Echtzeitberechnungen aus einem mit Simscape Electrical™ (Specialized Power Systems) modellierten Schaltplan durch, zum Beispiel unter Verwendung eines FPGAs. Für die Verwendung von EPSS sind außer der Erstellung von Schaltungs-

FPGA =
Field-Programmable
Gate Array

Abbildung 3: ABB Traction Simulator mit dSPACE SCALEXIO-Systemen für die kombinierte Simulation von Traktionsumrichtern und Hilfsbetriebeumrichtern.





Bildnachweis: © ABB

Abbildung 2: ABB-Traktionsumrichter mit integriertem Hilfsbetriebeumrichter.

FPGA steht für **Field-Programmable Gate Array**. FPGAs werden in der Digitaltechnik eingesetzt, um Änderungen an der Funktionalität eines integrierten Schaltkreises zu ermöglichen, ohne die Hardware zu ersetzen. Stattdessen wird ein bestimmter integrierter Schaltkreis als eine bestimmte Konfiguration der internen Logikzellen implementiert. Die Hauptvorteile eines FPGAs sind seine Flexibilität und seine hohe Geschwindigkeit bei der Signalverarbeitung. Im Fall von EPSS wird die numerische Lösung der diskreten Systemgleichungen für eine leistungselektronische Schaltung auf dem FPGA berechnet.

topologien keine besonderen Kenntnisse erforderlich. Es muss weder eine FPGA-Programmiersoftware vorhanden sein, noch muss der verantwortliche Ingenieur eine zeitaufwendige Synthese des FPGA-Builds selbst durchführen. Mit dem in EPSS enthaltenen FPGA-basierten Ansatz sind je nach

Anwendung schnelle Berechnungen mit Schrittweiten ab wenigen hundert Nanosekunden möglich, weshalb sich ABB für dieses Paket entschieden hat. EPSS ermöglicht es somit, die mit Simscape Electrical™ modellierte Schaltskizze direkt auf den FPGA zu übertragen und ohne weiteren Implemen-

tierungsaufwand des Anwenders in Echtzeit auszuführen. Das reduziert Zeit und Kosten und schont Ressourcen.

Vorabanalyse der Modelle

Da es Hilfsbetriebe in unterschiedlichen Konfigurationen und Anzahlen gibt (zum Beispiel mit oder ohne DC/DC- >>

dSPACE Entwicklungslösung

ABB verwendet SCALEXIO-Hardware zusammen mit der Experimentier- und Instrumentierungssoftware ControlDesk und der Implementierungssoftware ConfigurationDesk. Das dSPACE Electrical Power Systems Simulation Package (EPSS), das auf einer SCALEXIO-Einheit mit eigenem Prozessor, FPGA und Multi-I/O-Boards läuft (Abbildung 3), hilft bei der Simulation der Hilfsbetriebe mit FPGAs. Für die Simulation von Bordnetzumrichtern ist die Auflösung in Schrittweiten von ca. 25 µs, die üblicherweise für die Simulation des Traktionssystems verwendet wird, nicht ausreichend. Dies liegt daran, dass die Leistungshalbleiter in den Hilfsbetriebeumrichtern höhere Schaltfrequenzen (über 2 kHz) haben und die zugehörigen leistungselektronischen Schaltungskomponenten (Induktivitäten, Kondensatoren, Widerstände, Schalter) kleinere Zeitkonstanten aufweisen als im Traktionssystem. Die mathematische Beschreibung solcher Systeme erfordert tiefgehendes Fachwissen, um eine genaue Echtzeitsimulation zu erreichen.

Daher war ein Ansatz erforderlich, der die folgenden Punkte abdeckt:

- Physikalisch korrekte Modellierung des Stromrichters durch einen Schaltplan
- Automatische Generierung der mathematischen Beschreibung (Differentialgleichungen) und Diskretisierung
- Simulationsschrittweite unter 5 µs
- Genaue Berücksichtigung der pulswertenmodulierten (PWM) Schaltsignale
- Änderung der Parametrierung, insbesondere der Lasten, während der Laufzeit
- Präzises Aufzeichnen von Messdaten

All diese Punkte sollen ein **zeitsparendes und reproduzierbares Testen von Stromrichtern** ermöglichen.

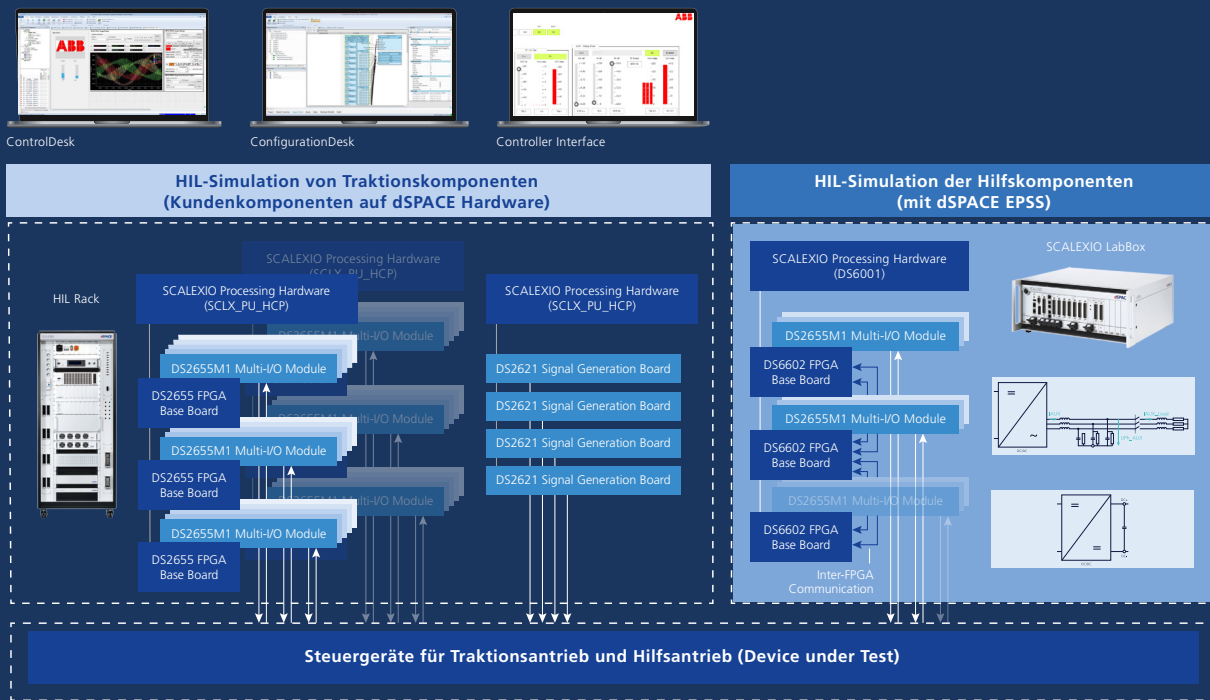


Abbildung 4: Beispiel für den Aufbau der dSPACE Hardware und Software bei ABB.

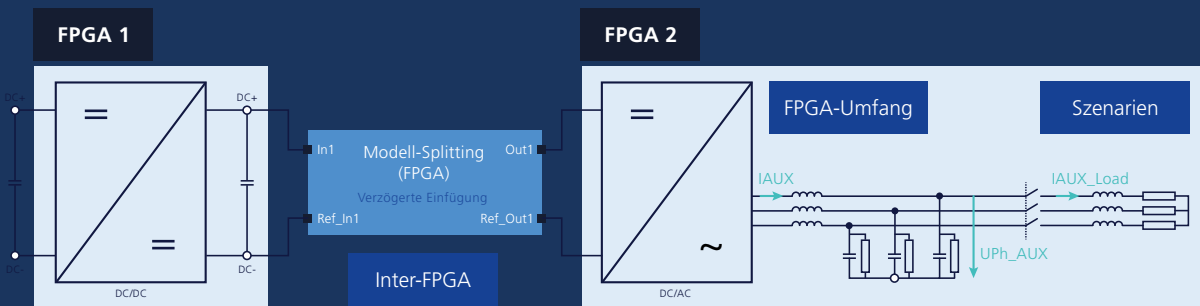


Abbildung 5: Topologie des Hilfsbetriebeumrichters, der mit EPSS FPGA in Echtzeit simuliert wird. Die Simulation ist auf zwei FPGAs aufgeteilt, die miteinander kommunizieren, um einen korrekten Signalaustausch zu gewährleisten.

Wandler, oder mit mehreren parallel-laufenden Hilfsbetrieben), stellt sich die Frage, ob die komplexen Modelle überhaupt auf einem einzigen FPGA verarbeitet werden können, oder ob sie aufgeteilt werden müssen. Wenn

eine Aufteilung erforderlich ist, muss der Punkt, an dem die Aufteilung vorgenommen werden kann, so bestimmt werden, dass die Simulation stabil und genau genug bleibt. Die daraus resultierenden Einheiten, die auf mehreren

FPGAs laufen, müssen zudem in der Lage sein, über eine Inter-FPGA-Verbindung problemlos miteinander zu kommunizieren (Abbildung 5). EPSS bietet umfangreiche, benutzerfreundliche Werkzeuge, um die Notwendig-

„Wir haben uns bei diesem Projekt für die Fortsetzung der Partnerschaft mit dSPACE entschieden, da wir bereits seit vielen Jahren erfolgreich und vertrauensvoll zusammenarbeiten.“

Alessandro Recca, Head of Control Testing and Validation, Traction bei ABB



„Wir reduzieren den Zeit- und Arbeitsaufwand erheblich, indem wir die Regelungssoftware auf dem dSPACE Echtzeitsystem, einschließlich der Hilfsbetriebe, vorab testen. So können wir uns während der eigentlichen Fahrzeuginbetriebnahme auf die Feinabstimmung unserer Regelungssoftware konzentrieren.“



Thomas Steiner, Senior Control Engineer, Traction bei ABB

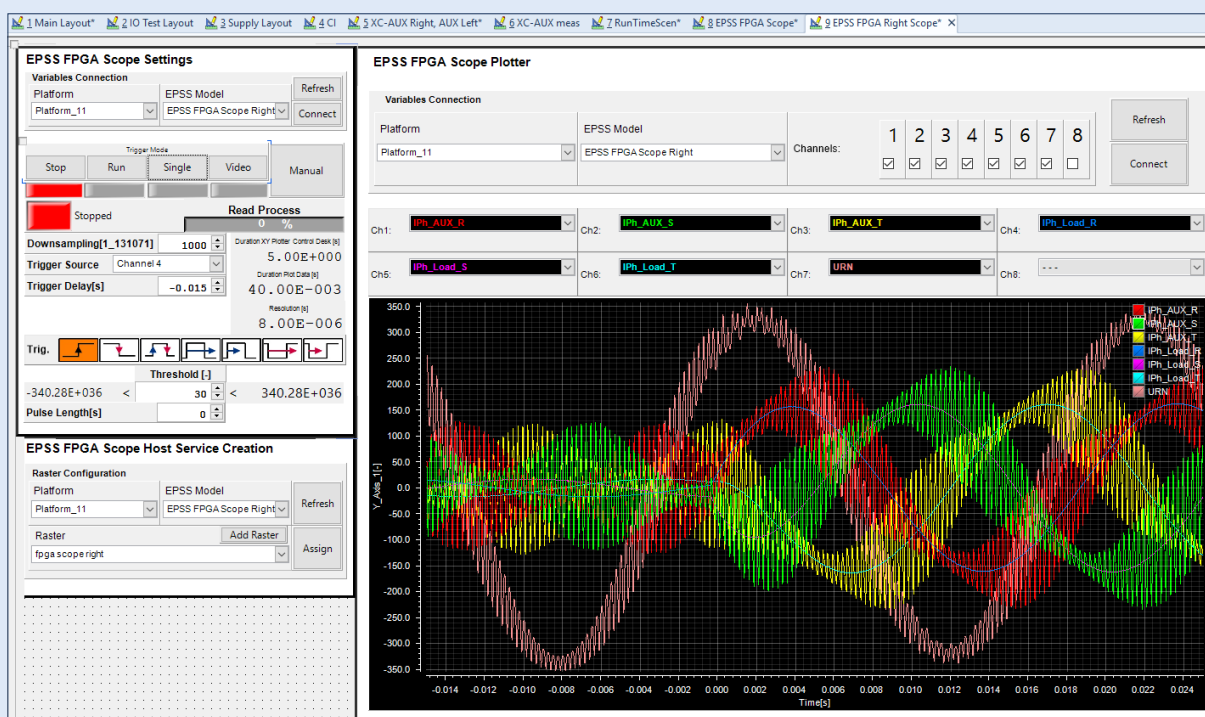


Abbildung 6: Erfassen von Signalen mit dem FPGA-Scope aus EPSS FPGA. Es wird ein Lastschritt (zum Zeitpunkt 0) von 10 % auf 100 % gezeigt. Die Last wird während der Laufzeit mit Hilfe des EPSS-Features „Scenarios“ geändert.

keit von mehreren FPGA-Boards und deren Konfiguration zu ermitteln. So kann zum Beispiel eine grafische Benutzeroberfläche anzeigen, ob eine Schaltung auf einem FPGA implementiert werden kann und welche Kom-

ponenten oder Einstellungen zur Notwendigkeit eines weiteren FPGA-Boards führen. Wenn eine Modellaufteilung unvermeidbar ist, können einfach zu verwendende Model Splitting-Blöcke in das Simulationsmodell ein-

gefügt werden. Es stehen verschiedene Trennverfahren zur Verfügung. In einer weiteren grafischen Oberfläche kann der Nutzer analysieren, welche Trennstellen und Trennverfahren zu einer weiterhin stabilen Simulation führen >>

„Wir brauchten ein Werkzeug, mit dem sich Anwendungen einfach und schnell modellieren lassen, ohne dass sich der zuständige Ingenieur mit der FPGA-Programmierung befassen muss. Das EPSS Package von dSPACE war die beste Umgebung, um dies zu gewährleisten.“



Markus Dähler, Senior Engineer Real-Time Simulation, Traction bei ABB



Detaillierter Vergleich der Ergebnisse

Die Grafik zeigt die Ergebnisse eines Open-Loop-Experiments, bei dem der Hilfsbetriebe-Zwischenkreis auf 750 V fixiert ist und der Hilfsbetriebeumrichter mit einer PWM-Schaltfrequenz von 4 kHz und einem Modulationsindex von $m=0,9$ gepulst wird (Abbildung 7). Die Echtzeitsimulation mit EPSS FPGA, die mit einer Schrittweite von $4 \mu\text{s}$ läuft, wird mit einer Offline-Referenzsimulation mit Simscape Electrical™ (Specialized Power Systems) mit einer Schrittweite von $0,1 \mu\text{s}$ und mit echten Labormessungen verglichen. Die Echtzeitsimulation EPSS FPGA ist sehr genau – sie ist fast identisch mit einer viel rechenintensiveren Offline-Simulation und kommt den Laborergebnissen sehr nahe. Der Unterschied zwischen der Simulation und den Labordaten ergibt sich aus der idealen Beschaffenheit der simulierten elektrischen Komponenten, d. h. lineare R_s , L_s , C_s usw. Diese Elemente sind in der Realität nicht-linear, und Effekte wie die Temperaturabhängigkeit des Widerstands und die nichtlineare L-Strom-Charakteristik werden in der Simulation vernachlässigt.

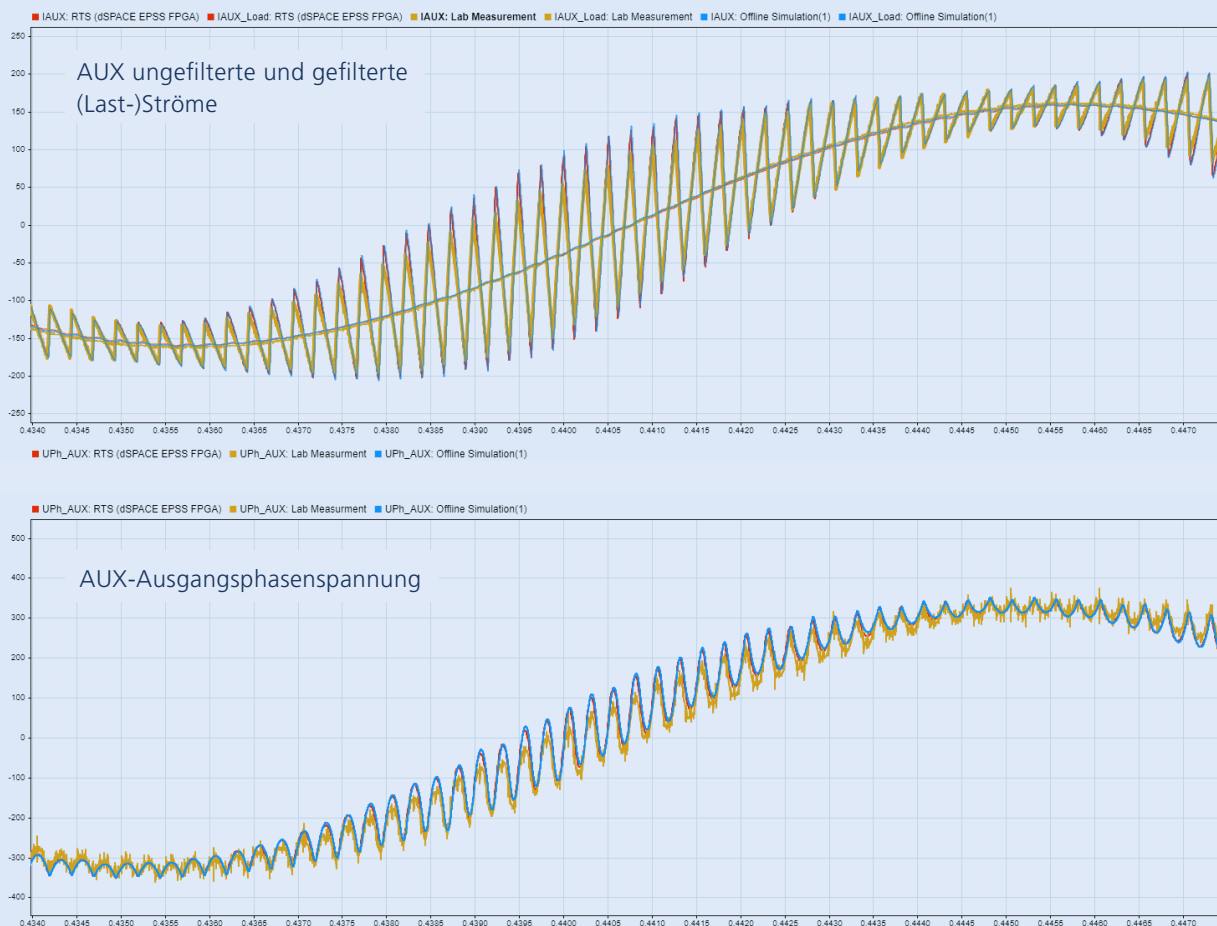


Abbildung 7: Vergleich der Echtzeitsimulation mit EPSS FPGA (rot), der Offline-Simulation mit Simscape Electrical™ Specialized Power Systems (blau) und der Labormessungen am realen Aufbau (gelb).

„Die dSPACE Entwicklungslösung lässt sich einfach parametrieren, konfigurieren und für die generische Simulation automatisieren. Damit können wir kundenspezifische Modelle von ABB mit dem dSPACE EPSS FPGA Package für eine vollständige Antriebs- und Hilfsbetriebsimulation kombinieren.“

Dr. Roxana Ionutiu, Principal Engineer Real-Time Simulation, Traction bei ABB

und welche Trennstellen für das vorliegende Modell am besten geeignet sind. Die Verbindung mehrerer FPGA-Boards kann komfortabel über ConfigurationDesk und eine integrierte EPSS-spezifische Inter-FPGA-Schnittstelle konfiguriert werden.

Bis ins kleinste Detail – Visualisierung der Ergebnisse

Während der Echtzeitsimulation werden die resultierenden Signale normalerweise auf dem Prozessor überwacht, zum Beispiel mit der dSPACE Software ControlDesk. Da die Simulation von Hilfsbetrieben auf einem FPGA jedoch mit einer Präzision durchgeführt wird, die auf dem Prozessor nicht dargestellt werden kann, zeigt der Prozessor gemittelte Ergebnisse an. Der mit EPSS gelieferte FPGA-Scope ermöglicht es jedoch, die Simulationsergebnisse in einem bestimmten Zeitrahmen genau zu erfassen und mit einer ControlDesk-Erweiterung komfortabel darzustellen. So können Ströme und Spannungen der leistungselektronischen Komponenten oder die PWM-Schaltsignale genau beobachtet werden. Abbildung 6 zeigt beispielsweise, wie man den FPGA-Scope verwenden kann, um den Trigger so einzustellen, dass er die relevanten Signale bei einer Änderung der Last von 10 % auf 100 % erfasst.

Keine Bürde mit den Lasten

Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass die Lastparameter während der Laufzeit geändert werden müssen. Dies ist bei topologiebasierten Simulationen nicht trivial, da veränderte

Parameter die diskretisierten Differentialgleichungen verändern. EPSS bietet eine grafische Benutzeroberfläche für die Definition von Szenarien, d. h. von Parametersätzen für die in den Schaltkreisen enthaltenen Komponenten. In ControlDesk kann während der Laufzeit mit wenigen Klicks zwischen diesen Szenarien umgeschaltet werden, und die Auswirkungen von Laständerungen können auf diese Weise leicht getestet werden.

