



BUSBASIERTES ARCHITEKTURKONZEPT FÜR HARDWARE-IN-THE-LOOP-PRÜFSTÄNDE

HiL-Prüfstände müssen gemäß dem Trend steigender Komplexität in der Automobilentwicklung immer entsprechend weiterentwickelt werden. Eine von Audis Antworten auf diese Herausforderungen ist die Entwicklung einer neuen innovativen busbasierten HiL-Architektur für zukünftige modular aufgebaute Prüfstände. Durch den datenorientierten Ansatz reduziert sich die Gesamtkomplexität auf die Definition eines einheitlichen Datenmodells. Eine einfache und schnelle Integration verschiedenster Soft- und Hardware-Lösungen unterschiedlicher Hersteller lässt sich somit effizient umsetzen. Real-Time Innovations liefert dafür mit Connex DDS die Basistechnologie.

AUTOREN



CONSTANTIN BRÜCKNER

arbeitet in der Abteilung Hardware-in-the-Loop-Funktionserprobung bei der Audi AG in Ingolstadt.



BETTINA SWYNNERTON

ist Testingenieurin EMEA bei der Real-Time Innovations Inc. in Sunnyvale (USA).

HERAUSFORDERUNG UND ANSATZ

Steuergeräte werden heute immer mehr mit Bussystemen, wie CAN, LIN und Flexray, so miteinander vernetzt, dass komplexe Fahrzeugfunktionen auf mehreren Steuergeräten verteilt realisiert werden können. Beides führt zu geringerem Verkabelungsaufwand und einem sinkenden Bedarf an dedizierten Steuergeräten. Diese Veränderungen in der Funktionsentwicklung wirken sich signifikant auf die Funktionsabsicherung aus. Das spiegelt sich zum Beispiel auch in der Weiterentwicklung maßgebender Standards, wie zum Beispiel der ISO-26262-Spezifikation [1], die sich aus dem IEC-61850-Standard [2] heraus entwickelt hat, wider. Hier liegt der Fokus vorwiegend auf der

Gewährleistung der funktionalen Sicherheit. Dies wiederum wirkt sich auf die für die Absicherung heute standardmäßig verwendeten Hardware-in-the-Loop-Prüfstände aus.

Eine von Audis Antworten auf diese Herausforderungen ist die Entwicklung einer neuen innovativen busbasierten HiL-Architektur für zukünftige modular aufgebaute Prüfstände. Dieser Ansatz führt das Konzept eines HiL-Bus, analog zur Einführung von Bussystemen im Fahrzeug, ein. Er ermöglicht die flexible und dynamische Kombination von Hardware- und Software-Lösungen verschiedener HiL-Hersteller nach dem Best-in-Class-Prinzip. Weiterhin erlaubt der Ansatz, analog zum Fahrzeug, eine funktionsorientierte Ausrichtung der HiL-Test-Umgebung.



Warnblinkanlage aktiviert, die Seitenfenster sowie das Schiebedach geschlossen. Das „Audi pre sense“-System überwacht den Verkehr und unterstützt bei drohender Kollision durch optische und akustische Warnungen. Bleibt der Fahrer passiv, bremsst das System das Fahrzeug stufenweise automatisch, bis hin zur Vollbremsung, ab.

- : Dedizierte Steuergeräte für Radio, Navigation und (Rear-Seat-) Entertainment verschmelzen zu einem Steuergeräte, der sogenannten Main Unit.
- : Steuergeräte für Außenlicht, Innenlicht und Karosserieelektronik werden zu einem Steuergerät, dem „Body-Control-Modul“. Dieses wird mit anderen Steuergeräten und Sensoren, wie zum Beispiel der Frontkamera vernetzt, um Funktionen wie „Audi-Matrix-LED-Scheinwerfer“ und Verkehrszeichen-erkennung zu realisieren.

