

dSPACE MAGAZIN

2/2016

Porsche

Lenksysteme mechatronisch
abgesichert | Seite 24



Bosch – 48-Volt-Hybrid schnell und zuverlässig evaluiert | Seite 6

Mitsubishi – Autonomie flexibel implementiert | Seite 12



„Zur Vorbereitung der Flugversuche wird das vollelektrische Flugzeug ELIAS ausführlich in der ‚Aircraft-in-the-Loop‘-Simulation bei unserem Mutterkonzern IABG getestet. Dabei verifizieren wir nicht nur den automatischen Flug, sondern auch das Umschalten von Manuell auf Automatik im Flug. Die MicroAutoBox von dSPACE ist dabei als Flugführungsrechner mit an Bord.“

Dr. Hans Tönskötter, Senior Manager Airborne Systems, ACENTISS GmbH

Lesen Sie den vollständigen Bericht über ELIAS in der nächsten Ausgabe des dSPACE Magazins.



„dSPACE bietet ein umfassendes Lösungsangebot für die Entwicklung elektrischer Antriebssysteme.“

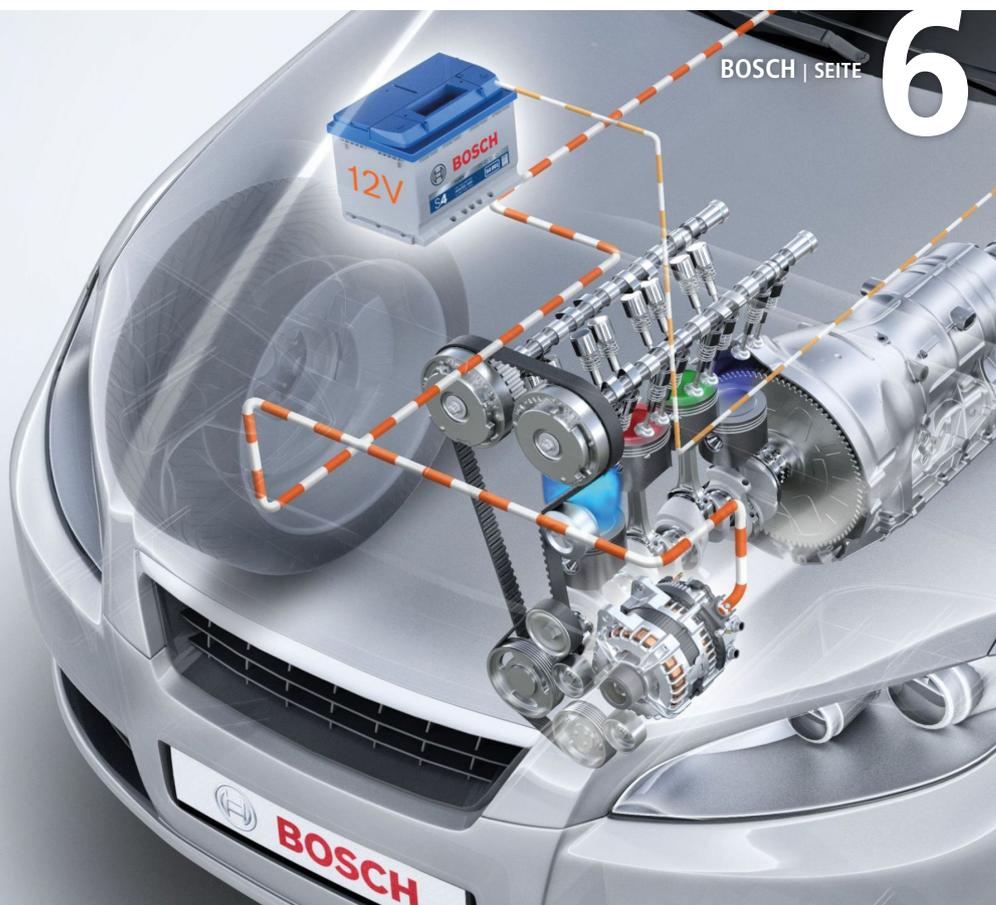
Es gab schon ruhigere Zeiten in der Automobilindustrie. Die Einhaltung von Emissionsvorgaben mit Verbrennungsmotoren wird so schwierig, dass auch um kleinste Verbesserungen gerungen wird. Gerade habe ich einen Artikel darüber gelesen, wie man durch Schaltsaugrohre 1 (in Worten „ein“) Gramm CO₂ pro Kilometer im Neuen Europäischen Fahrzyklus einsparen könnte. Zur Einordnung: Mittelklasse-Limousinen emittieren um die 150 Gramm. Elektromotoren, die die Stoßdämpfer ersetzen, könnten durch Rekuperation 3 Gramm zur Emissionsreduktion beitragen, wie Audi derzeit demonstriert. Das sind nur wenige Beispiele dafür, wie sich die Automobilindustrie abmüht.

Den großen Sprung nach vorne sollen nun Elektroautos bringen. Da geht man von Emissionsfreiheit aus, obwohl es meistens fossile Energieträger sind, welche die Leistung fürs Laden liefern müssen. Dann entstehen die Emissionen eben woanders. Die politischen Vorgaben werden aber erfüllt. Das scheint die Hauptsache zu sein. Aufgescheucht sind die Automobilhersteller auch noch durch dynamisch loslegende Start-ups, die auf den Elektroantrieb setzen und aggressiv in Richtung autonomes Fahren abzielen. Das fördert nicht nur die Antriebsent-

wicklung, sondern auch die gesamte Elektrifizierung des Fahrzeugs. dSPACE hat vorgesorgt und das Angebot an Lösungen für elektrische Antriebe von der Ladestation über das Batteriemangement bis zum Fahrmotor über viele Jahre hinweg immer weiter ausgebaut, ebenso für die Elektrifizierung der Nebenaggregate.

Ein Beispiel für Letzteres sind unsere mechatronischen Prüfstände für die elektrische Lenkung. Am High-End stehen große höchstdynamische Aufbauten, wie auf Seite 24 beschrieben. Dem gingen mehrere ähnlich große Prüfstände für andere Kunden voraus. Hier drückt sich auch aus, dass dSPACE traditionell die Disziplinen Software, Elektronik, Regelungstechnik und Maschinenbau kombiniert. Eine Anekdote zum Schluss: Ein Prüfstandskunde kam zu dSPACE, um zu sehen, wie weit wir mit seinem Projekt waren. Überrascht stellte er fest, dass es keine Terminverzögerungen gab. Damit hatte er nicht gerechnet, denn sein Laborraum für den Aufbau des Prüfstands war noch nicht fertig. Dass dann seine Erwartungen an die Dynamik vom realen Prüfstand übertroffen wurden, war indes eine willkommenere Überraschung.

Dr. Herbert Hanselmann



IMPRESSUM

dSPACE MAGAZIN wird periodisch herausgegeben von:

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

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

Fachredaktion:
Thorsten Bödeker, Michael Lagemann, Ralf Lieberwirth, Lena Mellwig, Dr. Gerhard Reiß, Sonja Ziegert

Redaktionelle Mitarbeit an dieser Ausgabe:
Dr. Ulrich Eisemann, Felix Engel, Anne Geburzi, Thorsten Hufnagel, Hartmut Jürgens, Dr. Klaus Lamberg, Frank Mertens, Björn Müller, Tobias Rodehüser, Carsten Rustemeier, Tobias Schäffer

Lektorat und Übersetzung:
Robert Bevington, Stefanie Bock, Anna-Lena Huthmacher, Dr. Michelle Kloppenburg, Stefanie Kraus

Gestaltung und Layout:
Jens Rackow, Sabine Stephan

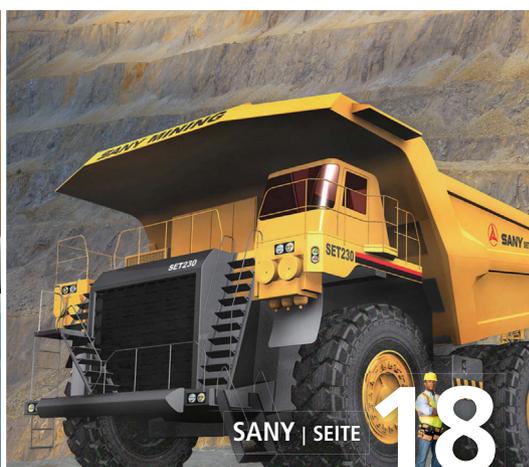
Druck:
Media-Print Group GmbH, Paderborn

Titelfoto © Porsche

© 2016 dSPACE GmbH

Alle Rechte vorbehalten. Vollständige oder teilweise Vervielfältigung dieser Veröffentlichung ist nur mit schriftlicher Genehmigung und unter Angabe der Quelle gestattet. Die Produkte von dSPACE unterliegen fortwährenden Änderungen. Daher behält sich dSPACE das Recht vor, Spezifikationen der Produkte in dieser Publikation jederzeit ohne vorherige Ankündigung zu ändern. dSPACE ist ein eingetragenes Warenzeichen der dSPACE GmbH in den Vereinigten Staaten und/oder in anderen Ländern. Eine Liste weiterer eingetragener Warenzeichen finden Sie unter www.dspace.com/go/warenzeichen. Andere Markennamen und Produktnamen sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der entsprechenden Unternehmen oder Organisationen.

Inhalt



3 EDITORIAL

Kundenanwendungen

6 BOSCH

Für Spannung ist gesorgt
Rapid Control Prototyping für kraftstoffsparende Funktionen im 48-V-Bordnetz

12 MITSUBISHI ELECTRIC

Satellit am Steuer
Entwicklung einer satellitenbasierten autonomen Fahrzeugsteuerung

18 SANY

Gigantisch effizient
Entwicklung eines diesel-elektrischen Antriebs für Tagebau-Muldenkipper

24 PORSCHE

Charaktertest für die Lenkung
Entwicklung und Abstimmung von elektrischen Lenksystemen mit mechatronischen HIL-Verfahren

32 INSTITUT FÜR AUTOMATISIERUNG UND INFORMATIK (IAI)

Ohne Kette
Serieller Hybridantrieb im Fahrrad

36 CLEVELAND STATE UNIVERSITY

Smarter trainieren
Entwicklung intelligenter Sportgeräte

42 ZF FRIEDRICHSHAFEN

Variantenvielfalt im Griff
Effizienter Software-Entwicklungsprozess für Getriebe-Steuergeräte

Produkte

46 RTT OBSERVER LIBRARY

Fokussiert auf Sicherheit

Sicherheitskritische Anforderungen permanent überwachen

50 BUS MANAGER

Kommunikation ist alles

Bussysteme und Netzwerke zentral konfigurieren

54 ON-TARGET PROTOTYPING

Zielgenau

On-Target Prototyping mit TargetLink fusioniert die Funktions- und Serienentwicklung

Business

58 HY-NETS

Low Emissions dank Hy-Nets

Mit Car2x-Kommunikation zu effizienteren Hybridantrieben

Kurz notiert

60 Steuergeräte-Zugriff mit SCALEXIO in Echtzeit
Durchgängige CAN-FD-Unterstützung

61 dSPACE Software nur noch als 64-Bit-Version
ECU Interface Software: Neue Funktionen, vereinfachte Paketierung

62 TargetLink 4.2: On-Target Prototyping, Automotive Ethernet
SYNECT – Nahtloser Datenaustausch über OSLC

dSPACE an Bord

63 ZF: Gekonnt ausweichen

University of Science and Technology of China:
Adaptive Steuerung für Bestückungsmaschinen

Stanford University: Fahrschule für autonome Fahrzeuge



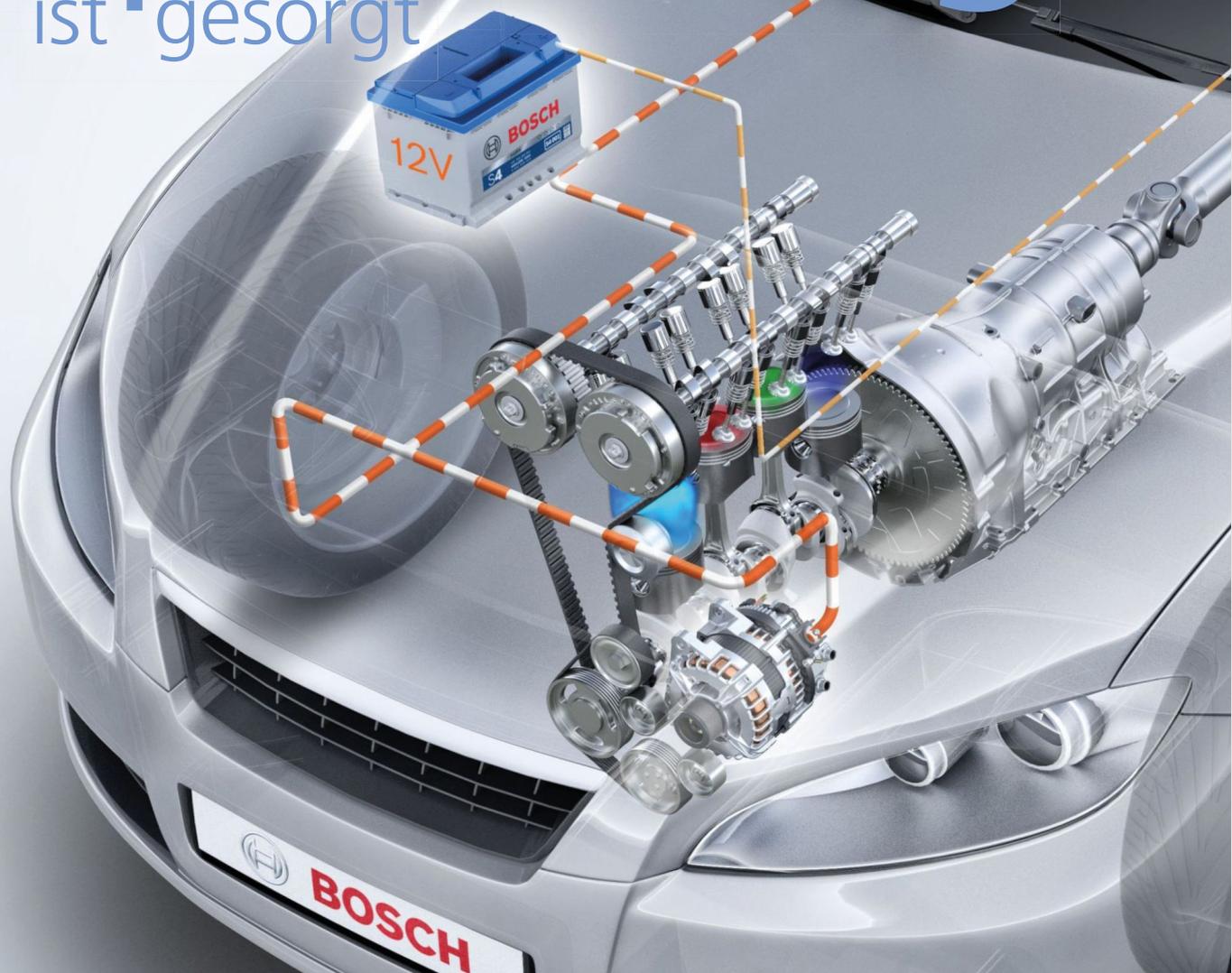
PEFC zertifiziert
Das Papier dieses Magazins stammt aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern und kontrollierten Quellen.
www.pefc.de
PEFC04-31-0810

ClimatePartner[®]
klimaneutral

Druck | ID: 53446-1607-1005

Für Spannung ist gesorgt

Rapid Control Prototyping
von kraftstoffsparenden Funk-
tionen im 48-V-Bordnetz



Quelle: © Bosch

Das 48-V-Bordnetz in Fahrzeugen ermöglicht neue, leistungsfähige Funktionen und Technologien, die den Kraftstoffverbrauch signifikant reduzieren. In diesem Kontext hat Bosch Engineering China einen riemengetriebenen 48-V-Starter-Generator realisiert. Die MicroAutoBox II, die hierbei als Prototyping-Controller zum Einsatz kommt, hat den Entwicklungsprozess erheblich beschleunigt.



Warum 48 V?

Um dem erhöhten Strombedarf von Fahrzeugen auch in Zukunft Rechnung zu tragen, muss die Spannung der heute noch üblichen 12-V-Bordnetze erhöht werden [1]. Ein positiver Begleiteffekt höherer Spannungen ist zudem ein reduzierter Energieverlust während der Stromverteilung im Fahrzeugsystem. In den letzten Jahren wurden 36-V- und 42-V-Systeme zwar ausgiebig diskutiert und analysiert, aber da für sie nur wenige SAE-Standards (SAE: Society of Automotive Engineers) etabliert sind, konnten sich diese Systeme bisher nicht großflächig durchsetzen. Das 48-V-System ist in Europa ein viel diskutiertes Thema. Die großen Automobilhersteller wie Audi, BMW, Daimler, Porsche und VW haben hierfür den Standard LV148 [2] aufgestellt, der die Betriebsspannung im Bereich zwischen 25 V und 60 V definiert. Gemäß LV148 liegt der uneingeschränkte funktionale Betriebsbereich zwischen 36 V und 52 V (durchschnittlich 48 V), und damit unterhalb des Grenzwerts von 60 V, bis zu dem kein spezieller, kostspieliger Schutz gegen elektrische Gefährdung notwendig ist (Abbildung 1). Deswegen sind die Systemkosten geringer als bei Hybridfahrzeugen, die mit Spannungen jenseits von 60 V arbeiten und diese Schutzmechanismen benötigen. Außerdem lassen sich im Vergleich zu einem 12-V-System mit einem 48-V-System beträchtliche Kraftstoffeinsparungen erreichen, weil die Rekuperationsfunktion (Bremskraftrückgewinnung) eines 48-V-Systems leistungsfähiger ist als die eines 12-V-Systems nach NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) und WLTC (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Cycle). Abbildung 2 zeigt die qualitativen Vorteile eines 48-V-Rekuperationssystems. Die wichtigsten Punkte, die für einen großflächigen Einsatz des 48-V-Systems sprechen:

- Es sichert den Betrieb derjenigen Komponenten, die einen besonders hohen Strombedarf haben, beispiels-

>>

Stromversorgungssysteme in Fahrzeugen haben sich hinsichtlich Spannung und Leistung in den letzten Jahrzehnten deutlich weiterentwickelt. Ursache hierfür ist die gestiegene Zahl elektrisch betriebener Fahrzeugkomponenten.

Dies macht heutige Fahrzeuge zwar erheblich leistungsfähiger und zuverlässiger, andererseits führte dieser Trend aber auch zu einem exponentiellen Anstieg des Strombedarfs und damit zu neuen Herausforderungen an das Bordnetz.

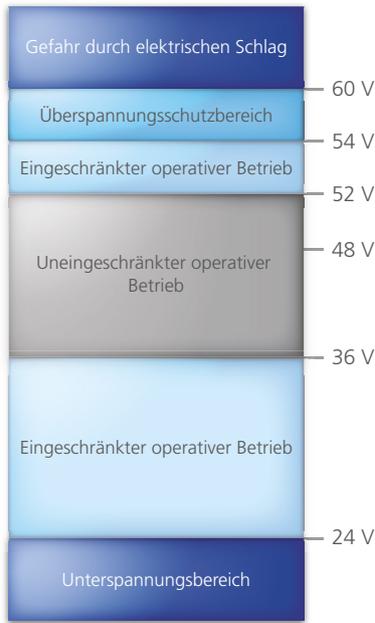


Abbildung 1: Definition der Sicherheitsspannung.

weise Luftkompressor, Turbolader, PTC-Zuheizer (PTC: Positive Temperature Coefficient)

- Kraftstoffsparende Hybridfahrfunktionen lassen sich in Bezug auf Rekuperation, Boost und Start-Stopp sehr leicht implementieren.
- Neue Funktionen wie komfortables Start-Stopp, Change-of-Mind-Start

(Neustart während des Abschaltens) und Start-Stopp-Coasting (Rollen im Leerlauf) steigern das Fahrerlebnis.

- Mit der höheren Systemspannung reduzieren sich im Gegenzug die Stromstärken; in der Folge entsteht weniger Verlustleistung und der Wirkungsgrad steigt.

Das 48-V-System im Überblick

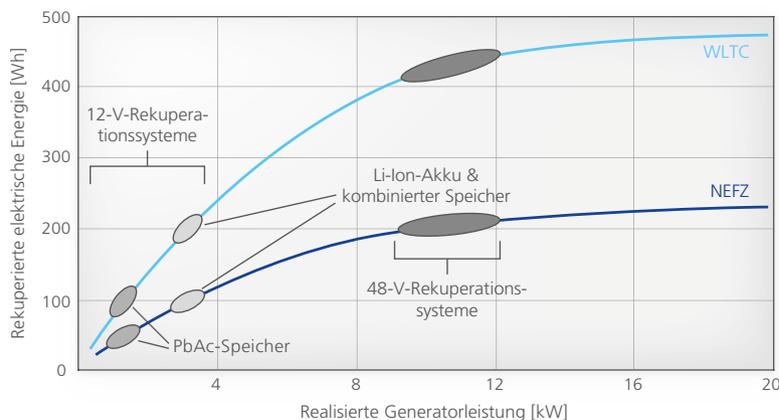
Das Boost-Rekuperationssystem (BRS) von Bosch ist ein riemengetriebener 48-V-Starter-Generator und besteht aus drei Hauptkomponenten (Abbildung 3): luftgekühlter Boost-Rekuperationsmaschine (BRM), Gleichstromwandler (Power Control Unit, PCU) und 48-V-Lithium-Ionen-Akku. Im BRS sind zwei parallel betriebene Stromnetze (48 V/12 V) über die PCU gekoppelt. Auf der 48-V-Seite sind das BRM, die PCU und der 48-V-Lithium-Ionen-Akku elektrisch verbunden. Das BRM kann entweder als Generator oder als Motor fungieren. In der Funktion als Generator lädt es den Lithium-Ionen-Akku je nach Fahrstatus, als Motor versorgt es den Verbrennungsmotor mit zusätzlichem Drehmoment und optimiert so das Fahrverhalten oder sorgt für Kraftstoffeinsparung. Der 48-V-Lithium-Ionen-Akku wird sowohl für die Rückgewinnung der Bremsenergie eingesetzt, als auch um dem BRM den

Strom für das komfortable Anlassen und die Boost-Phase zu liefern. Das 48-V-Lithium-Ionen-Akkumulatorsystem besteht aus Akku-Stack, Relais-Box und Batteriemanagementsystem (BMS). Das BMS verfügt über CAN-Schnittstellen, die den Akkustatus ausgeben und die Befehle empfangen, um das Hauptrelais zu steuern oder die externen Ladefunktionen zu koordinieren. Mit einer Nennleistung von 2,5 kW erfüllt die PCU die Anforderungen eines herkömmlichen Bordnetzes. Das 48-V-System bietet die Möglichkeit, höhere elektrische Lasten einzusetzen, zum Beispiel für PTC-Zuheizer, den elektrischen Kompressor der Klimaanlage, die Servolenkung (Electric Power Steering, EPS), Kühlsystemmotoren und die Scheibenheizung.

Boost-Rekuperationsmaschine: Prototyping mit der dSPACE MicroAutoBox II

Bosch Engineering in China hat bereits mehrere Demofahrzeuge mit 48-V-BRS entwickelt. Abbildung 4 zeigt das Prototyping-48-V-BRS eines Demofahrzeugs. Mit dem 48-V-BRS wird eine komfortable Start-Stopp-Funktion (einschließlich Start-Stopp-Coasting) realisiert, die durch den Einsatz der riemengetriebenen Boost-Rekuperationsmaschine Bremsenergie rückgewinnt und in einem 48-V-Lithium-Ionen-Akku speichert. Zudem legt es ein zusätzliches Drehmoment an der Kurbelwelle an, um das Fahrzeug per Boost zu beschleunigen, oder es kann das Fahrzeug mit begrenzter Geschwindigkeit und eingeschränktem Funktionsumfang rein elektrisch antreiben (E-Creeping). Mit dem beschriebenen 48-V-System lassen sich in kürzester Zeit Funktionen wie Start-Stopp, Rollen im Leerlauf (Coasting), Rekuperation und Boost sowie E-Creeping realisieren. Üblicherweise wird das BRM im Motorraum installiert, die PCU und der 48-V-Lithium-Ionen-Akku im Boden des Kofferraums (Abbildung 6). Der BRS-Regelalgorithmus wird auf der MicroAutoBox II (1401/1511) ausgeführt. Diese bietet vier CAN-

Abbildung 2: Rekuperationsanalyse nach den Fahrzyklen NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) und WLTC (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Cycle).



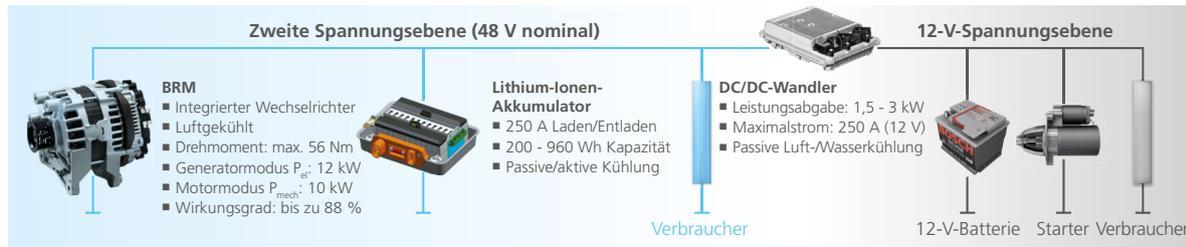


Abbildung 3: Aufbau des Spannungsversorgungssystems mit zwei Spannungsebenen.

„Beim Prototyping wurde der Regelalgorithmus der 48-V-Boost-Rekuperationsmaschine auf einer dSPACE MicroAutoBox II ausgeführt. So konnten wir die Auswirkungen auf das Gesamtfahrzeug bereits zu einem frühen Zeitpunkt bewerten und den Entwicklungsprozess signifikant beschleunigen.“

Zhu Xiaofeng, Bosch Engineering China

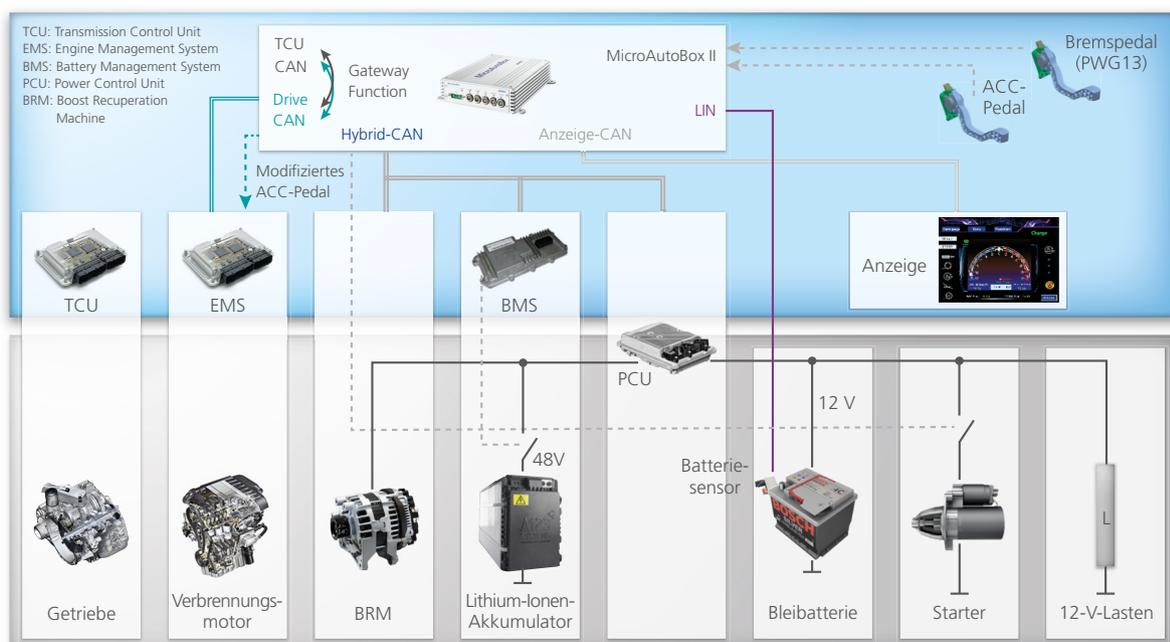
Kanäle, ausreichend Ressourcen für die Verarbeitung der digitalen und analogen Signale und erfüllt alle Anforderungen für die Regelung auf Hardware- und Software-Ebene. Durch die Gateway-Funktion des RTI CAN Blocksets bietet es sich an, die BRS-Funktionen über das Fahrzeug-CAN-Netzwerk zu

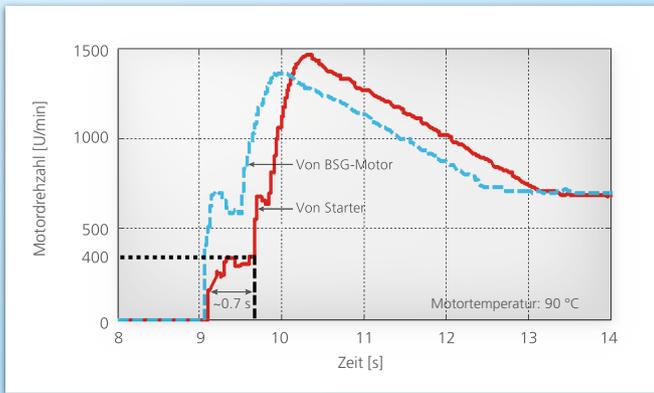
realisieren. Die kompakte MicroAutoBox II kann im Fahrzeug installiert werden und wird von der 12-V-Batterie versorgt. Die Struktur der Steuerungssoftware auf der MicroAutoBox II besteht aus mehreren Schichten und Modulen. Die Applikationsschicht beinhaltet zwei Hauptmodule: eines für die EEM-Koor-

dination und eines für die Koordination des Antriebsstranges. Zur EEM-Koordination gehören das Power-ON/OFF-Management, die EEM-Strategie sowie die Basisdiagnosen. Die Koordination des Antriebsstranges enthält die Start-Stopp-Funktion und die Regelstrategien für den Betrieb des BSG-

>>

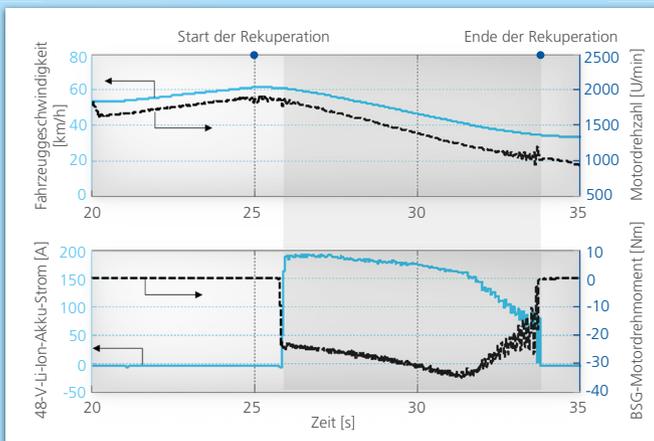
Abbildung 4: Prototyping eines 48-V-Systems mit der dSPACE MicroAutoBox II.





