



Test-Engineering bei der Entwicklung von Motorsteuergeräten

Die größte Anzahl der Innovationen gibt es im Automobilbau in der Elektronikentwicklung. Immer umfangreichere Funktionsanforderungen müssen in immer kürzeren Zeitabständen bei hoher Qualität und geringen Kosten verwirklicht werden. Die IAV GmbH ist als Test-Haus mit ihrer langjährigen Serienentwicklungserfahrung in der Lage, Steuergeräte und ihre Funktionen in die vernetzte Fahrzeugumgebung zu integrieren und zuliefererunabhängig im Auftrag des OEMs zu bewerten. Als „neutraler Dritter“ übernimmt sie so wesentliche Absicherungsaufgaben. Dieser Beitrag beschreibt einen realisierten Testprozess und die Testdurchführung bei Motorsteuergeräten.

1 Einleitung

Bei der Motorsteuergeräteentwicklung sind im V-Entwicklungsprozess, **Bild 1**, qualitätssichernde Maßnahmen wie ein durchgängiger Testprozess notwendig. Basierend auf der Automotive-Spice-Prozessbeschreibung [2] und ergänzt um die Hardware-Testaspekte, garantiert er das frühzeitige Erkennen von Fehlern und schafft kostengünstige Änderungsmöglichkeiten während des Entwicklungsprozesses.

2 Testprozess

Beim Testprozess im Hause IAV sind Integrationen und Tests verschiedener Komponenten zu berücksichtigen; zudem werden einige Stufen mehrfach durchlaufen. Zur übersichtlicheren Darstellung sind die Software-Komponenten (Basis- und Funktionssoftware) zusammengefasst.

Folgendes Szenario wird für die Teststufenbeschreibung angenommen: Neuentwicklung eines Kompletsteuergerätes (Hardware und Software). Die Aufzählung der Teststufen im Folgenden entspricht der zeitlichen Abarbeitungsreihenfolge.

Der Software-Modul-Test (kurz SW-Modul-Test) überprüft getrennt für Basis- und Funktionssoftware die Module, **Bild 2**, gegen festgelegte Regeln und auf Serientauglichkeit, zum Beispiel durch Code-Review. Mit Testvektoren aus MOTCase-X (siehe Abschnitt 3.1) werden vorwiegend automatisierte Tests ohne Beachtung der physikalischen Funktion durchgeführt.

Der SW-Integrations-Test prüft die Einhaltung der Programmierrichtlinien und das zeitliche Verhalten (Unterabtastung etc.) getrennt für Basis- und Funktionssoftware als automatisierter Schnittstellentest der integrierten Module (zum Beispiel Definitionsbereich und Nomenklatur (Autosar)). Methodisch wird statisch in Bezug auf Nomenklatur und Wertebereich sowie dynamisch in Bezug auf Zeitverhalten und Fehlerbehandlung bei Grenzwertverletzungen getestet.

Der Hardware(HW)-Komponenten-Test prüft die einzelnen Schaltungsteile eines Steuergerätes. Review, Simulation und detaillierte Vermessung verifizieren das Design am Prototypen-Hardware-Modul in frühen Steuergeräte-Entwicklungsphasen und helfen bei der Designentscheidung, **Bild 3**.

Der HW-Funktions-Test überprüft die Einhaltung der Hardwarespezifikation,

Die Autoren



Dipl.-Ing. Andreas Greff ist Fachbereichsleiter Mechatronik Otto-Systeme bei der IAV GmbH in Gifhorn.



Dr.-Ing. Heiko Hepp ist Abteilungsleiter Systemintegration und Test bei der IAV GmbH in Gifhorn.



Dipl.-Ing. Thorsten Röhrs ist Projektleiter und Testmanager bei der IAV GmbH in Gifhorn.



Dipl.-Ing. Thomas Mierwald ist Safety Manager bei der IAV GmbH in Gifhorn.