Dieser Trend stellt völlig neue Herausforderungen für alle Bereiche der Fahrzeugentwicklung dar und beeinflusst maßgeblich auch die HiL-basierte Erprobung und Absicherung. Um die aktuellen und hochkomplexen Steuergeräte und Funktionen vollumfänglich testen zu können, bedarf es einer skalierbaren sowie flexibel anpassbaren Testumgebung, die es erlaubt, einfach und effizient verschiedenste HiL-Module zu einem Gesamtprüfstand zu kombinieren.

HIL-BUS FÜR DIE PRÜFSTÄNDE DER ZUKUNFT

Eine effiziente Funktionsabsicherung auf Basis heutiger konventioneller monolithischer Einzel-Hardware-in-the-Loop-Prüfstände (Komponenten-HiLs) ist für die erwähnten hoch komplexen und vernetzten Fahrzeugfunktionen nicht mehr ausreichend. Die Funktionen müssen im Verbund mit allen zugehörigen Partner-Steuergeräten und der entsprechenden Fahrzeugbus-Vernetzung getestet werden.

Hierfür müssen entsprechende Anpassungen in Entwicklung und Verwendung der HiL-Prüftechnik vorgenommen werden, um auch zukünftig eine wirtschaftliche Absicherung mit höchster Testqualität sicherstellen zu können.

Hierzu ist eine Modularisierung der HiL-Prüfstände aus Einzelkomponenten verschiedener Hersteller nach dem Best-in-Class-Prinzip und deren Vernet-

zung zu einem modularen HiL-Prüfstand – analog zu Plattform [3] beziehungsweise Modulstrategien [4] beim Gesamtfahrzeug – notwendig. Einzelne HiL-Teilsysteme unterschiedlicher Hersteller müssen dafür effizient und sicher zu einem Prüfstand kombinierbar sein, ❶, da HiL-Hersteller mit ihren Soft- und Hardware-Lösungen unter Umständen nur Teile der für die Abdeckung der Testanforderungen notwendigen HiL-Funktionsumfänge bedienen.

Mit der Einführung des sogenannten HiL-Bus ist es möglich, aus den Hard- und Software-Lösungen verschiedener Hersteller passende Produkte auszuwählen und in einem Prüfstand intelligent zu kombinieren.

Für die Umsetzung des HiL-Bus untersucht Audi im Rahmen seiner Vorentwicklung neben aktuellen Ethernet-basierten Middleware-Lösungen und HiL-Systemen auch modellbasierte und computerunterstützte Entwicklungswerkzeuge, die den komplexer und aufwendiger werdenden Planungs- und Konzeptionierungsprozess der HiL-Prüfstände unterstützen.

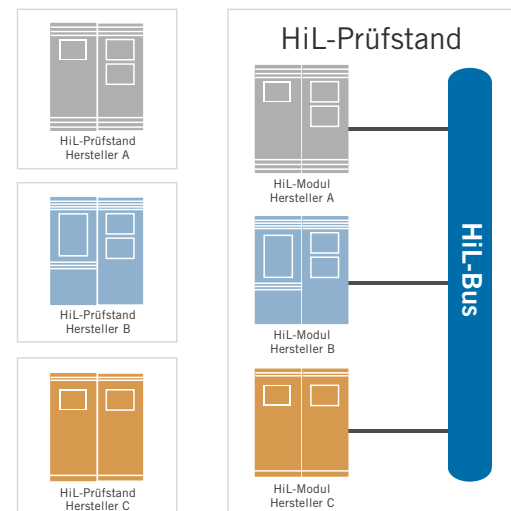
Weitere Trends und Anforderungen an den HiL-Bus beziehungsweise die nächste Generation von HiL-Prüfständen sind unter anderem:

- : Zuwachs an zu simulierenden Steuergeräten und Funktionen
- : Komplexitätssteigerung der funktionalen Testanforderungen
- : Einbindung verschiedener HiL-Module in Funktionsgruppen

