

# Steuergeräte-Tests mit Fehlersimulation



## Umfassende Verifikation in frühen Testphasen verkürzt Entwicklungszeiten

Ein modernes Testsystem für Steuergeräte muss neben der Prüfung des Funktionsumfangs auch den Test der wichtigsten Fehlerfälle erlauben.

Dies gilt für die Kommunikations-Schnittstellen ebenso wie für die I/O-Schnittstellen des Steuergeräts. Mit speziellen Konzepten können Testsysteme schon früh im Entwicklungsprozess eingesetzt werden.

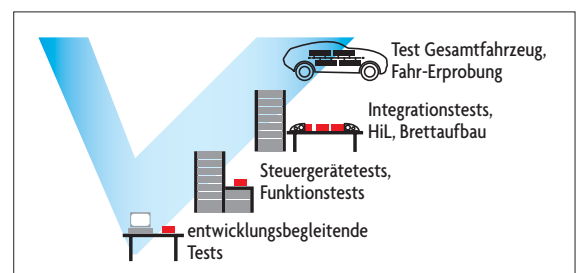
Von Dr. Stefan Krauß

Elektronik und Software sind im Automobil zu unverzichtbaren Bestandteilen geworden. Die Verifikation der Entwicklungsergebnisse umfasst deshalb nicht nur die mechanischen Systeme, sondern auch die elektronischen Steuergeräte und deren Software. Die Komplexität der stark vernetzten Systeme stellt dabei hohe Anforderungen an den Testprozess und die Testwerkzeuge. Systematische und umfassende Tests sind in allen Entwicklungsphasen notwendig. Dabei werden in der Entwicklung unterschiedliche Testverfahren genutzt (Bild 1). Vor den klassischen Testläufen mit vollständig aufgebauten Versuchsträgern in der Fahr-Erprobung und den Integrationstests am Bretttaufbau werden die Steuergeräte zuerst einzeln in den Funktionstests geprüft.

Beim Test der Steuergeräte kommt es nicht nur auf die „Gut-Fälle“ an, also auf die Abläufe, die den Normalbetrieb darstellen. Wichtig ist auch eine breite Abdeckung der möglichen Fehlerfälle. Für die Prüfung der normalen Betriebsfunktionen reicht es aus, die Steuergeräte mit den entsprechenden Original-Komponenten zu verbinden, diese zu bedienen und die Reaktionen zu beobachten. Für die Abdeckung der Fehlerzustände sind zusätzliche Einrichtungen notwendig, die zwischen Steuergeräte-Anschluss und die originalen oder simulierten Sensoren und Aktoren geschaltet werden (Bild 2). Diese Test-

komponenten werden oft als Fehlersimulatoren bezeichnet. Damit lassen sich zum Beispiel Leitungen auftreten und so Leitungsbrüche simulieren.

Für die Prüfung eines einzelnen Steuergeräts spielen neben der Ansteuerung von Ein- und Ausgabe-Schnittstellen der Hardware auch die Kommunikations-Schnittstellen des Prüflings eine wichtige Rolle. Dies stellt hohe Anforderungen an die Test-Software, da neben dem Buszugang für CAN, LIN, FlexRay oder MOST die Software- beziehungsweise Protokoll-Schnittstellen des Steuergeräts umfassend und zuverlässig zu bedienen sind, zum Beispiel die Diagnose über UDS oder die Kalibrierung über CCP/XCP. Daher hat die Auslegung der Hardware- und Software-Schnittstellen großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit, die Flexibilität und nicht zuletzt auf die Kosten eines kompletten Testsystems.



! Bild 1. In den verschiedenen Entwicklungsphasen werden unterschiedliche Testverfahren verwendet.