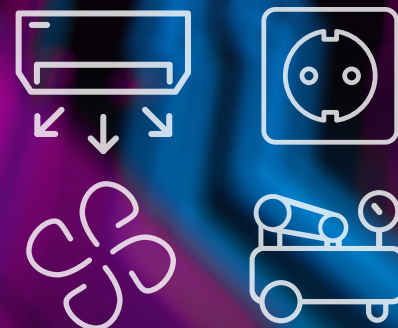
Der Beweis – Die Laborwerte

Letztendlich lautet die Frage bei jeder Form der Simulation: Wie nahe kommt die Simulation den realen Werten? Daher hat ABB parallel zur Entwicklung der Testumgebung entsprechende Messungen im Labor durchgeführt, die bestätigen, dass die Simulation sehr genau ist (Abbildung 7).

Zusammenfassung und Ausblick

dSPACE „an Bord“ zu haben bedeutet, gleichzeitig Geschwindigkeit, Sicherheit und Komfort für den öffentlichen Verkehr zu gewährleisten. Mit der dSPACE Entwicklungslösung führt ABB Traction realitätsnahe Echtzeit-HIL-Simulationen für komplette Antriebssysteme durch, die nun auch auf Hilfsbetriebeumrichter ausgeweitet wurden. Ermutigt durch die hervorragenden Ergebnisse, die mit EPSS für die Hilfsbetriebsimulation erzielt wurden, wird ABB Traction den HIL-Simulator weiterentwickeln, um noch komplexere Aufbauten in den Simulationsumfang aufzunehmen. ■

Dr. Roxana Ionutiu, ABB



Die Lasten des Hilfsbetriebeumrichters des Fahrzeugs werden in Echtzeit simuliert.

Zusätzlicher Dank geht an die ABB-Kollegen Thomas Steiner, Dr. Sergio Fraga, Benjamin Grichting, Dr. Gina Steinke und Thomas Maier für ihren Beitrag zu mehreren Entwicklungsphasen für die Echtzeitsimulation der Hilfsbetriebe und David Brügger für die Durchführung von Messungen am realen System im Labor.

Dr. Roxana Ionutiu

Dr. Roxana Ionutiu ist Principal Engineer für Echtzeitsimulation bei der ABB Division Traction in Turgi, Schweiz.



E-Mission_sfrei unterwegs



Wie sollen Lkw, Busse und Baumaschinen zukünftig angetrieben werden? Für Hyzon Motors Inc. ist die Antwort klar: mit einer Wasserstoff-Brennstoffzelle. Dafür entwickelt das Unternehmen nicht nur zahlreiche Schlüsseltechnologien, sondern beteiligt sich auch aktiv am Aufbau einer Versorgungsinfrastruktur für sauberen Wasserstoff. Bei der Steuergeräte-Absicherung setzt Hyzon auf dSPACE Technologie.

Die Brennstoffzelle stellt elektrische Energie bereit, ohne dabei CO₂ oder Schadstoffe freizusetzen, und rückt deshalb in der Energie- und der Automobilwirtschaft zunehmend als klimafreundlicher Energielieferant in den Fokus. Angesichts besonderer Reichweitenanforderungen und Effizienzkriterien ist sie im Mobilitätssektor insbesondere für Nutzfahrzeuge eine interessante Option. Sie wandelt chemische Energie, die bei einer Reaktion zwischen Wasserstoff und Sauerstoff frei wird, in

elektrische Energie um. Weil Wasserstoff in der Natur nur in Verbindungen vorkommt, beispielsweise zusammen mit Sauerstoff in Wasser, muss dieser zunächst isoliert werden, was meist durch Elektrolyse erfolgt. Nur wenn der dafür eingesetzte Strom emissionsfrei erzeugt wurde, ist die Technologie wirklich klimaneutral.

Sauber, bezahlbar, überall verfügbar

Dafür setzt sich das US-amerikanische Unternehmen Hyzon Motors Inc. mit

Sitz in Rochester, New York, ein und beteiligt sich aktiv an der Entstehung einer flexiblen und robusten Versorgungsinfrastruktur für sauberen Wasserstoff. Die Vision: bezahlbarer Wasserstoff, der überall verfügbar ist und ausschließlich mittels erneuerbarer Ressourcen wie Biogas oder -methan, Sonne und Wind oder Abfall gewonnen wird. Dabei setzt das Unternehmen gemeinsam mit verschiedenen Partnern auf die lokale Produktion von Wasserstoff, um kostspielige Transporte zu minimieren. Im Kerngeschäft

Entwicklung und Absicherung von Brennstoffzellen-Technologien für Nutzfahrzeuge

PEM:
Proton
Exchange
Membrane

Bildnachweis: © Hyzon Motors

entwickelt und produziert Hyzon emissionsfreie **PEM**-Brennstoffzellensysteme und verbaut diese in Nutzfahrzeugen, zum Beispiel Lkws. Das Unternehmen zählt zu den weltweit führenden OEMs für wasserstoffbasierte Brennstoffzellentechnologien zum Antrieb von Schwerlastfahrzeugen.

Kein Brennstoffzellensystem ohne FCU

Das Herzstück jedes Brennstoffzellensystems ist sein zentrales Steuergerät, die FCU (Fuel Cell Control Unit). Über verschiedene Regelalgorithmen steuert sie das gesamte System mit seinen verschiedenen Komponenten wie Wasserstoffeinspritzung, Ventilen, Pumpen und Kompressoren. „Um die Entwicklung der benötigten FCU-Software so effizient wie möglich zu gestalten, wollten wir diese schon in sehr frühen Phasen immer wieder testen und optimieren können – auch schon weit bevor ein reales Brennstoffzellensystem zur Verfügung steht“, berichtet

Daniel Kang, der als Software Test Manager die Entwicklung der Regler-Software bei Hyzon Motors mitverantwortet. Hyzon benötigte also ein System, mit dem sich alle für den Betrieb eines Brennstoffzellensystems relevanten Funktionen einer FCU abtesten lassen und das für die Simulation der FCU-Umgebung ein Brennstoffzellenmodell beinhaltet. Die gesuchte Testlösung sollte das Entwicklerteam auch bei weiteren Aufgaben unterstützen, zum Beispiel bei dem Erstellen eines Katalogs mit automatisierten Regressionstests, die bei jeder neuen Software-Version durchgeführt werden.

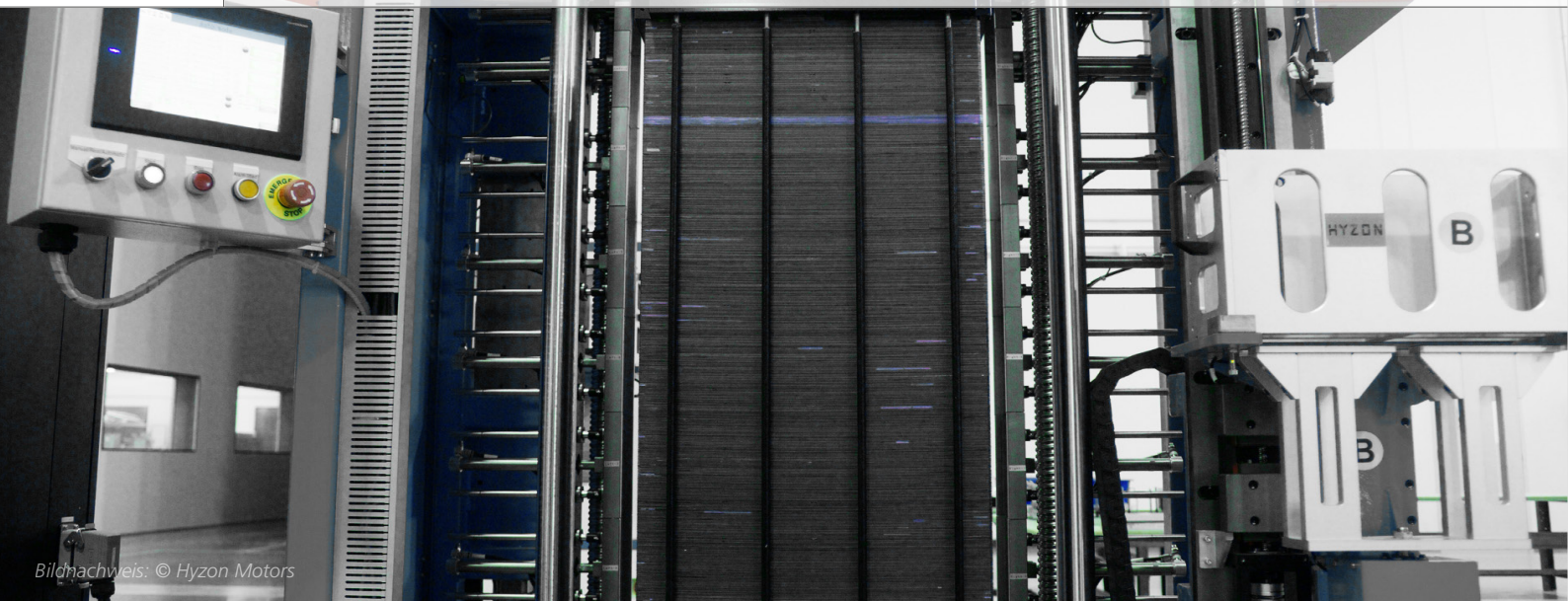
Skalierbare Testlösung für FCU-Software

Hyzon machte sich auf die Suche nach einem Anbieter, der sowohl eine passende Plattform für Hardware-in-the-Loop (HIL)-Tests als auch ein echtzeitfähiges Streckenmodell für Brennstoffzellensysteme liefern kann. >>



„Die erste Software-Version für die FCU funktionierte sehr schnell, da wir im Vorfeld bereits viele Tests auf dem HIL-System durchgeführt haben. Dabei konnten wir nicht nur alle wesentlichen Ein- und Ausgänge, sondern auch die geschlossenen Regelkreise überprüfen und so sicherstellen, dass unsere Software funktionierte, bevor wir sie auf ein reales System übertragen.“

Daniel Kang,
Software Test Manager, Hyzon Motors Inc.



Bildnachweis: © Hyzon Motors

Automatisiertes Stapeln von Zelleinheiten.

ASM:
Automotive
Simulation
Models

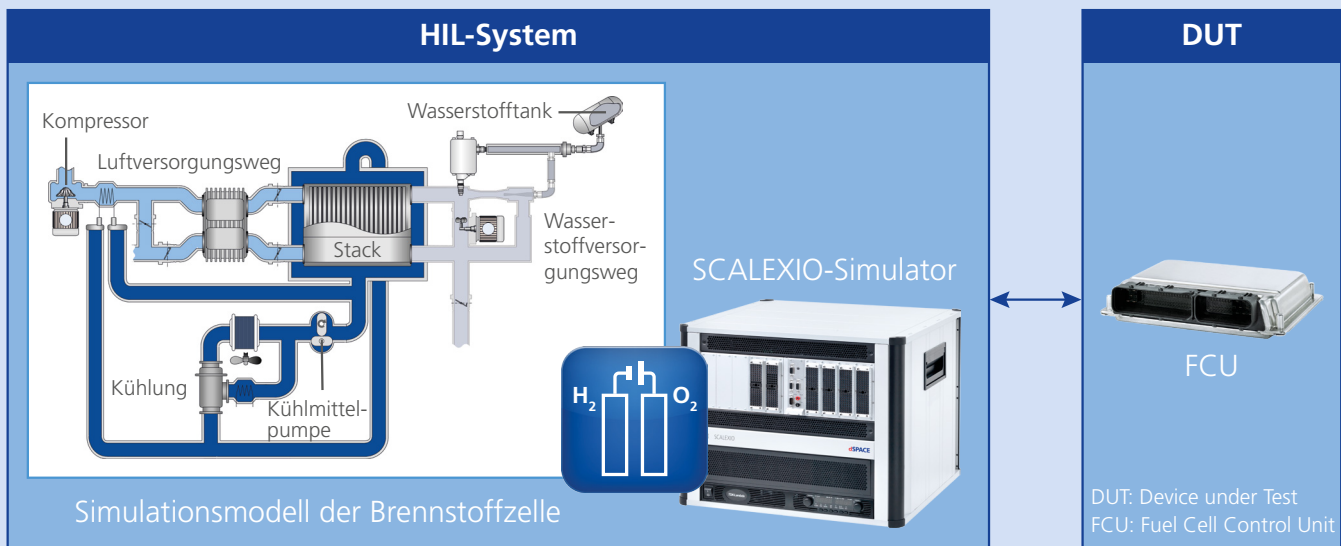
„dSPACE war einer der wenigen Anbieter, der diese beiden Produkte in einer integrierten Lösung anbieten konnte“, so Daniel Kang. Hyzon entschied sich für eine flexibel skalierbare HIL-Testlösung von dSPACE mit leistungsstarker Echtzeit-Simulationshardware, die über alle relevanten Schnittstellen für den Anschluss der FCU verfügt. Softwareseitig macht die dSPACE Modellbibliothek **ASM** Fuel Cell, die neben dem Modell des Brennstoffzellensystems noch Modelle für Antriebsstrang, E-Motoren, Batterie und Fahrwiderstände enthält, die Lösung komplett. Sie ermöglicht die Echtzeitsimulation der Brennstoffzellensysteme und

den Aufbau einer realistischen Testumgebung für die FCU. Mit dieser Kombination aus HIL-System und passendem Streckenmodell konnten die Entwickler die FCU-Software schon bald effizient testen und erste Kalibrierungen vornehmen, ohne sie überhaupt auf ein reales System aufspielen zu müssen.

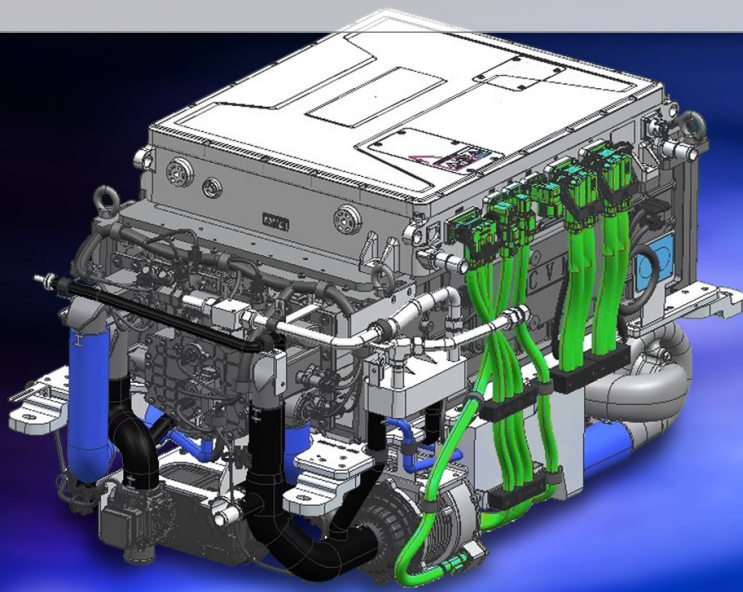
Integration von HIL-Tests in die FCU-Entwicklung

Inzwischen führt Hyzon die HIL-Tests standardmäßig bei jeder neuen FCU-Software-Version durch, zum Beispiel um Software-Funktionen gezielt auf Komponentenebene zu testen. Auch

neue Regelstrategien testet das Entwicklerteam zunächst im dSPACE HIL-System, um sicherzustellen, dass sie wie erwartet funktionieren, oder um potenzielle Probleme früh zu beheben. Die Möglichkeit der frühzeitigen Software-Kalibrierung hat sich als besonders effizienzsteigernd erwiesen: Bei den späteren Leistungstests im realen System ist die FCU-Software schon sehr viel ausgereifter, als das bei früheren Tests der Fall war. Inzwischen nutzen die Entwickler das dSPACE HIL-System auch, um Probleme, die im realen Brennstoffzellensystem aufgetreten sind, nachzustellen und zu beheben.



Hyzon nutzt eine integrierte Lösung von dSPACE, um FCUs effizient zu testen, ohne sie auf einem realen System einsetzen zu müssen. Die Testlösung kombiniert leistungsstarke Echtzeit-Simulationshardware mit einem echtzeitfähigen Streckenmodell für Brennstoffzellensysteme.



Bildnachweis: © Hyzon Motors



Bildnachweis: © Hyzon Motors

200-kW-Brennstoffzellensystem mit einem Stack.

Von I/O bis Closed-Loop

Die HIL-Tests, die Hyzon mit der dSPACE Lösung durchführt, reichen von grundlegenden I/O-Tests, bei denen sämtliche Ein- und Ausgänge der FCU (digital, analog und CAN) auf ihre korrekte Funktion hin überprüft werden, bis hin zu Closed-Loop-Tests der Regelkreise. Im Rahmen der Closed-Loop-Tests überprüft das Entwicklerteam zum Beispiel, ob sichergestellt ist, dass alle Sollwerte nach einer vorher festgelegten Einschwingzeit mit ihren Istwerten übereinstimmen und somit alle geschlossenen Regelkreise stabil sind. Mit dem Simulationsmodell ASM Fuel Cell ist es möglich, unter anderem folgende Größen im Detail zu untersuchen:

- Anodenausgangsdruck
- Kathodenluftstrom
- Kompressordrehzahl und -ausgangsdruck
- Ein- und Austrittstemperatur des Stack-Kühlmittels

Erste Erfolge mit der dSPACE Lösung

„Dank der zahlreichen Vorabtests, die

das Entwicklerteam mit dem HIL-System durchführen konnte, war das erste Software-Release für die FCU sehr schnell funktionsfähig – noch bevor es überhaupt auf ein reales System aufgesetzt wurde“, freut sich Daniel Kang. Als die Entwickler schließlich in der Lage waren, die Software auf einem echten System einzusetzen, konnten sie dieses in relativ kurzer Zeit erfolgreich in Betrieb nehmen. Diesen Erfolg führten sie auf die umfangreichen Tests mit dem HIL-System zurück. Auch bei der Nachbildung potenziell kritischer Testszenarien erweist sich das HIL-System als „Gamechanger“: Betriebsbereiche mit Zellströmen, Temperaturen und Drücken, die außerhalb des normalen Betriebsbereichs liegen, lassen sich nun leicht in die Tests miteinbeziehen – ohne dabei Schäden am realen Brennstoffzellensystem befürchten zu müssen. Die schnelle Aktualisierung und Funktionserweiterung des Brennstoffzellensystems per Mausklick ermöglicht es dem Entwicklerteam außerdem, neue Steuerungssoftware schnell und flexibel auf verschiedenen Systemen und Systemständen zu testen.

Fazit und Ausblick

Auf seine Erfahrungen mit der dSPACE Testlösung angesprochen, zieht Daniel Kang ein durchweg positives Resümee: „Ich habe bereits Erfahrung mit anderen HIL-Systemen. An die Qualität der dSPACE HIL-Hardware und -Software kommt für mich keines heran. Besonders hervorzuheben ist die hohe Skalierbarkeit der Testsysteme: Sie sind so konzipiert, dass sie sich mühelos an neue Konfigurationen anpassen lassen. Insgesamt bin ich sehr zufrieden mit dem HIL-System und damit, wie es uns geholfen hat, unsere Software-Testmöglichkeiten zu verbessern.“

Derzeit setzt Hyzon die HIL-Systeme bereits erfolgreich für die Entwicklung der nächsten FCU-Generation ein. Darüber hinaus arbeitet Hyzon kontinuierlich an technologischen Fortschritten – über sämtliche Schlüsselkomponenten von Brennstoffzellen hinweg. Zukünftig dürften uns also noch spannende Neuerungen im Wasserstoffsektor erwarten. ■

Mit freundlicher Genehmigung von Hyzon Motors Inc.

„An die Qualität der dSPACE HIL-Hardware und -Software kommt für mich kein anderes HIL-System heran. Insgesamt bin ich sehr zufrieden mit dem HIL-System und damit, wie es uns geholfen hat, unsere Software-Testmöglichkeiten zu verbessern.“

Daniel Kang, Software Test Manager, Hyzon Motors Inc.



In den wenigen Jahren seit seiner Gründung im Jahr 2014 hat der chinesische Spezialist für Elektrofahrzeuge eine beeindruckende Entwicklung erlebt. Die Verkaufszahlen sind rasant gewachsen, zuletzt mit einem Plus von 34 % gegenüber dem Vorjahr. Die Zahl der Beschäftigten lag Ende 2021 bereits bei mehr als 15.000 weltweit. Und nachdem sich NIO auf dem chinesischen Markt fest etabliert hat, schickt sich der Konzern nun an, auch auf den internationalen Märkten Fuß zu fassen.

Hochdynamische Steuergeräte, hohe Spannungen

Um die ambitionierten Wachstumspläne zu verwirklichen, benötigen die NIO-Ingenieure leistungsfähige Entwicklungswerkzeuge für die zahl-

reichen Herausforderungen bei der Entwicklung von Steuergeräte-Funktionen für Elektromotoren. Denn Elektromotoren zeichnen sich durch ein extrem dynamisches Verhalten aus. Daher arbeiten die zugehörigen Steuergeräte für Elektromotoren mit sehr hohen Taktraten (typischerweise 10-20 kHz). Deswegen müssen auch die Testsysteme zum Testen der Motorsteuergeräte diese hohen Taktraten beherrschen. Hinzu kommt der Umgang mit Systemspannungen jenseits von 1.000 V.

Entscheidung für SCALEXIO

Um die vielfältigen Herausforderungen auch in Zukunft meistern zu können, hat NIO mehrere am Markt erhältliche Testsysteme evaluiert. Die Wahl fiel schließlich auf ein Testsystem auf

Basis eines SCALEXIO-HIL-Simulators und Simulationsmodellen von dSPACE. Ausschlaggebend waren unter anderem:

- Hohe Echtzeitleistung
- Robuste Emulation von realen Strömen und Spannungen
- Exakte Simulationsergebnisse
- Hohe Präzision bei der Messung und Ausgabe elektrischer Größen
- Anwenderfreundlichkeit
- Kurze Einarbeitungszeit

30 % Zeitersparnis erzielt

Bereits nach einer kurzen Einarbeitungsphase war ein Team von mehr als 50 Mitarbeitern in der Lage, das SCALEXIO-System produktiv für verschiedene Komponententests einzusetzen. Darüber hinaus wurde im Ver-

Mission: E-Auto

Der chinesische Elektrofahrzeugspezialist NIO setzt bei der Entwicklung von Reglerfunktionen für Elektromotoren auf SCALEXIO-Simulatoren von dSPACE.



gleich zur früheren Arbeitsmethode eine Zeitersparnis von mehr als 30 % erzielt. Daher spielt das auf Simulationsmodellen und dem SCALEXIO-HIL-Simulator basierende Testsystem bei NIO inzwischen eine Schlüsselrolle bei einer Vielzahl von Test- und Validierungsaufgaben zur Entwicklung neuer Reglerfunktionen für innovative Elektromotoren.