Dipl.-Ing. Carsten-Stephen Kulkwitz verantwortet die Entwicklung für Software-testprozesse bei der IAV GmbH in Gifhorn.

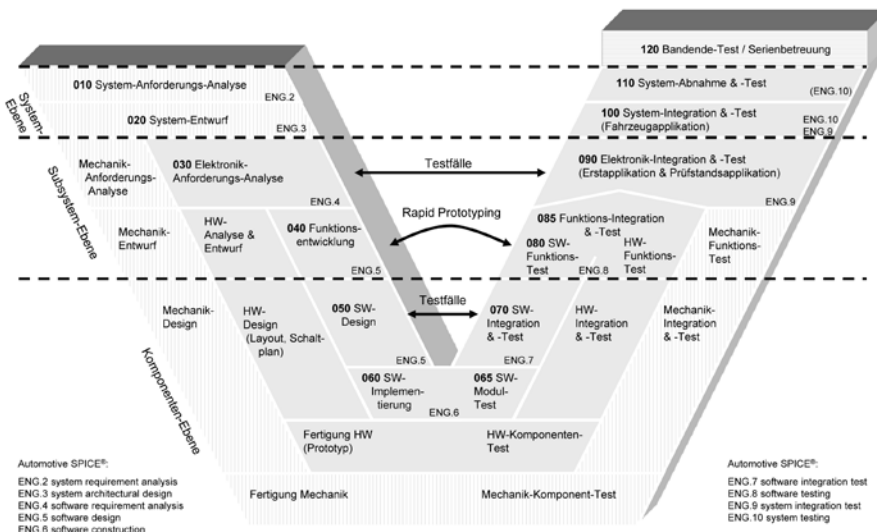


Bild 1: V-Entwicklungsprozess (nach [1])

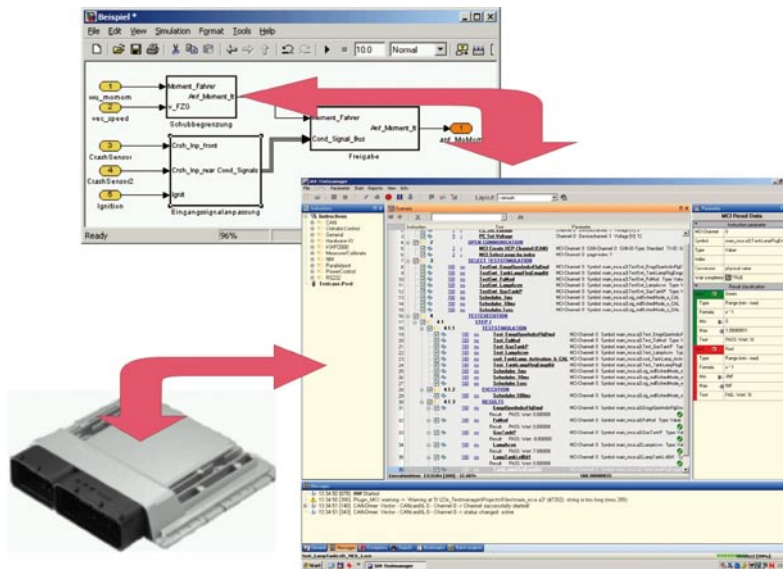


Bild 2: SW-Modul-Test

zum Teil mit spezieller Software. Automatisierte Tests werden aufgrund der Reproduzierbarkeit der Prüfungen durchgeführt und sind grundlegende Voraussetzung für die Hardware-Qualifikation.

Die HW-Qualifikation verifiziert das Steuergerät basierend auf den Systemanforderungen und dem Qualifikationsplan thermisch, elektrisch und mechanisch. Die Validierungsabdeckung resultiert aus der Prüfungsverkettung. Prüfkriterien und -parameter werden gemäß Kundenanforderung und IAV-Hausnorm festgelegt.

