

# dSPACE MAGAZIN

1/2023

**Renault** – Simulation **kann**: im Labor  
hochdynamisch elektrisch laden | Seite 6



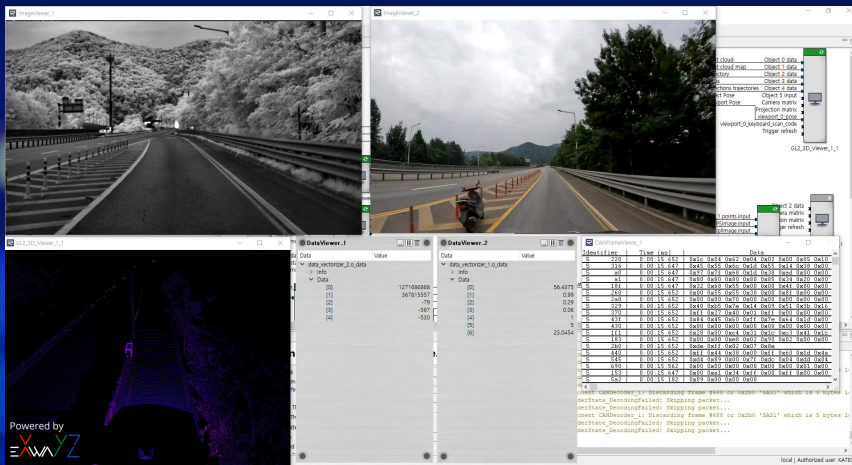
**INCEPTIO** – Simulation **kann**: hochrealistische virtuelle Welt  
für autonomes Fahren generieren | Seite 12

**FAW Hongqi** – Simulation **kann**: reales, automatisiertes  
Fahrzeug absichern | Seite 16

# Synchronisieren von Sensordaten

Da die moderne Software-Entwicklung mit der zunehmenden Anzahl von Sensoren und neuen Technologien auf dem Markt immer komplexer und zeitaufwendiger wird, ist es für Ingenieure von entscheidender Bedeutung, effiziente Software-Frameworks zu finden, die sie während des gesamten Projektverlaufs begleiten können – vom Rapid Prototyping bis hin zum endgültigen Einsatz. dSPACE liefert mit RTMaps ein leistungsstarkes, modulares und zuverlässiges Software-Werkzeug für die Entwicklung und Ausführung, das den Arbeitsaufwand der Teams und die damit verbundenen Kosten drastisch reduzieren kann.

**KATECH** ist ein Forschungsinstitut, das an Spitzentechnologien zu hochaktuellen Themen arbeitet. Um an die Grenzen gehen zu können, braucht KATECH moderne und flexible Werkzeuge. Im Bereich der intelligenten und umweltfreundlichen Fahrzeugtechnologien hat KATECH beschlossen, RTMaps (Real-time Multisensor Applications) als vielseitige Entwicklungsumgebung einzusetzen, um die Projektfortschritte zu beschleunigen.



„RTMaps ist ein Tool, das Daten von vielen Sensoren für ADAS wie Lidar, Kameras, ADASIS v3.0 map, GNSS usw. einfach und effektiv synchronisieren kann. Dies ist für uns von entscheidender Bedeutung, da wir die komplexe Navigationslösung für Systeme für autonomes Fahren entwickeln. Mit RTMaps konnten wir es für die Forschung und Entwicklung vieler nationaler Projekte nutzen.“

*Yui Hwan Sa, Forscher für die Entwicklung von Navigationslösungen,  
KATECH (Korea Automotive Technology Institute).*



„Die Erfolge unserer Kunden belegen, dass dSPACE als Partner für Simulation und Validierung stets an Ihrer Seite ist und sein wird.“

Liebe Leserinnen und Leser,

das Konzept des Automobils wird neu definiert: Der steigende Anteil von Software formt Fahrzeuge zu digitalen Ökosystemen mit unendlichen technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten. Elektronik- und Software-Architekturen werden neu gedacht, Betriebssysteme weiterentwickelt, Cloud-Lösungen eingeführt, Software-Update-Strategien entwickelt. Das klingt komplex – und ist es auch. Vor allem auch wegen der stringenten Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen. Auf der dSPACE World Conference 2023 am 24. und 25. Mai in München werden wir unseren Kunden und allen Interessierten zeigen, wie dSPACE Ihre Projekte konsequent durch enge Partnerschaften und die Steigerung seiner Investitionen in innovative Simulations- und Absicherungslösungen unterstützt und zuverlässig zum Erfolg führt. Dazu möchte ich Sie heute herzlich einladen.

Überzeugen Sie sich schon jetzt, wie unsere Kunden komplexe Herausforderungen gemeinsam mit dSPACE meistern. Das chinesische Start-up-Unternehmen INCEPTIO Technologies berichtet, wie es mit einer Kombination aus realen und simulierten Sensordaten den gewünschten Reifegrad seines für das vollautomatisierte Fahren konzipierten Steuergeräts erreicht. Mit einer Flotte autonom fahrender Lkw konnte INCEPTIO mittlerweile über 6 Millionen Kilometer im kommerziellen

Betrieb erfolgreich zurücklegen. Die sensorrealistischen Simulationen mit AURELION und performantes Data Replay mit SCALEXIO ermöglichen solche Erfolge, wie das Unternehmen auf Seite 12 berichtet.

Den Siegeszug der Elektroautos erleben wir sowohl auf den Straßen als auch in den Entwicklungsabteilungen der Automobilindustrie. Die Nachfrage nach Simulations- und Validierungslösungen für die Elektromobilität hat im letzten Jahr all unsere Erwartungen übertroffen und zeigt, dass hier sehr viel Potential ist. Auch für 2023 haben unsere Kunden schon viele Aufträge und Projekte für Hochvoltssysteme, Batteriemanagement (BMS)-Simulatoren und Lade-Lösungen platziert. Ganz neu ist jedoch, dass wir gemeinsam mit unserem Partner KPIT Technologies nun auch eine Möglichkeit geschaffen haben, die Entwicklung von BMS schon in frühen Phasen per Software-in-the-Loop (SIL) abzusichern. Wie dies erreicht werden kann und welche Effizienz im Entwicklungsprozess dabei zu erwarten ist, beschreibt KPIT Technologies in dem Bericht auf Seite 32. Diese und viele andere Erfolge belegen, dass dSPACE als Partner für Simulation und Validierung stets an Ihrer Seite ist und sein wird.

Ihr Martin Goetzeler



CRRG | SEITE

42



FAW HONGQI | SEITE

16

UNIVERSITY OF  
ILLINOIS | SEITE

28

## 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: Björn Gaentzsch, Dr. Stefanie Koerfer,  
Ralf Lieberwirth, Lena Mellwig, Ulrich Nolte,  
Patrick Pohsberg, Dr. Gerhard Reiß, Sonja Ziegert

Redaktionelle Mitarbeit an dieser Ausgabe:  
Alicia Garrison, Klaus Oertel

Korrektur und Übersetzung:  
Robert Bevington, Anna-Lena Huthmacher,  
Stefanie Luedeking, Julie Pollington

Gestaltung und Layout:  
Jens Rackow, Sabine Stephan

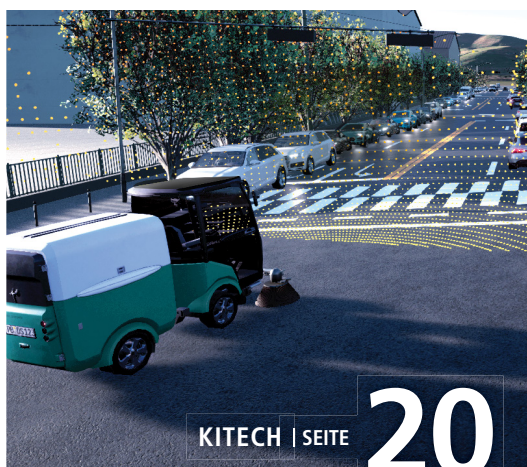
Druck:  
Media-Print GmbH, Paderborn

© 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](http://www.dspace.com/go/warenzeichen). Andere Markennamen und Produktnamen sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der entsprechenden Unternehmen oder Organisationen.

# Inhalt



KITECH | SEITE

20



BMS-TESTLÖSUNG | SEITE

44

3 EDITORIAL

## Kundenanwendungen

6 RENAULT

### Effizienter Laden

Hochdynamisches Validierungssystem für ein Onboard-Ladegerät

12 INCEPTIO TECHNOLOGY

### Lösen von realen Problemen in der virtuellen Welt

INCEPTIO Technology setzt dSPACE Lösungen zur Validierung von autonomen Lkw für den Fernverkehr ein

16 FAW HONGQI

### In Ordnung, Phil?

FAW Hongqi setzt auf eine Vehicle-in-the-Loop (VIL)-Simulationslösung zur Validierung von realen Fahrzeugen

20 KITECH

### Self-Kehr

Validierung autonomer Straßenreinigungsmaschinen

24 KEB

### Virtuell realisiert

Entwicklung von Maschinen mit Hilfe eines digitalen Zwillings

28 UNIVERSITY OF ILLINOIS

### Intelligente Leistungselektronik

Vorantreiben eines neuen Energieparadigmas durch Prototyping und Simulation

32 KPIT

### Virtuell schneller

KPIT testet Batteriemanagementsysteme mit Software-Simulation

38 PTV VISSIM

### Mehr Realität im virtuellen Verkehr

Detaillierte Fahrzeugsimulation gekoppelt mit detaillierter Verkehrssimulation

42 CRRC

### Datenmanagement treibt E-Mobilität voran

Mit cleverem Datenmanagement in SYNECT die Entwicklung von Elektroantrieben verbessern

## Produkte

44 BMS-TESTLÖSUNG

### BMS-Tests auf neuem Niveau

Umfassende Lösung für den Test von Batteriemanagementsystemen

46 DATENGETRIEBENE ENTWICKLUNG

### Angetrieben von Daten

Sensordaten treiben die Entwicklung von Funktionen für das autonome Fahren voran

50 ADAS/AD

### Sicherheit ganzheitlich denken

Der Einfluss der Fahrdynamik auf die funktionale Sicherheit von ADAS/AD

## Business

54 UNDERSTAND.AI

### Automatische Annotationen

Die Automatisierung des datengetriebenen Entwicklungsprozesses wird zum Enabler für das autonome Fahren, so Jürgen Daunis, CEO von understand.ai

58 VERIFICATION-VALIDATION-METHODS

### Autonome Fahrzeuge systematisch testen

Projekt erarbeitet verlässliche Validierungs- und Verifikationsmethoden

60 INDY AUTONOMOUS CHALLENGE

### Kopf-an-Kopf-Rennen mit KI

Internationale Studierenden-Teams treten mit autonomen Rennwagen gegeneinander an – die besten Algorithmen gewinnen.



# Effizienter Laden

Hochdynamisches Validierungssystem für ein Onboard-Ladegerät



Mit dem neuen Megane E-TECH Electric präsentiert der französische Automobilhersteller Renault den ersten Vertreter einer neuen Generation von Elektrofahrzeugen. Das Kompaktklassemodell auf Basis der neu entwickelten CMF-EV-Plattform vereint die gesamte Kompetenz von Renault als Pionier einer alltagstauglichen und erschwinglichen Elektromobilität in sich. Um diesen Ansprüchen auch bei der Onboard-Ladetechnik gerecht zu werden, setzt das Unternehmen auch bei der Leistungselektronik auf eine hocheffiziente und kompakte Topologie. Die Entwicklung des Onboard-Ladegeräts, bestehend aus einem Vienna-Gleichrichter und zwei DC/DC-Wandlern, übernahm Renault selbst. Um das Steuergerät frühzeitig testen zu können, setzt Renault auf das Know-how von dSPACE.



Bildnachweis: © Renault



Bildnachweis: © Renault

4 00.000 in Europa verkaufte E-Fahrzeuge in den letzten zehn Jahren sind der beste Beweis für die Elektro-Expertise eines Unternehmens; vor allem mit dem Zoe ist Renault in vielen Ländern Marktführer. Bis zu 470 Kilometer Reichweite im WLTP (Worldwide Harmonised Light-Duty Vehicles Test Procedure)-Prüfzyklus, der mit 11,0 Zentimeter Höhe schlankste Akku auf dem Markt und die größte Info-Display-Fläche in einem Fahrzeug der Kompaktklasse sind nur einige der Highlights, mit denen der Megane E-TECH Electric die Grenzen für batterieelektrische Fahrzeuge neu definiert. Angeboten wird das Elektromodell in zwei Leistungsstufen: 96 kW / 131 PS und 160 kW / 218 PS. Auch die Batterie ist in zwei Kapazitätsstufen verfügbar: 40 kWh und 60 kWh. Dabei lassen sich die Akkus mit verschiedenen Leistungen und Stromstärken laden, darunter je nach Version auch an Gleichstrom-Schnellladestationen mit bis zu 130 kW. Dank eines ölgekühlten Synchronmotors der neuen Generation mit gewickeltem Rotor konnte auf Magnete mit seltenen Erden verzichtet werden. Renault und dSPACE pflegen eine langjährige Partnerschaft, die bis in die frühen 2000er Jahre zurückreicht, als dSPACE Equipment hauptsächlich für Verbrennungsmotoren, Getriebe und Fahrdynamikregelungen eingesetzt wurde. Es lag nahe, auch bei den neuen Fahrzeugkonzepten auf dSPACE zu setzen.

Im Zuge der Umstellung auf E-Mobilität hat Renault zahlreiche dSPACE

Hardware- und Modellierungslösungen eingeführt, darunter auch FPGA (Field Programmable Gate Array)-Modellierung für Wechselrichter. Neben der Validierung des Ladevorgangs nutzt Renault HIL-Prüfstände für elektrische Antriebsstränge und Batteriemanagementsysteme, die speziell auf die Renault-Batteriearchitektur zugeschnitten sind.

#### Entwicklung des Onboard-Ladegeräts

Renault hat sich bei der Architektur seiner Ladelösung für eine effiziente und moderne Lösung entschieden, einerseits um Flexibilität für den Endkunden zu ermöglichen, andererseits aber auch, um die gängigen nationalen und internationalen Vorschriften hinsichtlich der Netzqualität einhalten zu können. Hierfür wird auch auf neuartige Halbleiter gesetzt, die durch höhere Schaltfrequenzen von bis zu 200 kHz die Effizienz steigern und den Bauraum reduzieren.

Neben Gleichstrom-Schnellladen, bei dem die Leistungselektronik in der Ladesäule verbaut ist, wird beim Laden mit Wechselstrom ein im Fahrzeug verbautes Ladegerät verwendet. Letzteres erlaubt das Aufladen der Batterie an einer herkömmlichen einphasigen Steckdose mit 2,3 kW oder an einer dreiphasigen Wallbox mit 22 kW. Zum Laden der Batterie ist ein Gleichstrom erforderlich, der aus dem Netzwechselstrom gewandelt werden muss. Hierbei spielt der Wirkungsgrad des Ladesystems eine essentielle Rolle, wodurch der Wahl der Wandlertopo- >>

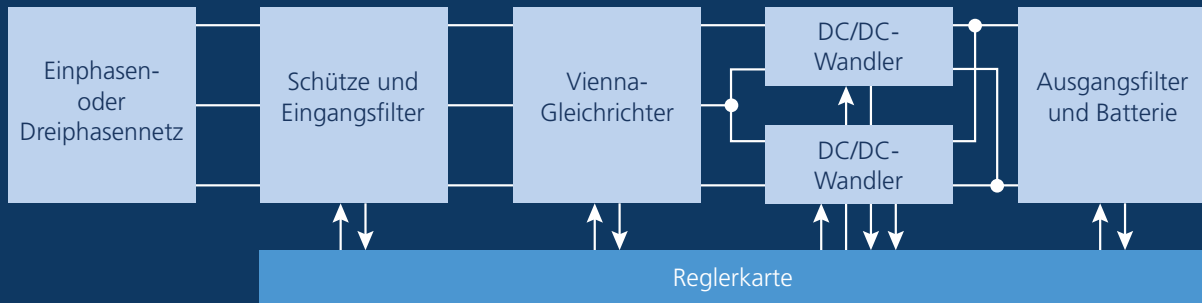


Abbildung 1: Prinzipschema des OBC-Systems mit Eingangs-/Ausgangsfilter, Vienna-Gleichrichter und DC/DC-Wandler.

logie eine besondere Bedeutung zukommt. Hierfür hat sich Renault für einen zweistufigen Aufbau des Ladesystems entschieden. Für die Gleichrichtung und Sicherstellung der Anforderungen durch den Netzbetreiber wird ein Vienna-Gleichrichter eingesetzt. Bei diesem Gleichrichtertyp handelt es sich um einen unidirektionalen, dreiphasigen, aktiven Gleichrichter, mit dem ein Wirkungsgrad von 99 % und mehr erreicht werden kann. Anders als Boost-PWM-Gleichrichter arbeitet die Vienna-Topologie mit drei Pegeln, was die Anforderungen an die Induktivitätswerte verringert und die Spannungsbelastung der Schaltbausteine halbiert. Dies wiederum kommt dem Wirkungsgrad und der Leistungsdichte zugute. Gegenüber herkömmlichen Gleichrichtern bietet der Vienna-Gleichrichter folgende Vorteile:

- Bessere Leistungsfaktorkorrektur (Power Factor Correction, PFC) mit besserer Netzqualität nach EN 61000-3-2
- Reduzierte Oberschwingungsströme
- Stromausgleich zwischen den Phasen und geringere Belastung der leistungselektronischen Komponenten

### Validierungsprozess und HIL-Simulation

Renault setzt seit langem die HIL-Simulation zur Validierung von Steuergeräte-Software ein, insbesondere im Bereich Powertrain bei Benzin-, Diesel-, Elektro- und Hybridfahrzeugen, aber auch bei anderen Steuergeräten. Im Laufe der Jahre wurde die HIL-Validierung immer weiter ausgebaut und damit die Tests am Fahrzeug stark ergänzt. Allein im Bereich Antriebsstrang betreibt Renault derzeit 40 HIL-Prüfstände in seinem Titu Technical Center nahe Bukarest, Rumänien (Abbildung 2). Das Titu Technical Center ist Teil von Renault Technologie Roumanie (RTR), einem Forschungs- und Entwicklungszentrum der Renault-Gruppe. Das Onboard-Ladesystem wurde komplett von Renault entwickelt, sowohl was die Hardware als auch die Software des Steuergerätes betrifft. Der Validierungsprozess begann schon in einer frühen Entwicklungsphase mit einer topologieorientierten Offline-Simulation auf Grundlage von Model-in-the-Loop (MIL) und Software-in-the-Loop (SIL). Bevor die echte Leistungselektronik zur Verfügung stand, wurde

die Steuerplatine bereits mit einem HIL-Testsystem auf Herz und Nieren geprüft.

Die Validierung auf einem HIL-Prüfstand bietet allgemein viele Vorteile. Sie ist kostengünstiger als ein Prototypfahrzeug, da die HIL-Prüfstände generisch sind und für die meisten Antriebsstrangprojekte konfiguriert werden können. Ferner verkürzt sich die Entwicklungszeit, da die Validierungslast auf mehrere Prüfstände und Personen verteilt werden kann. Ein weiterer Pluspunkt des HIL-Prüfstands ist eine höhere Produktivität, denn Software-Tests sind bereits vor der Verfügbarkeit der realen Komponenten möglich. Neben dem Aspekt der Sicherheit und Flexibilität gegenüber einem realen Fahrzeug punkten HIL-Systeme auch bei Reproduzierbarkeit und automatisierten Tests.

Die HIL-Simulation von leistungselektronischen Schaltungen auf Signalebene bietet gegenüber Tests an Prototypen Vorteile unter anderem hinsichtlich der Sicherheit, da die hohen Spannungen und Ströme lediglich Simulationsgrößen sind. Dies erlaubt auch die gezielte Simulation von Fehlerfällen ohne Zer-





## Stromqualität

In Europa fordert die EN 61000-3-2, dass die Leistungsfaktorkorrektur in Großverbraucherprodukte eingebaut wird. Die Norm EN 61000-3-2 bezieht sich auf Oberschwingungsströme, die von elektrischen und elektronischen Geräten verursacht werden, deren Eingangsstrom kleiner oder gleich 16 A ist. Außerdem müssen die Geräte zum Anschluss an öffentliche Niederspannungsnetze vorgesehen sein. In der Norm EN 61000-3-2 werden eindeutige Grenzen für die Oberschwingungsströme festgelegt. Dabei werden alle elektrischen oder elektronischen Geräte, die unter die Norm EN 61000-3-2 fallen, in die Klassen A bis D eingeteilt.



Bildnachweis: © Renault

„Zwischen Renault und dSPACE besteht eine langjährige Zusammenarbeit. Als zuverlässiger Partner hat Renault von den HIL-Prüfständen, den innovativen Hardware-Lösungen und den sehr schlanken Software-Suits und -Bibliotheken von dSPACE profitiert.“

Stefan-Valentin Popescu, Renault

störung von Hardware-Prototypen.

### Herausforderung: hochdynamische Leistungselektronik

Die HIL-Validierung für das neue Onboard-Ladesystem stellte die Renault-Entwickler vor besondere Herausforderungen, die sich von denen der meisten früheren HIL-Anwendungen deutlich unterscheiden.

Insbesondere durch die Schaltfrequenz von 140 kHz des Vienna-Gleichrichters und die des DC/DC-Wandlers von 200 kHz resultieren hohe Anforderungen an die HIL-Simulation, deren Abtast- und Reaktionszeiten deutlich unter 1  $\mu$ s liegen muss. Zum Vergleich: Bei Verbrennungsmotoren liegt die Abtastzeit in der Regel bei 1 ms. Die besondere Herausforderung besteht darin, dass das dynamische Verhalten

der sehr komplexen leistungselektronischen Schaltung innerhalb der kurzen Abtastzeiten berechnet werden muss.

Vor diesem Hintergrund war es für die Entwickler schnell klar, dass eine Simulation aufgrund der hohen Schaltfrequenzen auf den vorhandenen prozessorbasierten SCALEXIO-HIL-Prüfständen nicht durchführbar sein würde. Daher wurden die Prüfstände mit FPGA-Boards von dSPACE ergänzt, die sich für derartige Echtzeitanwendungen besser eignen.

### Realisierung eines hochdynamischen Absicherungssystems

Die Architektur der HIL-Umgebung wurde modularisiert, das heißt, das Onboard-Ladesystem wurde in seine Funktionsgruppen unterteilt. Einzelne

Modelle für das Netz, die Schütze und den Eingangfilter, den Vienna-Gleichrichter, die beiden DC/DC-Wandler und den Ausgangsfilter und die Batterie wurden erstellt.

Für die Simulation des Netzes einschließlich der Schütze und eines komplexen Filternetzes wurde zur einfachen Umsetzung mittels topologieorientierter Modellierung das dSPACE Electrical Power Systems Simulation Package (EPSS) eingesetzt. Aufgrund der hohen Schaltfrequenzen der leistungselektronischen Schaltungen waren geschwindigkeitsoptimierte FPGA-Implementierungen notwendig. Die Modelle für den Vienna-Gleichrichter und die DC/DC-Wandler mit Ausgangsfilter und Batterie wurden von dSPACE entwickelt und implementiert. Alle Modelle sind in der Lage, die für das

>>



Abbildung 2: Das am 15. September 2010 eingeweihte Titu Technical Center in Rumänien ist das zweite Testzentrum der Renault-Gruppe weltweit und hat eine Fläche von ca. 350 ha. Auf der Anlage werden Fahrzeuge und Antriebskomponenten der Renault-Gruppe getestet.

Das DS6602 FPGA Base Board ist mit einem der größten FPGA der Kintex®-UltraScale™-Familie von Xilinx® ausgestattet. Sein zusätzlicher Onboard-RAM ermöglicht die Speicherung sehr großer Datensätze, zum Beispiel von Modellparametern, die für anspruchsvolle Simulationen gerade im Bereich der elektrischen Antriebe benötigt werden. Das DS6602 verfügt über vier Multi-Gigabit-Transceiver (MGT), die eine sehr schnelle Kommunikation ermöglichen. Zusätzlich lassen sich mehrere Boards über das Kabel für die interne FPGA-Kommunikation miteinander verbinden, um den direkten Datenaustausch zwischen FPGA-Stacks zu ermöglichen.



Modul geforderte hohe Dynamik genau zu simulieren und bieten vorbereitete Schnittstellen zur Kopplung der Teilmodelle.

Der modulare Aufbau der einzelnen Topologien ermöglichte eine schrittweise und systematische Inbetriebnahme. Die Modelle wurden auf drei FPGA Base Boards implementiert. Für einen latenzarmen Austausch von Signalen wie Zwischenkreisspannungen und -strömen zwischen den Modellen wurden die FPGA-Boards über eine schnelle Inter-FPGA-Kommunikation direkt im HIL-Simulator gekoppelt. Die PWM- und Steuerrückmeldungen wiederum wurden mit FPGA-Multi-I/O-Modulen erfasst, die direkt mit den FPGA Base Boards verbunden sind. Alle Modellierungsansätze verwendeten dabei sogenannte Zustandsraumdarstellungen, um die verschiedenen Schaltzustandskombinationen zu be-

schreiben. Um jedoch den bestmöglichen Kompromiss zwischen Simulationengenauigkeit und FPGA-Ressourcenverbrauch zu erreichen, wurden verschiedene Arten von Schaltermodellen verwendet. Die idealen und resistiven Schaltermodelle ermöglichen schnelle und sehr präzise Modelle, erfordern aber einen hohen Speicher- und Ressourcenverbrauch [EPE2021]. Die Modelle für die Schütze, den Eingangsfiler und die DC/DC-Wandler verwenden diese Ansätze. Ein induktives/kapazitives Schaltermodell ermöglicht die Simulation komplexer Schaltungen mit vielen Halbleiterbauelementen wie dem Vienna-Gleichrichter in dieser Anwendung [PCIM2020].

**Ergebnisse der Absicherung**

Die Messergebnisse der Closed-Loop-Simulation des Onboard-Ladesystems sind in Abbildung 4 dargestellt. Bei

“Selbst ein Vienna-Gleichrichter mit hohen Schaltfrequenzen von bis zu 140 kHz kann mit dem hochdynamischen Absicherungssystem von dSPACE akkurat in Echtzeit dargestellt werden.”

*Adrian Vlad, Renault*

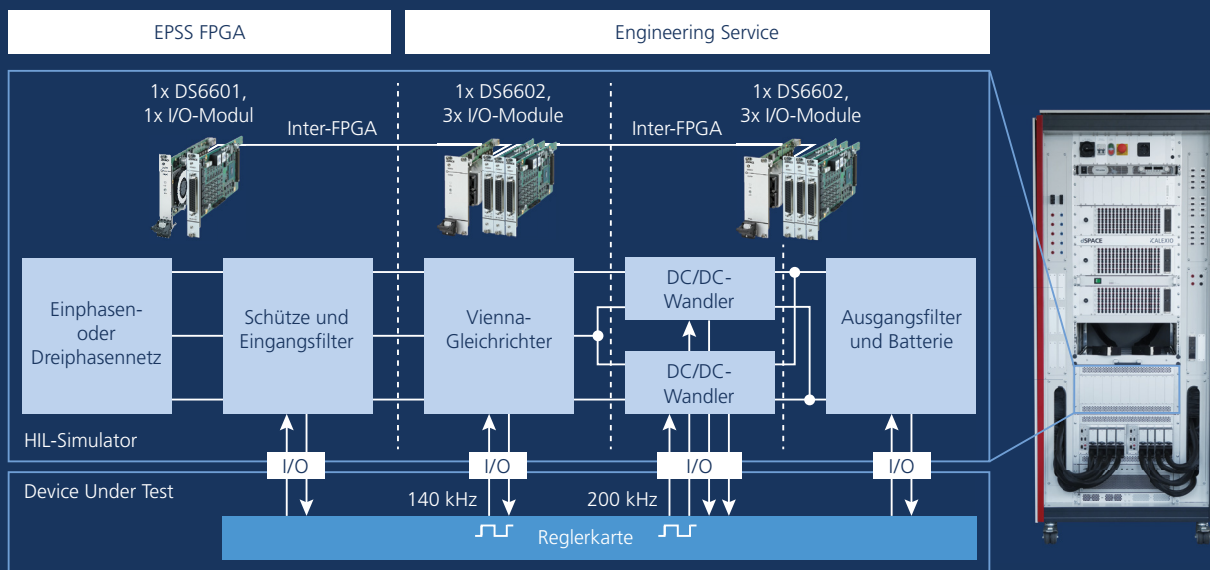


Abbildung 3: Die Architektur der HIL-Umgebung wurde modularisiert, das heißt, das Onboard -Ladesystem wurde in seine Funktionsgruppen unterteilt.