Nächster Schritt: Integrations-test

Nachdem das SCALEXIO-System seine Fähigkeiten bei verschiedenen Komponententests bewiesen hat, wird NIO den nächsten logischen Schritt gehen und den Einsatz auf ein breites Spektrum von Integrationstests ausweiten. ■

Mit freundlicher Genehmigung von NIO.



„Das Echtzeittestsystem auf Basis von Simulationsmodellen und dem dSPACE SCALEXIO-HIL-Simulator spielt bei NIO eine Schlüsselrolle bei der Durchführung von Test- und Validierungsaufgaben zur Entwicklung von Reglerfunktionen für innovative Elektromotoren.“

George LU, NIO



Entwicklung von Batteriesystemen
für Bahnanwendungen

Stromer auf Schienen

Elektromobilität hat nicht nur auf der Straße viel Potential, sondern auch auf der Schiene. Um diesen Markt zu erschließen, nutzt die INTILION GmbH, innerhalb der Hoppecke-Gruppe ein Spezialist für Energiespeicherlösungen der Lithiumionentechnologie, eine breite Palette von dSPACE Equipment.

Beim Begriff Elektromobilität denkt man unwillkürlich zuerst an batteriebetriebene Elektroautos. Doch auch abseits der Straße existieren viele Einsatzmöglichkeiten, unter anderem bei Schienenfahrzeugen (Abbildung 1). Je nach Topologie des Antriebsstrangs wird hier die Batterie entweder als alleinige oder ergänzende Energiequelle verwendet. Beispiele sind hybride Antriebssysteme mit Verbrennungsmotoren,

Brennstoffzellen oder Notfallsysteme wie bei Metros für die Fahrt zum nächsten Bahnhof bei Ausfall des Hauptantriebs.

**Beispiel Rangierlokomotive:
Arbeitsbereich optimieren**

Eine herkömmliche Diesel-Rangierlok auf einem Güterbahnhof muss viele Male am Tag beschleunigen und abbremsen. Rüstet man sie aber auf einen Hybridantrieb um, bestehend

aus klassischem Dieselmotor und einem zusätzlichen Elektromotor mit Batterie, so ergeben sich immense Vorteile, denn im Teillastbetrieb arbeitet nur der Elektromotor mit Energie aus der Batterie, und im Vollastbetrieb unterstützt der Dieselmotor den Elektromotor. Auf diese Weise arbeitet der Dieselmotor in den Situationen, in denen er überhaupt arbeitet, stets in seinem optimalen Arbeitsbereich, was den Kraftstoffverbrauch,



die Schadstoffemissionen und auch die Geräuschentwicklung erheblich reduziert.

Beispiel Streckenlokomotive: Oberleitungsfreie Strecken überbrücken

Ein weiteres Szenario, in dem ein zusätzlicher batterieelektrischer Antrieb große Vorteile bietet, ist eine Streckenlokomotive bzw. ein Triebwagen bei einer Überlandfahrt. Denn weil weltweit nur ein Teil des Streckennetzes elektrifiziert ist, können nicht überall klassische, oberleitungsgebundene Elektrolokomotiven fahren. Um die oberleitungsfreien Streckenabschnitte zu überbrücken, kann dann zwar wie heute üblich eine Diesellokomotive zum Einsatz kommen, die bessere

>>



Abbildung 1: Rangierlokomotiven (1), Gleisbaufahrzeuge (2), Passagierzüge (3) und Metros (4) sind einige Beispiele, wo sich der Einsatz einer Batterie für Schienenfahrzeuge anbietet und viele Vorteile bringt, zum Beispiel einen geringeren Kraftstoffverbrauch sowie reduzierte Schadstoff- und Geräuschemissionen.

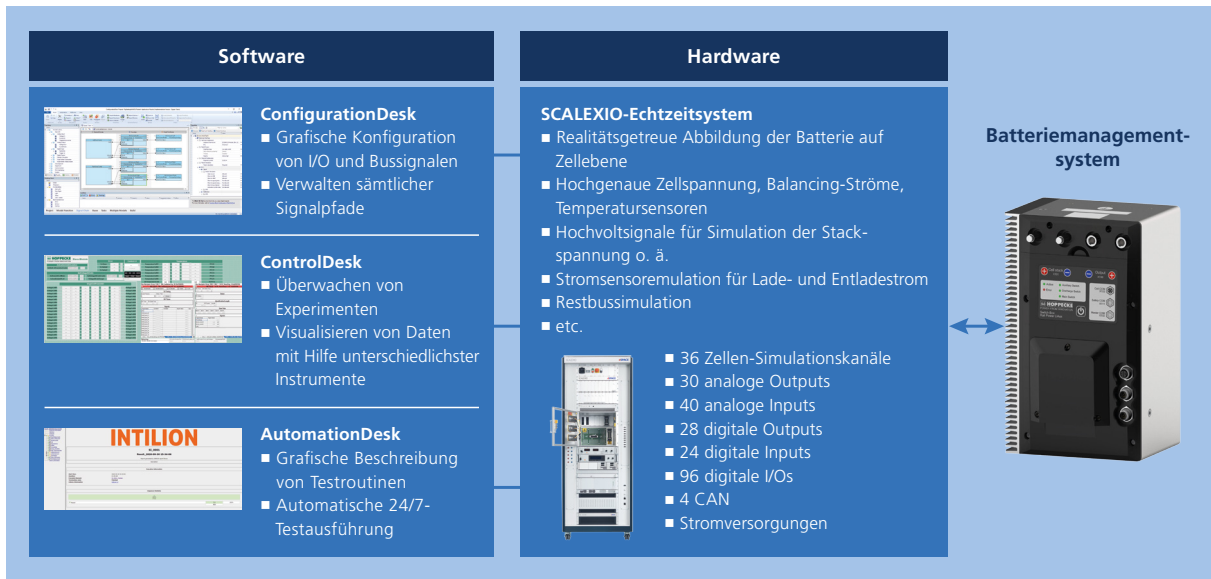


Abbildung 2: Ein SCALEXIO-Echtzeitsystem generiert Batteriespannungen, Ströme und Signale, die denen einer realen Testfahrt entsprechen. Hiermit wird das Batteriemanagementsystem getestet.

Alternative ist aber eine oberleitungsgebundene Elektrolokomotive, die eine zusätzliche Batterie besitzt, um die oberleitungsfreien Streckenabschnitte zu überbrücken.

Tests der Batteriesysteme im Labor

Genau wie bei Straßenfahrzeugen besteht auch bei Schienenfahrzeugen die Batterie aus einem Verbund von oft mehr als tausend Batteriezellen, die von einem Batteriemanagementsystem überwacht und geregelt werden (Ladezustandserkennung, Tiefentladeschutz, Überladeschutz, Zell-Balancing, Temperaturkontrolle etc.). Um diese Batteriesysteme unter Alltagsbedingungen zu testen, sind Testfahrten von Lokomotiven auf dem normalen Schienennetz zeitgleich zum eng getakteten alltäglichen Bahnverkehr allerdings kaum machbar.

Virtuelle Testfahrten im Labor sind daher der ideale Weg, um beliebige Alltagssituationen nachzubilden und so die Batteriesysteme umfassend zu testen. Hierbei nutzt INTILION ein System aus dSPACE Hardware und Software (Abbildung 2), mit dem realistische Batteriespannungen, Ströme und Signale generiert werden, die exakt denen einer realen Testfahrt entsprechen.

Testumgebung basierend auf dSPACE Hardware und Software

Das Testsystem wurde mit Hilfe eines dSPACE SCALEXIO Real-Time Systems und einer dSPACE Software-Toolkette realisiert. Die Inbetriebnahme ließ sich mit den dSPACE Automotive Simulation Models (ASM) erfolgreich durchführen. Aufgrund der offenen Modellstruktur der ASM-Bibliotheken konnten diese später leicht durch

INTILION-eigene Modelle ergänzt werden. Das Batteriemodell wurde so aufgebaut, dass es die typischen Eigenschaften gängiger lithiumionen-basierter Zellen (NMC, LTO, LFP etc.) generieren kann. Die Konfiguration der Verbindungen vom Software-Modell zur Hardware erfolgt mit Hilfe von dSPACE ConfigurationDesk. Mit der Experimentiersoftware dSPACE ControlDesk lassen sich die Experimente und Testläufe überwachen und beliebige Daten mit Hilfe unterschiedlichster Instrumente visualisieren. Bei den Testläufen generiert das SCALEXIO-System sämtliche Spannungen und Ströme eines realen Batteriesystems und weitere für den Test des Batteriemanagementsystems notwendigen Signale, zum Beispiel die Buskommunikation zu anderen Steuergeräten. Die Reaktionen des angekoppelten Batteriemanagementsystems

„Mit der dSPACE Entwicklungsumgebung lassen sich die Tests der Batteriesysteme umfassend, schnell und automatisiert absolvieren, und das gemäß der für Bahnanwendungen geltenden Normen und Standards.“

Jan Hergesell, INTILION

werden dann analysiert. Um die verschiedenen Tests automatisiert und zeitsparend durchzuführen, kommt die Automatisierungssoftware dSPACE AutomationDesk zum Einsatz. Zahlreiche Vorlagen aus einer Funktionsbibliothek erlauben es dabei, die automatischen Tests sehr komfortabel aufzusetzen.

dSPACE Testumgebung gemäß EN ISO/IEC 17025

Die Testabläufe mit der dSPACE Testumgebung erfüllen die für Bahnanwendungen relevanten Normen.

Dazu gehören unter anderem:

- EN ISO/IEC 17025 (Labormanagement)
- EN 50155 (Elektronische Einrichtungen auf Bahnfahrzeugen)
- EN 50126, EN 50128, EN 50129 (Funktionale Sicherheit)
- DIN EN 50657 (Software auf Schienenfahrzeugen)
- EN 50121-3-2 (Elektromagnetische Verträglichkeit)
- EN ISO/IEC 27001 (IT-Sicherheit)

Hervorzuheben ist besonders die international wichtige Labormanagement-Norm EN ISO/IEC 17025, für die Labore akkreditiert sein müssen, um als technisch kompetent zu gelten. Für viele Firmen und Aufsichtsbehörden ist die Erfüllung dieser Norm eine Grundvoraussetzung für eine Zusammenarbeit mit Laboren.

Cloudbasierte Überwachung aller Batterien

Während des alltäglichen Bahnverkehrs können die Batteriesysteme der Lokomotiven ständig verschiedene Betriebsdaten via 4G an die Hoppecke Connected Cloud übermitteln (Abbildung 3). Zu diesen Daten gehören u. a. der Ladezustand, die Betriebstemperatur, die Anzahl der Vollzyklen und der Gesamtenergiedurchsatz. Diese globale Überwachung der Batteriesysteme ermöglicht frühe Fehlerdiagnosen und eine vorausschauende Wartung der Lokomotiven, wodurch

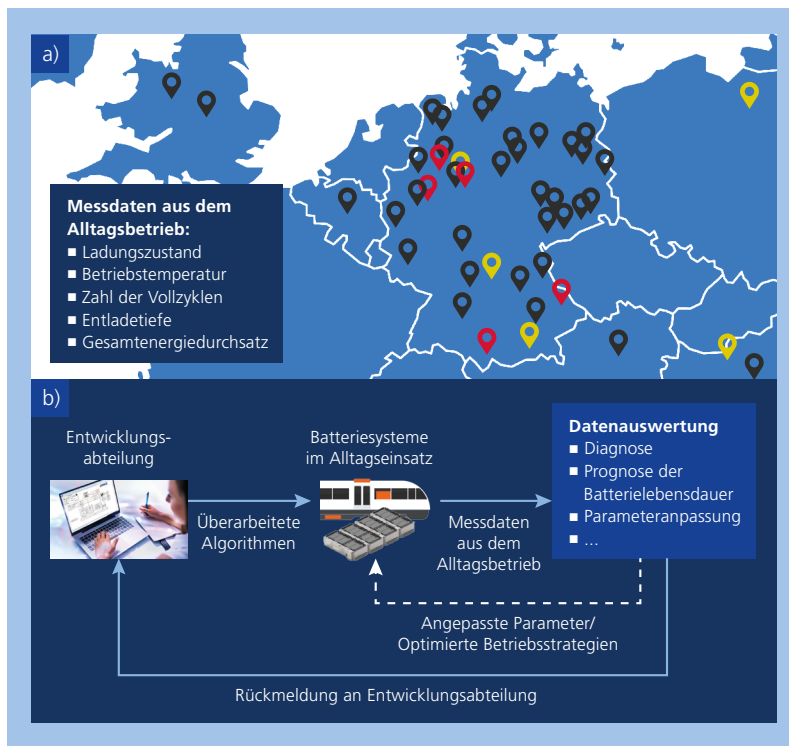


Abbildung 3: (a) Die Lokomotiven im Alltagseinsatz können via 4G ständig eine Vielzahl von Batteriebetriebsparametern in die Hoppecke Connected Cloud senden. (b) Die Entwicklungsabteilung nutzt die empfangenen Daten für die Weiterentwicklung der Steuerungsalgorithmen der Batteriesysteme. Zukünftig sollen angepasste Parameter auch direkt an die Lokomotiven zurückübermittelt werden (gestrichelter Pfeil).

sich deren Ausfallzeiten minimieren lassen. Zusätzlich können die gesammelten Daten auch in die Weiterentwicklung der Steuerungsalgorithmen der Batteriesysteme einfließen, was dann unter anderem auch die Batterielebensdauer erhöhen kann.

Zweiter dSPACE Prüfstand geordert

Dank der dSPACE Entwicklungsumgebung lassen sich alle Tests umfassend, schnell und automatisch absolvieren, und das gemäß der für Bahnanwendungen geltenden Normen und Standards. Insgesamt bietet der Prüfstand auf Basis des dSPACE SCALEXIO-Echtzeitsystems eine so gute Unterstützung bei den Tests, dass INTILION auch das INTILION-Entwicklungszentrum in Shanghai mit einem Prüfstand ausgestattet hat. Dies alles ermöglicht einen globalen Austausch von Know-how (Testblöcke,

Python-Skripte etc.) zwischen den INTILION-Niederlassungen, was die Aufwände noch einmal erheblich reduziert hat. ■

Jan Hergesell, INTILION

Jan Hergesell
Jan Hergesell, Prüflingenieur bei
INTILION, Deutschland



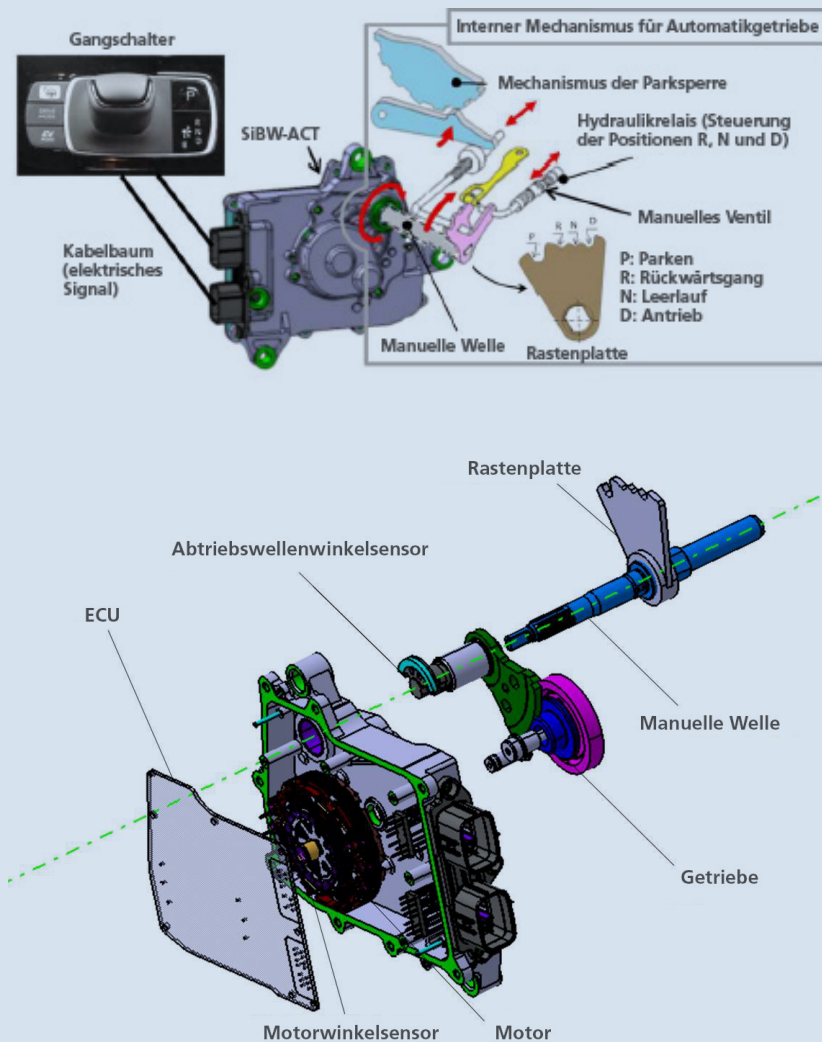


Schneller schalten

Die Aisin Corporation entwickelt ein Shift-by-Wire-System, das automatische Gangwechsel ermöglicht, um das autonome Fahren weiter voranzutreiben.



Der Gangwechsel muss sicher und so schnell wie möglich erfolgen. Wie kann man sicherstellen, dass in diesen wenigen Mikrosekunden alles zuverlässig funktioniert? Dies ist eine Aufgabe für einen Simulator, der 24 Stunden lang Hochgeschwindigkeitstests ermöglicht und bei der Entwicklung viel Zeit spart.



Bei Shift-by-Wire-Systemen wird die Evakuierungsleistung erheblich beeinträchtigt, wenn der Betrieb aufgrund einer Störung unterbrochen wird. Daher ist es unerlässlich, den Betrieb in einem sicheren Zustand im Sinne eines ausfallsicheren Konzepts durchzuführen. Gleichzeitig erfordert das Konzept der intrinsischen Sicherheit eine Verringerung der Anzahl der Teile. Als Ergebnis hat die Aisin Corporation einen äußerst zuverlässigen Shift-by-Wire-Aktor mit verbesserter Evakuierungsantriebsleistung entwickelt, indem sie ein integriertes, unabhängiges, redundantes Elektrik-/Elektroniksystem (E/E) als integrierten elektromechanischen Aktor implementiert und gleichzeitig die Anzahl der Teile reduziert hat.

Um die Kraftstoffeffizienz zu verbessern und den Einsatz umweltschädlicher Stoffe zu reduzieren, setzt die Aisin Corporation zunehmend auf Elektrifizierung. Aisin hat ein integriertes elektromechanisches Shift-by-Wire-System entwickelt, das Aktoren (in diesem Fall Elektromotoren), Untersetzungsgetriebe, Steuergeräte und Sensoren umfasst, um die Schaltvorgänge effizienter zu gestalten. Mit Shift-by-Wire können die Getriebemodi in einem Fahrzeug elektronisch geschaltet werden, ohne dass eine mechanische Verbindung zwischen dem Schalthebel und dem Getriebe besteht. Das spart Gewicht und Platz und macht den Gangwechsel deutlich schneller. Mit der fortschreitenden Automatisierung der Fahrzeugtechnik ist die By-Wire-Technologie unverzichtbar geworden. Das ideale Shift-by-Wire-System von Aisin wurde entwickelt, um schnelles und präzises Schalten als Funktionswert und elektromechanische Integration als Sicherheitswert zu erreichen.