In der Praxis hat sich die gemeinsame Durchführung von Funktions-Integrations-Test (Basis-SW und -HW) und SW-Funktions-Test (Basis-Software) bewährt. Testziele sind die Funktionssicherstellung der Steuergerätebauteilansteuerung sowie die Überprüfung der Funktions-SW-Erfordernisse (Signalberechnung und Zeitscheibenbereitstellung). Weiterhin erfolgen hier die Prüfung der I/O-Port-Treiberansteuerungen und die Kontrolle der Grundfunktionen beziehungsweise Funktionen (zum Beispiel Bootloader und EEPROM/Flash-Speicher).

Der SW-Funktions-Test überprüft mit Positiv- und Negativfällen die Einhaltung der Anforderungen (Requirements) der physikalischen Berechnungen und Funktionen. Bei den Negativ-Tests werden Beobachtermodelle für eine Kombination von Ausgangssignalen aufgebaut, die nicht zu

sammen auftreten dürfen, und es erfolgt die Berechnung der Eingangssignale, die zusammen mit einem möglichen Applikationswert zu einem nicht gewünschten Verhalten führen würden, jeweils bezogen auf ein einzelnes Modul. Die Positiv-Tests erfolgen durch Überprüfung der Funktionen gegen die Requirements.

Der Funktions-Integrations-Test prüft, ob integrierte Funktionen fehlerfrei arbeiten (Positiv- und Negativfall, siehe vor-

herige Teststufe). Berechnete Werte der Vorgängermodule werden durch nachfolgende Module verstanden und weiter verarbeitet. Der zweite Durchlauf dieser Teststufe überprüft die Integration der Funktions-, Basis-Software und der -Hardware. Dieser Test sichert den Signalweg vom Steuergerätepin bis in die Funktionssoftware (erster Messpunkt) und von der Funktionssoftware bis zum Steuergeräteausgang ab. Die Schnittstelle zwischen Funktions- und Basissoftware bezüglich aller ausgetauschten Werte wird sichergestellt.

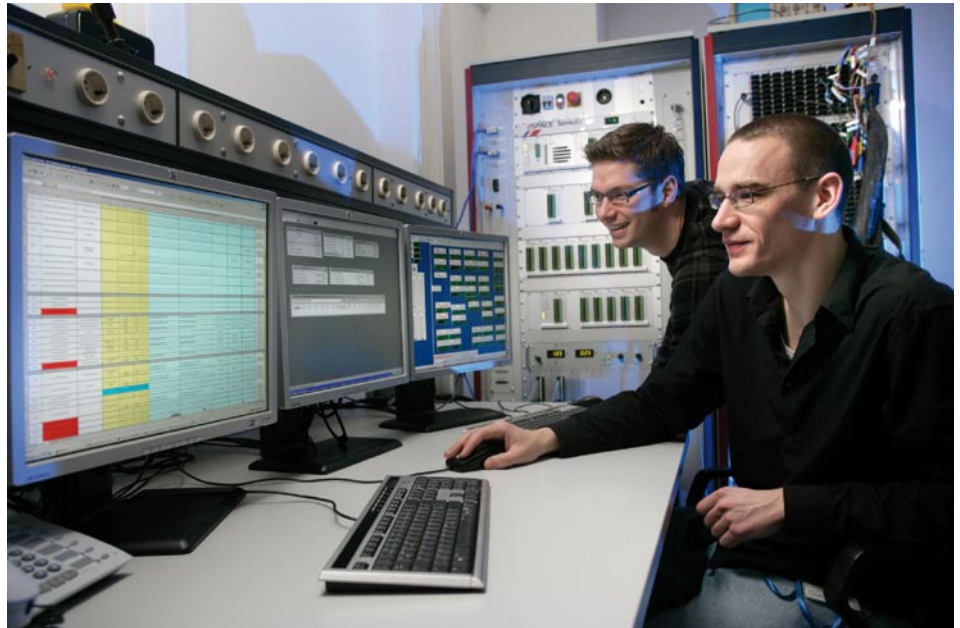
Der Elektronik-Integrations-Test ist ein Integrationstest der Pilot- und Prüfstandsapplikationen gegen die Requirements und/oder Funktionstestergebnisse. Die Tests erfolgen am Prüfstand, als dynamischer Test mit der Simulation und den realen Komponenten. Der Begriff Prüfstand beinhaltet Hardware-in-the-Loop(HiL)-Simulator und Motorprüfstand sowie gegebenenfalls weitere Systeme.