## ■ Herausforderung Funktionsprüfung

Für die Verifikation der Steuergeräte-Funktionen kommt es in erster Linie darauf an, dem Steuergerät ein Umfeld darzustellen, das der Umgebung im realen Fahrzeug möglichst nahe kommt. Durch Bedienung der an das Steuergerät angeschlossenen Sensoren werden die zu prüfenden Funktionen aktiviert und die Steuergeräte-Reaktionen bewertet. Ein geeignetes Steuergeräte-Umfeld kann dabei sehr unterschiedlich hergestellt werden. Wichtig ist, dass das Steuergerät keinen Unterschied zwischen realer und vom Testsystem simulierter Umgebung wahrnehmen kann. Welcher Aufwand tatsächlich betrieben wird, hängt von den Testzielen ab.

Im einfachsten Fall wird auf eine aufwendige Beschaltung verzichtet und die Steuergeräte-Eingänge werden mit einfachen Mitteln direkt bedient, beispielsweise mit Schaltern, die Verbindungen zwischen bestimmten Steuergeräte-Leitungen herstellen. Die Steuergeräte-Ausgänge bleiben im Wesentlichen unbeschaltet. Zur Prüfung der Steuergeräte-Reaktion wird zum Beispiel nur die Spannung am Ausgang gemessen. Solche Vorgehensweisen erlauben meist keine automatische Testausführung, können aber gerade während der Entwicklung leicht durchgeführt werden.

Heute lassen sich Steuergeräte in der Regel nicht mehr auf diese Art in Betrieb nehmen. Da diese in vielen Fällen die Sensoren und Aktoren automatisch überprüfen, ist deren Anschluss während des Tests unverzichtbar. Ist eine externe Komponente fehlerhaft oder nicht vorhanden, erzeugt das betreffende System Fehlerspeichereinträge, deaktiviert bestimmte Funktionen im Steuergerät oder gene-

riert Fehlermeldungen. Die Sensoren und Aktoren sind deshalb selbst für solche Tests erforderlich, bei denen die Funktion eines Sensors oder Aktors nicht von Bedeutung ist.

Eine gebräuchliche Lösung besteht darin, die Original-Sensoren und -Aktoren direkt an das Steuergerät anzuschließen. Viele Entwicklerarbeitsplätze sind zu diesem Zweck mit einfachen Anschlussboxen ausgestattet, die die notwendigen Komponenten aufnehmen und einen passenden Kabelanschluss aufweisen. In ähnlicher Weise werden die Original-Sensoren und -Aktoren auch an großen Testständen an die zu testenden Steuergeräte angeschlossen. Problematisch ist dabei die Automatisierung der Testabläufe, da hierzu die Original-Komponenten zu bedienen sind, etwa durch Bedien-Roboter.

Statt der Original-Sensoren und -Aktoren können auch Ersatzkomponenten verwendet werden. Da die Steuergeräte zur Prüfung der angeschlossenen Komponenten nur mit einfachen Messschaltungen ausgestattet sind, darf der Sensor- oder Aktor-Ersatz in der Regel ebenso einfach ausfallen. Verglichen mit der Verwendung der Original-Komponenten erlaubt dies den Aufbau kompakter und einfacher Testsysteme. Ebenso ist die Automatisierung der Bedienung bei entsprechender Auslegung relativ einfach, beispielsweise durch die Verwendung von Relais als Schalter.

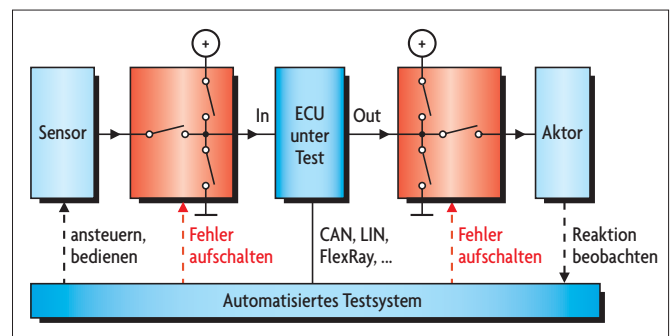
In „Hardware in the Loop“-Systemen (HiL) wird die gesamte Umgebung einschließlich der physikalischen und dynamischen Vorgänge in den angeschlossenen Komponenten modelliert. Für die Simulation und die Testausführung sind entsprechend aufwendige und kostenintensive Testsysteme notwendig, die nicht überall und nicht jederzeit zur Verfügung stehen. Das gilt auch für die dafür notwendigen Kenntnisse der Bediener.