„Wir wollten die neue Technologie so früh wie möglich in der Entwicklung testen, damit wir weniger Zeit in nachgelagerte Schritte investieren müssen“, erklärt Atsuto Ogino, General Manager Chassis and Vehicle Safety System bei Aisin. „Eine unserer größten Herausforderungen war es, Fehler im Mikrosekundentakt in das Shift-by-Wire-System einzuspeisen, um sicherheitskritische Teile der Aktor- oder Elektromotorsteuerung umfassend zu testen.“

„dSPACE verfügt über eine sehr umfangreiche Palette von Werkzeugen zur Unterstützung von HIL-Simulationen. Mit diesen Werkzeugen und der realen Entwicklung von HIL-Modellen konnten wir die Entwicklungszeiten um 60 % und die Anzahl der für die Entwicklung aufgewendeten Personenstunden um 30 % reduzieren. Die dSPACE HIL-Simulatoren haben uns vor allem bei den großen Herausforderungen im Bereich der Fehlerdiagnose sehr geholfen.“

Ein Unterfangen, das uns aufgrund der Komplexität und der erforderlichen Präzision einige schlaflose Nächte bereitet hat.“

Software First für präzisere und schnellere Entwicklung

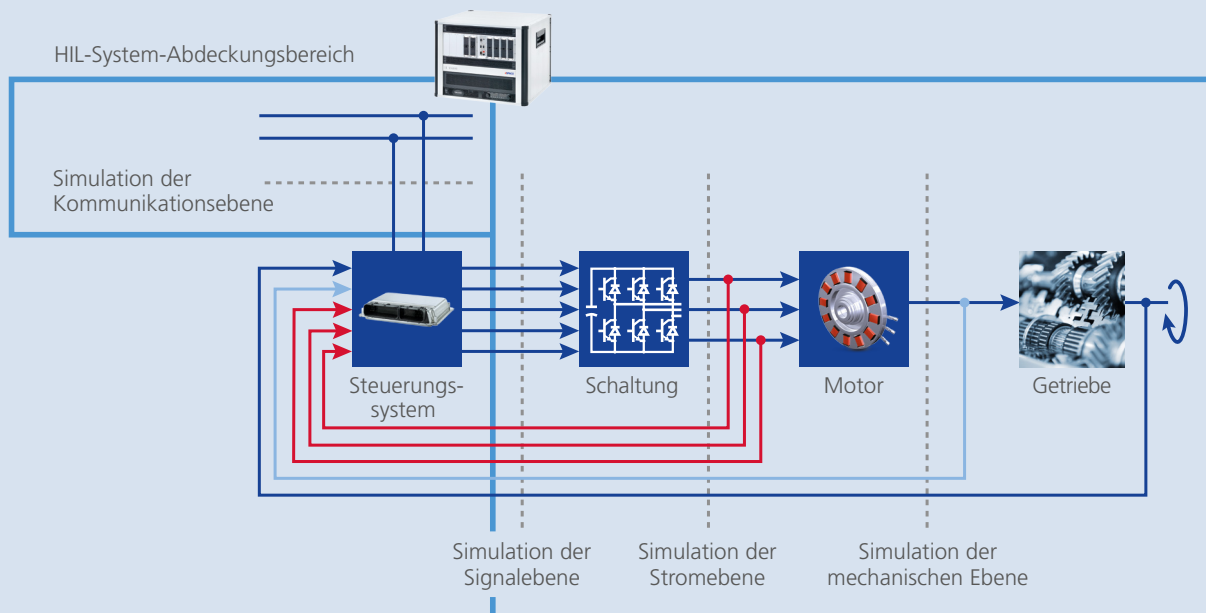
Software wird nicht nur in Fahrzeugen, sondern auch im Bereich der Entwicklung von Regelsystemen immer wichtiger. Es gibt einen „Software First“-Ansatz, der Software von Hardware trennt und der Software-Entwicklung Vorrang einräumt. Entwicklungen, die aus der wiederholten Evaluierung und Verfeinerung traditioneller Modelle resultieren und die oft zu Problemen führten, wenn Prozesse nicht nach Plan verliefen, gehören damit zunehmend der Vergangenheit an. Stattdessen liegt der Schwerpunkt derzeit darauf, sicherzustellen, dass die durch Simulationen in virtuellen Umgebungen gewonnenen Informationen rechtzeitig in die Entwicklung einfließen. Auf Grundlage dieser Erfahrungen können die realen Produkte dann viel präziser und schneller umgesetzt werden. Die Prozesse können im Voraus durch

Simulation ausgearbeitet werden, so dass die Spezifikationen nicht unbedingt die Fehlersuche abschließen müssen. Design-Reviews auf der Grundlage von Simulationsergebnissen können auch dazu verwendet werden, unklare Spezifikationen zu beseitigen. Die Grundlage für diese Arbeit ist die kontinuierliche Verbesserung von Testumgebungen und -werkzeugen. Diese Verbesserungen machen es möglich, Modelle zur Bewertung von Software in virtuellen Umgebungen statt in realen Fahrzeugen und Maschinen einzusetzen.

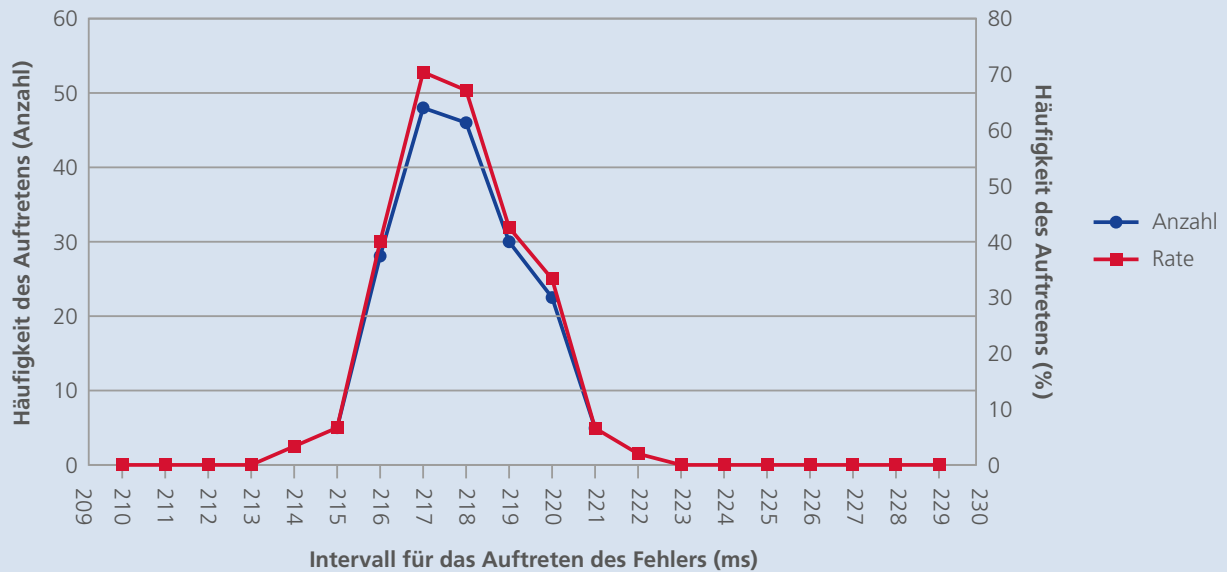
Bei Shift-by-Wire-Systemen wird die Evakuierungsleistung erheblich beeinträchtigt, wenn der Betrieb aufgrund einer Störung unterbrochen wird. Daher ist es unerlässlich, den Betrieb in einem sicheren Zustand im Sinne eines ausfallsicheren Konzepts durchzuführen. Gleichzeitig erfordert das Konzept der intrinsischen Sicherheit eine Verringerung der Anzahl der Teile. Als Ergebnis hat die Aisin Corporation einen äußerst zuverlässigen Shift-by-Wire-Aktor mit verbesserter Evakuierungsantriebsleistung entwickelt, in- >>



Simulator für die Steuergeräteabsicherung.



Bei Aisin spielt die HIL-Entwicklung eine wichtige Rolle. Für das neue Shift-by-Wire-System wurde das Zusammenspiel von Steuerung, Sensor, Motor und Getriebe auf Herz und Nieren geprüft.



Die Fehler mussten exakt an vordefinierten Punkten im μ s- bis ns-Bereich eingespeist werden. Eine Herausforderung, die der HIL-Simulator mit Bravour meisterte.

dem sie ein integriertes, unabhängiges, redundantes Elektrik-/Elektroniksystem (E/E) als integrierten elektromechanischen Aktor implementiert und gleichzeitig die Anzahl der Teile reduziert hat.

Umfassendes und reproduzierbares Troubleshooting dank HIL-Simulationen

Die Aisin Corporation war der Meinung, dass die HIL-Simulation für die Verifizierung des Shift-by-Wire-Systems geeignet ist, da es sich um ein integriertes elektromechanisches Produkt handelt. Die HIL-Simulation erleichtert die Verifizierung des Produkts während des Entwicklungsprozesses, ohne dass

ein integrierter elektromechanischer Prototyp vorhanden ist.

Mit Hilfe von Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulationen können unter anderem Fehler eingespeist werden, die in realen Fahrzeugen nur schwer zu reproduzieren sind. Darüber hinaus gewährleistet die Verwaltung von Testmustern in einer Datenbank die Wiederverwendbarkeit, was bedeutet, dass die Muster anschließend für Prüfstands- und reale Fahrzeugevaluierungen verwendet werden können.

„Bei Aisin spielt die HIL-Entwicklung eine wichtige Rolle“, erklärt Herr Ogino. „Die HIL-Entwicklung kombiniert Steuerungen, Schaltungen, Motoren und

Getriebe. Das ermöglicht uns flexible Reaktionen bei Simulationen auf Kommunikationsebene, Signalebene, elektrischer Ebene und mechanischer Ebene. In einem sehr frühen Entwicklungsstadium wurde mit Hilfe eines Software-Werkzeugs für elektromechanisches Design ein detailliertes E-Motor-Modell auf der Ebene des mechanischen Designs erstellt: JMAG Designer. Neben den Materialeigenschaften wurden in diesem Modell auch die genauen geometrischen Eigenschaften des Stators, des Rotors und der Permanentmagnete definiert. Anhand definierter Netzpunkte wurde über mehrere Tage eine Finite-Elemente-Simulation (FEM) durchgeführt, deren Ergebnisse in Form einer Round-Trip-Time (RTT)-Datei gespeichert wurden. Mit diesen Ergebnissen waren wir in der Lage, den Reglerentwurf mittels Model-in-the-Loop (MIL)- oder HIL-Simulation abzuschließen, noch bevor der reale E-Motor gefertigt wurde.“

Herr Ogino fügt hinzu: „In Zeiten von Covid-19 war es für die Testingenieure schwierig, für alle Tests vor Ort zu sein. Bei Aisin wurde das dSPACE HIL-System deshalb so angebunden, dass es auch vom Homeoffice aus verfügbar ist. Zu diesem Zweck luden die Testingenieure Testdaten in eine Cloud. Anschließend rief ein PC im Unterneh-



Fit für die Zukunft: Mit diesem Steuergerät trägt Aisin der zunehmenden Elektrifizierung von Fahrzeugen und den Herausforderungen des autonomen Fahrens Rechnung.

men diese Daten ab, führte einen Test in Verbindung mit den dSPACE Lösungen durch und schickte einen Testbericht zurück in die Cloud. Das hat reibungslos funktioniert.“

Dateneinspeisung und -evaluierung in Mikrosekundenintervallen

Ein dSPACE HIL-System eröffnete den Ingenieuren neue Möglichkeiten, um das Problem der Injektion und Evaluierung von Fehlern unterschiedlicher Geschwindigkeit, Größe und Ausmaß in Bezug auf sicherheitskritische Teile des Motorsteuerungssystems zu lösen. Herr Ogino führt weiter aus: „Da wir ein SCALEXIO-Echtzeitsystem mit einem sehr schnellen FPGA (Field-Programmable Gate Array)-Board verwendet haben, konnten wir mit der flexiblen dSPACE XSG Electric Components Library und der JMAG Addon-Lib ein hochgenaues (FEM-basiertes), schnelles Elektromotormodell mit geringer Latenz simulieren. Wir konnten auch unsere 24/7-Sweep-Tests mit diesem System evaluieren“.

„Normalerweise werden Fehler in regelmäßigen Abständen injiziert, aber es gab Fälle, in denen Fehler nur innerhalb einer bestimmten 10-ms-Testlücke zwischen 213 ms und 223 ms auftraten. Das war die größte Herausforderung, der wir uns stellen mussten“, sagt Herr Ogino. „Um sie zu kontrollieren, haben wir ausgewählte Fehler an genau vordefinierten Stellen im μ s-bis ns-Bereich injiziert. Mit diesen Fehlern haben wir das Regelsystem gründ-

lich getestet und evaluiert. Dies funktionierte dank des dSPACE HIL-Systems ohne Probleme. Auch für Testevaluierungen mussten wir kaum Zeit aufwenden, da der Rest der Aufgaben nach Review und Anpassung automatisch erledigt wurde.“

Die Evaluierungen wurden nachts automatisch durchgeführt und die fertigen Berichte sofort an die Beteiligten weitergeleitet. Es war auch möglich, für HIL-Simulationen erstellte Testmuster zu konvertieren und für MIL-Simulationen zu verwenden und umgekehrt. Beide Testmethoden (MIL und HIL) werden bei Aisin erfolgreich für reale Fahrzeuge und Maschinen eingesetzt.

Ziel erreicht

Auf Grundlage der durch die HIL-Simulationen gewonnenen Daten entwickelte Aisin ein Shift-by-Wire-Getriebe, das ein Schaltverhalten mit hoher Positionsgenauigkeit und Ansprechempfindlichkeit bietet. Darüber hinaus ist das neue System dank seiner Schrägverzahnung mit hoher Verzögerung und hohem Wirkungsgrad bei geringer Zähnezahl einfach zu installieren. Shift-by-Wire wird in Zukunft in einer Vielzahl von Fahrzeugen eingesetzt werden. Sie ist eine wesentliche Säule für die zunehmende Elektrifizierung und das fortschreitende autonome Fahren. ■

Mit freundlicher Genehmigung von AISIN.



Der Elektromotor, für den das neue Shift-by-Wire-System entwickelt wurde.

Über AISIN

AISIN CORPORATION ist ein japanischer Automobilzulieferer, der sich auf die Entwicklung und Produktion von Komponenten für die Automobilindustrie spezialisiert hat. Mit dem Ziel, die Zahl der Verkehrstoten auf Null zu reduzieren, bietet das Unternehmen Systemprodukte an, die eine fortschrittliche Steuerung des „Fahrens, Abbiegens und Anhaltens“ ermöglicht, sowie Produkte, die den Fahrspaß und den Komfort verbessern. Die Chassis and Vehicle Safety System Company, deren Geschäftsführer **Atsuto Ogino** ist, konzentriert sich auf die Entwicklung von peripheren Überwachungssystemen, automatischen Parksyste men und Fahrerüberwachungssystemen. Sein Hauptaugenmerk liegt auf der Simulation von Fahrzeugbewegungen und der Entwicklung von Systemen und Steuerungen.

SMVIC arbeitet mit zeit-synchronen Integrations-tests, um verschiedene Fahrzeugkomponenten zu validieren

Von Sensorik und Aktorik

In Sachen Simulation und Validierung ist das Shanghai Motor Vehicle Inspection Certification & Tech Innovation Center für die Zukunft gut aufgestellt. Vor Kurzem wurde das SMVIC mit der Aufgabe betraut, sicherheitsrelevante Komponenten des Fahrzeugs Big Ant des chinesischen Herstellers Chery umfassend zu testen. Cherys Ziel war es, die komplette Validierung vom Sensor bis zum Aktor in verschiedenen Testszenarien abzubilden.

SMVIC

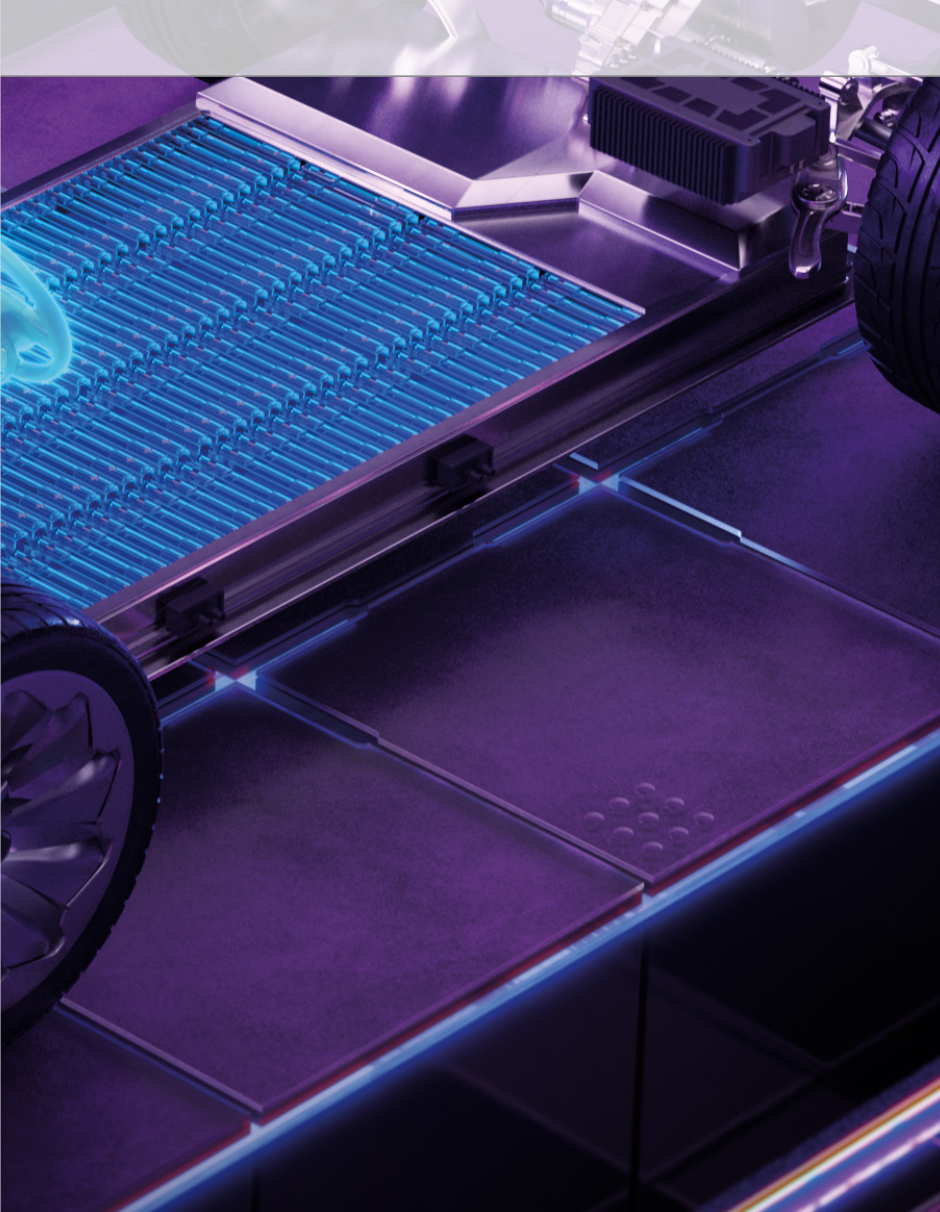
Das SMVIC ist eine chinesische Regierungsorganisation, deren oberstes Ziel die Verbesserung der Sicherheit auf chinesischen Straßen ist. Der Schwerpunkt der Tests lag daher zum einen auf den Funktionen der Fahrerassistenzsysteme (ADAS) und zum anderen auf der allgemeinen

Fahrzeugsicherheit. Dazu gehören Hardware-in-the-Loop (HIL)-Tests von Steuergeräten, Sensortests mit Sensorrohdaten und Over-the-Air-Stimulation sowie mechanische Tests von Lenk- und Bremssystemen. Alle diese Tests fanden im Rahmen eines Integrations-tests statt: Eine HIL-Simulationsum-

gebung, die die gesamte Außenwelt simuliert, sendet Daten synchron an alle einzelnen Komponenten.

Fern-Inbetriebnahme

Während der Inbetriebnahme sahen sich die Projektmanager mit den von Corona auferlegten Reisebeschrän-



kungen konfrontiert. Die Lösung: Ein Großteil der Übergabe von dSPACE an das SMVIC-Team fand virtuell statt. Beide Seiten nutzten Videokonferenzen, um wichtige Punkte zu klären. Darüber hinaus war ein Ingenieur von dSPACE China vor Ort, um die letzten Schritte der Übergabe durchzuführen. dSPACE Projektmanager Henning Elbers kommentiert diese Art der Zusammenarbeit: „Auch die Koordination funktionierte auf diese Weise hervorragend. dSPACE hatte bereits während der Vorinbetriebnahme Webcams eingesetzt, um SMVIC alle Details zu erklären. Ein Kollege von dSPACE China führte den Aufbau vor Ort durch. Um Probleme frühzeitig zu erkennen und zu lösen, kam das Projektteam wöchentlich zusammen. Meiner Meinung nach war das bei diesem Projekt sehr nützlich.“ Auch Xianchao Zhang, ADS

Simulation Advanced Engineer bei SMVIC, war von dieser Art der Zusammenarbeit überzeugt: „Es spart Zeit und Aufwand und hat während der Pandemiezeit gut funktioniert.“

Lösungen gefunden

Ziel war es, einen Integrationstest durchzuführen, bei dem alle Steuergeräte eines Fahrzeugs gemeinsam einer Sicherheitsüberprüfung unterzogen werden. Dazu wurden sie mit einem virtuellen Fahrzeug auf Basis von dSPACE Automotive Simulation Models (ASM) verbunden, das zusammen mit der Fahrzeugumgebung in Echtzeit auf einem HIL-Simulator simuliert wird. Um neben den Steuergeräten auch Komponenten wie Aktoren und Sensoren in den Test einzubeziehen, wurde der Simulator durch entsprechende Erweiterungen ergänzt.

So mussten eine physikalisch exakte Umgebungssimulation mit dSPACE AURELION für die Lidar- und Kamerasensoren durchgeführt und die simulierten Sensorrohdaten eingespeist werden. Außerdem wurde ein Radarsensor mit der Over-the-Air (OTA)-Methode getestet. Darüber hinaus gab es auch Tests, die sich auf mechanische Komponenten konzentrierten. Zum Beispiel wurde das Lenksystem von Big Ant auf einem Prüfstand getestet und die Bremsen durchliefen zahlreichen Tests auf einem Bremsprüfstand.

