



# VIRTUELLER FAHRVERSUCH HARDWAREUNABHÄNGIGE INTEGRATION VON SERIENSOFTWARE

Zur Verifikation von Steuergerätesoftware unabhängig von der Zielhardware setzt die BMW Group auf die virtuelle Absicherungsplattform (VAP). Um stark vernetzte Komponenten im ganzheitlichen Zusammenspiel mit dem Fahrzeug und der Umgebung zu betreiben, wurde das Konzept mit dem virtuellen Fahrversuch kombiniert. Zusammen mit der offenen Integrations- und Testplattform CarMaker lässt sich die Seriensoftware ohne Zielhardware im virtuellen Gesamtfahrzeug integrieren und am Entwicklerarbeitsplatz in der simulierten Fahrsituation live erleben.

## AUTOREN



**DR.-ING. MARCUS MARTINUS**  
ist Teamleiter Softwareintegration und virtuelle Absicherung bei der BMW Group in München.



**DIPL.-ING. MARKUS DEICKE**  
ist Doktorand im Team Softwareintegration und virtuelle Absicherung bei der BMW Group in München.



**DIPL.-ING. MICHAEL FOLIE**  
ist Key Account Manager bei IPG Automotive und leitet das Büro München.

## MOTIVATION

Die BMW Group setzt hier auf eine konsequente Standardisierung im Softwareentwicklungsprozess auf der Basis von Autosar und Genivi sowie den Einsatz intelligenter Entwicklungsmethoden. Die virtuelle Absicherungsplattform VAP ist ein Beispiel dafür. Sie macht es möglich, Seriensoftware im Original-Autosar-Workflow zu entwickeln und unabhängig von der Steuergerätehardware mit der Software-in-the-Loop-Methode (SiL) zu testen. Darüber hinausgehend wurde gemeinsam mit IPG Automotive das bestehende Konzept der VAP mit dem virtuellen Fahrversuch kombiniert. Als Ergebnis entstand eine mächtige Entwicklungsumgebung, die die Seriensoftware in der virtuellen Welt erlebbar macht, inklusive garantierten Spaßfaktor für den Entwickler.

## VIRTUELLE ABSICHERUNGSPLATTFORM VAP FÜR SOFTWAREINTEGRATION

Die VAP ist ein PC-System mit „x86-Architektur“, das modular über Compact-PCI-Karten um alle gängigen Schnittstellen im Automotive-Bereich erweitert werden kann. Der Aufbau der Plattform ist in ❶ dargestellt [1]. Als Betriebssystem kommt ein echtzeitfähiges Linux zum Einsatz. Für den Zugriff auf die Schnittstellen nach außen wird eine speziell für die VAP angepasste Mikrocontroller-Abstraktionsschicht genutzt. Darüber liegt ein vollständiger Autosar-Stack mit der zugehörigen Runtime-Environment (RTE). In der obersten Ebene befindet sich die Funktionssoftware, die in einzelne Softwarekomponenten unterteilt sind. Die Funktionssoftware kann dabei im originalen Serienzustand integriert und getestet werden. Dies geschieht anhand des gleichen Workflows wie auf der Zielhardware.

Bei der BMW Group wird die Plattform bereits erfolgreich für die folgenden Anwendungsfälle eingesetzt [2]:

