



Um die Zusammenarbeit mit Steuergeräteelieferanten zu optimieren, hat sich PSA entschlossen, seinen Entwicklungsprozess für Antriebsstrang-Steuergeräte AUTOSAR-konform zu gestalten. Dafür wurde eine effiziente modellbasierte Werkzeugkette installiert, die elementare Prozessschritte von der Architektur bis zur Implementierung durchgängig unterstützt. Mehrere AUTOSAR-konforme Serienprojekte wurden damit erfolgreich abgeschlossen.

AUTOSAR implementiert

Seriensoftware-Entwicklung mit
TargetLink und SystemDesk





Die Software der PSA-Motorsteuergeräte unterstützt Funktionen für Verbrennungsmotoren, Hybrid-Controller und Getriebeanwendungen.

Etablierte modellbasierte Werkzeugkette basierend auf TargetLink/Simulink

Der Seriene-Generator dSPACE TargetLink® wird seit 2007 für die Seriensoftware-Entwicklung im Bereich Antriebsstrang eingesetzt, sei es für Verbrennungsmotoren, Hybrid-Controller oder Getriebeanwendungen. Die Gründe für den Einsatz der automatischen Serien-

prozesses zusammen mit höherer Software-Qualität. Mit dem Aufkommen des AUTOSAR-Standards hat sich für PSA die Möglichkeit ergeben, die Zusammenarbeit mit Zulieferern auf eine neue, AUTOSAR-konforme Basis zu stellen und so zu vereinfachen. Dies war die Hauptmotivation, die Toolkette für die AUTOSAR-konforme Entwicklung zu erweitern und statt proprietärer For-

„Seit 2007 entwickeln wir Software für Motormanagementsysteme modellbasiert mit TargetLink. Die Software ermöglicht einen effizienten Entwicklungsprozess und bietet Funktionen, die wir zur Generierung von AUTOSAR-kompatiblem Code benötigen.“

Nabile Khoury, PSA

code-Generierung waren klassische Aspekte wie „Time-to-Market“, der Umgang mit der zunehmenden Komplexität der automotiven Software und die Tatsache, dass andere Abteilungen PSA-Modelle als ausführbare Spezifikationen bzw. Anforderungen anliefern, die von einem Implementierungsteam in Seriensoftware umgesetzt werden. Hausinterne Benchmarks mit der ersten eingesetzten TargetLink-Version 2.2.1 bestätigten die erwarteten Vorteile: Beschleunigung des Entwicklungs-

prozesses auf standardisierte AUTOSAR-XML (ARXML)-Austauschformate zu setzen. Hierzu wird nicht nur das TargetLink-AUTOSAR-Modul eingesetzt, sondern insbesondere das Architekturwerkzeug dSPACE SystemDesk®.

Von der Anforderung zur Implementierung

Die Software-Anforderungen sind Ausgangspunkt und Basis der Entwicklung. Sie können abhängig vom Projekt auf zwei definierten Wegen eingespeist werden.

1. Simulink/TargetLink-Modelle

Die Anforderungen werden in Form von Modellen beschrieben, die PSA intern entwickelt und einem Team zur Software-Implementierung übergibt. In diesem Fall dient das Modell als ausführbare Spezifikation des algorithmischen Verhaltens, das durch Anreicherung um Software-Eigenschaften mit TargetLink in Software umgesetzt wird.

2. Textuell beschriebene Anforderungen

Die Anforderungen können auch klassisch textuell spezifiziert sein, etwa in IBM® Rational® DOORS®. In diesem Fall übernehmen die Implementierungsspezialisten sowohl die eigentliche Funktions-/Algorithmenentwicklung mit TargetLink als auch die Software-Implementierung aus den entstandenen Modellen.

AUTOSAR-konformer Entwicklungsprozess

Die Architektur der Anwendungssoftware der Steuergeräte wird AUTOSAR-konform mit SystemDesk

beschrieben. Bei PSA besteht die Software-Architektur für Motorsteuergeräte aus 70 AUTOSAR-Anwendungskomponenten mit ca. 3000 Schnittstellen und 300 Runnables. Alle AUTOSAR-Spezifikationen inklusive der zur Generierung einer Runtime Environment (RTE) notwendigen Anteile liegen vollständig in SystemDesk vor. Diese Daten werden dort entweder manuell erstellt oder in Form von existierenden Schnittstellen oder Runnable-Spezifikationen aus dem Automotive

Data Dictionary (ADD) von Visual IT bzw. existierenden Modellen importiert.