## ■ Simulation von Fehlersituationen

Um die Reaktionen eines Steuergeräts auf Fehler in der angeschlossenen Um-

gebung zu testen, muss das Testsystem verschiedene Fehlersituationen herstellen. Ausführliche Tests unter diesen untypischen Bedingungen sind besonders wichtig, weil sie in den Fahr-Erprobungen und am Bretttaufbau nur selten auftreten und schlecht zu reproduzieren sind. Auch in der Entwicklung der Hard- und Software werden viele Fehlersituationen häufig vergessen, weil das Hauptaugenmerk der Entwickler auf den gewünschten Funktionen liegt. Für die Zuverlässigkeit der Systeme ist es jedoch von entscheidender Bedeutung, dass die Steuergeräte auch im Fehlerfall korrekt reagieren. Im Zusammenhang mit den Sensor- und Aktor-Anschlüssen sind insbesondere die folgenden Fehlersituationen zu simulieren:

► Die elektrische Verkabelung ist beschädigt: Leitungsunterbrechungen, Kurzschlüsse nach Masse oder Batte-



■ Bild 2. Zwischen den Sensoren und Aktoren und dem Steuergerät werden Fehlersimulatoren geschaltet.

riespannung, Kurzschlüsse zwischen bestimmten Anschlussleitungen.

► Sensoren oder Aktoren sind beschädigt: Sensoren liefern keine Werte, die Werte liegen außerhalb des erlaubten Wertebereichs oder die elektrischen Eigenschaften der Komponenten, wie Innenwiderstand oder Stromaufnahme, entsprechen nicht der Spezifikation.

► Falsche Eingangswerte, insbesondere falsche Sensor-Daten: Aus Sicht des Steuergeräts ist der Sensor in Ordnung, auch die Messwerte liegen im erlaubten Rahmen. Sie sind jedoch unplausibel oder widersprechen anderen Sensor-Werten, was das Steuergerät erkennen muss.

In allen Fällen muss das Steuergerät definiert weiterarbeiten. Außerdem müssen die Fehler korrekt erkannt

und entsprechende Fehlerspeichereinträge angelegt werden. Daher ist neben der Fehlersimulation, der Stimulierung von Eingangssignalen und der Prüfung von Ausgangssignalen auch ein Zugriff auf die Software-Schnittstellen des Steuergeräts notwendig, typischerweise auf die Diagnose.

### Integrierter Steuergeräte-Test

Die Analyse, Simulation und Testautomatisierung von Steuergeräten unterstützt die Vector Informatik GmbH mit dem leistungsfähigen Entwicklungs- und Test-Tool CANoe [1, 2]. Eine verlässliche Busanbindung an CAN, LIN, FlexRay oder MOST ermöglichen dabei die Vector-Hardware-Schnittstellen. Die Ansteuerung von Mess- und Test-Hardware über GPIB



**Bild 3.** Das VT-System besteht aus 19-Zoll-Standard-Gehäusen mit einer eigenen Backplane, in die die Module eingebaut werden. Abhängig von den Anforderungen sind individuelle und flexible Testlösungen möglich.

oder die serielle Schnittstelle sowie die Einbindung von Standard-I/O-Karten von verschiedenen Herstellern erlauben den Aufbau von Prüfständen unterschiedlichster Komplexität.

