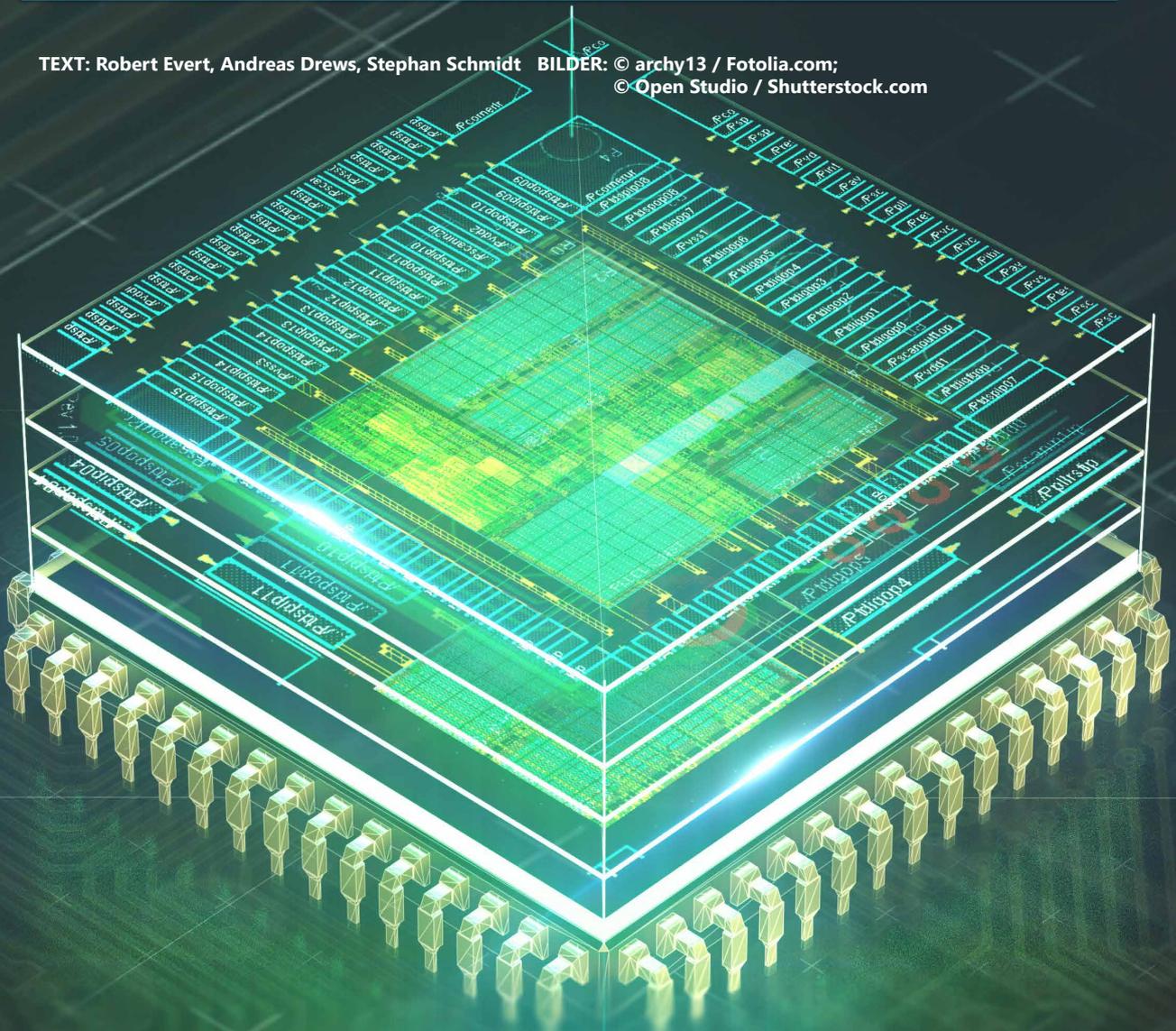


Virtueller Prüfstand zur Absicherung eines Lenkungssteuergeräts

Elektronische Steuergeräte für Automotive-Anwendungen werden zunehmend komplexer – dementsprechend sind neue Strategien bei der Absicherung der Software erforderlich. MicroNova entwickelt mit der VW Group ein virtuelles Testverfahren für die zuverlässige Absicherung von Lenkungs-Software.

