

▣ Entwicklungstools:

## Timing-Modell und Methodik für AUTOSAR

**AUTOSAR erfordert neue Methodiken, um den Performance- und Timing-Anforderungen beim Systemdesign gerecht zu werden. Zurzeit arbeitet das TIMMO-Konsortium an der Entwicklung von Lösungen, um virtuelle Architekturen zuverlässig und kosteneffektiv auf die physische Hardware abzubilden.**

In modernen Fahrzeugen wird eine wachsende Zahl von Funktionen in Form dezentraler Systeme implementiert. Eine adaptive Geschwindigkeitsregelung etwa benötigt als Minimum fünf elektronische Steuergeräte. Das globale Timing-Verhalten eines dezentralen Systems zu beherrschen, ist eine Grundvoraussetzung für anspruchsvolle Steuerungslösungen speziell im Antriebsstrang- und Chassisbereich.

Ein anschauliches Beispiel hierfür sind Sensoren, die an einen Netzwerk-Knoten angeschlossen sind und mit einem Aktor kommunizieren, der wiederum an einen anderen Knoten angeschlossen ist (siehe Bild). Die unterschiedlichen, auf verschiedene ECUs verteilten Software-Komponenten (SW-Cs) ergeben gemeinsam ein dezentrales Steuerungssystem. Das Timing des Busses, der ECU und der Kommunikations-Controller müssen deshalb bei der Beantwortung der Frage, ob die gesetzten Restriktionen eingehalten werden, allesamt ins Kalkül gezogen werden.

Unter Umständen ist eine Optimierung des Timings über mehrere Zulieferer hinweg nötig, was in einem komplexen dezentralen System eine echte Herausforderung darstellt. Ein vorrangiges Ergebnis von TIMMO (Timing Model) wird es deshalb sein, Timing-Restriktionen beim Design komplexer Embedded-Systeme für Automotive-Anwendungen auf systematische Weise in Angriff zu nehmen. Hier die Zielvorgaben des Projekts:

- ▶ Herbeiführung eines verbesserten, vorhersagbaren Entwicklungszyklus,
- ▶ Erfassung und Verifikation der kompletten Timing-Restriktionen von der Spezifikation bis zur Umsetzung,
- ▶ formelle, standardisierte Spezifikation, Analyse und Verifikation des Timing-Verhaltens auf sämtlichen Abstraktionsebenen.

Hierzu ein potenzielles Szenario aus dem Chassis-Bereich, hergeleitet aus einem einfachen Beispiel (siehe Bild):

- ▶ ECU 1 ist ein Sensor-Cluster, der mehrere Sensoren vereint und die Sensor-Fusion übernimmt. Aus den Signalen mehrerer realer Sensoren werden durch Bündelung virtuelle Signale erzeugt, was den Verzicht auf redundante Sensoren im Fahrzeug erlaubt.

- ▶ ECU 2 ist ein standardmäßiges elektronisches Steuergerät, wie es in der Automobilindustrie üblich ist.

- ▶ ECU 3 kann ein intelligenter Aktor sein, der per Bus mit dem jeweiligen Controller verbunden ist.

Ein zeitgetriggertes Bussystem wie FlexRay empfiehlt sich als mögliche Lösung für das Design leistungsfähiger, dezentraler Regelungs- und Steuerungssysteme. Die Ausarbeitung dezentraler Steuerungs-Algorithmen wird dabei durch das Fehlen von Jitter und Unsicherheiten in der Kommunikation erleichtert. Dennoch ist FlexRay keine Wunderwaffe: Der Determinismus muss mit Einbußen an Flexibilität erkauft werden. Im Zuge der Weiterentwicklung der E/E-Architekturen wird eine der Herausforderungen darin bestehen, in gemischt zeit- und ereignisgetriggerten Systemen für Reproduzierbarkeit, Flexibilität und Effizienz zu sorgen.

Ein anderer Ansatz ist es, Funktionen in Steuerungseinheiten für einen gewissen Bereich zusammenzufassen, womit man die Integrationsfragen auf ein bestimmtes Gebiet begrenzt und den Bedarf an weiteren High-Speed-Bussen verringert. Unabhängig von der Art der jeweiligen Architektur werden Timing-Analyse und Performance-Optimierung eine ent-