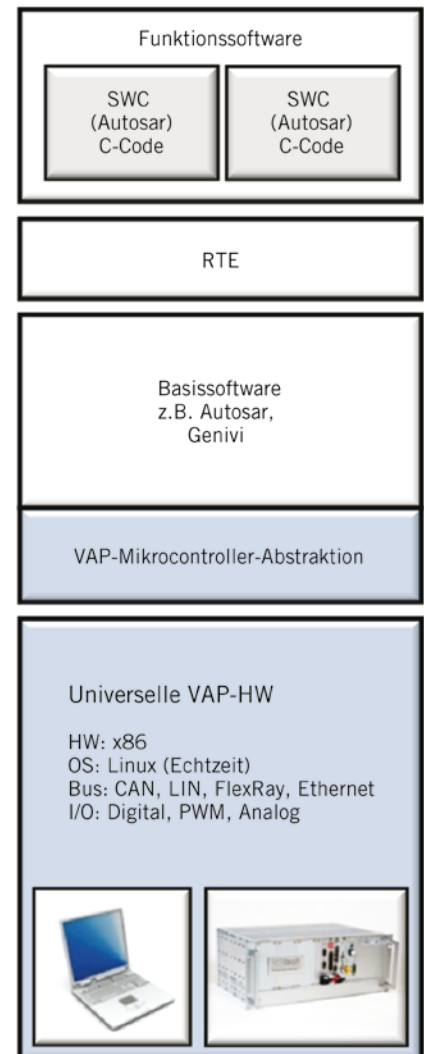
- : Qualifizierung von Basissoftware: Die VAP wird als Referenzplattform für die Integration verschiedener Autosar-Basis-Software-Stacks genutzt. So besteht die Möglichkeit, verschiedene Stacks unter definierten Bedingungen zu evaluieren und zu vergleichen.
- : Entwicklungsbegleitend: Einsatz der

VAP in der frühen Entwicklungsphase, als Beitrag zum „Frontloading“. Steuergerätesoftware kann frühzeitig auf einer Hardwareplattform mit realer Basissoftware und vollständiger Kommunikation getestet werden, wodurch Fehler früher im Entwicklungsprozess auffindbar sind.

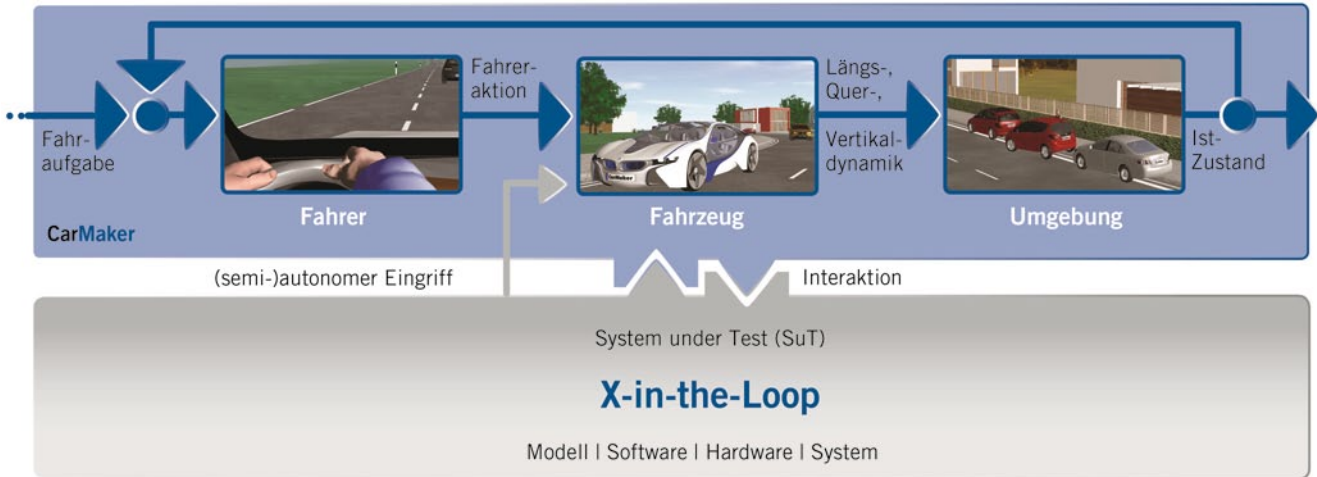
- : Wiederverwendbarkeit: Absicherung der Wiederverwendbarkeit von Steuergerätesoftware auf unterschiedlicher Hardware. Dabei soll die Konfigurierbarkeit, Portierbarkeit, Kompilierbarkeit und Vollständigkeit der Software geprüft werden.

