

P.A.T.E. – Eine neue Integrations- und Automatisierungsplattform für den Test von elektronischen Steuergeräten im Automobil

Gerd Baumann, Michael Brost und Hans-Christian Reuss
FKFS - Forschungsinstitut für Krafffahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart

6. Internationales Stuttgarter Symposium Krafffahrwesen und Verbrennungsmotoren,
Stuttgart, 22. - 24. Februar 2005

Kurzfassung

Mit der gestiegenen Komplexität der Kfz-Elektronik und -Software sind auch die Anforderungen an Testverfahren in der Entwicklung gewachsen. Hardware-in-the-Loop-Simulatoren und Laborauto-Aufbauten sind in den Entwicklungsabteilungen vieler Fahrzeughersteller und Systemlieferanten zu finden. Als Ergänzung zum Fahrversuch decken solche Anlagen wichtige Teilaufgaben bei der Entwicklung und Integration von Kfz-Elektronik ab, vor allem in frühen Entwicklungsphasen. Aussagen von erfahrenen Elektronikentwicklern belegen jedoch, dass diese Verfahren nur bedingt für die grundlegenden, sich häufig wiederholenden Prüfaufgaben geeignet sind, die den Entwicklungsprozess in hohem Maße prägen und die Zuverlässigkeit des Serienfahrzeugs signifikant beeinflussen.

Nach einer Einführung in die Grundlagen und Anforderungen automatischer Testverfahren wird das neue P.A.T.E.-System (Personal Automatic Tester for Electronics) vorgestellt, das am FKFS entwickelt wurde, um diese Lücke zu schließen. Es handelt sich um eine einfach zu bedienende Testumgebung, die aufgrund ihrer modularen und wirtschaftlichen Konzeption sowohl als Standalone-Tester am einzelnen Arbeitsplatz als auch für größere Prüfaufbauten in der Entwicklung bei OEMs und Elektronik-Zulieferern geeignet ist und auch im Versuchsfahrzeug eingesetzt werden kann. Der Beitrag beleuchtet die Zielsetzungen und ausgewählte Anwendungen des Testsystems.

Zielsetzung und Anwendungen

Folgende Ziele für das P.A.T.E.-Konzept wurden in enger Zusammenarbeit mit Entwicklungsingenieuren aus der Automobilindustrie identifiziert und konsequent umgesetzt:

- **Bedarfsorientierung:** Das System muss den tatsächlichen und alltäglichen Testbedarf des Systementwicklers abdecken. Jeder nutzlose Overhead ist zu vermeiden.
- **Flexibilität:** Das Testsystem muss sich an den bestehenden Entwicklungsprozess anpassen und nicht umgekehrt. Das heißt, die Integration bereits vorhandener Prozesse und Werkzeuge muss möglich sein.
- **Wirtschaftlichkeit:** Da im Idealfall für jeden Entwickler-Arbeitsplatz ein Tester verfügbar sein soll, kommt dem Anschaffungspreis hohe Bedeutung zu. Genauso wichtig ist die einfache Bedienung der Testumgebung ohne zeit- und kostenintensive Einarbeitung.

Das P.A.T.E.-System ist für alle Bereiche der Kfz-Elektronik geeignet, z.B.:

- Antrieb (Motor- und Getriebesteuerung)
- Fahrwerk (Bremse, Fahrdynamikregelung, Lenkung, adaptive Fahrwerke)
- Karosserie und Innenraum (Türen, Sitze, Klima, Beleuchtung, Bordnetz).
- Fahrerassistenzsysteme (Abstandsregelung, Einparkhilfe)