$t=0,1$  s wird der Ladevorgang aktiviert und ein Batteriestrom von 5 A angefordert. Während einer kurzen Anlaufsequenz wird zuerst die Steuerung der DC/DC-Wandler und danach die Steuerung des Vienna-Gleichrichters aktiviert. Nach dieser Sequenz wird der angeforderte Strom in die Batterie eingespeist. Die Regler für die DC/DC-Wandler sorgen dafür, dass der gewünschte Strom genau eingestellt wird. Bei  $t=0,75$  s und  $t=1,75$  s wird der Ladestrom weiter erhöht – von 5 A auf 10 A und dann auf 20 A. Die Verbindungen der Leistungselektronikschaltungen werden in der Multi-FPGA-Simulation des Onboard-Ladesystems gut berücksichtigt. Erhöht man beispielsweise den Batteriestrom, so steigt die Ladeleistung, so dass die Versorgungsnetzströme – die auf einem anderen FPGA simuliert werden – entsprechend steigen müssen. Der Regler des Vienna-Gleichrichters regelt diese Ströme und sorgt dafür, dass sie mit den Netzspannungen in Phase sind.

### Bewertung und Fazit

Als Renault beschloss, das Steuergerät für sein Onboard-Ladegerät zu validieren, waren die Entwickler von den Vorteilen der HIL-Simulation auf Signalebene überzeugt. Da kein Prototyp der leistungselektronischen Schaltung erforderlich ist und die hohen Ladeströme und -spannungen nur Simulationsgrößen sind, können die Tests bereits in einem frühen Stadium des Entwicklungsprozesses durchgeführt werden. Mit dem dSPACE Know-how, umfassenden Ansätzen und Simulationsmodellen für die Leistungselektronik in Kombination mit den neuesten FPGA-Plattformen konnte Renault ein neu entwickeltes Onboard-Ladesystem erfolgreich validieren, das nun auch bei den hohen Schaltfrequenzen des verwendeten Vienna-Gleichrichters stabil und zuverlässig läuft. ■

*Stefan-Valentin Popescu, Adrian Vlad,  
Renault*

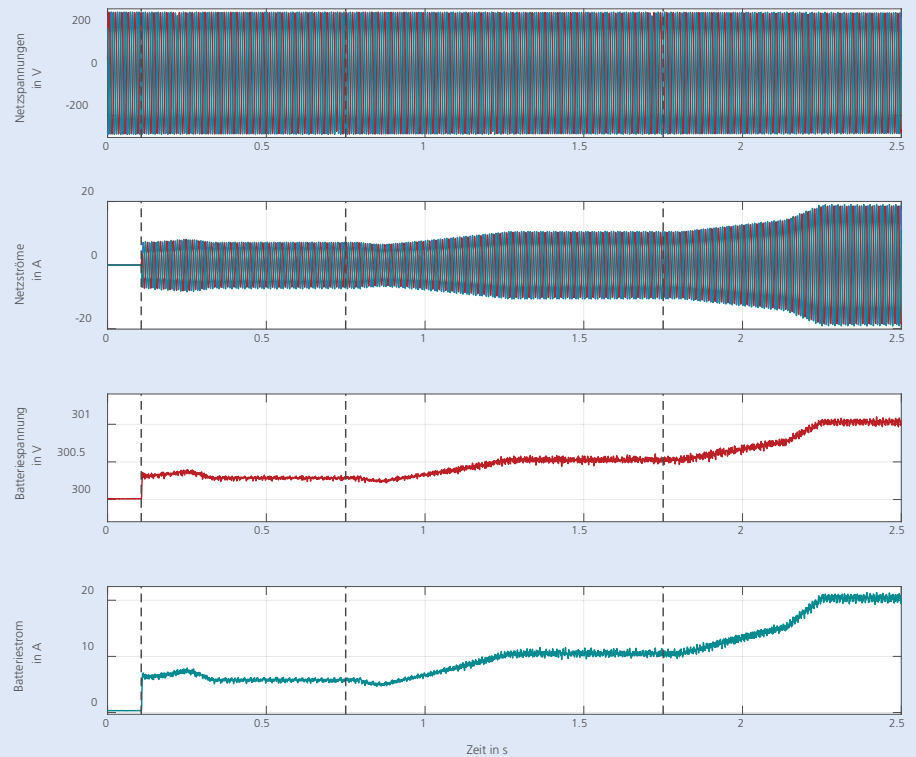


Abbildung 4: Messergebnisse aus der Closed-Loop-Simulation des Onboard-Ladesystems.

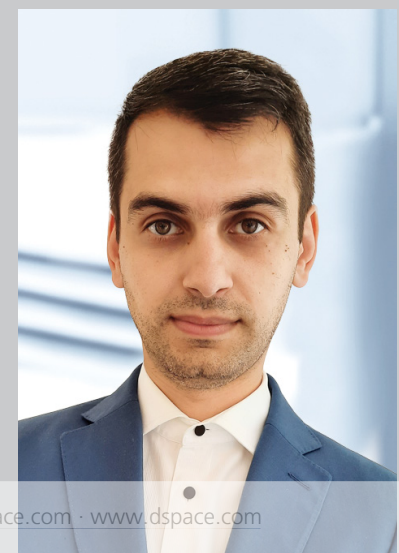
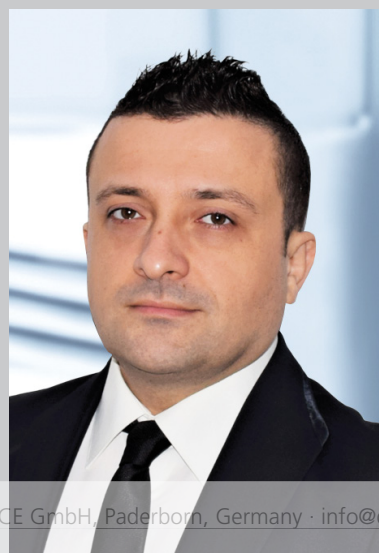


#### Stefan-Valentin Popescu

Stefan-Valentin Popescu ist HIL-Referent in der Abteilung Powertrain Software Validation bei Renault Technologie Roumanie im Titu Technical Center.

#### Adrian Vlad

Adrian Vlad ist HIL-Pilot in der Abteilung Powertrain Software Validation bei Renault Technologie Roumanie im Titu Technical Center.





Das Start-up-Unternehmen INCEPTIO Technology verwirklicht eine ehrgeizige Vision. Das Unternehmen entwickelt eine intelligente und effiziente Flotte autonomer Lastwagen für den Transport kommerzieller Lieferungen auf den Autobahnen Chinas – und in Zukunft vielleicht auch in anderen Regionen.

Dieses monumentale Unterfangen hängt von einer Schlüsseltechnologie ab. Die Entwicklung eines vollständigen Systems für das autonome Fahren (ADS), das in eine Lkw-Flotte integriert werden kann, um selbstfahrende Fahrten auf offenen Autobahnen zu ermöglichen. INCEPTIO entwickelt ein ADS, um solche kommerziellen Operationen zu unterstützen, und arbeitet außerdem an der Feinabstimmung der Onboard-Software und der Cloud-Dienste. „Unsere Aufgabe ist es, durch die Entwicklung branchenführender Technologien für das autonome Fahren eine sicherere und effizientere Langstreckenlogistik für Lkw zu schaffen“, sagte Lydia Zhu, PR Director bei INCEPTIO. „Unsere Technologien und Systeme werden in den serienmäßigen autonomen Lkw vorinstalliert sein.“

#### Plattform für selbstfahrende Computer

Das ADS empfängt eine große Menge



Die INCEPTIO-Technologie hat bis Ende August 2022 über 6 Millionen Kilometer im kommerziellen Betrieb zurückgelegt.



# Lösen von realen Problemen in der virtuellen Welt

INCEPTIO Technology setzt dSPACE Lösungen zur Validierung von autonomen Lkw für den Fernverkehr ein

an Daten von angeschlossenen Perceptionssensoren (Kamera, Lidar und Radar) und führt verschiedene Rechenaufgaben aus, darunter Perception, Vorhersage, Lokalisierung, Planung, Routenplanung und Steuerung.

„Diese Aufgaben beantworten dem Fahrzeug zur Laufzeit Fragen wie ‘Wo bin ich?’, ‘Was befindet sich in meiner Umgebung?’ und ‘Wohin soll ich fahren?’“, so Dexin Li, System Architect, Autonomy Platform, INCEPTIO Technology. „Dadurch werden Fahrzeugsteuerungsbefehle vom ADS generiert

und über die CAN-Schnittstellen zeitnah an das Fahrzeug gesendet.“

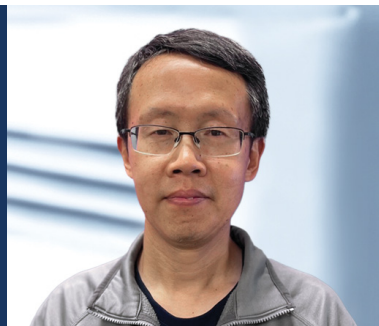
Die auf dem ADS laufende Software besteht aus Anwendungssoftware für Algorithmen der künstlichen Intelligenz (KI), Laufzeit-Middleware für die Bereitstellung von Software-Funktionen und On-Board-Kommunikation sowie Firmware für die Hardware-Unterstützung. Außerdem gibt es spezielle Hardware- und Software-Komponenten zur Überwachung und Verwaltung der funktionalen Sicherheit und der Cybersicherheit des Systems.

## Einrichten einer komplexen, virtuellen Umgebung

Da es kostspielig ist, Hardware- und Software-Validierungen an Flotten durchzuführen, die in der realen Welt betrieben werden, und Hardware- und Software-Probleme oft zu spät entdeckt werden, hat INCEPTIO die strategische Entscheidung getroffen, reale und synthetische Daten für die Entwicklung von Algorithmen und das Training von Modellen der künstlichen Intelligenz (KI) zu verwenden. Mit Hilfe eines sensorrealistischen Simulations- >>

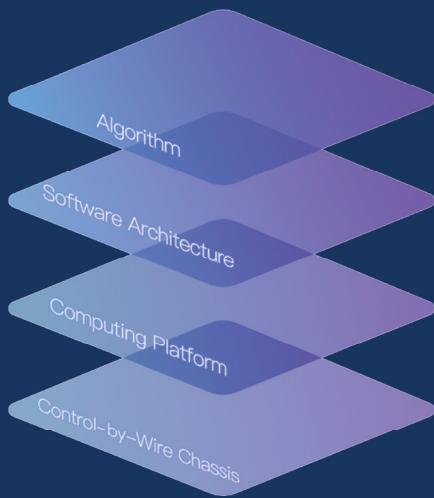
„Der Aufbau einer komplexen virtuellen Umgebung zur Validierung des autonomen Fahrens ist nicht trivial. Wir wussten, dass wir für die Entwicklung externe Ressourcen und Fachwissen benötigen würden, also wandten wir uns an dSPACE.“

*Dexin Li, System Architect, Autonomy Platform, INCEPTIO Technology*

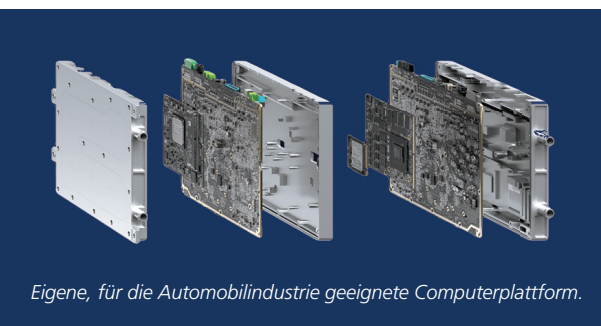




INCEPTIO Technology hat die fahrerlosen Straßentests mit einem Prototyp des autonomen L4-Lkw abgeschlossen.



System für vollständig autonomes Fahren.



Eigene, für die Automobilindustrie geeignete Computerplattform.

ansatzes generieren die Entwickler nützliche Daten zu wesentlich geringeren Kosten, um ihr System in der frühen Entwurfsphase zu validieren. Laut Zhu werden diese Daten INCEPTIO nicht nur dabei helfen, seine Betriebs-szenarien und Kundenbedürfnisse besser zu verstehen, sondern sie werden dem Unternehmen auch dabei helfen, seine eigene Technologie in einer realen Umgebung zu validieren, einschließlich zukünftiger Iterationen auf dem Weg dorthin.

Eines ihrer Testfahrzeuge ist mit drei Lidars, sieben Kameras und fünf Radaren ausgestattet. Um die während der Produktentwicklung und der Algorithmenstudie gesammelten Sensordaten optimal zu nutzen, kombiniert INCEPTIO reale Daten mit einer virtuellen Welt, in der Studien, Auswahl und Analysen des Systemverhaltens durchgeführt werden können.

„Dies wiederum hilft uns, die Kosten für die Lösung realer Probleme zu senken, und ermöglicht, Fehlerfälle gründlich und wiederholt zu untersuchen“, erklärte Li. „Die Einrichtung einer so komplexen virtuellen Umgebung ist nicht trivial. Wir wussten, dass wir für die Entwicklung externe Ressourcen

und Fachwissen benötigen würden, also wandten wir uns an dSPACE.“ INCEPTIO setzt ein dSPACE SCALEXIO Hardware-in-the-Loop (HIL)-System, Automotive Simulation Models (ASM), Sensor Simulation (AURELION) und eine dSPACE Environment Sensor Interface (ESI) Unit zusammen mit verschiedenen anderen dSPACE Werkzeugen ein, um sein ADS zu entwickeln, zu testen und zu validieren.

„Der SCALEXIO HIL ist eine ideale Plattform für den Aufbau einer Systemvalidierungsumgebung“, so Li. „Wir haben einen praktischen Ansatz gefunden, indem wir die Datenwiedergabeserver für verschiedene Sensoren und unser ADS mit der Environment Sensor Interface (ESI) Unit verbinden, die wiederum die realen Sensordaten in der HIL-Simulation wiedergibt und uns hilft, unser ADS zu validieren.“

#### Projektstatus und Zukunftspläne

Das Projekt von INCEPTIO befindet sich derzeit in der Durchführungsphase. Bisher hat das Start-up einen Plan für die Sensorsimulation und Datenwiedergabe erstellt, und seine Ingenieure haben das dSPACE HIL-System intensiv genutzt, um die Hardware-Validierung und die Fahrzeugkommunikation sowie die Validierung der Steuerung, des autonomen Fahrmodus und der Over-the-Air (OTA)-Validierung durchzuführen. „Das System funktioniert gut“, berichtet Li. „Wir haben dSPACE Werkzeuge in verschiedenen Testfällen für die Fahrzeugsteuerung und die Fahrzeugkommunikation eingesetzt. Wir sind sehr zufrieden mit der Leistung des dSPACE HIL-Systems.“

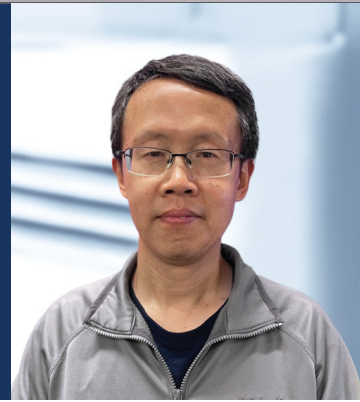
Für die Zukunft plant INCEPTIO den verstärkten Einsatz von ESI Units in Verbindung mit den Simulationsmodellen von dSPACE, um mehr sensorrealistische Umgebungssimulationen mit kritischen Verkehrssituationen zu simulieren. Der Aufbau eignet sich

“Wir sind sehr zufrieden mit der Leistung des dSPACE Hardware-in-the-Loop (HIL)-Systems.“

Dexin Li, System Architect, Autonomy Platform, INCEPTIO Technology

“Wir fanden einen praktischen Ansatz, indem wir die Datenwiedergabeserver für verschiedene Sensoren und unser autonomes Antriebssystem (ADS) mit der Environment Sensor Interface (ESI) Unit verbinden, die wiederum die realen Sensordaten in der HIL-Simulation wiedergibt und uns hilft, unser ADS zu validieren.”

*Dexin Li, System Architect, Autonomy Platform, INCEPTIO Technology*



auch zur Durchführung eines „All-Features-Checks“ und damit verbundener Fehlerinjektionstests wie der Sensorabschaltung zur Verifikation der ADS-Hardware.

Mit der kontinuierlichen Erweiterung der Fahrscenarien generiert INCEPTIO realistische Lkw-Fahrbedingungen unter verschiedenen Umweltsimulationen wie Straßenschäden, verschiedenen Straßenrandstrukturen und wechselndem Wetter. Die Tests umfassen auch klassische Pannen wie platte Reifen. Auch wird das Global Navigation Satellite System (GNSS) Simulator Interface Blockset von dSPACE eingesetzt, das mit dem HIL verbunden ist, um GNSS-Testscenarien und -Signale zu simulieren und zu steuern.

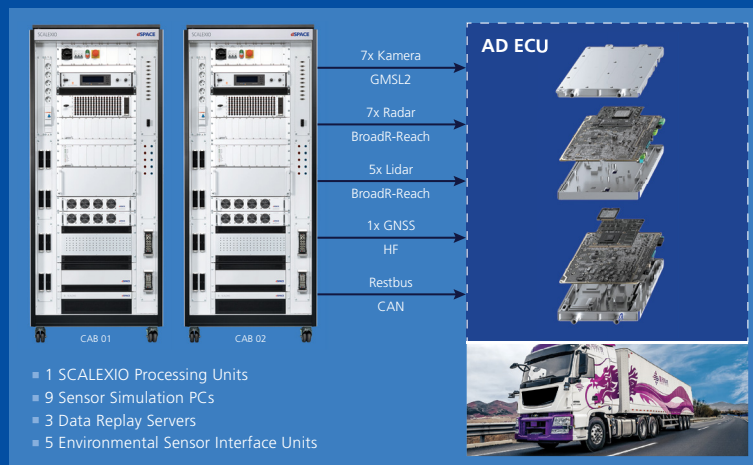
Schließlich plant INCEPTIO den Einsatz der Multisensor-Software RTMaps von Intempora zur Erfassung von Sensorströmen und CAN-Umgebungssignalen aus Lkw-Tests. Die Daten werden dann auf demselben HIL-System abgespielt, um die gleichen Bedingungen wie im Testfahrzeug zu reproduzieren.

### Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die dSPACE Simulationssoftware in Kombination mit den Hardware-Schnittstellen eine leistungsstarke Lösung darstellt, um die Effizienz der Systemvalidierung zu verbessern, indem sie Simulations- und Wiederholungsfunktionen sowohl auf Fahrzeug- als auch auf Sensorebene bietet. Mit der wei-

teren Nutzung dieser Fähigkeiten will INCEPTIO die Kosten senken und die Produktqualität seiner Systeme für

autonom fahrende Lkw verbessern. ■  
Mit freundlicher Genehmigung von INCEPTIO Technology



### Aufgabe

- Hardware-in-the-Loop-Test von AD-Lkw-Funktionen

### Herausforderungen

- Validierung autonomer Lkw mit KI-basierter zentraler ECU
- Simulation und Datenwiedergabe von 20 Umgebungssensoren
  - 5 Lidarsensoren
  - 7 Radarsensoren
  - 7 Kameras
  - 1 GNSS

### Lösung

- SCALEXIO Hardware-in-the-Loop-Simulator
- Sensorsimulation über physikalisch basierte Sensormodelle (Radar, Lidar, Kamera und GNSS)
- Datenwiedergabe
- Einspeisen von Rohdaten mit der ESI Unit

Bildnachweis: © INCEPTIO



# In Ordnung, Phil?

FAW Hongqi setzt auf eine Vehicle-in-the-Loop (VIL)-Simulationslösung zur Validierung von realen Fahrzeugen

Wie testet man ein automatisiertes, reales Fahrzeug gefahrlos unter sicherheitskritischen Bedingungen? Diese Frage kann anschaulich mit dem von CATARC und dSPACE entwickelten VIL-Testsystem beantwortet werden, das die Lücke zwischen Simulation und Fahrversuch schließt.

Die Sicherheit automatisierter Fahrzeuge ist deren wichtigstes Gut. Über den Entwicklungs- und Lebenszyklus eines solchen Fahrzeugs entstehen Testaufgaben, in denen das reale Fahrzeug mitsamt seiner Sensorik geprüft werden muss. Aufgrund der immensen Komplexität automatisierter Fahrzeuge ergeben sich vielfältige Herausforderungen, um diese Tests gründlich, aber auch effizient durchzuführen. Zur Bewältigung der Testaufgabe haben sich CATARC und dSPACE ein Vorgehen und ein

Testsystem überlegt, das einfache, schnelle und detaillierte Untersuchungen ermöglicht. Es löst Herausforderungen, die sich ergeben, wenn das reale Fahrzeug abzusichern ist. Diese Form der Absicherung entsteht bei Prüfaufgaben in den Bereichen End-of-Line-Tests, Periodic Technical Inspections, Homologation und After Market.

### **Automatisierte Fahrzeuge gründlich und effizient testen**

Ziel der Tests ist es, autonome Fahr-

zeuge einfach und effizient zu prüfen und ihre Funktion zu validieren. Dabei soll die korrekte Funktion von Sensoren, Steuergeräten und Aktoren sichergestellt werden. Von besonderem Interesse sind Tests in Gefahrensituationen, die bei fehlerhaftem Verhalten katastrophal enden können. Solche Szenarien können besonders gut mit Simulationen durchgeführt und bewertet werden. Beispielsweise fährt bei einer Software-in-the-Loop (SIL)-Simulation das zu testende Fahrzeug in einer virtuellen Welt und das Ver-



Bildnachweis:  
© FAW Group



Bildnachweis: © FAW Group



„dSPACE hat der Entwicklungsabteilung von FAW Hongqi eine umfassende Lösung für Vehicle-in-the-Loop (VIL)-Tests zur Verfügung gestellt, die für dynamische, szenariobasierte Tests automatisierter realer Fahrzeuge eingesetzt wird.“

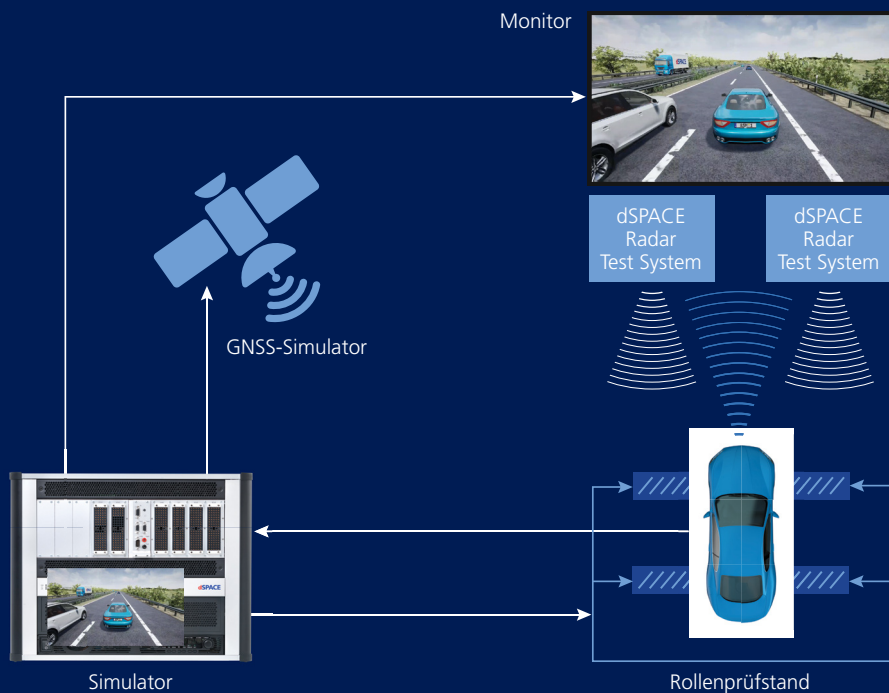
Qu Jindai (梁谨黛 女士) FAW Group

halten seiner automatisierten Fahrsteuerung wird in virtuellen Verkehrsszenarien genau analysiert. Um ein reales Fahrzeug mit solch sicherheitskritischen Szenarien zu testen, bedient man sich eines Kniffs, der die reale und die simulierte Welt zusammenführt: Das zu testende Fahrzeug befindet sich auf einem Rollenprüfstand, der mit einem Simulator verbunden ist. Der Simulator erzeugt die virtuelle Welt, bestehend aus Straßen, Umgebungsverkehr, Verkehrszeichen, Fußgängern usw. Diese virtuelle Welt wird in physikalische Größen (Radarswellen, Bilder) umgewandelt, mit denen die Sensoren des autonomen Fahrzeugs stimuliert werden. Die Signale physikalischer Größen des Rollenprüfstands, wie Geschwindigkeit, Beschleunigung/Verzögerung, werden wiederum in den Simulator

>>



Stimulation des Kamerasensors  
mit animierten Bildern der  
Umgebungssimulation.



Aufbau des VIL-Testsystems. Alle Sensoren werden Over-the-Air aus der Simulation stimuliert. Die am Rollenprüfstand gemessenen Größen gehen in die Simulation ein.



eingespeist und schließen so den Regelkreis. Diese Testmethode wird als Vehicle-in-the-Loop (VIL) bezeichnet. Sie schließt die Lücke zwischen der Hardware-in-the-Loop (HIL)-Simulation und der Testfahrt..

### Der VIL-Prüfstand nimmt das ganze Fahrzeug auf

Ein VIL-Prüfstand dieser Dimension ist komplex und umfasst eine Vielzahl unterschiedlicher Komponenten, die hochgenau synchron zusammenarbeiten müssen. Bei der Suche nach geeigneten Lösungsanbietern ließ sich FAW Hongqi von der jahrelangen Entwicklungs- und Validierungserfahrung der Unternehmen dSPACE und CATARC im Bereich der X-in-the-Loop-Simulation überzeugen. Gemeinsam haben sie für FAW Hongqi ein maßgeschneidertes VIL-Simulationssystem entwickelt. Es besteht aus bewährten Simulationslösungen von dSPACE und einem Rollenprüfstand der Firma Dürr. Die virtuelle Fahrzeugumgebung wird mit Modellen der Simulation Tool Suite ASM (Automotive Simulation Models) auf einem SCALEXIO-System in Echtzeit simuliert. Der SCALEXIO-Simulator

ist mit folgenden Simulationskomponenten verbunden, um die virtuelle Welt als physikalische Größen für die Fahrzeugsensoren aufzubereiten und Over-the-Air auszugeben:

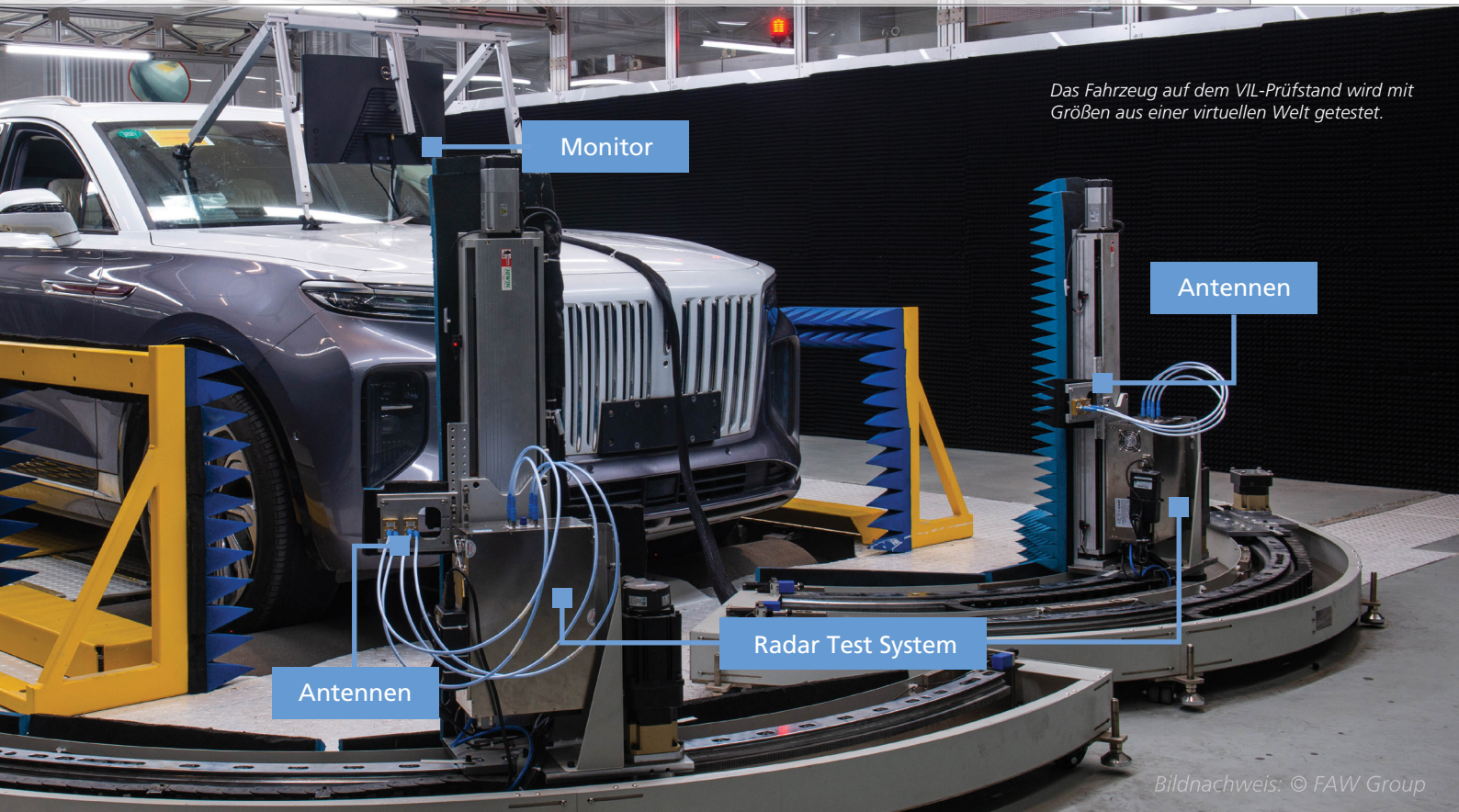
- Zwei dSPACE Automotive Radar Test System (DARTS) 9040-G – zur Stimulation der Radarsensoren
- Ein Monitor, der über die Animationssoftware von dSPACE mit Bildinhalten versorgt wird. Sie werden vom Kamerasensor erfasst und ausgewertet.
- Ein Global-Navigation-Satellite-System (GNSS)-Simulator für die Positionsbestimmung des Navigationssystems

Die beiden DARTS sind auf Schienen montiert, die Winkelsimulationen von Radarzielen in dynamischen Verkehrsszenarien ermöglichen. Der Rollenprüfstand x-road curve simuliert die Straße. Er ermöglicht ebenfalls Lenkbewegungen der Vorderachse, so dass auch lateral wirkende Assistenzsysteme getestet werden können. Mit dem Prüfstandspezialisten Dürr hatte dSPACE schon eine funktionierende Lösung für die Kopplung von

Simulator und Rollenprüfständen erarbeitet, so dass auf ein technisch ausgereiftes Konzept zurückgegriffen werden konnte.