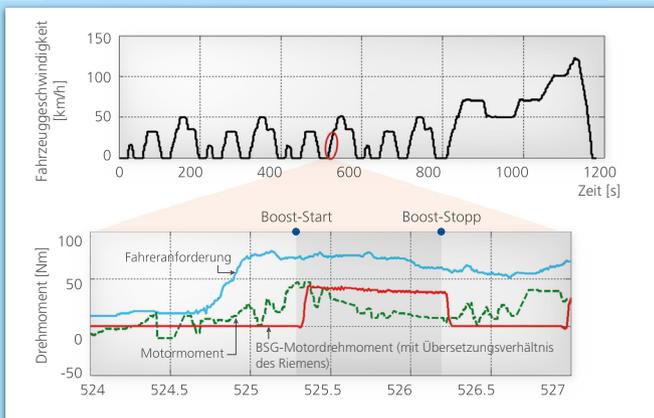
Anlassvorgang

Beim direkten Vergleich zwischen einem herkömmlichen Anlasser und dem 48-V-BSG-Motor zeigt sich, dass die Kurbelwellenfunktion des 48-V-BSG-Motors den Wert von 400 U/min etwa 0,7 s früher erreicht. Zudem ist der BSG-Motor über einen Riemen mit der Kurbelwelle verbunden, wodurch sich die Vibrationen während des Anlassvorgangs reduzieren.



Rekuperation

Bei diesem Beispiel eines typischen Bremsvorgangs (Dauer ca. 8 s) wandelt der BSG-Motor in seiner Rolle als Generator die Bewegungsenergie während des Bremsens in elektrische Energie um (Rekuperation). Das BSG-Drehmoment ist aufgrund der Rekuperation negativ, und während des Ladevorgangs der 48-V-Batterie fließt ein Strom von bis zu 200 A. Durch diese Rückgewinnung von Energie lässt sich der Kraftstoffverbrauch reduzieren.



Boost-Funktion im Antriebsprozess

Der Antriebsprozess im Fahrzyklus NEFZ. Der 48-V-BSG-Motor stellt das Drehmoment bereit (positiver Wert, rote Kurve), um die Drehmomentanforderung des Fahrers zu erfüllen (blaue Kurve).

Abbildung 5: Ausgewählte Testdaten der Hauptfunktionen des 48-V-Systems.

Motors (BSG: Belt-Driven Starter Generator). Die beiden Hauptanwendungsmodule senden und empfangen das Signal von den durch das Real-Time Interface (RTI) unterstützten Treibern in den unteren Schichten wie CAN, LIN und digitaler I/O.

Zusammenfassung

Mit der MicroAutoBox II als Prototyping-Controller reduzieren sich die Kodierungsaufwände deutlich, zum Beispiel für die Festkommanpassung des Reglermodells und das Management der Laufzeitressourcen wie RAM- und Flash-Speicher. Außerdem ist es dadurch möglich, das Augenmerk bereits in frühen Entwicklungsphasen auf die Regelalgorithmen zu richten. Durch den Rapid-Control-Prototyping-Ansatz stehen Demofahrzeuge und erste Prototypen erheblich früher zur Verfügung, da sich Funktionen effizienter realisieren lassen und reale Messdaten bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt für zukünftige Entscheidungen berücksichtigt werden können. Daraus ergeben sich weitere Vorteile für den OEM, zum Beispiel lassen sich die kraftstoffsparenden Funktionen mit der 48-V-Technologie auf dem Zielfahrzeug untersuchen und die Auswirkungen des Systems für den Entwurf des Gesamtfahrzeugs näher betrachten. Zusätzlich kann der Prototyping-Controller, also die MicroAutoBox II, aufgrund ihrer kompakten Bauform leicht in das Fahrzeug integriert werden. ■

Patrick Ziegler, Zhu Xiaofeng, Ji Guangji, Markus Wernsdörfer, Lu Boran, Zhang Juan, BEG/EVS-CN, Bosch Engineering, China

Referenzen:

- [1] Da Silva, W.; de Paula, P., 12V/14V to 36V/42V Automotive System Supply Voltage Change and the New Technologies [J], SAE Paper 2002-01-3557
 [2] Kuypers, M., Application of 48 Volt for Mild Hybrid Vehicles and High Power Loads [J], SAE Paper 2014-01-1790



Abbildung 6: Die MicroAutoBox II (links) im Demofahrzeug.

Patrick Ziegler

Patrick Ziegler leitet die Abteilung Engineering Vehicle System bei Bosch Engineering (BEG/EVS-CN) in Suzhou, China.



Zhu Xiaofeng

Zhu Xiaofeng ist Project Manager und Senior System Engineer bei Bosch Engineering in Suzhou, China.



Ji Guangji

Ji Guangji ist als Senior System Engineer verantwortlich für die Software- und Funktionsentwicklung für das Boost Recuperation System (BRS) und das Energiemanagement (EEM) bei Bosch Engineering in Suzhou, China.



Markus Wernsdörfer

Markus Wernsdörfer ist als Senior System Engineer verantwortlich für die Software- und Funktionsentwicklung für das Boost Recuperation System (BRS) und das Energiemanagement (EEM) bei Bosch Engineering in Suzhou, China.



Lu Boran

Lu Boran ist als Senior System Engineer verantwortlich für die Software- und Funktionsentwicklung für das Boost Recuperation System (BRS) bei Bosch Engineering in Suzhou, China.



Zhang Juan

Zhang Juan ist als System Engineer verantwortlich für System Design und Software-Entwicklung bei Bosch Engineering in Suzhou, China.



Entwicklung einer satellitenbasierten
autonomen Fahrzeugsteuerung

Satellit am Steuer





Das Fahrzeug blinkt, wechselt die Spur, beschleunigt und stoppt anschließend exakt an der nächsten Kreuzung – ohne jeglichen Eingriff von der Person am Steuer. Möglich machen das ein Satellitensystem, eine Vielzahl von Sensoren und eine dSPACE MicroAutoBox II, in die Mitsubishi Electric eine autonome Fahrzeugsteuerung implementiert hat.



Übersicht der Sensoren für die autonomen Fahrfunktionen.

Die Initiativen im Bereich des autonomen Fahrens nehmen weltweit ständig zu, wodurch sich eine neue Epoche unserer automobilgeprägten Gesellschaft abzeichnet. Autonome präventive Sicherheitssysteme gehören mittlerweile zu den Ausstattungsoptionen vieler Fahrzeuge. Wenn sich parallel dazu die Infrastruktur verbessert, steigen sowohl die Zuverlässigkeit als auch der Reifegrad autonomer Fahrfunktio-

nen – und damit das Sicherheitsempfinden des Fahrers.

Autonome Sicherheitstechnologie „Diamond Safety“

Bei der Herstellung automotiver Komponenten stehen für Mitsubishi Electric die Kunden und deren Sicherheit an erster Stelle. Unter dieser Prämisse entwickelt Mitsubishi Electric die präventive Sicherheitstechnologie „Diamond Safety“, mit der

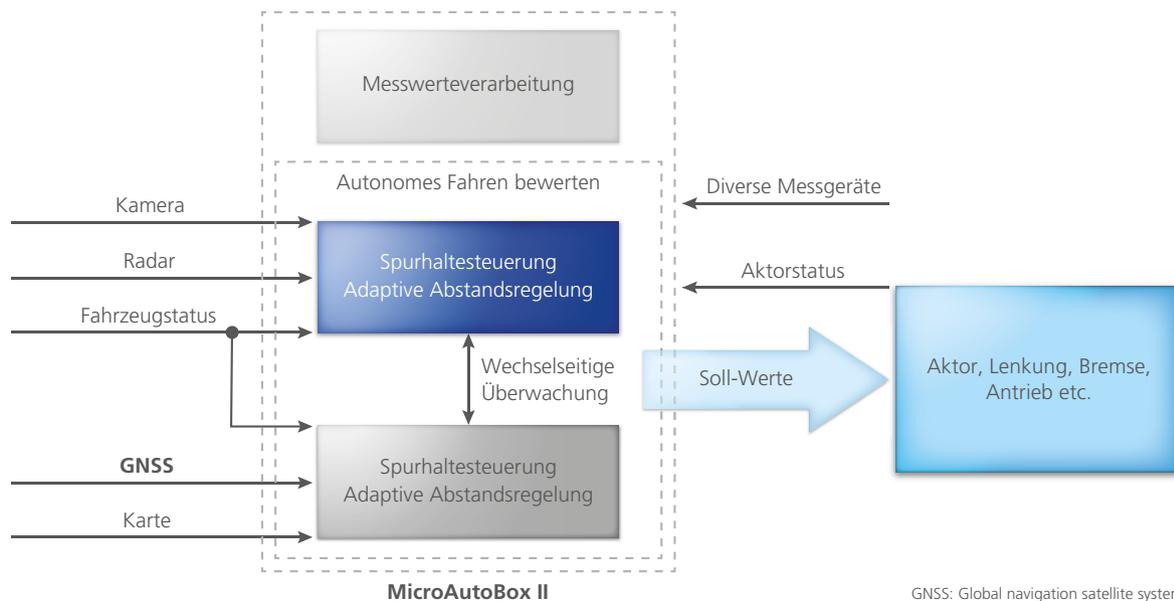
Level 3 des autonomen Fahrens erreicht werden soll. Das Fahrzeug agiert hier bereits sehr selbstständig, jedoch sind in bestimmten Situationen noch Steuereingriffe seitens des Fahrers notwendig. Der Fahrer kann beispielsweise die Augen von der Straße nehmen und das Auto nimmt ihm die nötigen Fahrfunktionen ab, etwa bei Autobahnfahrten. Nach einer Vorwarnzeit von wenigen Sekunden muss der Fahrer allerdings selbst noch eingreifen können. Um die Komponenten dieser präventiven Sicherheitstechnologie zu verifizieren, kommt ein Rapid-Control-Prototyping (RCP)-System von dSPACE – die MicroAutoBox II – zum Einsatz.

Satellitengestützte Positionierung

Um den hohen Grad an Präzision und Sicherheit von Level 3 des autonomen Fahrens zu erreichen, werden neben dem autonomen aktiven Sicherheitssystem hochpräzise, zentimetergenaue Positionsinformationen des japanischen Quasi-Zenit-Satellitenpositionierungssystems verwendet.

Das japanische Quasi-Zenit-Satellitensystem stellt hochgenaue Positionsinformationen bereit.





Konfiguration des Fahrzeugsteuerungssystems.

Das Quasi-Zenit-Satellitensystem (QZSS, genannt „MICHIBIKI“) nutzt mehrere Satelliten, die dieselbe Umlaufzeit haben wie geostationäre Satelliten mit Bahnneigung (deren Umlaufbahn heißt Quasi-Zenit-Orbit). Diese Satelliten befinden sich auf mehreren orbitalen Ebenen, so dass sich immer ein Satellit in Zenitnähe über Japan befindet. Das System ermöglicht eine hochgenaue Satellitenpositionierung, die Japan nahezu

vollständig abdeckt, einschließlich Häuserschluchten und bergigem Gelände. Das QZSS überträgt neben den aktuellen Positionssignalen spezifische Zusatzinformationen (Centimeter Level Augmentation Information) zur Genauigkeitssteigerung. Der erste Satellit zieht seit 2010 seine Bahnen. Ab 2018 wird das System aus drei weiteren Quasi-Zenit-Satelliten und einem geosynchronen Satelliten bestehen. Und im Jahr 2023

wird das System sieben Satelliten mit kontinuierlicher Positionierung umfassen. Mit den Daten aus dem System lässt sich ein Fahrzeug hochgenau und zuverlässig steuern, zum Beispiel bei Spurwechsel- und Spurhaltemanövern.

Systemaufbau der Fahrzeugsteuerung

Die Fahrzeugsteuerung ist vollständig auf der MicroAutoBox II implementiert

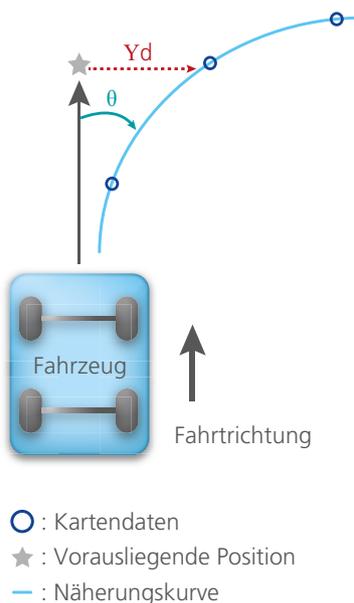
>>

Geräte auf dem Armaturenbrett des autonomen Fahrzeugs.





Autonomes Parken kann mit externen Geräten initiiert werden, zum Beispiel mit einem Smartphone.



Prinzip der lateralen Fahrzeugsteuerung.

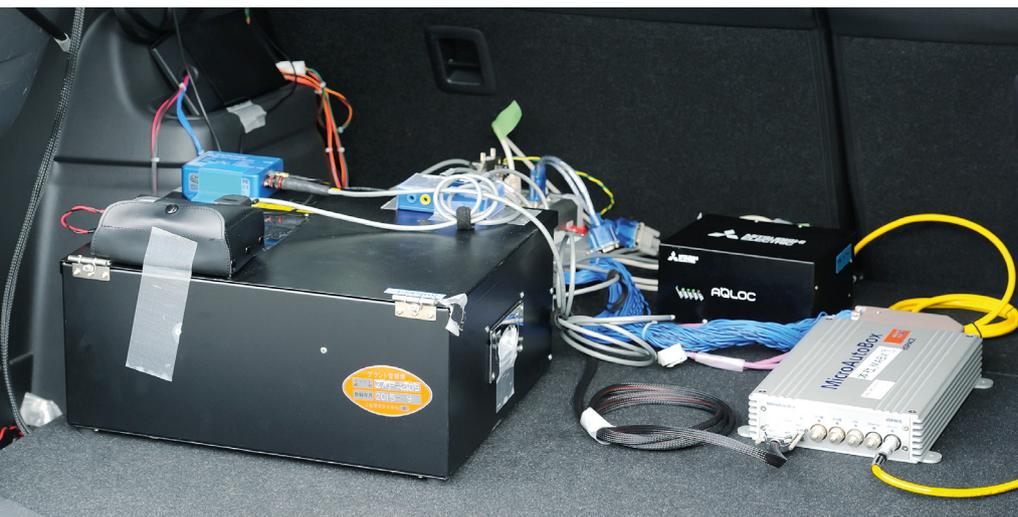
und analysiert eine Vielzahl von Sensor- und Fahrzeugdaten sowie Daten von autonomen und Infrastrukturkomponenten. Dazu gehören Sensoren wie Frontkamera und Millimeterwellenradar sowie Infrastruktursensoren wie hochpräzise GNSS (Global Navigation Satellite System)-Receiver und Karten. Zum Beispiel ermöglicht die Funktion des Spurhaltesystems hochpräzises autonomes Fahren, indem es die von der Frontkamera anhand der Mittellinienerkennung bestimmte Zielfahrs pur mit der Zielfahrs pur abgleicht, die aus den hochpräzisen Kartendaten und Positionssignalen gewonnen wird. Diese Daten werden durch andere Fahrzeuginformationen wie die Fahrgeschwindigkeit ergänzt und stehen als Eingang für die Ausführung von autonomen Fahrfunktionen und die Betätigung der Aktoren zur Verfügung.

Autonome Fahrzeugsteuerung

Für die Lateralsteuerung des Fahrzeugs wird ein Modell der Geradeausicht verwendet (Abbildung links). Die vorausliegende Position, an der sich das Fahrzeug Sekunden später befinden würde, und die voraussichtliche Fahrstrecke in Form einer Näherungskurve werden verglichen und durch die laterale Abweichung Y_d und den Winkel θ wiedergegeben. Anschließend bestimmen Y_d , θ und weitere Fahrzeuginformationen die Lenksteuerung. Die Fahrzeugsteuerung in Längsrichtung übernimmt das System durch die Antriebs- und Bremssteuerung. Die Geschwindigkeit wird durch Vergleichen der Fahrgeschwindigkeit mit den von der Karte bereitgestellten Geschwindigkeitsbeschränkungen geregelt. Mit Ausnahme der Notbremsung werden die Bremsen so gesteuert, dass sie gleichmäßig verlangsamen. Ein Stopp an einer Kreuzung erfolgt basierend auf den Karteninformationen.

Verifizieren und Steuern mit ControlDesk und MicroAutoBox II

Die Entwicklungswerkzeuge von dSPACE erwiesen sich als sehr nützlich und erlaubten, sowohl die mit MATLAB®/Simulink® entwickelten Regelalgorithmen schnell zu implementieren als auch die Regelparameter online einzustellen, wodurch neue



Die MicroAutoBox II führt zusammen mit anderen Komponenten die autonomen Fahrfunktionen aus.



„Durch den Einsatz von MicroAutoBox II und ControlDesk können wir Tests besonders effizient durchführen und auswerten.“

Kazuo Hitosugi, Mitsubishi Electric Corporation

Lösungsansätze sofort getestet werden konnten. Diese Optionen sind besonders hilfreich, je komplexer ein System ist. Sie unterstützen beim Anschließen verschiedener Sensoren, die zum Verifizieren von Funktionen benötigt werden, und zum Kompensieren von Kommunikationslatenzen. Die Anzahl der zu verifizierenden Funktionen wird deutlich reduziert,

genauso wie das inhaltliche Volumen, dessen Analyse sehr ressourcen- und zeitintensiv wäre. Beim Betrieb eines mit dem RCP-Equipment ausgestatteten Fahrzeugs erlaubt die Experimentier-Software dSPACE ControlDesk das Überwachen verschiedener Parameter von einem Bildschirm aus, zum Beispiel das Ein-/Ausschalten der Fahrzeugsteuerungen und das Überwachen

von Ein-/Ausgangswerten verschiedener Schnittstellen und Messdaten. Aufgrund der zahlreichen Schnittstellen ist die MicroAutoBox II nicht nur einfach im Fahrzeug zu handhaben, sondern ermöglicht es, weitere Messgeräte in Echtzeit zu überwachen, was jede Evaluierung vereinfacht. ■

Hideyuki Tanaka, Mitsubishi Electric Corporation

Das Entwicklerteam von Mitsubishi Electric für das Lenksystem des autonomen Fahrzeugs.

Hinten (von links nach rechts): Yu Takeuchi, Kenta Katsu, Yuji Shimizu, Kazuo Hitosugi, Takatoshi Kakuta, Tsuyoshi Kichise. Vorne (von links nach rechts): Kazuhiro Nishiwaki, Hideyuki Tanaka (Senior Manager), Toshihide Satake, Michitoshi Azuma, Rei Yoshino



Ausblick und Fazit

Die Sicherheitstechnologie „Diamond Safety“ hat mittlerweile einen hohen Reifegrad und Funktionsumfang erreicht. Autonomes Fahren konnte auf verschiedenen Teststrecken erfolgreich demonstriert werden. Schrittweise werden einzelne Sicherheitsfunktionen der Technologie in die Serie übernommen. Wir möchten die Entwicklung der anspruchsvollen Funktionen für autonomes Fahren noch weiter verfeinern und setzen dazu weiterhin auf Produkte von dSPACE.

Gigantisch effizient

Entwicklung eines diesel-elektrischen
Antriebs für Tagebau-Muldenkipper



Mit dem Muldenkipper SET230 des chinesischen SANY-Konzerns lassen sich in einer Fuhre bis zu 230 Tonnen Nutzlast bewegen. Sein diesel-elektrischer Antrieb und ein dSPACE HIL-Simulator sorgen dabei für größtmögliche Effizienz: der eine im Schwerlasteinsatz, der andere in der Entwicklung und Validierung der aufwendigen Antriebsregelung.



Haben Sie schon mal ein mehrstöckiges Wohnhaus eine über 20-prozentige Steigung hinauffahren sehen? Wenn nicht, sollten sie unbedingt einmal eine große Tagebaumine besuchen. Die hier eingesetzten Muldenkipper erreichen heute gut und gerne die Ausmaße eines kleinen Wohnblocks und ein Gesamtgewicht von mehreren hundert Tonnen. Trotz solcher enormen Massen bewegen sich diese Giganten aber auch in unwegsamem und steilem Gelände stets sicher und mittlerweile auch sehr effizient. Dafür sorgt nicht zuletzt der diesel-elektrische Antrieb, der sich für Muldenkipper dieser Größenordnung fest am Markt etabliert hat. Ein Dieselmotor treibt hier einen Generator an, der über elektronische Wechselrichter zwei Drehstrommotoren an der Hinterachse mit Strom für den Vortrieb versorgt. Durch diese Bauweise ohne starren Durchtrieb vom Dieselmotor zur Antriebsachse kann sowohl auf ein Schaltgetriebe als auch auf mechanische Kupplungen, Differenziale oder Antriebswellen komplett verzichtet werden, womit sich Gewicht und Wartungsaufwand der Fahrzeuge stark reduzieren. Um die hohe Effizienz und Fahrsicherheit auch während des harten Arbeitseinsatzes in der Mine sicherzustellen, erfordert dieses Antriebskonzept allerdings hochkomplexe Re-

gelungsstrategien für die elektrischen Komponenten.

Modellbasiert in neue Dimensionen

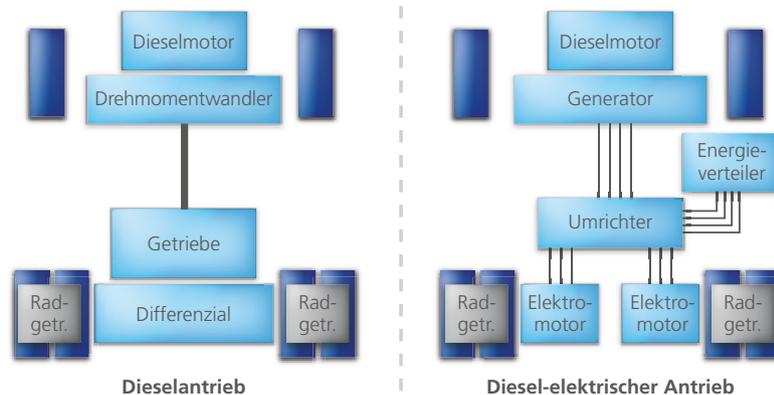
Vor dieser Herausforderung standen auch die Ingenieure des chinesischen SANY-Konzerns, als sie mit der Entwicklung des Muldenkippers SET230 (technische Daten siehe Tabelle) gleich in doppelter Hinsicht Neuland betreten. Zum einen bedeutete seine gigantische Nutzlast von 230 Tonnen für das Unternehmen einen Vorstoß in eine ganz neue Dimension. Zum anderen besaßen die Ingenieure nur rudimentäre Erfahrungen mit der diesel-elektrischen Antriebstechnik. Aus diesem Grund setzte sich SANY zum Ziel, große Anteile der Regelungsentwicklung frühzeitig per Simulation zu erproben und abzusichern.

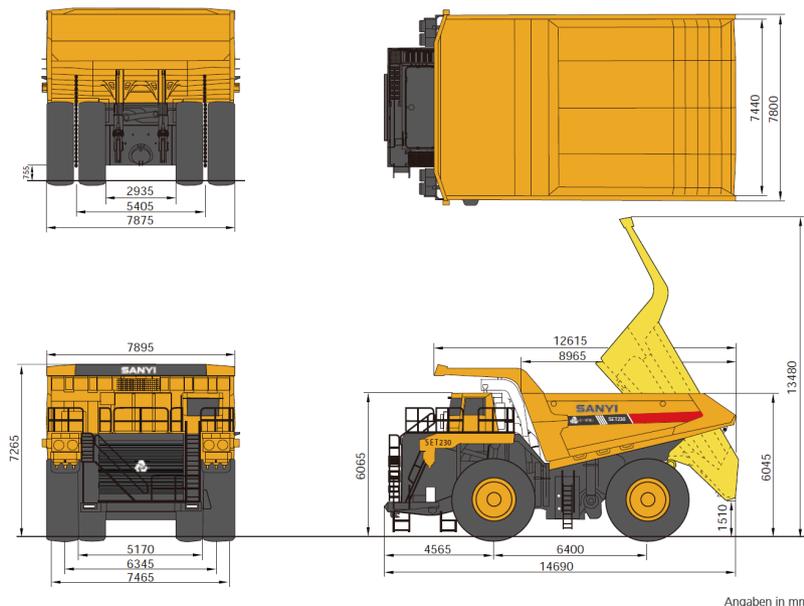
Schlüsselfertig zum „virtuellen“ Fahrzeug

Statt die realen Elektrokomponenten in einem großen Labor zu testen, entschied sich das Unternehmen dafür, das komplette Antriebssystem des SET230 mit Hilfe eines schlüsselfertigen Full-Size-HIL-Simulators von dSPACE zu simulieren. Auf diese Weise lassen sich neu entwickelte und auf dem Steuergerät implementierte Regelungen sofort im Zusammenspiel mit einem „virtuellen“ Gesamtfahrzeug testen und validieren.

>>

Im Vergleich zu herkömmlichen dieselgetriebenen Muldenkippern (linke Grafik) kommen diesel-elektrische Muldenkipper wie der SET230 ohne einen starren Durchtrieb vom Dieselmotor zur Antriebsachse aus (rechte Grafik). Das spart Gewicht und reduziert den Wartungsaufwand.





Maximale Steigung	24 %
Kontinuierliche Steigung	12,5 %
Maximales Gefälle	-14 %
Kontinuierliches Gefälle	-13 %
Höchstgeschwindigkeit	64 km/h
Gewicht des Elektroantriebs	45 t
Maximale Nutzlast	230 t
Maximal erlaubtes Gesamtgewicht	400 t

Technische Daten des SANY SET230: Für ein bis zu 400 t schweres Fahrzeug liefert der diesel-elektrisch betriebene Muldenkipper beeindruckende Fahrleistungen ab, auch in schwierigem Gelände.

Das ermöglicht es den Ingenieuren, ihre Regelungsstrategien bereits auf dem Prüfstand zu optimieren. Damit reduzieren sich teure Streckentests mit dem realen Fahrzeugprototyp, ohne dass Abstriche bei der Sicherheit gemacht werden müssen.

Leistungsstarker und flexibler Simulator

Im HIL-Simulator von SANY kommt ein DS1006 Processor Board zum Einsatz, das dank der hohen Rechenleistung seines Vierkern-Prozessors selbst

komplexeste Simulationsmodelle noch in Echtzeit berechnen kann. Zudem bietet der Prozessor die Möglichkeit, unterschiedliche Berechnungsaufgaben während der verschiedenen Funktionstests auf seine einzelnen Kerne zu verteilen. Für die Signalvorverarbeitung und eine prozessorbasierte Elektromotor-Simulation auf Signalebene setzt SANY auf die dSPACE Electric Motor HIL (EMH) Solution auf Basis von zwei DS5202 FPGA Base Boards. Zum einen misst diese Solution die schnellen, elektromotorspezifischen

Signale der Steuergeräte, beispielsweise die pulsweitenmodulierten Steuersignale der Leistungselektronik. Zum anderen generiert sie die Drehgebersignale für die Regelung der Elektromotoren. Die Signalkonditionierung wurde von dSPACE exakt an die spezifischen Anforderungen von SANY angepasst, sodass Sensoren mit einem Stromausgang von bis zu ± 600 mA Feedback-Signal simuliert werden können. Für die Tests der CAN-Bus-Kommunikation mit den übrigen Fahrzeugsystemen kommen bei SANY zwei DS2202 HIL I/O Boards zum Einsatz, die den Ingenieuren in Kombination mit dem RTI CAN MultiMessage Blockset auch eine komfortable Restbussimulation erlauben.