Radartests auf physikalischer Ebene

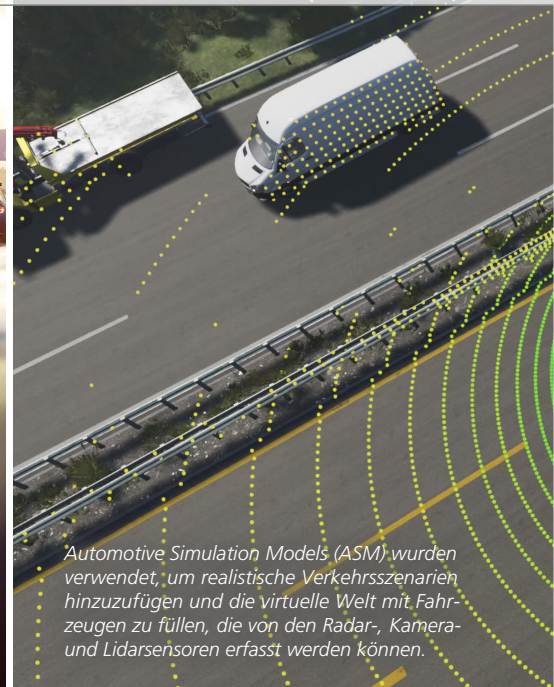
Für die Tests des Radarsensors wurde ein Radar Test Bench - Compact 3D verwendet, um eine Over-the-Air-Simulation von Radarzielen während virtueller Fahrscenarien zu realisieren. Der unveränderte Radarsensor wurde auf dem Prüfstand installiert und mit erzeugten Radarechos stimuliert. Dies wurde durch vier im Prüfstand installierte dSPACE Automotive Radar Test Systems (DARTS) erreicht. Mit diesem Prüfstand ist es möglich, Radarziele mit programmierbarer Entfernung, Geschwindigkeit, Größe und Winkel zu simulieren. Die OTA-Methode ermöglicht Black-Box-Tests des Radarsensors unter Berücksichtigung der gesamten Wirkungskette. Der Ausgang des Radarsensors wird vom ADAS weiterverarbeitet und zur Ansteuerung der Lenk- oder Bremssysteme verwendet – Closed-Loop und in Echtzeit durch dSPACE ASM. Xianchao Zhang über die Vorteile: „Mit DARTS und dSPACE Radar Test Bench konnten wir Radarsensoren in komplexen Verkehrsszenarien mit kritischen Fahrsituationen auf sicherheitsrelevante Kriterien testen. Damit konnten wir die vom Gesetzgeber geforderten Aufgaben effizient und leicht verifizierbar erfüllen.“

Lidar- und Kamerasimulation

Die Kamerasensoren wurden durch eine so genannte Rohdatensimulation getestet und der Lidarsensor wird auf Punktwolkenebene simuliert. Mit dem physikbasierten Rendering und der erweiterten 3D-Punktwolke als zwei Kernelemente von dSPACE AURELION ist die sensorrealistische Simula- >>



AURELION von dSPACE lieferte eine physikalisch exakte Umgebungssimulation für die Tests.



Automotive Simulation Models (ASM) wurden verwendet, um realistische Verkehrsszenarien hinzuzufügen und die virtuelle Welt mit Fahrzeugen zu füllen, die von den Radar-, Kamera- und Lidarsensoren erfasst werden können.

tion der effizienteste Weg, die dafür notwendigen Sensorrohdaten zu erzeugen. Die Grundvoraussetzung für eine sensorrealistische Simulation ist, dass Sensormodelle reale Sensoren nachahmen, indem sie die gleichen Arten von Daten erzeugen. Diese Daten werden in elektrische Signale umgewandelt, um die Kamera- und Lidarsensoren zu simulieren. Als Teil des HiL-Systems übernahmen drei leistungsstarke Sensor Simulation PCs, die mit dSPACE Environment Sensor Interface (ESI) Units verbunden waren, die Aufgabe der Lidar- und Kamerasensoren –

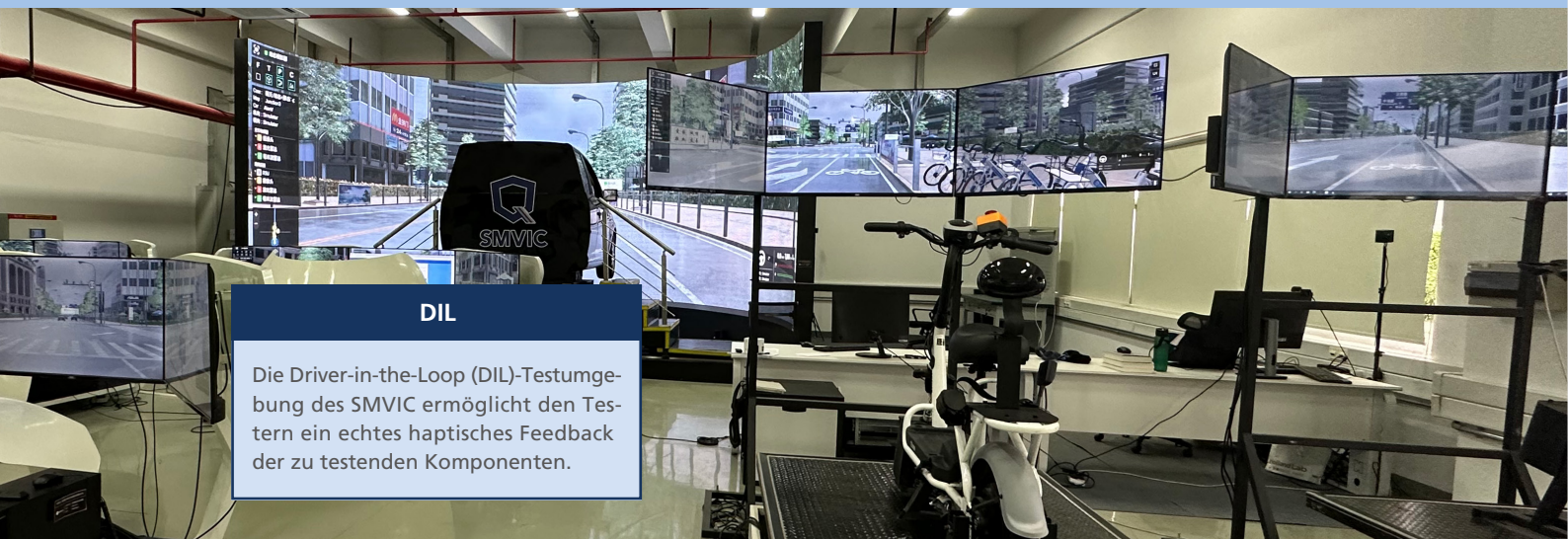
synchronisiert. Xianchao Zhang kommentiert: „Die realitätsnahe Sensor-simulation von dSPACE ist eine wesentliche Verbesserung bei der Validierung von Lidar- und Kamerasensoren. Die Flexibilität und Qualität der Simulation erfüllt unsere Anforderungen.“

Lenkung und Bremsen auf Herz und Nieren geprüft

Mit dem Lenkungsprüfstand verfügt das SMVIC über eine mechatronische Testumgebung, mit der es möglich ist, das Lenkverhalten eines Fahrzeugs unter Laborbedingungen mittels HiL-

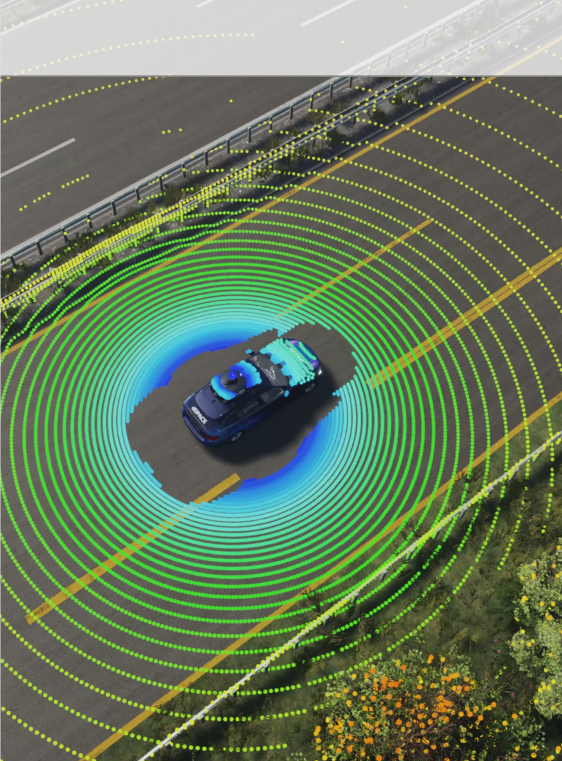
Simulation realitätsnah zu testen. Das Lenksystem ist in einen vollständig geschlossenen Regelkreis integriert, bei dem die Auslenkung des Lenkgetriebes in das Simulationsmodell zurückgeführt wird, um sich direkt auf die Fahrzeugdynamik auszuwirken. Auf diese Weise können die Anforderungen an die Sicherheit der Lenkung des Big-Ant-Fahrzeugs im Rahmen von ADAS-Funktionen wie Spurhaltung oder automatisiertes Einparken objektiv evaluiert werden. Für den Test der Bremsen ist ein zweiter Prüfstand vorgesehen, auf dem elektrohydraulische

Das SMVIC bietet Lösungen für verschiedene Tests



DIL

Die Driver-in-the-Loop (DIL)-Testumgebung des SMVIC ermöglicht den Testern ein echtes haptisches Feedback der zu testenden Komponenten.



„Dank des komponentenübergreifenden dSPACE HIL-Systems konnten wir die mechanischen Komponenten wie Lenkung und Bremsen in direkter Interaktion mit den Sensoren testen, um zu prüfen, ob alles korrekt zusammenarbeitet. Der unschlagbare Vorteil der dSPACE Lösungen war die absolute Zeitsynchronisation und der vollständig geschlossene Regelkreis.“



Xianchao Zhang,
ADS Simulation Advanced Engineer bei SMVIC

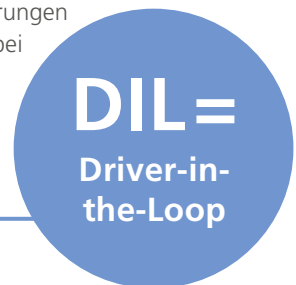
Bremssysteme unter realistischen Betriebsbedingungen getestet werden können. Dazu wird das Fahrdynamikmodell von dSPACE ASM integriert und ermöglicht eine realistische Berücksichtigung der wirksamen Bremskräfte auf die Bremsen über einen Linearaktor. Auf diese Weise kann das Bremsverhalten bei automatischer Notbremsung, adaptivem Tempomat und anderen Assistenzfunktionen realistisch evaluiert werden. Xianchao Zhang erklärt: „Dank des komponentenübergreifenden dSPACE HIL-Systems konnten wir die mechanischen Komponenten

wie Lenkung und Bremsen in direkter Interaktion mit den Sensoren testen, um zu prüfen, ob alles korrekt zusammenarbeitet. Der unschlagbare Vorteil der dSPACE Lösungen war die absolute Zeitsynchronisation und der vollständig geschlossene Regelkreis.“

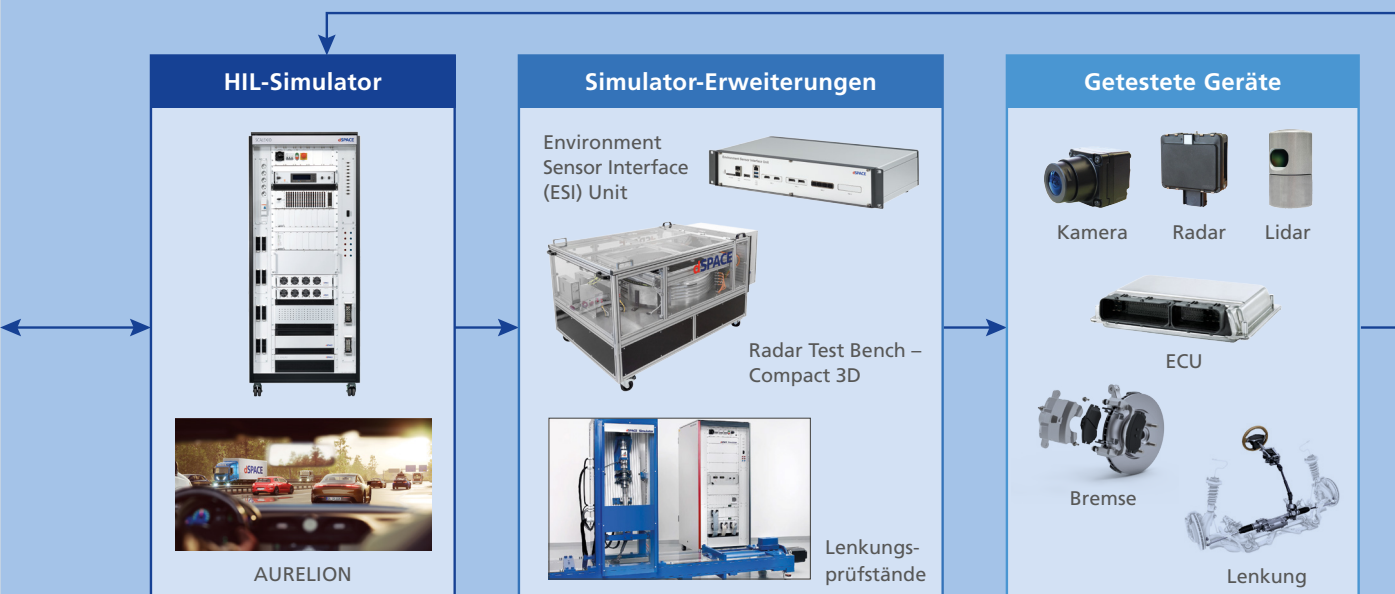
Erweiterbar für die Zukunft

Neben dem Test der oben genannten Systeme bietet das SMVIC auch eine **Driver-in-the-Loop (DIL)** Umgebung, so dass die Tester zusätzlich zu diesen Testscenarien auch haptisches Feedback direkt erleben. Damit können in

Zukunft verschiedenste Tests durchgeführt werden, um den unterschiedlichsten Kundenanforderungen gerecht zu werden. Dabei spielen dSPACE Werkzeuge die Schlüsselrolle bei der Simulation und Validierung. ■



Mit freundlicher Genehmigung des Shanghai Motor Vehicle Inspection Certification & Tech Innovation Center (SMVIC)



SiC-Antriebswechselrichter sorgen in Kombination mit dSPACE Echtzeitsystem für Geräuschreduktion bei elektrischen Antrieben

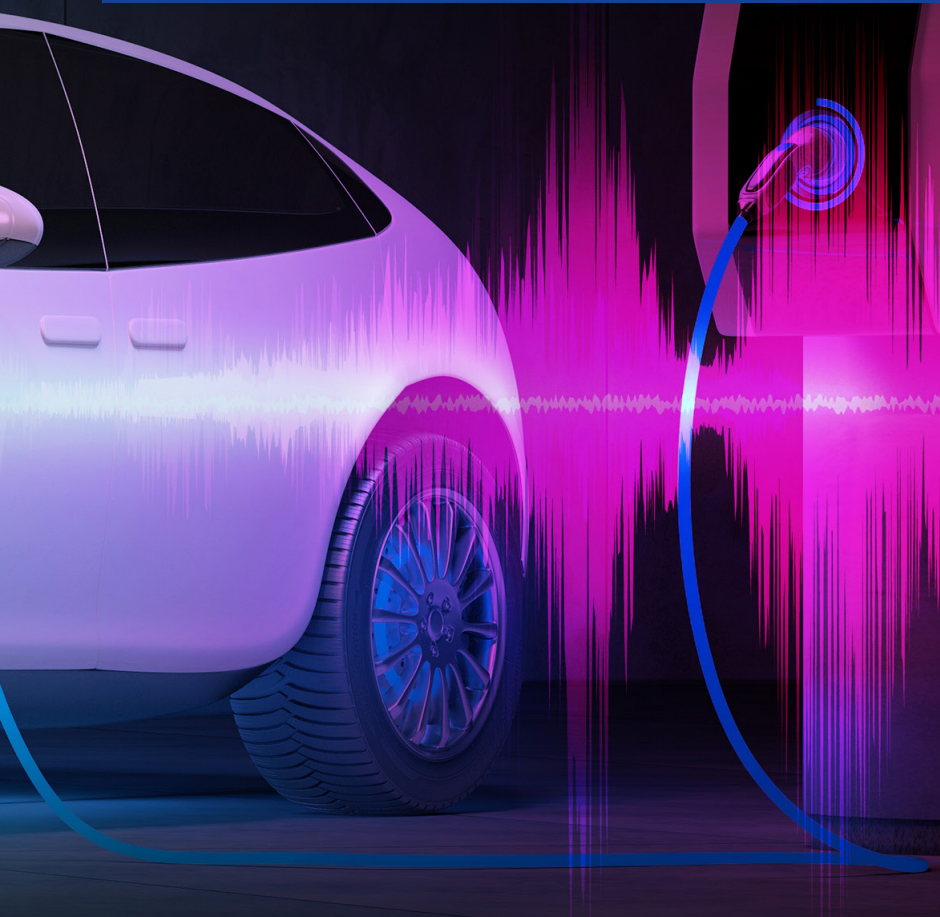


Geräuschreduzierende Software

Elektrofahrzeuge sind erstaunlich leise. Soll der akustische Charakter ihrer Antriebe gezielt verändert werden, kommt Noise-Shaping durch Reglereingriffe zum Einsatz. Ein Prüfstand am Fraunhofer IWU (Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik) in Dresden bietet Entwicklern ein leistungsfähiges Werkzeug für das passende Sounddesign mit den realen elektrischen Komponenten.

„Um die hochdynamischen Regler elektrischer Antriebe durch hochgenaue Injektion von Stromharmonischen gezielt für das Sounddesign zu optimieren, verfügt die MicroLabBox über genau die richtige Rechenleistung und Flexibilität.“

Dr. Thomas Windisch, Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU



komplette E-Achse in ihrem Gehäuse realitätsnah testen zu können und dabei Software-Parameter weiter zu optimieren, kann ein Rapid-Control-Prototyping-System wie die dSPACE MicroLabBox mit einer universellen leistungselektronischen Endstufe gekoppelt werden. Hierfür hat die Firma M&P Motion Control and Power Electronics GmbH (M&P) einen neu entwickelten Experimentierstromrichter mit Silizium-Carbid (SiC)-Bauelementen entwickelt, der eine spezielle Schnittstelle zur MicroLabBox aufweist. Diesen nutzt das Fraunhofer IWU, um aktive Verfahren zur Geräuschreduktion zu entwickeln und an Prototyp-Fahr-Antrieben zu testen. Dabei wird über die feldorientierte Stromregelung (FOR) >>

Die Elektromobilität als Megatrend der Automobilindustrie bringt nahezu alle Fahrzeughersteller und Lieferanten dazu, neue E-Antriebe zu entwickeln und zu testen. Als vorrangige Entwicklungsziele gelten hohe Effizienz im Fahrzyklus und hohe Drehmoment- bzw. Leistungsdichte bei niedrigen Gesamtsystemkosten. Außerdem gilt es besonders strenge Grenzwerte in Bezug auf die Geräuschemissionen (Noise Vibration Harshness, NVH) einzuhalten. Für batterieelektrische Fahrzeuge werden überwiegend E-Achsen für Vorder- und/oder Hinterachse entwickelt, die Steuergeräte, Inverter, E-Maschine und Getriebe mit Differenzial vereinen. Für

Hybridfahrzeuge wird der E-Antrieb meist im Getriebegehäuse integriert.

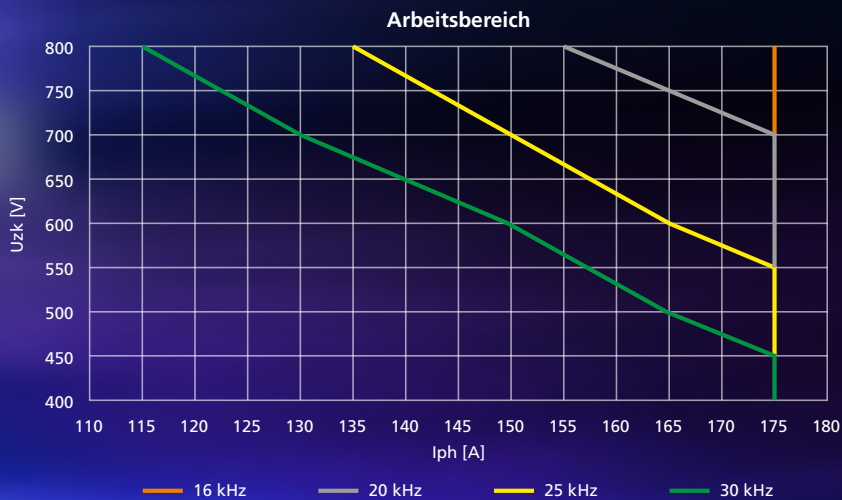
Virtuelle Auslegung des Antriebs

Für den Fahrzeugantrieb kommen verschiedene Maschinentypen in Betracht: permanentmagneterregte Synchronmaschinen (PMSM), fremderregte Synchronmaschinen, Synchron-Reluktanzmaschinen und Asynchronmaschinen. Durch analytische Berechnungen und numerische Simulationen lassen sich für alle Varianten virtuell am Computer auslegen und vergleichen. Für eine schnelle Markteinführung des E-Antriebs ist es aber unabdingbar, Prototypen möglichst früh auf den Prüfstand zu bringen. Um die E-Maschine oder



Links: Fertig aufgebauter Experimentierstromrichter SiC von außen.

Rechts: Fertig aufgebauter Experimentierstromrichter SiC von innen inkl. MicroLabBox.



Zulässiger Arbeitsbereich des SiC-Experimentierstromrichters je Modul.

„Die MicroLabBox verfügt über alle Schnittstellen zur Steuerung unserer Stromrichter für die Emulation hoher Ströme und Spannungen. Im Betrieb erweist sie sich als äußerst zuverlässig.“

Ludwig Schlegel,
M&P Motion Control and Power Electronics GmbH

eingegriffen, um störende tonale Geräuschanteile des Antriebs gezielt auszulöschen.