Der System-Integrations-Test weist (zum Beispiel bei Erprobungen) ein den System-Anforderungen entsprechendes Zielsystem im Fahrzeug nach (Ziel: Sicherstellung aller Funktionalitäten). Zulassungsrelevante Tests gehören in diesen Bereich. Der System-Akzeptanz-Test ist die Abnahmefahrt mit/durch den Kunden.



Bild 3: HW-Komponenten-Test

Bild 4: Elektronik-Integrations-Tests am HiL-Prüfstand



3 Testdurchführung

Während bei dem Systemlieferanten der Fokus auf der Absicherung seiner Systemkomponenten liegt, betrachtet der OEM die Integration und Absicherung des Gesamtsystems. Diese Aufgabe lässt sich durch die Wettbewerbssituation zwischen den Lieferanten nur schwer auf diese übertragen, sie kann und wird jedoch

durch die IAV übernommen. Testprozess und -durchführung variieren OEM-spezifisch. Die nachfolgende Beschreibung kann daher nur einen Auszug abbilden. Grundsätzlich ermöglicht ein verstärkter Tooleinsatz, eine geschlossene Toolkette, ein hohes Maß an Automatisierung und ein strukturiertes Testmanagement effizientes, kosten- und zeitoptimiertes Testen und damit kürzere Entwicklungszeiten.

3.1 Testautomatisierung

Die Testautomatisierung steigert Effizienz und Reproduzierbarkeit von Testvorbereitung und Testdurchführung [3]. So werden beispielsweise für Range-Checks Signaleigenschaften aus CAN-Matrizen importiert und zur automatisierten Generierung von Testszenarien benutzt. Die Auswertung und Berichterstellung erfolgt automatisiert durch Skripte und



Wissen ohne Umwege.

ATZonline ist die Plattform für automobiles Wissen, die Entwicklungen mit Aktualität und Wissen beschleunigt.

- News und Interviews
- Internationales Fachartikelarchiv
- Newsletter
- Karriere-Nachrichten und -Messen
- ATZblog
- Veranstaltungskalender
- ATZlive-Vorträge
- Whitepaper, WebTV und Galerie

Fundiert recherchiert, mit Hintergründen und Insiderinformationen. Suchen Sie nicht länger. Finden Sie Ihren Wissensvorsprung jetzt auf: www.ATZonline.de

ATZonline Besser wissen. Schneller schalten.



Bild 5: Normgerechte Tests für Hard- und Software am Fahrzeug

Templates, was bei wiederkehrenden Messungen erheblichen Zeitvorteil bringt.

Die Testsequenzsteuerung wird automatisch aus diversen Quellen erzeugt und bietet direkte Hardware-Anbindung (zum Beispiel, um über FPGA-Technik Steuergeräte zu stimulieren). Zur Wiederverwendung von Testfällen bei der Überprüfung der Funktionalität (MiL, SiL, PiL und HiL) wird unter anderem Silest (Software in the Loop for Embedded System Test) genutzt.

Die manuelle Erstellung von Testfällen ist sehr zeitaufwendig. Mit der automatisierten Testfallerstellung MOTCase-X (Model-based Test Case Extractor), dem Testfallgenerator der IAV für modellbasiert entwickelte Funktionen, wird die Erstellung von Testplänen und -skripten deutlich vereinfacht und der Unit- oder Modul-Testaufwand reduziert.