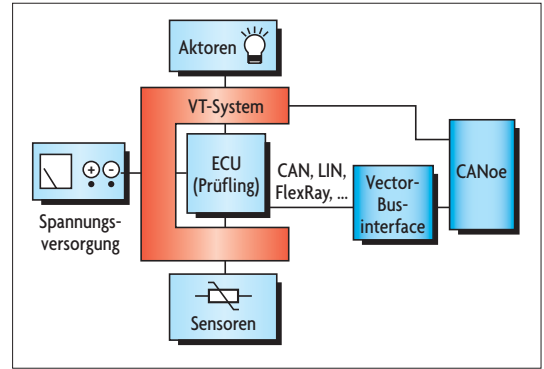
Für die Ansteuerung der Steuergeräte-I/O-Leitungen beim Test bietet Vector das VT-System (Bild 3), an das die I/O-Leitungen des Steuergeräts sowie bei Bedarf Original-Sensoren und -Aktoren angeschlossen werden (Bild 4). Der PC mit CANoe wird über ein schnelles Ethernet-basiertes Echtzeit-Netzwerk angebunden. Damit lassen sich ohne großen Integrations- und Verkabelungsaufwand flexible Testsysteme zusammenstellen. Das VT-System eignet sich sowohl für kleine Prüfaufbauten an den Arbeitsplätzen der Entwickler als auch für umfassende Prüfstände im Testlabor.

Der Aufbau von Prüfständen wird durch das VT-System erheblich vereinfacht, indem es alle für die Beschaltung eines I/O-Kanals notwendigen Komponenten auf einem Modul integriert (Bild 5). Beispiele für solche I/O-Kanäle sind der Ausgang eines Steuergeräts zur Ansteuerung einer Scheinwerferlampe oder der Eingang für den Anschluss eines Temperatursensors. Da alle Kanäle zweidrahtig angeschlossen werden, unterstützt das System sämtliche praxisrelevanten Ein- und Ausgangsarten, beispielsweise auch die Ansteuerung von Motoren über eine H-Brücke im Steuergerät.

Die auf den Modulen enthaltenen Mess- und Stimulationseinrichtungen sind, wie alle Bestandteile, für die im Automobilumfeld gebräuchlichen Spannungsbereiche bis 32 V ausgelegt. Dafür werden Einrichtungen zur Signalkonditionierung benötigt, die bereits auf dem Modul integriert sind. Die Module beherrschen auch hohe Ströme, die bei der Ansteuerung von Lampen und Motoren auftreten können. Relais auf den Modulen dienen zur Verbindung der Steuergeräte-Leitungen mit den angeschlossenen Original-Sensoren und -Aktoren.

Falsche Sensor-Daten lassen sich schon mit Original-Sensoren relativ leicht nachstellen, da hier lediglich die Sensoren unplausibel bedient werden müssen. Die Anzahl der denkbaren Wertekombinationen ist jedoch hoch. Für den systematischen Test ist daher ein hoher Automatisierungsgrad wünschenswert, um viele Fehlerbilder in kurzer Zeit reproduzierbar nachzustellen. Daher bietet es sich an, die Original-Sensoren durch elektronische Nachbildungen zu ersetzen. Diese sind auf den VT-Modulen für jeden Kanal vorhanden und lassen sich durch CANoe als Testsystem beliebig ansteuern.

Die Sensoren werden durch eine Widerstandsdekade oder über eine Spannungsausgabe mit entsprechender Signalkonditionierung simuliert. Die Stimulationseinheiten sind für jeden I/O-Kanal des VT-Systems vorhanden,



**Bild 4.** Das VT-System wird in die I/O-Leitungen zwischen Steuergerät und Aktoren beziehungsweise Sensoren eingesetzt.

so dass alle Steuergeräte-Eingänge gleichzeitig bedient werden können. Dies erlaubt die Nachbildung von Mehrfachfehlern und von komplexeren Bedienvorgängen.