Funktionsweise

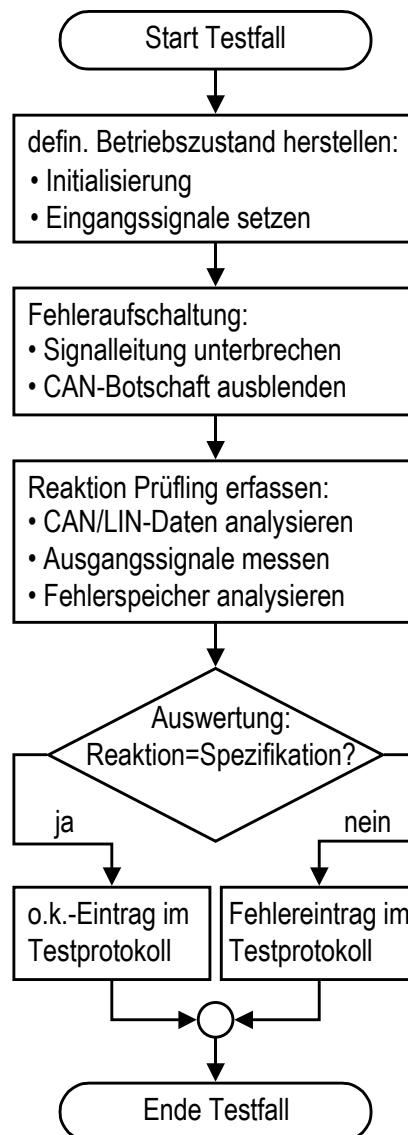


Bild 1: Prinzipieller Testablauf

Die Aufgabe von P.A.T.E. ist die Verifizierung der Funktion elektronischer Steuergeräte und deren Peripherie, typischerweise im Rahmen der Entwicklung und Serienfreigabe. Dabei wird das tatsächliche Verhalten einer Komponente mit dem Soll-Verhalten verglichen. Dieses Prinzip ist in Bild 1 am Beispiel eines einzelnen Testfalls skizziert. Zu Beginn wird der Prüfling initialisiert und in einen definierten Betriebszustand versetzt, indem bestimmte Werte für die Versorgungsspannung, die Sensorsignale und die Werte auf den CAN- oder LIN-Datenbussen vorgegeben werden.

Bei Bedarf werden Fehler generiert, z.B. durch Kurzschluß von Signalleitungen, Verfälschung von CAN/LIN-Nachrichten oder unplausiblen Sensorwerten . Anschließend wird die Reaktion der Elektronik erfasst und bewertet, beispielsweise durch Messung von Ausgangssignalen, Analyse der Datenkommunikation und Auslesen des Fehlerspeichers über die Diagnoseschnittstelle.

Diese Reaktion wird mit der spezifizierten Reaktion verglichen. Das Vergleichsergebnis (o.k. oder fehlerhaft) wird im Testprotokoll eingetragen. Durch Aneinanderreihung zahlreicher Testfälle wird eine komplette Funktionsprüfung des Steuergerätes ermöglicht. Bei Testende erhält der Anwender einen übersichtlichen Testbericht mit einer detaillierten Beschreibung eventuell aufgetretener Abweichungen von der Spezifikation.

Ein Beispiel: Jeweils nach der Übergabe eines neuen Steuergeräte-Entwicklungsmusters oder einer neuen Software-Version durch den Zulieferer werden beim Fahrzeughersteller verschiedene Tests durchgeführt, um den Entwicklungsfortschritt nachzuvollziehen und für die Freigabe zu dokumentieren. Einige typische Fragestellungen dabei sind:

- Stimmen die Identifier und Zykluszeiten der CAN-Kommunikation mit der Spezifikation überein ?
- Werden Kurzschlüsse und Unterbrechungen von Signalleitungen korrekt erkannt und im Fehlerspeicher eingetragen ?
- Wurden geänderte Spezifikationen von Sensoren oder Aktuatoren bei der Implementierung der Diagnose berücksichtigt ?
- Geht die Elektronik bei Bordnetz-Unterspannung in den spezifizierten Notlaufbetrieb ?
- Wurde das Netzwerkmanagement korrekt implementiert ?
- Überschreitet der Ruhestrom den maximal zulässigen Wert ?
- Wurde der Fehler, der bei der vorangegangenen Software-Version aufgetreten ist, in der neuen Version beseitigt ?

Ähnliche Fragen ergeben sich auch, wenn Applikationsparameter modifiziert wurden, oder nach einer Veränderung äußerer Bedingungen, z.B. bei zusätzlichen Teilnehmern in einem CAN-Netzwerk.

Alles unter einem Hut - Die P.A.T.E. Integrationsplattform

Die oben beschriebenen Prüfungen werden bis heute in vielen Fällen manuell durchgeführt, entweder im Fahrversuch oder im Labor. In beiden Fällen werden in der Regel vielfältige Hilfsmittel verwendet, z.B. Messgeräte, Diagnose-Tester, CAN-Analysewerkzeuge bis hin zur elektronischen Fahrzeugnachbildung („Laborauto“). Hinzu kommen Stromversorgungen, Signalgeneratoren, und weitere Softwaretools, z.B. Applikationswerkzeuge. In Bild 2 ist ein Beispiel für einen derartigen Versuchsaufbau dargestellt. Das zu prüfende Steuergerät ist über eine Breakout-Box mit dem „Laborauto“ verbunden, das Nachbildungen der Sensoren und Aktuatoren enthält. Mit einem Diagnose-Tool kann über CAN auf die Diagnosefunktionen zugegriffen werden. Eine Restbussimulation und eine Stromversorgung (Labornetzgerät) vervollständigen den Aufbau. Alle Geräte und Softwaretools werden vom Anwender manuell bedient.