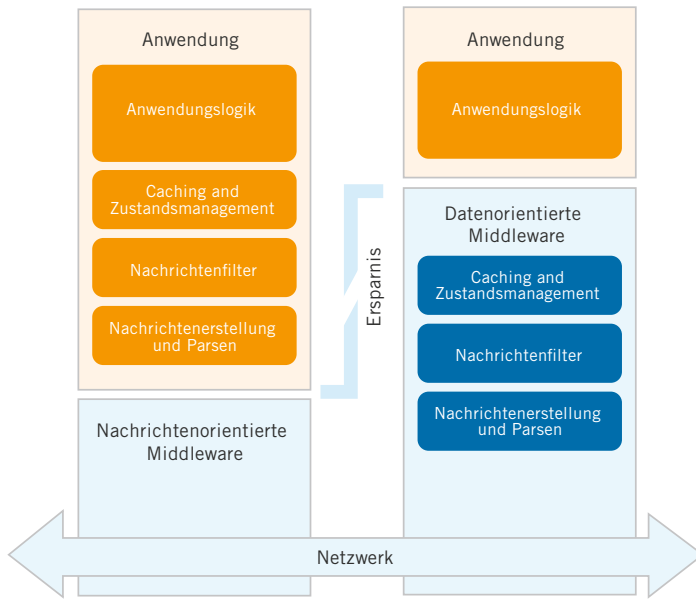
VON STEUERGERÄTE- ZU FUNKTIONSORIENTIERTER ENTWICKLUNG

Gegenwärtig findet ein Paradigmenwechsel von einer auf Steuergeräte fokussierten, hin zu einer auf die Fahrzeugfunktion ausgerichteten Entwicklung mit umfassend vernetzten Funktionen und Steuergeräten statt. Nachfolgende Beispiele belegen diesen Trend:

- : Airbag-Steuergeräte, die heute bei einem Unfall die Airbags auslösen, entwickeln sich zu hoch komplexen Sicherheitssystemen. Diese sind unter anderem mit dem Elektronischen Stabilitätsprogramm (ESP) vernetzt und greifen situationsabhängig ein. Wird ein Schleudern oder eine Vollbremsung des Fahrzeugs erkannt, wird die



❶ Audi-HiL-Bus verbindet HiL-Module verschiedener Hersteller

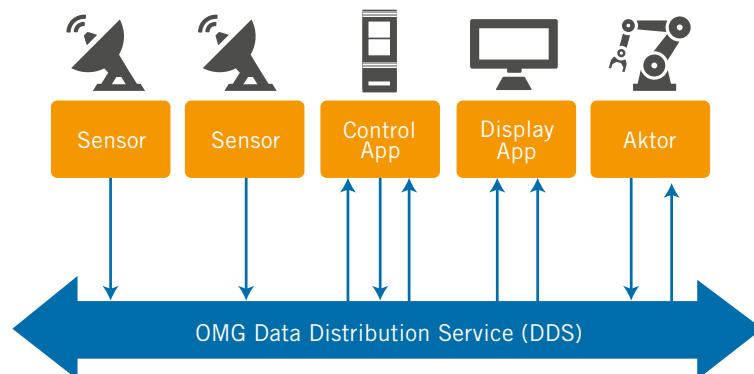


② Gegenüberstellung: nachrichtenorientierte und datenorientierte Middleware [7]

- : Einbindung von Steuergeräte-Modellen zur Testvalidierung und -stimulation
- : einheitliche und einfache Bedien- und Kontrollschnittstellen
- : Aufzeichnung und Stimulation von Signalen zwischen verschiedenen HiL-Modulen
- : Entkopplung von Prüftechnik und Prüfstandsnutzung in Testfällen (manuelle und automatisierte).