### Was leistet das VIL-Testsystem?

Das Vehicle-in-the-Loop (VIL)-Simulationssystem ist für die umfassende Erprobung automatisierter Fahrzeuge konzipiert. Es wird erfolgreich zur Funktionsvalidierung von Assistenzsystemen wie Adaptive Cruise Control (ACC), Automated Emergency Braking (AEB), Traffic Sign Recognition (TSR), Lane Keeping Assistance (LKA), Adaptive Light Control (ALC), Traffic Jam Assist (TJA) und Highway Assist (HWA) eingesetzt. Darüber hinaus bietet es eine solide Unterstützung für die Validierung intelligenter automatisierter Fahrsysteme. Mit dem VIL-Testsystem erreicht FAW Hongqi sein Ziel, virtuelle dynamische Testszenarien für das reale Fahrzeug zu erstellen, um die Validierung und Verifizierung der Funktionsintegration des intelligenten Fahrsystems auf Fahrzeugebene zu realisieren. Die Testszenarien können mit den in ASM verfügbaren Möglichkeiten ständig erweitert werden. Alle



Das Fahrzeug auf dem VIL-Prüfstand wird mit Größen aus einer virtuellen Welt getestet.

Bildnachweis: © FAW Group

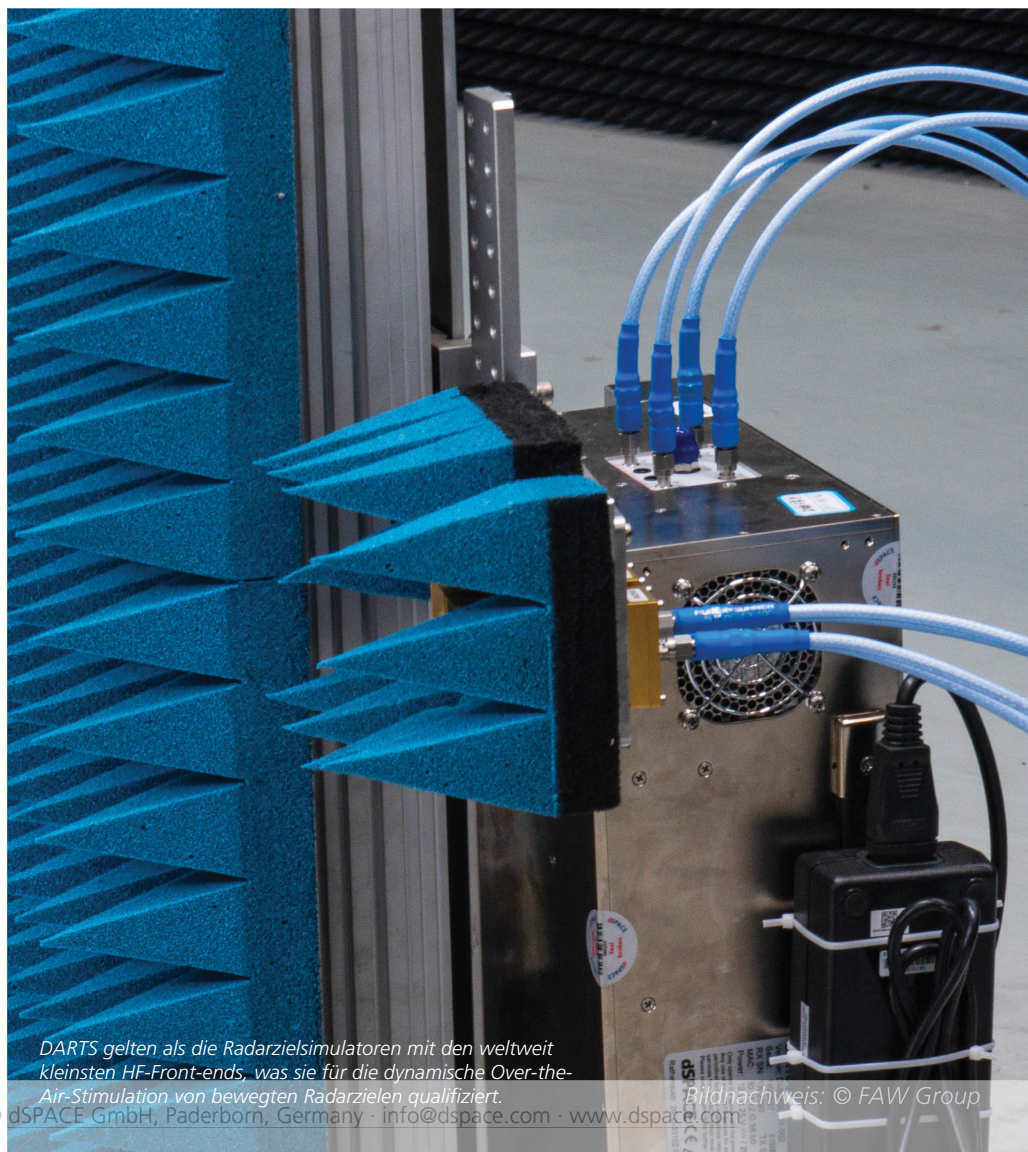
Tests lassen sich inklusive Parameter-variationen automatisiert und reproduzierbar ausführen.

### VIL-Tests im täglichen Einsatz

Das Testsystem unterstützt FAW Hongqi in unterschiedlichen Entwicklungsphasen. Es eignet sich immer dann, wenn Untersuchungen auf der Ebene des Gesamtfahrzeugs erforderlich sind. Es ermöglicht tiefgreifende Tests bei der Freigabe sowie die Endkontrolle von Fahrzeugen und unterstützt maßgeblich bei der Homologation. Der VIL-Teststand trägt damit wesentlich dazu bei, neue Fahrzeuge mit hochentwickelten Funktionen für das automatisierte Fahren effizient auf den Markt zu bringen. ■

Qu Jindai (渠瑾黛 女士)

Qu Jindai (渠瑾黛 女士), FAW Group, Engineering Department, Electronic and electrical testing technology supervisor, FAW Group, China



DARTS gelten als die Radarzielsimulatoren mit den weltweit kleinsten HF-Front-ends, was sie für die dynamische Over-the-Air-Stimulation von bewegten Radarzielen qualifiziert.

Bildnachweis: © FAW Group



# Self-Kehr

Bei der Entwicklung autonomer Fahrzeuge steht in der Regel der Personen- und Güterverkehr im Mittelpunkt. Das Korean Institute of Industrial Technology (KITECH) demonstriert nun anhand einer autonomen Straßenreinigungsmaschine, dass autonomes Fahren auch außerhalb des Transportwesens eine Rolle spielt.



## Validierung autonomer Straßenreinigungsmaschinen

Mit Hilfe von dSPACE Technologien wie dem Szenariogenerierungsservice, der Simulationslösung AURELION und den Automotive Simulation Models (ASM) ist es dem Team von KITECH gelungen, ein Testsystem aufzubauen, mit dem sich die Software einer autonomen fahrenden Kehrmaschine für Fahrten an ihrem zukünftigen Einsatzort absichern lässt. Hierfür wurden u. a. vorhandene Messdaten eingesetzt, um realistische Szenarien zu generieren.

### Realer Einsatzort virtuell nachgebaut

Dazu hat KITECH eine Strecke von 2,3 Kilometern des südkoreanischen Pyeongdong auf Basis von Messungen der Fahrzeugsensorik in einer virtuellen 3D-Umgebung nachmodelliert. Für diesen Einsatzort (Abbildung 1) werden sensorrealistische Testszenarien für den Betrieb der Straßenkehrmaschine generiert und anschließend durchlaufen. Um solch ein Vorhaben umzusetzen, bedarf es Lösungen, auf die sich dSPACE als Partner für Simulation und Validierung spezialisiert hat. So konnte der gesamte Prozess von der dSPACE Werkzeugkette begleitet und maßgeblich unterstützt werden.

### Auch sicherheitskritische Szenarien durchgespielt

Der Zweck dieser Simulationen ist es, unterschiedliche Szenarien abzusichern, die während der Fahrt einer autonomen Kehrmaschine auftreten können. Dabei geht es sowohl um kritische Situationen als auch alltägliche Szenarien, zum Beispiel abbiegende Fahrzeuge. Darüber hinaus stehen die Verifikation der Lokalisierung, der Planlogik, der Pfaderfassung und von Algorithmen für die Geschwindigkeitskontrolle im Fokus. >>



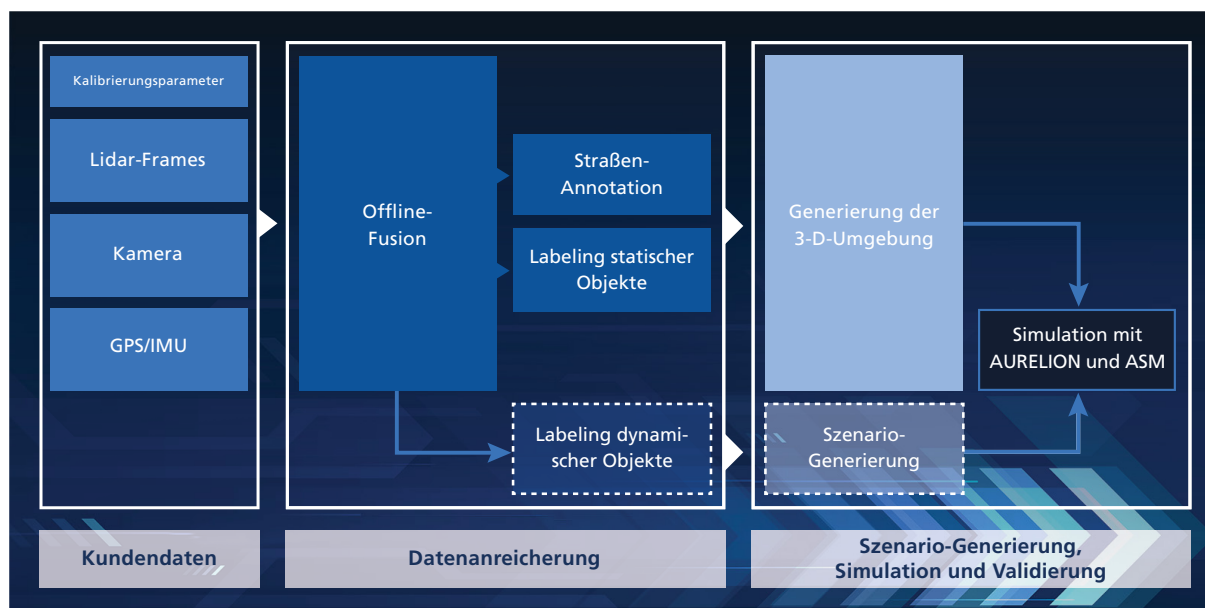


Abbildung 2: Die Testumgebung wird auf Basis verschiedener Sensordaten erstellt.

Umgebungsmodell, das alle statischen Objekte in der Nähe der Route enthält. Es umfasst neben 70 Gebäuden, 45 Zäunen und Mauern auch Verkehrsschilder, Ampeln, Straßenlaternen und Bäume. Da das Umgebungsmodell für eine physikalisch-basierte Lidar-Simulation eingesetzt wird, sind für alle diese Objekte die Materialien realistisch modelliert. Abgerundet werden die Simulationsszenarien durch dynamische Inhalte in Form von weiteren Verkehrsteilnehmern. Deren Typ, Aussehen und Verhalten wird zufällig anhand von einfachen Verhaltensmodellen definiert. Außerdem lassen sich aus den aufgezeichneten Messdaten auch Verkehrsszenarien extrahieren und in der Simulation wieder abspielen.

### Validierung in der virtuellen Umgebung

In der erzeugten virtuellen Welt können nun die verschiedenen Layer der

Fahrfunktion getestet und validiert werden. Dies umfasst u. a. die Perzeptionsalgorithmen für Fahrzeug- und Ampelerkennung, die auf einem Convolutional Neural Network (CNN) basieren, die Hinderniserkennung durch Filterung von Voxel Grid und Bounding-Boxen sowie die HD-Karten-basierte Pfadplanung. In der Simulation werden dafür nun die relevanten Sensordaten für alle Sensoren (7 x Kamera, 4 x Lidar, 4 x Radar, V2X, Fahrzeugstatusinformationen und GPS) hochrealistisch erzeugt. Das virtuelle Fahrzeug soll nun dem geplanten Pfad folgen und die Geschwindigkeit entsprechend den Hindernis- und Umgebungsinformationen anpassen. Durch einstellbare Parameter wie Wetterlage und Verkehrsaufkommen können beliebig viele unterschiedliche Szenarien generiert und zehntausendfach durchlaufen werden. Auf diese Weise lassen sich kritische

Situationen erkennen, bevor der Prototyp die erste echte Fahrt in Pyeongdong unternimmt. ■

Wongun Kim, Ph.D., KITECH

#### Wongun Kim

Wongun Kim, Ph.D., ist Leitender Wissenschaftler für die Smart Agricultural Machinery R&D Group, Jeonbuk Division, am Institut KITECH, Republik Korea.



„Die Lösungskompetenz von dSPACE in der Simulation und Validierung hat uns voll überzeugt und uns geholfen, unser ehrgeiziges Projekt der autonomen Straßenreinigungsmaschine effizient zu realisieren.“

Wongun Kim, Ph.D., KITECH



# Virtuell realisiert

Entwicklung von Maschinen mit  
Hilfe eines digitalen Zwillings

Neue Maschinen virtuell darstellen und optimieren, bevor sie gebaut werden: Was nach Science-Fiction klingt, ist Kern des Konzepts des sogenannten digitalen Zwillings. KEB Automation hat dies mit Hilfe eines dSPACE SCALEXIO-Echtzeitsystems umgesetzt und so die Möglichkeit für erheblich kürzere Entwicklungszeiten neuer Maschinen geschaffen.





### Firmenprofil KEB Automation

Als bekannter Anbieter von Antriebstechnik bietet KEB Automation die vollen Lösungsmöglichkeiten für die Automatisierung.

Kunststoffmaschinen, Holzverarbeitung, Prozesstechnik und Intralogistik oder auch Windenergie und E-Mobilität: KEB ist die Quelle für eine Komplettlösung von HMIs über Steuerungen und Antriebe bis hin zu Motoren, Getrieben und Bremsen. Seit 1972 familiengeführt, ist die KEB Automation Group, Hauptsitz in Bartrup (NRW), mit fast 1.500 Mitarbeitern in zwölf Tochtergesellschaften und mehr als 50 Partnern weltweit aktiv.

Bei der Entwicklung industrieller Maschinen spielen Simulationen eine wichtige Rolle. Hierbei hat sich die sogenannte virtuelle Inbetriebnahme (beschrieben in der VD/VDE-Richtlinie 3693) etabliert, die mit Hilfe einer virtuellen Kopie der Maschine durchgeführt wird – dem digitalen Zwilling. Bei einer virtuellen Inbetriebnahme werden Maschinen zusammen mit ihrer Sensorik und Aktorik mittels echtzeitfähiger HIL-Simulationen vor dem Bau der realen Maschine virtuell

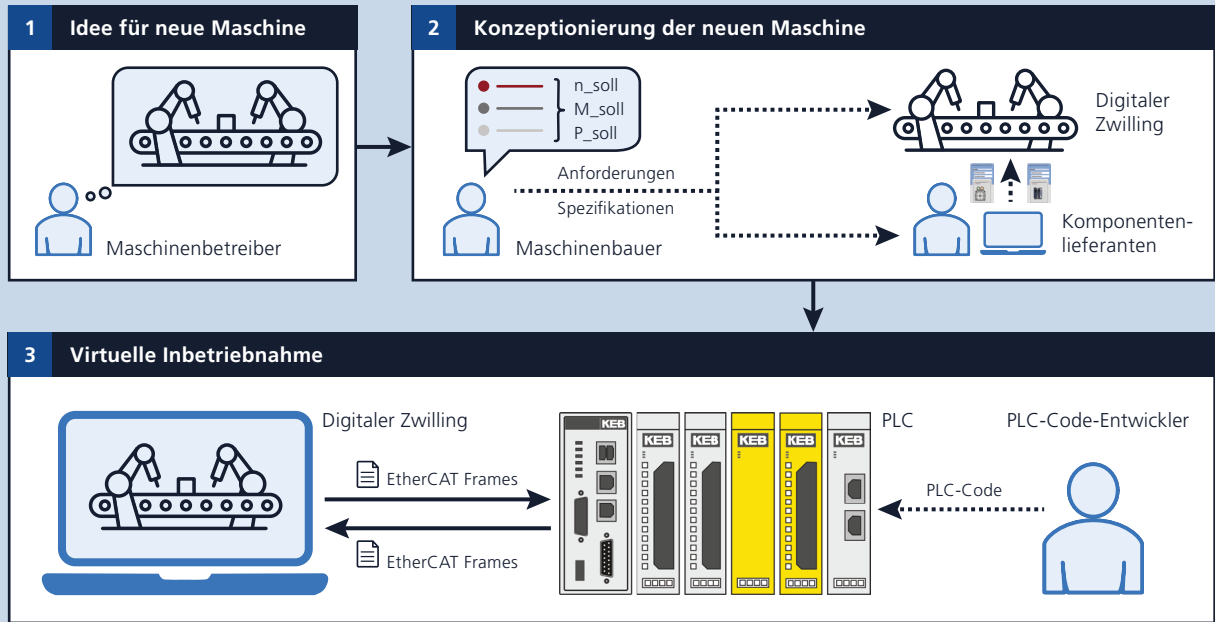
in Betrieb genommen (Abbildung 1), inklusive emulierter Feldbus- oder Realtime-Ethernet-Schnittstellen und der realen programmierbaren Steuerungseinheit (Programmable Logic Controller, PLC). Auf diese Weise lassen sich Programmierfehler im PLC-Steuerungscode bereits vor der Inbetriebnahme der realen Maschine aufspüren und beheben. Das Ergebnis der virtuellen Inbetriebnahme hängt dabei maßgeblich von der Detailtiefe der Streckenmodelle ab.

### Der klassische Weg: Verhaltensmodelle

Für Drive Controller bzw. Antriebsregler werden heutzutage oft noch Verhaltensmodelle eingesetzt, die zum Teil aus einem Re-Engineering oder aus dem Einsatz von vereinzeltem Firmware-Code der realen Komponente entstehen. Diese Verhaltensmodelle berücksichtigen in der Regel jedoch nur Teilaspekte des realen Antriebsreglers, was letztendlich dazu führen kann, dass sich ein Fehler even-

>>

Abbildung 1: Das Prinzip der virtuellen Inbetriebnahme



Schritt 1: Ein Maschinenbetreiber hat die Idee für eine neue Maschine. Diese Idee gibt er an einen Maschinenbauer weiter.  
 Schritt 2: Der Maschinenbauer leitet die Anforderungen und Spezifikationen für die neue Maschine ab. Zusätzlich definieren Komponentenslieferanten die notwendigen Komponenten für die Maschine. Auf diese Weise entsteht insgesamt ein digitaler Zwilling der Maschine.  
 Schritt 3: Mit Hilfe des digitalen Zwillings der Maschine kann der PLC-Code-Entwickler bereits mit der Entwicklung des PLC-Codes beginnen, bevor die reale Maschine existiert. Der PLC-Code lässt sich mittels virtueller Inbetriebnahme sehr frühzeitig am digitalen Zwilling der Maschine evaluieren. Auf diese Weise können Fehler früh erkannt und korrigiert werden.

tuell erst bei Inbetriebnahme der echten Maschine zeigt. Dies bedeutet: Je besser das Verhaltensmodell, desto geringer die Zahl der Iterationsschleifen bei der Entwicklung von Maschinen.

**Der bessere Weg: Firmware-Simulationsmodelle**

Setzt man in Simulationsmodellen statt eines Verhaltensmodells jedoch einen ganzheitlichen Firmware-Code des Antriebsreglers ein, so ergeben sich zwei wesentliche Vorteile: Erstens verhalten sich diese sogenannten Firmware-Simulationsmodelle wesentlich detailgetreuer und realistischer,

beispielsweise bei Aspekten wie der Diagnose, beim Erkennen von Konfigurationsfehlern und beim Testen von Parametern, und zweitens erweitert sich ihr Funktionsumfang automatisch bei jedem Update der Firmware.

**Motorsimulationsmodelle benötigen leistungsfähige Tools**

Gängige Simulationstools für die virtuelle Inbetriebnahme sind schwerpunktmäßig für die Simulation von Mechanik- und Materialflusselementen inklusive der Anbindung von realen PLCs über eine emulierte Feldbus-

und Realtime-Ethernet-Anbindung ausgelegt. Für die Simulation der Mechanik- und Materialflusselemente ist dies ausreichend, allerdings nicht für die Behandlung von Motorsimulationsmodellen. Dies führt dazu, dass Drive Controller nur abstrahiert und Motoren – falls überhaupt – nur idealisiert simuliert werden.

**Firmware-Simulation mit dSPACE SCALEXIO**

Dagegen kann auf dem dSPACE SCALEXIO-Echtzeitsystem wegen der hochperformanten Prozessor- und FPGA-Einheiten ein gesamtes PDS

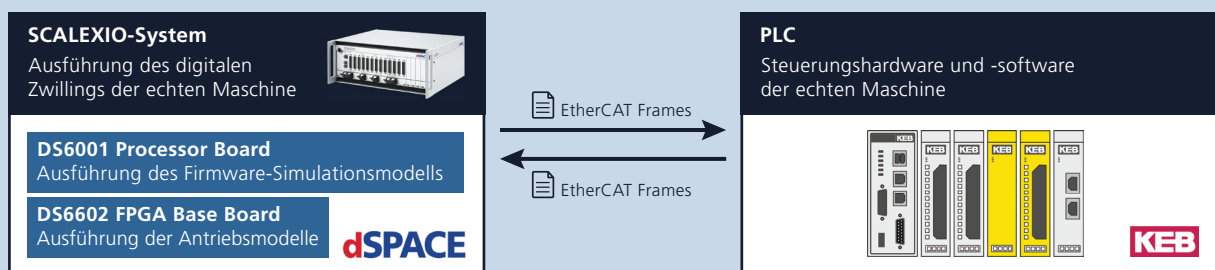


Abbildung 2: Die virtuelle Inbetriebnahme mit Hilfe eines dSPACE SCALEXIO-Echtzeitsystems. Für den PLC ist kein Unterschied zwischen dem digitalen Zwilling und einer realen Maschine erkennbar.

Die EtherCAT Network Simulation von dSPACE dient dazu, ein EtherCAT-Netzwerk so zu simulieren, dass die Steuerung keinen Unterschied in der Kommunikation bemerkt.

### Funktion

Die EtherCAT Network Simulation erhält von der Steuerung EtherCAT-Frames und ändert diese so ab, dass die Antworten darauf so aussehen, als hätten sie einen EtherCAT-Teilnehmer durchlaufen. Von außen betrachtet kommunizieren nur zwei Teilnehmer: die Steuerung und das dSPACE System.

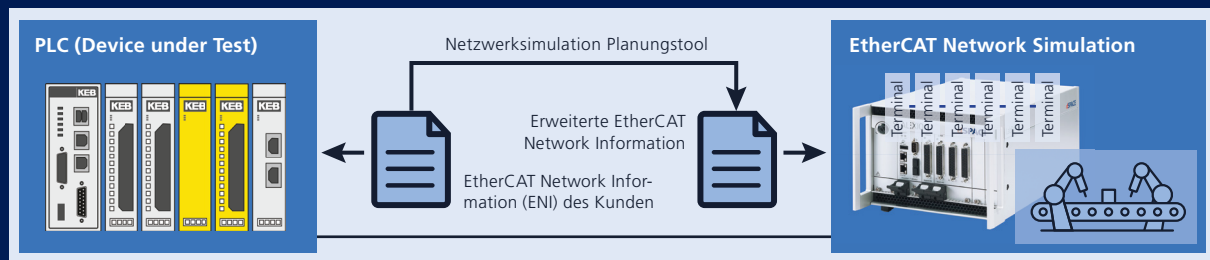
### Skalierbare Detailtiefe

Mit Hilfe eines dSPACE SCALEXIO-Systems inklusive FPGA lassen sich die Netzwerkteilnehmer und die an sie angeschlossenen Regelstrecken in unterschiedlicher Güte simulieren. Für die Simulation von sehr schnellen Vorgängen steht eine Auswahl von FPGA-Boards zur Verfügung.

### Virtuelle Inbetriebnahme in Echtzeit

Der digitale Zwilling bekommt dadurch eine Plattform und eine Kommunikationsschnittstelle, mit der das Zeitver-

halten dem der realen Maschine entspricht, was einen realistischen Test des PLC-Codes erlaubt. Durch den variablen Detaillierungsgrad lassen sich auch Energieflüsse abbilden, um zum Beispiel die Auslastung von Einspeisungen zu prüfen. Ein weiterer Pluspunkt: Auch die Parametrierung der Netzwerkteilnehmer oder auch Software-Updates können getestet werden, bevor sie auf ein reales Gerät aufgespielt werden und sogar bevor die realen Geräte überhaupt verfügbar sind.



(Power Drive System) bestehend aus Antriebsregler- und Motormodellen mit Schaltfrequenzen bis 16 kHz ausgeführt werden (Abbildung 2). Dies ermöglicht allgemein eine Echtzeitsimulation bis zur Leistungsendstufe. Der Zusatz einer emulierten Feldbus- und Realtime-Ethernet-Schnittstelle erlaubt darüber hinaus eine virtuelle Inbetriebnahme unter der Berücksichtigung der Leistungsflüsse. Aus dieser Simulation können noch Optimierungen für das Anlagendesign abgeleitet werden. Für diesen Zweck wurde die dSPACE Fieldbus Solution um eine EtherCAT-Netzwerksimula-

tion erweitert (siehe Infobox). Durch diese Erweiterungen können auf dem SCALEXIO-System die Firmware-Simulationsmodelle mit allen Details auch über einen Feldbus und Realtime-Ethernet mit einem realen PLC betrieben werden.

### Fazit und Ausblick

Mit der Performance von SCALEXIO-Systemen in Kombination mit der Erweiterung der Feldbus Solution (siehe Infobox) bezüglich virtueller EtherCAT-Slaves bieten sich neue Anwendungsfelder für KEB Automation an: Das Testen der KEB Drive


Controller über HIL-Simulationen lässt sich nun um SIL-Simulationen der KEB Firmware erweitern. Dadurch wird es möglich, Programmierfehler im Firmware-Code bereits vor Beginn der HIL-Simulationen zu finden und zu beheben. Daher soll das Portfolio der Firmware-Simulationsmodelle für weitere KEB-Antriebsstromrichter erweitert werden; zudem werden zukünftig die Firmware-Simulationsmodelle auch als FMUs (Functional Mock-up Units) bereitgestellt. ■

*Manuel Brose, KEB Automation*

„Dank der virtuellen Inbetriebnahme mit Hilfe eines dSPACE SCALEXIO-Echtzeitsystems können Programmierfehler im PLC-Code von Maschinensteuerungen frühzeitig erkannt und behoben werden.“

*Manuel Brose, Softwareentwickler bei KEB Automation, Barntrup, Deutschland*





Vorantreiben eines neuen Energieparadigmas  
durch Prototyping und Simulation

# Intelligente Leistungselektronik

Ein Forschungsteam der University of Illinois at Chicago (UIC) hat ein Projekt gestartet, um die Umsetzung eines neuen Energieparadigmas zu beschleunigen, das erneuerbare Energiequellen und Energiespeichersysteme einbezieht.