Modellierung bis ins Detail

Neben leistungsstarker und flexibel einsetzbarer Hardware für die Simulation standen für SANY aber auch die möglichst exakte Modellierung ihres Muldenkippers und die bestmögliche Nachbildung seines ungewöhnlich rauen Arbeitsumfeldes im Fokus. Da in beiden Aspekten auch eine Offline-Simulation mit MATLAB®/ Simulink® möglich sein sollte, entschied SANY sich für eine umfangreiche Palette an dSPACE Automotive Simulation Models (ASM), da diese alle technischen Teilgebiete des Muldenkippers und die Rahmenbedingungen seines Einsatzgebiets entweder bereits nahtlos abdeckten oder ohne großen Aufwand daran angepasst werden konnten. Für die Simulation des diesel-elektrischen Systems kommt zum einen ASM Engine Basic zum Einsatz, das bereits alle notwendigen Parameter für den Dieselmotor abbildet. Für die vielfältigen elektrischen Bestandteile des Antriebs konnte SANY neben einigen maßgeschneiderten Modellen größtenteils auf die Bibliothek der ASM Electric Components (ASM EC) zurückgreifen, von deren Bestandteilen einige individuell an den speziellen Einsatzzweck angepasst wurden. Dazu zählten unter anderem der fremder-

„Aufgrund der guten Erfahrungen mit dem HIL-Simulator und der ASM Tool Suite werden wir zukünftig weitere dSPACE Produkte in unsere Werkzeugkette integrieren.“

Lu Liling, Projektingenieurin, SANY Group

regte Synchronmotor des Generators (ASM EC, angepasst), die Wechselrichter (ASM EC), die Gleichrichter, der Zwischenkreis (ASM EC), die Bremswiderstände und die beiden Asynchron-Käfigläufer-Fahrmotoren (ASM EC). Die Simulationsmodelle zur Fahrdynamik konnten nahezu komplett über die Bibliothek ASM Vehicle Dynamics parametrisiert werden, die von Untersetzungsgetrieben über Reifen, Lenkung, Bremsen und Aufhängungen alle längs- und querdynamischen Einflussfaktoren abbildet. Lediglich die Einflüsse verschiedener Beladungszustände des Muldenkippers, von Leerfahrten bis hin zur Ausschöpfung der vollen 230 Tonnen Nutzlast, wurden zusätzlich in die Modellierung/Parametrierung integriert. Die in ASM Vehicle Dynamics bereits enthaltenen Umgebungsmodelle er-

laubten darüber hinaus eine akkurate Nachbildung der anspruchsvollen Geländeprofile, in denen der Muldenkipper unterwegs ist. Von kurzen Aufwärtspassagen über starke Steigungen bis hin zu einem Dauerbetrieb auf längeren Gefällstrecken konnten so die verschiedensten Anforderungen an den Betrieb des SET230 evaluiert werden.

Intuitive Parametrierung, anschauliche Visualisierung

Zur intuitiven Anpassung der Modellparametrierung und zur Verwaltung seiner umfangreichen Parametersätze inklusive der maßgeschneiderten Komponenten nutzt SANY die grafische Benutzeroberfläche von dSPACE ModelDesk. Darüber hinaus ist die Visualisierungssoftware dSPACE MotionDesk im Einsatz. Damit lassen sich die Ergeb-

nisse sämtlicher simulierten Fahrmanöver und Szenarien in einer anschaulichen 3D-Online-Animation darstellen, bei der die Auswirkungen von Parameteränderungen in Echtzeit sichtbar werden. Die gesamte Bedienung sowie die Aufzeichnung aller Testdaten nehmen die Ingenieure von SANY über dSPACE ControlDesk vor.

Binnen kürzester Zeit betriebsbereit

Der HIL-Simulator für den SET230 mit samt aller seiner Hard- und Software-Komponenten wurde von dSPACE Engineering-Teams entwickelt und gemeinsam mit SANY angepasst, implementiert, parametrisiert, getestet und schlüsselfertig am Standort Shanghai in Betrieb genommen. Vom Eingang der Bestellung bis zur Inbetriebnahme vergingen lediglich acht Monate, sodass

>>

„Virtuelles“ Gesamtfahrzeug: Der schlüsselfertige Full-Size-HIL-Simulator von dSPACE bildet sämtliche Sensorik- (rechts) und Aktuatorik-komponenten (links) des SET230 nach. So können die SANY-Ingenieure die grundlegenden Regelungsstrategien frühzeitig im Zusammenspiel mit den anderen Fahrzeugsystemen erproben, und das ohne teure Testfahrten mit dem realen Muldenkipper.





Breites Spektrum an Modellparametern: Vom Dieselmotor und den Komponenten der elektrischen Antriebe über den Fahrer bis hin zur Umgebung fließen zahlreiche Faktoren in das Fahrdynamikmodell des Muldenkippers ein.

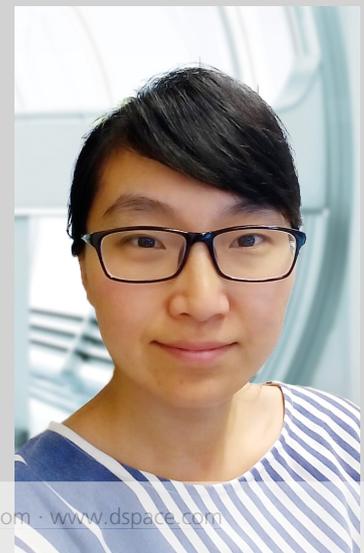
SANY die Entwicklung der E-Motor-Steuerung für den SET230 planmäßig starten konnte. Durch den modellbasierten Ansatz und die ebenso effizienten wie flexibel einsetzbaren dSPACE Werkzeuge gelang es den Ingenieuren, alle geplanten Entwicklungsschritte termingerecht umzusetzen, die grundlegenden Regelungsstrategien zu testen und noch vor Ort am Standort Shanghai erfolgreich zu validieren. Am Ende des Prozesses stand eine E-Motor-Regelung mit größtmöglicher Effizienz und Zuverlässigkeit. Die Entwicklungszeiten im Labor, die Kalibrierzeiten im Fahrzeug und damit auch die Kosten reduzierten sich durch den Einsatz der dSPACE Werkzeuge deutlich. Ergänzend dazu konnte SANY seinen Erfahrungsschatz im Bereich elektrifizierter Antriebsstränge enorm ausbauen. Die

gewonnenen Erkenntnisse wurden für den sukzessiven Aufbau eines hochmotivierten neuen Entwicklerteams genutzt. Nach den Erfolgen mit dem HIL-Simulator und den ASM-Modellen plant SANY, zukünftig weitere dSPACE Produkte in seine Werkzeugkette zu integrieren, unter anderem die Testautomatisierungssoftware AutomationDesk, den Seriene-Generator TargetLink® und das Datenmanagement-Werkzeug SYNECT®. Im mit dem SET230 erstmals betretenen Marktsegment der schweren diesel-elektrisch betriebenen Muldenkipper will SANY zudem mit noch größeren Modellen seine Position weiter ausbauen. Gut möglich also, dass die „fahrenden Wohnblöcke“ zukünftig noch um ein paar Stockwerke wachsen. ■

Lu Liling, Qi Lie, SANY Group

Lu Liling

Lu Liling arbeitet als Ingenieurin im Entwicklungsteam für den SET230-Muldenkipper bei der SANY Group in Shanghai, China.





Anschaulich visualisiert: Mit dSPACE MotionDesk können die SANY-Entwickler die auf dem HIL-System simulierten Fahrmánöver und Szenarien in einer anschaulichen 3D-Online-Animation nachstellen und so die Auswirkungen ihrer Parameteränderungen in Echtzeit sichtbar machen.

Qi Lie

Qi Lie arbeitet als Ingenieur im Entwicklungsteam für den SET230-Muldenkipper bei der SANY Group in Shanghai, China.



Stolze Entwickler: Die intuitiven dSPACE Werkzeuge halfen SANY, nicht nur die Entwicklung und den Test seiner Muldenkipper deutlich zu vereinfachen und zu beschleunigen, sondern auch die Technologie des elektrifizierten Antriebsstranges insgesamt besser zu verstehen. Die so gewonnenen Erfahrungen werden für den sukzessiven Aufbau eines hochqualifizierten Entwicklerteams genutzt.



Charaktertest für die Lenkung

Entwicklung und Abstimmung von elektrischen
Lenksystemen mit mechatronischen HiL-Verfahren



Kann man unter Laborbedingungen das Lenkverhalten eines Fahrzeugs schon realitätsnah „erfahren“? Mit einem geeigneten mechatronischen Prüfstand ist das machbar. Genau dies hat die Dr. Ing. h.c. F. Porsche Aktiengesellschaft realisiert und optimiert auf effiziente Weise den Lenkcharakter neuer Lenksysteme bereits in sehr frühen Phasen der Entwicklung.

Die Lenkung ist in modernen Fahrzeugen weit mehr als nur eine simple Komponente zur Richtungsänderung. Unterstützt durch Servomotoren und zahlreiche Assistenten, ist sie heute ein integraler Bestandteil des Sicherheitssystems und trägt effektiv zu einer Entlastung des Fahrers im Straßenverkehr bei. Auf der Rennstrecke entscheidet sie nicht selten sogar über Sieg und Niederlage. Gerade für einen Sportwagenhersteller wie die Porsche AG ist es daher naheliegend, der Entwicklung von Lenksystemen eine hohe Bedeutung beizumessen. Dabei geht es nicht nur um eine präzise und schnelle Umsetzung der Lenkbewegung auf die Räder, sondern – quasi in Gegenrichtung – um eine unmittelbare Rückmeldung des Fahrzustands. Beides zusammen ermöglicht eine intuitive, sichere Fahrzeugführung. Als maßgeblich vom Fahrer erlebbare Komponente bietet das Lenksystem außerdem ideale Möglichkeiten, um sich gegenüber Wettbewerbern abzuheben. Ein Porsche-typischer Lenkcharakter, der agiles und direktes Lenkverhalten gewähr-

leistet, steht daher im Pflichtenheft der Entwickler ganz oben. Selbstverständlich stellt der Motorsport gegenüber den Straßenkonfigurationen noch weitergehende und speziellere Anforderungen an die Lenkmomente und -charakteristik – und das bis über die fahrdynamischen Grenzbereiche von straßenzugelassenen Fahrzeugen hinaus.

Elektromechanisches Lenken

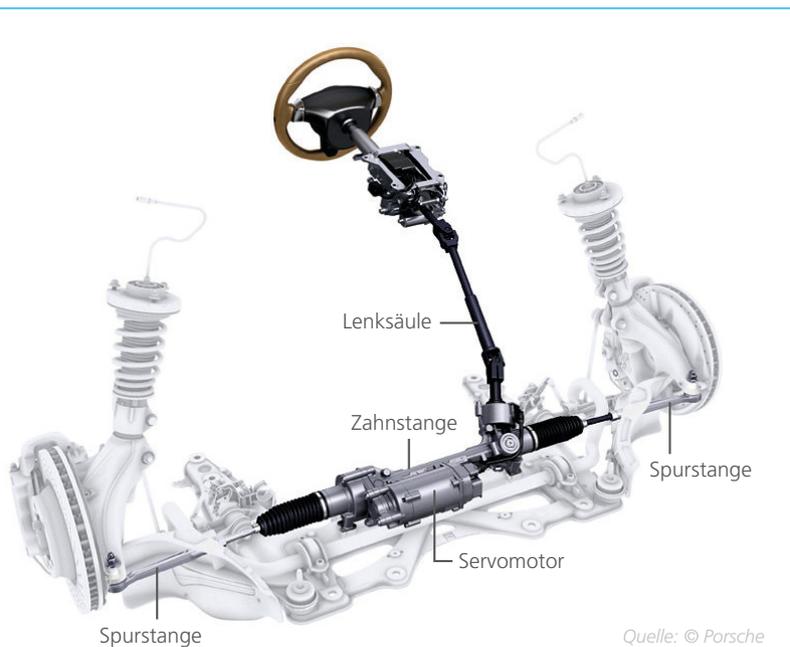
Stand der Technik sind mittlerweile elektromechanische Lenksysteme, die meist unter der Bezeichnung Electric Power Steering (EPS) verwendet werden (Abbildung 1). Bei diesen Systemen stellt ein Elektromotor eine zusätzliche Kraft auf die Spurstangen und unterstützt so aktiv den vom Fahrer gewünschten Lenkeinschlag. Gegenüber der Vorgängergeneration, den hydraulischen Lenksystemen, verfügen EPS-Systeme über deutliche Vorteile hinsichtlich Energieverbrauch und Regelbarkeit. Beispielsweise lassen sich im integrierten EPS-Steuergerät Lenk-, Komfort-, und Assistentenfunktionen implementieren; dazu gehören geschwindigkeitsabhängige Lenkunter-

stützung, aktive Lenkungsrückstellung und Spurhalteassistenten. Ein Nachteil der EPS-Systeme ist jedoch, dass die Fahrzustände aufgrund der Massenträgheit der Unterstützungseinheit sowie der Übersetzungsverhältnisse zur Zahnstange nur unzureichend an den Fahrer rückgemeldet werden. Dies führt zu besonderen Herausforderungen bei der Auslegung des wichtigen Rückmeldeverhaltens und damit bei der Wahrung des Porsche-Charakters.

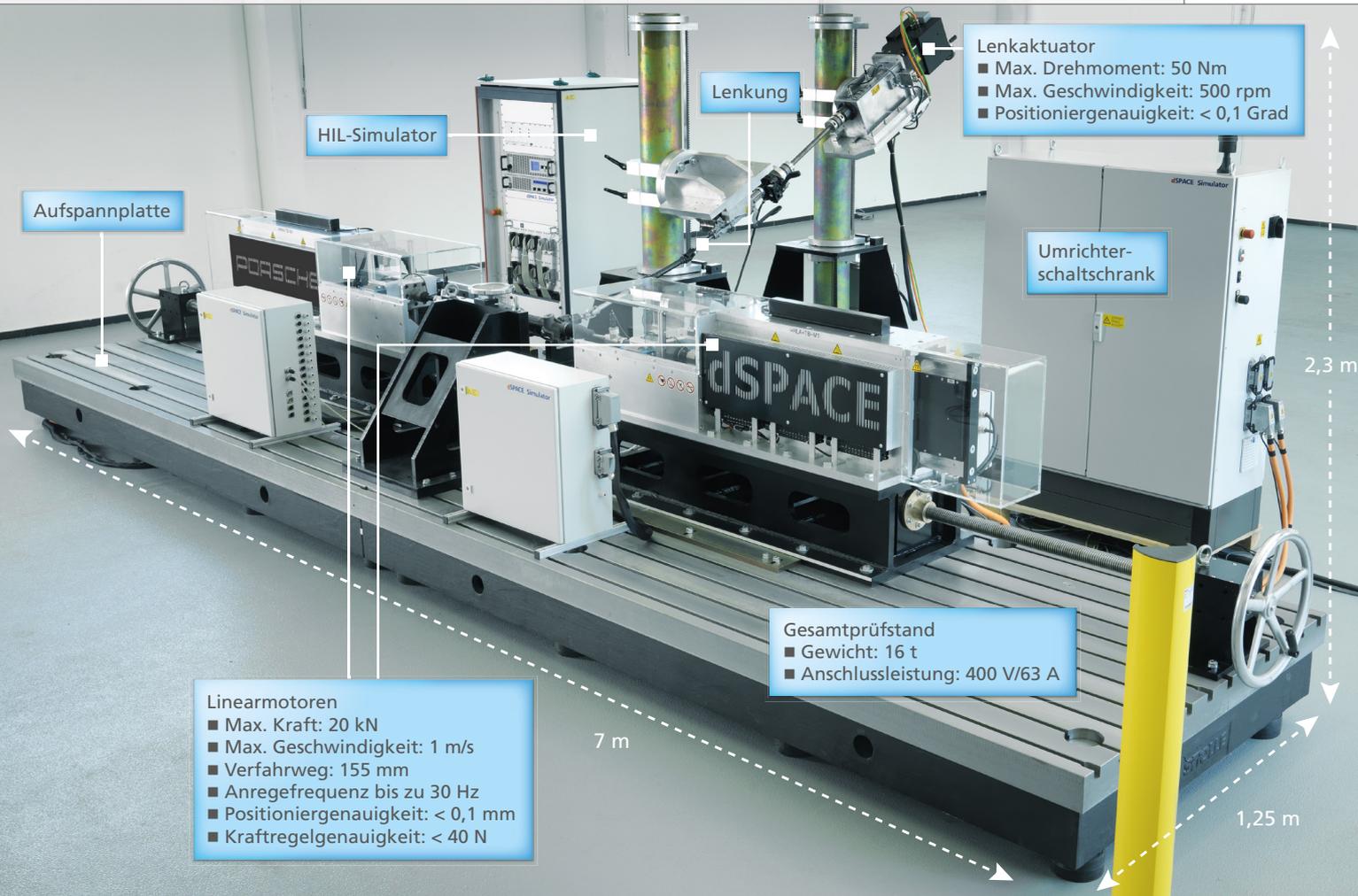
Absicherung des Lenksystems

Neben subjektiv wahrgenommenen Komfort- oder Charaktereigenschaften müssen Lenksysteme aber auch ganz handfeste Kriterien erfüllen. Nicht ohne Grund zählen sie zu den sicherheitskritischen Fahrzeugkomponenten, denn ihr Ausfall kann zu einer gefährlichen Fahrsituation führen. Die Absicherung der Mechanik und Elektronik erfolgt daher nach den höchsten Sicherheitsstandards. Wachsende Software-Umfänge, neue Fahrerassistenzsysteme und die optionale Ausstattung des Fahrzeugs um eine Hinterachslenkung erhöhen den Prüfbedarf bei der Lenksystementwicklung jedoch enorm. Daher sind geeignete Methoden erforderlich, um trotz aller Komplexität die geforderte Qualität effizient sicherzustellen. Reproduzierbare Tests, leicht erweiterbare Testumfänge und individuell steuerbare Testtiefen sind mit dem etablierten Hardware-in-the-Loop (HIL)-Verfahren für Steuergeräte realisierbar. Weitere Effizienzoptimierungen gelingen, wenn das Gesamtsystem getestet und die Reglerauslegung frühzeitig mit entwicklungsbegleitenden Tests unterstützt werden kann. Daher setzt man bei Porsche auf einen mechatronischen Prüfstand, um das Lenksystem inklusive Steuergerät im eigenen Labor zu prüfen. Die mechanische Anregung des Lenksystems durch geeignete Aktuatoren ermöglicht es, ein Systemverhalten zu testen, das mit einer realen Testfahrt in einem Prototypenfahrzeug vergleichbar ist. Dabei lassen sich aber auch synthetische An-

Abbildung 1: Aufbau eines elektromechanischen Lenksystems. Der Elektromotor zur Lenkunterstützung ist hier parallel zur Zahnstange verbaut und übt eine translatorische Kraft auf die Spurstangen aus.



Quelle: © Porsche



Aufspannplatte

HIL-Simulator

Lenkung

Lenkaktuator
 ■ Max. Drehmoment: 50 Nm
 ■ Max. Geschwindigkeit: 500 rpm
 ■ Positioniergenauigkeit: < 0,1 Grad

Umrichterschaltschrank

Gesamtprüfstand
 ■ Gewicht: 16 t
 ■ Anschlussleistung: 400 V/63 A

Linearmotoren
 ■ Max. Kraft: 20 kN
 ■ Max. Geschwindigkeit: 1 m/s
 ■ Verfahrweg: 155 mm
 ■ Anregefrequenz bis zu 30 Hz
 ■ Positioniergenauigkeit: < 0,1 mm
 ■ Kraftregelgenauigkeit: < 40 N

7 m

2,3 m

1,25 m

Abbildung 2: Aufbau und technische Daten des Lenkungsprüfstands.

regungsformen über alle mechanischen Schnittstellen des Lenksystems einprägen, sodass vollumfängliche Tests mit dem Prüfstand realisierbar sind. Auf diese Weise können die Entwickler neue Funktionen schon in frühen Phasen erproben, wichtige Parameter identifizieren und beispielsweise fahrdynamische Grenzen gefahrlos ausloten. Nicht zuletzt lässt sich so wertvolles Know-how im Unternehmen aufbauen.

Flexibles Prüfstandkonzept

Der in Zusammenarbeit zwischen dSPACE und der Porsche AG entwickelte Lenkungsprüfstand ist so aufgebaut, dass er eine vollständige Lenkung inklusive Lenksäule, Servomotor, Zahn- und Spurstangen aufnehmen kann (Abbildung 2). Er zeichnet sich durch eine variable Aufspannplatte mit diversen Skalen für die Ausrichtung der einzelnen Komponenten aus. Darüber hinaus existieren definierte Schnittstellen für die Energie-

und Signalübertragung zwischen Lenksystem und Prüfstand. All dies gewährleistet eine hohe Flexibilität und folglich eine optimale Anpassbarkeit an unterschiedliche Lenksysteme und garantiert außerdem geringe Rüstzeiten und damit einen effizienten Betrieb.

Effiziente elektrische Antriebe

Das Herzstück des Lenkungsprüfstands sind die dynamischen elektrischen Antriebe in Form von zwei Linearmotoren, welche die Lenkung mechanisch stimulieren. Dadurch bilden sie die Kräfte nach, die im realen Fahrzeug von den Rädern auf die beiden Spurstangen übertragen werden. Am anderen Ende der Lenkung befindet sich ein Lenkaktuator (Elektromotor), um die Lenkwinkel dynamisch einzustellen und damit den Fahrer nachzumahmen. Die beiden Linearmotoren sowie der Lenkaktuator werden über geregelte Antriebsumrichter mit Energie versorgt. Die Ansteuerung der Linearmotoren ist so ausgelegt,

dass sowohl hohe Kräfte als auch präzise Auflösungen darstellbar sind. Die Umrichter aller Motoren sind über einen gemeinsamen Spannungszwischenkreis gekoppelt. Dieser wird über eine aktive Einspeiseeinheit aus dem elektrischen Netz mit Energie versorgt. Durch die Kopplung der Umrichter müssen lediglich die Verluste des Prüfstands gedeckt werden, der Großteil der Energie fließt im „Kreis“. Dadurch wird eine deutlich höhere Energieeffizienz im Vergleich zu den Hydraulikprüfständen erreicht, die bisher bei Porsche zum Einsatz kamen. Die externe Versorgung reduziert sich auf eine Standard-Drehstromsteckdose (63 A). Weitere Medien wie Kühlwasser oder Druckluft sind nicht notwendig.

Aufbau und Funktion des Simulators

Die Regelung der Motoren, die Überwachung des Prüfstands und die Messwerterfassung werden mit einem dSPACE HIL-Simulator realisiert. >>

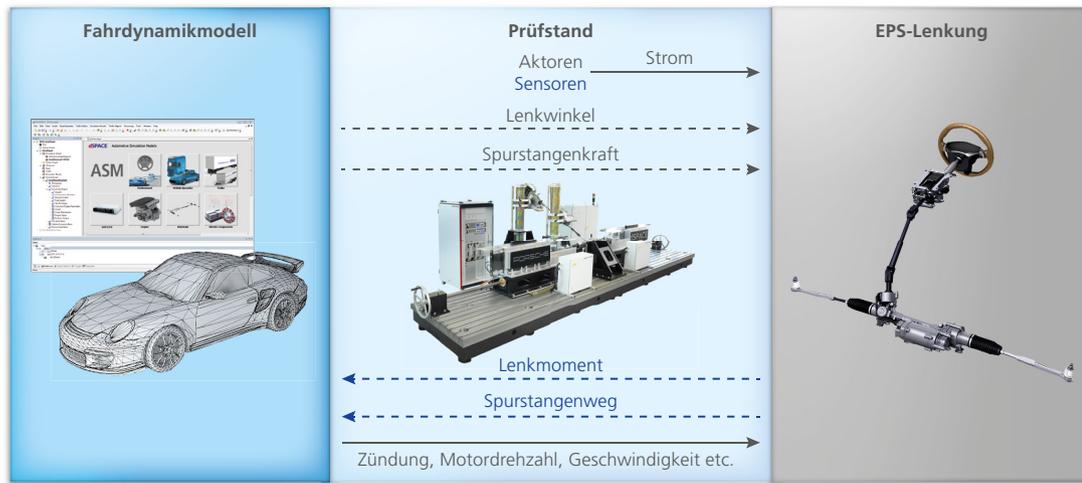


Abbildung 3: Komponenten, Signale, Aktoren und Sensoren des Prüfstands.

Dieser enthält den Echtzeitprozessor, die benötigte I/O und die entsprechende Signalkonditionierung. Die Ansteuerung der Antriebsumrichter erfolgt über das TWINSync-Protokoll der Firma LTI Motion und garantiert so eine Übermittlung der Sollwerte an den Umrichter in einem 125- μ s-Raster. Dieses Regelungskonzept erlaubt eine hohe Stellgenauigkeit auch bei hochdynamischen Anregungen bis 30 Hz, was etwa einer schnellen Fahrt über Kopfsteinpflaster entspricht. Außerdem bildet der Simulator auch den Restbus nach, und zwar je nach Lenkungstyp für CAN- oder für FlexRay. Zur Echtzeitsimulation der fahrdynamischen Eigenschaften eines Fahrzeugs kommt die Toolsuite dSPACE ASM (Automotive Simulation Models) zum Einsatz. Die echte Lenkung ist dadurch beispielsweise mit dem Fahrzeugmodell ASM Vehicle Dynamics gekoppelt, sodass ein Closed-Loop-Betrieb realisiert wird (Abbildung 3). Die Parametrierung der unterschiedlichen Porsche-Fahrzeugmodelle erfolgt mit der grafischen Benutzeroberfläche dSPACE ModelDesk, in der auch Straßen und Manöver für die virtuellen Testfahrten definiert werden. Um das Fahrzeugverhalten sofort visuell bewerten zu können, kommt die 3D-Animationssoftware dSPACE MotionDesk

zum Einsatz (Abbildung 4). Die Prüfstandsteuerung erfolgt mit der Experimentier- und Instrumentiersoftware dSPACE ControlDesk. Mithilfe der Testautomatisierungssoftware dSPACE AutomationDesk kann Porsche seine Prüfabläufe darüber hinaus komfortabel automatisieren.

Bestandteile der EPS-Tests

Der Lenkungsprüfstand wird bei Porsche zum einen für die Identifikation mechanischer Lenkungsparameter verwendet, zum anderen dafür, das Übertragungsverhalten des Lenksystems zu analysieren. Dazu wird mithilfe der Versuche zur Parameteridentifikation die durch den Lenksystem-Lieferanten erfolgte Umsetzung der Mechanik-Anforderungen nachvollzogen. Darüber hinaus liefern wiederholte Messungen mit dem gleichen Bauteil Erkenntnisse über dessen Verschleißeigenschaften. Während der Versuche identifizierte Parameter:

- Übersetzungsverhältnis zwischen Ritzelwinkel und Zahnstangenweg
- Übersetzungsverhältnis zwischen Motorwinkel und Zahnstangenweg
- Steifigkeiten des Lenkstrangs (Drehstab und Lenksäule)
- Steifigkeit der Motorübertragung

(Riemetrieb und Kugelgewindetrieb)

- Reibung von Lenkgetriebe und Lenksäule
- Motorkennfeld (Leistung, Energieverbrauch und Wirkungsgrad)

Durch den Einsatz von AutomationDesk können Messabläufe komfortabel automatisiert werden. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Bestimmung der Reibung in Lenkgetriebe und Lenksäule oder die Ermittlung des Motorkennfelds, wofür jeweils eine Reihe unterschiedlicher Messungen notwendig sind. So wird zur Bestimmung der Steifigkeiten im Lenkstrang mit dem Lenkaktuator ein drehmomentgeregeltes Dreieckssignal in Form automatisierter Tests abgefahren. Aus den gemessenen Größen Lenkradmoment M_L und Lenkradwinkel δ_L lässt sich die Steifigkeit c ableiten (Abbildung 5, (3)). Durch die Analyse des Übertragungsverhaltens einer elektrischen Lenkung lassen sich die Eigenschaften des Unterstützungsmotors identifizieren. Dabei wird in Abhängigkeit der Anregungsfrequenz untersucht, wie gut der Servomotor die an ihn gestellten Unterstützungsanforderungen umsetzt. Des Weiteren lässt sich das Rückmeldeverhalten der Lenkung analysieren. Es wird durch die Entwickler

maßgeblich mithilfe der Software des Lenkungsreglers beeinflusst und Porsche-typisch ausgelegt. In Abhängigkeit der Frequenz wird dabei das Übertragungsverhalten von Kräfteinwirkungen an der Zahnstange zu Momenten am Drehstab untersucht. Analyisierte Übertragungskriterien:

- Übertragungsverhalten von Motor-moment zu Zahnstangenkraft
- Übertragungsverhalten von Zahnstangenkraft zu Drehstabmoment

Abbildung 5 (4, 5) zeigt, wie sich eine Anregung an der Zahnstange in eine Reaktion am Drehstabmoment überträgt. Die Kurvenverläufe „passiv“

beschreiben das rein mechanische Übertragungsverhalten der Lenkung ohne Servounterstützung. Die Verläufe „aktiv“ stellen das Verhalten der Lenkung mit aktivierter Unterstützung dar. Es ist deutlich erkennbar, dass die Verläufe „aktiv“ bezüglich der Amplitude unterhalb der Verläufe „passiv“ liegen. Ursache hierfür ist die Servofunktion der Lenkung, welche die vom Fahrer aufzubringenden Handmomente auf ein komfortables Maß reduziert. Die weitgehende Übereinstimmung der jeweiligen Kurvenverläufe „#1“ und „#2“ verdeutlicht die hohe Reproduzierbarkeit der Messungen mit dem Lenkungsprüfstand von dSPACE.