TEXT: Robert Evert, Andreas Drews, Stephan Schmidt BILDER: © archy13 / Fotolia.com;
© Open Studio / Shutterstock.com



Für die Validierung neuer Fahrerassistenzsysteme, bis hin zum autonomen Fahren, benötigen Automobilhersteller und -zulieferer neue Herangehensweisen und Testsysteme. Ziel der Volkswagen Group Components ist die umfassende und effiziente Absicherung der Software eines Steuergeräts für die Lenkung.

Basierend auf ihrer langjährigen Zusammenarbeit im Bereich HiL(Hardware-in-the-Loop)-Tests und Testautomatisierung entwickeln Volkswagen und MicroNova bereits seit 2016 verschiedene Ansätze für virtuelles Testen, also für eine PC-basierte Simulation zur Absicherung von Steuergeräte-Software. Bei allen Ansätzen stand und steht immer das virtuelle Steuergerät (virtual Electronic Control Unit, vECU) im Mittelpunkt. Das gemeinsam erarbeitete Konzept bildet eine Erweiterung zu bisherigen HiL- oder SiL(Software-in-the-Loop)-Prüfständen.

Die neuartige Vorgehensweise der Testing-Experten von VW und MicroNova bietet entscheidende Vorteile: Die Lenkungs-Software kann bereits sehr früh im Entwicklungsprozess in dynamischen Tests bis zu einer Einstufung nach ASIL D (siehe Kasten) abgesichert werden. Zudem lassen sich Fehler früher und somit kostengünstiger identifizieren. Eine lineare Skalierung über mehr Rechenleistung ermöglicht es außerdem, Tests parallel auszuführen. Auf dieser Basis lassen sich weitere identische Teststände dynamisch und kosteneffizient installieren oder in die Cloud auslagern. Zudem können Testfälle komplexer aufgebaut sein als bei herkömmlichen Systemen, da der gesamte Prüfstand bei Bedarf einfach angehalten werden kann – etwa um Datenspeicher auszulesen oder Konfigurationen anzupassen.

Virtueller Test und Virtualisierung der ECU

Die Begriffe Software-in-the-Loop, virtuelles Testen oder auch virtueller

Prüfstand sind in der Steuergeräteentwicklung vielfach besetzte Schlagwörter. Das Kernelement aller Umsetzungen in diesen Bereichen bildet die Trennung des Software-Tests von der Ziel-Hardware, also dem Steuergerät. Die Testausführung erfolgt dabei in der Regel auf PC-Systemen, wobei sich gegebenenfalls auch Berechnungen auf weitere Hardware wie Grafikkarten oder FPGAs auslagern lassen. Diese Systeme werden lokal oder in Cloud-Rechenzentren betrieben.

Wird diese Art der Virtualisierung auf weitere angebundene Peripherie ausgedehnt, wie zum Beispiel Aktoren, Sensoren und den Fahrzeug-Bus, so entsteht ein Prüfstand, der sich ebenso als HiL-System umsetzen ließe. Aufgrund der hohen Anforderungen bei der Überprüfung von Steuergeräten für automatisierte Fahrzeuge ist nach Ansicht der Experten von MicroNova ein solcher Ausbau der verwendeten Testsysteme unumgänglich. Das von VW und MicroNova entwickelte Konzept ermöglicht die Ausführung von Testfällen auf einem virtuellen Prüfstand, mit nur minimalen Anpassungen gegenüber herkömmlichen Hardware-Prüfständen. HiL-Systeme lassen sich damit ergänzen und Testkapazitäten deutlich erweitern.