Die Anwendung bei der BMW Group erfolgt dabei in Steuergeräteprojekten aus der Serienentwicklung, verteilt über

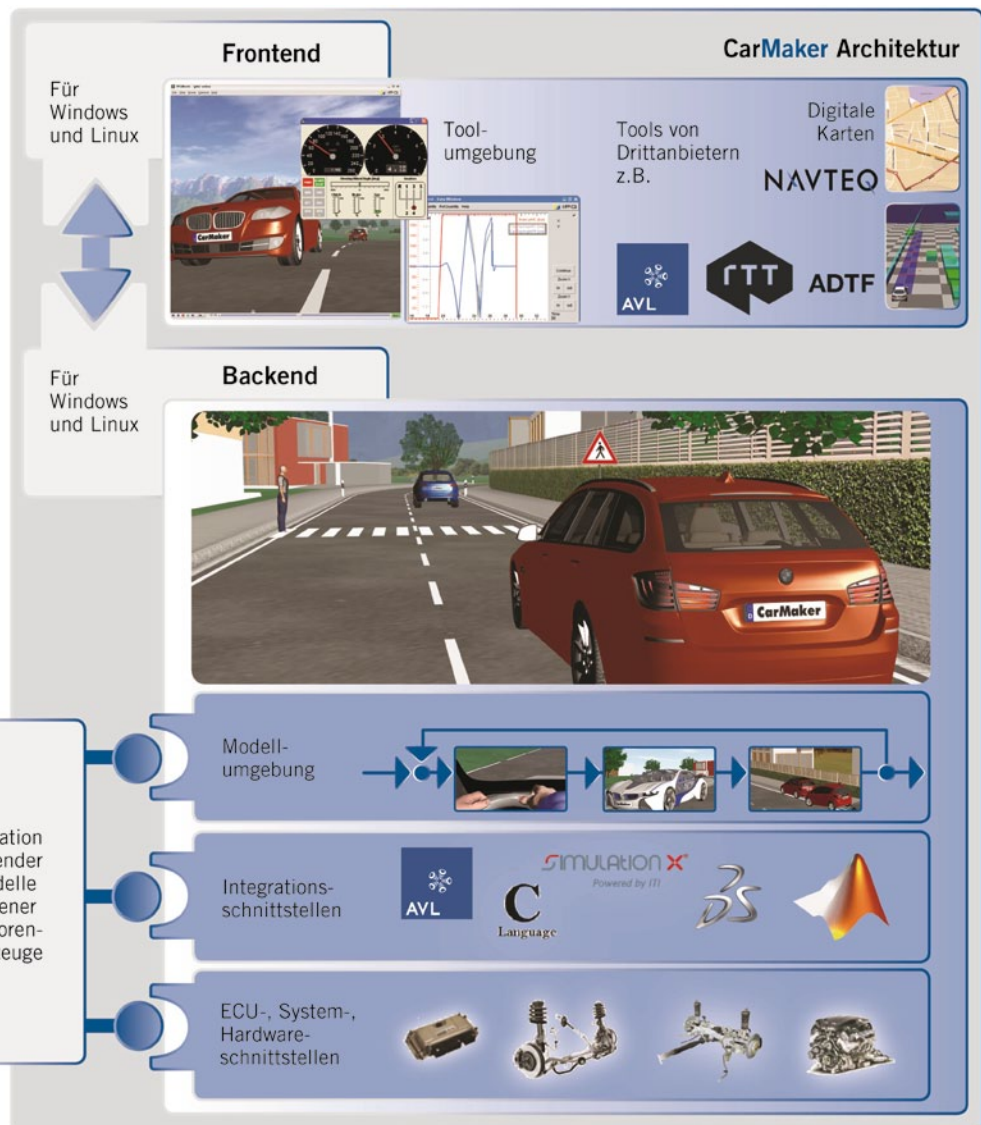
## Virtuelle Absicherungsplattform (VAP)