Test des Gesamtsystemverhaltens

Für die Untersuchung des Gesamtsystemverhaltens bietet der Prüfstand zwei unterschiedliche Analysemethoden. Zum einen können vordefinierte Signale, beispielsweise aus einer Fahrversuchsmessung, als Testvektoren an den Prüfstand übergeben und abgefahren werden. Diese Methode hat den Vorteil, dass die Testvektoren nur einmalig aufgezeichnet werden müssen und anschließend beliebig oft wiederverwendbar sind. Zur Untersuchung unterschiedlicher Software-Stände ist es folglich nicht notwendig, das Fahrmanöver erneut mit dem Realfahrzeug durchzuführen. Zum anderen kann mithilfe des Simulationsmodells ASM

>>

„Mit seinen hochdynamischen Eigenschaften stellt der mechatronische Prüfstand von dSPACE für uns ein wichtiges Entwicklungswerkzeug dar, das sich hervorragend in die Porsche-Lenkssystementwicklung mit ihren hohen Anforderungen einfügt.“

Anton Uselmann, Porsche AG

Abbildung 4: Der mechatronische Prüfstand samt Bedienplatz mit ControlDesk zur Steuerung der Tests (links) und MotionDesk zur Visualisierung der Fahrmanöver (rechts).



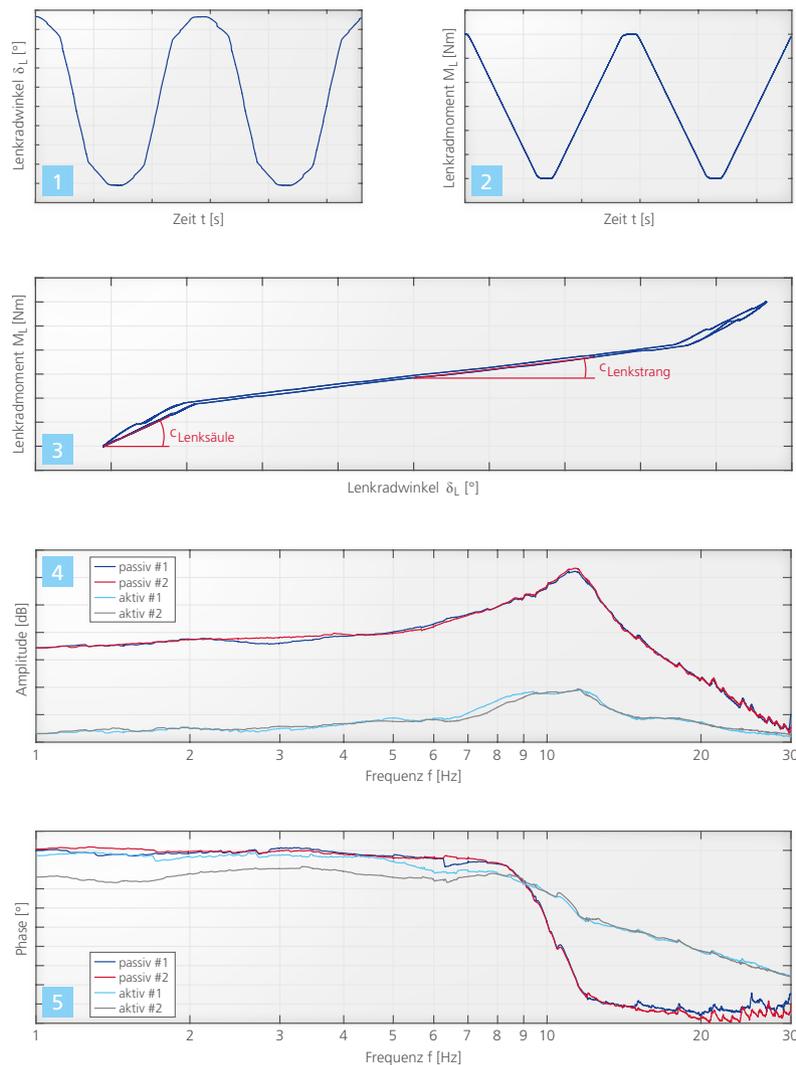


Abbildung 5: Verschiedene während der Lenkradttests aufgenommene Messwerte.

1, 2: Anregung des Lenkstrangs mit Lenkradwinkel δ_L und Lenkradmoment M_L über der Zeit t .

3: Die Steifigkeiten des Lenkstrangs c lassen sich aus der Steigung des Lenkradmoments M_L über dem Lenkradwinkel δ_L ablesen.

4, 5: Übertragungsverhalten der Lenkung mit rein mechanischer Übertragung („passiv“) und aktivierter Unterstützungseinheit („aktiv“). Die jeweiligen Kurvenverläufe „#1“ und „#2“ verdeutlichen die hohe Reproduzierbarkeit der Messungen mit dem dSPACE Prüfstand.

Vehicle Dynamics das Verhalten der Lenkung im Gesamtsystem Fahrzeug analysiert werden. Dazu ist es erforderlich, ASM Vehicle Dynamics mit den Fahrzeugparametern des zu untersuchenden Porsche-Modells zu bedaten. Darüber hinaus können mit ModelDesk

verschiedene Fahrsituationen definiert werden. Dabei lassen sich diverse Größen variieren, beispielsweise die Streckentopologie oder die Reibwerte der Fahrbahn. Sowohl die Verwendung der Testvektoren als auch Simulationen mit ASM Vehicle Dynamics können den

Fahrversuch im Realfahrzeug bei der Systemanalyse unterstützen. Besonders aus der Unabhängigkeit von Fahrer- und Umwelteinflüssen resultiert dabei eine hohe Reproduzierbarkeit und Genauigkeit der Untersuchungen (Abbildung 6).

Projektverlauf und Abstimmung

Während des gesamten Projekts – von den ersten Gesprächen in der Angebotsphase bis zur Inbetriebnahme und Endabnahme – bestand ein enger Kontakt und ständiger Austausch zwischen den Projektbeteiligten von Porsche und dSPACE. In der ersten Projektphase ging es zunächst darum, die Anforderungen von Porsche in eine Prüfstandkonstruktion umzusetzen. Grundlage bildete ein 3D-Modell des mechanischen Aufbaus, das in mehreren Schritten überarbeitet wurde. Beispielsweise wurde durch konstruktive Maßnahmen sichergestellt, dass die Eigenfrequenzen des Prüfstands mit allen geplanten Anwendungsszenarien kompatibel sind – also nicht im Frequenzbereich der Anregung liegen. Ebenso musste die Auslegung der Linearmotor-Läufer für die geforderte hohe Dynamik optimiert werden. Regelmäßige Telefonkonferenzen und Termine vor Ort, entweder bei dSPACE in Paderborn oder im Porsche-Entwicklungszentrum in Weissach, waren fester Bestandteil des Projekts. Dadurch blieb der Projektstatus jederzeit transparent. Letztlich konnte der Prüfstand termingetreu angeliefert und in Betrieb genommen werden. Da der gesamte Prüfstand aus einer Hand stammt und schlüsselfertig geliefert wurde, entstanden weder Reibungsverluste noch Kommunikationsprobleme mit Dritten.

Fazit und Ausblick

Der Lenkungsprüfstand sorgt bei Porsche für eine höhere Flexibilität und eine exakte Reproduzierbarkeit von

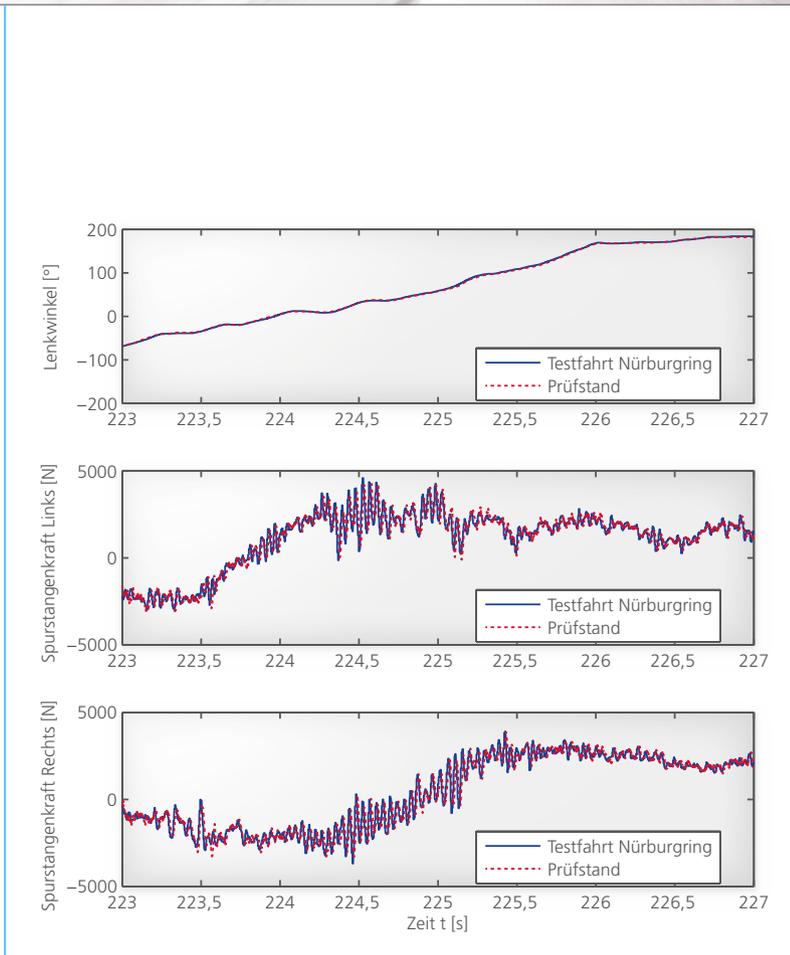


Abbildung 6: Während einer realen Fahrt auf dem Nürburgring gewonnene Messdaten für den Lenkwinkel und die korrespondierenden Spurstangenkräfte (blau) im Vergleich mit den am Lenkungsprüfstand gemessenen Größen (rot).

„Mithilfe des Echtzeitsimulationsmodells ASM Vehicle Dynamics analysieren wir das Verhalten einer realen Lenkung im virtuellen Fahrzeug.“

Benedikt Schrage, Porsche AG

Tests und steigert auf diese Weise die Effizienz bei der Entwicklung und Absicherung der Lenksysteme. Auch nach dem Abschluss des Projekts besteht intensiver Kontakt zwischen den Projektteams beider Firmen. So arbeitet dSPACE zurzeit daran, die Regelalgorithmen für Lenkungsprüfstände weiter zu optimieren. In der nächsten Ausbaustufe geht es darum, gemeinsam eine Hinterachslenkung in die Prüfstandumgebung zu integrieren. Die Erweiterung um eine Steer-by-Wire-Architektur ist ebenso denkbar. Wei-

terhin plant Porsche die Integration einer Temperatorkammer für den Prüfstand, wobei die Schnittstellen am HIL-Simulator bereits vorgesehen sind. ■

Anton Uselmann, Eric Preisling, Benedikt Schrage, Dario Düsterloh, Porsche AG



Im Video erfahren Sie mehr über die Arbeitsweise des Prüfstands: www.dspace.com/gol/dMag_20162_mHIL_D

Anton Uselmann

Anton Uselmann ist zuständig für die Funktionsentwicklung von Lenksystemen bei der Porsche AG in Weissach.



Eric Preisling

Eric Preisling ist Fachreferent für Fahrwerkprüfstände im Prüffeld der Porsche AG in Weissach.



Benedikt Schrage

Benedikt Schrage ist Versuchsingenieur im Bereich Fahrwerkprüfstände und zuständig für den Lenkungsprüfstand bei der Porsche AG in Weissach.



Dario Düsterloh

Dario Düsterloh ist Doktorand bei der Porsche AG in Weissach und beschäftigt sich mit der Funktionsoptimierung und Komplexitätsbeherrschung im Entwicklungsprozess der Lenkung.





Ohne Kette

Serieller Hybridantrieb im Fahrrad

Nahezu alle Pedelects (Pedal Electric Cycles) werden bislang mit einem parallelen Hybridantrieb ausgestattet, bei dem noch eine mechanische Verbindung zwischen Tretkurbel und Antriebsrad besteht. Serielle Hybridantriebe verzichten auf diese wartungsintensive Kopplung, vermitteln aber nur ein unnatürliches Fahrgefühl. Das seriell-hybride EE-SpeedBike der IAI GmbH räumt mit diesem Nachteil auf. Dank einer ausgeklügelten Regelung, die mit dSPACE Werkzeugen entwickelt wurde, bietet es ein hochauthentisches Fahrgefühl.



Der Pedelec-Markt in Deutschland und Europa boomt und wächst jährlich um fast 10 %. Die heute verfügbaren Pedelecs im mittleren Preissegment verfügen zusätzlich zum Ketten- oder Riemenantrieb entweder über einen Mittelmotor nahe dem Tretlager oder über einen Hinterradmotor. Diese Antriebskonzepte werden als parallele Hybridantriebe bezeichnet.

Serielle Hybridantriebe

An seriellen Hybridantrieben für Fahrräder wird bereits seit über 40 Jahren gearbeitet. Die ursprüngliche Idee geht auf den Amerikaner Augustus Kinzel zurück, der 1975 das erste Patent dazu erteilt bekam. Das damalige Konzept ging davon aus, dass die Tretkurbeln direkt mit einem Generator verbunden sind, mit dem der Fahrer beim Treten der Pedale elektrische Leistung erzeugt, die dann per Kabel an einen Antriebsmotor im Vorderrad geleitet wird. Auf die sonst übliche mechanische Verkopplung zwischen Tretkurbel und Hinterrad wurde komplett verzichtet. In den folgenden Jahren wurden verschiedene Musterfahrräder mit seriellen Hybridantrieb vorgestellt, die aus verschiedenen Gründen, unter anderem wegen des unnatürlichen Tretgefühls und des fehlenden Gegenmoments an der Tretkurbel, die Marktreife nicht erreichten.

Der Weg in die Zukunft

Anlass für die ersten Untersuchungen zum seriellen Hybridantrieb am Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI) waren Gespräche mit einem Fahrradhersteller, in denen der Verschleiß sowie der Wartungsaufwand an Pedelecs mit parallelem Hybridantrieb, insbesondere an Kette und Kettenschaltung, bemängelt wurden. Diese Untersuchungen waren vornehmlich durch die Analyse von Fahrleistungen von verschiedenen konventionellen Fahrrädern geprägt. Das Entwicklungsziel bestand darin, ein Fahrrad mit seriellen Hybridantrieb als Funktionsmuster aufzubauen, das in seinen Fahrleistungen einem Pedelec mit parallelem Hybridantrieb mindestens ebenbürtig ist und an dem das Tretgefühl eines normalen Fahrrades komplett erhalten bleibt. Basierend auf der Fahrleistungsanalyse, wurden im Rahmen eines von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) geförderten Projektes im IAI Synchronantriebe mit zugehöriger Mess- und Regelungstechnik sowie Leistungselektronik entwickelt, die zunächst an einem um-

gebauten Serienfahrrad getestet wurden. Die Anforderungen an den Motor und den Generator unterscheiden sich im Hinblick auf die Drehmomente wesentlich von den am Markt befindlichen Hilfsantrieben. Beim seriellen Hybridantrieb muss der Antriebsmotor in der Lage sein, die gesamte für das Fahrrad notwendige Antriebsleistung umzusetzen; der Generator hingegen muss ein Kettenantrieb adäquates Gegenmoment erzeugen können, das dem Fahrer wie gewohnt ein der Fahrsituation entsprechendes Feedback liefert. Die erste Generation der Antriebe erfüllte diese Anforderungen noch nicht vollständig, da der Zielkonflikt zwischen dem erforderlichen Drehmoment und der kleinen Bauform nur mit einem optimierten Getriebe zu lösen war. Dieser erste Musteraufbau konnte dennoch nachweisen, dass die Software-Nachbildung eines Kettenantriebs mit speziellen Regelalgorithmen möglich ist.

Das Konzept X-PESA

Im Anschluss an den funktionellen Nachweis wurden die Antriebe durch die Integration von Planetengetrieben verkleinert sowie die Drehmomente erhöht und in einem angepassten Rahmen verbaut. Das als weiteres Funktionsmuster aufgebaute Pedelec mit dem Namen X-PESA, ausgelegt als Pedelec bis 25 km/h, konnte sich mit den Fahrleistungen von marktüblichen, parallel-hybriden Pedelecs messen. Allerdings war auch hier in einer frühen Phase der Entwicklung klar, dass der Generator zu groß und zu schwer war, um die gewünschten Drehmomente mit einem einstufigen Planetengetriebe zu erreichen.

Die nächste Generation

Durch die Förderung des Landes Sachsen-Anhalt im Rahmen der Landesinitiative ELISA (Elektromobilität und Leichtbau) wurde es möglich, die Antriebe nochmals zu überarbeiten. Der Generator, nun ausgestattet mit einem zweistufigen Planetengetriebe, liefert

>>

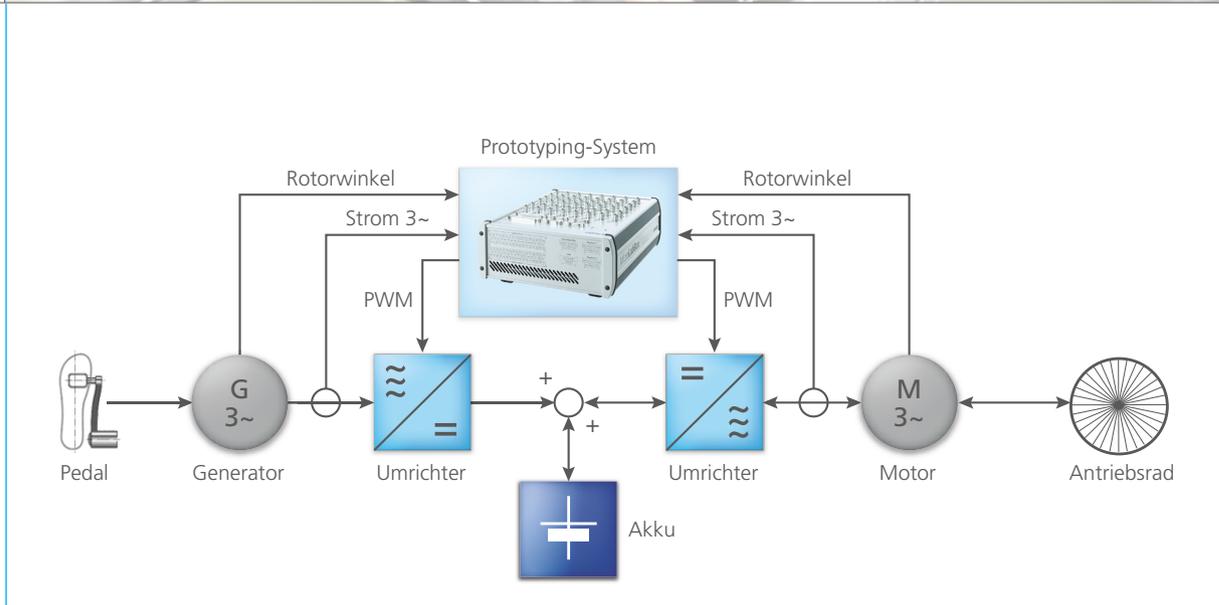


Abbildung 1: Leistungsfluss des seriellen Hybridantriebs mit der dSPACE MicroLabBox als Prototyping-System.

bei einer Gesamtmasse von 2,9 kg maximal 180 Nm Drehmoment, so dass ein 100 kg schwerer Fahrer auch bei sportlicher Fahrt ausreichend Gegenmoment verspürt. Der Antriebsmotor, der den Bauraum des Hinterradritzens nutzt, erreicht ein Spitzendrehmoment von 120 Nm und leistet kurzzeitig 2 kW. Mit dieser Antriebsleistung ist der Motor für den Einsatz in der Kategorie S-Pedelecs bis 45 km/h konzipiert, kann aber alternativ auch mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung auf 25 km/h in Fahrrädern jeglicher Bauart (City-Räder, Mountainbikes, Lastenräder, Rikschas usw.) eingesetzt werden. Motor und Generator sind komplett wartungsfrei. Trotz der zweifachen Energiewandlung sind Effizienz und Kosten dieses Antriebssystems prinzi-

piell vergleichbar mit parallelen Hybridantrieben, da die mechanische Verkopplung vom Pedal zum Hinterrad und die mechanische Schaltung entfallen. In seiner Funktionalität ist der serielle hybride Antrieb weltweit einzigartig.

Bedienkomfort per Smartphone

Herzstück des Antriebsstranges ist ein 16-Bit-Mikrocontroller, der neben der echtzeitkritischen Ansteuerung von Motor und Generator und diversen Überwachungsaufgaben auch die Kommunikation zum Bedienteil und zum per Bluetooth angekoppelten Smartphone übernimmt. Mit dem Smartphone werden mit einer eigens entwickelten App Fahrzustände dargestellt, zum Beispiel Geschwindigkeits-, Akku- und Leis-

tungsanzeigen. Weiterhin dient das Smartphone zur Einstellung verschiedener Betriebsarten. In der Betriebsart „Handschaltung“ kann über das Bedienteil die virtuelle 20-Gang-Schaltung bedient werden, die einer konventionellen Kettenschaltung nachempfunden wurde. Alternativ dazu verfügt der serielle Hybridantrieb über eine stufenlose Automatikschaltung, bei der der Fahrer am Bedienteil die Wunschrtrittfrequenz vorgeben kann. Die variable Einstellung der Akkuunterstützung gestattet die Anpassung des „Rückenwindes“. Bei mittlerer Unterstützung erreicht das EE-SpeedBike eine Reichweite von 80 km. Diese kann beliebig verlängert werden, indem der Fahrer während der Fahrt mehr Tretleistung erzeugt, als für den Antrieb benötigt wird, wobei die überschüssige Leistung den Akku lädt. Bei einer Geschwindigkeit von 45 km/h, bei der die Antriebsleistung zum größeren Teil vom Akku gespeist wird, beträgt der Aktionsradius immer noch 45 km. Alternativ zum Laden an der Steckdose erlaubt der Heimtrainermodus das Laden des mit einer Kapazität von 850 Wh bemessenen Bordakkus, während das Fahrrad im Stillstand ist. Beim Bremsen am Hinterrad wird der Motor im Rekuperationsmodus betrieben und wandelt die Bewegungsenergie, vom Fahrer stufenlos steuerbar, in elektrische Energie zurück, die in den Akku gespeist wird, bevor und während die mechanische Bremse greift.

Abbildung 2: Bedienoberfläche des über Bluetooth angekoppelten Smartphones.



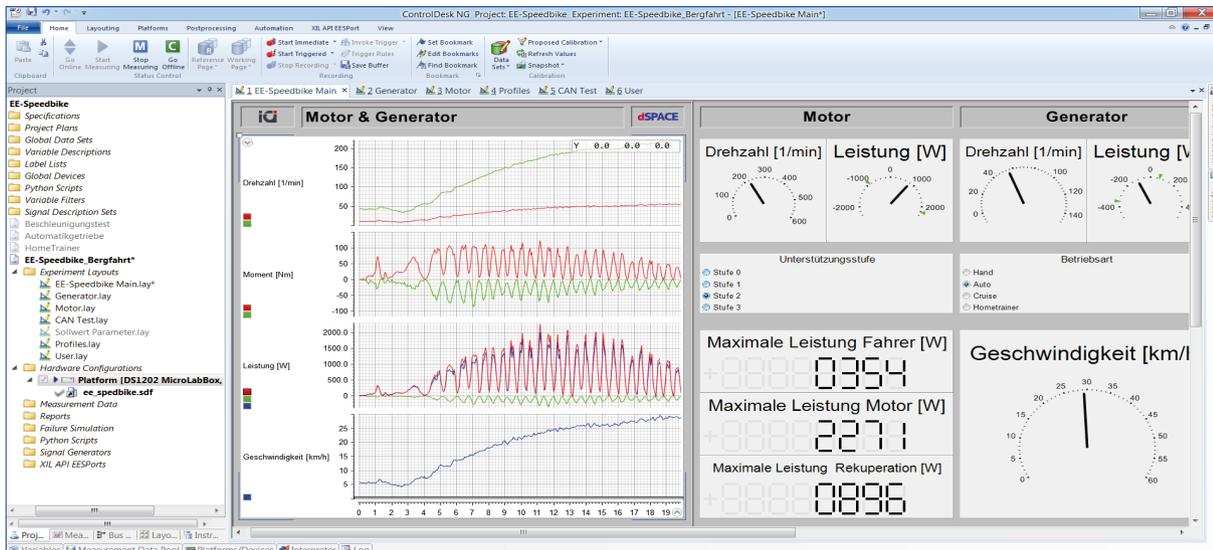


Abbildung 3: Drehmomente, Drehzahlen und Leistungen von Motor und Generator bei einer am Prüfstand simulierten Bergfahrt.

„Die dSPACE MicroLabBox mit ihren umfangreichen I/O-Funktionalitäten ermöglichte uns maximale Flexibilität beim Testen unseres neuen Antriebskonzepts am Prüfstand.“

Steffen Braune, Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI)

Erste Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme und Evaluierung der Antriebskomponenten wurde mit einem DS1103 PPC Controller Board durchgeführt. Die Rechenleistung dieses Prototyping-Systems erlaubte es, auch rechenintensive in MATLAB®/Simulink® entwickelte Regelalgorithmen zunächst ohne die Betrachtung von Laufzeitoptimierungen in Echtzeit testen zu können. Mit den umfangreichen Peripheriefunktionen des DS1103 war ein vollumfänglicher Prüfstandtest entweder für den Motor oder für den Generator möglich.

Vom DS1103 zur MicroLabBox

Seit Kurzem kommt am Prüfstand eine MicroLabBox zum Einsatz. Mit der gegenüber dem DS1103 höheren Rechenleistung und der erweiterten Peripherie, insbesondere der Mehrkanal-PWM-Signalgenerierung, wurde es nun möglich, Motor und Generator zeitgleich am Prüfstand zu testen. So gelang es, die Wechselwirkung der beiden Antriebe besser zu verstehen und damit das Fahrgefühl am Generator sowie die Drehmomenterzeugung am Motor weiter zu optimieren. Das RTI USB Flight Recorder Blockset erlaubt dabei die Aufzeichnung aller relevanten Prozessdaten mit hoher

Abtastrate über einen längeren Zeitraum und erleichtert die Analyse erheblich. Die erweiterten Funktionalitäten in ControlDesk 5.5, zum Beispiel der neue Variable Browser oder auch die Möglichkeit, einzelne Plots als neue Messung speichern zu können, ermöglichen eine schnelle und effiziente Durchführung und Auswertung von Testreihen.

Fazit und Ausblick

Das EE-SpeedBike und sein Vorgänger X-PESA haben zusammen bisher mehrere tausend Testkilometer auf der Straße

und am Prüfstand ohne nennenswerte Probleme absolviert. Im Dezember 2015 wurde das Antriebskonzept mit dem dritten Platz des Hugo-Junkers-Preises für Forschung und Innovation aus Sachsen-Anhalt in der Kategorie „Innovativste Projekte der angewandten Forschung“ ausgezeichnet. Der nächste Entwicklungsschritt ist die Industrialisierung des vorliegenden Funktionsmusters, um mit Serientechnologien wirtschaftlich hohe Stückzahlen fertigen zu können. ■

Steffen Braune und Knut Hahne, Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI)

Steffen Braune

Steffen Braune ist Projektleiter Mechatronische Systeme am Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI), Wernigerode, Deutschland



Knut Hahne

Knut Hahne ist Applikationsingenieur am Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI), Wernigerode, Deutschland



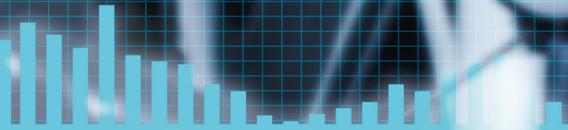


Advocate, Aerobics, Affect, Alert, Ambulatory, Appearance, Appetite, Athlete, Athletics, Avoidance, Games, Goal

Goodwill, Grip, Gymnasium, Vaccination, Veal, Vigorously, Victory, Vigorous, Vital, Vitamins, Voluntary, Nervous, Nurse, Nutrition, Eating, Education, Effect, Elder, care, Energetic, Emotional, Endurance, Energy

Erect, Ergonomics, Establish, Exercise, Experience, Tackle, Targets, Team, Teammate, Tennis, Testing, Therapeutic

PERFORMANCE



Entwicklung intelligenter
Sportgeräte

Smarter trainieren

Forscher der Cleveland State University entwickeln neuartige Sportgeräte für Kraft- und Ausdauertraining, Reha-Sport sowie für den Einsatz im All. Die dSPACE MicroLabBox erfasst dabei sämtliche Messdaten und steuert die Prototypen der Sportgeräte, die in der Lage sind, sich ganz individuell an den jeweiligen Benutzer anzupassen.