Für die funktionale Entwicklung einer Software-Komponente werden zunächst deren AUTOSAR-Eigenschaften aus SystemDesk exportiert (AUTOSAR-ARXML-Dateien) und ins TargetLink Data Dictionary übernommen. Der TargetLink-Anwender generiert daraus ein AUTOSAR-Rahmenmodell und fügt die zu entwickelnde algorithmische Funktionalität in das Rahmenmodell ein (Top-Down-Ansatz). Derzeit wird der AUTOSAR-Standard in der Version 3.1.2 eingesetzt, und es werden alle PSA-Komponenten vollständig mit TargetLink umgesetzt.

Modellentwurf und automatische Code-Generierung

Der Entwurf der TargetLink-Modelle zur Implementierung der einzelnen AUTOSAR-Software-Komponenten orientiert sich an diesen Vorgaben:

- Die Modelle müssen kompatibel zur Software-Architektur in SystemDesk sein. Diese Anforderung wird praktisch automatisch durch den AUTOSAR-konformen Workflow bzw. die eingesetzte AUTOSAR-Rahmenmodell-Generierung erfüllt.
- Die Modelle müssen die Software-

Anforderungen umsetzen. Im Falle von als Modell angelieferten Spezifikationen ist das für die funktionalen Anforderungen unmittelbar gegeben, wobei Modelle gegebenenfalls von Simulink nach TargetLink konvertiert werden. Im Falle von textuellen Anforderungen wird das Modell gegen die Anforderungen validiert, was unter anderem durch Offline-Simulationen geschieht.

Die einzelnen TargetLink-Modelle zur Umsetzung der Funktionalität einzelner Komponenten variieren in der Größe teils deutlich, wobei die größten SWC-Modelle bis zu 6000 rechnende Blöcke beinhalten. Für den Reglerentwurf wird neben TargetLink-Blöcken auch eine PSA-eigene Bibliothek für wiederkehrende Funktionalitäten wie Zähler, Filter etc. eingesetzt, wobei teilweise von den TargetLink-Skalierungsinvarianz-Features Gebrauch gemacht wird. Um eine hohe Modellqualität sicherzustellen, werden Modellierungsrichtlinien dieser Herausgeber genutzt: MathWorks®, dSPACE sowie PSA. Abhängig vom Projekt, der jeweiligen Komplexität und der geforderten Genauigkeit wird entweder Fließkomma- oder Festkomma-Code erzeugt.



Die Steuergeräte-Software der PSA-Motoren wird mit TargetLink und SystemDesk entwickelt.

Testaktivitäten für Komponenten und Integrationen

Da PSA die vollständige Verantwortung für die eigene Software trägt, erfolgt der Test der einzelnen Software-Komponenten in Form von Software-in-the-Loop (SIL)- und Processor-in-the-Loop (PIL)-Simulationen in TargetLink, unterstützt durch BTC EmbeddedTester®:

- *Automatische Testvektor-Generierung und Back-to-Back-Test mit BTC EmbeddedTester*
Mit Hilfe der automatischen Testvektor-Generierung des EmbeddedTesters und sogenannten





„Mit SystemDesk können wir die Software-Architektur unseres Motor-managementsystems nach AUTOSAR-Anforderungen effizient entwerfen. Die integrierte Umgebung ermöglicht uns zudem zu verifizieren, dass unsere Anwendungen in AUTOSAR-Plattformen integriert werden können.“

Zhao Zuo, PSA

Back-to-Back-Tests werden MIL/SIL/PIL-Simulationsresultate automatisiert verglichen. Dies ist insbesondere im Falle von angelieferten Reglermodellen sehr hilfreich, um automatisiert die hinreichende Verhaltensgleichheit von Reglermodell und Software-Implementierung mit TargetLink nachzuweisen. Dabei belegen Modified-Condition/Decision-Coverage (MC/DC)-Messungen die hinreichende Abdeckung des Codes.

■ **PIL-Tests für das Profiling der benötigten Steuergeräteressourcen**
Mit Hilfe der TargetLink-PIL-Simulation wird ein Ressourcen-Profil erstellt, um Abschätzungen über

die Auslastung der Speicherbereiche (RAM/ROM/Stack) zur Laufzeit zu ermitteln.