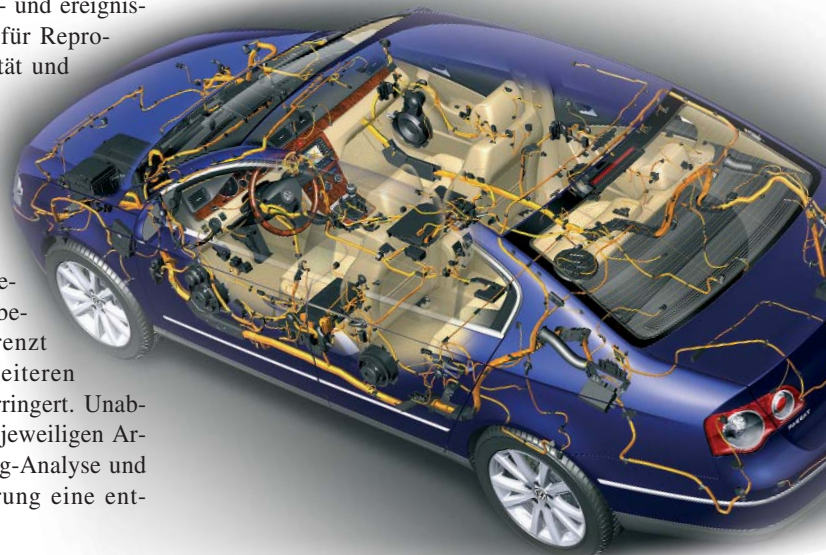
scheidende Rolle bei der Software- und Systemintegration spielen.

Ziel des TIMMO-Projekts ist es, Entwickler mit neuen Methoden, Modellen und Werkzeugen zu unterstützen. Entscheidend für die Beherrschung der Komplexität neuer, innovativer Features ist ein vorhersagbarer Entwicklungsprozess, der sämtliche Timing- und Performance-Aspekte in allen Phasen, von der ersten Erkundung bis zur abschließenden Verifikation, systematisch berücksichtigt.

TIMMO zielt auf die Entwicklung eines praxisingerechten, einheitlichen Ansatzes zur Berücksichtigung des Timings im gesamten Entwicklungsprozess. Es wird eine solide theoretische Grundlage zur Berücksichtigung der Timing-Aspekte dezentraler Embedded-Systeme im Automotive-Bereich definieren und eine begleitende Methodik auf der Basis einer systematischen Analyse entwickeln, die explizit auch die Frage der firmenübergreifenden Tool-Interoperabilität sowie der damit einhergehenden Austauschformate einschließt.

### Die TIMMO-Sprache

Eine entscheidende Zielvorgabe von TIMMO ist die Definition einer durch Timing-Aspekte aufgewerteten Beschreibungssprache (Timing-Augmented Description Language – TADL), die als Brückenschlag für die spezifizierten Applikations-Anforderungen und die Entwicklungs-Methodik fungieren kann:



- ▶ Eigenschaften von Hardware-Ressourcen und zeitverbrauchenden Elementen,
  - ▶ Beziehungen zwischen zeitverbrauchenden Elementen,
  - ▶ Globale Timing-Vorgaben und ihre Aufteilung auf die verschiedenen Ressourcen,
  - ▶ Beziehungen zwischen zeitverbrauchenden Elementen und Ressourcen.
- Die TADL-Syntax ist als ein in UML (Unified Modeling Language) geschriebenes Meta-Modell formalisiert. Um die Homogenität des TADL-Meta-Modells zu gewährleisten, gibt es eine entsprechende Anleitung, die Regeln und gemeinsame Muster für die Definition des TADL-Meta-Modells vorgibt und die als Grundlage für die TADL-Semantik dient.

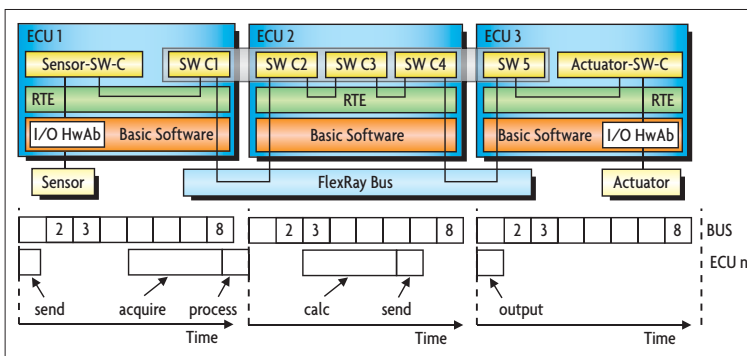
Notwendig ist die Definition eines Austauschformats zur Übertragung

nes Software-Tools aus einem UML-Modell zu generieren und den Umfang des manuell zu schreibenden, modell-spezifischen Codes auf ein Mindestmaß zu verringern. Die zur Spezifikation und Entwicklung des TADL-Modell-Editors verwendete Technologie basiert auf dem Eclipse Modeling Framework (EMF). Mit dem EMF ist es möglich, ein Meta-Modell zu beschreiben und hieraus automatisch das Modell zu generieren.