Der Einsatz von Sportgeräten lässt sich bis in die Zeit der industriellen Revolution zurückverfolgen. Seitdem wurden die Geräte ständig weiterentwickelt (Abbildung 1) und bieten heute sogar Bildschirme zur Anzeige von Widerstand, Geschwindigkeit und Herzfrequenz. Entweder sind die Geräte auf Muskelaufbau ausgelegt, wie zum Beispiel beim Heben von Gewichten, oder für das Herz-Kreislauf-Training, wie Rudergeräte und Laufbänder. Während man Gewichte oder den Widerstand bei Rudergeräten einstellen kann, ist die Art und Weise, wie die Geräte der Bewegung des Trainierenden entgegenwirken, die sogenannte mechanische Impedanz, jedoch immer gleich.

Das Ziel: Individuelle mechanische Impedanz

Das Forschungsprojekt basiert darauf, dass eine fixe mechanische Impedanz für ein effizientes Training nicht optimal ist. Geräte im Reha-Sport-Bereich beispielsweise sollen der Bewegung nicht einfach nur einen Widerstand entgegenbringen, sondern sie führen. Zudem sollen Therapeuten und Ärzte die Geräte programmieren können, um Führung und Widerstand in einem Bewegungszyklus, für eine Trainingseinheit oder im Rahmen eines langfristigen Rehabilitationsprogramms auszubalancieren. Für Astronauten im All muss trotz Schwerelosigkeit das Heben von Gewichten nachgebildet werden; zudem unterliegen Gegenstände, die ins All geflogen werden, strengen Gewichts- und Volumenbeschränkungen. Daher liegt es nahe, im All sowohl

>>



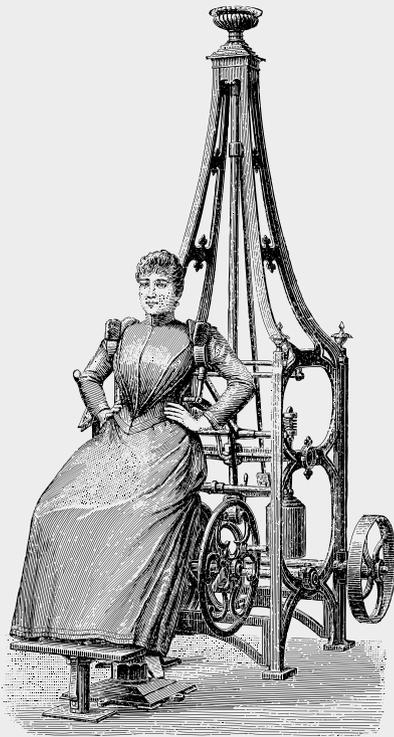


Abbildung 1: Sportgeräte haben sich zwar in Optik und Bedienung weiterentwickelt, aber die mechanischen Abläufe sind oft weitgehend unverändert.

für Kraft- als auch für Ausdauertraining dieselben Geräte zu verwenden. Das Forscherteam arbeitete zusammen mit dem NASA Glenn Research Center im Rahmen des Exercise Countermeasures Programs an Geräten, die diese Anforderungen erfüllen. Unter anderem bewies das Team seine Kompetenz im Bereich Energierückgewinnung: Es entwickelte die skalierte Version eines Rudergeräts, dessen Impedanz programmierbar ist und das vollständig vom Trainierenden mit Energie versorgt wird. Die autarke Stromversorgung bietet einen weiteren Vorteil gegenüber anderen Lösungen, da das Gerät nicht an das Stromnetz des Raumfahrzeugs angeschlossen sein muss, sondern sogar Energie einspeisen könnte.

Eigenschaften der Sportgeräte

Die neuartigen Sportgeräte, die über Motoren und Regelsysteme zur kontinuierlichen Erzeugung einstellbarer mechanischer Impedanzen verfügen, müssen mehrere besondere Eigenschaften bieten:

- Die Möglichkeit zur Kombination direkter Messungen und modellbasierter Schätzungen, um in Echtzeit detaillierte Informationen über die aktuelle Leistungsfähigkeit des Trainierenden zu gewinnen.
- Aktuelle Leistungsindikationen, um die mechanischen Eigenschaften anzupassen und die voreingestellte, programmierbare Zielvorgabe zu maximieren.
- Generieren optimaler Hinweise in Echtzeit für den Trainierenden, damit

er seine mechanische Leistung anpassen kann.

- Überwachen, Verwalten und Lösen von Konflikten zwischen Mensch und Maschine, inklusive einer Not-Aus-Funktion (Abbildung 2).

Herausforderungen

Die neuen Sportgeräte variieren die mechanische Impedanz sowohl während eines einzelnen Bewegungszyklus als auch über längere Zeiträume hinweg. Die Auswirkungen solcher Variationen auf den Körper – speziell auf gezielte Maßnahmen zum Muskelaufbau – müssen gut durchdacht sein. Dies gelingt durch die Modellierung, auf deren Basis die Impedanzvariationen derart festgelegt werden, dass sie sich vorteilhaft auf den Körper auswirken. In einer Im-



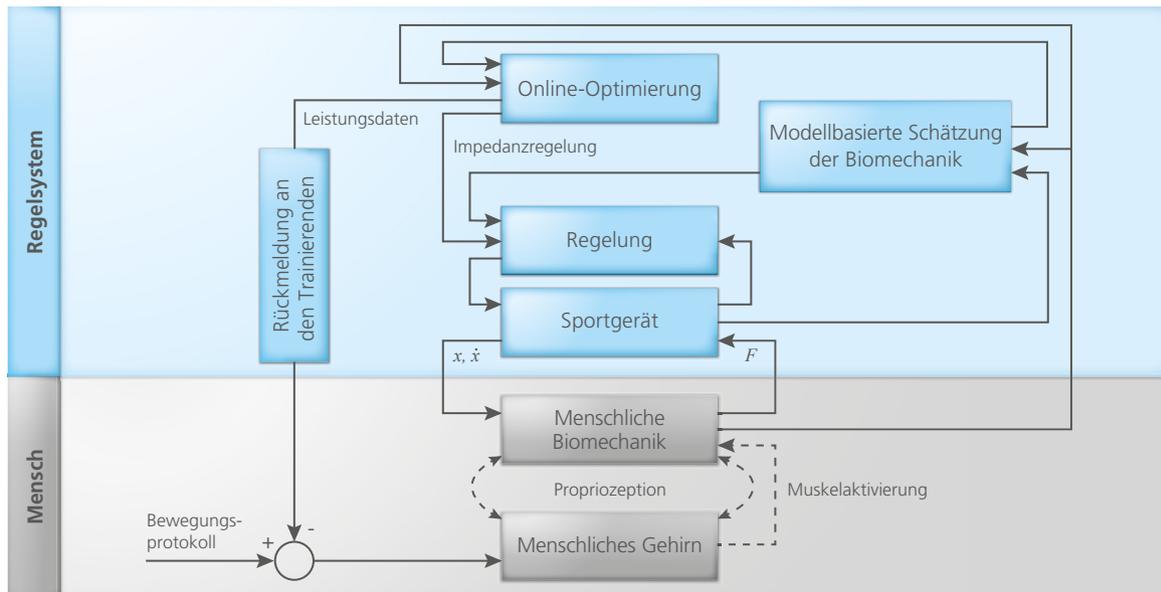


Abbildung 2: Funktionales Blockschaltbild für fortschrittliche Sportgerätekonzepte. Das System generiert während des Trainings Hinweise für den Trainierenden, damit er seine Leistung anpassen kann. Diese Anpassungen werden zusammen mit den mechanischen Impedanzvariationen vom System umgesetzt, um den Trainingseffekt zu optimieren.

plementierung werden optimale Impedanzanpassungen basierend auf Informationen zum aktuellen Status des Trainierenden und des Geräts vorgenommen. Ein Regelsystem setzt die Anpassungen durch entsprechende Befehle an den Motor des Geräts um.

Optimal trainieren

Grundsätzlich lässt sich für jedes Trainingsziel ein optimales Trainingsprogramm gestalten. Heißt das Trainingsziel Gewichtsabnahme, so sollte das Training die Belastung idealerweise auf so viele Muskeln wie möglich verteilen, um so die Beanspruchung zu maximieren. Im Reha-Bereich oder beim Bodybuilding dagegen ist das primäre Ziel der Aufbau einer bestimmten Muskelgruppe. Bei gelenkübergreifenden Mus-

keln wie der rückseitigen Oberschenkelmuskulatur ist es nicht auf den ersten Blick offensichtlich, wie die optimale Übung aussieht. Da jeder Körper anders auf einen Trainingsreiz reagiert, sind maßgeschneiderte Trainingsprogramme wichtig, um den individuellen Anforderungen gerecht zu werden. Regelbare Übungsgeräte ermöglichen es den Athleten, durch ideal verteilte und an ihren Körper angepasste Belastungen die Trainingsleistung zu optimieren und das Verletzungsrisiko zu minimieren. Ältere Menschen und Reha-Patienten können Beschwerden am Bewegungsapparat auf diese Weise sicher und schonend lindern.

Biomechanische Modellierung

Bei fortschrittlichen Sportgeräten überwacht ein Regelsystem kontinuierlich

das Zusammenspiel von Bewegung und Kraftaufwand. Diese Daten dienen dazu, Bewegungen und Muskelkräfte zu schätzen. Auf diese Weise ist es möglich, das Training zu bewerten und dem Trainierenden in Echtzeit Rückmeldung zu geben. Grundlage für all dies ist ein detailliertes mathematisches Dynamikmodell des menschlichen Bewegungsapparates, kombiniert mit Statusschätzungen, die robust genug sind, um auch bei ungenauen bzw. unvollständigen Daten sowie einem ungenauen Modell zuverlässige Ergebnisse zu liefern. Die Modelle werden durch die Bewegungserfassung und Elektromyografie-Aufzeichnungen validiert.

Statusschätzung

Um ein System so zu steuern, dass es

>>

„Mithilfe der dSPACE MicroLabBox ließen sich die Rohdaten leicht erfassen und die Geräteprototypen in Echtzeit bedienen. Dadurch konnten wir uns auf die eigentlichen Regelalgorithmen konzentrieren, statt uns mit den Details der Implementierung zu beschäftigen.“

Hanz Richter, Cleveland State University



Abbildung 3: Während eines Versuchs erfasst die dSPACE MicroLabBox (linkes Bild) die Daten der Elektromyografie von 16 Kanälen sowie die mechanischen Daten des Sportgeräts mit einer Abtastrate von 1 kHz. Ein weiteres System sammelt Bewegungsdaten mithilfe visueller Marker (helle Punkte) und Werte über den Metabolismus. Die Daten aller Systeme werden offline nachbearbeitet und synchronisiert.

wie gewünscht arbeitet, müssen die un beobachteten Größen des Systems geschätzt werden. Dies sind zum Beispiel verschiedene Systemparameter, ungemessene Eingänge und der interne Systemstatus. Bei einem Sportgerät gehören die vom Trainierenden ausgeübte Kraft, Reibungsparameter, Muskelaktivierungssignale und viele mehr zu diesen Größen. Um unbekannte Systemgrößen zu schätzen, benutzt das Team ein Kalman-Filter in Kombination mit anspruchsvollen Schätzern wie Unscented Kalman-Filter und H-unendlich Regelung.

Optimierung

Damit die Nutzer der Sportgeräte bestmöglich von ihrem Training profitieren können, müssen mehrere Systemkomponenten optimiert werden, einschließlich der Konstruktion des Gerätes an sich, der Schätzalgorithmen, Regelalgorithmen und Sollgrößen. Abgesehen davon, dass viele Einflussfaktoren des Systems unbekannt oder unmessbar sind, verändern sich einige von ihnen

mitunter auch über die Zeit aufgrund von Verschleiß und Alterung oder weil sich die Umgebungsbedingungen ändern. Was sich definitiv ändert, ist das menschliche Modell, da unterschiedliche Personen das Gerät nutzen. Zu Optimierungszwecken setzt das Forscherteam auf schnelle evolutionäre Algorithmen, die einen Satz von Lösungen für ein Optimierungsproblem enthalten. Die potentiellen Lösungen werden in Echtzeit getestet und evaluiert und tauschen zur Optimierung außerdem Informationen untereinander aus.

Echtzeitregelung mit der MicroLabBox

Bei der Spezifizierung der modellbasierten Regelalgorithmen ist zu beachten, dass sie ein optimales Variieren der mechanischen Impedanz ermöglichen sollen, ohne die Sicherheit des Trainierenden zu gefährden. Hierfür setzt das Forscherteam auf theoretische Grundlagen, die die gesamte Spannweite – von völliger Passivität bis zu extremer Aktivität – berücksichtigen. Für die Echt-

zeitimplementierung sind leistungsstarke Datenerfassungs- und Regelsysteme notwendig, die sehr schnell analoge Daten mehrerer Kanäle verarbeiten müssen und dabei auch eine anspruchsvolle Benutzerschnittstelle bieten. Das Team entschied sich für die dSPACE MicroLabBox, um die Rohdaten zu erfassen und die Sportgeräteprototypen in Echtzeit zu bedienen (Abbildung 3). Mit der Experimentier-Software ControlDesk gestaltet sich das Vorbereiten der Datenerfassung und Echtzeitregelungsexperimente schnell und effizient, da bestehende MATLAB®/ Simulink®-Simulationsmodelle leicht in Echtzeitschnittstellen konvertiert werden können. Dadurch können sich die Forscher auf die Arbeit an den eigentlichen Regelalgorithmen konzentrieren, anstatt sich mit den Details der Implementierung auseinanderzusetzen.

Erste Experimente am Rudergerät

In der Anfangsphase des Projekts lag der Fokus auf der Analyse des Bewegungsablaufs bei einem herkömmlichen

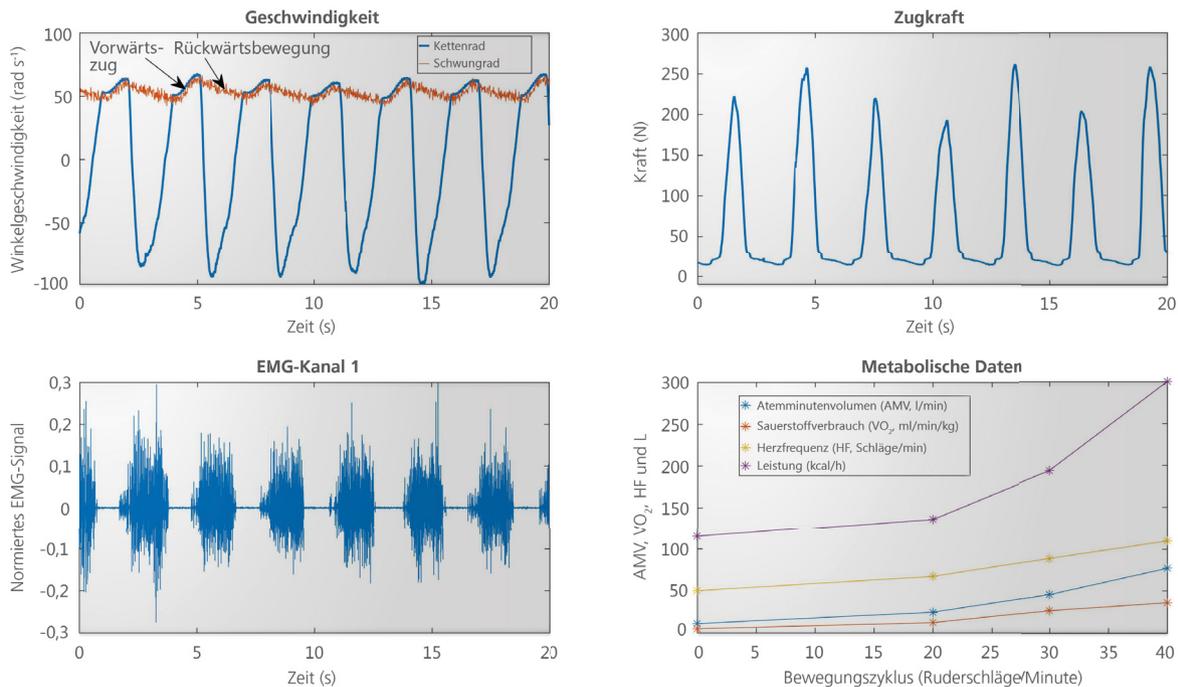


Abbildung 4: Beispielhafter Datensatz (Markerdaten sind nicht abgebildet). Kettenrad und Schwungrad bewegen sich beim Anziehen gleich schnell, auf dem Rückweg sind sie entkoppelt. Metabolische Daten werden bei unterschiedlichen Ruderschlag-Frequenzen (Ruderschläge/Minute) und während der Ruhephase erfasst.

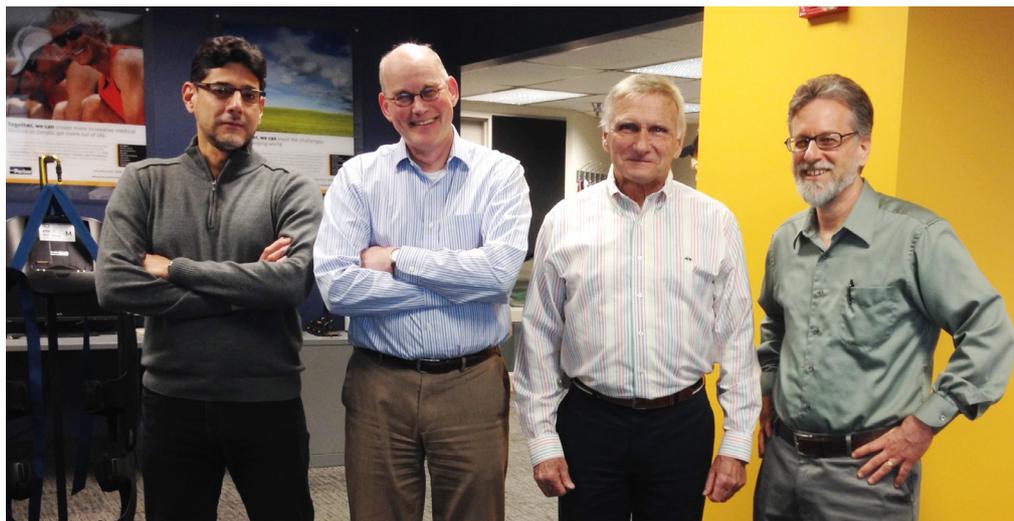
Rudergerät. Das Ziel war, umfassende Einblicke in den Übungsablauf zu erhalten. Dazu gehörte das Erfassen von spezifischen Daten der Maschine und des Trainierenden beim Rudern, die über den derzeitigen Stand der Forschungsliteratur hinausgehen. Maschinenspezifische Daten sind die Kraft am Zugseil und die Rotationsgeschwindigkeit der drehenden Komponenten im Gerätinneren, also des Kettenrads und des Schwungrads (Abbildung 4). Die spezifischen Daten des Trainierenden sind komplexer und lassen sich in drei Gruppen unterteilen: Bewegung, Muskelaktivierung und metabolische Daten. Experimente zur Datenerfassung wurden im Bewegungslabor von Prof. van den Bogert durchgeführt. Das Labor verfügt über ein Bewegungserfassungssystem mit 10 Kameraperspektiven (Motion Analysis Corp.) und Cortex-Software. Ein 16-kanaliges drahtloses EMG-System (Delsys) erfasst die Daten der Muskelaktivierung. Zu den Software-Werkzeugen für die Modellierung und die Simulation des Bewegungs-

apparats gehören OpenSim, Autolev, MATLAB, IPOPT, SNOPT, GPOPS und interner Code (MATLAB und C++). Sie ermöglichen die prädiktive Simulation durch direkte Umsetzung von Bewegungsdynamik und Optimierungskriterien. Die Daten aus diesen Experimen-

ten werden sowohl zum Aufbau und Absichern biomechanischer Modelle verwendet als auch zum Entwickeln von Geräten mit Motor. ■

Hanz Richter, Cleveland State University

Abbildung 5: Das Forscherteam (v. l. n. r.): Hanz Richter (außerordentlicher Professor, Maschinenbau), Antonie van den Bogert (Professor, Maschinenbau), Ken Sparks (Professor, Bewegungswissenschaft) und Dan Simon (Professor, Elektrotechnik und Informatik, assoziierter Vizepräsident universitärer Forschungsbereich).

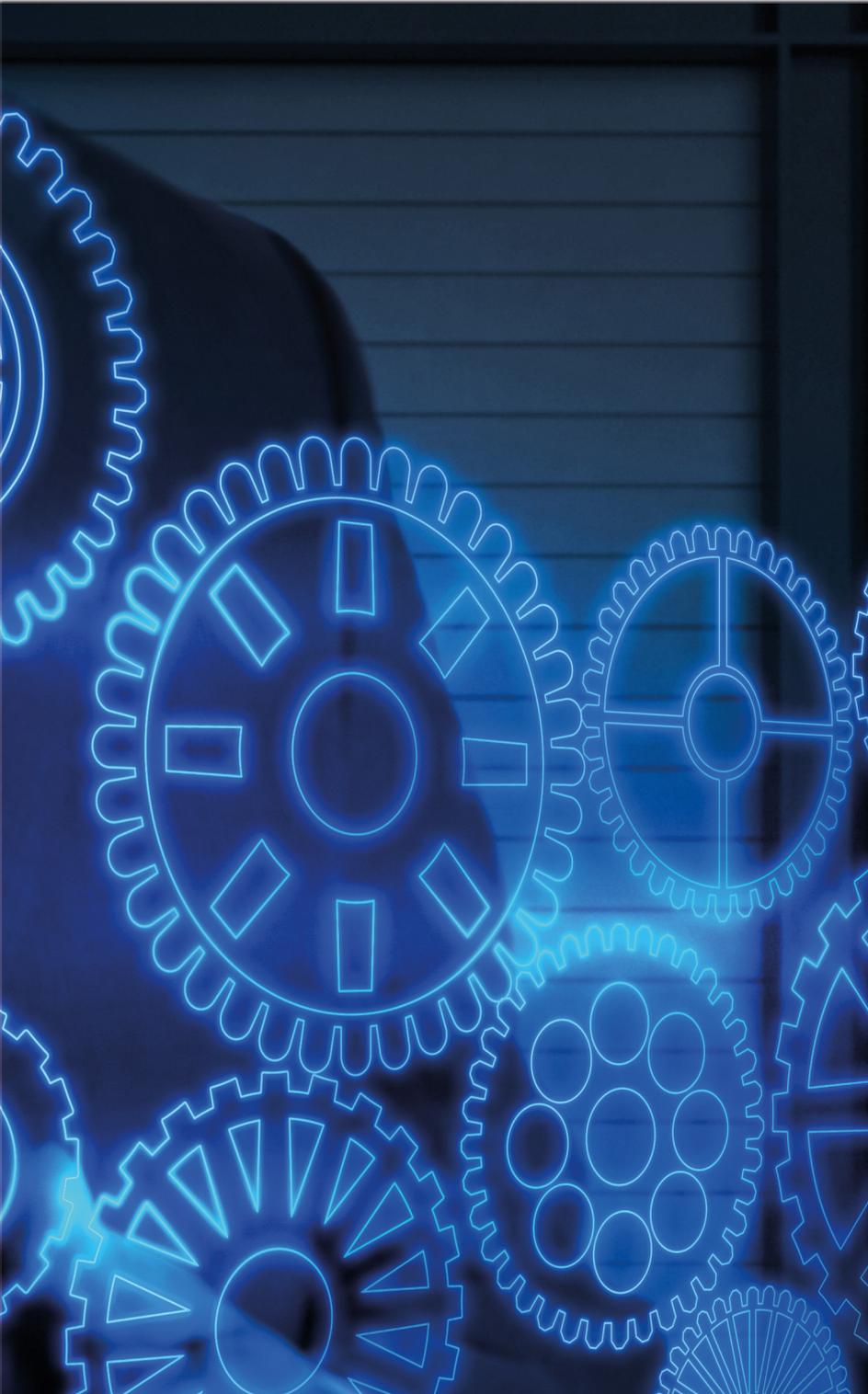




Effizienter Software-
Entwicklungsprozess für
Getriebe-Steuergeräte

Variante[n]vielfalt im Griff

Die Vielfalt von Varianten gehört zu den bedeutenden Herausforderungen, die bei der Entwicklung von Steuergeräte-Software effizient gemeistert werden müssen. Automobilzulieferer wie die ZF Friedrichshafen AG setzen daher auf Methoden, bei denen elementare Entwicklungsschritte werkzeuggestützt erfolgen. Ein solches Werkzeug ist der Seriencode-Generator TargetLink.



Der permanente Innovationsdrang in der Automobilindustrie erfordert ständig neue Funktionalitäten, die in immer kürzeren Entwicklungszyklen auf den Markt gebracht werden müssen. Die Versions- und Variantenvielfalt aktueller Fahrzeuggenerationen nimmt daher stetig zu. Dies macht auch vor der Getriebeentwicklung nicht halt, bei der die be-

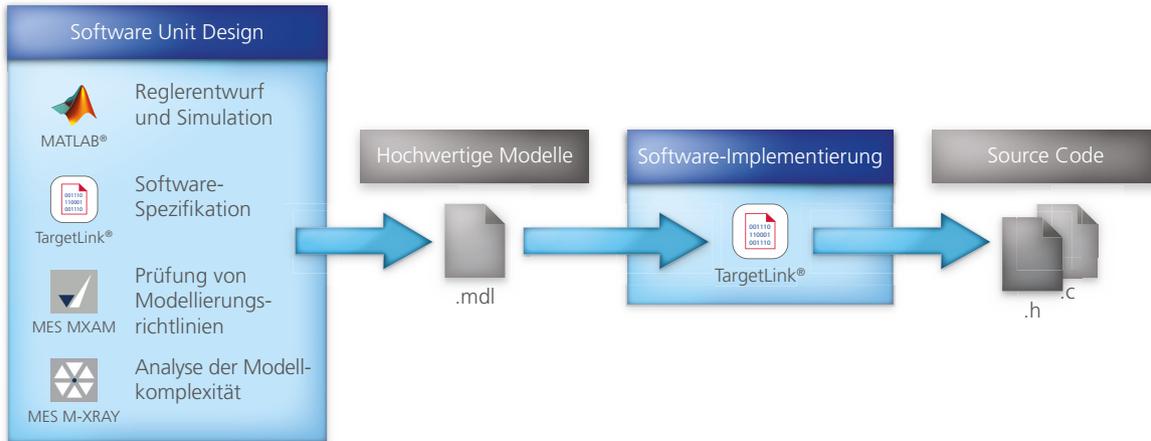
währte Wandlerautomatik mit immer höherer Gangzahl mittlerweile ein breites Angebotspektrum bis hin zum Hybridgetriebe abdeckt. Diese Versionsvielfalt und die neuen Getriebe-funktionen führen zu neuen Herausforderungen bei der Software-Entwicklung. Die vielfältig vernetzten, teilweise sicherheitsrelevanten Funktionen der Hybridsteuerung müssen

in bestehende Software-Umgebungen integriert und auf Steuergeräten mit begrenzten Ressourcen (Speicher, Rechenleistung) implementiert werden. Die Handhabung der Getriebevarianten sowie die geforderte Konformität mit der ISO 26262 und weiteren sicherheitsrelevanten Normen stellen elementare Ansprüche an die Entwicklungsmethodik und den Entwicklungsprozess. Hinzu kommt das Ziel, Lösungen für neue funktionale Anforderungen schnell und effizient in die Serienproduktion einfließen zu lassen. Dabei steht das Thema Qualität besonders im Fokus.

Entwicklungsmethodik und Entwicklungsprozess

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden und eine frühe Software-Verfügbarkeit zu ermöglichen, haben sich modellbasierte Entwicklungsmethoden in der Software-Entwicklung für eingebettete Systeme etabliert. Das gilt insbesondere für die Automobilindustrie. Hier hat die Methodik Einfluss auf den gesamten Entwicklungsprozess, beginnend bei der Anforderungsdefinition bis zum Software-Release. Um die Vorteile der modellbasierten Entwicklung voll ausschöpfen zu können, muss ein Gesamtkonzept etabliert werden, in dem alle Phasen des Prozesses der Methodik entsprechen. Es gibt drei Hauptziele, die mit dem Einsatz der modellbasierten Entwicklung erreicht werden: Steigerung der Qualität, kurze Entwicklungszeiten und umfassende Automatisierung. Auch sicherheitsrelevante Funktionen sollen modellbasiert programmiert werden. Das bringt hohe Anforderungen an Werkzeuge und Prozesse mit sich, unter anderem, weil zahlreiche strenge Normen erfüllt werden müssen und eine geringe Fehlerquote im Prozess notwendig ist. Mehr Effizienz wird durch Wiederverwendbarkeit, eine gemeinsame Werkzeugkette und sinnvolles Varianten-Management erreicht. Durch vermehrten Einsatz von Frontloading sollen Fehler früher erkannt und damit die Entwicklungszeit verkürzt werden.