„Insgesamt bietet die MicroLabBox eine sehr hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit, und wir konnten die Steuerung für intelligente Wechselrichter ohne großen Mehraufwand verifizieren.“

*Mohsen Hosseinzadehtaher, University of Illinois at Chicago*



**K**onventionelle Kraftwerke, die ihre Wirkleistung an den Lastbedarf anpassen können, werden zunehmend durch Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien ersetzt, die ausschließlich von der Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen abhängen. Dies stellt eine große Herausforderung für den sicheren und zuverlässigen Betrieb der Stromnetze dar. Die Forscher an der University of Illinois Chicago (UIC) begegnen diesen Herausforderungen mit einem neuen Energieparadigma für die Stromerzeugung, das auf Leistungselektronik mit dezentraler, aber vernetzter Steuerung basiert. Dieses neue Konzept unterscheidet sich grundlegend von konventionellen Stromnetzen, die sich auf zentrale Kraftwerke stützen. Dr. Mohammad Shadmand, der sowohl als Assistenzprofessor am Fachbereich Elektrotechnik und Computertechnik als auch als Direktor des Intelligent Power Electronics at Grid Edge (IPEG) Research Laboratory an der UIC tätig ist, ist der Meinung, dass die Anreize für ein von der Leistungselek-

tronik dominiertes Netz (Power-Electronics-Dominated Grid, PEDG) die Vorteile traditioneller Stromsysteme bei weitem überwiegen. „Herkömmliche Stromversorgungssysteme sind mit verschiedenen Problemen konfrontiert, z. B. mit Umweltproblemen (sie sind eine Ursache für die globale Erwärmung), Energieverlusten, Stabilitätsproblemen, geringer Effizienz und Einschränkungen bei der Beobachtungsplanung“, erklärt Dr. Shadmand. „Außerdem werden sie zentral auf der Ebene des Versorgungsunternehmens gesteuert. Der Übergang zu einem auf anderen Energieträgern basierenden PEDG entschärft die meisten dieser Bedenken. Es stellen sich jedoch noch einige neue Fragen. Wir arbeiten an den verschiedenen Aspekten dieser Herausforderungen, um eine effektive Gesamtlösung zu finden.“

#### **Überwinden von Hindernissen**

Das neue PEDG-Konzept ermöglicht zwar eine verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien im gesamten Netz, bringt aber auch einige Hindernisse

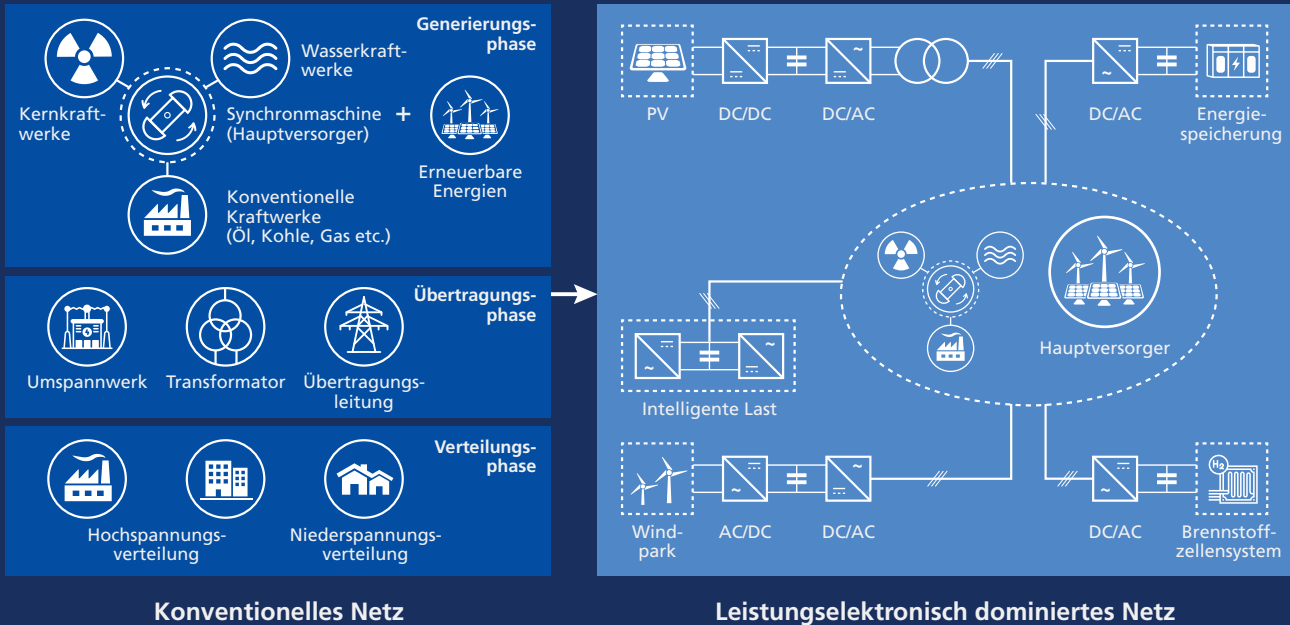
in Bezug auf Datenschutz, Stabilität, Kontrolle, cyber-physische Sicherheit und Planung mit sich. Diese Probleme müssen angegangen werden, um die vollständige Umsetzung des neuen Paradigmas zu beschleunigen.

„Wenn wir diese Herausforderungen bewältigt haben, werden wir über ein sicheres und widerstandsfähiges Energiesystem verfügen, das der gesamten Nation in vielerlei Hinsicht zugutekommen kann, z. B. in Bezug auf soziales Wohlergehen, saubere Luft, geringere Gesundheitskosten und eine verbesserte Qualität der Stromversorgung“, sagt der UIC-Doktorand und IPEG-Forschungsassistent Mohsen Hosseinzadehtaher.

Die Lösung des UIC-Forschungsteams:

1. Entwicklung von autonomen Regelungsverfahren, z. B. selbstlernende Regelungsmethoden, die die cyber-physische Sicherheit, Widerstandsfähigkeit, Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit des PEDG verbessern können.
2. Grid-Clustering-Techniken zur >>

Konventionelles Netz versus leistungselektronisch dominiertes Netz (PEDG)



besseren Steuerung des Netzes und zur Beseitigung überflüssiger Kommunikationsverbindungen.

3. Entwicklung eines realen Mikronetz-Prüfstandes, um die entworfenen Regelungssysteme zu bewerten und ein zuverlässiges tragbares Energieerzeugungssystem zu entwerfen.

**Groß denken, klein anfangen**

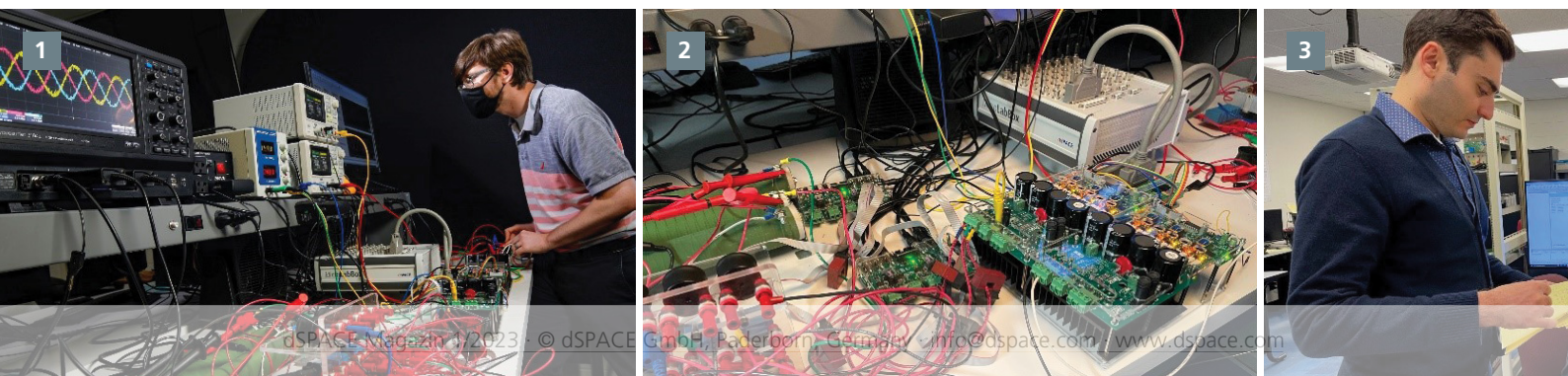
Es werden mehrere Forschungsaktivitäten parallel durchgeführt. Laut Shadmand konzentrieren sich diese Aktivitäten auf die Geräteebene (netzinteraktive Wechselrichter) und die Systemebene (Interaktion von intelligenten Wechselrichtern in einem Netzcluster sowie Situationsbewusstsein und Cybersicherheitsanalyse). „Die meisten Forschungsphasen sind abgeschlossen, und jetzt entwickeln wir ein echtes Mikronetz im kleinen Maß-

stab“, sagt Dr. Shadmand. „Wir werden dieses Mikronetz nutzen, um die Funktionalität der von uns entwickelten und vorgeschlagenen Techniken experimentell zu überprüfen, um unser Endziel zu erreichen: Gewährleistung eines robusten und sicheren Betriebs eines von der Leistungselektronik dominierten Netzes.“ Das Team identifiziert potenzielle Störungen, die die Systemstabilität gefährden könnten. Durch eine Ursachenanalyse dieser Probleme ist das Team in der Lage, intelligente Techniken zur Steuerung von Systemparametern zu entwickeln und die Belastbarkeit und Stabilität des Netzes zu verbessern.

**MicroLabBox als Teil des Prüfstandes**

Das Team verwendet eine MicroLabBox-Prototyping-Einheit, um einzelne

Leistungsschalter auf dem von ihnen entwickelten Prüfstand zu steuern. Die Prüfstandsregler wurden mit MATLAB®/Simulink® entwickelt. An den Leistungskomponenten werden Spannungs-/Strommessungen eingesetzt. Diese Messungen dienen als Eingabe für die MicroLabBox, die dann als Prozessor fungiert, der das in Simulink entwickelte Steuerungsschema steuert und die Logiksignale zur Ansteuerung der Wandler liefert. So nutzte das Team die MicroLabBox beispielsweise zur Entwicklung intelligenter netzbildender und netzfolgender Wechselrichter, um die Kohärenz in den von der Leistungselektronik dominierten Netzen zu gewährleisten. „Wir verwenden die digitalen Ausgänge der MicroLabBox, um die Schalter des Voll-H-Brücken-Wechselrichters zu steuern, und die analogen Eingänge,





„Der Hauptvorteil der MicroLabBox besteht darin, dass die Entwicklung eines Reglers in Simulink und das Testen in kürzester Zeit durchgeführt werden können.“

*Dr. Mohammad Shadmand, University of Illinois at Chicago*

um die Messwerte von den Strom- und Spannungssensoren zu empfangen, die an verschiedenen Positionen des Voll-H-Brücken-Wechselrichters angeschlossen sind“, erklärt UIC-Doktorand und IPEG-Forschungsassistent Matthew Baker.

### Implementiertes prädiktives Regelungsverfahren

Zunächst wurde das belastbare modellbasierte prädiktive Regelungsverfahren, das sich an Methoden der künstlichen Intelligenz für netzinteraktive Wechselrichter orientiert, mit einer MATLAB/Simulink-Schnittstelle getestet. Anschließend wurde sie experimentell verifiziert, indem die Simulation in der dSPACE ControlDesk-Umgebung ausgeführt wurde. Dr. Shadmand sieht den Hauptvorteil der MicroLabBox darin, dass die Entwicklung eines Reglers in Simulink und dessen Test in sehr kurzer Zeit erfolgen kann. „Die MicroLabBox erspart uns Investitionen in die Mikrocontroller-Programmierung zu Beginn unseres Entwicklungszyklus“, fährt er fort. „Die modellprädiktive Regelung hat zum Beispiel eine schnelle dynamische Reaktion, erfordert aber eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit mit minimaler Durchlaufzeit. Außerdem muss die von uns entwickelte adaptive Steuerung schnell

sein, um das Problem der Resonanz im LCL-Filter unter schwachen und ultraschwachen Netzbedingungen in den Griff zu bekommen.“

„Insgesamt bietet die MicroLabBox eine sehr hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit, und wir konnten die Steuerung für intelligente Wechselrichter ohne großen Mehraufwand experimentell verifizieren“, ergänzt Hosseinzadehtaher. „Außerdem konnten wir mit der benutzerfreundlichen Oberfläche von ControlDesk alle Ergebnisse erfassen und die Parameter dynamisch ändern, um das dynamische Verhalten des Reglers zu erreichen“, so Baker weiter.

### Kooperativer Betrieb von dezentralen Energiequellen

Für die granulare Untersuchung von PEDG wird die MicroLabBox als HIL-Plattform verwendet, um sekundäre und tertiäre Regler von PEDG zu implementieren und den kooperativen Betrieb von verteilten Energiequellen (DERs) für die Spannungsregelung, Frequenzregelung, synthetische Trägheitsemulation, Verbesserung der transienten Stabilität usw. in Kombination mit netzfolgenden und netzbildenden DERs zu untersuchen. ■

*Mit freundlicher Genehmigung der University of Illinois at Chicago*

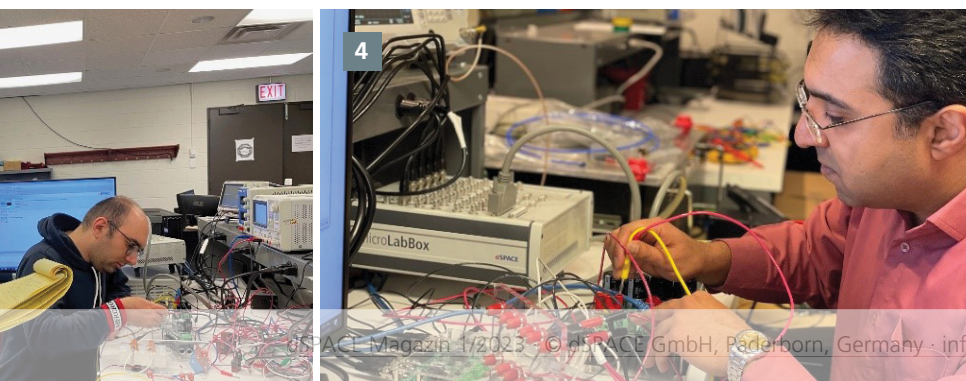
### Leistungselektronisch dominiertes Netz (PEDG)

Das PEDG (Power-Electronics-Dominated Grid) wird mit Kommunikationsinfrastrukturen und dem Internet of Things (IoT) integriert, um ein System mit bidirektionalen Informations- und Energieflüssen aufzubauen. Es führt neue Funktionen ein, darunter Angriffsresilienz, Selbstheilung, verbesserte Stromqualität, Unterbringung von Erzeugungs- und Speichersystemen am Ort der Last sowie die Echtzeitoptimierung des Systems. PEDG hat alles, was es braucht, um die Entwicklung der Strommärkte zu unterstützen.

### dSPACE Lösungen

dSPACE bietet eine breite Palette von Produkten für die Entwicklung und den Test von Smart-Grid-Reglern und Simulationslösungen für Leistungsnetze oder Leistungselektronik.

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



- 1 Der Prüfstand für die intelligenten netzbildenden und netzfolgenden Wechselrichter, getestet von Doktorand und IPEG-Forschungsassistent Matthew Baker.
- 2
- 3 Der ereignisgesteuerte selbstlernende Wechselrichter, der vom IPEG-Forschungsteam getestet wurde (von links): Mohsen Hosseinzadehtaher, Dr. Mohammad Shadmand und Amin Y. Fard.
- 4

# Virtuell schneller

KPIT testet Batteriemanagementsysteme mit Software-Simulation

Der zunehmenden Komplexität moderner Autos begegnen die Hersteller mit neuen Ansätzen im Bereich der Verifizierung und Validierung. KPIT Technologies hat nun eine Testumgebung entwickelt, mit der virtuelle Batteriemanagementsysteme integriert und simuliert werden können. Auf diese Weise ist eine BMS-Prüfung innerhalb einer SIL-Umgebung möglich.





Heutige Fahrzeuge werden immer komplexer. Themen wie Elektromobilität, autonomes Fahren oder auch vernetzte Fahrzeuge führen dazu, dass die Software-Entwicklung immer mehr zum dominierenden Faktor wird, wenn Hersteller an einem neuen Auto arbeiten. Traditionelle Entwicklungstestmethoden wie Model-in-the-Loop (MIL), Hardware-in-the-Loop (HIL) und Software-in-the-Loop (SIL) stoßen schnell an ihre Grenzen, da die Zeitvorgaben bei mehreren Software-Integrationspunkten eng sind. Um dieses Problem zu lösen, wenden sich die Hersteller einem um-

fassenderen Ansatz zur Software-Verifikation und -Validierung zu. In diesem Artikel wird eine Methode zur Bewältigung der Komplexität neuer Technologien in modernen Automobilen durch virtuelle Validierung beschrieben. Konkret handelt es sich um einen von KPIT entwickelten virtuellen Prüfstand, der die dSPACE Werkzeugkette zur Verifikation einer 48-V-Batteriemanager-Anwendung nutzt.

**Herausforderungen bei der integrierten Software-Validierung**

Wenn Sie die Qualität eingebetteter Software verbessern wollen, fragen Sie

sich vielleicht, ob Sie das einfach durch mehr Tests (Regression) erreichen können. Da das Testen jedoch bereits einen großen Teil der Zeit und Ressourcen eines Projekts in Anspruch nimmt, ist dies kein gangbarer Weg. Die Test- und Debugging-Prozesse eines Unternehmens wirken sich auf eine gesamte Software-Plattform aus, zum Beispiel auf gemeinsam genutzte Software-Bibliotheken, was die Komplexität der Tests erhöht. So kann beispielsweise eine einzige Software-Funktion oder -Komponente in Dutzenden von Varianten verwendet werden (Low-/Mid-/High-End, länderspezifisch usw.). >>

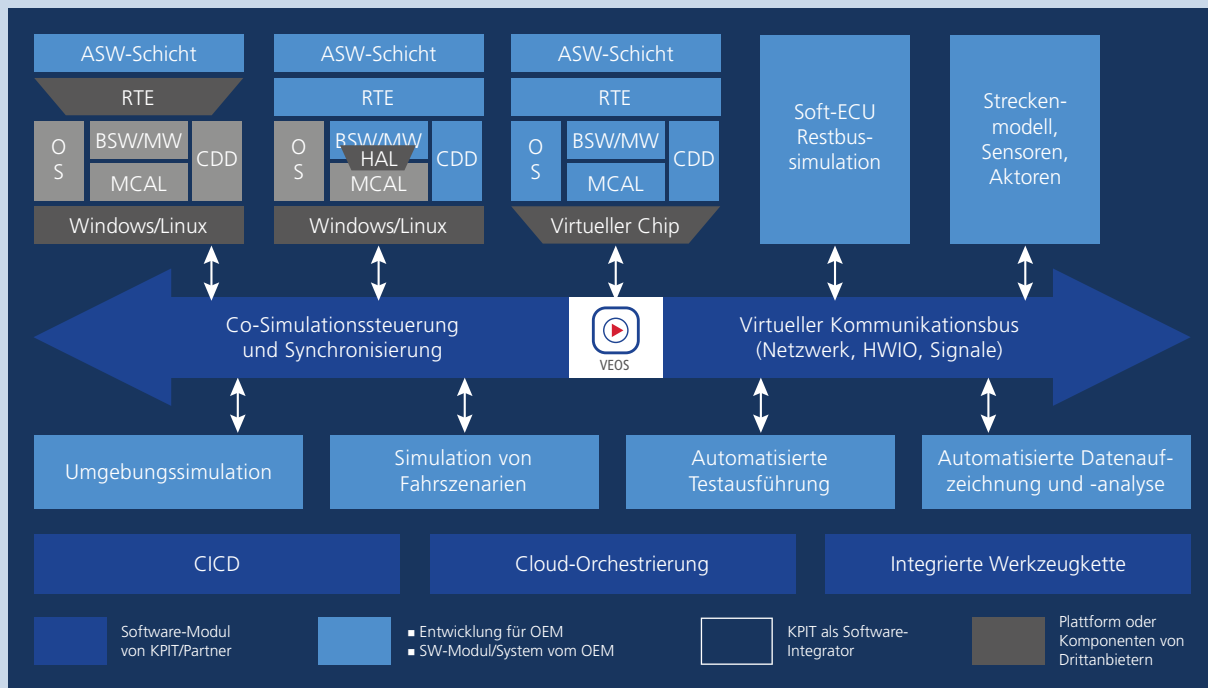


Abbildung 1: Integrierter virtueller Prüfstand für Multi-ECU/Domain-Tests.

Letztlich führt dies zu Tausenden von Tests, mit dem Nachteil, dass, wenn ein Fehler in einer Variante behoben wird, diese Änderung auch alle anderen Varianten betrifft. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Software-Integrationstests sequentiell und auf einem HIL-Prüfstand durchgeführt werden. Fehler bei der Software-Integration werden daher erst später im Entwicklungszyklus entdeckt, was den gesamten Zeitplan durcheinanderbringen kann. Hardware-in-the-Loop (HIL)-Umgebungen sind für Software-Teams ebenfalls schwer zugänglich, da Integrations- und Testteams in der Regel HIL-Umgebungen gemeinsam nutzen.

Jedes Team benötigt möglicherweise eine etwas andere HIL-Konfiguration, deren Einrichtung fehleranfällig und zeitaufwendig sein kann. Dadurch erhöht sich auch die Gesamttestzeit für das gesamte Programm.

#### Integrierte Software-Tests für die agile Entwicklung

All diese Herausforderungen haben dazu geführt, dass rein virtuelle Prüfstände mit einem virtuellen elektronischen Steuergerät (ECU) immer beliebter werden. Führende Automobilhersteller nutzen diesen Ansatz bereits für die integrierte Software-Entwicklung und den integrierten Software-Test.

Seit mehr als einem Jahrzehnt werden daher virtuelle Prüfstände entwickelt, die es ermöglichen, das reale Steuergerät durch ein virtuelles Steuergerät (V-ECU) zu ersetzen. Das indische Unternehmen KPIT Technologies ist einer der führenden Anbieter auf diesem Gebiet und unterstützt seine Kunden beim Aufbau virtueller Prüfstände auf Komponenten-, Subsystem- und Systemebene und ermöglicht ihnen so die Änderung von Teststrategien. „Unser virtueller Prüfstand (Virtual Test Bench, VTB) nutzt Lösungen von dSPACE, um HIL-Prüfstände virtuell auf Komponentenebene nachzubilden, um zum Beispiel das Fahrzeugüberwachungssystem

„Unser virtueller Prüfstand (Virtual Test Bench, VTB) nutzt Lösungen von dSPACE, um HIL-Prüfstände virtuell auf Komponentenebene nachzubilden, um zum Beispiel das Fahrzeugüberwachungssystem, den E-Drive-Wechselrichter und das Batteriemanagementsystem zu testen.“

Priyanshi Gupta, Tech Lead, Virtual Test Bench bei KPIT





tem, den E-Drive-Wechselrichter und das Batteriemanagementsystem zu testen“, erklärt Priyanshi Gupta, Tech Lead Virtual Test Bench bei KPIT. Diese virtuellen Prüfstandsets werden durch die Integration der dSPACE Simulationssoftware VEOS, der Architektursoftware SystemDesk, des Streckenmodells wie der dSPACE Automotive Simulation Models (ASM) und der Restbussimulationscontainer erstellt. Darüber hinaus sind Standard-Testtools mit dem VTB verbunden, um eine konsistente Ausführung von Tests über das VTB und HIL zu ermöglichen. „Dieser Ansatz bietet einen schnelleren Entwicklungs-, Integrations- und Validierungsprozess, der für das gesamte Fahrzeug skalierbar ist und jedem Ingenieur im Unternehmen zur Verfügung steht“, fügt Gupta hinzu. „Dabei lässt sich die Testumgebung mit nur einem Klick einrichten, aktualisieren und bei Bedarf ohne Verzögerung erweitern. Außerdem lässt sie sich problemlos in verschiedene OEM-spezifische Tools und Pipelines für kontinuierliche Integration und kontinuierliche Bereitstellung integrieren, wodurch der Nutzen maximiert wird.“

**Anwendungsbeispiel für einen virtuellen HIL-Test eines Batteriemanagementsystems**

Das Hauptaugenmerk beim Test des Batteriemanagementsystems (BMS)

liegt auf allen Funktionen, die auf mehrere Software- und Hardware-Komponenten verteilt sein können. In der Regel werden diese Tests mit einem HIL-Aufbau durchgeführt, der echte Hardware, Peripheriegeräte und physische Verbindungen erfordert und dem Bediener die Möglichkeit gibt, Hardware und Peripheriegeräte während der Laufzeit abzuschalten. Ein gutes Beispiel für diese Testmethode ist das Verifizieren von Algorithmen nach der Injektion eines peripheren Fehlers (Fehlerinjektion auf Hardware-Ebene) und das anschließende Validieren der Batteriealgorithmen. In Elektrofahrzeugen (EVs) oder Hybridelektrofahrzeugen (HEVs) müssen die Batteriepakete konsequent überwacht und verwaltet werden, um die Sicherheit, Effizienz und Zuverlässigkeit des gesamten Elektrofahrzeugsystems zu gewährleisten. Dies erfordert ein BMS, das die Überwachung des Ladezu-

stands der Batterie, einen optimalen Ladealgorithmus und Schaltkreisfunktionen für den Zell- und Wärmeausgleich umfasst. Das BMS muss nicht nur mit anderen Bordsystemen zusammenarbeiten. Es muss auch unter sich schnell ändernden Lade- und Entladebedingungen in Echtzeit funktionieren, zum Beispiel wenn das Fahrzeug beschleunigt oder bremst. Der Ladezustand (SOC) wird als verfügbare Kapazität gemessen, die von der Zellchemie, Alterungsfaktoren usw. abhängt. Die SOC-Schätzung für das BMS umfasst verschiedene Anwendungs-komponenten, Software-Code für Basis-Software (BSW) und komplexe Gerätetreiber (CDD) sowie Eingaben von anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen (ASICs). Angesichts der erhöhten Komplexität solcher Funktionen und der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Software-Schichten sind die Gesamtkomplexität >>

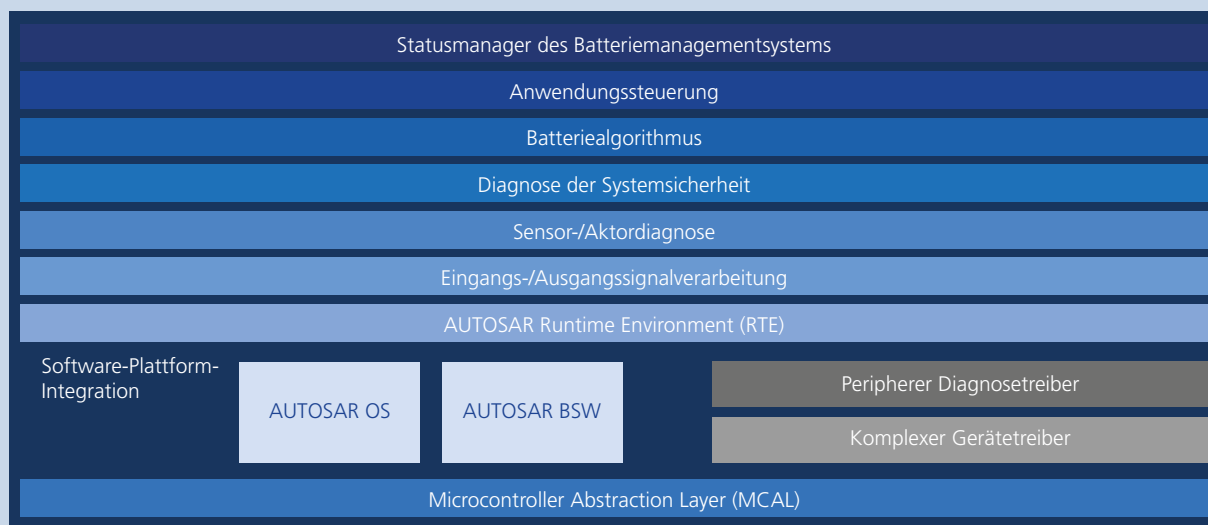
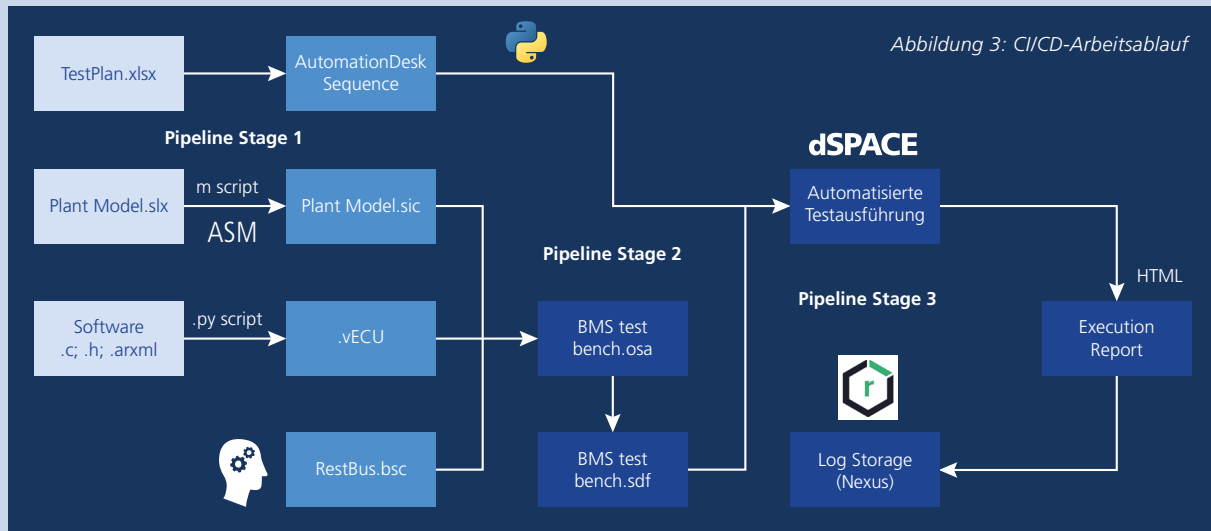


Abbildung 2: BMS-Architektur – Analyse der Auswirkungen.



der Software und die Auswirkungen von Software-Fehlern viel ausgeprägter als eine rein lokale Auswirkung, die im Allgemeinen in einem MIL-Test erfasst wird. Um die Anforderungen an Sicherheit, Robustheit und Qualität der BMS-Software zu erfüllen, bietet eine virtuelle BMS-Steuergeräte-Testumgebung (VTE) das richtige Werkzeug für die Analyse und Validierung der Auswirkungen und Design-Änderungen, nicht nur auf Unit-Ebene, sondern für die gesamte Software. Abbildung 2 zeigt deutlich, wie sich ein Konstruktionsfehler in einer der Komponenten zur Sensorfilterung auf die gesamte Software auswirkt und welche Konsequenzen er auf Algorithmen, Steuerungen und die kontinuierliche Diagnose hat. Dieses Problem trat während der Validierung der KPIT-BMS-Software-Plattform auf und wurde im VTE entdeckt. „Insgesamt konnten wir 90 % unserer BMS-Software-Plattform erfolgreich mit der dSPACE Werkzeugkette und Umgebung validieren“, sagt Debango Chakrobarty, Solution Architect BMS Controls & Software, KPIT.