Über weitere Relais sind Fehler wie Leitungsunterbrechungen und Kurzschlüsse darstellbar. Im Betrieb entstehen solche Fehler typischerweise durch beschädigte Kabel und Probleme an den Steckverbindern. Bereits bei wenigen Anschlussleitungen an einem Steuergerät besteht eine Vielzahl an Kombinationen, die kaum vollständig getestet werden können. Mit seinem Wissen um die physikalischen Gegebenheiten am Steuergerät kann der Testfall-Ersteller die Auswahl der Testfälle aber auf Einzelfehler und die wahrscheinlichen Kombinationen eingrenzen. So entstehen Kurzschlüsse am Stecker zum Beispiel nur an nebeneinander angeordneten Pins. Im VT-System sind auch hier wieder für jeden angeschlossenen Steuergeräte-Pin die notwendigen Schaltmöglichkeiten vorhanden, so dass die Auswahl der Testfälle nicht eingeschränkt ist und auch hier Mehrfachfehler abgedeckt werden können.

Etwas schwieriger ist die Nachbildung von Sensor- und Aktor-Schäden. In diesem Fall kann nicht mehr auf Original-Komponenten zurückgegriffen werden, da der Aufwand unverhältnismäßig hoch ist, diese entsprechend zu präparieren. Im Prüfstand arbeitet man daher mit simulierten Komponenten. Die Simulation muss nicht „perfekt“ sein. Es ist in der Regel ausreichend, wenn die Eigenschaften der Sensoren und Aktoren nachgebildet und diese vom Steuergerät erkannt und ausgewertet werden. Im VT-System

steht für die Aktor- oder Last-Simulation für jeden Steuergeräte-Ausgang eine elektronische Last zur Verfügung. Für die Simulation fehlerhafter Sensoren werden wieder die oben beschriebenen Sensor-Nachbildungen durch die Widerstandsdekade oder den Spannungsausgang verwendet. Wenn die integrierten Komponenten einmal nicht ausreichen sollten, besteht die Möglichkeit, über Sammelschienen externe Lastnachbildungen, Sensor-Simulationen oder Mess- und Prüfgeräte anzuschließen.

Die Testfall-Erstellung verursacht einen wesentlichen Anteil an den gesamten Testkosten. Für effizientes Arbeiten benötigt der Entwickler deshalb nicht nur die richtige Hardware-Unterstützung, sondern auch eine optimale Einbindung in das Testautomatisierungswerkzeug. In CANoe stehen nach einer einfachen Konfiguration des VT-Systems alle relevanten Daten als Systemvariablen zur Verfügung. Diese wählt der Anwender im Test Automation Editor über eine grafische Oberfläche aus und setzt sie in den Testabläufen ein (Bild 6). Die Ein- und Ausgabesignale sowie die meisten Steuersignale sind damit auf die gleiche Weise anzusprechen wie die Bussignale der Kommunikations-Schnittstellen. Das VT-System bindet sich somit nahtlos in die CANoe-Testumgebung ein.

## Flexibles Testsystem für Steuergeräte

Der automatische Test von Steuergeräten stellt vielfältige Anforderungen an die Ansteuerung der Steuergeräte-Schnittstellen und der I/O-Kanäle durch das Testsystem. Für den Test der Funk-