>>



Werkzeugkette und Workflow für die modellbasierte Entwicklung.

Die Werkzeugkette

Die wichtigsten Werkzeuge bei der modellbasierten Software-Entwicklung sind zum einen die Plattform für die Modellierung und zum anderen der Seriercode-Generator. In fast allen Projekten von ZF wird MATLAB®/Simulink® von MathWorks® als Plattform für die Modellierung eingesetzt. Als Code-Generator kommt dabei dSPACE TargetLink® zum Einsatz. Die Modultests werden mit dem integrierten Simulationskonzept von TargetLink sowie dem Tool MTest der Model Engineering Solutions GmbH (MES) durchgeführt. Die Werkzeuge MXAM und MXRAY, ebenfalls von MES, werden für die

automatische Überprüfung von Modellierungsrichtlinien sowie die Analyse der Modellkomplexität genutzt und sichern eine hohe Modellqualität. Weitere Tools unterstützen die Prozesse bei der Modellanalyse und beim Testen sowie vor allem bei der Konfiguration und beim Varianten-Management. Die Werkzeugkette ist firmenweit im Einsatz, und von TargetLink generierter Seriercode wird seit der Einführung im Jahre 2008 in zahlreichen Produkten verwendet.

Entwicklung sicherheitsrelevanter Funktionen

Typischerweise werden nicht nur QM-Funktionen (Absicherung mit herkömm-

lichen Methoden) modellbasiert erstellt, sondern auch sicherheitsrelevante Funktionen. Ein großer Vorteil dabei ist, dass der eingesetzte Code-Generator TargetLink vom TÜV SÜD nach ISO 26262 zertifiziert wurde und damit für die Entwicklung sicherheitsrelevanter Systeme bis ASIL-D freigegeben ist. In der Praxis bedeutet das beispielsweise, dass bei der Entwicklung aufwendige Code-Reviews entfallen können. Darüber hinaus stellt dSPACE einen vom TÜV anerkannten Referenz-Workflow für die modellbasierte Software-Entwicklung sicherheitsrelevanter Systeme zur Verfügung, der beispielsweise von ZF in den eigenen Standardpro-

Verschiedene Methoden des Varianten-Handlings.



zess übernommen wurde. Um sowohl projektübergreifende als auch projektspezifische Vorgehensweisen zu etablieren, verwendet ZF eigene Modellierungsrichtlinien, die an gängige Normen angelehnt sind. Dadurch wird beispielsweise sichergestellt, dass schon bei der Modellierung die Methoden und Empfehlungen der ISO 26262 beachtet werden.

Verschiedene Möglichkeiten des Varianten-Handlings

Um möglichst viele Gleichteile über die Variantengrenzen hinweg nutzen zu können, werden verschiedene Arten des Varianten-Handlings genutzt. Die Möglichkeiten des Code-Generators TargetLink ähneln dabei denen der klassischen Programmierung. Bei der modellbasierten Entwicklung werden diese noch durch zusätzliche Methoden erweitert. Eine Möglichkeit des Varianten-Handlings sind Modellvarianten, für die selektiv Code generiert wird. Grundlage dafür ist ein Gesamtmodell, das sich aus mehreren Teilmodulen zusammensetzt. Dabei sind die meisten Module variantenübergreifend gleich, es gibt sie genau einmal. Einzelne Module sind jedoch variantenabhängig, hier gibt es für jede Variante ein eigenes Modul. Wird nun ein Gesamtmodell zusammengebaut, wird je nach ausgewählter Variante das dazugehörige Modul genutzt. Diese Art des Varianten-Handlings greift während des Aufbaus des Gesamtmodells. Ist das Gesamtmodell erst einmal zusammengebaut, ist ein Umschalten auf eine andere Variante nicht mehr möglich. Weitere Möglichkeiten des Varianten-Handlings sind der Einsatz von Funktionsvarianten- und Präprozessorschaltern. Bei Funktionsvariantenschaltern werden mit TargetLink variantenabhängig Code-Anteile generiert. Für die gewählte Variante nicht gültige Software-Teile werden gar nicht erst mitgeneriert. Präprozessorschalter funktionieren dahingegen so, wie man es von der klassischen Software-Entwicklung



SYNECT ist eine Datenmanagement- und Kollaborationssoftware mit Schwerpunkt auf der modellbasierten Entwicklung. Sie unterstützt bei der Verwaltung von Modellen, Signalen, Parametern sowie deren Abhängigkeiten, Versionen und Varianten in Verbindung mit den ihnen zugrunde liegenden Anforderungen.

kennt. In dem von TargetLink generierten Seriencode sind alle Varianten enthalten und die variantenabhängige Auswertung findet während des Kompilierens statt. Des Weiteren beherrscht TargetLink auch den Umgang mit Datenvarianten, die durch die Software-Applikation dynamisch gesteuert werden.

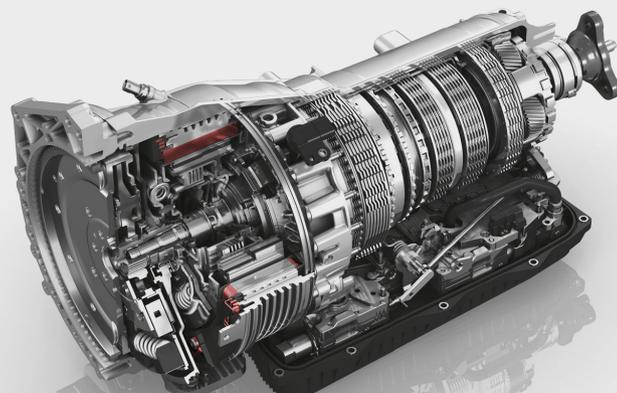
Ausblick: Einsatz von Feature Management

Um der weiter wachsenden Komplexität verschiedenster Kunden- und Funktionsvarianten noch besser zu begegnen, gibt es bei vielen Unternehmen Überlegungen, in Zukunft auch Feature-Management-Systeme einzusetzen. Aus diversen Feature-Modellen werden dann Sätze von

Parametereinstellungen generiert und im TargetLink-Modell oder -Code verwendet. Dabei ist eine mehrstufige Vorgehensweise erforderlich, die Feature-Modelle sowohl für das ganze Projekt als auch für einzelne Komponenten umfasst. Aufgrund der erwarteten Komplexität dieses Vorgehens und des Bedarfs an einer guten Nachverfolgbarkeit wird in vielen Entwicklungsabteilungen untersucht, dafür zukünftig Datenmanagementsysteme wie dSPACE SYNECT® mit einer Kopplung an das Anforderungsmanagement in die Werkzeugketten und Prozesse zu integrieren. ■

Mit freundlicher Genehmigung der ZF Friedrichshafen AG

Das 8-Gang Plug-in-Hybridgetriebe ist eine der Varianten der 8HP-Reihe von ZF, für die mit TargetLink Seriencode generiert wird.



Quelle: © ZF

Sicherheitskritische Anforderungen
permanent überwachen

	1	If the driver up switch is pressed, the window has to move
	2	If the driver down switch is pressed, the window has to m
	3	If window position and obstacle position are equal, an obs
	4	If an obstacle is detected, the window has to start moving
	5	The move up and the move down signal must not be at th
	6	A move up signal can only be generated if an up button is

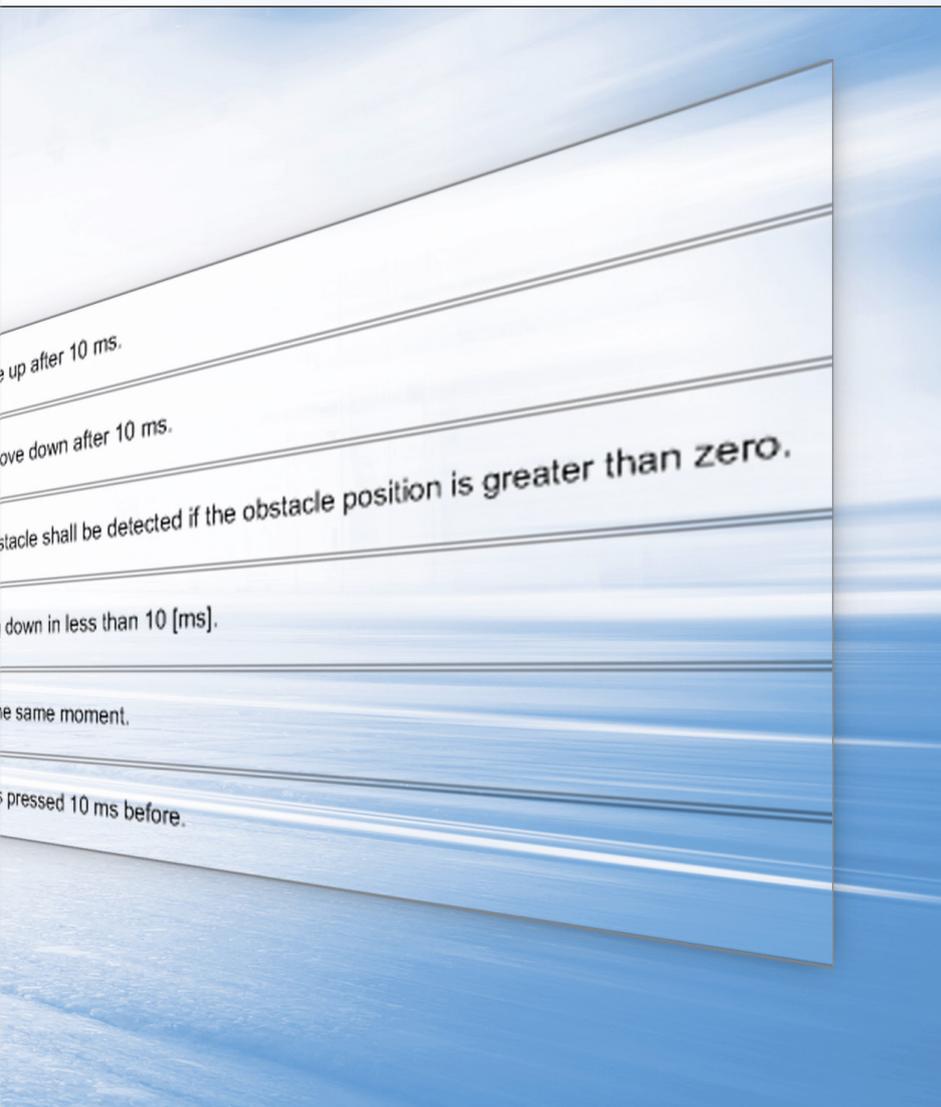
Fokussiert auf Sicherheit

Welchen Testaufwand muss man für die Absicherung sicherheitskritischer Systeme treiben? Und wie lassen sich Sicherheitsanforderungen und Aufwand in Einklang bringen? Eine neue Lösung von dSPACE und BTC zur simulationsbasierten formalen Verifikation sicherheitskritischer Steuergerätfunktionen bringt Aufwände und Machbarkeit näher zusammen. Dabei wird die erzielbare Testtiefe drastisch erhöht.

Das Streben nach Innovation, Nutzerkomfort und zusätzlicher Sicherheit bringt immer mehr elektronische sicherheitsrelevante Systeme hervor. Längst sind an verschiedenen Stellen mechanische Rückfallebenen aus Design- oder Kostengründen entfallen. Enorme Anforderungen an die Tests dieser elektronischen Systeme sind somit unausweichlich. So zum Beispiel bei X-by-Wire-Steuerungen und

autonomen Fahren, wo ein Systemversagen verheerende Auswirkungen haben könnte. Das Dilemma für die Testingenieure: Trotz der hohen Systemkomplexität und der fast endlos erscheinenden Liste an Anforderungen muss der Zeitaufwand für die Absicherung in vertretbaren Grenzen bleiben. Außerdem gilt es, eine Reihe wichtiger Vorgaben einzuhalten – so empfiehlt zum Beispiel die ISO-Norm 26262 („Road vehicles –

Functional safety“) eine formale Verifikation sicherheitskritischer Steuergerätfunktionen. Angesichts dieser Herausforderung haben dSPACE und BTC eine gemeinsame Lösung zur simulationsbasierten formalen Verifikation sicherheitskritischer Anforderungen entwickelt. Damit kann die Einhaltung sicherheitskritischer Anforderungen permanent in Echtzeit auf dSPACE Plattformen überwacht werden.



neue dSPACE Real-Time Testing (RTT) Observer Library mit dem Spezifikationswerkzeug BTC EmbeddedSpecifier®. Diese Werkzeugkombination ergänzt eine bestehende Model-in-the-Loop (MIL)-, Software-in-the-Loop (SIL)- oder Hardware-in-the-Loop (HIL)-Umgebung um echtzeitfähige „Requirement Observer“. Die Observer laufen während der Simulation permanent „nebenher“ mit und überwachen die Einhaltung sämtlicher sicherheitskritischer Anforderungen. Darüber hinaus lässt sich unmittelbar erkennen, welche Anforderungen durch die aufgeprägten Testfälle abgedeckt werden bzw. für welche Anforderungen noch keine Testfälle existieren. Die Gesamtgüte sowie der Fortschritt des Testprozesses kann dadurch sehr effizient beurteilt werden. Die simulationsbasierte, permanente formale Verifikation ist eine optimale Ergänzung zum klassischen anforderungsbasierten Testen, das weiterhin die Basis bildet. Die Kombination aus klassischen Tests und dem Einsatz von Observern erhöht die Testtiefe drastisch. Die Observer sind sozusagen ausführbare Prüfkriterien, die sich komfortabel auf verschiedenen dSPACE Plattformen verwenden lassen. Weil die Observer von den eigentlichen Simulationsmodellen entkoppelt sind, muss das bestehende Simulationsmodell für ihren Betrieb nicht verändert werden. Klassische bereits vorhandene Tests lassen sich ohne Änderungen um die nebenläufigen Observer ergänzen. >>

Tiefer testen

Will man für jede sicherheitskritische Funktion unter Berücksichtigung sämtlicher Anforderungen und Querbezüge alle notwendigen Testfälle durchspielen, so kann dies beim klassischen Testprozess zu ersten Aufwands- und Zeitproblemen führen. Denn wie viele Testfälle will man überhaupt definieren,

um wirklich alle Eventualitäten, Querbezüge und Nebenläufigkeiten zu erfassen? Und selbst wenn man in der Lage ist, eine solch lange Liste an Testfällen zu definieren, wie lange dauert es, sie abzuarbeiten und so die gewünschte Testtiefe zu erreichen? Die Lösung von dSPACE und BTC kombiniert auf innovative Weise die



„Die langjährige Erfahrung im Bereich Formalisierung von Anforderungen und Formale Verifikation bei BTC Embedded Systems wird nun mit den bewährten und leistungsfähigen Simulationsplattformen und Testsystemen von dSPACE kombiniert. Hieraus ergibt sich eine optimal abgestimmte und neuartige Werkzeugkette, welche die Qualität und Aussagekraft des Testens gerade im Hinblick auf sicherheitskritische Anwendungen auf eine neue Stufe hebt.“

Hans Jürgen Holberg, Vorstand BTC Embedded Systems AG

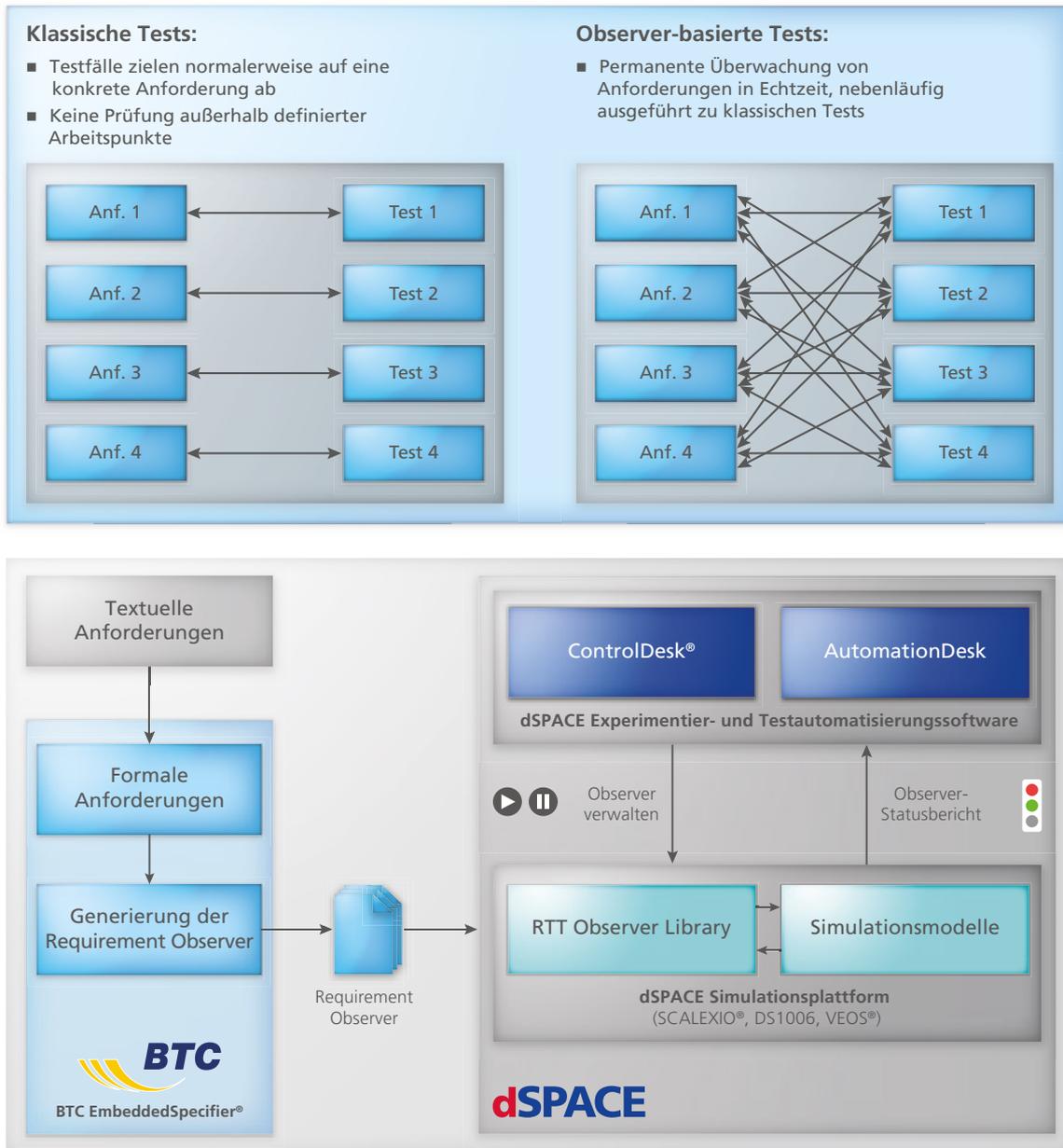


Abbildung 1 (oben): Observer-basierte Tests erhöhen die Testtiefe.

Abbildung 2 (unten): Die generierten echtzeitfähigen Observer fungieren als „ausführbare Prüfkriterien“, die komfortabel auf dSPACE Plattformen verwendet werden können.

Höhere Qualität

Zusätzlich erhöht sich auch die Qualität der Anforderungen dank des BTC EmbeddedSpecifier, aus dem die Observer generiert werden. Informelle Anforderungen werden im BTC EmbeddedSpecifier intuitiv und werk-

zeuggestützt in eine formale Repräsentation und schließlich in ausführbare Observer für die dSPACE Plattformen überführt. Durch ein geführtes, schrittweises Eliminieren von Mehrdeutigkeiten in zuvor rein sprachlich formulierten Anforderungen sowie eine

direkte Bezugnahme auf konkrete Modellvariablen wird der Anwender dabei unterstützt, seine Anforderungen so exakt wie möglich zu formulieren. Dies hilft auch dabei, den entsprechenden Sicherheitsnormen und -richtlinien gerecht zu werden.

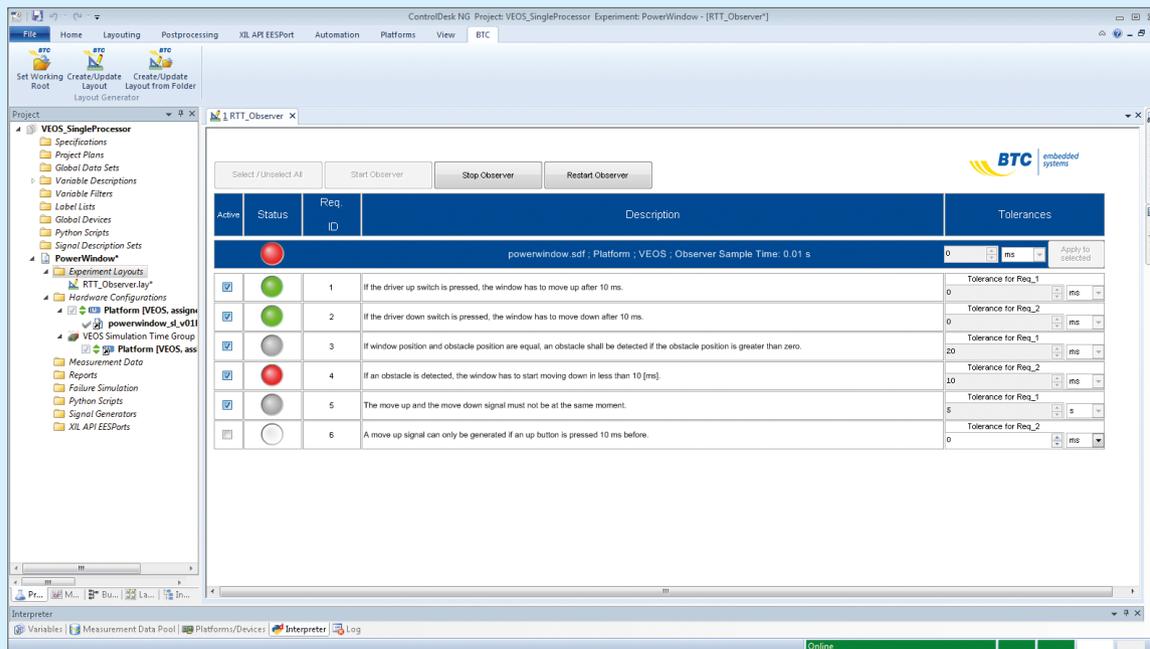


Abbildung 3: Die Observer können in ControlDesk gestartet, gestoppt oder zurückgesetzt werden. Sofort sind erfüllte (grün) und nicht erfüllte (rot) Anforderungen sichtbar. Noch nicht durchlaufene Observer (= Vorbedingung wurde noch nicht erreicht) sind grau.

Optimal integriert

Um Anwendern eine schnelle Nutzung der Requirement Observer zu ermöglichen, stehen vorbereitete Test-Templates für die Testautomatisierungssoftware AutomationDesk und Layouts für die Experimentier-Software ControlDesk® zur Verfügung. Zudem ist die Lösung auch in alternative Werkzeuge integrierbar. Zur komfortablen Bedienung kann für ControlDesk automatisch ein observer-spezifisches Layout generiert werden, das während der kompletten Ausführung den Erfüllungsstatus jeder Anforderung zeigt (Abbildung 3). Die Observer lassen sich über das ControlDesk-Layout sowohl einzeln als auch völlig unabhängig vom Simulationsmodell starten, stoppen oder zurücksetzen. AutomationDesk-Templates erlauben es außerdem, parallel zum definierten Testablauf in AutomationDesk die Anforderungen permanent mit den Observern zu prüfen. Im generierten Testbericht erscheinen dann nicht nur die Ergebnisse der einzelnen Test-

fälle, sondern auch die der Observer. Aus dem Zeitpunkt, zu dem ein Observer ausgelöst hat, lässt sich die Ursache des Auslösens und somit des Fehlverhaltens leicht ermitteln.

Plattformübergreifender Einsatz

Die erzeugten Requirement Observer können auf verschiedensten dSPACE Simulationsplattformen (SCALEXIO®, DS1006, VEOS®) eingesetzt werden und sind außerdem zwischen diesen Plattformen wiederverwendbar. Auf diese Weise lassen sich Observer, die in der Entwicklungsstufe SIL und MIL für die virtuelle Validierung auf dSPACE VEOS entstanden sind, auch direkt für HIL-Tests, zum Beispiel auf SCALEXIO-Plattformen, weiter nutzen, sofern sich diese Tests auf derselben Teststufe befinden. Außerdem können HIL-Tests mit Hilfe von „Test-the-Test“-Läufen in VEOS gezielt vorbereitet werden. ■

Fazit

Die Kombination aus der dSPACE Real-Time Testing (RTT) Observer Library und dem BTC EmbeddedSpecifier ergibt eine hochwertige Lösung, um die Testtiefe gerade bei sicherheitskritischen Anwendungsfällen massiv zu steigern, ohne die Testdauer zu erhöhen. Wichtig für die erzielbare Testtiefe ist es, den Erfüllungsstatus aller Anforderungen unabhängig vom konkret ausgeführten Testfall oder Simulationsszenario permanent zu überwachen. Das Risiko unentdeckter Fehler durch unbeabsichtigte Seiteneffekte lässt sich auf diese Weise minimieren. Durch die werkzeuggestützte Anforderungsformalisierung mit dem BTC EmbeddedSpecifier erhöht sich zudem die Qualität der Anforderungen. Die neue Lösung ist optimal in die dSPACE Werkzeugkette für HIL-Tests und virtuelle Absicherung integriert.

Beim Testen von Steuergeräten ist es unabdingbar, die Kommunikation realistisch zu simulieren. Der neue dSPACE Bus Manager ermöglicht eine zentrale, plattformübergreifende Konfiguration der dabei verwendeten Bussignale.

Bussysteme sind in der Welt der vernetzten Steuergeräte die Lebensader: Moderne Fahrzeuge sind mit bis zu 100 Steuergeräten ausgestattet, die über 10.000 Bussignale austauschen. Diese Kommunikation muss während des gesamten Steuergeräte-Entwicklungsprozesses simuliert und getestet werden, damit sie auch in kritischen Situationen zuverlässig funktioniert. Mit dem Bus Manager bietet dSPACE ein zentrales Implementierungswerkzeug für alle Busanwendungen – von der Funkt-

Absicherung bis zu umfangreichen Hardware-in-the-Loop (HIL)-Tests.

Bussimulation für alle

Egal ob virtuelle Steuergeräte, reale Steuergeräte-Prototypen oder im Rahmen der Restbussimulation simulierte Steuergeräte zum Einsatz kommen: Der Bus Manager kann in allen Fällen für die Konfiguration der Buskommunikation und die Übertragung an das Testsystem eingesetzt werden. Er unterstützt die verschiedenen Validierungsszenarien bei der PC-basierten Simulation mit VEOS® und der

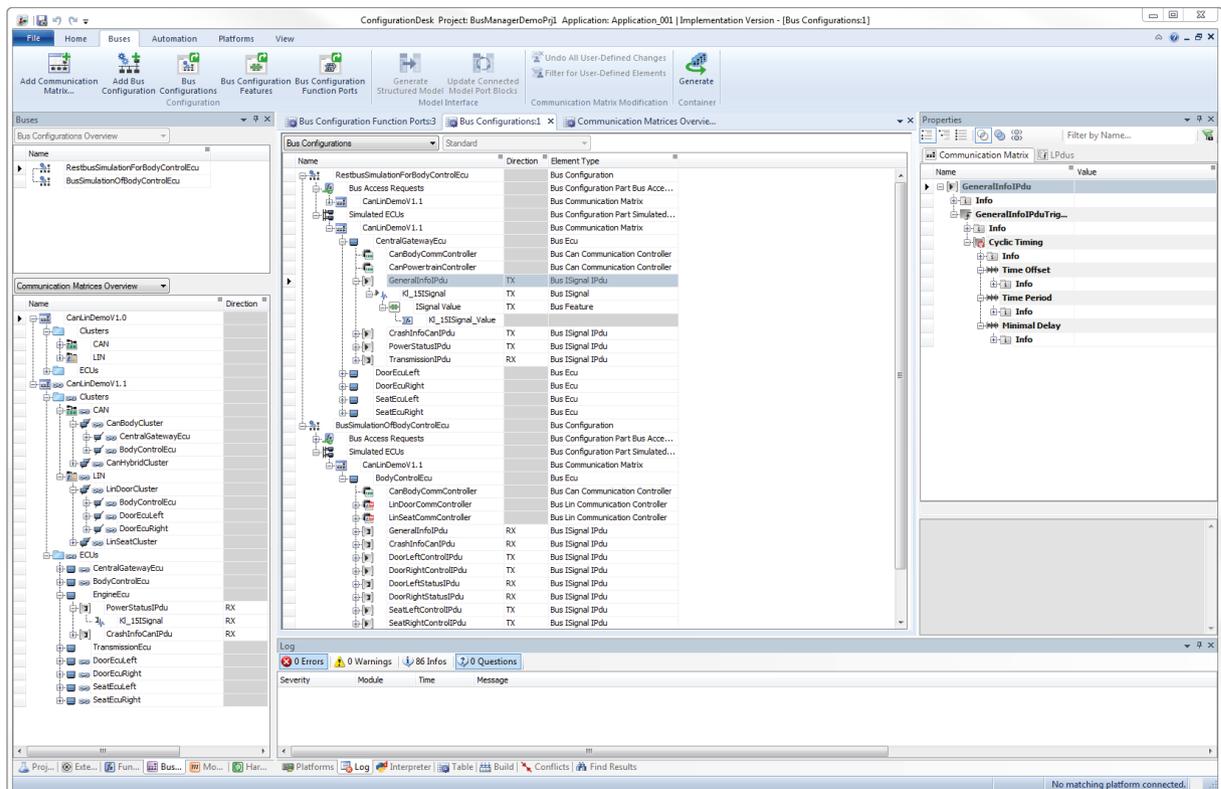
HIL-Simulation mit SCALEXIO® durchgängig über den gesamten Entwicklungsprozess hinweg. Somit wird immer die jeweils optimale Simulationsart angewandt.