Eine der wichtigsten Entscheidungen war der Entschluss, die neue busbasierte HiL-Architektur auf eine standardbasierte, echtzeitfähige Ethernetbasierte Middleware (HiL-Bus) aufzubauen. Nur ein System, das auf offener, frei zugänglicher und standardisierter Technologie basiert, kann dem Anspruch der einfachen Integration

unterschiedlicher Partner gerecht werden. Audi suchte daher am Markt nach einer effizienten, echtzeitfähigen und skalierbaren Software-Infrastruktur, die auf einem offenen Standard basiert. Dieser Ansatz brachte Audi zum Data Distribution Service, standardisiert durch die Object Management Group OMG [5], und zu der standardgerechten Implementierung „RTI Connex DDS“ von Real-Time Innovations (RTI). Diese DDS-Implementierung erfüllt nicht nur Audis anspruchsvolle Anforderungen an Robustheit, Echtzeitfähigkeit und Skalierbarkeit. RTI Connex DDS ist außerdem auch in führenden Software-Modellierung-Tools integriert, um damit auch eine modellbasierte Entwicklung zu ermöglichen.



③ Die Architektur des OMG-DDS-Datenbus

EIN DATENORIENTIERTER ANSATZ FÜR DEN HiL-BUS

In der Keynote zur VDI-Tagung in Baden-Baden 2013 wurde ein Wandel im Entwicklungsansatz von Automobil-Software aufgezeigt [6]. Um die Komplexität zukünftiger Fahrzeugelektronik erfolgreich zu bewältigen, muss sich die Industrie datenzentriert ausrichten. Aktuelle HiL-Systeme setzen größtenteils auf proprietäre Kommunikation. Eine Kombination unterschiedlicher Systeme ist somit nicht möglich. Aber der Einsatz einer datenzentrierten Middleware, ②, für den modularen HiL-Bus-Ansatz ermöglicht es, verschiedene HiL-Teilsysteme mit den Methoden der Steuergeräte-Entwicklung zusammenzubringen. Individuelle nachrichtenorientierte Ende-zu-Ende-Kommunikationsprotokolle rücken in den Hintergrund. Der Fokus liegt rein auf den auszutauschenden Daten – und nicht auf der Kommunikationstechnik.

Jeder Teilnehmer am HiL-Bus wird als Modul bezeichnet. Jedes Modul charakterisiert sich im ersten Schritt durch Daten, die es anderen Modulen bereitstellen kann beziehungsweise Daten, die es von anderen Modulen erhält. Das gesamte Testsystem definiert sich damit über die Daten, die auf dem HiL-Bus zur Verfügung stehen beziehungsweise darüber ausgetauscht werden, ③.

In einer datenzentrierten Systemarchitektur treten alle Änderungen im System als neue Datenwerte auf der Middleware auf, ähnlich wie eine Datenbank eines Enterprise-Systems Veränderungen in Tabellenzeilen und -spalten ablegt. Die Middleware erhält in Echtzeit einen systemweiten Status, der sofort und unmittelbar allen interessierten Teilnehmern bereitgestellt wird.

Eine datenzentrierte Infrastruktur ermöglicht es, den Datenaustausch genau zu kontrollieren. Ein Prüfstand kann so elegant und einfach den aktuellen funktionalen Testanforderungen angepasst werden. Die Möglichkeit, die logische Prüfstandsarchitektur von der physikalischen Infrastruktur auf diese Weise zu entkoppeln, ermöglicht es, HiL-Subsysteme nach dem Plug-and-Play-Prinzip zu kombinieren. Damit lassen sich Testsysteme unterschiedlicher Hersteller schnell und robust in eine einheitliche Infrastruktur integrieren. Dies führt zu deutlicher Zeit- und Kostener-

sparnis und erlaubt, für jede zu testende Funktion das beste System auf dem Markt zu verwenden. Das setzt eine schnelle, einfache und unproblematische Anbindung verschiedener Testsysteme an den HiL-Bus voraus.

Jedes an den HiL-Bus angeschlossene Modul beobachtet die Kommunikation und überprüft, ob die Übertragung der Daten innerhalb der vorgegebenen Zeitbedingungen durchgeführt wurde. Der OMG Data Distribution Service bietet entsprechende Mechanismen (Quality of Service, QoS) Einstellungen), die es jedem Teilnehmer erlauben, Echtzeitbedingungen zu überwachen und die entsprechenden Grenzwerte festzulegen. Die DDS-basierte Middleware benachrichtigt den Anwender, falls diese Anforderungen nicht eingehalten werden konnten.