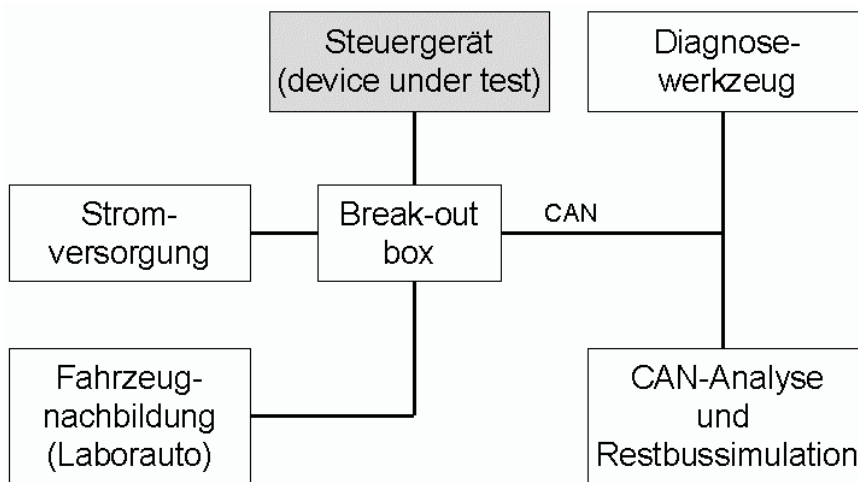


Bild 2: Testumgebung mit manueller Bedienung

P.A.T.E. stellt eine Integrations- und Automatisierungsplattform für solche heterogenen Testkonfigurationen zur Verfügung. Ein wesentliches Merkmal von P.A.T.E. sind offene Schnittstellen zur Interaktion mit Produkten von Drittanbietern, so dass bestehende Testaufbauten in vielen Fällen weiterverwendet werden können. In Bild 3 ist eine Add-On-Konfiguration dargestellt, die in ähnlicher Weise bei einem OEM realisiert wurde.