■ **Funktionale Tests mit weiteren Testdaten**

Weitere Testfälle werden auf Basis von funktionalen Anforderungen manuell entwickelt oder auf gezeichneten Fahrzeugdaten entnommen. Diese Tests werden mit EmbeddedTester und einem In-House-Testtool durchgeführt.

Neben dem Komponententest finden auch Software-Integrationen zu Testzwecken bei PSA statt. Hierbei wird aus SystemDesk eine RTE für die gesamte Software-Architektur des Steuergeräts generiert und pro-

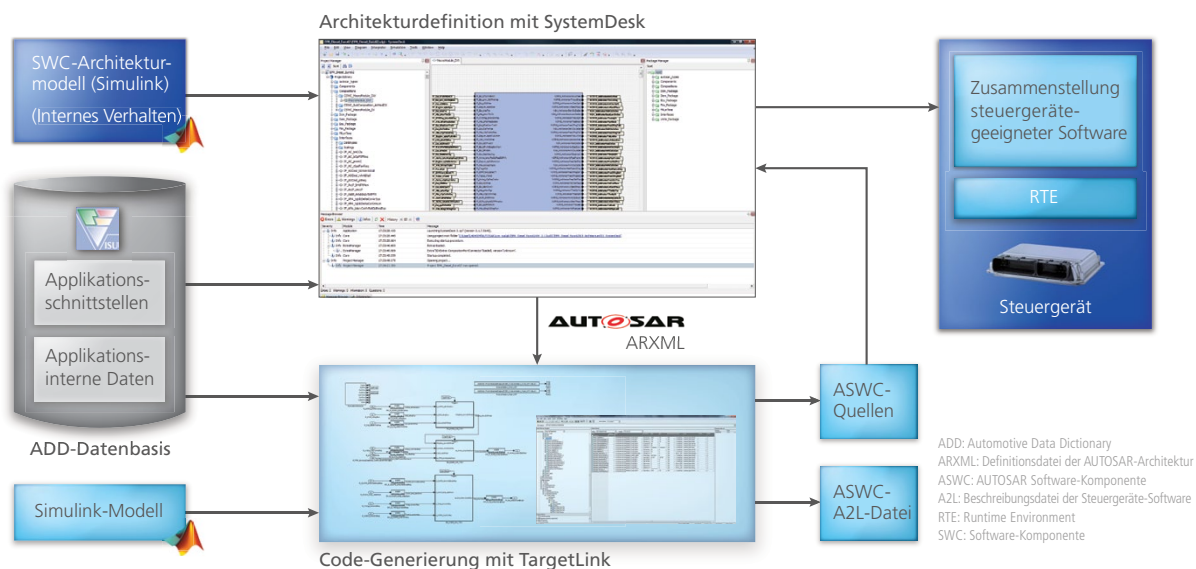
beweise zusammen mit den TargetLink-Komponenten integriert (Prä-Integration). Dieser Schritt stellt sicher, dass später bei der eigentlichen Integration beim Zulieferer keine Probleme entstehen.

■ **Rollenverteilung zwischen OEM und Zulieferer**

Die Aufgabenverteilung und der Austausch von Artefakten zwischen PSA und den Zulieferern stellen sich folgendermaßen dar:

■ Die Verantwortung für die Software-Architektur des Steuergeräts liegt bei PSA und wird in Form von AUTOSAR-ARXML-Spezifikationen an den Zulieferer übergeben.