Sicherer Betrieb von elektrischen Komponenten mit realen Strömen und Spannungen

Der Experimentierstromrichter besteht aus zwei Modulen und erlaubt es aufgrund der vielfältigen Schnittstellen der MicroLabBox mit einem Echtzeitsystem, zwei Maschinen mit max. 175 A oder im Parallelbetrieb eine Maschine

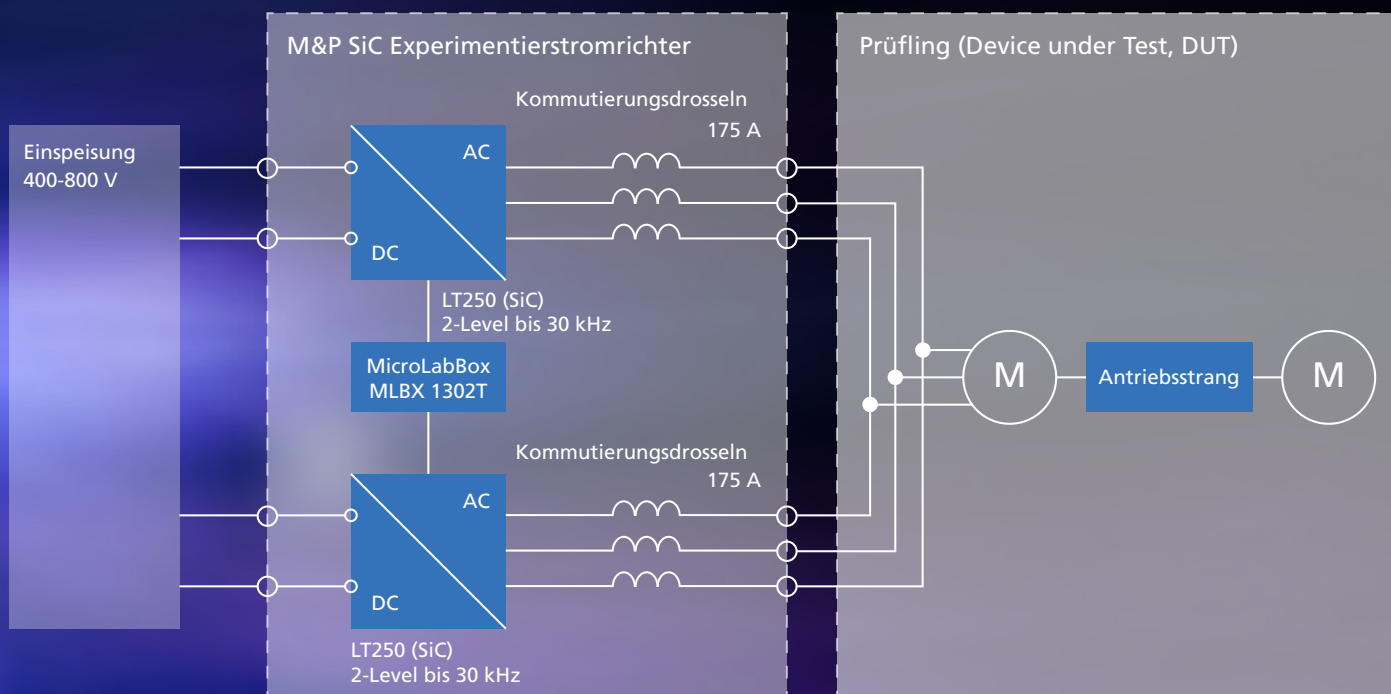
mit max. 350 A Phasenstrom zu betreiben. Die maximale Schaltfrequenz beträgt dank SiC-Technologie 30 kHz. Dabei können Regelung, Modulation, thermische Modelle etc. in Simulink entwickelt und untersucht werden. Danach können sie direkt auf der MicroLabBox mit dem SiC-Experimentierstromrichter am realen Antriebssystem getestet werden. Diese Toolkette erlaubt einen nahtlosen Übergang zwischen Simulation und Test der aktiv geräuschreduzierenden Software-Kom-

ponenten. Der Experimentierstromrichter lässt sich durch zusätzliche Hardware wie zusätzliche Drosseln oder einen Netzfilter erweitern und so neben Antrieben auch für diese Anwendungen einsetzen:

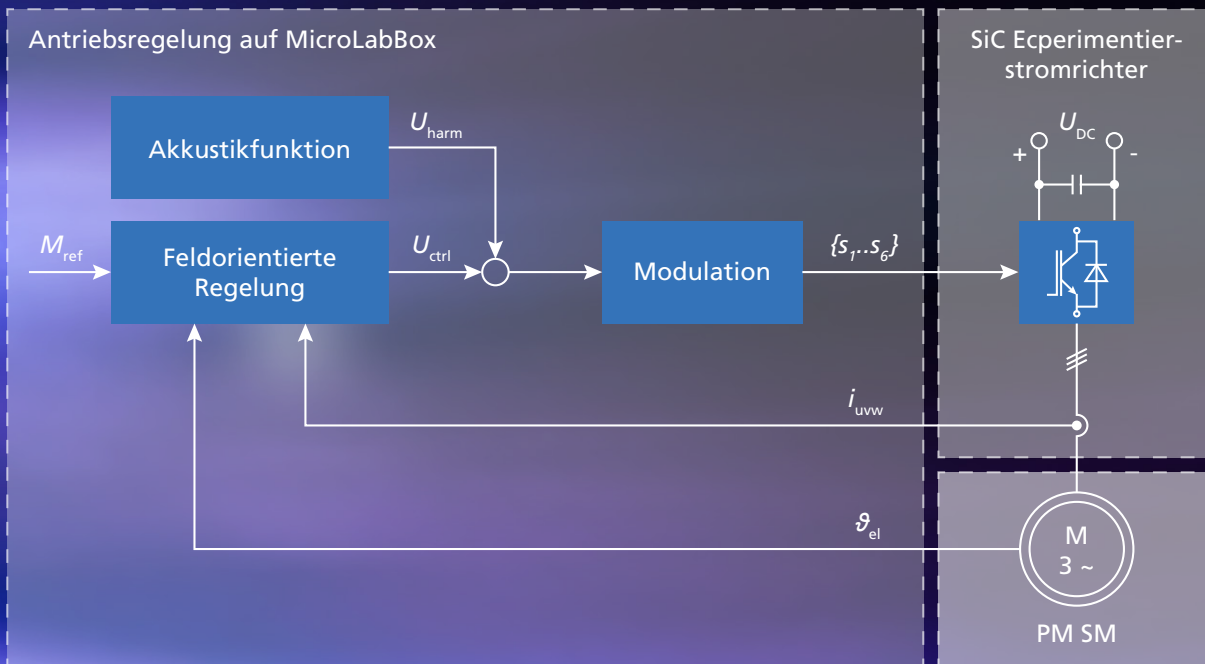
- Netznachbildung
- Einspeisung (AC/DC am Netz)
- Batterienachbildung (DC/DC)

Elektrischer Fahrentrieb erfolgreich in Betrieb genommen

Der erste Einsatz des Systems war die



Aufbau des SiC-Experimentierstromrichters mit Einspeisung und Prüfling. Der Prüfling besteht aus Antriebsmaschine, Getriebe und Lastmaschine.



Akustikfunktion innerhalb feldorientierter Antriebsregelung auf der dSPACE MicroLabBox.

Inbetriebnahme einer feldorientierten Stromregelung (FOR) für einen Fahrtrieb mit PMSM, inklusive Raumzeigermodulation und aktiver Geräuschreduktion auf dem akustischen Antriebs- und Getriebeprüfstand (AGPS) des Fraunhofer IWU. Dabei wurde nachgewiesen, dass der Beschleunigungspegel der hauptsächlichlichen Motorordnung auf dem Gehäuse in radialer Richtung mittels aktiver Geräuschreduktion um ca. 30 dB gesenkt werden kann, wodurch der Summenpegel um ca. 5 dB absinkt. Vor allem hochfrequente tonale Geräuschanteile des E-Antriebs, die für die Insassen des Fahrzeugs und für Passanten sehr unangenehm sind, können so mit Hilfe von Software sehr kostengünstig reduziert werden.

Wie schlägt sich die MicroLabBox im Prüfstandeinatz?

Die MicroLabBox ist durch ihre kompakte Bauform einfach in den Prüfstand zu integrieren. Sie verfügt auch über wertvolle elektronische Features, die den Einsatz perfekt unterstützen. Dazu gehören:

- Relevante Schnittstellen für die Kommunikation mit unterschied-

- lichen Prüfstand-Komponenten
- Schnelle Updates der Regler-Software, um die Wirksamkeit der Algorithmen schnell zu verifizieren
- Hochgenaue Generierung von Puls-mustern
- Hochgenaue Auswertung von Sensormustern

Die Kombination aus leistungsfähigem Prozessor, schnellem FPGA und direkt angebotenen I/Os liefert die nötige Performance für die hochgenaue Injektion von Stromharmonischen (ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz

bzw. des Wechselstroms) bei Abtastzeiten von bis zu 33 µs.

Ein Service für die Automobil-industrie

Dank des Prüfstands kann das IWU detaillierte NVH-Untersuchungen (Noise Vibration Harshness) von Antriebssystemen anbieten. Im Auftrag von Kunden werden Regelalgorithmen entwickelt und der Einfluss des akustischen Systemverhaltens verifiziert. ■

Ludwig Schlegel, Dr. Thomas Windisch

Ludwig Schlegel

Ludwig Schlegel ist Leiter Hardware-Entwicklung für Leistungselektronik bei M&P in Dresden.



Dr. Thomas Windisch

Dr. Thomas Windisch ist Gruppenleiter Antriebsstrangakustik am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik in Dresden.





Wie sieht die Zukunft der Hauptuntersuchungen von autonomen und automatisierten Fahrzeugen aus? Dieser Frage ist die in Deutschland ansässige Kfz-Überwachungsorganisation KÜS (Kraftfahrzeug-Überwachungsorganisation freiberuflicher Kfz-Sachverständiger) nachgegangen und lotet mit ihrer innovativen Prüflinie KÜS DRIVE die Grenzen des Machbaren aus. Tatkräftige Unterstützung erhält sie dabei von dSPACE.

Welcher Autobesitzer kennt sie nicht, die alle zwei Jahre anstehende Hauptuntersuchung (HU) seines Fahrzeugs? Da untersucht ein Prüfenieur gemäß

StVZO (Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung) sicherheitsrelevante meist mechatronische Fahrzeugkomponenten wie Licht, Bremsen, Antriebsstrang unter dem Fahrzeug, Reifen

usw. in Hinsicht auf Ausführung, Zustand, Funktion und Wirkung. Diese Untersuchungen werden von einem HU-Adapter, der mit dem Fahrzeug über die OBD (On-Board-



Bildnachweis: © KÜS

Fahrer- assistenz- systeme

regelmäßig auf den Prüfstand

Regelmäßige Prüfungen als Schlüssel
für dauerhafte Fahrzeugsicherheit

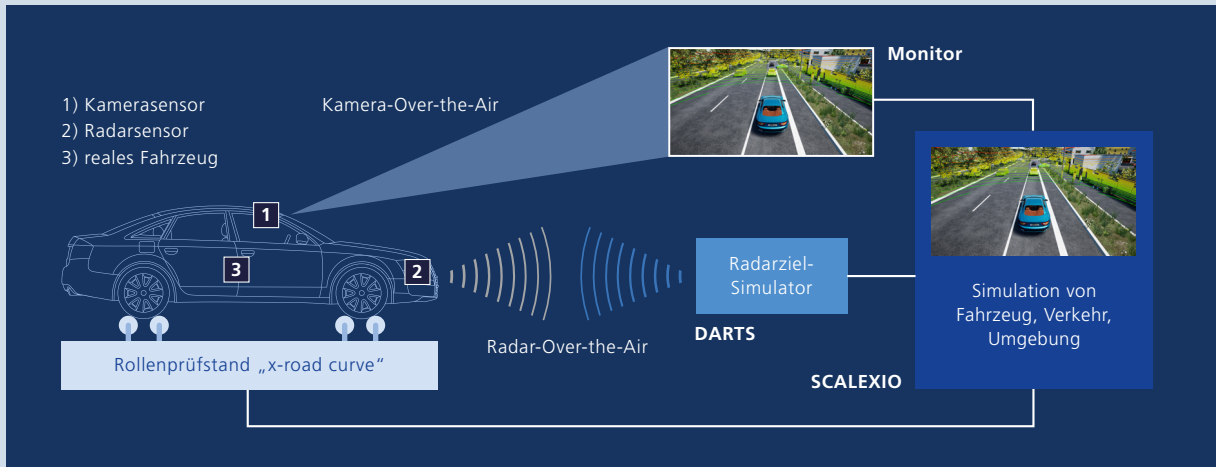
Diagnose)-Schnittstelle kommuniziert, unterstützt. Aufgrund der rasanten technischen Weiterentwicklung der Fahrzeuge, die insbesondere durch die Integration von ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) gekennzeichnet ist, müssen auch Prüfinhalte der periodischen Hauptuntersuchung mit dieser Entwicklung mithalten, um weiterhin die Verkehrssicherheit zu gewährleisten. Längst überwachen Kamerasensoren die Einhaltung der Fahrspur und machen beim Überfahren der Seitenlinien den Fahrer aufmerksam. Und falls sich das Auto vorausfahrenden Verkehrsteilnehmern

>>



Bildnachweis: © KÜS

Die Prüflinie KÜS DRIVE ist für Prüfungen von automatisierten Fahrzeugen ausgelegt.



Schematische Darstellung des Vehicle-in-the-Loop (VIL)-Tests in der Prüflinie KÜS DRIVE. Der Aufbau besteht aus einem lenkbaren Rollenprüfstand (x-road curve) und einem Simulator (SCALEXIO). Die vom Simulator erzeugte virtuelle Fahrzeugumgebung wird den Fahrzeugsensoren auf physikalischer Ebene per Over-the-Air (OTA)-Verfahren zur Verfügung gestellt. Die Sensoren des zu testenden Fahrzeugs erfassen physikalische Größen und die Assistenzsysteme des Fahrzeugs können darauf reagieren.

gefährlich nähert, greift der Notbremsassistent ein und entspannt die Situation.

Sicher über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus

Die ersten Fahrer, die mit Autos unterwegs sind, die ihre Umgebung erkennen und teilautonom fahren, die sogenannten Level-2- und -3-Fahrzeuge, vertrauen auf diese und weitere Sensoren. „Doch wie kann die Funktionsicherheit dieser sensiblen Bauteile über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus hinaus gewährleistet werden?“,

greift Dr. Thomas Tentrup, Entwicklungsleiter bei der KÜS, die industrieweite Frage auf. Zur Beantwortung dieser sicherheitskritischen Herausforderung hat die deutsche Prüforga-nisation KÜS mit der Unterstützung von dSPACE die Prüflinie KÜS DRIVE entwickelt und realisiert. Damit ist es möglich, die Umfellsensoren eines Fahrzeugs kontaktlos und ohne Zugriff auf die relevanten ADAS-Steuergeräte zu stimulieren und nach UN-ECE (United Nations Economic Commission for Europe) und NCAP (New Car Assessment Program) relevante

szenarienbasierte Wirk-Prinzip-Prüfungen durchzuführen. Die kontaktlose Prüfung bildgebender Sensoren mit physikalischen Eingangsgrößen wie Radar, Lidar, Ultraschall oder Lichtwellen wird als Over-the-Air (OTA)-Test bezeichnet.

OTA-Stimulation der Fahrzeugsensoren

„Für valide und reproduzierbare Ergebnisse kommt hier die Vehicle-in-the-Loop (VIL)-Simulationsmethode zum Einsatz, bei der ein reales Fahrzeug in einer virtuellen Umgebung getestet wird“, erläutert Ahmet Karaduman, Consultant bei dSPACE. Er ergänzt: „Diese Form der Absicherung kann nicht nur in regelmäßigen Hauptuntersuchungen (Periodic Technical Inspections, PTI) eingesetzt werden, sondern auch bei End-of-Line-Tests in der Automobilproduktion, der Typgenehmigung/Homologation und im R&D-Bereich.“ Das Fahrzeug befindet sich beim VIL-Test auf dem lenkbaren Rollenprüfstand „x-road curve“ von Dürr Assembly Products und ist in der Lage, nach jeweiligem abzufahrendem Prüf-szenario durch den Fahrer angesteuert zu beschleunigen, zu brem-


VIL:
Vehicle-in-the-Loop

dSPACE Automotive Radar Test Systems (DARTS): Over-the-Air-Simulation von Radarzielen für Kfz-Radarsensoren auf physikalischer Ebene.




dSPACE Echtzeitsimulationsplattform

SCALEXIO: Echtzeitsimulator

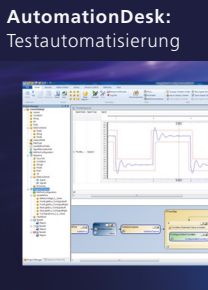


dSPACE Software-Lösungen für Vehicle-in-the-Loop (VIL)-Tests

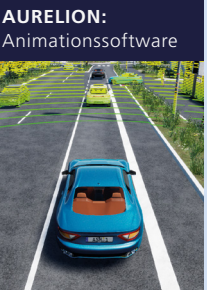
ASM: Simulationsmodelle



AutomationDesk: Testautomatisierung



AURELION: Animationssoftware



Die Simulationslösungen von dSPACE erzeugen eine reproduzierbare, realistische virtuelle Welt inklusive komplexer Fahrscenarien.

„Mit ihrer Expertise im Bereich der Hauptuntersuchungen ist die KÜS ein geschätzter und vielversprechender Entwicklungspartner für uns.“

Ahmet Karaduman, Consultant, dSPACE



sen oder nach rechts und links zu lenken. Aufgrund der technischen Eigenschaften des Rollenprüfstands bleibt das Fahrzeug immer zur Symmetrieachse des Prüfstands in Längsrichtung positioniert und kann Geschwindigkeiten bis 130 km/h fahren. Mit Hilfe der Software-Schnittstelle zwischen dem lenkbaren Rollenprüfstand und der dSPACE Toolchain ist es möglich, die realen physischen Bewegungen des Fahrzeugs an einen Digital Shadow zu übertragen. Dieser wird samt Fahrzeugumgebung auf einem Simulator von dSPACE in Echtzeit berechnet. Die Simulation speist einen Monitor und einen Radarziel-simulator zur OTA-Stimulation der Kamera- und Radarsensoren.

Der Prüfaufbau für die Sensorik
„Integriert in die Prüflinie und direkt vor dem zu testenden Fahrzeug befin-

den sich ein Monitor und eine Radaran-tenne, die beide horizontal, vertikal und axial mittels des flexiblen Portalsystems „x-around“ von Dürr

Assembly Products positionierbar sind“, beschreibt Karaduman den Aufbau für den Sensortest. Der Monitor stimuliert die Kamera des Fahr- >>

Szenarienbasierte Wirk-Prinzip-Prüfung nach dem OTA-Verfahren

Die Wirk-Prinzip-Prüftechnik prüft die Reaktion eines technischen Gesamtsystems auf eine bekannte definierte Anregung und bewertet die Differenz der Reaktion des Systems mit der Sollreaktion. Bei der Wirkprüfung von Fahrerassistenzsystemen bedeutet dies, dass die Anregung über die Sensorik wie auf der Straße physikalisch (Over-the-Air) unmittelbar erfolgt. Somit wird ein direkter Zugriff auf die Steuergeräte vermieden, was die Überprüfung der gesamten Wirkungskette ermöglicht.





Gesetzlich vorgeschriebene Hauptuntersuchungen tragen nicht nur zur Vermeidung von technischen Fehlfunktionen bei, sondern sie gewährleisten auch die Verkehrssicherheit automatisierter und autonomer Fahrzeuge.



Funktionen für automatisiertes Fahren können mit der Vehicle-in-the-Loop (VIL)-Testmethodik effizient und reproduzierbar getestet werden.

zeugs mit Umgebungs- und Straßenszenarien, die von der sensorrealistischen Simulationslösung AURELION in Form einer 3D-Welt animiert wurden. Dies dient der Überprüfung, ob der Kamerasensor des VUT (Vehicle-under-Test) die relevanten Objekte richtig erkennt. Die korrekte Funktion des Spurhalteassistenten (LKAS) und des Spurhaltewarnsystemassistenten (LDWS) wird mit geeignet konzipierten Straßendarstellungen ebenfalls getestet.

Um den Radarsensor zu testen, wird die Antenne des Radar-Zielsimulators DARTS (dSPACE Automotive Radar Test Systems) direkt vor dem Sensor positioniert. DARTS emittiert die Radarreflexionen eines simulierten Zielobjekts. Die Reflexionswellen geben Entfernung, Größe und Geschwindigkeit des Objekts exakt wieder und stimulieren damit den Radarsensor. Dies ermöglicht das reproduzierbare und für die Prüflingenieure ungefährliche Testen des Abstandsregeltempo-

LKAS:

Lane Keeping Assistance System

maten (ACC) und des Notbremsassistenten (AEB). Die in sich homogenen und aufeinander abgestimmten Hardware- und Software-Komponenten des Prüfstands ermöglichen damit einen stabilen Testablauf in Echtzeit. Bei Bedarf lassen sich Testfälle exakt reproduzieren, um die erfolgreiche Behebung von Fehlern nachzuweisen. „Reproduzierbare Ergebnisse sind für die Bewertung der technischen Prüfungen insbesondere bei einer Hauptuntersuchung unerlässlich“, merkt Dr. Tenstrup an.

Die Zukunft im Blick

Die KÜS (Kraftfahrzeug-Überwachungsorganisation freiberuflicher Kfz-Sachverständiger) erkannte frühzeitig, dass die Automatisierung im automobilen Bereich vielfältige Sicherheitsthemen mit sich bringt, die für straßenzugelassene Fahrzeuge gelöst werden müssen. Um mit diesem technologischen Fortschritt im Bereich der Funktionen für das automatisierte

Fahren und der Fahrerassistenzsysteme Schritt zu halten, steigen in der Folge die Anforderungen an die gesetzlich geregelte periodische Fahrzeugüberwachung stetig an. „Aus diesem Grund startete die KÜS mit KÜS DRIVE ein Forschungsprojekt mit dem Ziel, die aktuellen Prüfumfänge der Hauptuntersuchung in eine klassische Prüfstraße zu integrieren, in der auch die sicherheitsrelevanten Fahrerassistenzsysteme mittels OTA-Prüfung getestet werden können. Mit DRIVE arbeiten wir an den Innovationen von morgen, um Lösungen zur verbesserten Fahrzeugsicherheit und zur Funktionssicherheit von Assistenzsystemen und von automatisiertem Fahren über den gesamten Produktlebenszyklus voranzubringen“, erläutert Peter Schuler, Hauptgeschäftsführer der KÜS.