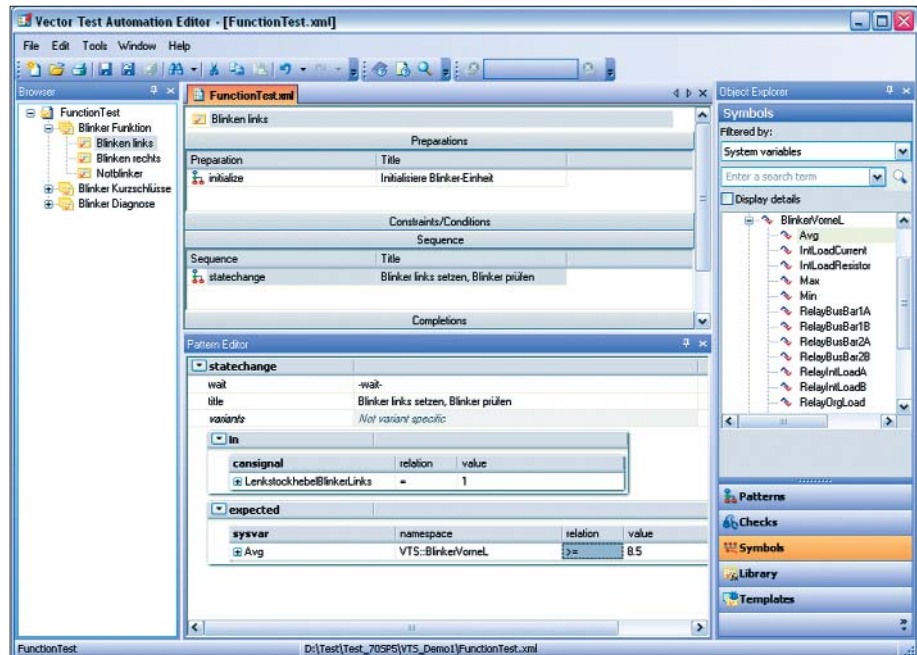


Bild 6: Die Mess- und Ausgabesignale des VT-Systems sind in CANoe direkt verfügbar – hier auf der rechten Seite im Test Automation Editor.

tionen im Normalbetrieb müssen im Wesentlichen die Sensor-Eingänge am Steuergerät bedient und die Reaktionen an den Aktor-Ausgängen bewertet werden. Für die Darstellung der Fehlerfälle sind zusätzliche Komponenten in den Testsystemen notwendig, die unplausible Sensor-Daten, Probleme in der Verkabelung und Sensor- und Aktor-Ausfälle simulieren können.

Mit dem VT von Vector steht dem Testingenieur ein kompaktes und zugleich leistungsfähiges System für den Anschluss der Steuergeräte-I/O-Kanäle an ein Prüfsystem mit CANoe zur Verfügung. Das modulare System hält für jeden Kanal alle wesentlichen Komponenten zur Last- und Sensor-Anschaltung sowie -simulation bereit. Auch für das Anlegen der unterschiedlichen Fehlersituationen sind die not-

wendigen Einrichtungen vorhanden. Mit diesen Funktionen und Eigenschaften erlaubt das VT-System zusammen mit CANoe den einfachen Aufbau flexibel anwendbarer Testsysteme für Steuergeräte im Automobilbereich. *ju*

## Literatur

- [1] Riegraf, T.; Beeh, S.; Krauß, S.: Effizientes Testen in der Automobilelektronik. ATZ (Jg. 108), Ausgabe 7/8, 2007, S. 648 bis 655.
- [2] [www.vector-informatik.de/canoe](http://www.vector-informatik.de/canoe)

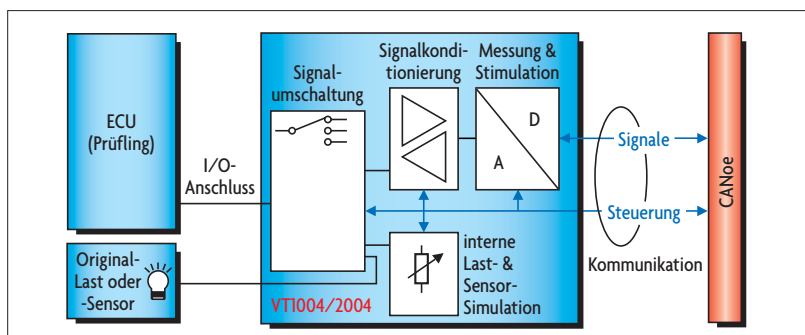


Bild 5. Alle notwendigen Komponenten für den Test eines I/O-Kanals des Steuergeräts sind in den VT-Modulen enthalten.



Dr. Stefan Krauß

studierte von 1990 bis 1995 Informatik an der Universität Stuttgart. Nach dem Diplomabschluss arbeitete er dort bis 2001 am Institut für Informatik in der Abteilung Software Engineering als wissenschaftlicher Mitarbeiter. Seit 2002 ist er bei der Vector Informatik GmbH in Stuttgart tätig, derzeit als Produktmanager für das VT-System. [stefan.krauss@vector-informatik.de](mailto:stefan.krauss@vector-informatik.de)