OPEN-COMMUNITY-SOURCE-GESCHÄFTSMODELL

RTI Connex DDS ist eine Implementierung des offenen DDS-Standards. Neben der hohen Performance, der bewährten Robustheit und den erhältlichen Entwicklungswerkzeugen zeichnet sich RTI Connex DDS durch eine weitere wichtige Innovation aus: RTI liefert RTI Connex DDS unter einem Lizenzmodell, dass die Zusammenarbeit verschiedener Hersteller ermöglicht.

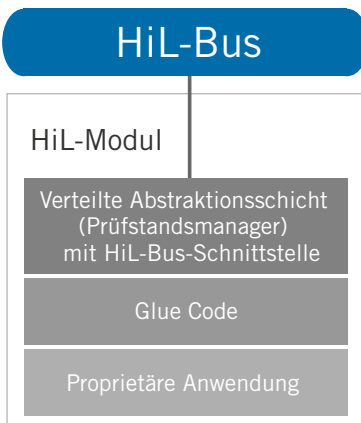
Stan Schneider, CEO von RTI, betonte diesen Ansatz in seiner Präsentation beim FACE Technischen Symposium. „RTI unterstützt eine offene Architektur, die die Auswahl an Applikationen bereichert und die Kosten für Einkauf, Systeme-

integration, Systemaufwertung und -erneuerung verringert. Letzten Endes reduziert das die Kosten des Gesamtsystems“ [7].

Um ein solches offenes System für verschiedenste HiL-Lieferanten zu realisieren, muss sich der Einstieg für den HiL-Hersteller einfach und problemlos gestalten. Dabei spielen neben den technischen auch kommerzielle Aspekte eine entscheidende Rolle. Aus technischer Sicht liefert Audi die Definition der Daten, die über den HiL-Bus zwischen Modulen ausgetauscht werden sollen. Für die erfolgreiche Integration eines HiL-Moduls wird dieses technisch an die Software-Infrastruktur angebunden. Dies erfolgt durch die Integration einer DDS-Schnittstelle in das jedes HiL-Modul durch die eigens entwickelte Software-Bibliothek (PSM-Library). Kommerziell bedeutet das, dass HiL-Modul-Hersteller eine DDS-Lizenz benötigen. Durch das Open-Community-Source-Lizenzmodell von RTI kann jeder Audi-Partner eine kostenfreie Lizenz für Verwendung der Grundfunktionalität von RTI Connex DDS erhalten. Dieses Lizenzmodell beinhaltet keine Copy-Left-Klausel und erlaubt damit eine einfache und komfortable Integration der DDS-Bibliotheken auf Lieferantenseite.

VERTEILTE ENTWICKLUNG VON PRÜFSTANDSMODULEN

Ein weiterer Vorteil der echtzeitfähigen datenzentrierten Infrastruktur des HiL-Bus ist die entkoppelte modulare Entwicklungsfähigkeit. Für die offene Architektur des HiL-Bus ist es wichtig, dass Prüfstandsmodule unabhängig vom Gesamtprüfstand entwickelt werden können. DDS setzt die Echtzeitfähigkeit in der Kommunikation durch eine Peer-to-Peer-Architektur um. Damit muss keine vorher festgelegte Reihenfolge bei der Teilnahme am HiL-Bus eingehalten werden. DDS arbeitet nach dem Publisher-Subscriber-Konzept und bietet den standardisierten „Discovery“-Mechanismus, der jeden Teilnehmer als Lieferant (Publisher) oder Konsument (Subscriber) von HiL-Bus-Daten identifiziert. Durch die Verlagerung des Kommunikationsmanagements in die Middleware reduziert sich der Integrationsaufwand, der normalerweise beim Aufbau eines verteilten Systems notwendig ist. Anstatt detaillierte Kommunikationsprotokolle



4 Prüfstandsmanager als verteilte Abstraktionsschicht

Beispiel:

HiL-Testsystem MIB2 Infotainment

LVDS Signale:
FPD-Link II sink & source

RF-Signale:
GSM, LTE, DAB, AM/FM, RDS,
GPS u.v.m.