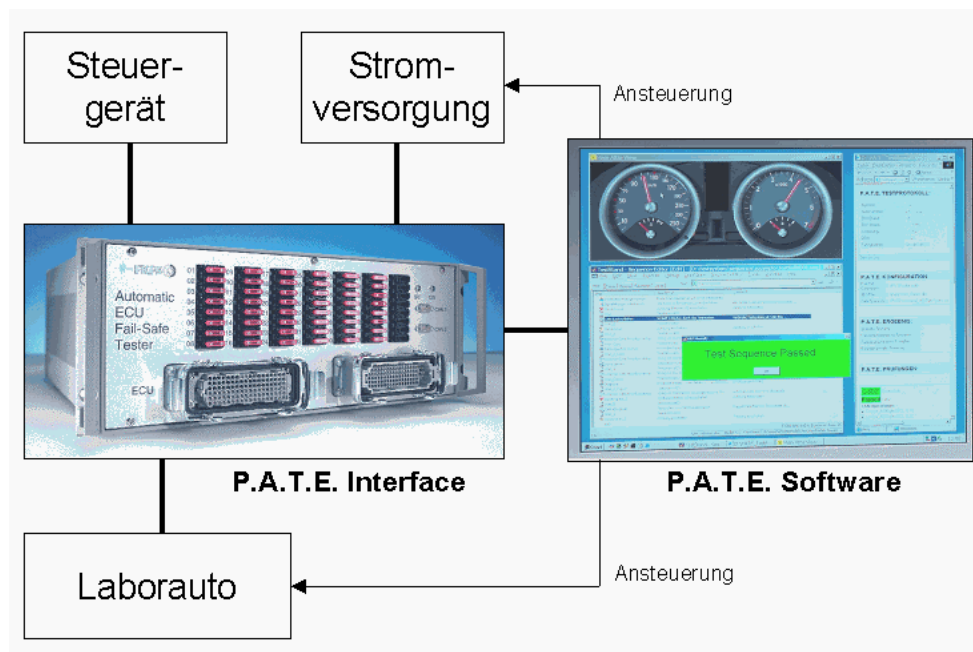


Bild 3: P.A.T.E.-System als Erweiterung eines bestehenden Testaufbaus

Kernstück des Systems ist das P.A.T.E.-Interface, das zwischen Steuergerät und Fahrzeugnachbildung bzw. Lastbox eingefügt wird. Die Einheit ersetzt die Breakout-Box und ermöglicht die Simulation elektrischer Fehler (z.B. Unterbrechungen und Kurzschlüsse aller Signalleitungen) und die Manipulationen der Datenbusse, z.B. Verfälschung von CAN- oder LIN- Nachrichten. Das Interface ist äußerst robust ausgeführt und verfügt über umfangreiche Sicherheitsmaßnahmen, um gefahrlose Versuche auch mit sehr hohen Strömen zu ermöglichen. Weiterhin enthält das P.A.T.E.-Interface Schnittstellen zur Analyse von Sensor- und Aktuator signalen. Im

dargestellten Fall wurden das vorhandene Laborauto und die Stromversorgung aus wirtschaftlichen Gründen weiterverwendet. Beide Geräte werden über geeignete Schnittstellen aus der P.A.T.E.-Testautomatisierung heraus „ferngesteuert“.

Eine herausragende Eigenschaft des P.A.T.E. - Systems ist die Möglichkeit zur Integration von Fremd-Software. Im Beispielfall wurde eine bestehende, umfangreiche Restbussimulation auf Basis des verbreiteten Werkzeugs Canalyzer^(R) unverändert übernommen. Dieses Tool wird jedoch nicht mehr manuell bedient, sondern über eine Software-Schnittstelle ferngesteuert. Der vorher verwendete Diagnose-Tester wurde durch das universelle P.A.T.E.-Diagnosemodul ersetzt, das die Diagnose über CAN und K-Line mit allen bekannten Protokollen ermöglicht. Das Kombiinstrument wird als virtuelle Komponente auf dem Bildschirm dargestellt.



Bild 4: P.A.T.E.-Testumgebung für Fahrdynamikregelung

Für neu aufzubauende Testumgebungen bietet sich eine P.A.T.E. - Komplettlösung an. In diesem Fall umfasst das P.A.T.E.-Interface eine vollständige Fahrzeugnachbildung einschließlich Stromversorgung, CAN-Simulation usw. Dadurch ergibt sich ein übersichtlicher und zuverlässiger Aufbau. Reale Komponenten wie Sensoren und Aktuatoren können bei Bedarf zusätzlich und auch nachträglich integriert werden. Bild 4 zeigt eine Anlage zur Prüfung von Fahrdynamikregelungen. Rechts oben im Bild ist das Elektronikmodul mit verschiedenen Sensoren zu sehen. Darunter ist das P.A.T.E.-Interface zu erkennen. Auf dem Bildschirm werden die Testergebnisse visualisiert. Nicht dargestellt ist ein weiterer Rechner, auf dem die Test-Software ausgeführt wird.

Neben dem Labor kann P.A.T.E. auch im Fahrversuch eingesetzt werden. Eine Kompakt- Version des P.A.T.E.-Interface wird direkt in den Kabelstrang zu einem Steuergerät (bzw. zum Elektronik-Modul bei integrierten mechatronischen Komponenten) eingeschleift. Hiermit können z.B. Sensor- und Aktuator-Ausfälle, Kontaktprobleme, CAN-Fehler usw. während der Fahrt simuliert und die Reaktion des Steuergeräts verifiziert werden. Das mobile P.A.T.E. - System ist kompatibel zur Laborversion, d.h. Testabläufe, die im Labor erstellt wurden, können auch im Fahrversuch ausgeführt werden und umgekehrt.

Das Softwarekonzept

Ein wesentliches Merkmal der P.A.T.E. Software ist, dass alle Parameter und Einstellungen, die zur Beschreibung des Testsystems und des zu prüfenden Steuergerätes erforderlich sind, in Datenbanken gespeichert werden. Dies erlaubt eine schnelle und problemlose Anpassung der Software an eventuelle Veränderungen des Prüflings. Datenbank-Parameter sind beispielsweise die Zuordnung von Signalnamen zu Steckerpins, der Spannungsbereich von Analogausgängen oder die Einstellungen für die Diagnoseschnittstelle.

Beim Aufbau einer neuen Testanlage wird die Software durch „Befüllen“ einer neuen Datenbank konfiguriert. Verschiedene Datenbanken erlauben den schnellen Wechsel zwischen verschiedenen Versionen des Prüflings. Das P.A.T.E.-Testsystem wird standardmäßig mit kompletten und getesteten Datenbanken ausgeliefert und ist sofort einsatzbereit.