### Validierung der Ergebnisse

Das TIMMO-Projekt wird eine ganz Reihe von Proof-of-Concept-Studien durchführen, um die entwickelten Maßnahmen zu konsolidieren und ihre Praxistauglichkeit für den Austausch von Timing-Informationen und -Restriktionen zu demonstrieren. Ein Schwerpunkt ist das Managen, Verfeinern und

Übertragen von Timing-Informationen und -Restriktionen zwischen Zulieferern und OEMs in den verschiedenen Phasen des Entwicklungsprozesses. In diesem Zusammenhang ist es von besonderem Interesse, potentielle Timing-Probleme



### I Typische globale Timing-Situation eines Sensor/Aktor-Systems

von Design-Daten zwischen künftigen TADL-konformen Entwicklungs- und Performance-Analyse-Tools. Da das Format für den Austausch von TADL-Modellen auf XML basieren wird, ist die Definition eines XML-Schemas erforderlich. Die Festlegung der TADL-Semantik geschieht auf Basis der bereitgestellten Meta-Modell-Anleitung und wird in Form von UML-Klassen beschrieben. Um Anregungen für die TADL zu gewinnen, werden Resultate vergleichbarer Initiativen – z.B. des AUTOSAR-Timing-Teams oder der OMG MARTE (Object Management Group, Modeling and Analyzing Realtime and Embedded Systems) – berücksichtigt. Zum Validieren der TADL-Funktionen wird parallel zum Meta-Modell der Sprache ein Modell-Editor entwickelt. Dieser basiert auf einem modellgetriebenen Architekturkonzept, mit dem es möglich ist, große Teile ei-

aufzudecken und zu berücksichtigen, sobald sie sich offenbaren. Während das Hauptaugenmerk in den frühen Phasen darauf gerichtet ist, die Architektur in Bezug auf Kosten, Skalierbarkeit und Wartungseigenschaften zu optimieren, geht es in den späteren Phasen vorrangig um die Timing-Verifikation mit Blick auf die Betriebssicherheit, Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit. Allgemein deckt die Validierung der Projektergebnisse zwei Hauptaspekte ab:

- ▶ Interoperabilität von Tools und Prozessen
- ▶ Umfassende Validierung des Umgangs mit Timing-Eigenschaften und -Anforderungen in sämtlichen Entwicklungsphasen.

Das Projekt wird die Kompatibilität des entwickelten Prozesses und der entwickelten Sprache zum AUTOSAR-Standard nachweisen und dabei auch Upgrades bei künftigen Versio-

### TIMMO

Die folgenden Unternehmen gehören dem TIMMO-Konsortium an:

- Symtvision, Audi, Bosch, Carmeq, Chalmers Universität (Schweden), Continental, ETAS, Universität Paderborn, Siemens VDO, TTTech, Volvo und ZF.

nen berücksichtigen. Um die lückenlose Abdeckung sämtlicher Timing-bezogenen Aspekte zu validieren, wird das TIMMO-Projekt verschiedene Fallstudien durchführen, an deren Definition zurzeit gearbeitet wird. Schwerpunkt dieser Studien werden Antriebsstrang-Systeme sein. Die Implementierung erfolgt im Labor auf Prototypen oder seriennahen Steuergeräten. Im Zentrum einer geplanten Fallstudie steht eine einzeln ECU, bei der es sich beispielsweise um eine auf Basis der AUTOSAR-Spezifikation implementiertes Motormanagement-System handeln kann. Ziel ist hierbei die Untersuchung der Timing-Eigenschaften der grundlegenden AUTOSAR-Software sowie der Timing-bezogenen Zusätze im Meta-Modell sowie die Erweiterung und Integration der Software-Funktionen im ECU.

Eine weitere Fallstudie wird die Timing-Aspekte für ein FlexRay-basiertes System untersuchen, in dem die Applikationen auf mehrere für den Antriebsstrang relevante ECUs verteilt sind. In diesem Zusammenhang sind die Verschiebbarkeit der Tasks von einer ECU zur anderen und die Abwägung zwischen festgelegten und variablen Schedules von besonderem Interesse.

Tools von verschiedenen, an TIMMO beteiligten Anbietern werden als Grundlage für eine auf dem TIMMO-Konzept beruhende, AUTOSAR-konforme Toolchain verwendet. Bestehende Tool-Verbindungen zwischen ASCET ([www.etas.com](http://www.etas.com)), SymTA/S ([www.symtvision.com](http://www.symtvision.com)) sowie Tools von Fremdanbietern erlauben bereits jetzt das Management von Verarbeitungszeit-Grenzen durch statische Code-Analyse, Scheduling-Analyse und Messungen. TTTech Automotive ([www.ttautomotive.com](http://www.ttautomotive.com)) und Symtvision werden bei Fallstudien auf der System-Ebene auf FlexRay-Tools zurückgreifen, wobei je nach Bedarf weitere Werkzeuge hinzugefügt werden. *Jersak et al.*