OTA:
Over-the-Air

Anpassung der Hauptuntersuchungen an automatisierte

„Mit der Simulationslösung von dSPACE verfügen wir über eine flexibel konfigurierbare Möglichkeit, die korrekte Funktion von Sensoren und Fahrerassistenzsystemen realer Fahrzeuge effizient und zuverlässig in unserem Testzentrum zu überprüfen.“

Dr. Thomas Tenstrup, Entwicklungsleiter, KÜS





Bildnachweise: © KÜS

und autonome Fahrzeuge (SAE-Level-3)

Gesetzlich vorgeschriebene Hauptuntersuchungen tragen nicht nur zur Vermeidung von technischen Fehlfunktionen bei, sondern erhöhen auch die Verkehrssicherheit. ADAS-Fahrerassistenzsysteme sind zusätzlich in der Lage, durch menschliches Fehlverhalten oder Unvermögen verursachte Unfälle deutlich zu reduzieren. Um diese zu gewährleisten, müssen diese Systeme jedoch über den gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs fehlerfrei funktionieren. Mögliche Störfaktoren sind dabei:

- Alterung von Material und Komponenten
- Mangelhafte bzw. fehlerhafte Instandsetzung
- Manipulation von Komponenten und Systemen
- Unerlaubtes oder übermäßiges Tuning
- Grenzen der Selbstdiagnose

Das Erkennen von technischen Mängeln und damit die Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit wird u. a. durch die periodische Prüfung sichergestellt. Zum Beispiel können Abstandsregeltempomaten (ACC) und Notbremsassistenten (AEB) Auffahrunfälle auch bei hohen Geschwindigkeiten verhindern und damit signifikant zur Reduktion der Unfallzahlen beitragen. Gerade bei diesen Unfällen, bei denen ein fahrendes Fahrzeug mit einem in gleicher Richtung fahrenden oder stehenden Fahrzeug kollidiert, sind neben hohen Sachschäden auch oft Tote und Schwerverletzte zu beklagen. Jedoch kann auch eine fehlerhafte Auslösung eines nicht korrekt eingestellten Notbremsassistenten zu Auffahrunfällen führen.

Sicherheitssysteme periodisch prüfen

Im Zuge der Entwicklungen im Automobilbereich ist klar zu erkennen, dass sich die Bedeutung der Fahrer-

assistenzsysteme verändert. „Waren es zunächst ‚Komfortsysteme‘, die dem Fahrer das Führen des Automobils erleichterten, entwickeln sie sich immer mehr zu ‚Sicherheitssystemen‘“, erklärt Karaduman. Unter diesem Aspekt wird deutlich, wie unverzichtbar es ist, diese Systeme in den Rahmen der periodischen Fahrzeugprüfung einzubeziehen und die gesetzliche Basis dafür zu schaffen. Die Prüflinie KÜS DRIVE demonstriert bereits heute ein überzeugendes technisches Lösungskonzept für die neuen Anforderungen an die Prüfungsumfänge bei der regelmäßigen Hauptuntersuchung automatisierter Fahrzeuge. Die Sicherheit von Funktionen für das automatisierte Fahren kann in entsprechend ausgestatteten Prüfzentren über den Lebenszyklus eines Fahrzeugs geprüft und nachgewiesen werden. ■

Mit freundlicher Genehmigung von KÜS (Kraftfahrzeug-Überwachungsorganisation freiberuflicher Kfz-Sachverständiger)

„Mit KÜS DRIVE bieten wir eine Lösung zur verbesserten Fahrzeugsicherheit und zur Funktionssicherheit von Assistenzsystemen und von automatisiertem Fahren über den gesamten Produktlebenszyklus.“

Peter Schuler, Hauptgeschäftsführer, KÜS



Funktionstests von Satelliten mit
Simulatoren von dSPACE

CO₂-Wächter im Orbit

The image features a satellite in space, positioned in the upper right quadrant. It has a complex, rectangular body with various panels and a large, blue solar panel array extending to the right. A bright light source, likely the sun, is visible behind the solar panels, creating a lens flare effect. Below the satellite, a transparent, conical sensor beam or field of view is directed towards the Earth's surface. The Earth is shown as a curved horizon with a mix of green landmasses and blue oceans, partially covered by white clouds. A specific rectangular area on the Earth's surface is highlighted with a color-coded map, showing a gradient from yellow to red, representing CO2 concentration levels. The background is a deep black space filled with numerous small, white stars.

Für Anfang 2026 plant die europäische Raumfahrtagentur ESA den Start des ersten von zwei Satelliten, um vom All aus die weltweiten Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen mit bisher unerreichter Genauigkeit zu messen. Der Raumfahrtkonzern OHB testet die Satellitenfunktionen mit Hilfe von Simulatoren, die unter anderem auf Basis von dSPACE SCALEXIO-Systemen und Software von Astos Solutions aufgebaut werden.

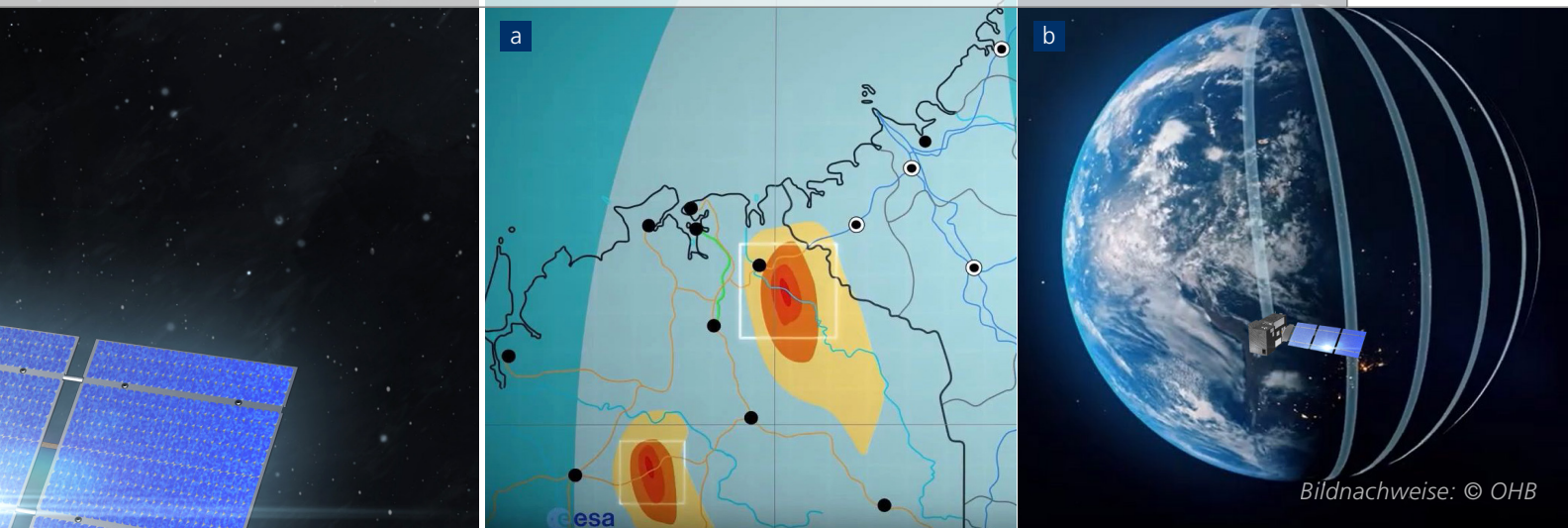


Abbildung 1: (a) Die Satelliten erstellen hochgenaue Karten der menschengemachten CO₂-Emissionen (Städte, Fabriken etc., hier in einer Simulation). (b) Die Umlaufzeit der Satelliten beträgt knapp 100 Minuten. Dabei messen sie die CO₂-Konzentration mit einer Auflösung von 2x2 km² in einem 250 km breiten Streifen und erfassen aufgrund der Erddrehung innerhalb weniger Tage einmal den gesamten Globus.

Um den Klimawandel zu bekämpfen, benötigt die Welt präzisere Daten über die globalen CO₂-Emissionen. Diese Daten möchte die EU mit Unterstützung der ESA im Rahmen der CO2M (Copernicus Anthropogenic Carbon Dioxide Monitoring)-Mission sammeln. Das Besondere dabei: Erstmals wird es möglich sein, die menschengemachten von den natürlichen CO₂-Emissionen zu unterscheiden. Damit ist die CO2M-Mission ein wichtiger Baustein, um das Ziel der Pariser UN-Klimakonferenz von 2015 zu erreichen und die globale Erwärmung auf deutlich unter zwei Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen.

Bestimmung des Menschgemachten CO₂

CO₂ absorbiert den Infrarotanteil des Lichts besonders stark. Daher messen die Satelliten die Intensität des von der Erdoberfläche kommenden Infrarotlichts und leiten daraus die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre ab. Um außerdem das menschengemachte vom natürlichen CO₂ zu unterscheiden, messen die Satelliten mit einer ähnlichen Methode zusätzlich auch die Konzentration von Stickstoffdioxid

(NO₂). Denn NO₂ entsteht als Nebenprodukt zum CO₂ vor allem bei der Verbrennung fossiler Energieträger, nicht aber als Teil der Emissionen lebender Organismen. NO₂ lässt sich daher als Marker nutzen, um den menschengemachten Anteil am CO₂ in der Atmosphäre zu identifizieren, der beispielsweise in der Atmosphäre über einer Industrieregion deutlich höher ist als über einem dünn besiedelten tropischen Regenwald.

Entscheidend: Perfekte Satellitenausrichtung

Um genaue Messungen durchführen zu können, müssen die Satelliten ihre Ausrichtung und die geplante Umlaufbahn exakt einhalten. Hierfür sorgt in der Raumfahrt ein sogenanntes Lage- und Bahnregelungssystem (Attitude and Orbit Control System, AOCS). Ein typisches AOCS besteht aus einem Lagekontrollrechner sowie Sensoren und Aktoren, beispielsweise:

- **Magnetometer:** Sensor zur Messung des Erdmagnetfelds
- **Sonnenrichtungssensor:** Sensor zur Messung der Richtung zur Sonne
- **Magnetorquer:** Aktor, der ein Drehmoment auf den Satelliten mittels

>>

Bildnachweis: © OHB

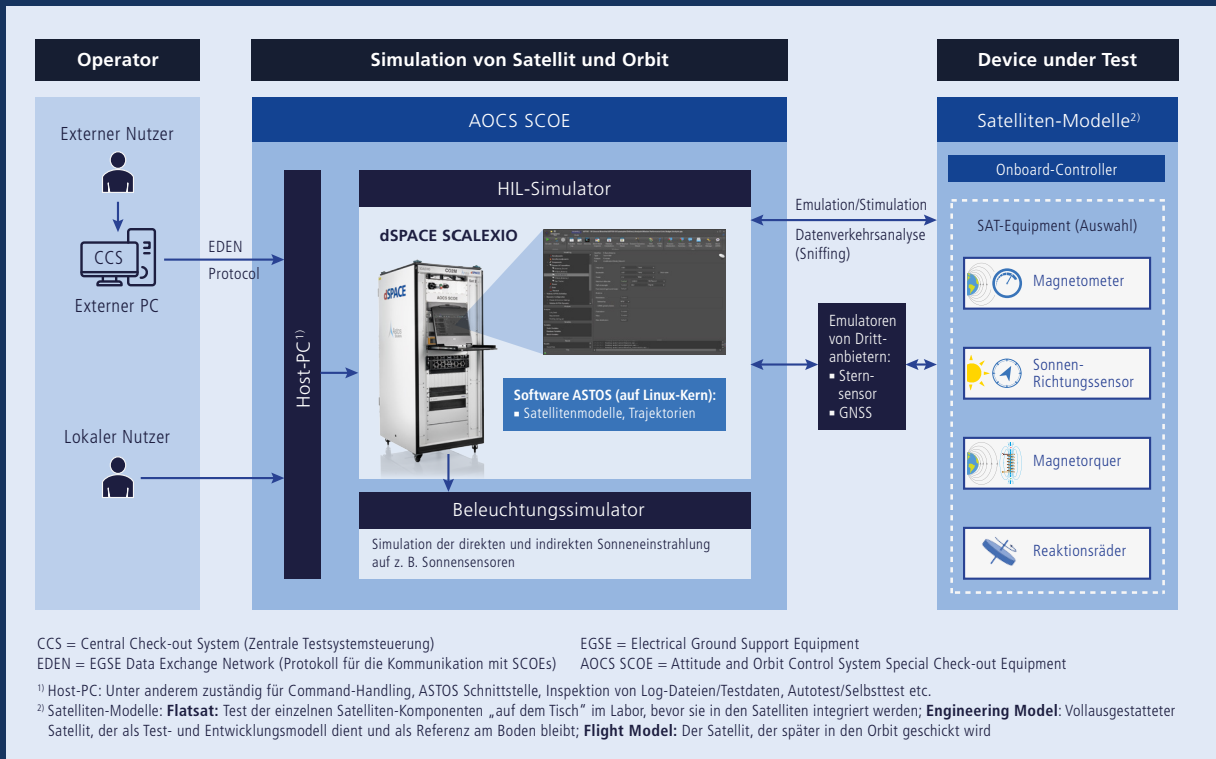


Abbildung 2: Architektur des AOCS SCOE für den Test der Satelliten. Die Modelle von ASTOS werden auf dem dSPACE SCALEXIO-System auf einem Linux-Kern (dSPACE Hypervisor Extension) gerechnet.

eines mit dem Erdmagnetfeld wechselwirkenden Elektromagneten aufbringt

- **Reaktionsrad:** Aktor, der mittels einer rotierenden Schwungmasse ein Drehmoment auf den Satelliten aufbringt

Hinzu kommt meistens auch noch ein GNSS (Global Navigation Satellite System)-Empfänger. Um das AOCS im

Labor zu testen, wird ein sogenanntes SCOE (Special Check-out Equipment) eingesetzt. Das AOCS SCOE für die Tests der CO2M-Satelliten basiert auf einem dSPACE SCALEXIO-Echtzeitsystem (Abbildung 2).

Simulation der Bedingungen im Orbit

Mit dem AOCS SCOE lassen sich im Labor die Bedingungen im Orbit simu-

lieren, um so die Satellitenfunktionen zu testen. Zu den typischen Einflüssen, denen der Satellit unterliegt, gehören das Gravitations- und Magnetfeld und die Reibung mit der im Orbit in 735 km Höhe zwar extrem dünnen, aber noch vorhandenen Restatmosphäre. Für die Tests der Satellitensysteme gelten hinsichtlich der Testabdeckung allerhöchste Anforderungen, denn weil der Satellit im Orbit nicht mehr zu-



„Bei Raumfahrtanwendungen sind die Anforderungen an Steuerungssoftware bezüglich Fehlerfreiheit und Verlässlichkeit extrem hoch. Dies gilt dementsprechend auch für das Equipment zum Testen von Satellitenfunktionen. Das dSPACE SCALEXIO-System meistert diese herausfordernden Testaufgaben hervorragend.“

Sven Weikert, Astos



Abbildung 3: Aufbau des für das AOCS SCOE verwendeten dSPACE SCALEXIO-Systems. Für jeden der Satelliten wird ein eigenes AOCS SCOE gebaut.

gänglich ist, sind eventuelle Fehlerkorrekturen nur noch per Funk möglich, beispielsweise in Form von Software-Uploads.

Aufbau des AOCS SCOE

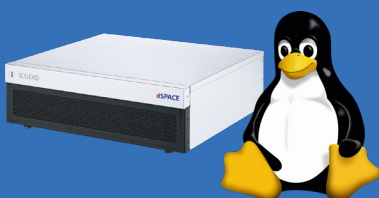
Das SCALEXIO-basierte AOCS SCOE wird in Zusammenarbeit von dSPACE und dem dSPACE Partner Astos Solutions entwickelt, der es anschließend an den Raumfahrtkonzern OHB aus-

liefert. Das SCALEXIO-System (Abbildung 3) unterstützt eine breite Palette von Schnittstellen, u. a. analog, digital, RS422, MIL-STD-1553, Ethernet, für Open-Loop- und Closed-Loop-Tests. Auf dem SCALEXIO-System werden die Modelle der Satellitendynamik auf einem Linux-Kern (dSPACE Hypervisor Extension, siehe Info-Box) berechnet. Mit der von Astos Solutions entwickelten ASTOS-internen 3D-

Engine können alle Testszenarien und deren Parameter zur besseren Übersichtlichkeit in Echtzeit visualisiert und überwacht werden. Das dSPACE SCALEXIO-System unterstützt außerdem eine umfassende Automatisierung für Tests mit automatischer Datenaufzeichnung rund um die Uhr.

Besondere Anforderungen

Weil das AOCS SCOE direkt an die >>



Kurzportrait: SCALEXIO Hypervisor Extension

Die SCALEXIO Hypervisor Extension von dSPACE basiert auf einer kernelbasierten virtuellen Maschine (KVM). Sie führt das SCALEXIO-Echtzeitbetriebssystem und virtuelle Maschinen mit Standard-Linux-Distributionen gleichzeitig aus. Dies ermöglicht die Integration von Linux-Echtzeit- und Nicht-Echtzeitanwendungen, zum Beispiel Linux-basierten Modellierungs- und Simulationswerkzeugen, in die SCALEXIO-Real-Time-PC-Umgebung und unterstützt den Datenaustausch mit niedriger Latenz und hoher Bandbreite zwischen beiden Systemen.



Firmenprofil Astos Solutions

Die im Jahre 2006 gegründete Astos Solutions GmbH mit Sitz in Stuttgart ist ein mittelständisches Unternehmen und gehört zu den Spitzenanbietern von Software und Testsystemen, die für die Planung von Raumflugmissionen und die Entwicklung von Raumfahrzeugen verwendet werden. Mit ihrem einzigartigen Spektrum von standardisierten und individuellen Produkten und Dienstleistungen bietet die Astos Solutions GmbH Lösungen für ein breites Spektrum von Anwendungen. Zu den typischen Betätigungsfeldern gehören die Analyse, Simulation, Trajektorienoptimierung, Animation und Visualisierung von Missionsanalyseergebnissen in Raumfahrtanwendungen.

Hardware angeschlossen wird, die später in den Orbit fliegt, d. h. an das sogenannte Flight Model, muss das dSPACE SCALEXIO-System sehr hohe Anforderungen erfüllen:

- Galvanische Trennungen zum Schutz des Satelliten: sowohl zwischen dem Satelliten und dem AOCS SCOE als auch zwischen der Stromversorgung des AOCS SCOE und dem Stromnetz
- Selbsttestprozedur vor dem Anschluss an Satelliten bzw. DUT (Device under Test)
- Zustandsüberwachung (Temperaturwerte, Rauchentwicklung, allge-

meiner AOCS-SCOE-Status) abrufbar lokal vor Ort und von extern

- Zeitsynchronisation über PPS (Puls-Per-Second; Meinberg-Zeitsignal)
- Halogenfreie Kabelisolierungen
- Eignung aller Komponenten für den Einsatz im Reinraum
- Integrierter Host-PC und eine ausziehbare Konsole für die lokale Nutzung
- Nachweis der elektromagnetischen Verträglichkeit

Satellitentests am Weltraumbahnhof in Kourou

Der Start des ersten der beiden CO2M-

Satelliten ist für Anfang 2026 vom Weltraumbahnhof in Kourou in Französisch-Guayana mit einer Vega-Rakete geplant. Dazu wird auch das dSPACE SCALEXIO-System vor Ort in Kourou sein, um die Funktionen der Satelliten vor dem Start zu testen. Beide Satelliten sollen dann in ihrem Orbit in 735 km Höhe ab 2026 einsatzbereit sein. In den nachfolgenden Jahren möchte die EU die Zahl der CO2M-Satelliten auf drei erhöhen. Auch für den zusätzlichen Satelliten würde wieder ein eigenes AOCS SCOE auf Basis von dSPACE SCALEXIO-Systemen aufgebaut. ■



Firmenprofil OHB

Die OHB SE mit Hauptsitz in Bremen ist ein börsennotierter Raumfahrt- und Technologiekonzern, der sich in die drei Geschäftsbereiche Space Systems, Aerospace und Digital unterteilt. Insgesamt hat der Konzern europaweit knapp 3.000 Beschäftigte an 15 Standorten. Das größte Tochterunternehmen der OHB SE, die OHB System AG, mit Hauptsitz in Bremen und einem weiteren Standort in Oberpfaffenhofen bei München, hat mehr als 40 Jahre Erfahrung in der Entwicklung von Hightech-Lösungen für die Raumfahrt und weitere Anwendungsfelder. Das Portfolio an Produkten und Dienstleistungen reicht dabei von der Realisierung von Satellitensystemen für Erdbeobachtung, Navigation, Telekommunikation, Wissenschaft und Aufklärung über die Ausarbeitung und Umsetzung von Missionen zur Erforschung des Weltalls bis hin zur Entwicklung von Systemen für die astronautische Raumfahrt.