Ein weiteres Merkmal der Software des P.A.T.E.-Testsystems ist ihr modularer Aufbau. In Bild 5 sind die derzeit verfügbaren Module aufgeführt. Das CAN-Modul kann CAN-Matrizen im industriegebräuchlichen Format DBC einlesen und verarbeiten. Ein Austausch der CAN-Matrix kann somit auf einfache Weise erfolgen und es entsteht kein Aufwand für zusätzliche Formatierungen.

Zusätzlich können weitere, benutzerspezifische Module auf einfache Weise erstellt und integriert werden, z.B. zur Ansteuerung proprietärer Hardware. Die Einbindung von Fremd-Software wird durch das Schnittstellenmodul P.A.T.E. open unterstützt.

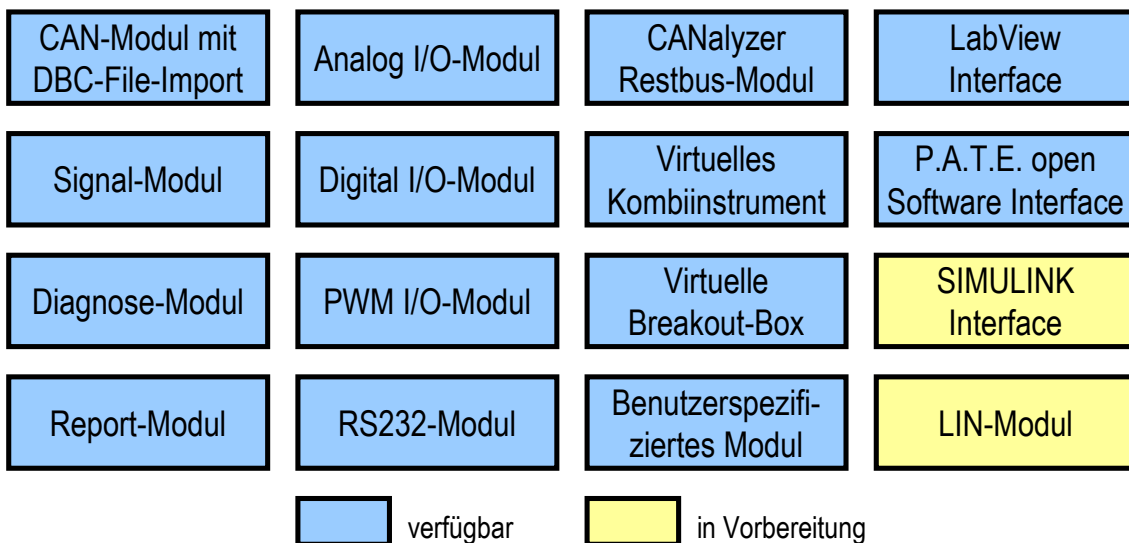


Bild 5: Die P.A.T.E. - Module

Die Testautomatisierung

Bei einem komplexen Elektroniksystem sind häufig hunderte oder gar tausende von einzelnen Prüfschritten notwendig, um eine umfassende Testabdeckung zu erreichen. Da diese Tests während der Entwicklung eines neuen elektronischen Systems in der Regel mehrfach durchlaufen werden, spart deren vollständige Automatisierung wertvolle Kapazität und Zeit. Zudem wird gewährleistet, dass alle Tests exakt reproduzierbar sind und stets vollständig ausgeführt werden.

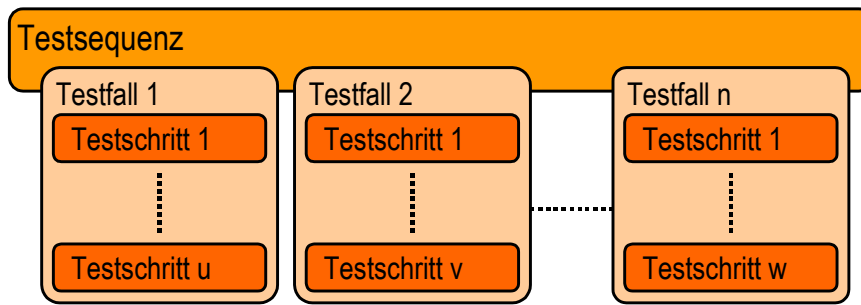


Bild 6: Struktur und Organisation von Tests

Der Testaufbau gliedert sich im P.A.T.E.-Testsystem organisatorisch in drei Ebenen (Bild 6). Die oberste Ebene bildet die Testsequenz. Diese Sequenz beschreibt neben Initialisierungsaufgaben und der Ergebniserstellung eine zeitliche Abfolge von Testfällen. Diese Testfälle sind separat in Dateien gespeichert und bilden in sich geschlossene Prüfungen bestimmter Funktionalitäten des Prüflings.