Die erzeugten Testfälle mit automatisierten entwicklungsbegleitenden Tests reduzieren bei höherer Softwarequalität den Projektaufwand. Funktionsmodelle dienen als detailliertes Anforderungsmodell. MOTCase-X nutzt die in den verifizierten Modellen enthaltenen Informationen, um daraus Testfälle zu erzeugen, mittels derer die Übereinstimmung des erzeugten Codes auf dem Steuergerät mit dem des Modells überprüft wird.

Mit dem Hardware-in-the-Loop(HiL)-Simulator, **Bild 4**, werden fahrzeugunabhängig systematisch Tests durchgeführt.

Einfache Stimuli- oder Messsysteme bis zu vernetzten Fullsize-HiL-Prüfständen für Open- oder Closed-Loop-Tests sind im Einsatz. Sehr effektiv lassen sich Testfälle auf den Gebieten Power-up/Power-down-Tests und OBD-Tests mit dem HiL-Simulator automatisieren.

Bei Power-up-/Power-down-Tests vom Motorsteuergerät lassen sich Startverhalten und Probleme bei bestimmten Betriebsspannungen nachstellen. Aufgenommene Spannungsverläufe werden gezielt nachgefahren und Auffälligkeiten am HiL-Simulator lokalisiert. Bei OBD-Tests werden mittels einer Fehlersimulation elektrische Fehler stimuliert. Auch die Beeinflussung von CAN-Botschaften (zum Beispiel Timeouts) ist automatisierbar. Bei neuen Software-Releases werden die automatisierten Testfälle für Regressionstests verwendet. Testautomatisierung und Testfallwiederverwendung reduzieren Zeit und Kosten.

3.2 Testmanagement

Ein strukturiertes Testmanagement beinhaltet die Koordination von Testprozess und Testinfrastruktur. Des Weiteren ist die Verwaltung der Entwicklungsstände von Hard- und Software sowie der Testfälle (gegebenenfalls mit Testsystemansteuerung) und deren Ergebnisse, einschließlich Fehlerverfolgung, mit inbegriffen. Basierend auf der Testplanung, der festgelegten Teststrategie (bezüglich Krite-

rien und Risiko) und den genannten Punkten koordiniert der Testmanager, der nach der Vereinigung „International Software Testing Qualification Board“ (ISTQB) ausgebildet ist, die Aktivitäten und verantwortet die Freigabe der einzelnen Stufen. Dabei hilft ein Testmanagementtool, wie zum Beispiel der „Quality-Center“ von Hewlett-Packard.

3.3 Test von Hybridantrieben

Die Übertragung der Testgewerke auf Hybridantriebe ist möglich, erfordert aber angepasste Prüfstände, Messverfahren und -tools sowie durch die verteilten Systeme umfangreichere Integrations- und Systemtests. Unabhängig davon, ob die Funktionen des Hybridmanagers mit in der Software des Motorsteuergerätes oder in einem übergeordneten Steuergerät realisiert sind, werden die Teststufen bis zum SW-Funktions-Test, wie bereits beschrieben durchgeführt.

Beim Elektronik-Integrations-Test erfolgen Tests der Leistungselektronik (zum Beispiel Impulswechselrichter) sowie des Batteriemangers einschließlich der Hochvoltbatterie an speziellen Prüfständen (zum Beispiel Batteriesimulator). Hier wird auch das Zellenmodell des Batteriemangers (zum Beispiel Alterungszustand) verifiziert. Abgasbeeinflussende Hybridkomponenten und -funktionen (OBD II) werden hier und beim Systemintegrationstest überprüft. Untersuchungen zum

Nachweis der Betriebsfähigkeit sowie der spezifischen Betriebsarten (zum Beispiel Start/Stop und Rekuperation beim Bremsen) erfolgen beim System-Integrations-Test.