AUTOSAR-Workflow mit SystemDesk und TargetLink





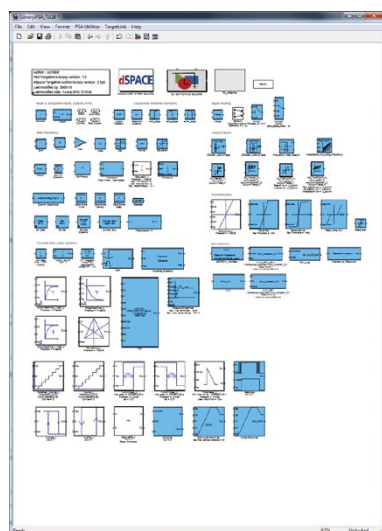
- PSA liefert den überwiegenden Teil der Anwendungssoftware für die Steuergeräte, wobei die einzelnen Software-Komponenten wie dargestellt bei PSA ausgiebig getestet werden.
- Ein Teil der Anwendungs-komponenten wird auch durch Subunternehmer entwickelt („Software as Produkt“) und PSA direkt zur Verfügung gestellt.
- Zwecks IP-Schutz wird der generierte Source-Code gezielt durch Code-Obfuscator unleserlich gemacht. Infolgedessen muss kein Object-Code ausgetauscht werden, weshalb der Steuergeräte-Lieferant die Wahlfreiheit hinsichtlich Compiler und Compiler-Optionen hat.
- Der Steuergeräte-Lieferant steuert selbst noch kleinere Anteile der Anwendungssoftware bei und integriert diese zusammen mit den von PSA gelieferten Komponenten durch RTE-Generierung zusammen mit der Basis-Software auf dem Steuergerät, das dann an PSA geliefert wird.

Erfahrungen aus dem Einsatz der dSPACE AUTOSAR-Werkzeugkette

Seit dem kombinierten Einsatz von TargetLink und SystemDesk wurde mittlerweile Software für 10 Motorsteuergeräte, 1 Getriebesteuergerät und 2 Hybrid-Steuergeräte entwickelt und erfolgreich in Serie gebracht. Der von PSA gelieferte Software-Anteil variiert zwischen 60% und 95% der Anwendungssoftware. Die Software wird vollständig mit TargetLink und SystemDesk entwickelt. Das heißt, modellbasiertes Design und Seriercode-Generierung sind voll etabliert. Für ein Motorsteuergerät produziert PSA beispielsweise ca. 1 Megabyte Code, der von ca. 50 Entwicklern erstellt wurde. Aktuelle Projekte befassen sich insbesondere mit der Umsetzung der aus der Euro-6.2-Norm resultierenden Anforderungen. Sie werden mit TargetLink 3.2 und SystemDesk 3.1 basierend auf der AUTOSAR-Version 3.1.2 umgesetzt.

Fazit und Ausblick

Die eingeführte AUTOSAR-konforme Werkzeugkette aus SystemDesk und TargetLink hat sich in mehreren Serienprojekten bewährt. SystemDesk unterstützt den komfortablen, effizienten Entwurf umfangreicher Software-Architekturen. Der starke Fokus auf Software-Implementierungsaufgaben sowie die gute Integration mit MATLAB/Simulink und EmbeddedTester sind unverzichtbare Stärken von TargetLink. Aufgrund der Anwenderfreundlichkeit des Werkzeugs, der effizienten, wohldokumentierten Automatisierungs-APIs sowie PSA-spezifischen Erweiterungen können auch neue Anwender in kürzester Zeit produktiv arbeiten. Für die Zukunft ist eine Migration auf AUTOSAR 4 sowie TargetLink 3.5 und SystemDesk 4.1 geplant. ■



PSA-Blockbibliothek für wiederkehrende Funktionalitäten wie Filter, Zähler etc.

Nabile Khoury, Zhao Zuo,
PSA Peugeot Citroën

Zusammenfassung

Der französische Automobilhersteller PSA Peugeot Citroën entwickelt die Software für Antriebsstrangsteuergeräte über alle Modellreihen AUTOSAR-konform. Der überwiegende Anteil der Applikationssoftware wird vom Unternehmen selbst erstellt. PSA nutzt dazu eine Werkzeugkette, bestehend aus der Architektursoftware SystemDesk, der modellbasierten Entwicklungsumgebung MATLAB®/Simulink® und dem Seriercode-Generator TargetLink. Die entwickelten Funktionen werden zunächst bei PSA auf einem Steuergerät implementiert und ausführlich getestet. Anschließend integriert der Steuergeräte-Lieferant die getesteten PSA-Software-Komponenten sowie eigene Anteile der Anwendungssoftware zusammen mit der Basis-Software auf dem Seriensteuergerät. Standardisierte Austauschformate, klar strukturierte Komponenten und die durchgängige Werkzeugkette schaffen die erforderliche Effizienz im Entwicklungsprozess.

Nabile Khoury
Nabile Khoury ist Spezialist für modellbasierten Entwurf bei PSA Peugeot Citroën, in La Garenne-Colombes, Frankreich.

Zhao Zuo
Zhao Zuo ist AUTOSAR Software-Architektin bei PSA Peugeot Citroën, in La Garenne-Colombes, Frankreich.