„Die Kohlendioxid-Messungen der CO2M-Satelliten leisten einen wertvollen Beitrag, um das Ziel der Pariser UN-Klimakonferenz von 2015 zu erreichen. Bei den Tests der Satellitenfunktionen spielen die dSPACE SCALEXIO-Systeme eine wesentliche Rolle.“

Ann-Theres Schulz, OHB

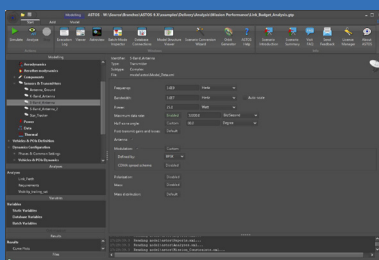
Sven Weikert

Technischer Direktor bei der Astos Solutions GmbH



Ann-Theres Schulz

Projektleiterin Standardplattform für Erdbeobachtung Eos bei OHB



Kurzportrait: Software ASTOS

Die Software ASTOS eignet sich für die Optimierung der Flugbahn und des Designs von Raumfahrzeugen, die Simulation von Missions- und Systemkonzepten, den Entwurf und die Analyse von GNC/AOCS, die Sicherheits- und Risikoanalyse für Weltraummüll bzw. den Aufstieg von Trägerraketen und die Fehlerbudgetierung. Leistungsstarke Visualisierungsfunktionen ermöglichen die Berechnung von Widerstands- und Sonnenstrahlungsstörungen für Sonnensegelanwendungen. Ein fließender Arbeitsablauf vom Modell über den Prozessor bis zur Hardware-in-the-Loop-Simulation ist in Validierungseinrichtungen eingebettet. Die EGSE-Produktfamilie wird durch ein rekonfigurierbares AOCS SCOE auf Basis der dSPACE HIL-Produktfamilie und einen Kamera- und Lidar-Simulator für Echtzeit-tests von bildverarbeitungs-basierten Navigationsalgorithmen erweitert.

Schneller, einfacher und effizienter entwickeln mit der Open V&V Industry Platform.

Partner gesucht



dSPACE will gemeinsam mit Partnern eine Open Verification and Validation Industry Platform etablieren. Mit der standardisierten, offenen Industriepattform sollen bei den V&V-Toolketten Integrationsaufwände reduziert werden, beim Setup und bei der Wartung sollen damit signifikante Einsparpotentiale erzielt werden.

„Mit der Plattform sollen Anwender künftig effizienter und schneller testen und entwickeln“, formuliert Dr. Marc Nalbach das übergeordnete Ziel. Marc Nalbach verantwortet bei dSPACE die Entwicklung der Initiative und die Koordination mit potenziellen Industriepartnern. „Anwender investieren heute viel Aufwand in Schnittstellen und die Integration. Es ist höchste Zeit, sich Gedanken darüber zu machen, wie sich dieser Aufwand reduzieren lässt – in Form einer offenen Platt-

form“, erklärt Marc Nalbach. Gerade mit Blick auf die Herausforderungen bei der Entwicklung und den Tests von Software-Defined Vehicles und immer komplexeren Systemen werde die Plattform einen deutlichen Mehrwert liefern.

OEMs wollen die unabhängige Plattform

Aktuell bauen die OEMs ihre Toolketten aus einzelnen heterogenen Elementen von unterschiedlichen Anbietern zusammen. Genau das soll auch künf-

tig möglich sein, aber mit erheblich reduzierten Aufwänden bei Integration und Betrieb. Deshalb hat dSPACE einigen OEMs bereits im Vorfeld die Initiative zur Etablierung der Open Verification and Validation Industry Platform vorgestellt und daraufhin positives Feedback erhalten. Die Vorteile liegen für alle auf der Hand, und es besteht klares Interesse an einer Lösung, die von mehreren Unternehmen gemeinschaftlich getragen wird. Die OEMs möchten auch gar nicht, dass ein einziges Unternehmen do-



Open V&V Industry Platform: Durchgängigkeit und Standards zählen

„Die XIL-API zeigt, welches Potenzial Standards zu heben vermögen“, sagt Marc Nalbach und ergänzt: „Wie viel mehr kann eine holistische Plattform leisten, die beispielsweise einen durchgängigen Austausch von Daten sowie deren Automatisierung bereitstellt und cloud-, software- und hardwarebasierte Toolketten integriert.“ Selbstverständlich soll es eine enge Zusammenarbeit mit Standardisierungsorganisationen wie ASAM geben. „Das Konsortium wird die Industrieplattform entwickeln. Das wird ein stufenweiser Prozess sein, aber wir haben uns vorgenommen, 2024 eine Lösung für erste Kunden zu haben. Viele Kunden empfinden derzeit beispielsweise eine HIL-/SIL-Durchgängigkeit als wichtiges Thema, weil beide Testmethoden benötigt werden. Hier mehr Wiederverwendbarkeit zu ermöglichen, könnte ein erster Ansatz sein, ergänzt um eine Anbindung an die Testautomatisierung.“

ware-Funktionen für ihre Fahrzeuge konzentrieren zu können. Diesen Freiraum zur Effizienzsteigerung zu schaffen, ist eine Mission für alle Akteure unserer Branche. Potenzielle Partner und Beteiligte der Plattform sind alle, die in der Tool-Welt aktiv sind – völlig unabhängig davon, ob sie ein Wettbewerbsprodukt zu dSPACE haben oder eine Ergänzung des dSPACE Portfolios darstellen.“

Für weitere Informationen und Diskussionen mit Interessenten steht Marc Nalbach gern unter mnalbach@dspace.de zur Verfügung. ■

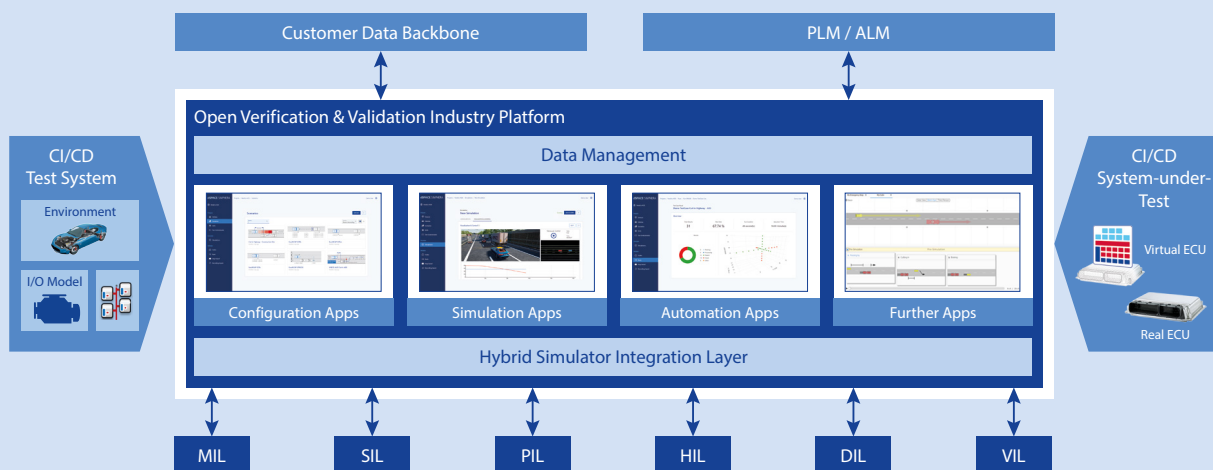


Dr. Marc Nalbach verantwortet bei dSPACE die Entwicklung der Initiative und die Koordination mit potenziellen Industriepartnern.

miniert. Die einhellige Meinung der OEMs: Eine Plattform solle unabhängig sein, damit kein einzelnes Unternehmen dabei eine herausragende Stellung bekommt, fasst Marc Nalbach das Feedback aus den Gesprächen mit Kunden zusammen.

Potenzielle Partner: Alle Tool-Anbieter

Marc Nalbach bringt die aktuelle Situation auf den Punkt: „Die OEMs brauchen jetzt jeden Freiraum und jede Kapazität, um sich auf die Entwicklung wettbewerbsdifferenzierender Soft-



Die Plattform soll eine flexible und nahtlose Kollaboration bieten und Simulation, Testdurchführung, Monitoring und Reporting ermöglichen. Sie soll offen sein, damit Anwender eine Best-in-Class-V&V-Lösung nutzen können.

Die Hatz um die schnellste Rundenzeit ist ein Benchmark für Technikkomponenten im Rennsport.



KI im Grenzbereich

Die Indy Autonomous Challenge (IAC) bietet in vielerlei Hinsicht bemerkenswerte Einblicke. Hochengagierte Studierende zeigen, dass sie sich intensiv mit den neuesten Technologien auseinandersetzen, um sie in der Praxis anzuwenden. Dafür wählten sie eine besonders herausfordernde Disziplin: den Rennsport. In Monza gingen die Teams einmal mehr ans Limit.





„All die Sensoren erzeugen eine Menge Daten, die verarbeitet werden müssen. Ohne die zentrale Verarbeitungseinheit AUTERA wären wir nicht in der Lage, das zu tun, was wir auf der Rennstrecke tun.“

Cindy Heredia, MIT-PITT-RW



Bildnachweis: © dSPACE



Bildnachweis: © dSPACE

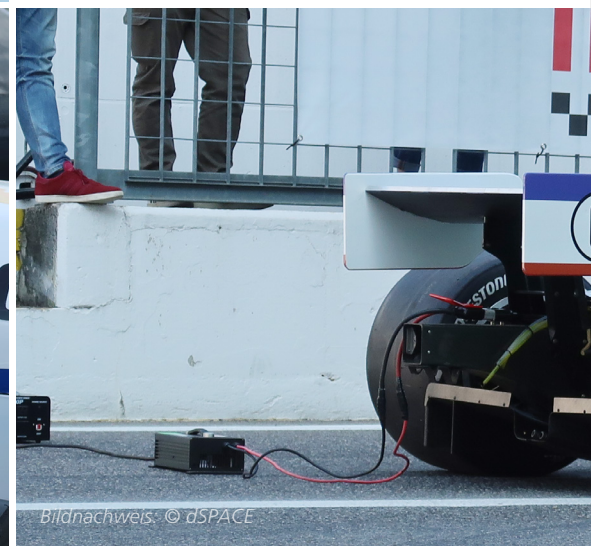


Bildnachweis: © dSPACE

Im Mittelpunkt der IAC steht die künstliche Intelligenz samt grundlegenden Aspekten des autonomen Fahrens. Dazu gehört das Sammeln, Auswerten und Bewerten von Daten verschiedener Sensoren, um daraus eine Fahrstrategie abzuleiten. Damit nicht genug: Diese komplexen Vorgänge finden immer im fahrdynamischen Grenzbereich statt. Immer mit dem Risiko, dass der kleinste Fehler zum Totalverlust des Fahrzeugs führen kann.

Benchmark für die Industrie

Die Industrie unterstützt den Wettbewerb mit erheblichem Aufwand und Beratung. Wie im Rennsport üblich, gehören die eingesetzten Komponenten zu den leistungsfähigsten und oft auch teuersten auf dem Markt. Robustheit und Leistungsfähigkeit, die den Unterschied machen, sind der Maßstab für die Auswahl der Komponenten. Eine Chance für die Industrie, die Tauglichkeit ihrer Pro-



Bildnachweis: © dSPACE



„AUTERA ist zuverlässig. Es hat uns keine Probleme bereitet, dafür aber genug Rechenleistung bereitgestellt.“

Marko Bertogna, TII Unimore Racing

dukte unter Beweis zu stellen und zu optimieren.

Technologie und Faszination Motorsport

Die Organisation IAC verbindet gekonnt Technik mit der Faszination des Motorsports und macht Innovation leicht verständlich und erlebbar. Dabei dreht man sich nicht um sich selbst, sondern zeigt, dass Technik beherrschbar bleibt – gerade unter Grenzbedingungen. Das schafft Vertrauen in die neuen Technologien. Denn dieses Vertrauen ist notwendig, wenn es um die Kommerzialisierung der Technologie geht. So bereiten die Studierenden des IAC-Wettbewerbs jetzt den Markt für die Produkte vor, an denen sie in Zukunft arbeiten werden.

Katalysator für autonomes Fahren

Während des Wettbewerbs in Monza hatten wir die Gelegenheit, mit den Teams und dem Präsidenten der IAC zu sprechen. Die Begeisterung für den

Sport, die Faszination für neue Technologien und die Freude, gemeinsam etwas voranzubringen, treiben die

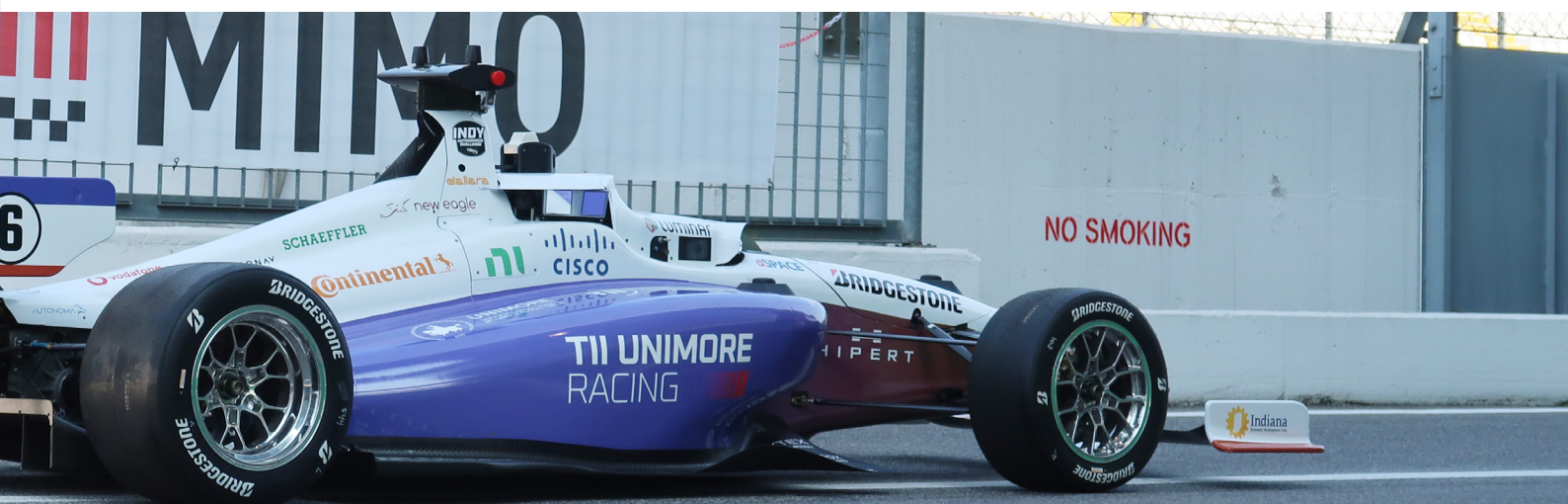
Studierenden an. Mit ihrem Engagement sind die IAC-Teams ein Katalysator für das autonome Fahren. ■

Monza – die Premiere der fahrerlosen Rennwagen im „Temple of Speed“.

Eingebettet in das Motorsportevent Milano Monza Motor Show MIMO 2023, war die IAC vom 16. bis 18. Juni ein inspirierendes Erlebnis: Zwischen Paraden historischer Rennwagen und Hochgeschwindigkeitsfahrten moderner Supersportwagen zeigten die autonomen Rennfahrzeuge ihr Können auf der anspruchsvollen Strecke: Freies Training, Qualifying und das Zeitrennen der Indy Autonomous Challenge belebten das Autodromo Nazionale Monza.

Jedes Team trat mit einem Dallara AV-23 an, der von einer selbst entwickelten, KI-basierten Software gesteuert wurde. Die auf dem Hochleistungsrechner von dSPACE ausgeführte Software nutzt Sensoren und steuert Aktoren, so dass das Auto autonom über den Hochgeschwindigkeitskurs fahren kann.

Das PoliMOVE-Team des Politecnico di Milano gewann den Wettbewerb mit der schnellsten Rundenzeit vor den Teams der Technischen Universität München TUM (2. Platz) und der Universität Modena und Reggio Emilia (3. Platz).





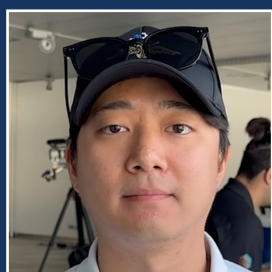
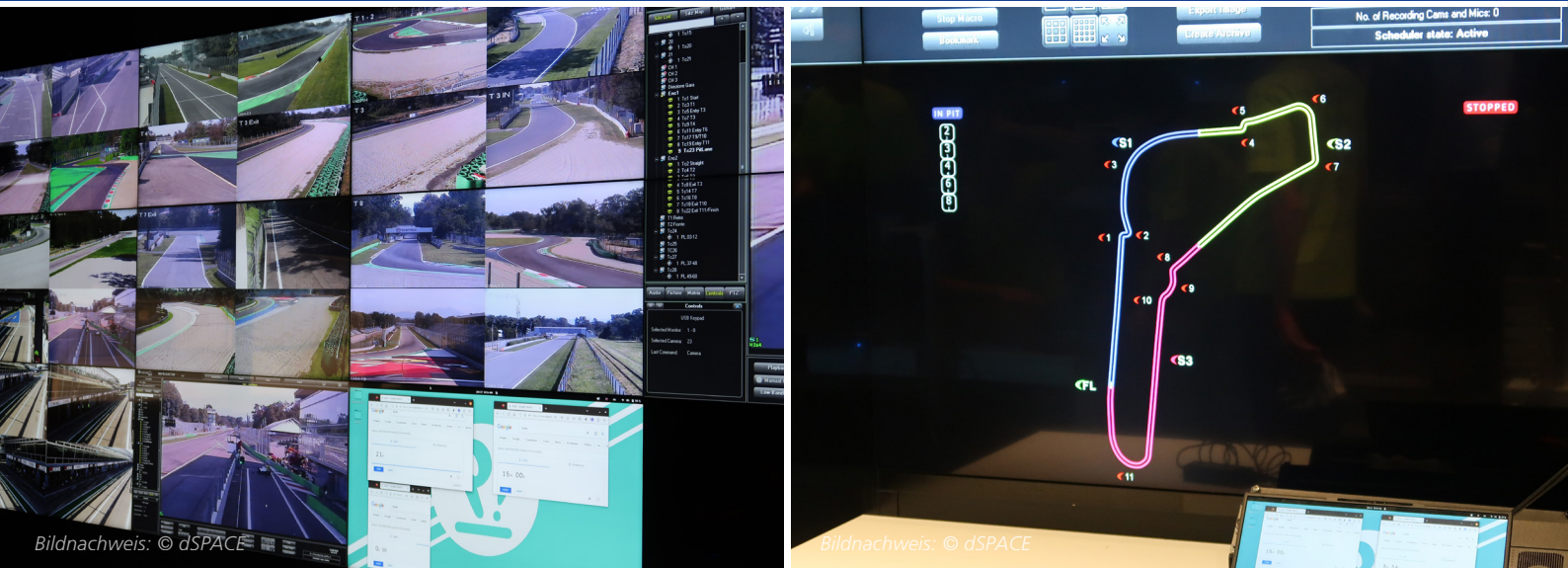
„AUTERA ist sehr robust und hat eine Menge nützlicher Eigenschaften für autonome Fahrzeuge.“

Marcello Cellina, PoliMOVE Autonomous Racing Team

Autonome Rennwagen der IAC-Serie fahren mit Zentralrechnern von dSPACE

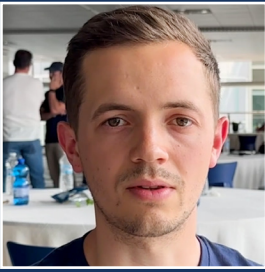
dSPACE unterstützt die Indy Autonomous Challenge (IAC) als exklusiver On-Vehicle Computer Technology Sponsor. dSPACE stellt für alle Fahrzeuge die AUTERA AutoBox, ein Prototyping- und Datenaufzeichnungssystem, zur Verfügung. Die dSPACE Systeme fungieren in allen Fahrzeugen als Zentralrechner und ermöglichen den vollständig autonomen Betrieb der Fahrzeuge auf der Rennstrecke.

Mit der AUTERA AutoBox liefert dSPACE den robusten, leistungsstarken Zentralrechner, der Daten von Lidar- und Radarsensoren und Kameras sowie von Bussen und Netzwerken im Fahrzeug ausliest und verarbeitet. Das Besondere an der AUTERA AutoBox ist die einzigartige Kombination aus hoher Rechenleistung und einer best-in-class Datenbandbreite (50 Gbit/s) in einem kompakten Formfaktor.



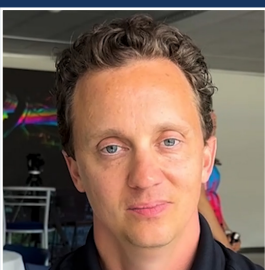
„Wir müssen Daten von vielen Sensoren verarbeiten – AUTERA funktioniert sehr gut und ist in Umgebungen mit starken Vibrationen sehr robust.“

John, KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology)



„AUTERA ist das Gehirn unseres Autos und führt die von uns entwickelte Software aus, und das auf sehr zuverlässige Weise.“

Simon Hoffmann, FTI Institute of Automotive Technology TUM



„Eines kann ich mit Sicherheit über AUTERA sagen: Sie brauchen sich keine Sorgen zu machen. Es ist ein grundsolides Produkt. Es erfüllt die Anforderungen an die Rechenleistung der Teams.“

Paul Mitchell, CEO and President, IAC

Omar, Produktmanager bei dSPACE



„Sicheres autonomes Fahren? Gemeinsam machen wir es möglich.“

Gemeinsam mit Ihnen bringen wir das autonome Fahren voran, weil wir ganzheitlich denken und Lösungen haben, denen man weltweit vertraut. Wir bieten eine integrierte Umgebung für die datengetriebene Entwicklung, Simulation und Validierung – End-to-End: von der Datenerfassung bis zur Homologation unterstützt durch ein weitreichendes Partnernetzwerk. Unser Lösungsangebot erlaubt die zuverlässige Integration in Ihre Infrastruktur, beschleunigt die Entwicklung und reduziert Ihre Kosten. Besuchen Sie uns auf autonomous-driving.dspace.com