3.4 Funktionale Sicherheit

Steuergerätekomplexität und Vernetzung bedingen ein hohes Fehlverhaltenrisiko mit eventuell schwerwiegenden Folgen. Im Schadensfall wird hinsichtlich der Produkthaftung die Frage geklärt: Wurde nach dem Stand der Technik entwickelt? Das Ergebnis hat unternehmerische Folgen bis zum einzelnen Entwickler (§828 BGB Personenhaftung). Die Norm IEC 61508 ist für funktionale Sicherheit der Stand der Technik; weiterhin wird zunehmend die Norm ISO CD 26262 berücksichtigt. Der Nachweis funktionaler Sicherheit dient dazu, dass Risiko eines Schadens und seine Auswirkungen auf ein minimales, tolerierbares, für die Gesellschaft akzeptierbares Risiko zu senken, **Bild 5**.

Ein normgerecht gelebter Sicherheitsprozess für die Entwicklungsabteilung

mit klaren Definitionen und Verantwortlichkeiten einschließlich Safety-Management ist das Mittel zur Umsetzung der Normen. Die zusätzlichen Kosten werden kalkulierbar. Die Analyse und der Test der zu entwickelnden Komponenten sind über die im Sicherheitsprozess definierten Maßnahmen und Werkzeuge (zum Beispiel Gefährdungs- und Risikoanalyse) notwendig, selbst wenn sich herausstellt, dass die Komponente unkritisch ist.

Aus den Safety-Requirements der zu entwickelnden Komponenten entstehen die Safety-Testfälle. Synergien zwischen safety-unabhängigen Testfällen und Safety-Testfällen reduzieren die Kosten (wichtig dabei ist, safety-relevante Testfälle zu kennzeichnen und eindeutig zu verknüpfen).

4 Fazit

Als qualitätssichernde Maßnahme ist bei IAV das Testen zu einem wesentlichen Bestandteil der Steuergeräteentwicklung

geworden. Ein früh einsetzender, durchgängiger Testprozess für Hard- und Software hilft Fehler rechtzeitig und nahezu umfassend aufzudecken.

Eine durchgängige Toolkette ohne Schnittstellenverluste, die Wiederverwendung von Testfällen in den einzelnen Teststufen sowie konsequente Automatisierung der Tests führt zu Effizienzsteigerung und Kostenreduktion. Durch den Einsatz eines Testmanagementsystems zur Verwaltung von Requirements und Testfällen ist auch nach Jahren die Nachverfolgbarkeit der Qualitätsabsicherung gewährleistet.

Literaturhinweise

- [1] Bender, K.: Embedded Systems – qualitätsorientierte Entwicklung. Springer-Verlag, Berlin, 2005
- [2] Müller, M.; Hörmann, K.; Dittmann, L.; Zimmer, J.: Automotive Spice in der Praxis – Interpretationshilfe für Anwender und Assessoren. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2007
- [3] Pol, M.; Koomen, T.; Spillner, A.: Management und Optimierung des Testprozesses. dpunkt.verlag, Heidelberg, 2002



The new dimension of information:
eMagazines!

One click – all the latest news! Experience our electronic magazines in English. You simply flip through the pages via mouse click. But there is far more to the new electronic magazine:

- **No distribution cost**
- **Keyword search**
- **Online archive**
- **6 issues ATZautotechnology for free**



Please send my subscription to:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> ATZ
(11 issues/269,- Euro)* | <input type="checkbox"/> ATZelektronik
(6 issues/131,- Euro)* |
| <input type="checkbox"/> MTZ
(11 issues/269,- Euro)* | <input type="checkbox"/> ATZproduktion
(6 issues/131,- Euro)* |

to the following e-mail address:

E-mail _____

Date/signature _____ 311 08 009

* annual subscription rate

Please send the print version of ATZautotechnology to the following address:

(this is automatically included in the price of my subscription)

Name _____ Company _____

Department _____ Position _____

Address _____ Postal code _____

City _____ Country _____

Springer Automotive Media subscription service
Abraham-Lincoln-Str. 46 | D-65189 Wiesbaden
Phone: +49 611.7878-151 | Fax: +49 611.7878-423
SpringerAutomotive@abo-service.info | www.ATZonline.com