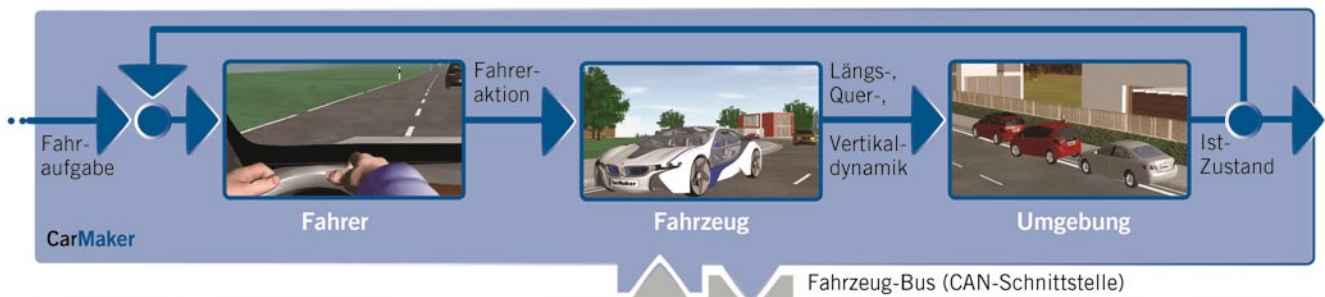
❶ Schematischer Aufbau der VAP mit System-under-Test (weiß) und VAP-spezifischen Anteilen (blau)



② XIL ermöglicht die frühe Verifikation und Validierung von Systemen; CarMaker bietet die entsprechenden Schnittstellen, um alle relevanten Komponenten und Systeme ins virtuelle Gesamtfahrzeug zu integrieren



③ In CarMaker können Funktions-, Umgebungsmodelle und Hardware-Komponenten integriert werden; auch die Kopplung mit Navigationssystemen und Softwareentwicklungswerkzeugen ist möglich



## Virtuelle Absicherungsplattform (VAP)

System under Test (SuT)



4 Die VAP ist als universelles Steuergerät über eine Fahrzeugschnittstelle, zum Beispiel CAN, mit CarMaker verbunden

alle Fahrzeugdomänen, beispielsweise Kombiinstrument, Sicherheitselektronik, Motorsteuerung oder Fahrerassistenzfunktionen. So konnten Fehler im gesamten Entwicklungs-Workflow, wie Inkompatibilitäten zum Autosar-Standard, fehlerhafte Konfigurationen der Basissoftware sowie kundenrelevante Implementierungsfehler aufgedeckt und abgestellt werden [3, 4].

### FAHRDYNAMIK- UND UMGEBUNGSSIMULATION

Um die Verbindung von der VAP als System-under-Test zum Gesamtfahrzeug herzustellen, müssen plausible Modelle der Fahrzeugphysik und -umgebung angebunden werden können. Im CarMaker wurde der durchgängige „X-in-the-Loop“-Ansatz (XiL) konsequent umgesetzt, 2. Die XiL-Methode ermöglicht es, bereits sehr früh alle relevanten Systemkomponenten, ob als Modelle, Software oder Hardware, in das Gesamtfahrzeug zu integrieren und umfassend zu validieren [5].

Als offene Integrationsplattform bietet CarMaker eine auf die Fahrzeugentwicklung abgestimmte Schnittstellenarchitektur. Per Mausklick werden Modelle, Softwarekomponenten und reale Fahrzeug-