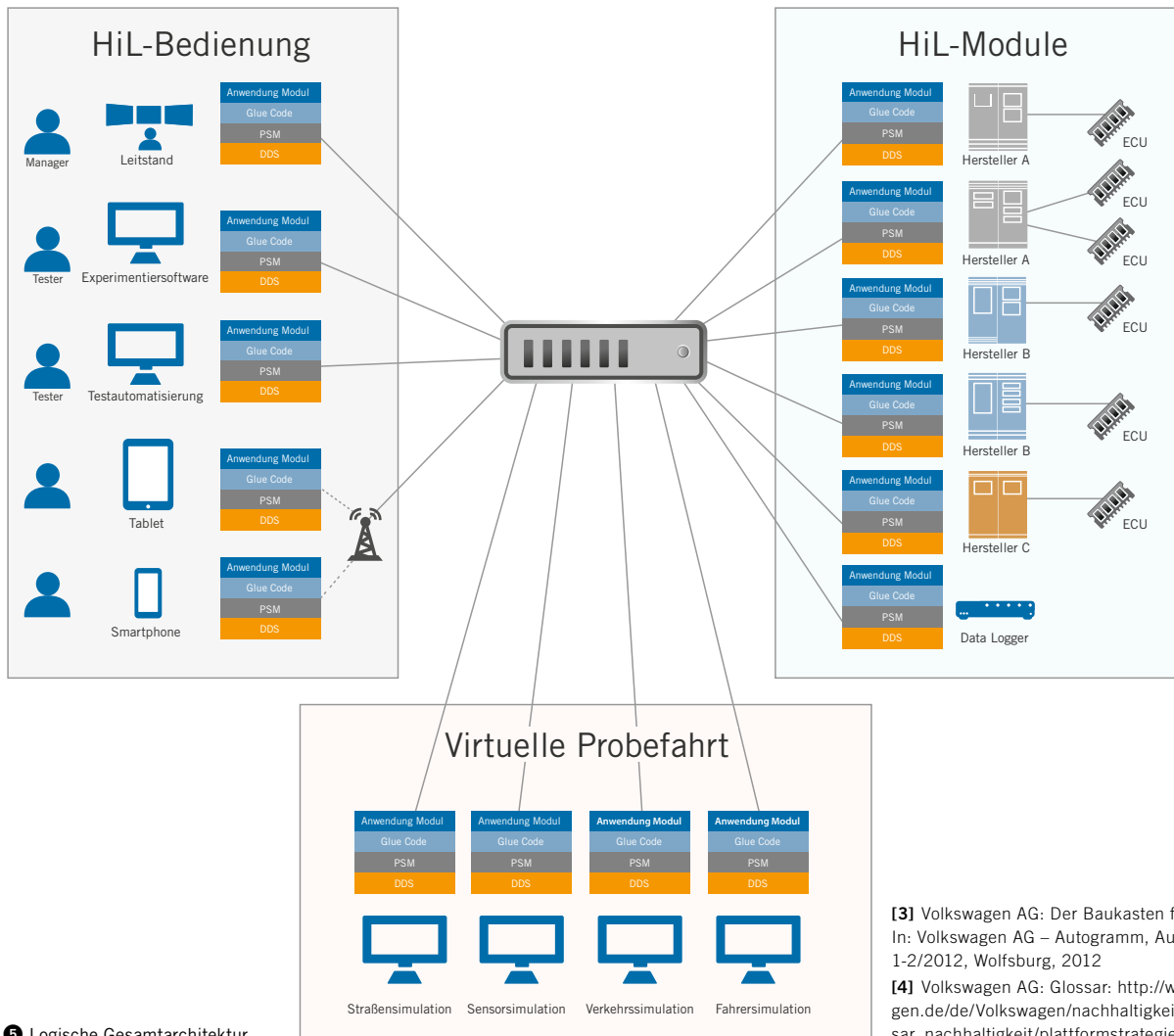
Bus-Systeme:
MOST150, CAN HS, CAN LS,
USB2.0, Ethernet