Eine zentrale Konfigurationssoftware

Der Bus Manager bietet verschiedene Zugangsmöglichkeiten, um die zu simulierenden Anteile auszuwählen. So lassen sich alle Signale, die für die Bussimulation notwendig sind, wahlweise nach dem Netzwerkverbund gruppiert darstellen oder nach dem

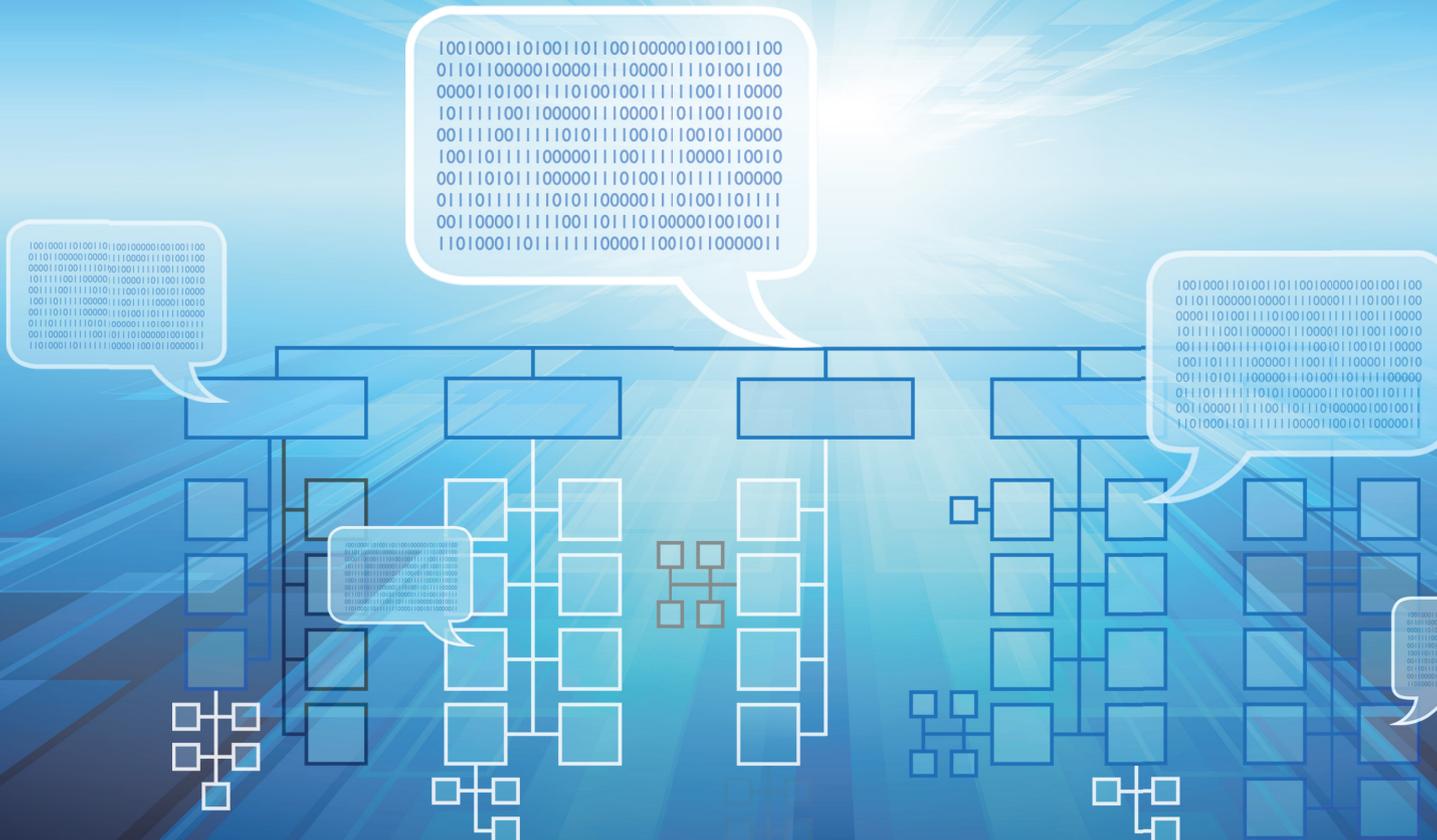
>>>

Abbildung 1: Der Bus Manager ermöglicht eine komfortable grafische Konfiguration für die LIN-, CAN- und CAN-FD-Bussimulation.



Bussysteme und Netzwerke
zentral konfigurieren

Kommunikation ist alles



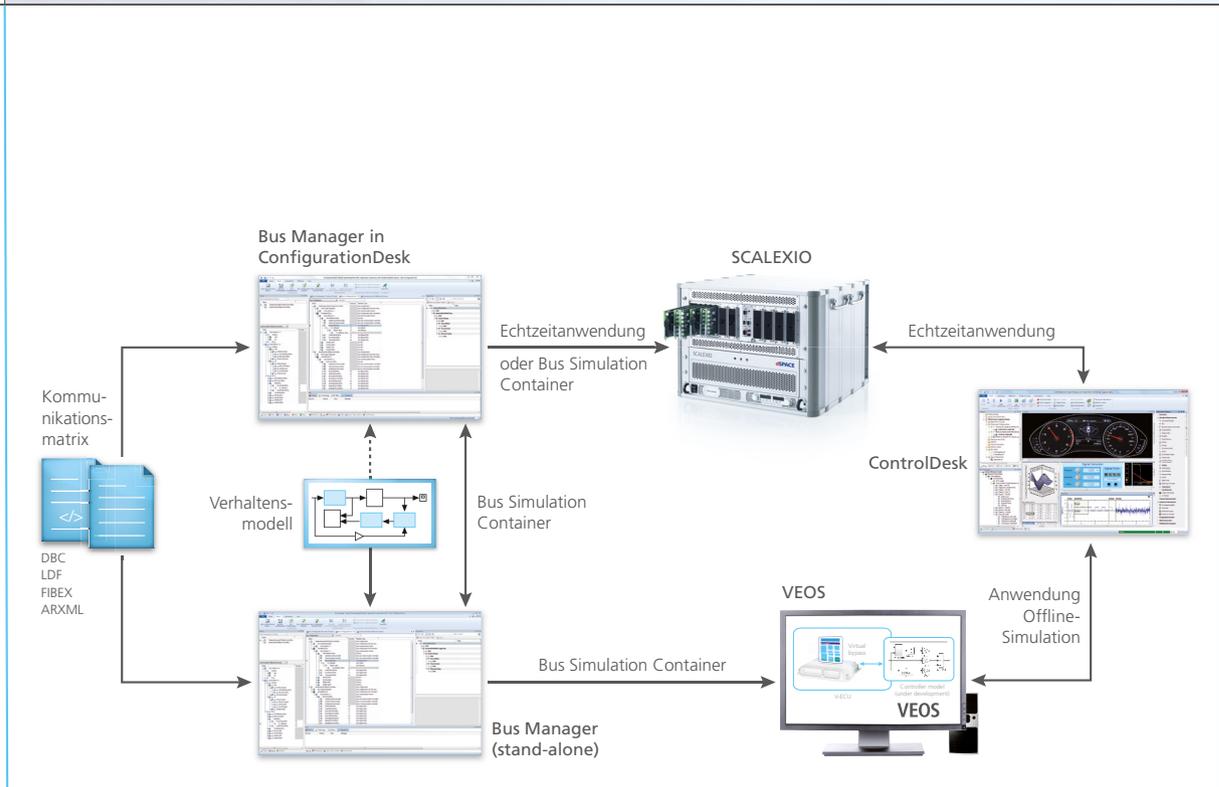


Abbildung 2: Die vom Bus Manager erzeugten Konfigurationsdateien lassen sich unabhängig von der Simulationsplattform wiederverwenden und austauschen.

dazugehörigen Steuergerät. Damit sind Konfigurationen mit mehreren, auch unterschiedlichen Bussen sehr effizient zu handhaben. Der Bus Manager ermöglicht es, diese Konfigurationen auf verschiedenen Simulationssystemen wiederzuverwenden. In der aktuellen Version unterstützt der Bus Manager die Protokolle CAN, CAN FD und LIN. Weitere Protokolle wie FlexRay und Ethernet werden mit späteren Versionen unterstützt. Da über alle Entwicklungsphasen hinweg und für alle Protokolle die notwendigen Einstellungen und Konfigurationen komplett in einem Werkzeug vorgenommen werden, ist für verschiedene Testphasen keine erneute Einarbeitung notwendig und mögliche Fehlerquellen werden reduziert.

Konfiguration mit dem Bus Manager

Ausgangspunkt einer jeden Konfi-

guration ist die entsprechende Kommunikationsmatrix, aus der alle relevanten Informationen automatisch extrahiert werden. Der Bus Manager unterstützt alle gängigen Formate für die Kommunikation wie DBC, LDF, FIBEX und ARXML. Der Anwender übernimmt die notwendigen Elemente aus einer oder mehreren Kommunikationsmatrizen und erstellt daraus seine Kommunikationskonfiguration. Dabei kann er im Bus Manager unterschiedliche Ansichten einstellen, um für verschiedenste Aufgaben den bestmöglichen Überblick zu erhalten, beispielsweise über alle vorhandenen Konfigurationen oder Schnittstellen zum Modell. Die fertige Konfiguration kann in Form eines Bus Simulation Containers (BSC) exportiert und an die Zielplattform übertragen werden. Durch die Verwendung des BSC-Formats vereinfacht sich die Wiederverwendung einmal erstellter Buskonfigura-

tionen in späteren Simulationsszenarien, so dass im gesamten Entwicklungsprozess durchgängig die gleiche Konfiguration zur Verfügung steht. Bereits vorhandene Simulationsmodelle können zusätzlich zu Simulink-Modellen ebenfalls in den BSC integriert werden. Eine statische Restbussimulation ist mit dem Bus Manager auch ohne Simulink-Modelle möglich, so dass der Anwender einfache Tests direkt durchführen kann.

Für die Simulation mit VEOS kann der Anwender den Bus Manager entweder als Stand-alone-Version oder als Teil von ConfigurationDesk verwenden. Bei der HIL-Simulation mit dSPACE SCALEXIO ist der Bus Manager immer ein Teil der Implementierungssoftware ConfigurationDesk. Der Anwender benötigt damit nur eine Software, um alle Bus- und Netzwerkprotokolle an einer zentralen Stelle zu konfigurieren.

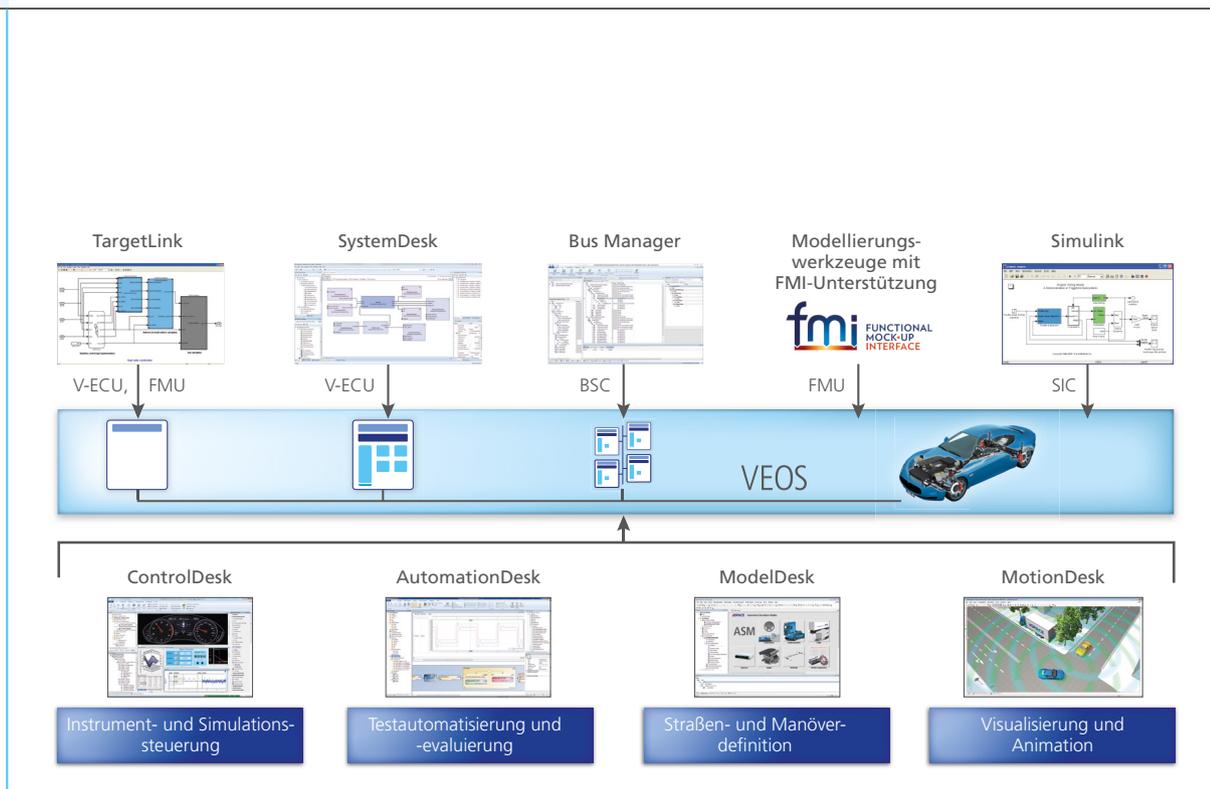


Abbildung 3: Zusammen mit der Buskommunikation ermöglicht VEOS eine realistische Simulation für erste Funktionstests am PC.

Durchgängig von der virtuellen Absicherung ...

Durch die Busunterstützung erweitern sich auch die Testmöglichkeiten für die PC-basierte Simulation mit VEOS um wichtige Bausteine. Nun kann auch die Kommunikation außerhalb virtueller Steuergeräte simuliert, überprüft und dargestellt werden. Mit VEOS können verschiedene Modellteile aus unterschiedlichen Quellen importiert und miteinander verschaltet werden (Abbildung 3). Buskonfigurationen, die für VEOS erstellt werden, lassen sich später in der HIL-Simulation wiederverwenden, so dass die Durchgängigkeit im gesamten Entwicklungsprozess gewährleistet ist.

Gleichzeitig profitieren Funktionstester mit VEOS von bereits vorhandenen Testkonfigurationen der HIL-Simulation, die sie ihrerseits als Ausgangspunkt nutzen können.

... bis zur HIL-Simulation

Für die HIL-Simulation liegt der große Vorteil des Bus Managers und der BSCs in der Austauschbarkeit mit anderen Varianten. Denn der BSC enthält sowohl die Buskonfigu-

ration als auch Modellanteile, unter anderem für das Mapping der Bus-signale auf die Modellsignale. Die Schnittstellen zum Streckenmodell bleiben beim Austausch unberührt. So können bei Änderungen im Projekt die Busanteile einfach ausgetauscht werden. Auch die Wiederverwendung zwischen verschiedenen Projekten wird hierdurch erleichtert.

Während der Simulation – egal ob mit VEOS oder SCALEXIO – können, falls notwendig, verschiedene Parameter oder Eigenschaften der simulierten Elemente verändert werden. Beispielsweise lassen sich Signalwerte während der Simulationslaufzeit in der Experimentier-Software ControlDesk anzeigen, analysieren und verändern. Falls die Simulation Signale erfordert, deren Werte sich während der Laufzeit dynamisch ändern, können Verhaltensmodelle genutzt werden, unter anderem aus MATLAB®/Simulink®. ■

Bus Simulation Container (BSC)

Ein Bus Simulation Container (BSC) ist ein Datenformat für den Austausch von Buskonfigurationen. Es beinhaltet neben den Daten für die Buskonfiguration ein Mapping- oder Skalierungsmodell in Form eines Simulink Implementation Containers (SIC). Ein SIC fasst alle für die Buskommunikation benötigten Funktionen aus MATLAB®/Simulink® zusammen. Darüber hinaus sind Daten für das Experimentierwerkzeug ControlDesk enthalten. Durch die standardisierten Schnittstellen erleichtert der BSC den Austausch der Buskonfiguration zwischen verschiedenen Anwendungsgebieten und Projekten und vereinfacht somit die Wiederverwendung der komplexen Busanteile.



Ziel- genau

On-Target Prototyping mit TargetLink fusioniert die Funktions- und Serienentwicklung

Mit der dSPACE On-Target-Prototyping-Lösung können neue Funktionen unmittelbar und ohne aufwendige Software-Integration in bestehenden Steuergeräte-Code integriert und ausprobiert werden. Durch den Seriene-Code-Generator dSPACE TargetLink ist diese Prototyping-Lösung äußerst schonend für die Steuergeräteressourcen und ermöglicht den nahtlosen Übergang zur Serie.

Wenn lediglich die Funktionalität eines bereits existierenden Seriensteuergeräts erweitert werden soll, bietet es sich an, die Funktionsentwicklung direkt auf diesem durchzuführen. Sind noch ausreichend freie Ressourcen verfügbar und reicht die vorhandene I/O aus, können so Kosten und Auf-

wand für die Integration und Nutzung zusätzlicher Prototyping-Hardware eingespart werden. Nutzt man zudem bei der Funktionsentwicklung bereits den Seriene-Code-Generator, der auch für den finalen Steuergeräte-Code vorgesehen ist, liefert das On-Target Prototyping hier mit dem erzeugten Speicher- und laufzeiteffizienten Code

automatisch den Nachweis, dass die Ressourcengrenzen des Steuergeräts eingehalten werden. Dadurch wird das Projektrisiko minimiert. Ferner ergibt sich durch den Einsatz eines Seriene-Code-Generators auch ein nahtloser Übergang zur eigentlichen Serienentwicklung, und zwar inklusive des Komforts und der schnellen Iterationen, die



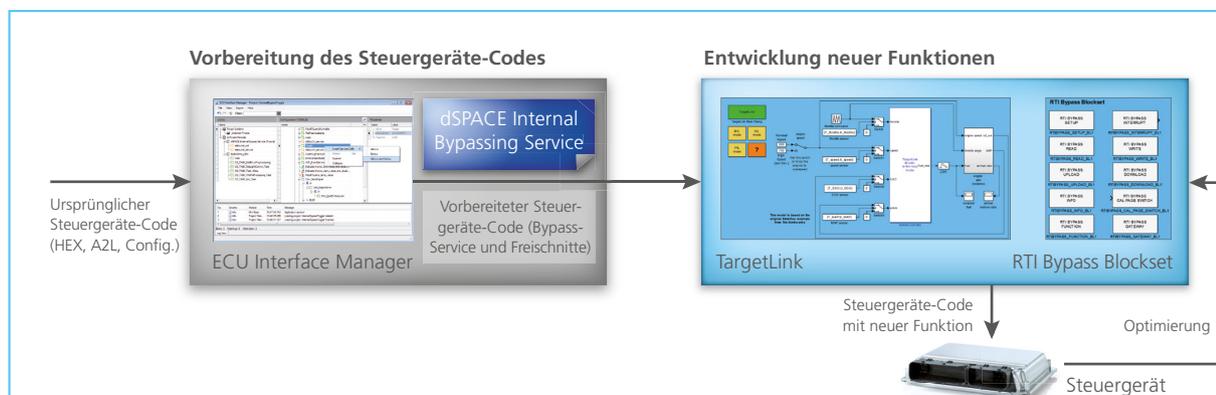
Die dSPACE On-Target-Prototyping-Werkzeugkette

Die dSPACE On-Target-Prototyping-Lösung besteht im Kern aus dem ECU Interface Manager, dem dSPACE Internal Bypassing Service, dem RTI Bypass Blockset und TargetLink (Abbildung 1). Mit dem ECU Interface Manager konfiguriert der Entwickler einmalig die benötigten Bypass-Schnittstellen zur Integration der neuen Funktionen in den Steuergeräte-Code. Mit Simulink/TargetLink werden die neuen Funktionen modelliert. Deren Anbindung an die vorhandene Steuergeräte-Software erfolgt dann mit dem RTI Bypass Blockset. Dieses Blockset verbindet die Ein- und Ausgänge der Funktionsmodelle mit den zuvor im existierenden Binärcode vorbereiteten Schnittstellen. Daraufhin führt der Anwender die Seriene-Generierung mit TargetLink und die Erstellung des Binärcodes für das Steuergerät durch. Das Ergebnis ist eine Revision des Steuergeräte-Codes, der die neu entwickelten Funktionen enthält und in den Flash-Speicher des Steuergeräts übertragen wird. All dies kann der Anwender komplett eigenständig vornehmen, da er weder Zugriff auf den Quellcode der Steuergeräte-Software noch eine eigene Build-Umgebung benötigt. >>

man vom Prototyping erwartet. Die dSPACE On-Target-Prototyping-Lösung mit dem Seriene-Generator TargetLink® erlaubt nicht nur die Entwicklung neuer Funktionen auf Basis von Simu-

link®/TargetLink-Modellen, sondern integriert diese für das Prototyping mit minimalem Aufwand als optimierten Code unmittelbar in bereits bestehenden Steuergeräte-Code.

Abbildung 1: In den mit dem ECU Interface Manager vorbereiteten Steuergeräte-Code fügt TargetLink mit Hilfe des RTI Bypass Blocksets neue Steuergerätefunktionen ein.



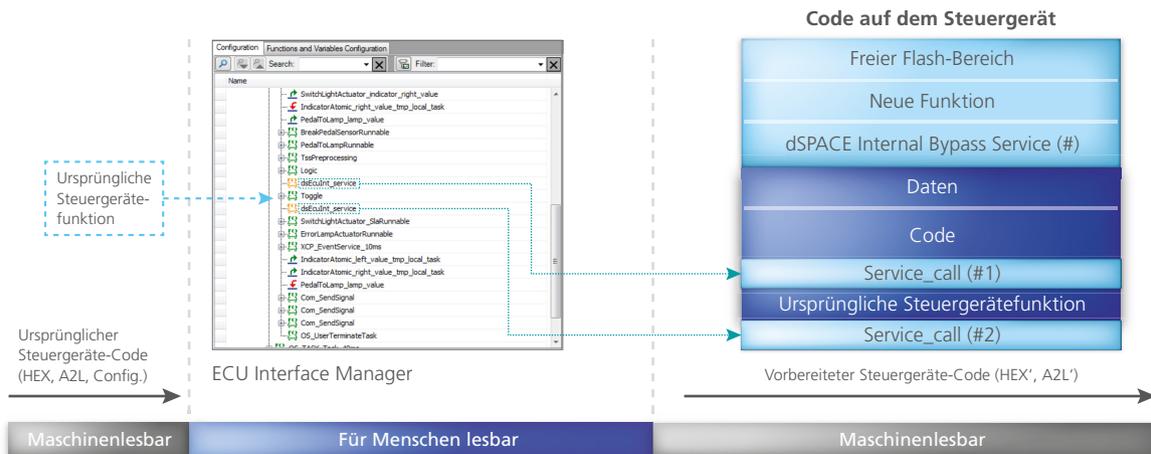


Abbildung 2: Zur Vorbereitung des Steuergeräte-Codes analysiert der ECU Interface Manager die binäre Steuergeräte-Software und stellt sie in strukturierter Form samt Funktionsnamen dar. Auf dieser Basis werden der Bypass-Service sowie die Service-Aufrufe für neue Funktionen eingefügt.

Bypass-Services schnell und einfach integriert

Wesentlicher Bestandteil der On-Target-Prototyping-Werkzeugkette ist der ECU Interface Manager, mit dem die Bypass-Services und die Schnittstellen für die neuen Funktionen im Handumdrehen in einen als Binärdatei vorliegenden Steuergeräte-Code integriert werden können. Hierzu ist weder Zugriff auf den Quellcode noch die Build-Umgebung des Steuergeräts notwendig. Lediglich einige Konfigurationsinformationen wie freie Speicherbe-

reiche müssen einmalig vom Steuergeräte-Zulieferer bereitgestellt werden. Weitere Iterationen mit dem Zulieferer sind dann nicht mehr erforderlich, was neben Kosten auch Zeit im Projekt

Neue Funktionen schnell und ressourcenoptimiert auf dem Steuergerät entwickeln

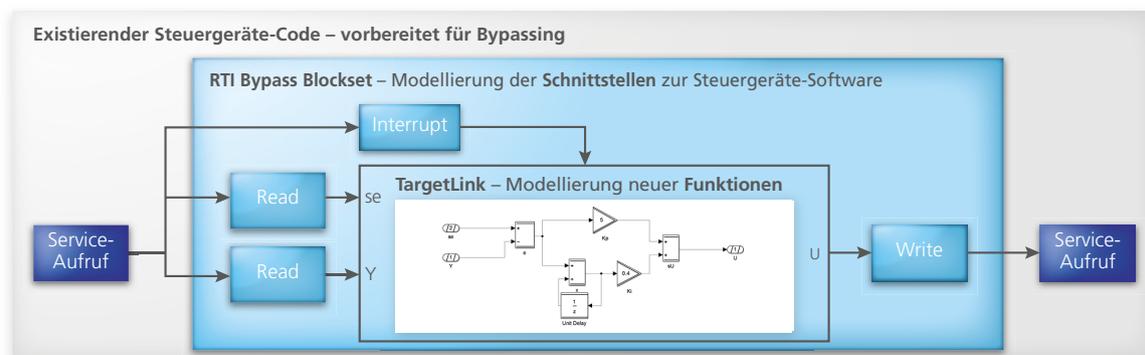
spart. Der ECU Interface Manager nutzt hingegen ein binäres Abbild der Steuergeräte-Software, um auf direktem Weg einerseits den dSPACE Bypass Service im Steuergerät zu integrieren und andererseits die existierende Software so zu instrumentieren,

dass an allen gewünschten Stellen die neuen TargetLink-Funktionen integriert werden können. Für die unterstützten Prozessorfamilien Infineon TriCore™, Renesas V850™ und NXP MPC 5xxx

analysiert der ECU Interface Manager den Programmablauf des bestehenden Codes und stellt

dem Anwender die Software-Struktur mit Funktionsnamen in einer übersichtlichen Benutzeroberfläche zur Konfiguration bereit (Abbildung 2). Dort lässt sich direkt im binären Abbild konfigurieren, welche Schnittstellen für das On-Target Prototyping zur Verfü-

Abbildung 3: TargetLink und RTI Bypass Blockset zur Entwicklung neuer Funktionen.



gung stehen. Falls Funktionen vollständig ersetzt werden sollen, ist es zudem möglich, diese komplett aus dem Steuergeräte-Code zu löschen und den Speicher wiederzuverwenden. Zum Abschluss generiert der ECU Interface Manager ein neues Steuergeräteabbild, das dann den Bypass-Service und die gewünschten Service-Aufrufe für die Einbindung der neu zu entwickelnden Funktion enthält.

Effiziente Nutzung der Steuergeräteressourcen

Nachdem das neue Steuergeräteabbild mit dem ECU Interface Manager vorbereitet wurde, werden nun die neuen Funktionen mit Simulink/TargetLink und dem RTI Bypass Blockset entwickelt. Als Seriencode-Generator erzeugt TargetLink optimierten Steuergeräte-Code und hilft so dabei, die beschränkten Ressourcen optimal zu nutzen. Außerdem ermöglicht die TargetLink-Nutzung einen nahtlosen Übergang zur Serie. Zur Modellierung von neuen Funktionen unterstützt die Werkzeugkette zwei unterschiedliche Szenarien:

1. Entwicklung auf Basis eines TargetLink-Modells: In diesem Fall stehen dem Entwickler alle TargetLink-Funktionen direkt zur Verfügung, und er hat bereits bei der Funktionsentwicklung die Möglichkeit, alle Spezifikationen im Modell vorzunehmen,

die für den finalen Steuergeräte-Code wünschenswert sind.

2. Entwicklung auf Basis eines Simulink-Modells: TargetLink erzeugt aus dem Modell Seriencode und kombiniert so bei maximalem Komfort die Code-Effizienz von TargetLink mit einer zuverlässigen Aussage über die genutzten Ressourcen.

In beiden Fällen stellt das universell einsetzbare RTI Bypass Blockset die Verbindung zwischen modellierter Funktion und dem Code des Steuergeräts her (Abbildung 3). Das Blockset bietet flexible Möglichkeiten, die modellierte Funktion in den Ablauf der bestehenden Software zu integrieren. Es ermöglicht den Zugriff auf Variablen der existierenden Software sowie den Aufruf von Simulink-Subsystemen synchron zur Abarbeitung der Original-Steuergeräteapplikation. Sobald der Entwickler die Verbindung zur Steuergeräte-Software konfiguriert hat, startet er per Knopfdruck den automatischen Build-Prozess für die neue Funktion. Der Build-Prozess integriert die Funktion automatisch in das Steuergeräteabbild und nutzt dabei selbst fragmentierte Speicherbereiche, um die vorhandenen Ressourcen optimal auszuschöpfen. Optional startet er den Flash-Vorgang und überträgt so das neu erstellte Steuergeräteabbild direkt auf das Steuergerät, ohne dass manuelle Schritte notwendig sind.