### Skalierung und Validierung von Diagnoseserviceprotokollen

Diagnoseservices werden in der Regel von mehreren Gruppen und in konzentrierten Phasen der Funktionalität

oder des Protokolls durchgeführt. Die Flexibilität der dSPACE Umgebung half KPIT jedoch bei der Skalierung und Validierung von Diagnoseserviceprotokollen wie Unified Diagnostic Services (UDS) und den damit verbundenen Funktionalitäten. KPIT identifizierte und löste Probleme bei der Erstellung von Diagnosen und der Software-Entwicklung, indem es Standard-Test Suites wie Open Test Sequence Exchange (OTX) und kundenspezifische Funktionen für seine BMS-Software testete. Die VHIL-Komponente wurde verwendet, um Fehler zu erzeugen, indem die Eingaben der Streckenmodelle während der Laufzeit geändert wurden. Dadurch wurde sichergestellt, dass die Software die richtigen Diagnosefehlercodes auslöst. Darüber hinaus integrierte KPIT ein Tool eines Drittanbieters zur Durchführung von OTX, um die Einhaltung der Norm zu bestätigen. Auf diese Weise wurde die Reaktion des BMS validiert. In einem weiteren Test wurden alle physikalischen Parameter innerhalb ihres normalen Bereichs gehalten, um sicherzustellen, dass die Schütze erfolgreich geschlossen wurden, so dass das BMS den Einschaltstatus der Hochspannung über die Hochspannungsanforderung von CAN melden kann. Ein Zellüberspannungsfehler wurde durch das Bat-

teriestreckenmodell eingeleitet, indem die Zellspannung erhöht wurde, bis sie die kritische Überspannungsschwelle überschritt. Daraufhin öffnete das BMS die von der Überspannungsstörung betroffenen Schütze, und der Status wurde über CAN überwacht. Damit wurde eine Closed-Loop-Validierung der Fehlerinjektion sichergestellt. Im letzten Testfall injizierte KPIT einen Zelltemperatursensor mit einem Untertemperaturfehler in ein Batteriestreckenmodell. Die vom BMS auf dem virtuellen CAN-Bus übertragenen Leistungsgrenzwerte wurden überwacht. Die BMS-Leistungsgrenzen zeigten eine abwärts gerichtete Rampe, was bedeutete, dass das System in den Notlauf übergegangen war. Als Reaktion auf die Ausgänge des thermischen Systems wurden die Befehle zur thermischen Konditionierung des BMS angezeigt. Zusätzlich zu den oben beschriebenen Tests ermöglichte die virtuelle Testumgebung von KPIT Regressionstests für alle Kommunikationsframes, die Validierung integrierter Funktionen und die Erweiterung auf einen virtuellen Prüfstand auf Fahrzeugebene. Darüber hinaus ist die Ausführung des virtuellen Prüfstandes in den Workflow der kontinuierlichen Integration / des kontinuierlichen Testens (CI/CT) integriert. Während des

„Gemeinsam mit dSPACE haben wir diese Testumgebung entwickelt, mit der wir Tests auf Komponenten-, Subsystem- und Fahrzeugebene für alle OEM-Fahrzeugprogramme durchführen können. Die Vorteile liegen auf der Hand: Virtuelle HIL-Aufbauten und -Umgebungen auf Komponentenebene ermöglichen eine schnellere Validierung der Steuergeräte-Software und eine 90-prozentige Steigerung der Testabdeckung während des gesamten V-Zyklus.“

*Neeraj Patidar, Architect Virtual Test Environment, KPIT*



gesamten Entwicklungszyklus werden mehr als 100 Daten-Pipelines definiert, um den Test aller Verbraucher von der Komponenten- bis zur Systemebene sicherzustellen. Eine vereinfachte Version des Testablaufs ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Implementierung für den BMS-Prüfstand wird mit Jenkins CI aufgebaut. Diese Pipelines wurden bei verschiedenen KPIT-Kunden mit unterschiedlichen Technologien implementiert.

#### **Die Vorteile einer virtuellen Testumgebung**

Da der plattformbasierte Ansatz in der heutigen Produktentwicklungsland-

schaft immer beliebter wird, bietet ein virtueller Prüfstand wie der KPIT VTE die perfekte Umgebung für die Skalierung, Anpassung und Umwandlung von Komponentenplattformen in mehr Varianten bei gleichzeitiger Maximierung der Testeffizienz. „Gemeinsam mit dSPACE haben wir diese Testumgebung entwickelt, mit der sich Tests auf Komponenten-, Subsystem- und Fahrzeugebene für alle OEM-Fahrzeugprogramme durchführen lassen“, berichtet Neeraj Patidar, Architect Virtual Test Environment, KPIT. „Die Vorteile liegen auf der Hand: Virtuelle HIL-Aufbauten und -Umgebungen auf Komponentenebene ermöglichen eine

schnellere Validierung der Steuergeräte-Software und eine 90-prozentige Steigerung der Testabdeckung während des gesamten V-Zyklus.“ KPIT bietet seinen Kunden VTE-Komponenten als Beschleuniger für OEM-spezifische Implementierungen an. Der VTE bietet eine genaue und stabile Co-Simulationsorchestrierung für Tausende von gleichzeitigen Anwendern, die mehrere Testaufträge gleichzeitig einreichen können. ■

*Mit freundlicher Genehmigung von KPIT Technologies Ltd*

## **Über KPIT**

KPIT Technologies ist ein globaler Partner für das Automobil- und Mobilitätsökosystem, um softwaredefinierte Fahrzeuge Realität werden zu lassen. KPIT ist ein führender unabhängiger Software-Entwicklungs- und Integrationspartner, der die Mobilität auf dem Weg in eine saubere, intelligente und sichere Zukunft unterstützt. Mit 9000 Automobilisten auf der ganzen Welt, die sich auf eingebettete Software, KI und digitale Lösungen spezialisiert haben, beschleunigt KPIT die Implementierung von Technologien der nächsten Generation für den zukünftigen Mobilitätsfahrplan bei seinen Kunden. Mit Entwicklungszentren in Europa, den USA, Japan, China, Thailand und Indien arbeitet KPIT mit führenden Unternehmen der Mobilitätsbranche zusammen und ist dort präsent, wo sich das Ökosystem im Wandel befindet.

# Mehr Realität im virtuellen Verkehr

Detaillierte Fahrzeugsimulation gekoppelt  
mit detaillierter Verkehrssimulation

Effizienzsteigerung und Dekarbonisierung sind zentrale Treiber der modernen Fahrzeugentwicklung. Um bei immer kürzeren Entwicklungszyklen die tatsächliche Wirksamkeit von Maßnahmen schon früh zu bewerten, liefern Co-Simulationen von dSPACE ASM für detaillierte Fahrzeugmodelle und PTV Vissim für realistischen Verkehr erstaunlich detaillierte Einblicke.

**M**obilität ist ein menschliches Grundbedürfnis und oft Voraussetzung für gesellschaftliche Teilhabe. In Deutschland ist der Verkehrssektor für mehr als ein Viertel des Endenergieverbrauchs und der entsprechenden Emissionen verantwortlich und muss daher einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung des anthropogenen Klimawandels leisten. Das Streben nach mehr Effizienz und Nachhaltigkeit ist ein wesentlicher Treiber der modernen Fahrzeugentwicklung, ambitionierte Flottenemissionsziele setzen den Rahmen. So ist bereits heute fast jeder zweite neue Pkw in Deutschland ein Hybrid- oder Elektrofahrzeug, und spätestens 2030 dürften die Neuzulassungen in wichtigen Märkten wie

Europa von batterieelektrischen Fahrzeugen dominiert werden.

## Effizienzpotentiale identifizieren und heben

Zur Steigerung der Effizienz eines Fahrzeugs gibt es vielfältige Lösungsansätze beginnend bei der Wahl von Fahrzeugkonzept und Aufbauform, zum Beispiel SUV oder Limousine, über die Gestaltung von Antriebssystem und Komponenten bis zur Optimierung der Betriebsstrategie. In batterieelektrischen Fahrzeugen führt höhere Effizienz direkt zu einer Erhöhung der Reichweite pro Ladung, ohne dafür eine höhere Batteriekapazität zu erfordern. Standardisierte Erprobungszyklen wie der WLTP (Worldwide Har-

monised Light Vehicle Test Procedure) sind nur bedingt geeignet, um valide Aussagen über tatsächliche markt- und kundenrelevante Einsparpotentiale zu generieren. Eine verlässliche Evaluation der Potentiale erfordert die Prüfung bei unterschiedlichen Verkehrssituationen, Streckentypen und Umgebungsparametern. Als Realerprobung ist dies jedoch nur mit hohem Aufwand und erst ab ausreichendem Projektreifegrad umsetzbar.

## Ganzheitliche Bewertung von Maßnahmen in realistischen Simulationen

Eine effiziente Alternative zur Realerprobung ist die Untersuchung in der Simulation. Für eine valide Bewertung



der Effizienz und möglicher Optimierungsmaßnahmen ist es notwendig, sowohl das Fahrzeug als auch die Verkehrs- und Fahrumgebung sehr detailliert und realitätsgetreu zu modellieren, was hochspezialisierte Software-Umgebungen mit spezifischem Domänenwissen erfordert. Zum einen ist eine detaillierte Simulation des Gesamtfahrzeugs mit allen relevanten Komponenten und Betriebsstrategien erforderlich, um die Auswirkungen auch kleiner Variationen herausarbeiten zu können; zum anderen ist eine genaue Abbildung des Verkehrsnetzes und eine realistische Simulation des Umgebungsverkehrs auf verschiedenen Streckentypen sowie in unterschiedlichen Situationen notwendig. Die Co-Simulation beider Systeme ermöglicht nun die reproduzierbare ganzheitliche Bewertung der kundenrelevanten Effizienz in flexibel parametrisierbaren Verkehrsszenarien, und das bereits früh im Entwicklungsprozess vor dem Aufbau erster Prototypen.

#### Co-Simulation von Verkehr und Fahrzeug auf Expertenebene

Hier kommen zwei Expertenlösungen für die Verkehrs- und Fahrzeugsimulation ins Spiel:

PTV Vissim ist ein Werkzeug zur Simulation des Verkehrsflusses und weltweit anerkannt für die Bewertung des Verkehrsflusses von neuen Straßeneinrichtungen. Es verwendet flexible Verhaltensmodelle, die Fahrcharakteristika und Interaktionen aller Verkehrsteilnehmer individuell in Längs- und Querbewegung abbilden, was dann zu einem realistischen Gesamtverkehr führt. Örtlich beobachtetes reales Fahrverhalten kann durch Kalibrierung der Teilnehmer präzise in der Simulation abgebildet werden. Dazu gehören unterschiedliche Fahrstile und Regelverstöße.

Um die Effizienz zukünftiger Fahrzeuge zu analysieren und zu optimieren, bildet die Simulation Tool Suite ASM (Automotive Simulation Models) diese realitätsnah ab. Dies umfasst Fahrzeugaufbauten und Antriebssystem-Topologien. So können beispielsweise verschiedene Hybridkonzepte mit detaillierten Modellen des Verbrennungsmotors und der Elektromotoren

sowie batterieelektrische und brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge simuliert werden. Fahrzeugkonzepte und Karosseriedesigns lassen sich flexibel konfigurieren und detailliert parametrisieren. Schnittstellen ermöglichen die Integration von Regelalgorithmen, die in Form von virtuellen Steuergeräten (V-ECUs) entwickelt wurden, um erste Optimierungen und Analysen in Software-in-the-Loop (SIL)-Simulationen durchzuführen. Im weiteren Entwicklungsprozess können verschiedene simulierte Fahrzeugkomponenten durch reale Teile ersetzt werden, zum Beispiel zur Validierung von E-Maschinen und Akkumulatoren durch Emulation physikalischer Größen am Power-HIL.

#### Mehrwerte der Co-Simulation

Um möglichst früh im Entwicklungsprozess realitätsnahe Simulationen durchführen zu können, bietet die Co-Simulation von PTV Vissim und ASM einen hohen Realitätsgrad in den relevanten Domänen Verkehr und Fahrzeug. Dabei wird der von PTV Vissim generierte Verkehr in ASM als Umgebungsverkehr für das detaillierte Ego-

>>

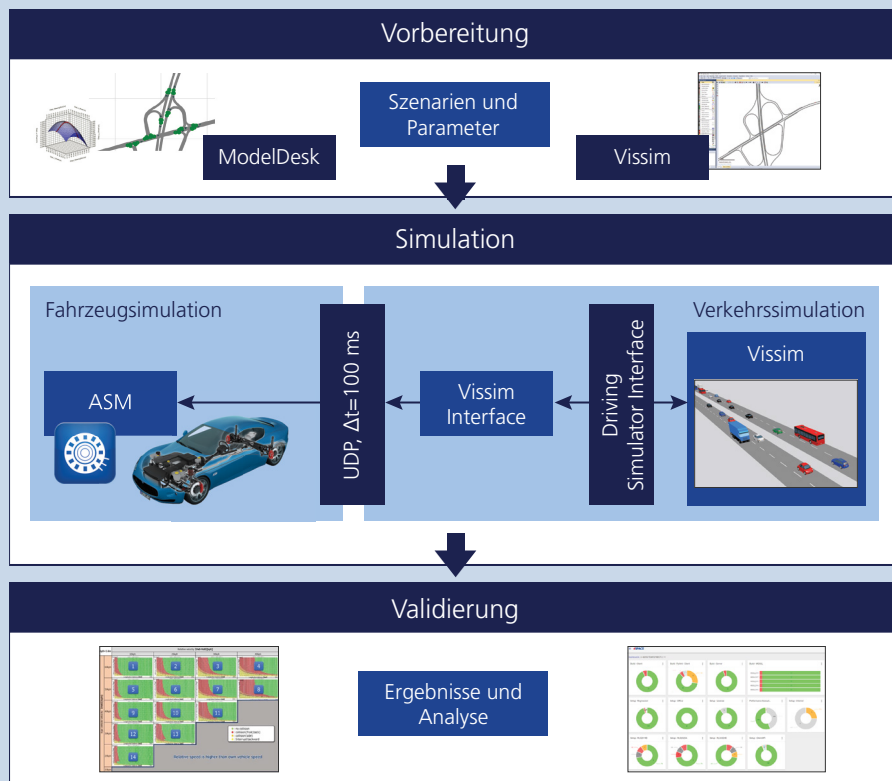


Abbildung 1: Schritte zur Co-Simulation mit PTV Vissim und ASM in SIMPHERA

Fahrzeug verwendet, so dass alle Fahrzeuge miteinander interagieren. Speziell die Kombination aus beiden Welten ermöglicht es, realistische Bedingungen abzubilden, um zum Beispiel realitätsnahe Messansätze wie Real-Driving-Emission (RDE)-Fahrten reproduzierbar zu simulieren. Diese Co-Simulation kann dabei in den verschiedenen Entwicklungsphasen eingesetzt werden, von SIL über HIL bis hin zur Simulation mit einem echten Fahrzeug im Regelkreis (VL). Um die Absicherung neuer Funktionen möglichst effizient zu gestalten und den Parameterraum gezielt zu optimieren, ist die Simulation auch parallelisiert in der

Cloud durchführbar. Die webbasierte Simulationslösung dSPACE SIMPHERA bietet die Möglichkeit, Parameter in definierten Bereichen zu variieren sowie Algorithmen zur Optimierung zu integrieren, die mit möglichst wenigen Iterationen Optima finden oder Grenzfälle identifizieren. Parametrisierung und Orchestrierung erfolgen über das Web-Interface, so dass Experten unterschiedlicher Domänen bequem von verschiedenen Standorten aus zusammenarbeiten können. Per Continuous Integration (CI) ist es möglich, den mit dieser Lösung entwickelten und optimierten Steuergerätecode automatisch zu kompilieren und in der Co-Simula-

tion zu testen. Anschließend stehen Berichte zur Analyse bereit.

### Bewertung des Proof of Concept

Die für den Proof of Concept erforderlichen Schritte wurden in SIMPHERA vorgenommen. Sie zeigen exemplarisch die Co-Simulation und Analyse des Energieverbrauchs eines batterieelektrischen Mittelklassefahrzeugs mit je einer permanenten Synchronmaschine je Achse im komplexen Umgebungsverkehr (Abbildung 1). Bei der Verkehrsumgebung handelt es sich um einen Abschnitt der Autobahn A33 bei Paderborn mit einer Erweiterung um eine Landstraße und einen innerstädtischen Bereich (Abbildung 2). Im Vorbereitungsschritt wird das Straßennetzwerk von Open Street Map in ModelDesk importiert und im Anschluss über das OpenDRIVE Format für PTV Vissim exportiert. Das Setup gliedert sich logisch in zwei Bereiche: Ego-Fahrzeug und Umgebungsverkehr. Für das Ego-Fahrzeug werden in ModelDesk die gewünschten Fahrmanöver definiert und mögliche ECU-Parameter und Aktivierungssignale vorgegeben. Für den Umgebungsverkehr werden in PTV Vissim die auf Zähldaten des Bundesamtes für Straßenwesen (BASt) basierenden Verkehrsmengen, die Fahrzeugtypen und die Verhaltensmodelle der Fahrzeuge festgelegt sowie Ampelschaltungen und die Verkehrsführung. Im nächsten Schritt wird der Test in SIMPHERA parallel in mehreren Instanzen mit unterschiedlicher Verkehrsmenge simuliert. Durch die schnelle SIL-Simulation stehen die Ergebnisse kurzfristig zur Verfügung (Abbildung 3).

„Die Co-Simulation von dSPACE ASM und PTV Vissim ermöglicht es uns, Fahrzeug und Verkehr in großer Detailtiefe zu modellieren und damit verlässliche Energieeffizienzuntersuchungen durchzuführen. Und Dank Linux-Implementierung in der Cloud skaliert das System bei Bedarf hochparallel, um zig Variationen gleichzeitig zu evaluieren.“

Dr.-Ing. Matthias Pfriem, PTV



Aus ihnen wird der Einfluss der Verkehrsmenge auf Fahrzeiten, Durchschnittsgeschwindigkeiten und Energieverbrauch ersichtlich.

**Ausblick: Analyse von Antriebskonzepten und Fahrfunktionen**

Die hier am Beispiel der Energieverbrauchsanalyse demonstrierte Co-Simulation von detaillierter Fahrzeug- und detaillierter Verkehrssimulation kann auch in anderen Bereichen mehrwertstiftend eingesetzt werden, zum Beispiel bei der Entwicklung von autonomen Shuttlebussen für den urbanen Betrieb. Mit PTV Vissim lässt sich der multimodale Umgebungsverkehr, auch mit größeren Personenmengen, realistisch simulieren. Funktionen für das automatisierte Fahren für Shuttles können als V-ECU an ASM gekoppelt werden. Zusammen mit einer realitätsnahen Sensorsimulation in AURELION und der „Intelligent Test Control“ in SIMPHERA können Grenzfälle in der Interaktion mit dem Umgebungsverkehr und Passanten effizient und parallel identifiziert und analysiert werden. Mit einer solchen Co-Simulation lassen sich Antriebskonzepte und Fahrfunktionen unter realistischen Bedingungen effizient simulieren und frühzeitig validieren. ■

*Dr.-Ing. Matthias Pfriem (PTV), Prof. Dr. Jochen Lohmiller (PTV), Dennis Roeser (dSPACE)*

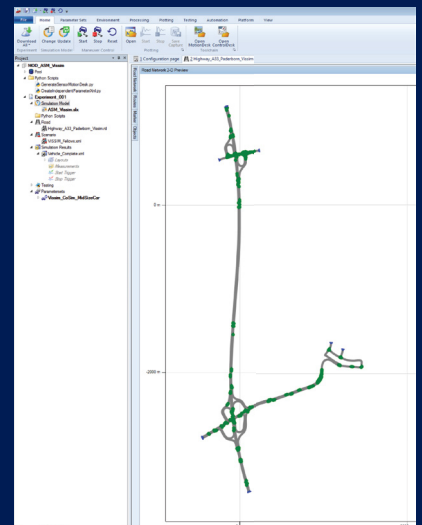
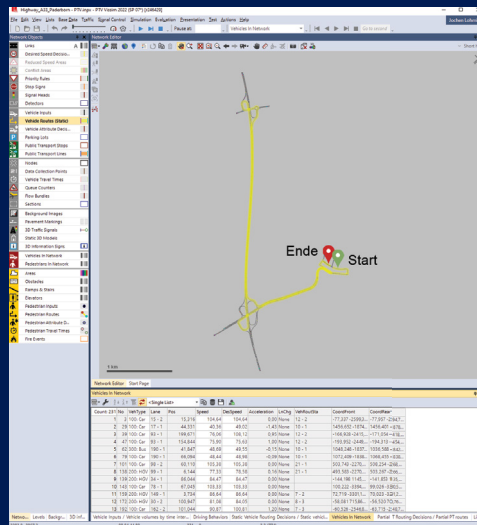


Abbildung 2: Übersicht der Teststrecke in PTV Vissim (links) und in ModelDesk (rechts). Die Streckendaten wurden zwischen den Tools im OpenDRIVE-Format ausgetauscht.

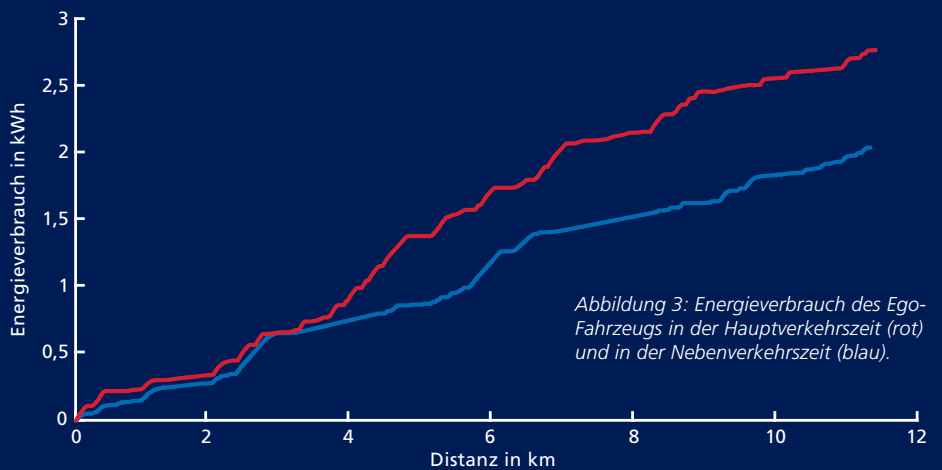


Abbildung 3: Energieverbrauch des Ego-Fahrzeugs in der Hauptverkehrszeit (rot) und in der Nebenverkehrszeit (blau).

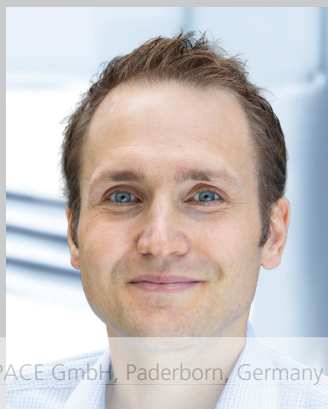
Verkehr	Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h	Energieverbrauch in kWh	Dauer in min	Distanz in km	Fahrzeuge in Simulation
Off-Peak	61,4	2,02	11,1	11,4	268
Peak	46,8	2,71	14,6	11,4	1032

Tabelle: Ausgewählte Kennwerte der Verkehrsszenarien Off-Peak/Peak.

*Dr.-Ing. Matthias Pfriem*  
 Dr.-Ing. Matthias Pfriem betreut als Senior Account Executive Kunden aus der Automobilentwicklung bei der PTV Planung Transport Verkehr GmbH in Karlsruhe.



*Prof. Dr. Jochen Lohmiller*  
 Prof. Dr. Jochen Lohmiller war Produktmanager für Verkehrssimulation bei der PTV GmbH in Karlsruhe und ist nun Professor für Verkehrswesen an der Berliner Hochschule für Technik (BHT).



*Dennis Roeser*  
 Dennis Roeser ist Senior Application Engineer für Simulationsmodellierung bei der dSPACE GmbH in Paderborn.



Mit cleverem Datenmanagement in SYNECT  
die Entwicklung von Elektroantrieben verbessern

# Datenmanagement treibt E-Mobilität voran

Um die Antriebssysteme für Elektrofahrzeuge im Rahmen des Projekts „New Energy Vehicle eDriver“ voranzutreiben, entwickelt das auf integrierte Systemanwendungen spezialisierte Unternehmen Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd. (TEC) neue elektrische Antriebe, einschließlich effizienter Steuerungen. Das Ziel von TEC ist es, die Zuverlässigkeit, die Integration und die Sicherheit von Motorsteuerungen und Antriebsstrangplattformen für den Markt zu verbessern. Die Datenmanagement-Software SYNECT kommt bei der Entwicklung einer neuen Generation von Drei-in-Eins-Antriebsstrangplattformen zum Einsatz.