Monitoring:
DMM-MUX, Last-Simulation,
Source-Meter (AERA MNS10)



AERA consulting & engineering GmbH
In den Rotwiesen 12
D-69242 Mühlhausen

Tel: +49 (6222) 948-8800
Fax: +49 (6222) 948-8800-9
E-Mail: info@aeraGmbH.de



5 Logische Gesamtarchitektur

auszutauschen und zu implementieren, werden nun lediglich Datenanforderung und Datenangebot definiert und in einem Audi-spezifischen Datenmodell hinterlegt.

VERTEILTE ABSTRAKTION – PRÜFSTANDSMANAGER

Für die Realisierung des HiL-Bus und die Anbindung von HiL-Modulen wird eine Abstraktionsebene eingeführt. Die Abstraktion wird durch den sogenannten Prüfstandsmanager (PSM) umgesetzt.

Die PSM-Bibliothek ist eine von Audi entwickelte Software-Bibliothek, die aus zwei Teilen besteht: der HiL-Bus-Schnittstelle (auf Basis RTI Connex DDS) und dem Prüfstandsmanager selbst. Diese Bibliothek wird in jedes HiL-Modul integriert und durch einen Modulhersteller-spezifischem Glue-Code erweitert, um

den Anschluss der proprietären Modul-Funktionalität zu ermöglichen, 4.

Dadurch ist außerdem die einfache Integration des konzernweitigen Testautomatisierungswerkzeugs EXAM möglich. EXAM setzt bereits viele proprietäre Hard- und Software-Anbindungen verschiedener Hersteller um, die exakt auf die Bedürfnisse der automatisierten Tests zugeschnitten sind. Der HiL-Bus ermöglicht die Arbeit mit bereits bestehenden Nutzerschnittstellen. Somit ist keine Anpassung der heutigen Arbeitsweise, auch bei der Durchführung manueller Tests, notwendig, 5.

LITERATURHINWEISE

[1] ISO 26262, Road vehicles — Functional safety, Part 1 – 10, 2011/11
 [2] IEC 61508, Functional safety of electrical/ electronic/programmable electronic safety-related systems, Part 1–7, 2011/02

[3] Volkswagen AG: Der Baukasten für die Zukunft. In: Volkswagen AG – Autogramm, Ausgabe 1-2/2012, Wolfsburg, 2012
 [4] Volkswagen AG: Glossar: http://www.volkswagen.de/de/Volkswagen/nachhaltigkeit/service/glossar_nachhaltigkeit/plattformstrategie.html. Abgerufen am 27. August 2013
 [5] Object Management Group: Data Distribution Service for Real-Time Systems v 1.2. 01.01.2007. <http://www.omg.org/cgi-bin/doc?formal>
 [6] Kellerwessel, C.: Connectivity im Fahrzeug – Nutzen und Umsetzung. 16. Internationaler Kongress „Elektronik im Fahrzeug“ Baden-Baden. 16.10.2013
 [7] Schneider, S.: FACE Consortium F2F Meeting. Keynote. Sunnyvale, Kalifornien, USA. 4. bis 6. Juni 2013, <http://online.wsj.com/article/PR-CO-20130530-907778.html>
 [8] Schacker, C.: Data-Centric Middleware – A fundamental improvement in developing, maintaining and deploying mission-critical distributed systems. Verfügbar unter: http://www.rti.com/docs/RTI_Data_Centric_Middleware.pdf
 [9] Effertz, J.: RTI Helps to „Think About the Data, Not How to Communicate. Interview. 18.04.2012. <https://web2.sys-con.com/node/2251954>

DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.springerprofessional.de/ATZelextronik

READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
 order your test issue now:
springervieweg-service@springer.com