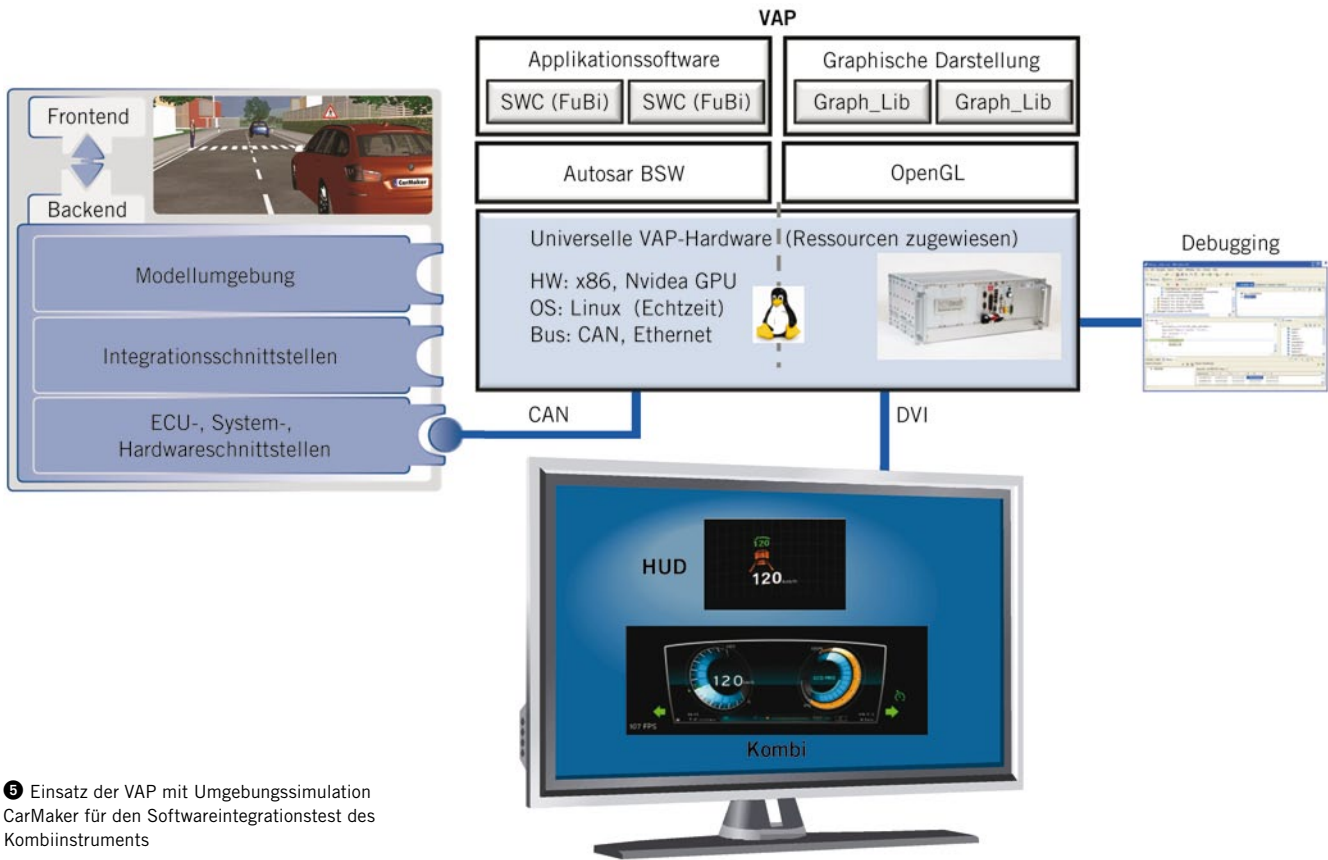
komponenten in sogenannte digitale Prototypen integriert – von der Einzelkomponente bis hin zu vernetzten Systemen. Je nach Bedarf lassen sich Antriebsstrang, Fahrwerk, Assistenz- und Regelsysteme etc., aber auch Anzeige- und Bedienkonzepte einbinden, 3 [6]. Die virtuelle Integration schafft die Voraussetzungen, um zu überprüfen, welche Auswirkungen die getesteten Komponenten auf das Gesamtfahrzeugverhalten haben. Fehler können so früher aufgedeckt werden [7].

Die digitalen Prototypen können als Gesamtsystem in der virtuellen Testfahrt verifiziert werden. Neben Fahrzeug- und Fahrermodell umfasst CarMaker eine komplette Umgebungssimulation bestehend aus Straßen (mit Kurven, Beschilderung etc.), fließendem Verkehr mit Umfeldsensoren sowie digitaler Karten (zum Beispiel Navteq, Google Earth). So entsteht eine sehr realitätsgetreue Abbildung der Testumgebung. Als Testplattform bietet CarMaker zudem eine Manöverbeschreibung, die auf den Grundsätzen des realen Fahrversuchs basiert. Auch komplexe Open- und Closed-Loop-Tests werden als Manöveranweisungen umgesetzt. Die virtuelle Testfahrt ist reproduzierbar und bei Bedarf leicht modifizierbar, die Testergebnisse sind

bis in den physikalischen Grenzbereich hinein valide. So lassen sich neue Entwicklungen im virtuellen Fahrversuch bewerten und in realistischen Fahrsituationen erlebbar machen [8].