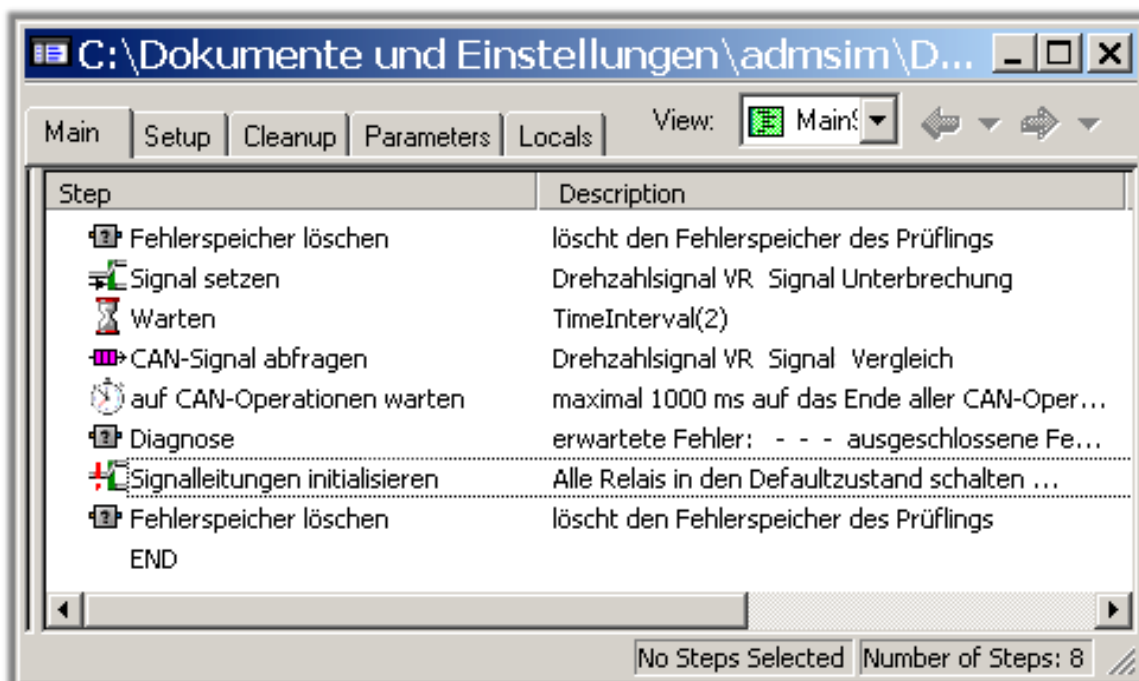


Bild 7: Ein geöffneter Testfall im Editor.

In Bild 7 ist beispielhaft ein Testfall, wie er im Editor zu sehen ist, abgebildet. Der abgebildete Testfall besteht aus folgenden Testschritten:

1. Lösche Fehlerspeicher
2. Unterbreche Signalleitung zum Raddrehzahlsensor VR
3. Warte 2 Sekunden
4. Überprüfe Fehlermeldung auf dem CAN-Bus
5. Überprüfe Fehlerspeicher
6. Setze Signalleitungen in den Ausgangszustand
7. Lösche Fehlerspeicher

Aus einer Bibliothek von Testfällen können verschiedenste Testsequenzen aufgebaut werden. Es ist beispielsweise möglich, eine Testsequenz zusammenzustellen, die lediglich die CAN-Funktionalität des Prüflings prüft, und eine Testsequenz, die als Gesamttest alle erstellten Testfälle umfasst. Der modulare Aufbau erlaubt die mehrfache Verwendung von Testfällen.

Testschritte sind die unterste Organisationsebene von Tests mit dem P.A.T.E.-Testsystem. Sie können sowohl einem Testfall als auch direkt einer Testsequenz zugeordnet sein. Testschritte führen einzelne Funktionen, wie z.B. die Messung und Kontrolle eines Analogsignals oder die Unterbrechung einer Signalleitung, aus. Bild 8 zeigt das Ablaufdiagramm für eine komplette Testsequenz.