SYNECT und AutomationDesk bilden zusammen das Test Solution Package (TSP) für automatisierte Tests. Dabei hat SYNECT die Aufgabe, den Testprozess, die tägliche Testarbeit und die Tools zu verwalten und zu automatisieren. Das Test Solution Package (TSP) bietet den Entwicklern eine lückenlose Rückverfolgbarkeit von der Anforderung bis zum Testergebnis. Zum Entwicklungsprozess bei TEC gehören folgende Aufgaben:

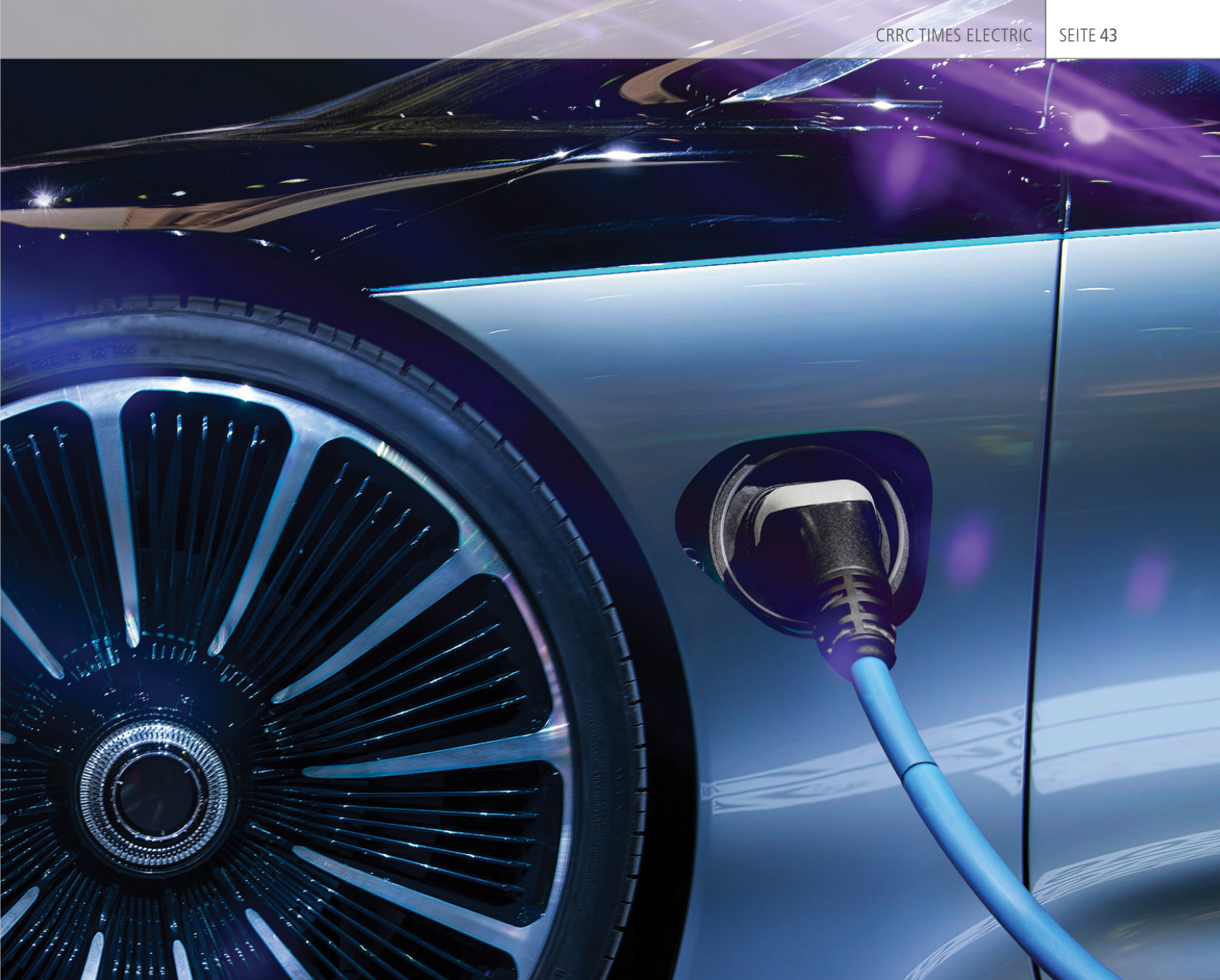
- Vereinfachen der Verwaltung des Test-Engineerings und Implementieren eines Closed-Loop-Managements von Testanforderungen, Testfällen und Testergebnissen.
- Implementieren einer geordneten Iteration der Test-Engineering-Ent-

wicklung und eines geordneten Transfers von Testarbeiten. Selbst wenn Daten versehentlich beschädigt werden, lassen sie sich wiederherstellen.

- Legen einer soliden Grundlage für die Nachvollziehbarkeit des Testprozesses und der Regressionstests.

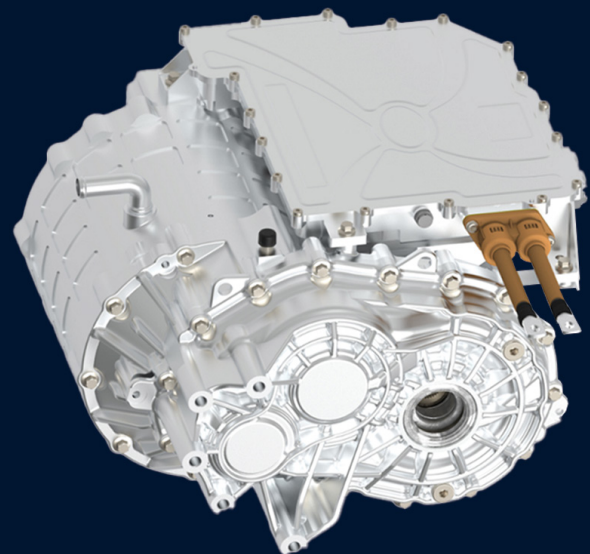
Mit Hilfe des Test Solution Package (TSP) wurden neue Antriebe und Steuerungen erfolgreich validiert und zeitnah auf den Markt gebracht. ■

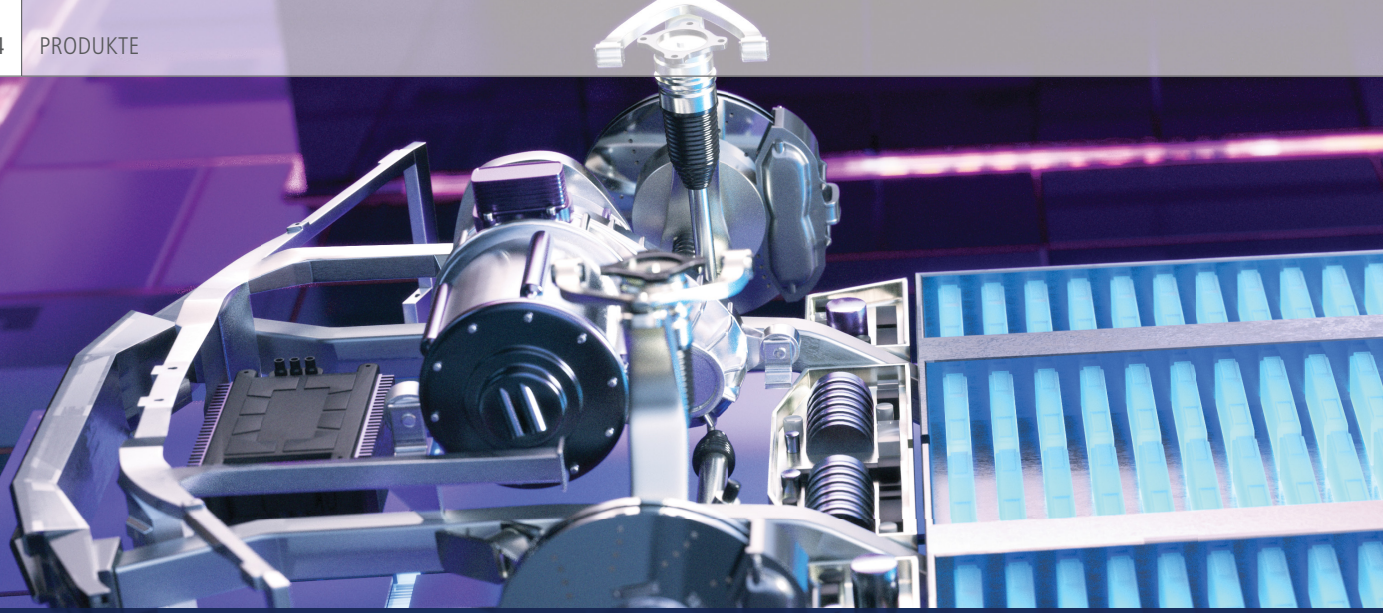
*Mit freundlicher Genehmigung von Zhuzhou CRRC Times Electric Co, Ltd.*



„Die dSPACE Werkzeugkette unterstützt uns systematisch bei unserer Entwicklungs- und Testarbeit. Das Test Solution Package von SYNECT und AutomationDesk erleichtert unser Closed-Loop-Management von Testprojekten und hilft uns bei der erfolgreichen Entwicklung von Motorsteuerungsprodukten mit hoher Leistungsdichte, hoher Integration und starker Marktkonkurrenz.“

*Jing Li, Chefingenieur für Softwaretests*





Umfassende Lösung für den Test von Batteriemanagementsystemen

# BMS-Tests auf neuem Niveau

Moderne Batterien benötigen ein Batteriemanagementsystem, um ihren sicheren und effizienten Betrieb und ihre langfristige Vitalität über Tausende von Ladezyklen hinweg und bei verschiedensten Umgebungsbedingungen sicherzustellen. dSPACE bietet jetzt eine neue leistungsstarke Lösung, die Ihre BMS-Tests auf ein neues Niveau bringt.

Leistungsstarke, innovative Batteriesysteme sind der Schlüssel für den endgültigen Durchbruch der E-Mobilität, die neben Elektroautos auch elektrisch betriebene Nutzfahrzeuge, Züge und Flugzeuge mit einschließt. Mit dem Übergang zu erneuerbaren Energien gewinnen zudem stationäre Batteriespeichersysteme zunehmend an Bedeutung, insbesondere für Privathaushalte und moderne Stromnetze. Um einen sicheren und langfristigen Betrieb zu gewährleisten, benötigt jedes dieser Batteriesysteme ein Batteriemanagementsystem (BMS), das vor seiner Markteinführung umfangreichen Tests unterzogen werden muss.

## **Unterstützung in verschiedenen Phasen der BMS-Entwicklung**

dSPACE bietet ein umfassendes Lösungsportfolio für die Entwicklung und den Test der nächsten BMS-Generation. Ziel ist es, Hersteller dabei zu unterstützen, ihren Entwicklungsprozess zu beschleunigen und die Qualität und Reife ihres BMS noch vor Beginn der Massenproduktion zu maximieren. Je nach gewünschtem Testlevel lassen sich mit unseren verschiedenen Software- und Hardware-Produkten Hardware-in-the-Loop (HiL)-Tests auf der Signal- und Hochspannungsebene durchführen. Somit eignen sich unsere Lösungen ideal für eine Vielzahl von Testfällen,

egal, ob der Testschwerpunkt mehr auf den Algorithmen des BMS oder auf dem gesamten System einschließlich der einzelnen Zellüberwachungsschaltungen (Cell Supervision Circuits, CSCs) liegt. Letztere dienen dazu, Spannungen auf Zellebene zu überwachen und auszugleichen. Unser Portfolio unterstützt BMS-Hersteller aber auch in früheren Phasen des Entwicklungsprozesses. So bieten wir zum Beispiel Lösungen für Software-in-the-Loop (SiL)-Tests und Prototyping von BMS-Funktionen oder für die Generierung von hocheffizientem Serieneocode für BMS, um eine frühzeitige Verifizierung von BMS-Algorithmen zu ermöglichen.



„Mit unserer neuen BMS-Testlösung sind unsere Kunden in der Lage, ihr BMS effektiv zu validieren und zu optimieren und so von einer kürzeren Markteinführungszeit zu profitieren.“

*Stefan Walter, Product Manager Electromobility & Electric Drives, dSPACE*

### Leistungsmerkmale

- Modulare und skalierbare Systemarchitektur für jeden Anwendungsfall
- Erstklassige Batteriezellenemulation mit herausragender Präzision
- Einsatzbereites, echtzeitfähiges Batteriemodell
- Hochgradig anpassbar, basierend auf vordefinierten Systemkonfigurationen einschließlich schlüsselfertigem Engineering

### Hohe Präzision trifft auf maximale Leistung

Unsere neue, kürzlich auf den Markt gebrachte BMS-Testlösung unterstützt bei der Validierung moderner Batteriesysteme mit Gesamtspannungen von bis zu 1.500 V. Sie fügt sich nahtlos in die bewährte SCALEXIO-Technologie ein und kann den Anforderungen jedes einzelnen Kunden entsprechend konfiguriert werden. Innovative Kernkomponente ist ein Zellspannungsemulationsboard, das eine hochpräzise Zellspannungserzeugung – bis auf 300  $\mu$ V genau – sicherstellt und Zellströme von bis zu 20 A unterstützt. In Kombination mit der Simulationssoftware, die eine echtzeitfähige Bibliothek zur Simulation von Batteriesystemen auf Zellebene bereitstellt, ist die neue Lösung sofort einsetzbar. Das modulare Systemkonzept für den Test von BMS-Systemen werden wir sukzessive um weitere Emulationsboards ergänzen, zum Beispiel zur Emulation von Temperaturen und Hochspannungen. ■

Für Systemspannungen von bis zu

**1.500 V**

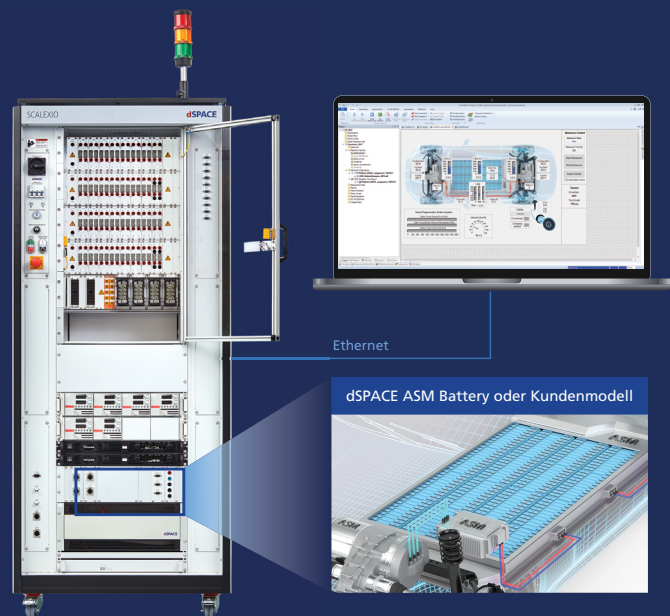
Emulation von mehr als

**256**

Batteriezellen

Zellspannungsemulation mit herausragender Genauigkeit von

**300  $\mu$ V**



Die neue BMS-Testlösung von dSPACE umfasst den SCALEXIO Battery HIL mit einem großen Sicherheitsfach für das zu testende System, zum Beispiel BMS und CSCs, ein sofort einsetzbares, echtzeitfähiges Batteriemodell sowie eine vordefinierte und komfortable Benutzeroberfläche für Konfiguration, Instrumentierung und Kalibrierung.

Sensordaten treiben die Entwicklung von Funktionen für das autonome Fahren voran

# Angetrieben von Daten

Daten sind der wertvollste Schatz bei der Entwicklung von Funktionen für das autonome Fahren. Patrik Moravek ist Spezialist für die datengetriebene Entwicklung und erklärt, wie dieser Schatz möglichst effizient gehoben werden kann.



### Patrik Moravek

ist ein Spezialist für datengetriebene Entwicklung.

#### *Patrik, was verbirgt sich hinter datengetriebener Entwicklung?*

Im Allgemeinen ist die datengetriebene Entwicklung ein Ansatz für die Software-Entwicklung. Sie ist eine Antwort auf eine neue Ära in der Software-Entwicklung, die auf künstlicher Intelligenz (KI) basierende Algorithmen umfasst, genauer gesagt eine Teilmenge der KI, die als maschinelles Lernen bezeichnet wird. Dieser neue Entwicklungsansatz macht die Entwicklung einfacher, schneller und effizienter, da er die neuen Aspekte und Herausforderungen bei der Entwicklung von KI-basierten Funktionen berücksichtigt.

Im Automobilsektor stützt sich die Entwicklung von ADAS- und AD-Funktionen auf Modelle des maschinellen Lernens, welche die komplexe Situation rund um das Fahrzeug analysieren. Um diese Modelle zu entwickeln und zu konfigurieren, sind Beispielsensordaten aus der realen Welt erforderlich – eine Menge Beispieldaten. Die Menge der Beispieldaten ist so groß, dass die Aufbereitung dieser Daten den größten Teil der Zeit (und Ressourcen) in der Entwicklung in Anspruch nimmt. Wenn sich also die Ressourcenzuweisung innerhalb des Entwicklungsprozesses verschoben hat, muss sich auch der Schwerpunkt der Entwicklungsoptimierung verschieben. Wenn mehr Geld für die Aufbereitung der Daten als für das Schreiben eines Codes ausgegeben wird, soll die Aufbereitung der Daten ein Schwerpunkt der Kostoptimierung werden. Diese Schwerpunktverlagerung wird durch den datengetriebenen Entwicklungsansatz aufgegriffen.

Bis zu einem gewissen Grad ist dies mit der modellbasierten Entwicklung vergleichbar. Die Einführung von Modellen und Simulationen in die Soft-

ware-Entwicklung führte zu einer erheblichen Beschleunigung der Entwicklung, insbesondere im Bereich der Steuerung. Es reduzierte die Komplexität und zerlegte die Entwicklung in leichter zu handhabende Schritte, wodurch Ressourcen eingespart und Projekte besser verwaltet werden konnten. In ähnlicher Weise umfasst die datengetriebene Entwicklung spezifische Prozesse, Methoden und Tools, die die Entwicklung von KI-basierten Funktionen effizienter und schneller machen.

#### *Wofür ist die datengetriebene Entwicklung gut?*

Die Entwicklung neuer Funktionen in modernen Fahrzeugen wie Spurhalteassistenten (Lane Keeping Assistant, LKA), Stauassistenten (Traffic Jam Assistant, TJA) und eine höhere Stufe des autonomen Fahrens basiert auf Perzeptionsfähigkeiten, die mit Machine-Learning-Modellen umgesetzt werden. Um diese Perzeptionsfähigkeit auszureifen und in der realen Welt zuverlässig zu machen, müssen im Vorfeld viele Beispiele aus der realen Welt gesammelt und bei der Entwicklung und Validierung verwendet wer-

den. Man kann sagen, je mehr eindeutige Beispiele für die Entwicklung zur Verfügung stehen, desto zuverlässiger arbeitet die Software im Betrieb (auf der Straße). Zu bestimmten Zeitpunkten in der Entwicklung wird keine Programmierung mehr vorgenommen; nur die Daten selbst verbessern die Zuverlässigkeit und Leistung.

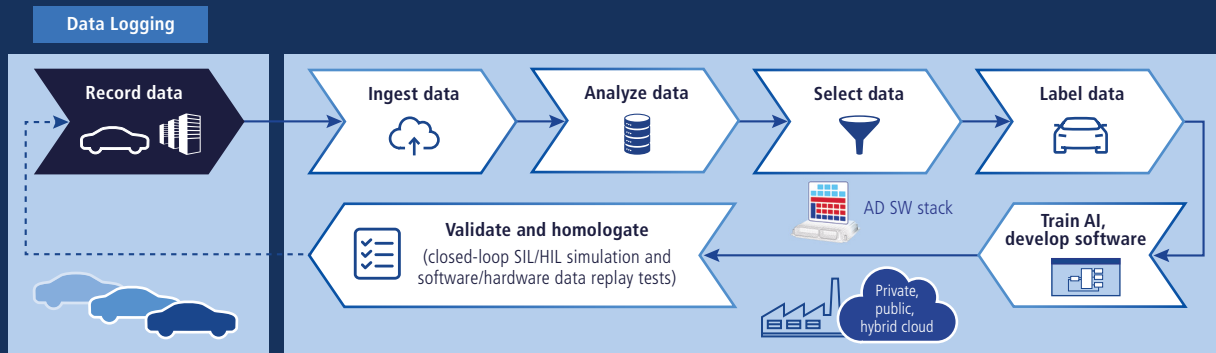
Daher besteht eines der Ziele der Entwicklung darin, so viele relevante (und eindeutige) Beispiele von Verkehrssituationen wie möglich zu sammeln, um einen robusten Trainings- und Validierungsdatensatz zu erstellen, der Software-Fehler auf der Straße verhindert. Daten bestimmen die KI-Leistung und KI ermöglicht autonomes Fahren.

#### *Was sind die Herausforderungen bei der datengetriebenen Entwicklung?*

Die größte Herausforderung ist die Menge der Daten, die in diesem Prozess anfällt. Die Datenerfassung und die Fahrversuche erstrecken sich über Hunderttausende oder sogar Millionen von Kilometern auf der Straße. Im Hinblick auf die gesammelten Daten sprechen wir von Petabytes oder Hunderten von Petabytes an Daten.

Der große Speicherplatz und die damit verbundenen Kosten sind nicht die einzigen Folgen, die sich aus der Erfassung so großer Datenmengen ergeben. Es entsteht auch Bedarf an geeigneten Verfahren und Instrumenten für die Arbeit mit diesen Daten. Stellen Sie sich vor, Sie brauchen ein Schneidewerkzeug. Ein Messer eignet sich gut, um einen Zweig abzuschnei- >>





Bei der datengetriebenen Entwicklung autonomer Fahrzeuge wird ein Datenkreislauf genutzt. Dazu gehört die Datenerfassung auf der Straße, die Datenaufnahme mit hoher Bandbreite in einem Datenzentrum, die Analyse der Daten auf relevante Verkehrssituationen und die Kennzeichnung für das KI-Training und die Generierung von Ground Truth in Datenwiedergabetests.

den, aber es ist nicht geeignet, um einen Baum zu fällen. Ebenso eignen sich Tools, die gut mit Megabyte- und Gigabyte-Daten arbeiten, nicht gut für größere Datenmengen wie Terabyte und Petabyte.

Tatsache ist, dass nicht alle Daten, die auf der Straße gesammelt werden, den gleichen Wert für die Entwicklung und Validierung haben. Tatsächlich behaupten verschiedene Quellen, dass etwa 90-95 % der gesammelten Daten nutzlos sind. Die Herausforderung besteht darin, zwischen brauchbaren und unbrauchbaren Daten zu unterscheiden. Daher liegt ein Schwerpunkt der datengetriebenen Entwicklung auf der Erfassung, Speicherung und Nutzung von Straßendaten, die für die Entwicklung und Validierung wirklich von Nutzen sind, und auf der Beseitigung wertloser Daten.

#### Wie sieht die Lösung von dSPACE aus?

dSPACE als Partner für Simulation und Validierung hat die Herausforderungen in der frühen Phase erkannt und entsprechende Werkzeuge entwickelt, die unseren Kunden helfen, die Prozesse in der datengetriebenen Entwicklung zu verbessern. Unser Angebot deckt den gesamten Weg der Daten von der Datenerfassung bis zur Datenwiedergabe (auch Reprocessing genannt) ab. Darüber hinaus lässt sich

das System nahtlos in die Closed-Loop-Simulation zur Validierung von ADAS/AD-Funktionen in einer vollständig virtuellen Welt einbinden.

- Beginnend mit der Datenerfassung bietet dSPACE intelligente Lösungen, um alle Daten aufzuzeichnen oder eine Onboard-Analyse durchzuführen und die Datenaufzeichnung zu optimieren. Manuelles Tagging mit RTag oder KI-basierten Filtern erweitern die Möglichkeiten des AUTERA-Datenloggers und der RTMaps-Logging-Software, um nur die relevanten Situationen zu erfassen und die Datenmenge zu reduzieren.
- Die Hochgeschwindigkeitsdatenaufnahme mit unserer Upload-Station stellt sicher, dass die Daten ohne unnötige Verzögerungen zu den Entwicklern und Testingenieuren gelangen.
- Für eine effektive Nutzung der gesammelten Daten bietet IVS, die Sensordaten-Management-Plattform für automatisiertes Fahren von Intempora (einem dSPACE Unternehmen), Zugang, Visualisierung, Annotation und Datenauswahl.
- Die Validierung von Funktionen und Systemen ist nur anhand von gemessenen Referenzinformationen (auch Ground Truth genannt) möglich. Im Zusammenhang mit der Entwicklung von Funktionen für das autonome Fahren stützt sich die Referenz auf

die Annotation von Sensordaten, welche die wahren Informationen darstellen. Hier spielt understand.ai, ein dSPACE Unternehmen, das sich auf groß angelegte und automatisierte Annotationen konzentriert, eine entscheidende Rolle.

- Die Validierung mit aufgezeichneten und annotierten Daten wird mit unseren Datenwiedergabesystemen durchgeführt. Hier bieten wir sowohl Werkzeuge und Lösungen für die Validierung von Algorithmen als auch komplette Systeme an, die sowohl Hardware als auch Software umfassen. Datenwiedergabesysteme bestehen aus unseren etablierten Produkten wie RTMaps, VEOS, SCALEXIO und ESI Unit, je nach dem vom Kunden gewünschten Anwendungsfall.

Darüber hinaus sehen wir spezifische Kundenanwendungsfälle: Die Validierung mit aufgezeichneten Daten, der so genannte Open-Loop-Test, ist nicht die einzige Möglichkeit, die Daten zu nutzen. Hochwertige Daten werden auch zur Verbesserung des Trainingsdatensatzes verwendet. Darüber hinaus spielen die aufgezeichneten Daten eine wichtige Rolle beim Übergang zur Closed-Loop-Validierung. Erstens ermöglicht IVS mit seinen Plug-ins eine automatisierte Analyse von Verkehrssituationen und damit ein besseres Ver-

“Unser Ziel ist klar, die Effizienz des datengetriebenen Entwicklungsprozesses für unsere Kunden zu maximieren.“

Patrik Moravek



ständnis der entsprechenden Verkehrsparameter. Zweitens bietet dSPACE die Generierung synthetischer Szenarien aus gesammelten Daten, die in Closed-Loop-Simulationen anwendbar sind, was die Planung und Durchführung der gesamten Validierungsstrategie auf dem Weg zur Homologation verbessert.

#### *Wer ist als Partner mit an Bord?*

Ein breites Partner-Ökosystem für die Entwicklung von ADAS/AD-Funktionen ist ein Muss. Das ist ein entscheidender Aspekt, um die Aufgaben unserer Kunden zu erleichtern. Die ganze Geschichte samt Lösung für eine datengetriebene End-to-End-Entwicklung ist komplex und umfasst mehrere Fachbereiche. Ein einziges Unternehmen kann das alleine nicht meistern. Um die Probleme unserer Kunden in ihrer ganzen Komplexität zu lösen, arbeiten wir eng mit vielen Partnern aus unterschiedlichen Bereichen zusammen. So hilft beispielsweise bei der Datenerfassung und -wiedergabe die enge Zusammenarbeit mit Sensoranbietern wie Velodyne, LeddarTech, Robosense, LeopardImaging und Sensing World, mit Bildchip-Anbietern wie OnSemi und NXP und mit Steuergerätee-Anbietern wie Nvidia und Renesas, das System in kurzer Zeit in Betrieb zu nehmen. Dies erhöht natürlich die Kundenzufriedenheit, da der Abstimmungsaufwand zwischen den Lieferanten reduziert wird. Computing-Infrastruktur ist ein weiterer Bereich, in dem Partnerschaften mit Unternehmen wie AWS, DELL, IBM, Microsoft, SVA und anderen dafür sorgen, dass unsere Systeme problemlos in verschiedenen Umgebungen eingesetzt werden können und mit maximaler Effizienz auf den genutzten Ressourcen laufen. Die Verbindung von Software, Hardware und Daten an verschiedenen Standorten ist oft nur mit Unterstützung von Kollaborationszentren, die erstklassige Netzwerkverbindungen anbieten, effizient möglich. Hier arbeiten wir zum Beispiel

mit Equinix zusammen. Darüber hinaus arbeiten wir viel mit Ingenieurbüros, die unsere Kapazitäten bei Engineering-Aufgaben wie Fahrzeugintegration oder Managed Services, einschließlich Systemintegration und Betrieb, flexibel erweitern. Das Partner-Ökosystem ist vielseitig und eng verzahnt und ich freue mich, dass alle Partner so motiviert sind, mit dSPACE zusammenzuarbeiten, um verschiedene Kundenanforderungen zu erfüllen.

#### *Was ist der Nutzen für die Kunden?*

Unsere Tools und Lösungen verbessern den datengetriebenen Entwicklungsprozess für unsere Kunden, so dass sie effizienter arbeiten und ihre Ziele schneller und letztlich auch zu geringeren Gesamtkosten erreichen. Das ist das Feedback, das wir von unseren Kunden erhalten, und darauf bauen wir weiter auf. Der Umfang und die Durchgängigkeit unserer Lösungen ersparen dem Kunden erheblichen Zeit- und Kostenaufwand für die Integration, die zum großen Teil bereits mit unserer Lösung geliefert wird. Das Partner-Ökosystem vervielfacht diesen Aspekt noch weiter. Je mehr aus einer Hand oder von einem Ökosystem von Partnern geliefert wird, desto weniger Integrationsaufwand und Risiken bleiben für die Kunden. Wir denken immer an Modularität und Skalierbarkeit. Wir bieten unseren Kunden eine schrittweise Erweiterung des Werkzeugportfolios für die datengetriebene Entwicklung mit wachsendem Projektumfang. Die Kunden können klein anfangen und später auf früheren Investitionen aufbauen. Unsere Werkzeuge sind wiederverwendbar. Das ist bei verschiedenen Projekten der Fall, aber ein großer Vorteil für unsere Kunden ist auch die Wiederverwendbarkeit unserer Produkte in verschiedenen Anwendungen. Betrachten wir die Hardware-in-the-Loop (HIL)-Produkte. Sie sind fester Bestandteil der Datenwiedergabe im Hardware-Setup, so

dass Kunden, die dSPACE HIL-Systeme einsetzen, erhebliche Kosten sparen können, wenn sie diese zu Datenwiedergabe-Teststationen umrüsten.

#### *Wie sieht die Zukunft aus und wie wird dSPACE sein Angebot weiterentwickeln?*

Unser Ziel ist klar, die Effizienz des datengetriebenen Entwicklungsprozesses für unsere Kunden zu maximieren. Wenn unsere Kunden mit unseren Werkzeugen auf dem Weg zum sicheren autonomen Fahren Geld und Zeit sparen, ist das eine Win-Win-Situation. Das ist unser Verständnis von Partnerschaft. Die Optimierung und Verbesserung entlang der Datenpipeline erfolgt durch einen besseren Einblick in die Daten – das Verständnis für den Inhalt der Daten und ihren Wert in den aufeinander folgenden Schritten. Wenn man schon bei der Datenerfassung entscheiden kann, welche Daten wertlos sind, ist das eine direkte Kostenersparnis. Auf der anderen Seite ist die Fähigkeit, den Wert der Daten zu verstehen, nicht umsonst, und es ist letztendlich ein Kompromiss zwischen Investitionen in Dateneinblick und Kosteneinsparungen entlang der Datenpipeline. Und das ist es, was wir ansprechen.