Der Zugriff auf die Mess- und Kalibrierparameter erfolgt dann wie gewohnt über die bereits vorhandenen Steuergeräteschnittstellen. ■

Vorteile und zukünftige Innovationen

Die Kombination aus ECU Interface Manager, RTI Bypass Blockset und TargetLink verbindet die schnellen Iterationen des Rapid Control Prototypings mit den hohen Ansprüchen an die Effizienz und Konfigurierbarkeit von Seriencode. Das ermöglicht die komfortable Nutzung eines bereits existierenden Seriensteuergeräts als Prototyping-Hardware. So bleibt der Ressourcenbedarf ständig unter Kontrolle und es ergibt sich ein nahtloser Übergang zur Serienentwicklung durch Weiternutzung der Funktionsmodelle mit TargetLink. Die binärcodebasierte Integration von Freischnitten für das Bypassing mit dem ECU Interface Manager erspart aufwendige Integrationschleifen mit dem Steuergeräte-zulieferer, so dass das Prototyping sofort starten kann. In zukünftigen dSPACE Releases wird „Virtuelles Bypassing mit TargetLink und dSPACE VEOS auf dem Host-PC“ als neues Feature die Produktivität weiter erhöhen.

Tabelle 1: Die Werkzeugkette für seriennahes On-Target Prototyping.

dSPACE Werkzeug	Aufgabe
ECU Interface Manager	Intuitives Werkzeug für die schnelle Integration von Freischnitten für das Bypassing direkt in existierenden Steuergeräte-Code
dSPACE Internal Bypassing Service	Steuergeräte-Service für die Erweiterung existierenden Steuergeräte-Codes um Freischnitte für das Bypassing
TargetLink®	Software-System für die automatische Seriencode-Generierung (C-Code) direkt aus der grafischen Entwicklungsumgebung MATLAB®/Simulink®/Stateflow® heraus
RTI Bypass Blockset	Simulink®-Blockset zur einfachen Anbindung neuer Funktionen an existierenden Steuergeräte-Code
Target-spezifischer Compiler (Drittanbieterprodukt: HighTec-Compiler)	Überführung von C-Code in Objektcode für die Prozessorfamilien Infineon TriCore™, Renesas V850™ sowie NXP MPC5xxx



LOW Emissions dank Hy-Nets

Mit Car2x-Kommunikation zu effizienteren Hybridantrieben

Die Car2x-Kommunikation ist schon heute ein großes Thema, vor allem im Hinblick auf die Unfallvermeidung. Untereinander und mit der Infrastruktur „kooperierende“ Autos könnten zukünftig aber auch antriebsseitig für deutliche Verbesserungen sorgen.

Kann man die aufkommende Digitalisierung der Mobilität nutzen, um nicht nur die Sicherheit zukünftiger Autos zu verbessern, sondern auch um ihren Verbrauch und die Emissionen zu optimieren? Diese zentrale Frage stellen sich dSPACE, DENSO, die RWTH Aachen University und die Univer-

sität Paderborn im Projekt „Hy-Nets: Effiziente Hybridantriebe durch Fahrzeugkommunikation“. Im Herbst 2015 nahm das Projekt erfolgreich am Wettbewerb „MobilitätLogistik.NRW“ teil und wird daraufhin für 30 Monate aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Die Stadt Pader-

born und das Ingenieurbüro Geiger & Hamburgier (IGH) unterstützen das Projekt als assoziierte Partner.

Ganzheitliche Betrachtung digitalisierter Mobilität im Effizienzkontext
Ziel von „Hy-Nets“ ist es, mehrere bislang unabhängig voneinander betrachtete Themenfelder der Fahrzeugtechnik



„Mit Hy-Nets können erstmals sowohl direkte Auswirkungen zukünftiger vernetzter Verkehrsszenarien auf einen realen Hybridantrieb gemessen als auch die Interaktion mit der Umwelt hinsichtlich Energieverbrauch und Verkehrsfluss umfassend bewertet werden.“

Ulrich Schwarz, Senior Manager EVIHV, DENSO

zu bündeln und damit ganz neue Effizienzpotenziale für zukünftige Hybridfahrzeuge zu erschließen. Anders als bei der bisherigen Regelung von Hybridantrieben, die primär auf fahrzeuginternen Informationen basiert, bezieht Hy-Nets dabei erstmals auch die sogenannte Car2x-Kommunikation zwischen einzelnen Fahrzeugen und/oder der Verkehrsinfrastruktur in die Betrachtung ein. Erst durch die ganzheitliche Berücksichtigung aller dieser Ebenen rücken völlig neuartige Ansätze zur Effizienzsteigerung in den Fokus der Forscher. Dazu zählen zum Beispiel ein vorausschauendes Energiemanagement, neue autonome Fahrfunktionen und insbesondere die „Zusammenarbeit“ untereinander kommunizierender Fahrzeuge in kooperativen Verkehrsszenarien.

Vernetzung realer Antriebstechnik mit simulierten Verkehrsszenarien

Um das Zusammenspiel realer Hard-

ware und Software des hybriden Antriebsstrangs mit solchen komplexen Verkehrsszenarien akkurat untersuchen zu können, wird im Rahmen von Hy-Nets ein fortschrittlicher Hybridantrieb (DENSO) als Prototyp aufgebaut und in einem der modernsten Prüffelder Europas (RWTH Aachen University) installiert. Dort ist er mit einem leistungsstarken Simulator gekoppelt, auf dem die Verkehrsumgebung des Hybridfahrzeugs (dSPACE), der allgemeine Verkehrsfluss und die gesamte Fahrzeug- und Infrastrukturkommunikation (Universität Paderborn) hochpräzise nachgestellt werden. So ist es möglich, den realen Hybridantrieb in komplexen simulierten Fahrszenarien zu bewegen, die auf realen Verkehrsdaten (Stadt Paderborn) und Lichtsignalsteuerungen (IGH) beruhen. Von den auf dem Prüfstand gewonnenen Erkenntnissen erhoffen sich die am Hy-Nets-Projekt beteiligten Forscher unter anderem eine bedarfs-



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

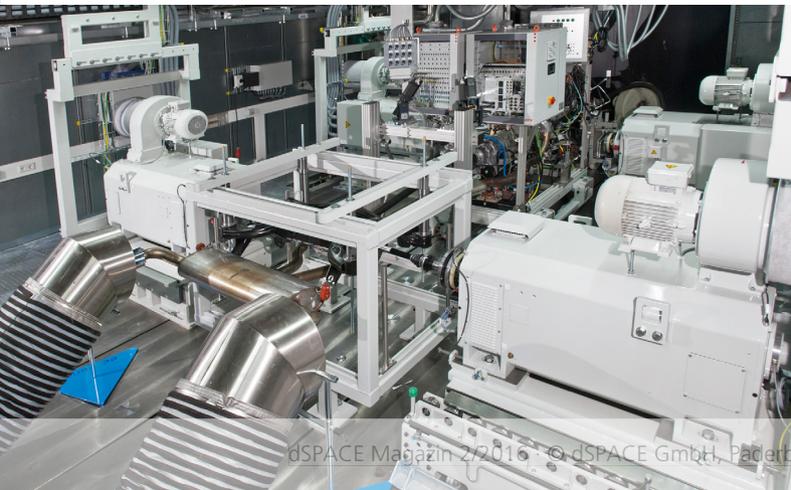


EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum
und Beschäftigung

gerechtere Auslegung zukünftiger Hybridantriebe. Damit könnte die Digitalisierung der Mobilität auch im ökologischen Kontext ganz neue und vielversprechende Möglichkeiten eröffnen. ■

Mit freundlicher Genehmigung des Hy-Nets-Projektkonsortiums

Prüffeld in Aachen: Im Hy-Nets-Projekt wird auf der weitläufigen Testanlage ein echter Hybridantrieb mit einem Hardware-in-the-Loop-Simulator gekoppelt. Letzterer simuliert die Verkehrsumgebung des Fahrzeugs, den allgemeinen Verkehrsfluss und die gesamte Fahrzeug- und Infrastrukturkommunikation. Damit werden virtuelle Verkehrsszenarien geschaffen, in denen die Hybridkomponenten ausführlich getestet werden können. Diese Arbeit entsteht zu Teilen am „Center for Mobile Propulsion“, das durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird.



Steuergeräte-Zugriff mit SCALEXIO in Echtzeit

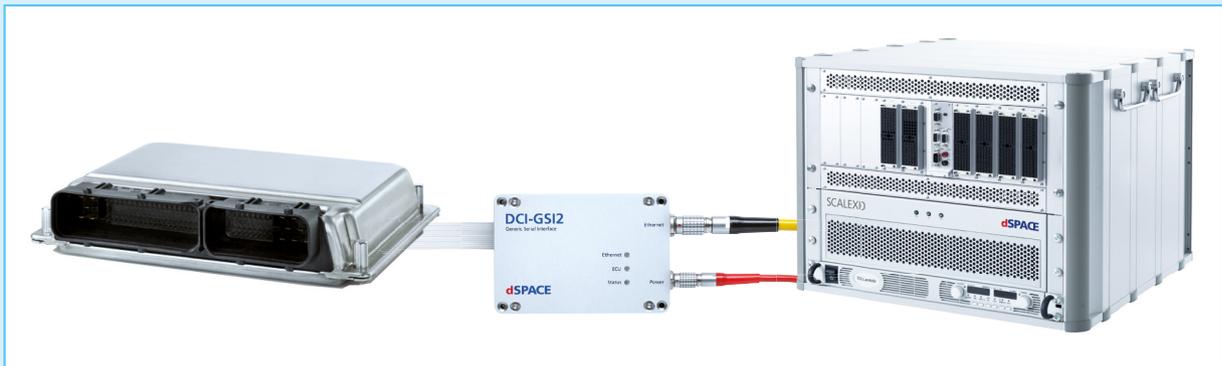
Um während des Hardware-in-the-Loop (HIL)-Tests interne Steuergeräte-Variablen synchron messen und verstellen zu können, ist ein direkter Echtzeitzugriff des HIL-Simulators auf das zu testende Steuergerät erforderlich. Mit dem dSPACE HIL-Simulator SCALEXIO® ist dies entweder über die generische serielle Schnittstelle dSPACE DCI-GS12 oder über die Nutzung einer bereits am Steuergerät vorhandenen XCP-on-Ethernet-Schnittstelle möglich.

Um auf die Variablen im Steuergeräte-Code zuzugreifen, sind Bypass Service Calls als Zugriffspunkte im Steuer-

geräte-Code erforderlich. Diese lassen sich sowohl manuell auf Basis des Steuergeräte-Quellcodes als auch automatisch auf Basis des Binär-codes einfügen. Für Letzteres bietet dSPACE mit dem ECU Interface Manager ein leistungsfähiges und intuitives Werkzeug, das es dem Testingenieur ermöglicht, die notwendigen Anpassungen für den Steuergeräte-Zugriff bedarfsgetrieben jederzeit selbst durchzuführen.

Mit Hilfe dieser Eingriffsmöglichkeit kann der Anwender komfortabel aus der Echtzeitanwendung auf das zu testende Steuergerät zugreifen.

So lassen sich beispielsweise die Werte von unzugänglich im Steuergerät verbauten Sensoren, wie Temperatur-, Druck- oder Beschleunigungssensoren, direkt im Steuergerät simulieren, ohne dass eine aufwendige reale Stimulation notwendig ist. Zudem kann auf interne Zustände der Steuergeräte-Software während des Tests reagiert und so der Testverlauf gezielt und unmittelbar beeinflusst werden. Darüber hinaus lassen sich isolierte Tests von Teilfunktionen einer Steuergeräte-Software auf der Steuergeräte-Hardware durchführen (Whitebox Testing). ■



Durchgängige CAN-FD-Unterstützung

Das Kommunikationsprotokoll CAN FD, das seit 2014 von dSPACE unterstützt wird, ist nun vollständig in der dSPACE Software- und Hardware-Werkzeugkette integriert: Rapid-Control-Prototyping-Systeme wie die MicroAutoBox II kommunizieren bei der ersten Funktionsvalidierung im Labor oder im Fahrzeug über CAN FD genauso wie SCALEXIO® bei Hardware-in-the-Loop-Tests. Neben

der schon seit 2015 vorhandenen per Software-konfigurierbaren Unterstützung von ISO CAN FD und Non-ISO CAN FD stehen nun auch Wake-up- und Sleep-Funktionen sowie der Teilnetzbetrieb zur Verfügung. Um die CAN-FD-Kommunikation zu konfigurieren, kommt je nach Anwendung entweder der Bus Manager oder die Implementierungssoftware Real-Time Interface (RTI) zum Einsatz. Die

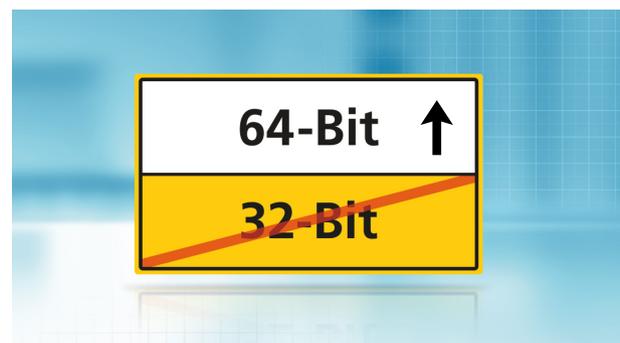


Experimentier-Software ControlDesk® ermöglicht die Überwachung und Beeinflussung der Echtzeitkommunikation. ■

dSPACE Software nur noch als 64-Bit-Version

Ab dSPACE Release 2016-B erscheinen alle dSPACE Software-Produkte für Windows nur noch als 64-Bit-Versionen. Der mit dSPACE Release 2015-B begonnene schrittweise Übergang zur 64-Bit-Technologie ist damit abgeschlossen. Weil die 64-Bit-Technologie mehr Speicher adressieren kann, ist es nun möglich, erheblich komplexere Modelle zu entwerfen und zu über-

setzen, umfangreichere Experimente durchzuführen und auch eine deutlich größere Menge von Messdaten zu verwalten. In einigen Einsatzszenarien steigt ebenfalls die Ausführungsgeschwindigkeit. Durch die Umstellung der dSPACE Software auf die 64-Bit-Technologie muss der Hauptspeicher der verwendeten PCs mindestens 8 GB groß sein. ■

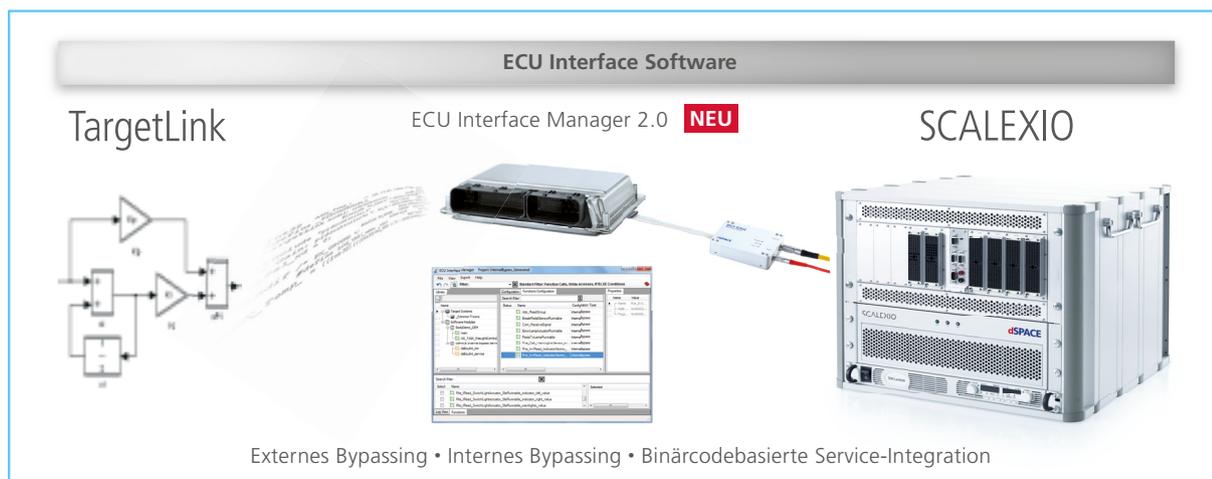


ECU Interface Software: Neue Funktionen, vereinfachte Paketierung

Mit dem für November 2016 geplanten dSPACE Release 2016-B (Änderungen vorbehalten) erhält die dSPACE ECU Interface Software, zu der auch der ECU Interface Manager gehört, neben funktionalen Erweiterungen auch eine vereinfachte, anwendungsorientiertere Paketierung. Eine maßgebliche Neuerung des ECU Interface Managers 2.0 ist die Unterstützung von SCALEXIO® und ConfigurationDesk®.

Während des Steuergerätestests können jetzt in Echtzeit durch den Zugriff auf interne Steuergerätegrößen HIL-Testabläufe beeinflusst und unzugängliche Sensoren simuliert werden (Seite 60). Eine weitere Neuerung ist die Unterstützung von TargetLink® für das On-Target Prototyping (internes Bypassing) auf Seriensteuergeräten (Seite 54). Zusätzlich zur automatischen Integration von Bypass-Services auf Binär-

code-Basis lässt sich TargetLink-Code nun direkt im Kontext existierender Steuergeräte-Software implementieren und validieren. Der Einsatz von TargetLink sorgt so für eine bessere Durchgängigkeit zur Serie und eine effizientere Nutzung der begrenzten Steuergeräte-Ressourcen. Zudem lässt sich der erforderliche Ressourcenbedarf für die Serie frühzeitig ermitteln. ■



TargetLink 4.2: On-Target Prototyping, Automotive Ethernet und vieles mehr

Die neue Version 4.2 (dSPACE Release 2016-B) des dSPACE Seriene-Code-Generators TargetLink® unterstützt erstmalig die dSPACE On-Target-Prototyping-Werkzeugkette (Seite 54). Damit können Entwickler bereits beim seriennahen Prototyping vom hoch-effizienten TargetLink-Code profitieren sowie Projektrisiken durch Ressourcen-Profilung und durch den nahtlosen Übergang zur Serie minimieren. Eine weitere wichtige Neuerung besteht in der Fähigkeit, Aufzählungstypen und Variablen (C-Enums) zu generieren, was die gute Lesbarkeit des Codes weiter erhöht und die

Integration von Legacy-Code noch einfacher gestaltet. Im Bereich der AUTOSAR-konformen Entwicklung unterstützt TargetLink jetzt die AUTOSAR-Version 4.2.2 und erhöht die Performance bei Multicore-Systemen durch asynchrone Client-Server-Kommunikation. Neben weiteren AUTOSAR-Verbesserungen wie nicht-skalaren Interrunnable-Variablen bietet TargetLink 4.2 insbesondere eine vollständige Unterstützung für Automotive Ethernet. Die Modellierungsmöglichkeiten in Simulink®/Stateflow® wurden durch Stateflow-Superstep-Semantik, Akti-



vitätssignale für Zustände und einen vereinfachten Umgang mit Bussen weiter ausgebaut. Darüber hinaus bietet auch diese TargetLink-Version wieder substantielle Verbesserungen der MISRA-C:2004-/MISRA-C:2012-Konformität des generierten Codes. Zeitnah zum Release von TargetLink 4.2 wird auch eine neue Version des SYNECT Add-on for TargetLink veröffentlicht, das den Einsatz von TargetLink in großen, verteilten Entwicklergruppen massiv vereinfacht und stark automatisiert. ■

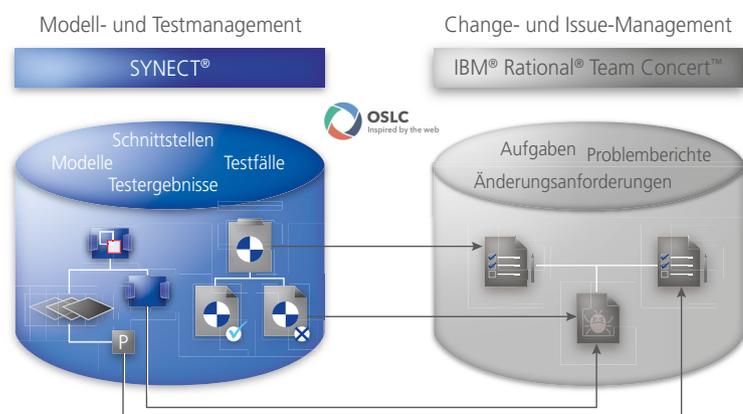
SYNECT – Nahtloser Datenaustausch über OSLC

Die dSPACE Datenmanagement-Software SYNECT® unterstützt den offenen Standard „Open Services for Lifecycle Collaboration“ (OSLC). Auf Basis von OSLC kann SYNECT direkt mit anderen Datenverwaltungssystemen, die ebenfalls den Standard unterstützen, kommunizieren und interagieren. Es lassen sich Daten über Werkzeuggrenzen hinweg sichten, bearbeiten und verknüpfen. Hiervon profitieren zum Beispiel TargetLink®-Anwender bei der Entwicklung und dem Test ihrer Modelle. Aus dem SYNECT-Testmanagement-Projekt heraus kann ein „Defect“ (Problembericht) für einen fehlgeschlagenen Testfall schnell und einfach in OSLC-fähigen Change- und Issue-Management-Systemen wie IBM® Rational® Team Concert™ angelegt werden. Eine sich

daraus ergebende Änderungsanforderung lässt sich wiederum mit den in SYNECT zentral verwalteten Modellen, Schnittstellen und Parametern

verknüpfen. So haben Anwender jederzeit die Möglichkeit, den Änderungsbedarf einzusehen, nachzuverfolgen und entsprechend umzusetzen. ■

Verknüpfen von Daten aus unterschiedlichen Datenmanagement-Systemen sowie Schaffung von Nachverfolgbarkeit und Sichtbarkeit über Werkzeuggrenzen hinweg.



dSPACE an Bord

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

Gekonnt ausweichen

Ein neuer Ausweichassistent von ZF soll dazu beitragen, Auffahrunfälle von Lkw zukünftig besser zu verhindern. Mit einem Versuchsfahrzeug demonstrierte das Unternehmen kürzlich Vertretern der deutschen Presse, wie zuverlässig das Fahrerassistenzsystem arbeitet. Der prototypische Regler wurde unter anderem mit einer dSPACE MicroAutoBox realisiert.



Bildnachweis: © ZF

Fahrdynamisch sicheres Ausweichen ist die Devise des neuen Ausweichassistenten EMA (Evasive Maneuver Assist) von ZF.
www.dspace.com/goldMag_20162_ZF



Bildnachweis: © BILD

Für den prototypisch implementierten Regler im Lkw nutzt ZF eine MicroAutoBox.

Adaptive Steuerung für Bestückungsmaschinen

Um die Positioniergenauigkeit von Platinenbestückungsmaschinen mit Surface Mount-Technik (SMT) zu optimieren, setzen chinesische Forscher auf eine adaptive Steuerung mit integriertem Störgrößenbeobachter. Ihre Lösung demonstrierten sie mit einem Versuchsaufbau, basierend auf dem universellen dSPACE DS1104 R&D Controller Board und dSPACE ControlDesk.



Bei der SMT-Bestückung sind höchst präzise Positionierungsfähigkeiten gefordert.
www.dspace.com/goldMag_20162_SMT



Die Berechnung der adaptiven Algorithmen erfolgt auf dem DS1104 R&D Controller Board von dSPACE.

Fahrschule für autonome Fahrzeuge

Studenten der Stanford University entwickeln für ihr autonomes Fahrzeug leistungsfähige Algorithmen zur Unfallvermeidung. Eine im Fahrzeug installierte dSPACE MicroAutoBox hilft ihnen dabei, intelligente Fahrfunktionen zu realisieren, mit denen das Fahrzeug zum Beispiel plötzlich auftauchenden Hindernissen ausweichen kann.



Bildnachweis: © Stanford University

Hindernisse erkennen und darauf reagieren – das bringen Studenten der Stanford University ihrem autonomen Fahrzeug bei.
www.dspace.com/goldMag_20162_Stanford

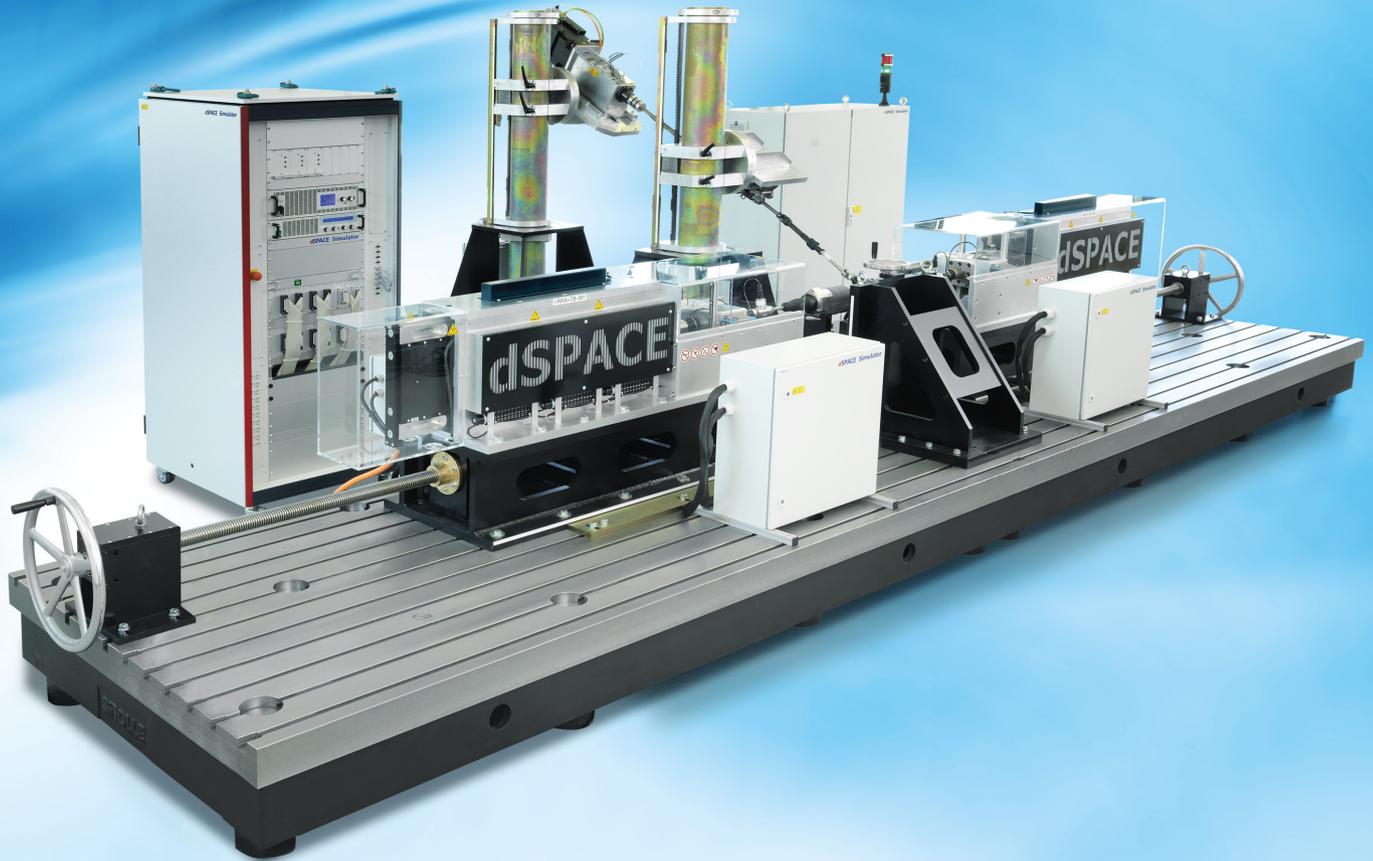


Bildnachweis: © Stanford University

Elektronische Komponenten für die autonomen Steuerungsfunktionen. Die MicroAutoBox spielt hier eine zentrale Rolle.



Erfahren Sie mehr über diese Anwendungen mit Videos, Fotos und Berichten im Internet:
www.dspace.com/goldMag_20162_REF_D



dSPACE Prüfstände – hochdynamisch und maximal flexibel

Egal ob Sie elektrische Lenksysteme, Bremssysteme oder Steuergeräte mit integrierten Sensoren entwickeln – dSPACE bietet für jeden Anwendungsfall eine individuelle Prüfstandlösung. Testen Sie Ihr System unter extremen Bedingungen mit Kräften und Drehmomenten aus Messdaten oder aus einer Echtzeitfahrtdynamiksimulation. Profitieren Sie dabei von unserem umfassenden Know-how: Entwurf, Planung, Installation und Support aus einer Hand. Die skalierbaren Systeme reichen von kleinen Rotationsprüfständen für den Büroeinsatz bis hin zu großen Prüfständen zum Testen ganzer Lenksysteme.

Maximale Flexibilität und schlüsselfertige Lösungen – von dSPACE.



Embedded Success **dSPACE**