Umsetzung des virtuellen Prüfstands

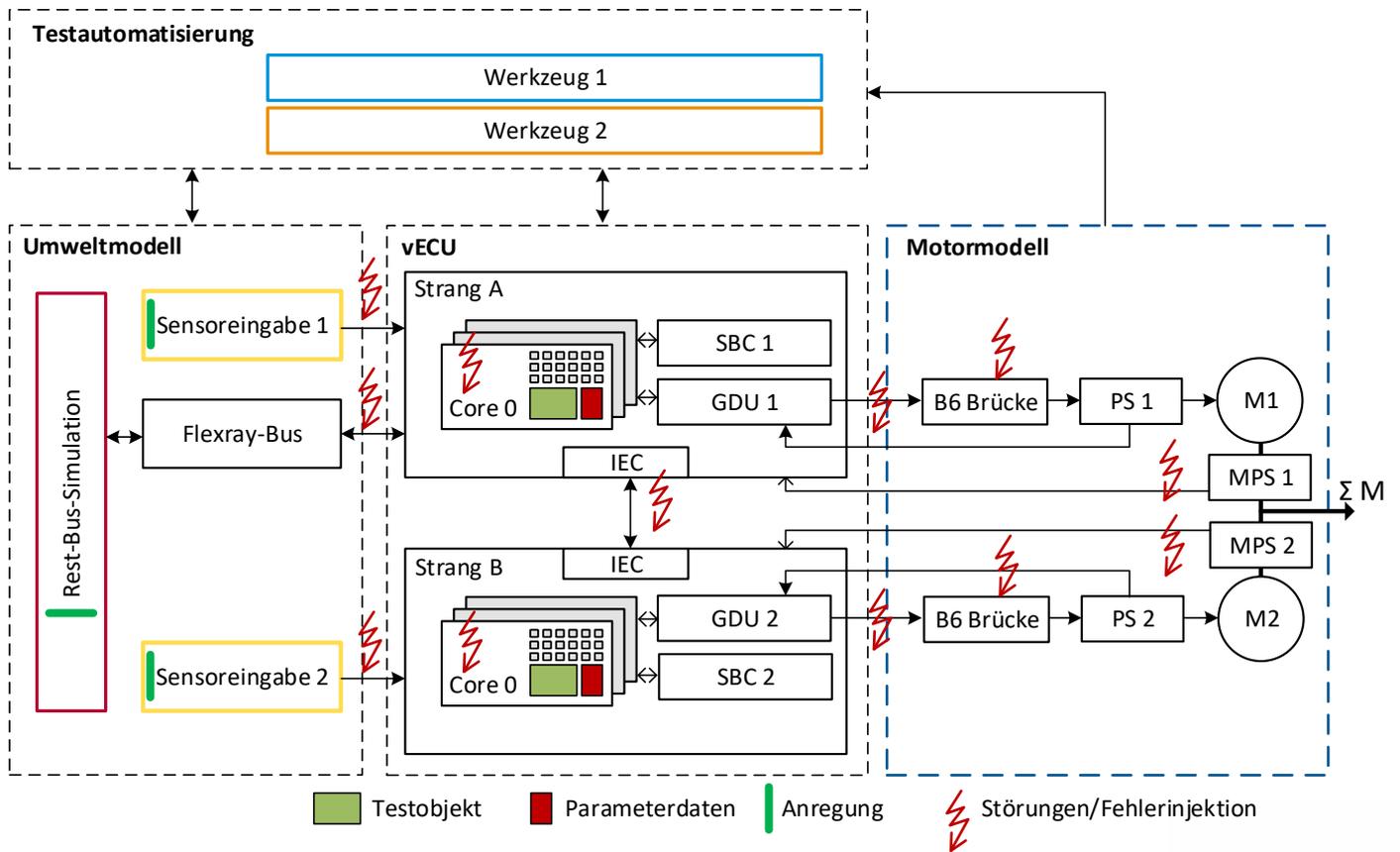
Der virtuelle Prüfstand basiert auf einer Co-Simulation von drei Software-Produkten: Im Mittelpunkt steht dabei die Simulation des Steuergeräts auf Instruktionsebene innerhalb eines SystemC-Modells, das den Datentransfer der einzelnen Komponenten modelliert. Die verwendeten Prozessormodelle reichen abhängig von der gewünschten Simulationstiefe von einer Prozessoremulation bis hin zu einer RTL(Register-Transfer-Level)-Simulation. Die einzelnen Komponenten werden in der Übersicht (Abb. 1) dargestellt. Das System zum Test der Lenkungs-Software von VW basiert auf ei-