KI spielt eine zentrale Rolle beim Verstehen von Daten, zum Beispiel bei der Erkennung von Szenarien in aufgezeichneten Daten, und deshalb investieren wir viel in dieses Thema. Wir setzen bereits KI-Algorithmen in unseren Tools ein und arbeiten an weiteren Verbesserungen. KI verbessert unser Produkt zum Beispiel bei der Datenerfassung, der Annotation und der Datenverwaltung. Wir haben unsere eigene Datenerfassungsstrategie, die auf der dSPACE Erfassungsplattform, auch bekannt als Sensorfahrzeug, basiert. Damit adressieren wir genau die Anwendungsfälle, die der Werkzeugverbesserung dienen. ■

*Vielen Dank für das Gespräch.*

“Ein Messer eignet sich gut, um einen Zweig abzuschneiden, aber es ist nicht geeignet, um einen Baum zu fällen. Ebenso eignen sich Tools, die gut mit Megabyte- und Gigabyte-Daten arbeiten, nicht gut für größere Datenmengen wie Terabyte und Petabyte.“

*Patrik Moravek*



Der Einfluss der Fahrdynamik auf die funktionale Sicherheit von ADAS/AD

# Sicherheit ganzheitlich denken

Die Integration von ADAS/AD-Funktionen in Fahrzeuge dient einem Ziel: Die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten und bestenfalls noch zu erhöhen. Doch was gilt es bei der Absicherung der intelligenten Systeme zu beachten? Reicht die Betrachtung von Regularien, Testszenarien, Sensoren und Funktionen aus, oder spielt auch das dynamische Verhalten des Fahrzeugs eine entscheidende Rolle?

**E**inblick in die Fahrdynamik von Fahrzeugen: Physikalisch sind Fahrzeuge mehr als eine Punktmasse und ihr fahrdynamisches Verhalten hat besonderen Einfluss auf kritische Fahrsituationen. Als einfaches Beispiel mag das Bremsen auf Belägen mit unterschiedlichen Reib-

werten gelten: Das Fahrzeug bricht aus, da ein Drehmoment um seine Hochachse entsteht. Auch wenn Stabilitätssysteme eingreifen, um die Drehung zu verhindern, müssen Sicherheitsaspekte immer aus Sicht der Sensorik bewertet werden. Doch welche Informationen liefern diese, wenn fahr-

dynamische Effekte die bildgebende Sensorik beeinflussen? Und wie gehen ADAS/AD-Funktionen damit um?

## Untersuchung per Simulation

Erfreulicherweise müssen wir zur Untersuchung des fahrdynamischen Verhaltens keine aufwendigen und

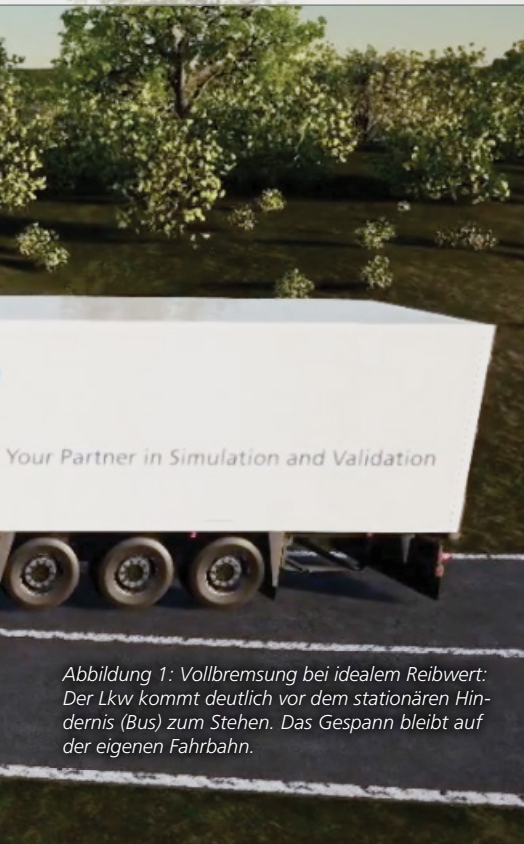


Abbildung 1: Vollbremsung bei idealem Reibwert: Der Lkw kommt deutlich vor dem stationären Hindernis (Bus) zum Stehen. Das Gespann bleibt auf der eigenen Fahrbahn.

gefährlichen Situationen auf dem Testgelände (Proving Grounds) durchzuführen. Schon mit wenigen Klicks liefern Simulationen aufschlussreiche Einblicke. Wir wollen mit Hilfe der dSPACE Toolsuite ASM (Automotive Simulation Models) in Kombination mit der sensorrealistischen Simulationssoftware AURELION ausgewählte relevante Situationen betrachten.

### 1) Fahrdynamikuntersuchung: Notbremsung im Grenzbereich

Mit einem Lkw wird eine Notbremsung im Grenzbereich mit unterschiedlichen Reibwerten, zum Beispiel durch Laub, Nässe oder Schnee, auf der Straße und mit ausgeschaltetem EBS (Electronic Brake System) durchgeführt, um den Einfluss der Fahrdynamik auf das Gesamtsystemverhalten gesondert hervorzuheben. Der Bremsvorgang wird jeweils über das Notbremsystem (Automatic Emergency Braking, AEB) als Bestandteil eines ADAS aufgrund des erkannten Kollisionsrisikos ausgelöst. Die Beispiele zeigen, dass nur bei Berücksichtigung aller fahrdynamischen Aspekte (Reibwerte, Momente zwischen Zugfahrzeug und

Anhänger) eine Notbremsung in der Simulation realistisch abbildbar ist. Und nur wenn die Einflüsse der Fahrdynamik berücksichtigt werden, kann die Funktion des ADAS vollständig bewertet und validiert werden. Gerade bei der Entscheidung für eine Notbremsung im fahrdynamischen Grenzbereich darf die Stabilität des Gesamtsystems nicht außer Acht gelassen werden.

### Den Gesamtverbund berücksichtigen

Darüber hinaus berücksichtigen die ASM-Fahrzeugmodelle auch das Verhalten des Bremssystems, sowohl hydraulisch als auch pneumatisch, und bieten somit die Möglichkeit, ein ADAS/AD-Steuergerät im Verbund mit anderen Steuergeräten zu testen, zum Beispiel die Interaktion mit einem elektronischen Stabilitätsregler (Electronic Stability Controller, ESC). Der Vorteil: Die Performance des gesamten Systems geht in die Bewertung mit ein, und die Absicherung erfolgt nicht nur für eine einzelne Komponente, sondern für ein Verbundsystem. Damit stehen dem ADAS/AD-Entwickler er- >>

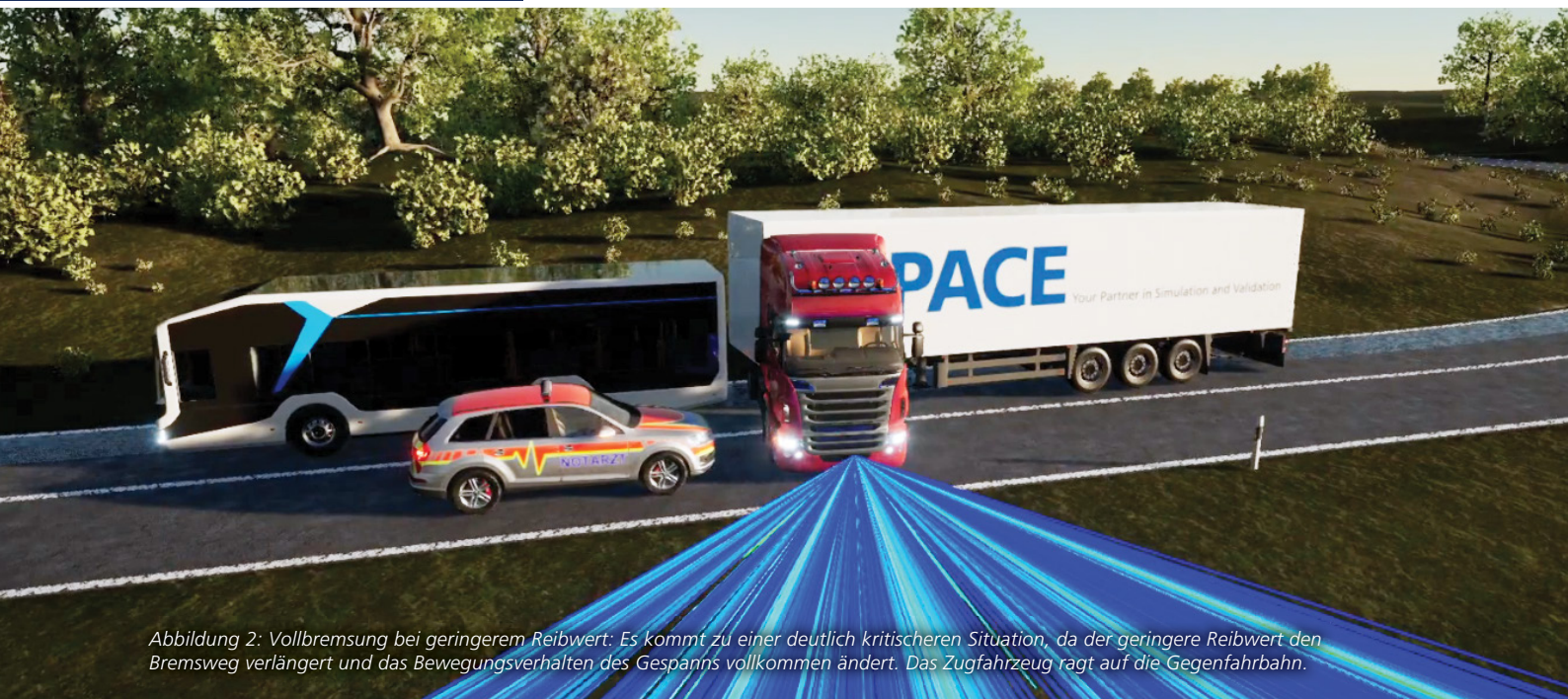


Abbildung 2: Vollbremsung bei geringerem Reibwert: Es kommt zu einer deutlich kritischeren Situation, da der geringere Reibwert den Bremsweg verlängert und das Bewegungsverhalten des Gespanns vollkommen ändert. Das Zugfahrzeug ragt auf die Gegenfahrbahn.

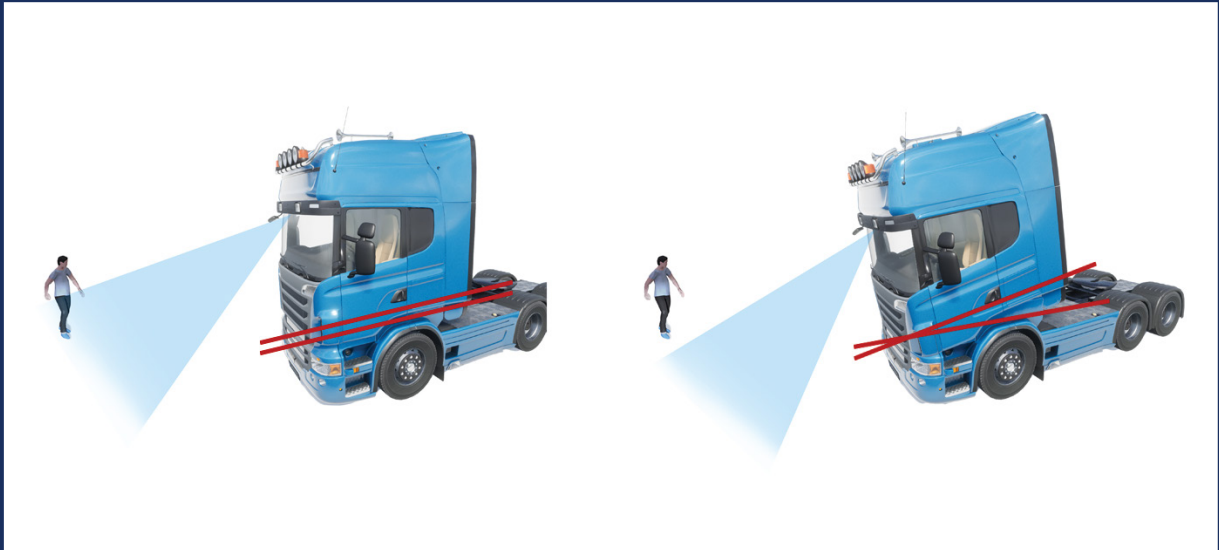


Abbildung 3: Der Nickwinkel verändert die Sicht auf das erkannte Hindernis. Ein starker Nickwinkel führt sogar dazu, dass sich das Hindernis nur noch teilweise im FoV des Sensors befindet, was zu einer erschwerten Objekterkennung (Perception) führt.

weiterte und ausgereifere Möglichkeiten zur Verfügung, das Verhalten des gesamten Systems frühzeitig zu verstehen und gegebenenfalls anzupassen.

## 2) Fahrdynamikuntersuchung: Nickwinkel der Fahrerkabine bei Bremsung

Bremst ein Lkw, verursachen die Beschleunigungen in Fahrtrichtung, dass die Fahrerkabine aufgrund des Freiheitsgrades zum Chassis einnickt. Die

in der Fahrerkabine eingebauten Kamerasensoren verändern somit ihren Blickwinkel. Diese veränderte Sicht wird von den verbauten ADAS/AD-Steuergeräten kompensiert, so dass ein korrekt berechneter Abstand zum erkannten Hindernis vorliegt.

Um auch bei der Simulation die Nickwinkelkompensation einzubeziehen und die Steuergeräte korrekt zu kalibrieren, muss der Nickwinkel den physikalischen Gegebenheiten entsprechen. Dies ist sowohl für Objekter-

fassung durch einzelne Sensoren als auch die nachgelagerte Sensorfusion unerlässlich. Ein in der Kabine verbauter Kamerasensor muss zum Beispiel mit dem unten im Chassis verbauten Radarsensor zum selben Ergebnis in der Hinderniserkennung kommen. Ansonsten droht ein Ausfall des Gesamtsystems mit möglichen gravierenden Folgen.

Je nach Fahrsituation kann gerade bei sehr starken Bremsverzögerungen und einem dadurch verursachten hohen Nickwinkel ein ursprünglich erkanntes Hindernis teilweise oder sogar ganz aus dem Sichtfeld (Field of View, FoV) des Sensors verschwinden. Das Verhalten der ADAS/AD-Funktionen in diesen besonders kritischen Situationen muss bekannt und abgesichert sein.

Wie sich dieses Verhalten mit ASM Truck anschaulich darstellen und physikalisch korrekt in der Simulation berücksichtigen lässt, zeigen die folgenden Grafiken. Die physikalisch basierten Sensormodelle in AURELION erlauben dabei eine frei konfigurierbare Positionierung der Sensoren, also insbesondere eine Verbauposition des Kamerasensors in der Kabine mit weiteren Freiheitsgraden:

Abbildung 4: Spurrillen führen zu Störgrößen, die die Fahrzeugführung beeinflussen; ggf. kommt das Gesamtgespann von der Fahrbahn ab.



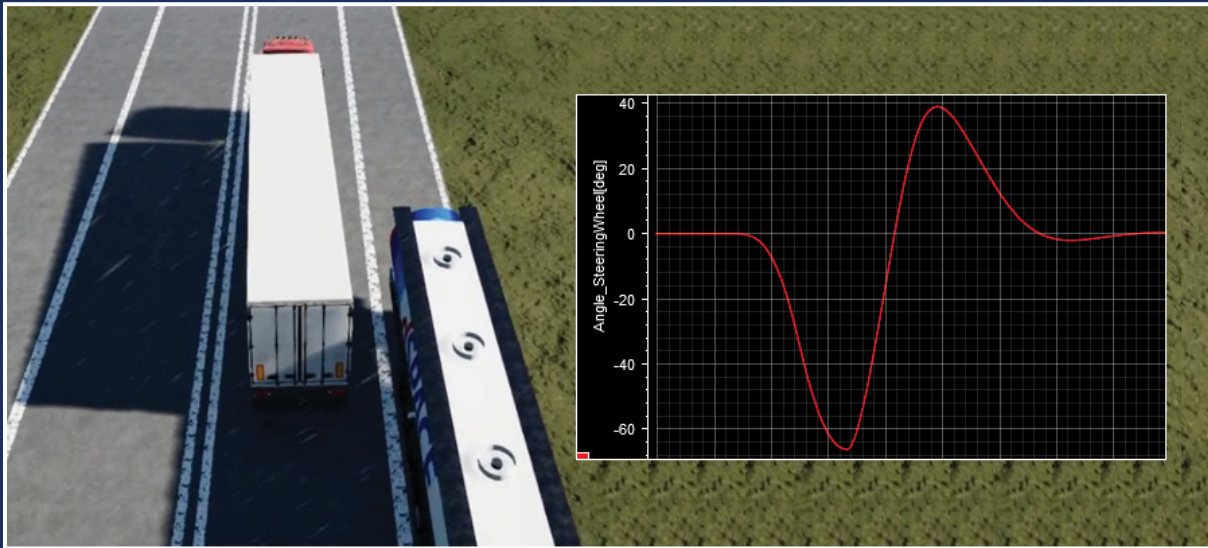


Abbildung 5: Seitenwinde verändern die Fahrtrichtung. Ohne Steuerungsmaßnahmen kommt das Fahrzeug von der Straße ab.

### 3) Fahrdynamikuntersuchung: Spurrillen in der Fahrbahnoberfläche

Eine wichtige Funktion von ADAS/AD-Steuergeräten für Lkw sind aktive Spurhalteassistenten (Lane Keep Assistance, LKA). Sie müssen nicht nur die Fahrbahn korrekt erkennen, sondern auch robust gegenüber äußeren Störgrößen ausgelegt sein. So eine Störgröße kann zum Beispiel durch die Reifen-Straße-Kontaktpunkte aufkommen, wenn sich das Fahrzeug in einer Spurrille befindet und gegenlenken muss. Für die zuverlässige Absicherung des LKA-Systems ist es daher notwendig, derartige Störgrößen in einer Closed-Loop-Simulation realistisch abbilden zu können. Mit dem Simulationsmodell ASM Road lassen sich beliebige Straßenbeläge simulieren und flexibel parametrieren. So erhält man eine sehr breite Testabdeckung mit reproduzierbaren Tests, die man im realen Fahrversuch nicht mehr erreichen kann.

### 4) Fahrdynamikuntersuchung: Berücksichtigung von Seitenwind

Ein weiterer, insbesondere für Lkw bedeutsamer Aspekt ist die Berücksichtigung des Seitenwindes bei der automatisierten Spurhaltung. Im Zusammenhang mit Abschattungen entstehen hohe laterale Impulse, die bei Fahrzeugen mit Anhänger und Auflieger zur Richtungsänderung und zu Instabilitäten führen können. Das ADAS/AD-Steuergerät muss diese erkennen und geeignet darauf reagieren. Auch hier bietet die ASM-Simulation die Möglichkeit, solche Situationen mit hoher Variabilität darzustellen. Dadurch ergibt sich die Chance, schon früh eine hohe Reife der Algorithmen zu gewährleisten. Nicht zuletzt sind diese Tests für die Absicherung der Steuergeräte unerlässlich.

#### Bewertung und Gesamtansicht

Durch Einbeziehen des hochgenauen fahrdynamischen Systemverhaltens

gelingt es, den Einfluss physikalischer Effekte auf ADAS/AD-Systeme simulativ abzubilden und produktiv für die Absicherung einzusetzen. Damit leistet die Fahrdynamiksimulation einen essentiellen Beitrag zur zuverlässigen Entwicklung und Validierung und sorgt für robuste ADAS/AD-Steuergeräte.

Kommt es im Rahmen kritischer Fahr-situationen zu fatalen Folgen, ist häufig das Zusammenspiel unterschiedlicher Effekte ausschlaggebend. Genau diese in der Realität oft nicht darstellbaren Kombinationen ermöglicht die Simulation. Der Einsatz von realistischer Verkehrs- und Fahrdynamiksimulation ist die Grundlage für ein effizientes Vorgehen bei der Entwicklung von ADAS/AD-Systemen. Neben der Entwicklungseffizienz erhöhen sich sowohl die Testtiefe als auch die Testbreite, was wiederum die Qualität der Einzelfunktionen und somit das Zusammenspiel im Verbund verbessert. ■

#### Disclaimer:

Alle gezeigten Simulationen wurden mit der multiphysikalischen Toolsuite ASM (Automotive Simulation Models) von dSPACE durchgeführt. Die Sensorsimulationen und Animationen wurden mit der High-Fidelity-3D-Software AURELION berechnet und gerendert.

# Automatische Annotationen



Die Automatisierung des datengetriebenen Entwicklungsprozesses wird zum Enabler für das autonome Fahren, so Jürgen Daunis, CEO von *understand.ai*.

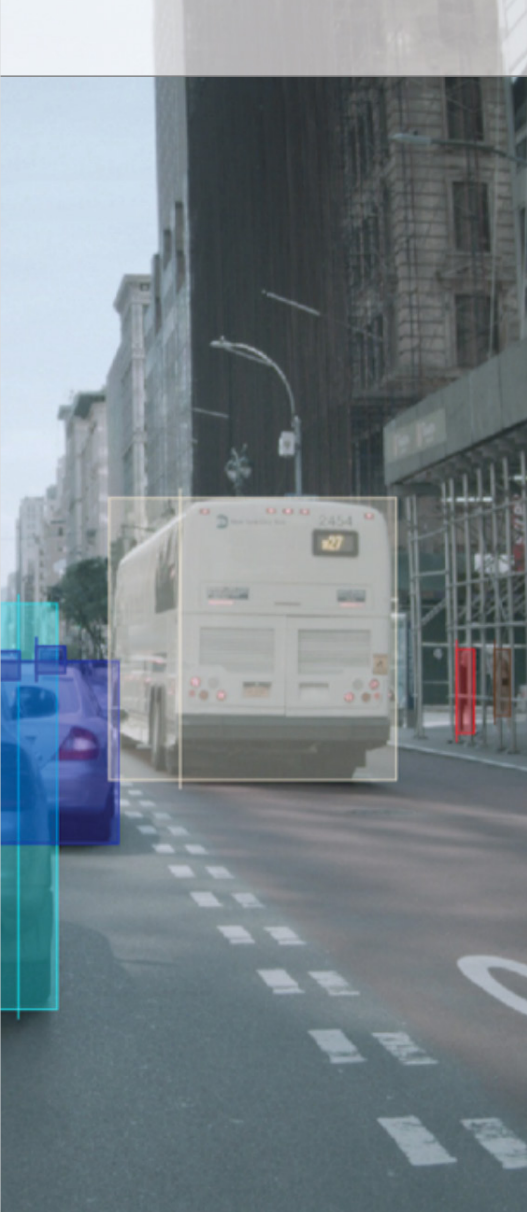
Der Perception Stack von autonomen Fahrzeugen muss in der Lage sein, die Umgebung des Fahrzeugs perfekt zu erkennen. Dazu wird seine Funktion mit Ground-Truth-Daten abgeglichen. Diese werden durch Annotation auf der Basis von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen automatisch erzeugt. Die Qualität, Umsetzungsgeschwindigkeit und Kosten der Annotation zu optimieren, ist das Ziel von *understand.ai*, einem Unternehmen der dSPACE Gruppe.

*Jürgen, Du bist 2021 bei *understand.ai* als CEO gestartet. Was hast Du zuvor gemacht? Was sind Deine Eindrücke vom Unternehmen und vom dSPACE Konzern?*

Mein beruflicher Hintergrund ist die

Automobilindustrie im Bereich EE und IT mit dem Schwerpunkt auf CASE (Connected, Automated, Shared, Electrified). Ich habe in technischen und vertrieblichen Leitungsfunktionen in Start-ups und Großkonzernen gear-

beitet. Es motiviert mich sehr, neue innovative Technologien in der Automobilindustrie zu realisieren. *understand.ai* ist so ein Innovationstreiber und verfügt über hervorragende Kompetenz und Produkte im Bereich der



Jürgen Daunis ist CEO  
von understand.ai

künstlichen Intelligenz und des Machine Learnings, das wir im autonomen Transportumfeld anwenden. Wir haben die Start-up-Phase hinter uns gelassen und befinden uns jetzt im Scale-up mit einem hochgradig motivierten und kompetenten Team. Mit dSPACE im Hintergrund verfügen wir über einen starken Partner, um unser Wachstum weiter auszubauen. Wir agieren unabhängig, nutzen aber Synergien, wo es sinnvoll ist. Zu erwähnen ist auch, dass sich die Produkte von understand.ai sehr gut in das „Data Driven Development“-Produktportfolio von dSPACE einfügen, zum Beispiel im Zusammenhang der Generierung von Simulationsszenarien.

*Wann erleben wir autonomes Fahren und welche Herausforderungen er-*

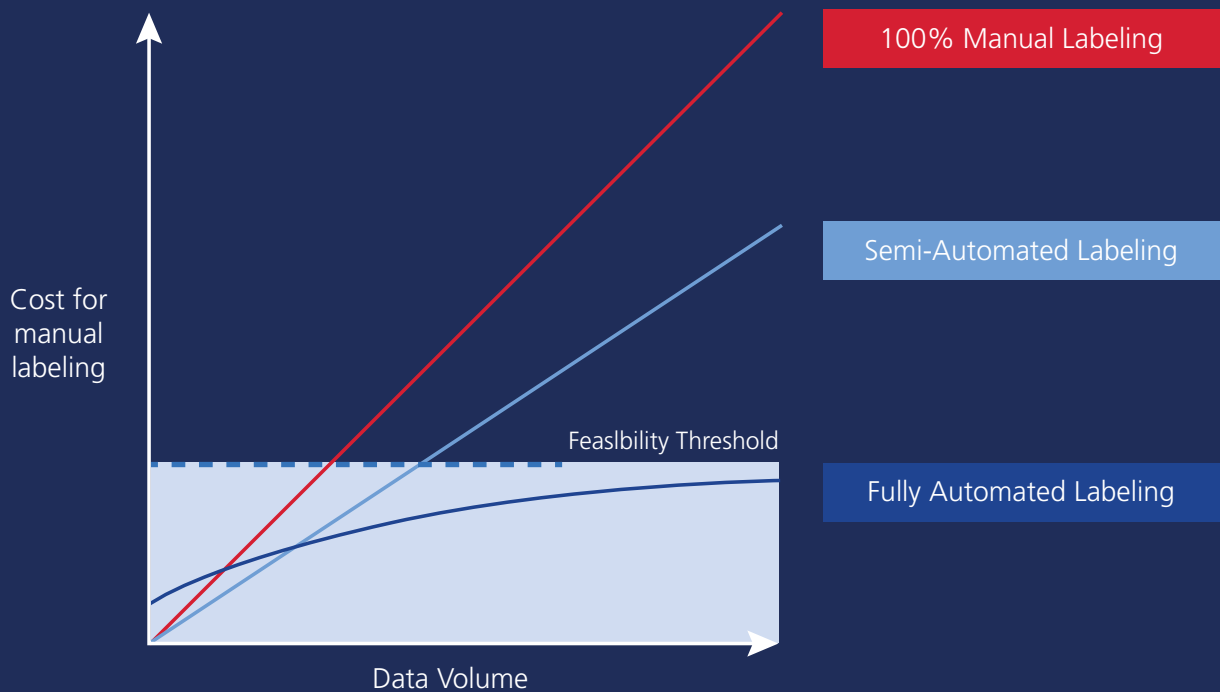
*geben sich für die Hersteller autonomer Fahrzeuge?*

Hier müssen wir zunächst unterscheiden, ob wir von „Passenger Cars“ oder kommerziellen B2B-Anwendungen sprechen. Im Bereich der „Passenger Cars“ sehen wir heute vor allem Funktionen im ADAS/L2-Bereich und erste Anwendungen im AD/L3-Umfeld. Die hier zu lösenden Fragestellungen sind neben der Technik unter anderem die Kosten, die Zulassungsbedingungen und die Haftungsfrage, die sich zunehmend vom Fahrer auf den Hersteller verlagert. Daher wird meiner Meinung nach das autonome Fahren im Bereich von L4 oder L5 im „Passenger Car“-Segment noch einige Zeit benötigen. Anders im kommerziellen Bereich, da sich hier die ODD (Operation Design Domain) klarer definieren lässt und

damit Zulassungs- und Haftungsrisiken begrenzt werden können. Ferner rechnet sich kommerziell der Business Case, da sich die Kosten der AD-Technologie durch den Wegfall des Fahrers kompensieren lassen. Wir sehen hier heute schon erste L4-Anwendungsfälle in der Praxis.