### INTEGRATION VON SERIENSOFTWARE IM VIRTUELLEN FAHRVERSUCH

Ziel des neuen Ansatzes ist es, die VAP als universelles Steuergerät mit der Simulationsumgebung des virtuellen Fahrversuchs zu verbinden, 4. Dazu wird die VAP, inklusive der auf dem Autosar-Basis-Software-Stack integrierten Applikationssoftware, mit einer Echtzeithardware für CarMaker über die erforderlichen Fahrzeug-Busse beziehungsweise I/O gekoppelt. Die Software (System-under-Test) wird in der jeweiligen Fahrsituation der virtuellen Testfahrt mit den entsprechenden realitätsnahen Signalen beziehungsweise Werten stimuliert. Der Ansatz gleicht damit der Hardware-in-the-Loop-Methode, es sind jedoch keine teuren Steuergerätemuster erforderlich. Die technische Architektur der zu testenden Softwarefunktionen kann auf der VAP nachgebildet werden. Bei Bedarf können zum Beispiel im Steuergerätenetzwerk verteilte Funktionen auf mehrere logische Instanzen der VAP



5 Einsatz der VAP mit Umgebungssimulation CarMaker für den Softwareintegrationstest des Kombiinstruments

partitioniert und getestet werden. Die so entstandene Entwicklungsumgebung ermöglicht die hardwareunabhängige Entwicklung von Software im Serienentwicklungsprozess, unterstützt durch eine virtuelle, fahrversuchsgestützte und visualisierende Testumgebung. Die wesentlichen Vorteile sind:

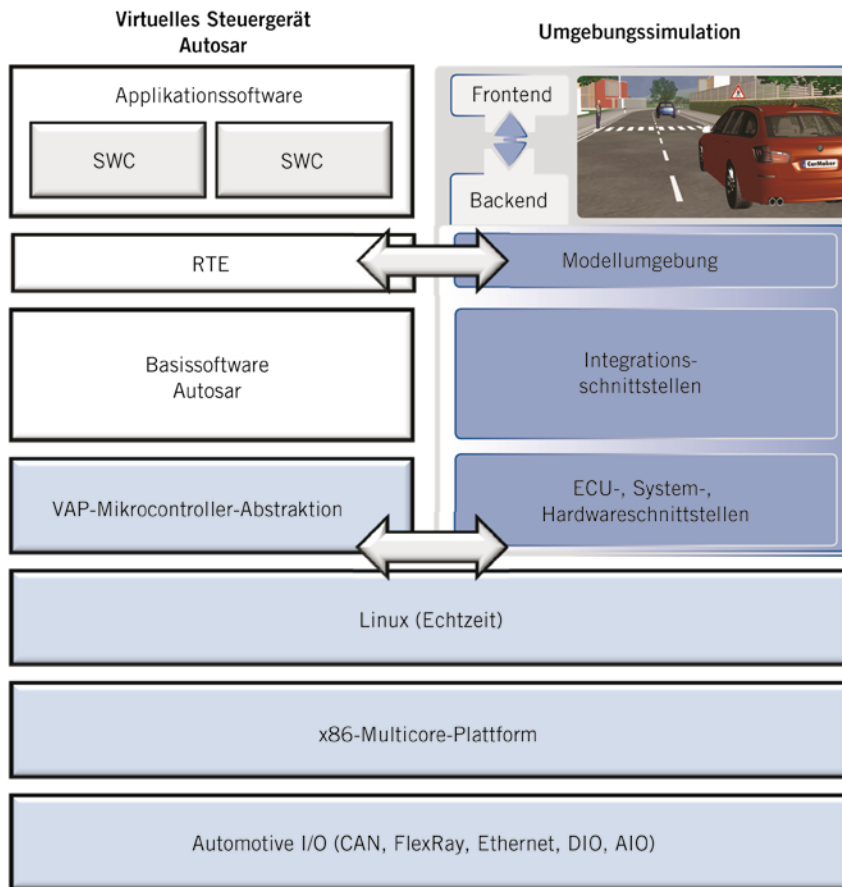
- : Integration/Konfiguration der Seriensoftware im Original-Autosar-Workflow mit Original-Autosar-Basis-Software und Tooling, analog zum Steuergerät
- : offene „State-of-the-Art“ Entwicklungsumgebung basierend auf Linux, inklusive Standardtools für Analyse, Codierung, Debugging und Profiling der Software
- : Closed-Loop-Test-Betrieb durch Rückführung der Fahrzeugsignale und HiL-Schnittstelle
- : Echtzeitschnittstelle für die Kommunikation mit anderen Steuergeräten (HiL) inklusive Testautomatisierung
- : visuelle Erlebbarkeit der Software in realitätsnahen Fahrscenarien mit direkter Rückmeldung an den Entwickler/Tester