ner Nachbildung des Prozessors sowie weiterer angebundener Bausteine zur Systemüberwachung, Motoransteuerung (GDU) und Bus-Kommunikation. Die Simulationstiefe umfasst in diesem Fall neben der Ausführung der einzelnen Instruktionen des Prozessors auch die Implementierung aller als Hardware vorliegenden Register sowie die Simulation des Prozessor-Timings. Durch die detailgetreue Darstellung von Cache-Zugriffen und Speicherbereichen können Testingenieure tief im System liegende Fehler identifizieren.

Der virtuelle Teststand besteht aus zwei redundant aufgebauten Strängen mit jeweils einem Mehrkernprozessor. Der Prozessor kommuniziert mit dem Fahrzeug-Bus-System, führt die Inter-ECU(IEC)-Kommunikation durch und empfängt Sensorsignale aus Nutzereingaben für Lenk- und Komfortfunktionen. Außerdem stellt er die Ansteuerung des Motors (PS) bereit. Das Motormodell wurde in Form einer Schaltungssimulation umgesetzt, die teilweise auch transiente Schaltvorgänge der Motoransteuerung berücksichtigt. Die Rest-Bus-Simulation stammt aus einem Hardware-Prüfplatz und wird in minimal modifizierter Form über einen simulierten Fahrzeug-Bus angebunden.

Funktionale Sicherheit nach ISO 26262

Innerhalb der Risikobewertung nach ISO 26262 wird eine Einstufung nach ASIL (Automotive Safety Integrity Level) A bis D vorgenommen. Hierbei stellt ASIL D die höchsten Anforderungen dar, wie sie zum Beispiel für das autonome Fahren notwendig sind. Mit dem neuen Konzept des virtuellen Teststands kann die Lenkungs-Software bereits sehr früh im Entwicklungsprozess bis zu einer Einstufung nach ASIL D abgesichert werden.



1 Übersicht virtueller Teststand mit Testautomatisierung.

Zu Beginn startet eine Testautomatisierungslösung (z. B. EXAM) die Simulation für das Testobjekt, also in diesem Fall die unmodifizierte Lenkungs-Software (in Abb. 1 grün markiert). Die notwendigen Kalibrier- oder Lerndaten werden beim Start automatisch mit geladen. Aufgrund der Simulationseigenschaften besteht die Möglichkeit, an jeder beliebigen Stelle des virtuellen Prüfstands Daten aufzuzeichnen oder zu manipulieren. Das können innerhalb des Prozessormodells Speicherbereiche, Register der Hardware oder Ein-/Ausgabelösungen des Mikro-Controllers sein. Zudem werden an den Sensoren und im Motormodell physikalische Größen vorgegeben und gemessen. Da das

externe System keinen Einfluss hat, gewährleistet dieses Vorgehen die maximale Reproduzierbarkeit des Tests, und sichert so eine gleichbleibend hohe Testqualität sowie zuverlässige Überprüfbarkeit der Ergebnisse.