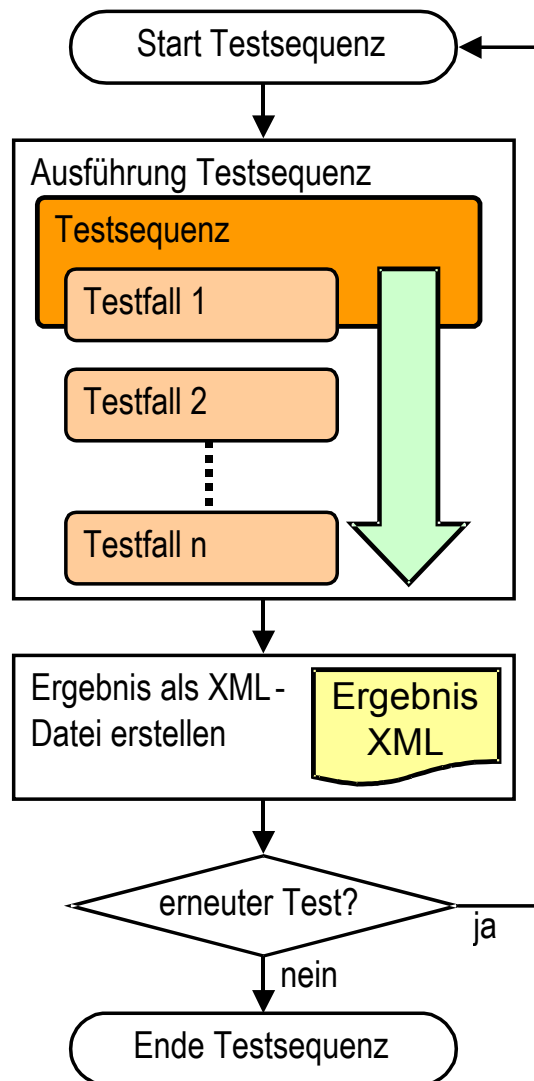


Bild 8: Ablauf einer Testsequenz

Am Ende eines Test wird das Ergebnis dokumentiert. Die grundlegende Aussage „Test bestanden“ bzw. „nicht bestanden“ wird ermittelt, indem der Testlauf nach definierten Kriterien bewertet wird. Meldet ein Testschritt bei der Ausführung einen Fehler, so bedeutet dies, dass der ganze Testfall nicht erfolgreich ist. Damit wird auch die gesamte Testsequenz als nicht erfolgreich gewertet. Die aufgetretenen Abweichungen werden im Testreport detailliert beschrieben.

Das Ergebnis wird durch das Report-Modul in einem Testprotokoll im Format XML gespeichert und kann z.B. mit einem Web-Browser visualisiert werden. Durch das XML-Format hat der Nutzer maximale Freiheit bei der Auswertung und Darstellung der Ergebnisse. Sowohl Statistiken als auch die Verwendung anderer XSL-Vorlagen für die Darstellung oder die Einbringung der Ergebnisse in Datenbanken sind nur einige Möglichkeiten der Weiterverarbeitung.

Einfache Testerstellung ohne Skriptsprache

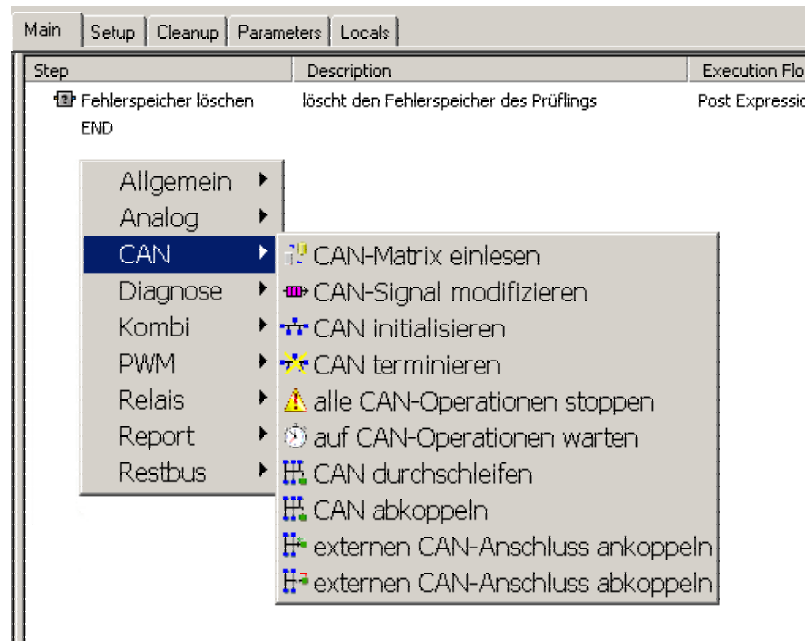


Bild 9: Graphische Bedienoberfläche von P.A.T.E. (Ausschnitt)

Die Oberfläche und die Bedienung der P.A.T.E.- Software entspricht einer normalen Windows MDI-Anwendung, d.h. es können gleichzeitig mehrere Dokumente – also Testsequenzen und Testfälle - geöffnet sein. Dem Benutzer präsentiert sich das P.A.T.E.-Testsystem softwareseitig als eine Anwendung sowohl zur Programmierung als auch zur Ablaufsteuerung von Testsequenzen und Testfällen.