- : große Bandbreite an Fahrscenarien: vom einfachen Manöver bis hin zu hochkomplexen Szenarien verschiedener Verkehrssituationen, wobei wesentliche Kundensituationen vom virtuellen Fahrer umgesetzt werden können
  - : mögliche interaktive Übersteuerung der Simulation sowie Eingriffsmöglichkeiten für den Tester
  - : freie Konfigurationsmöglichkeit für Fahrerprofile, Fahrscenarien, Fahrzeug- und Umgebungsmodelle.
- Die neue Methode ist entwicklungsbegleitend auf der linken Seite des V-Modells bis zum Steuergeräteintegrationstest auf der rechten Seite einsetzbar.

Beispielsweise lassen sich moderne Anzeige- und Bedienkonzepte, die mit Fahrerassistenz- und Fahrdynamikfunktionen vernetzt sind, bereits in einer frühen Entwicklungsphase im Gesamtfahrzeug bewerten beziehungsweise mithilfe von Regressionstest für Softwareimplementierungen, kurz vor Deployment auf die Hardware, testen.

### ANWENDUNGSBEISPIEL KOMBIINSTRUMENT UND HEAD-UP-DISPLAY

Die VAP-Anwendungsfälle „Sicherstellung der Wiederverwendbarkeit von Software“ und „Frontloading im Software-Entwicklungsprozess“ werden in mehreren Steuergeräteprojekten der BMW Group pilotiert und ausgerollt. Im Komponentenprojekt für das Kombiinstrument/Head-up-Display (Kombi/HUD) wird die Softwareentwicklung für Berechnung und Darstellung der Anzeigeelemente in Eigenentwicklung bei der BMW Group durchgeführt. Die VAP dient hier als Referenzintegrationsplattform für Softwarelieferungen der BMW Group an den Steuergeräteelieferanten. Durch die Integration der eigenentwickelten Software auf der VAP wird der Nachweis der Wiederverwendbarkeit und der Qualität der Software erbracht. 5 zeigt den schematischen Testaufbau mit der Systemarchitektur des Kombi/HUD, dessen Hardware durch die VAP ersetzt wurde.



Die Softwarearchitektur des Kombiinstrumentes ist aufgeteilt in einen Autosar-Teil mit Mikrocontroller für Wertebe-rechnung, Zustandsautomaten und Bordnetz-kommunikation im Steuergerätenetzwerk und einen O-penGL-Teil für die graphische 3D-Darstellung auf dem Displays, beziehungsweise HUD. Beide Teile sind mit der Original-Seriensoftware auf der VAP integriert und kommunizieren intern über eine Inter-Prozessor-Kommunikation, analog wie im realen Steuergerät. Die graphische Ausgabe des Kombi/HUD läuft über einen Standardmonitor und dient als Rückmeldung für den Entwickler.

In der Ausbaustufe wurde dieser Ansatz für Erzielung der Erlebbarkeit der Softwarefunktionen mit dem virtuellen Fahrversuch des CarMaker kombiniert. Die Stimulation erfolgt über ein Echtzeit-simulationssystem (HiL) mit einem 3D-Fahrzeugmodell mit Aufbau, Radauf-hängungen, Lenkung, Reifen, Bremsen, Antriebsstrang, Aerodynamik, Sensoren und dynamischer Restbussimulation. Zusätzlich sind diejenigen Verhaltensmo-

delle beziehungsweise Software-ECUs integriert, die für die Stimulation der zu testenden Anzeigeelemente notwendig sind – in diesem Fall die Logik des Abstandsregelautomats (Adaptive Cruise Control, ACC). Die für das Kombiinstrument benötigten Fahrzeugsignale werden in der dynamischen Restbussimulation generiert und über den CAN-Bus mit originalen Bordnetzdaten kommuniziert.