Anwendungsmöglichkeiten des Systems

Die Testmöglichkeiten des virtuellen Prüfstands sind vielfältig und lassen sich an die jeweilige Anforderung anpassen. Abbildung 1 zeigt beispielhaft mögliche Anregungspunkte in Blau dargestellt. Diese werden wie in realen Prüfständen über das Bus-System oder über Sensoreingänge getriggert. Darüber hinaus bietet der Prüfstand eine

Vielzahl von Schnittstellen, um gezielt Störungen hervorzurufen und zu messen, ob die zu testende Software die gewünschte Reaktion zeigt. Zusätzlich lassen sich erhebliche Eingriffe in den Prüfstand vornehmen: Dadurch können Speicherbereiche modifiziert werden und es besteht die Möglichkeit, unsichere Zustände oder Manipulationen der Ein-/Ausgänge des Mikro-Controllers hervorzurufen. An herkömmlichen Hardware-Prüfständen sind solche Veränderungen gar nicht oder nur mit hohem finanziellen Aufwand machbar. Gleiches gilt beispielsweise für Timeouts bei Überwachungsfunktionen oder bewegte mechanische Teile. Das Systemverhalten des virtuellen Prüfstands entspricht

hier idealerweise vollständig dem eines Hardware-Prüfstands.

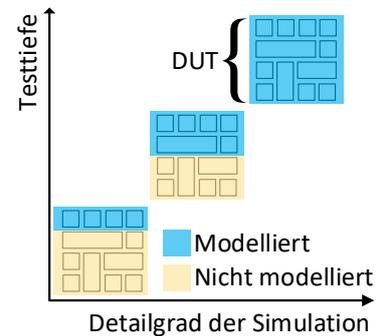
Beim virtuellen Teststand bestehen noch vereinzelt Einschränkungen aufgrund des Modellcharakters der verwendeten Komponenten: Während beispielsweise die ECU-Simulation bereits sehr genau ist, beschränkt sich die Genauigkeit der Motorsimulation bislang auf das grundsätzliche Motorverhalten in ausgewählten Betriebszuständen. Ein Beispieltestfall besteht darin, die Sensoren „Sensoreingabe 1“ und „Sensoreingabe 2“ mit unplausiblen oder ungültigen Werten zu versehen und gleichzeitig die Strangkommunikation (IEC) zu stören. Das System muss auch in diesem Extremfall einen sicheren Ausgangszustand erreichen.

Fazit

Der virtuelle Prüfstand, den MicroNova für VW entwickelt hat, wurde bereits erfolgreich in mehreren Testschleifen der Lenkungs-Software verwendet. Die dynamischen Tests gingen dabei über die Möglichkeiten vieler Hardware-Prüfstände hinaus. „Die vir-

tuelle ECU Level 4 war für uns ein neuer innovativer Weg, um hochverfügbare Lenkungen für autonomes Fahren abzusichern,“ erläutert Matthias Glück, Projektleiter virtuelle ECU, Volkswagen AG. „Viele Tests wurden dadurch einfacher und wesentlich effizienter. Das Potential und die Möglichkeiten, die wir mit der vECU L4 sehen, werden wir zum Ausbau und zur Verbesserung unserer Testvorgehen weiter nutzen und vorantreiben.“

Damit kann eine umfassende Absicherung der sicherheitskritischen Komponenten zu verschiedenen Zeitpunkten der Entwicklung sichergestellt werden. Vor allem in Hinblick auf das autonome Fahren ist die hohe Verfügbarkeit des Lenksystems unerlässlich und muss im Test belegbar nachgewiesen werden. Virtuelle Teststände sind in Zukunft unumgänglich für diese technischen Anforderungen, wie die hohe Skalierbarkeit und die Vielzahl an Testvariablen, die das autonome Fahren mit sich bringt.



2 Für die Absicherung sicherheitskritischer Software-Systeme ist es notwendig, die unmodifizierte Software auf einem vollständig simulierten Prozessor auszuführen. Bezogen auf einen AUTOSAR-konformen Aufbau der Software wird dieses Vorgehen auch Level 4 vECU genannt und erfordert keine Bewertung der Unterschiede zwischen Ziel-Software und Teststand.