Der Benutzer kann nun graphisch, wie in Bild 9 dargestellt, die einzelnen Testfälle und Testsequenzen zusammenstellen. Dabei erleichtern Vorlagen, die bereits alle notwendigen Testschritte zur Protokollierung und Initialisierung usw. enthalten, die Testerstellung.

Benötigt ein Testschritt eine Parametrierung, so erfolgt diese ebenfalls über die graphische Bedienoberfläche. Über ein Kontextmenü gelangt der Nutzer zur Eingabemaske. Für aufwendigere Einstellungen, wie z.B. die Operationen mit CAN-Signalen, kann die Parametrierung über einen Assistenten erfolgen, der den Benutzer schrittweise durch die einzelnen Parameter führt.

Soll eine Testsequenz ausgeführt werden, lädt der Benutzer die entsprechende Datei und startet deren Ausführung. Der Test läuft nun vollautomatisch ab und der Benutzer kann das Testsystem sich selbst überlassen. Je nach Umfang kann der einmalige Durchlauf einer Testsequenz mehrere Stunden oder nur wenige Augenblicke in Anspruch nehmen.

Ein System nach Maß

Jedes P.A.T.E.-System wird vom FKFS „maßgeschneidert“. Zu Beginn eines Projekts werden die Anforderungen an das Testsystem in ausführlichen Gesprächen mit den Anwendern aus der Industrie ermittelt. Dabei wird festgestellt, wie P.A.T.E. in den vorhandenen Entwicklungsprozess integriert werden kann. Nach der Freigabe des vom FKFS erstellten Konzepts wird das Testsystem durch Kombination der verfügbaren Module zusammengestellt und in Betrieb genommen. Gegebenenfalls werden zusätzlich Module angefertigt, z.B. zur Einbindung von kundenspezifischer Prüfausrüstung und -Software. Die Auslieferung erfolgt „schlüsselfertig“, die Anlage ist sofort betriebsbereit. Auf Wunsch übernimmt das FKFS auch die Erstellung von Testbibliotheken auf der Basis vorhandener Steuergeräte-Spezifikationen.

Fazit und Ausblick

Seit 2003 wird P.A.T.E. bei einem OEM in mehreren Exemplaren eingesetzt und stellt dort einen wichtigen Baustein für die Elektronikentwicklung dar. Seither wird das P.A.T.E.-System laufend weiterentwickelt und erweitert. U.a. wird eine Schnittstelle zur Integration von SIMULINK-Modellen konzipiert, um die Beschreibung komplexer Signalverläufe zu vereinfachen.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens, das derzeit am FKFS vorbereitet wird, sollen neue Möglichkeiten untersucht werden, um eine automatische Generierung von Testsequenzen für das P.A.T.E. – System unmittelbar aus der Spezifikation für ein neues Elektronik-System zu ermöglichen. Im Mittelpunkt steht dabei die Reduktion der Testfall-Anzahl bei gleichzeitiger Sicherstellung einer vorgegebenen Testtiefe. Diese Arbeiten basieren auf langjährigen Erfahrungen des FKFS im Bereich der Testverfahren für Automobilelektronik [1,2] und der Simulation von elektronisch gesteuerten Kfz-Systemen [3,4].

Literatur

- [1] Baumann, G.; Brost, M.: P.A.T.E. - an Automatic Testing Environment for Automotive Electronics. (2. Vector Kongress), Stuttgart, 2004.
- [2] Grimm, M.; Wiedemann, J.: Automated Test System for Electronic Control Units and Prototypes of Them in Vehicle Networks. SAE Paper 2001-01-006.
- [3] Schuler, R.; Bargende, M.; Krieger, K.: Simulation von Fahrzeugantrieben in der modellbasierten Funktionsentwicklung (4. Symposium Steuerungssysteme für den Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen). Berlin, 2003.
- [4] Baumann, G.: Werkzeuggestützte Echtzeit-Fahrsimulation mit Einbindung vernetzter Elektronik. Universität Stuttgart, Dissertation, 2003.