Der Entwickler hat die Möglichkeit, im Regressionstest vordefinierte Fahrzyklen automatisiert ablaufen zu lassen beziehungsweise durch Interaktion den simulierten Fahrer zu übersteuern. Im Testzyklus wird zum Beispiel der vorausfahrende Verkehr über den simulierten Radarsensor erkannt und der voreingestellte Minimalabstand über die Soft-ECU des ACC eingeregelt. Der Entwickler kann so seine Seriensoftware für die Anzeigen auf dem Kombiinstrument in den ausgewählten Fahrscenarien aussagekräftig testen, bewerten und realitätsnah erleben. Die Bewertungskriterien beziehen sich dabei auf die situative Korrektheit, den Darstellungskontext

6 Ziel der nächsten technische Ausbaustufe ist die Kombination von VAP und CarMaker auf einer x86-Hardware

und die optische Qualität der Anzeigen des Kombi/HUD im virtuellen Gesamtfahrzeug.

## AUSBLICK

Da die Architektur der VAP und der Car-Maker XiL-Lösung auf gleichen Hardware- und Softwareplattformen basiert, sollen in einer nächsten Ausbaustufe beide Methoden in einer integrierten Hardwarelösung fusioniert werden, 6. Damit wird die Entwicklungsumgebung noch praktikabler, wirtschaftlicher, handhabbarer und flexibler für den Softwareentwickler.

## LITERATURHINWEISE

- [1] Martinus, M.; Cutura, Z.; Würz, T.: Virtuelle Absicherungsplattform – Integration und Wiederverwendung von Software. In: ATZelektronik 7 (2012), Nr. 2, S. 56-61
- [2] Fuchs, M.; Jurchen, S.; Martinus, M.: Virtuelle Absicherung von E/E-Umfängen. In: 3. AutoTest – Fachkonferenz zum Thema Test von Hard- und Software in der Automobilentwicklung, Stuttgart 2010
- [3] Deicke, M.; Hardt, W.; Martinus, M.: VAP 2.0 – Die nächste Generation der virtuellen Absicherungsplattform. In: 4. AutoTest – Fachkonferenz zum Thema Test von Hard- und Software in der Automobilentwicklung, Stuttgart 2012
- [4] Piasecki, T.; Weber, M.; Martinus, M.; Schmid, H.: Virtuelle Absicherung zur Beherrschung der Komplexität und Varianz von E/E Systemen. In: 16. Internationaler Fachkongress Fortschritte in der Automobil-Elektronik, Ludwigsburg 2012
- [5] Schick, B.: Mission V-Process enhancement by integrated vehicle performance evaluation within an entire X-in-the-Loop process. Keynote SIAT ARAI 2013
- [6] Schick, B.; Leonhard, V.; Lange, S.: Vorausschauendes Energiemanagement im virtuellen Fahrversuch. In: ATZ 114 (2012), Nr. 4, S. 328-333
- [7] Schneider, S.-A.; Schick, B.; Palm, H.: Virtualisation, Integration, and Simulation in the Context of Vehicle Systems Engineering. embedded world 2012, Nürnberg 2012
- [8] Palm, H.; Holzmann, J.; Schneider, A.-S.; Koenigler, H.-M.: Die Zukunft im Fahrzeugentwurf, Systems-Engineering-basierte Optimierung. In: ATZ 115 (2013), Nr. 6, S. 512-517



DOWNLOAD DES BEITRAGS

[www.springerprofessional.de/ATZelektronik](http://www.springerprofessional.de/ATZelektronik)



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

order your test issue now:

[springervieweg-service@springer.com](mailto:springervieweg-service@springer.com)