*Was sind wichtige Erfolgsfaktoren für die effiziente Entwicklung von Systemen für das automatisierte Fahren?*

Gemeinsame Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung vom autonomen Fahren ist die Qualität der verwendeten Daten, Algorithmen, Prozesse und Technologien sowie die Geschwindigkeit und der Automatisierungsgrad des Entwicklungsprozesses. Es gilt verlässliche Toolketten aufzubauen, die eine hohe Flexibilität, >>



*Automatisierung: Die Linearität zwischen den Kosten für manuelle Annotationen und dem Datenvolumen entkoppeln.*

Qualität und Automatisierung ermöglichen. Die zu verarbeitenden Datenmengen sind riesig, wobei die Kosten unter Kontrolle bleiben müssen. Auch müssen sich die Entwicklungs- und Reaktionszeiten verkürzen, um neue Sensoren und Funktionen zeitnah in Serie zu bringen und die Sicherheit der Flotte im Feld jederzeit zu gewährleisten.

*Wobei unterstützt understand.ai seine Kunden? Was ist der Kundennutzen?*

understand.ai erstellt Annotationen für die Erzeugung der „Ground Truth Data“ für autonome Transportsysteme. In zulassungsrelevanten Anwendungsbereichen werden große Datenmengen benötigt, um eine Validierung des „Perception Stacks“ vorzunehmen. Dabei wird die Funktionsweise des „Perception Stacks“ gegen die so genannte „Ground Truth“ abgeglichen. Wir verwenden künstliche Intelligenz und „Machine Learning“, um die Erstellung der Annotationen vollständig

zu automatisieren. Zielsetzung ist hierbei, dass bei der Verarbeitung der Validierungsdaten keine manuelle Labeling-Arbeit mehr notwendig ist. Der herkömmliche Annotierungsansatz beinhaltet einen sehr hohen Anteil an manueller Arbeit, um die Labels anzupassen und zu überprüfen. Bei großen Validierungsprojekten können leicht hunderte oder gar tausende von Mitarbeitern zum Einsatz kommen, was sehr teuer, schwierig zu koordinieren und langsam ist.

„Auf der Grundlage unserer innovativen Technologien entwickeln wir intelligente Lösungen für bisher ungelöste Branchen-Probleme.“

*Jürgen Daunis, understand.ai*



„Durch unseren Automatisierungsansatz ermöglichen wir einen realistischen Preis für „Large Scale Validation“ Projekte, eine methodisch abgesicherte Datenqualität und eine deutlich verkürzte Projektlaufzeit.“

Jürgen Daunis, *understand.ai*

Durch unseren Automatisierungsansatz ermöglichen wir einen realistischen Preis für „Large Scale Validation“-Projekte, eine methodisch abgesicherte Datenqualität und eine deutlich verkürzte Projektlaufzeit.

#### *Wie sieht ein typisches Projekt von understand.ai aus?*

Wir bekommen von unseren Kunden Daten angeliefert oder etablieren eine „Data Pipeline“, um kontinuierlich Daten zu verarbeiten. Ggf. importieren und kalibrieren wir die Daten dann und führen bei Bedarf eine Anonymisierung der Daten durch. Dies ist zum Beispiel notwendig, wenn für KI-Trainingszwecke Menschen auf die Daten zugreifen müssen, um eine Auswahl der Daten zu treffen. Als nächstes werden unsere Labeling-Robots entwickelt, angepasst und trainiert. Durch einen iterativen Prozess verbessern wir die Qualität der Automatisierung bis zum gewünschten Qualitätsniveau. Danach werden die Daten verarbeitet und die Labels automatisiert erzeugt. Im letzten Schritt werden die Ergebnisse an den Kunden zurückgeschickt. Unsere

Plattform läuft dabei als SaaS-Lösung in der Cloud, was es uns ermöglicht, praktisch beliebig zu skalieren.

#### *Auf welche strategischen Ausrichtungen von understand.ai können sich die Kunden einstellen?*

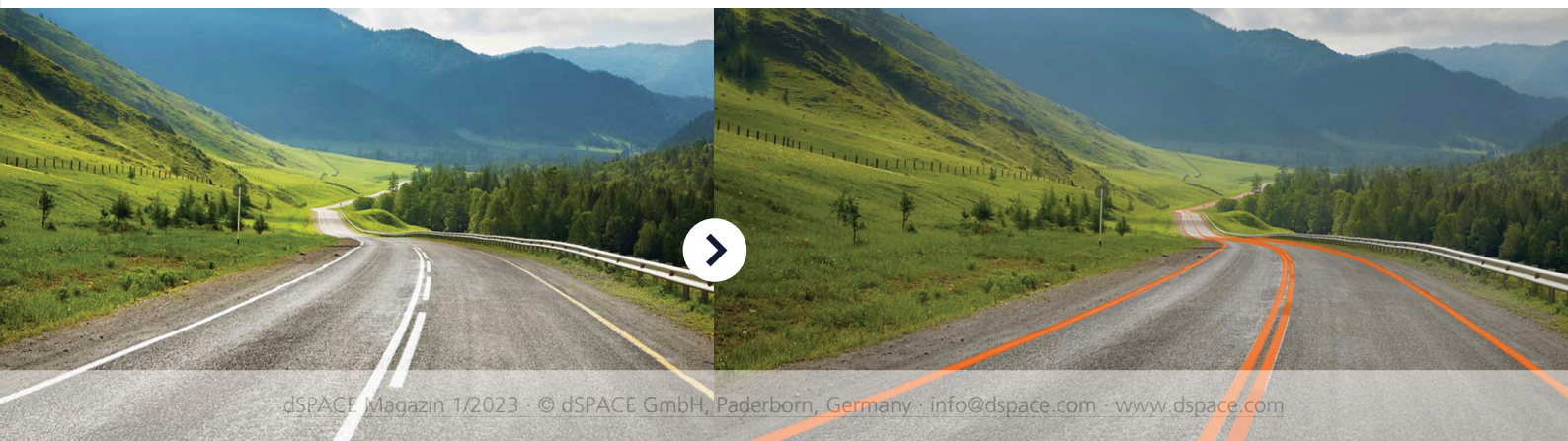
Wir fokussieren uns voll auf das Thema Automatisierung im Bereich „Large Scale Validation“. Dabei legen wir einen besonderen Wert auf die Themen Qualität, Skalierung und Flexibilität. Qualität bedeutet für uns, dass wir die geforderte Datenqualität erreichen, aber auch, dass wir über die Methodik verfügen, um die Einhaltung der Qualität nachweisen zu können. Im Bereich der Skalierung erhöhen wir kontinuierlich unsere Fähigkeit, unsere Systeme an die steigenden Datenmengen anzupassen und massiv zu parallelisieren. Auch automatisieren wir fortlaufend unsere Prozesse, so dass wir eine Vielzahl von Projekten gleichzeitig abarbeiten können. Unter Flexibilität verstehen wir unsere Fähigkeit, uns schnell an Kundenanforderungen anzupassen – unter funktionalen und prozessualen Gesichtspunkten. Unser Ziel

ist es, Teil der Entwicklungswerkzeugkette bei OEMs, Tier1, B2B-Transportanbietern und Tech-Companies im AD/ADAS-Bereich zu sein.

#### *Welche Erfolge gab es bei understand.ai schon zu verzeichnen?*

Wir haben jetzt eine sehr klare Strategie und einen Umsetzungsplan innerhalb von understand.ai und auch im Kontext von dSPACE. Wir wachsen sehr stark und gewinnen immer mehr Kundenprojekte in unseren Zielsegmenten. Die Rückmeldung aus der Industrie von Kunden, Partnern und Analysten ist durch die Bank positiv und wir sehen, dass wir eine Lösung für ein Industrieproblem entwickeln, das bisher noch nicht gelöst wurde. ■

*Vielen Dank für das Interview.*



# Autonome Fahrzeuge systematisch testen

Projekt erarbeitet verlässliche Validierungs- und Verifikationsmethoden

Halbzeit beim viel beachteten Verification-Validation-Methods (VVM)-Projekt: Mitte März präsentierten die Projektpartner erste Ergebnisse und Methoden. Die Relevanz des Projekts sei hoch, betonten Vertreter aus Politik, Industrie und Forschung, denn sicheres autonomes Fahren werde nur dann möglich, wenn verlässliche Validierungs- und Verifikationsmethoden eingesetzt werden. dSPACE bringt in das Projekt neben umfangreicher Expertise in der SIL- und HIL-Simulation zur Analyse und Bewertung der Projektanforderungen prototypische Umsetzungen zur Demonstration der Methoden ein.

**B**ei der Halbzeitpräsentation wurden Ergebnisse aus drei wesentlichen Bereichen vorgestellt: Die Anforderungen an die Testmethoden, die Orchestrierung und Validierung der Testinfrastrukturen und der Datenfluss sowie die im Projekt eingesetzten Toolings. dSPACE hat, unter anderem mit zwei Demonstrationen zur Kritikalitätsanalyse und Sensormodellvalidierung, die im Projekt erarbeiteten Methoden erfolgreich auf ihre Praxistauglichkeit hin untersucht.

### Kritikalitätsanalyse

Aufgrund der nahezu unendlich vielen verschiedenen Situationen im Straßen-

verkehr ist eine Verlagerung der Realtests in die Simulation allein nicht ausreichend, um die schier unendliche Menge an Testkilometern handhabbar zu machen. Eine zentrale Aufgabe zur Eingrenzung des Parameterraums auf die relevanten Fälle übernimmt dabei die Kritikalitätsanalyse. Durch systematisches Identifizieren von Wirkzusammenhängen, die zu kritischen Situationen im Straßenverkehr führen (sog. Kritikalitätsphänomene), wird der Testraum auf die relevanten Testfälle und damit auf ein beherrschbares Maß reduziert. Dem hoch skalierbaren szenariobasierten Testen kommt dabei eine besondere Rolle zu.

Während Unfalldatenbanken und Expertenwissen den Ausgangspunkt im Projekt bildeten, wurde die Simulation schon frühzeitig dazu genutzt, um Realdaten effektiv zu ergänzen und somit zielgerichtet Evidenz zur Verfeinerung der Kritikalitätsphänomene zu generieren. Durch einen Kausalitätsgraphen werden die Einflussgrößen auf das Kritikalitätsphänomen und ihre Beziehungen untereinander vorab analysiert, so dass sie in der Simulation gezielt variiert und überwacht werden können. Eine Demonstration zur Untersuchung des besonders anschaulichen Kritikalitätsphänomens „verminderter Reibwert“ wurde dazu anhand



Eine Demonstration zur Untersuchung des anschaulichen Kritikalitätsphänomens „verminderter Reibwert“ wurde anhand eines einheitlich definierten Use Cases mit SIMPHERA implementiert.

eines im Projekt einheitlich definierten Use Cases in dSPACE SIMPHERA implementiert (Abbildung). Durch die KPI-basierte Auswertung lassen sich kritische Simulationsläufe einfach herausfiltern und einer zweiten, detaillierten Analyse unterziehen.

**Sensormodellvalidierung**

Um Tests systematisch von der Realität in die Simulation verlagern zu können, müssen deren Einsatzgrenzen bekannt sein, um Vertrauen in die verwendeten Modelle zu schaffen. Dazu müssen die Simulation und alle benutzten Modelle zuvor für den Anwendungszweck für verschiedene Stichproben aus dem möglichen Parameterraum validiert werden. Die Demonstration der in der

ersten Projekthälfte erarbeiteten Methoden wurde, ausgehend von den generellen Simulationsanforderungen, für die Modellspezifikation der Lidar-Sensorsimulation durchgeführt. Hierfür wurden die Wirkketten im Sensorsystem methodisch aufbereitet und anschließend auf ihre Relevanz hin überprüft. Hieraus wurden Anforderungen an die Lidar-Systemsimulation abgeleitet und in der dSPACE Toolkette implementiert. Für die anschließende Demonstration wurde ein aus dem Projekt SET Level bereitgestelltes Lidar-Sensormodell über offene Schnittstellen in die dSPACE Sensor Environment Simulation mit ihrer leistungsstarken Raytracing Engine integriert. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf validierte Mate-

rialparameter der virtuellen Umgebung gelegt, die das optische Streuverhalten der Objekte realitätsgetreu abbilden. Erst dadurch wird eine Modellvalidierung basierend auf der Echo Pulse Width auf Punktwolkenebene ermöglicht. In der zweiten Halbzeit des Projekts geht es nun darum, die gezeigten Arbeiten zu verfeinern und weitere Konzeptdemonstratoren zu realisieren. Während Kritikalitätsanalyse und Sensormodellvalidierung unverändert relevant bleiben, wird die Testorchestrierung, d. h. die Verteilung von Testfällen auf das jeweils am besten geeignete Testmittel und die dafür erforderliche Durchgängigkeit der Testinfrastruktur zwischen SIL und HIL, einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten von dSPACE bilden. ■

**VVM**

Das Projekt VVM hat zum Ziel, Testverfahren zu entwickeln und Systematiken sowie Methoden bereitzustellen, um den Sicherheitsnachweis für automatisierte Fahrzeuge zu führen. Das Projekt arbeitet am Use Case der urbanen Kreuzung und fokussiert sich auf Fahrfunktionen bis zur kompletten Automatisierung von Fahrzeugen (SAE Level 4 und 5). Im Projekt soll der Sicherheitsnachweis als integraler Bestandteil im Entwicklungsprozess integriert werden. Bereits in der Entwicklung von Komponenten und Subsystemen wird die Testbarkeit, die Verifikation und Validierung als Designziel betrachtet („Design für Testbarkeit“). Die entstehenden Systeme lassen sich dann hierarchisch testen, so dass bei Aktualisierungen von Komponenten nicht mehr das gesamte System neu getestet werden muss. dSPACE ist einer von 23 Projektpartnern. Das Projekt läuft bis Mitte 2023.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

# Kopf-an-Kopf- Rennen mit KI



Internationale Studierenden-Teams treten mit autonomen Rennwagen gegeneinander an – die besten Algorithmen gewinnen.

Die Indy Autonomous Challenge (IAC) organisiert Rennen zwischen universitären Teams aus der ganzen Welt, die autonome Rennwagen programmieren, auf legendären Rennstrecken gegeneinander antreten und so die Kommerzialisierung selbstfahrender Autos vorantreiben. Wir sprachen mit Paul Mitchell, President und CEO der IAC, über das erste Rennen in 2022 und die Rolle des von dSPACE bereitgestellten Zentralrechners.

*Die Indy Autonomous Challenge 2022 hat einen sehr erfolgreichen Start hingelegt. Was sind Ihre Eindrücke nach den Trainingseinheiten und dem ersten Rennen in Texas?*

Im Vergleich zum Vorjahr haben wir die Rennwagen bei Hard- und Software deutlich verbessert. Die Autos sind robuster und können viel schnellere Startsequenzen ausführen. Die Sensorik ist besser als je zuvor – zum Beispiel sind sechs Navigationssenso-

ren an Bord – das eröffnet mehr Möglichkeiten. Eine wesentliche Rolle spielt der Zentralrechner, das dSPACE AUTERA-System, das für mehr Kapazität und Geschwindigkeit sorgt, so dass die AI-Driver-Software der Teams zuverlässig ausgeführt werden kann. Das Ergebnis all dieser Verbesserungen war in den Trainings und den Rennen klar erkennbar: Die Rennwagen verhalten sich, als würden sie von menschlichen Fahrern gesteuert und führen in den

Rennen sichere Überholmanöver aus. Das Rennen in Texas war eine echte Herausforderung. Wir hatten noch nie so schlechtes Wetter. Es regnete bei Temperaturen nahe am Gefrierpunkt. Deshalb konnten nicht alle Manöver mit maximaler Geschwindigkeit ausgeführt werden, aber wir haben bewiesen, dass die installierte Hardware und Software auch unter schwierigen Bedingungen funktioniert. Ein Beleg für die Leistungsfähigkeit der Senso-

# INDY AUTONOMOUS CHALLENGE



ren und des Zentralrechners. Genauso wichtig war es zu sehen, wie die Teams ihre Algorithmen verbessern konnten: Zum ersten Mal verhielt sich ein Auto, das einem anderen Fahrzeug in einer sicherheitskritischen Situation zu nahe kam, so als würde es von einem erfahrenen Rennfahrer gesteuert. Statt eines Sicherheitsstopps verlangsamte das Auto seine Fahrt und vermied so einen Unfall. In der Folge belegte das Team bei der Veranstaltung in Texas den ersten Platz.

*Können Sie kurz erklären, wie Sie auf die Idee zur Indy Autonomous Challenge (IAC) gekommen sind und wie sich die Rennserie entwickelt hat?*

Das Konzept wurde 2018 mit dem Ziel

ins Leben gerufen, zwei Interessensgebiete miteinander zu verbinden: autonome Technologie und den Rennsport. Die IAC arbeitet daran, neben der Renntechnik in Indiana ein Leistungszentrum für autonome Technologien zu schaffen.

*Wie wichtig sind Sponsoren für die IAC?*

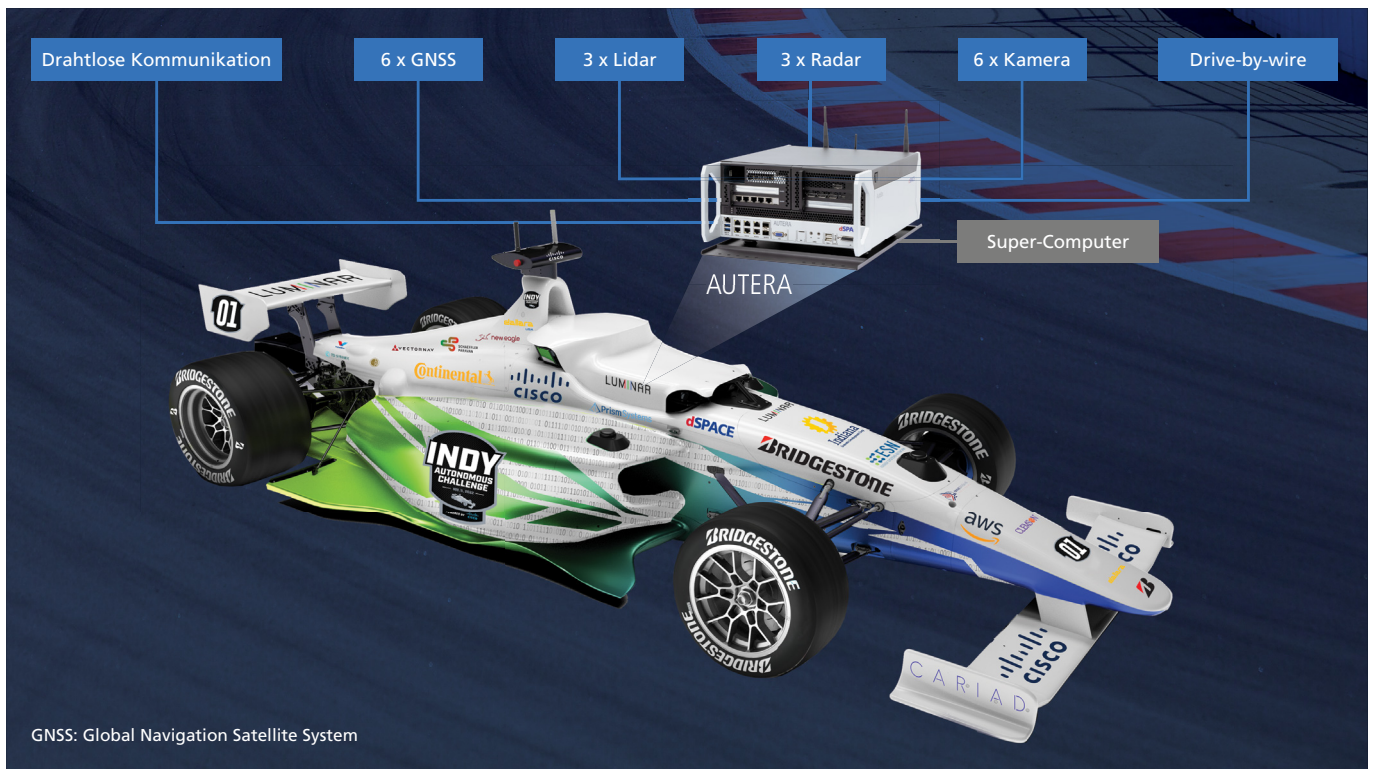
Wir könnten die IAC nicht ohne Industrieunternehmen betreiben. Unsere Sponsoren erweisen sich auch als Partner, die Basiskomponenten wie Hardware und Software sowohl im Auto als auch außerhalb des Autos beisteuern. Die Technologien wie Sensoren, drahtlose Komponenten, Computer usw. sind dieselben, die auch in der Fahrzeugindustrie eingesetzt wer-

den. Damit wird die Indy Autonomous Challenge zum Prüfstand und Testgelände für Technologien, die künftig in der Industrie verwendet werden.

*dSPACE ist der Technologiepartner für den Zentralrechner der IAC. Wie wichtig ist der Bordcomputer in den Fahrzeugen und hat er sich in Texas bewährt?*

Die dSPACE AUTERA Systeme haben die Leistungsfähigkeit der Fahrzeuge in entscheidender Weise verbessert: Zum einen ist AUTERA robust genug, um den rauen Bedingungen bei bis zu 300 km/h zu trotzen. Und nach den Renneinsätzen in Texas wissen wir, dass die Systeme sich auch bei eisigen Temperaturen bewähren. Außerdem haben die Systeme mehrere Unfälle überstan-

>>



GNSS: Global Navigation Satellite System



„Mit AUTERA waren die Teams in der Lage, ihre anspruchsvollsten Algorithmen auszuführen. Der Zentralrechner kommt der Leistung eines Supercomputers recht nahe – für den Einsatz im Auto sind Systeme wie diese schwer zu finden.“

*Paul Mitchell, President und CEO, Indy Autonomous Challenge*

den, und auch nach schweren Unfällen noch funktioniert. Wir wussten vorher, dass wir einen langlebigen, robusten Zentralrechner brauchen würden – aber AUTERA hat unsere Erwartungen übertroffen.

Außerdem bietet AUTERA die Flexibilität, Lidar-, Radar- und Kamerasensoren, drahtlose Kommunikation, Drive-by-Wire-Systeme, die sechs Navigationsensoren und vieles mehr anzuschließen. In AUTERA läuft alles zusammen. Mit AUTERA waren die Teams in der Lage, ihre anspruchsvollsten Algorithmen auszuführen. Der Zentralrechner kommt der Leistung eines Supercomputers recht nahe – für den Einsatz im Auto sind Systeme wie diese schwer zu finden.

*Welche technischen Herausforderungen müssen die Studierendenteams bewältigen?*

Nun, zunächst einmal müssen sie einen Rennwagen auf der Ideallinie fahren –

eine perfekte Lokalisierung und Trajektorienplanung machen hier den Unterschied. Wer gewinnen will, muss einerseits Unfälle vermeiden und andererseits aggressiv fahren - die Teams müssen die richtige Balance finden. Ein weiterer Aspekt ist der sichere Betrieb. Wenn etwas schief geht, zum Beispiel ein Reifen platzt die GPS-Verbindung verloren geht oder sich eine Verkabelung lockert, muss es dafür Sicherheitsmechanismen geben. Wir sind stolz darauf, wie die Teams das meistern, denn es beweist, dass sicheres autonomes Fahren möglich ist.

*Wie groß ist das Interesse der Industrie an der IAC? Und kann die Industrie von den Ergebnissen profitieren?*

Die IAC hat großartige Partner aus der Industrie. Und weil wir eine gemeinnützige Organisation sind, können wir auf Partner zählen, die uns mit Technologie und technischem Support kosten-

los unterstützen. Für die Industrie zahlt sich das gleich mehrfach aus. Zum einen gewinnen sie Erkenntnisse, die zur Verbesserung ihres Produkts beitragen. Zum anderen hat die Branche Zugriff auf die Talente. Diese Talente sind auf die eingesetzten Tools und Technologien trainiert und vertrauen ihnen. Das wiederum kommt der Industrie zugute. Marketing und Werbung sind natürlich auch wichtig, und all das macht auch noch sehr viel Spaß.

*Da alle dieselbe Hardware-Plattform haben, ist die Software der Schlüssel zum Erfolg. Sehen Sie unterschiedliche Ansätze und einen starken Wettbewerb in den Studierendenteams, oder tauschen die Studierenden ihre Ideen untereinander aus?*

Wir sehen beides: Zum einen sind die KI-Fahrer der einzelnen Teams unterschiedlich und haben einen individuellen Fahrstil, denn sie müssen besser

„Wir wussten, dass wir einen langlebigen, robusten Zentralrechner brauchen würden – aber AUTERA hat unsere Erwartungen übertroffen.“

Paul Mitchell, President und CEO, Indy Autonomous Challenge



sein, um zu gewinnen. Zum anderen setzen die Teams und alle Sponsoren auf Zusammenarbeit. Das bedeutet, dass sie einander bei der Problemlösung helfen – schließlich wollen alle, dass die gesamte Initiative vorankommt. In der Praxis konnten wir sehen, dass die Teams Daten und Lösungen austauschen. Wir hatten zum Beispiel mit GPS-Störungen zu kämpfen. Verschiedene Teams arbeiteten zusammen und tauschten Daten aus. Auf diese Weise konnten sie die Quelle der Störungen ermitteln. Und einige Teams befürworten den Open-Source-Ansatz und sind bereit, ihre Basissoftware auch anderen zur Verfügung zu stellen.

*Bei den aktuellen Rennen treten zwei Autos gegeneinander an, es herrscht nicht allzu viel Verkehr auf der Strecke. Wann werden wir mehr als zwei Autos auf der Strecke sehen, oder am besten alle gleichzeitig?*

Es gibt viele verschiedene Motorsportwettbewerbe. Denken Sie an Drag Racing – sogar mit einer Barriere zwischen den Autos. Mit der IAC versuchen wir zu demonstrieren, dass neue Technologie auch bei Hochgeschwindigkeitsbegegnungen funktionieren kann. Und wir tun das, damit die Fahrzeugindustrie von den Ergebnissen profitiert. Unser Ziel ist es nicht, der Formel 1 zu ähneln oder sie zu ersetzen. Mehr Autos auf der Rennstrecke bedeuten für die Industrie zunächst mal

höhere Kosten durch höhere Risiken aufgrund von Kollisionsschäden. Wir dürfen nicht vergessen, dass es sich um Autos im Wert von einer Million Dollar handelt. Wir werden sehen, wie wir die Serie im Sinne der Industrie weiterentwickeln. Im Moment gibt es viele verschiedene Rennformate, und unseres ist eines davon.

*Werden die Autos tatsächlich jedes Jahr schneller und sicherer? Gibt es große Fortschritte?*

Absolut. Sie verbessern sich in vielen Situationen und erreichen eine Höchstgeschwindigkeit von etwa 300 km/h. Dabei nimmt auch die Sicherheit deutlich zu. Wir sehen, dass die Autos bei diesen Geschwindigkeiten immer besser funktionieren.

*Die Zukunft des Automobils ist elektrisch. Gibt es Pläne, irgendwann elektrische Antriebe einzusetzen?*

Dies würde ein neues Fahrzeugchassis erfordern. Dazu müssten wir die Teile und die Infrastruktur berücksichtigen. Wenn mehr Rennserien und -strecken auf elektrische Antriebe umgestellt werden, könnten wir diese Vorteile nutzen. Aber wir sind nicht in der Lage, Antriebsstränge und Infrastrukturen selbst zu entwickeln. Im Moment halten wir an der aktuellen Rennwagenplattform fest. ■

*Vielen Dank für das Gespräch.*



Bildnachweis: © Indy Autonomous Challenge



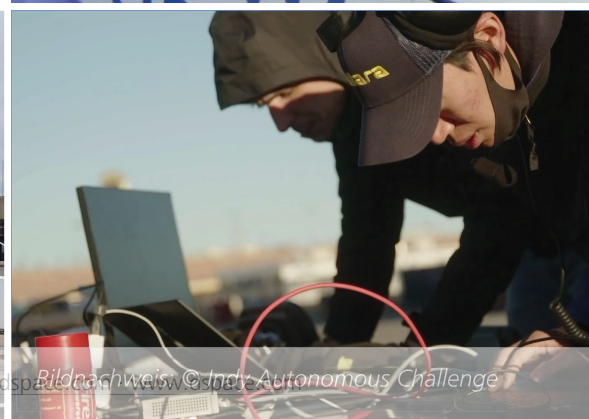
Bildnachweis: © Indy Autonomous Challenge



Bildnachweis: © Indy Autonomous Challenge



Bildnachweis: © Indy Autonomous Challenge



Bildnachweis: © Indy Autonomous Challenge

# Los. Und fertig.

Vorbereitung, Simulation und Validierung schnell und einfach. **SIMPHERA**. Enter simpliCity.

An aerial, top-down view of a futuristic city. The city is built on a circular or semi-circular landmass, with a complex network of roads and highways. The buildings are tall and modern, with a mix of colors like blue, purple, and green. There are green spaces and trees interspersed among the buildings. The overall aesthetic is clean, modern, and technologically advanced.

**ISO  
26262**

Willkommen bei SIMPHERA. Betreten Sie eine völlig neue Welt und entdecken Sie die neueste webbasierte Lösung, die das autonome Fahren voranbringt. Erleben Sie durchgängige Tests auf SIL- und HIL-Plattformen. Oder anders ausgedrückt: Enter simpliCity. [simpliCity. \*\*simpliCity.dspace.com\*\*](https://www.simpliCity.dspace.com)