

# VISION: Beherrschung des Entwurfs zukünftiger elektronischer Systemen für eine vernetzte Welt

Verteilte integrierte Systeme und Netzwerkarchitekturen für die Applikationsdomänen Automobil und Mobilkommunikation



## Einleitung

Stellen Sie sich vor, Sie fahren mit ihrem hochmodernen Auto über die Autobahn und telefonieren nebenbei über die Freisprechanlage. Plötzlich wird ihr Telefonat unterbrochen und der elektronische Bremsassistent Ihres Auto zwingt Sie zum Nothalt auf dem Seitenstreifen. Während Sie geschockt versuchen mit Ihrem Telefon Hilfe zu holen, verriegelt Ihr Fahrzeug selbständig alle Türen. Ihr Handy-Notruf hingegen erreicht nur die Zeitansage von Tokio ... Ein Horrorszenerario?

Die Forschungsarbeiten im BMBF-Förderprojekt „Verteilte integrierte Systeme und Netzwerkarchitekturen für die Applikationsdomänen Automobil und Mobilkommunikation“ (VISION) sollen helfen, solche Szenarien in Zukunft nicht Wirklichkeit werden zu lassen.

## Über die Bedeutung von vernetzten Systemen heute und morgen

Unsere Welt zu Beginn des 21. Jahrhunderts erfährt eine fundamentale und richtungsweisende Veränderung: Treibende Kräfte sind Interaktivität, Mobilität und individueller Bedarf an Zuverlässigkeit, Sicherheit, Komfort und Lebensqualität in einer hochgradig vernetzten Welt. Die Auswirkungen dieser sich verändernden Welt resultieren in einer Bündelung von Ressourcen und Rechenleistung in Kombination mit der Vernetzung sämtlicher Informationen und Kommunikationstechnologien. Während die Vernetzung in vielen Fällen für den Endnutzer nicht sichtbar ist, besitzt sie jedoch einen signifikanten Einfluss auf das Systemverhalten und stellt damit eine der wichtigsten Herausforderungen für den Systementwurf dar.

Heutige und zukünftige mikroelektronische Systeme entwickeln sich in immer höherem Maße zu hochgradig vernetzten „Systemen von Subsystemen“, deren Verhalten durch einen steigenden Grad an Komplexität und Interaktion geprägt ist. Dabei ist eine immer größere Anzahl von Subsystemen an der Bereitstellung einer spezifischen Systemfunktion beteiligt und immer mehr Systemfunktionen teilen sich ein heterogenes Netzwerk von Systemressourcen. In diesem Zusammenhang entwickelt sich das Zusammenspiel der Komponenten innerhalb des Netzwerks zu einer zentralen Herausforderung im Entwurfsprozess. Heutige Entwurfsmethoden und -werkzeuge sind allerdings im hohen Maße auf den Entwurf von Einzelsystemen ausgerichtet und daher nur unzureichend in der Lage, den Entwurf von vernetzten Systemlösungen mit höch-

sten Anforderungen an Flexibilität, Zuverlässigkeit und Sicherheit zu unterstützen. Falls es nicht gelingt, den Entwurf komplexer vernetzter Systemlösungen methodisch zu beherrschen, wird dies zu weitreichenden Auswirkungen bei der Generierung von innovativen Systemkomponenten – eine unserer deutschen Kernkompetenzen – führen.

Das Projekt VISION adressiert die Herausforderungen, die sich beim Entwurf heutiger und zukünftiger vernetzter mikroelektronischer Systeme ergeben und fokussiert dabei auf die deutschen Schlüsseltechnologien Automobilelektronik und Mobilkommunikation.

## Neue Möglichkeiten und Herausforderungen, die sich aus der Vernetzung ergeben

Zukünftig resultiert Innovation und damit verbunden der Mehrwert eines Produktes zunehmend aus der Vernetzung. Dabei ermöglicht das Zusammenführen mehrerer, bisher unabhängiger Applikationen den Aufbau neuer Systemfunktionen. Abbildung 1.04 zeigt ein Beispiel aus dem Bereich der Automobilelektronik, in welchem aus einer Interaktion bestehender Systeme zur elektronischen Fahrstabilitätsunterstützung (ESP) und Distanzregelung (ACC) die neue Systemfunktion eines elektronischen Bremsassistenten aufgebaut wird. Durch zusätzliche Interaktion mit einem Videosensorsystem lässt sich damit weiter die Sicherheitsfunktion einer elektronischen Notbremse realisieren. Weiter können durch das Verschmelzen von bisher getrennten Anwendungsdomänen neuartige Anwendungen aufgebaut und damit neue Produktbereiche erschlossen werden.

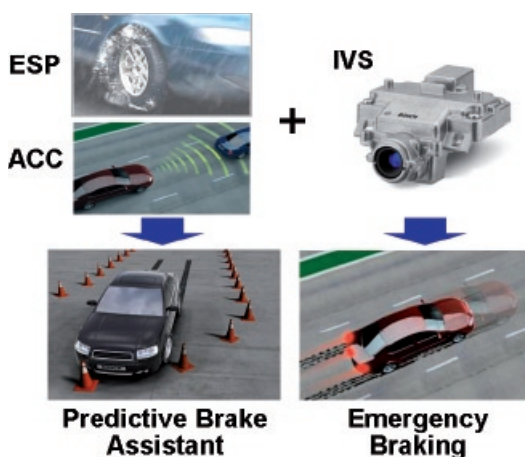


Abbildung 1.04: Vernetzung von automobilelektronischen Systemen zum Aufbau neuer Systemfunktionen

## Autoren des Beitrags:

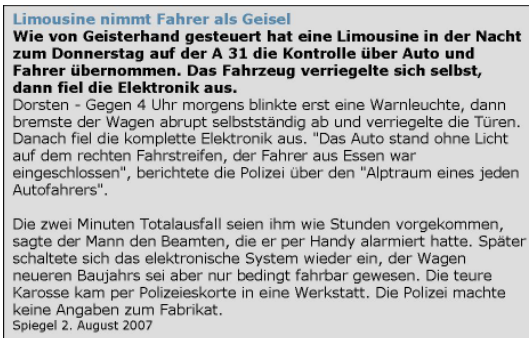
Oliver Bringmann, FZI  
Joachim Gerlach, Bosch  
Ulrich Nageldinger, Infineon  
Florian Schäfer, Cadence  
Dieter Treytnar, edacentrum

Abbildung 1.05 skizziert das Beispiel einer mobilen Gesundheitsüberwachung, in welchem ein Mobiltelefon nicht (ausschließlich) als eigenständige Applikation, sondern (zusätzlich) als Kommunikationsschnittstelle in einer Vernetzung aus Modulen zur Erfassung von Gesundheitsfunktionen und zur GPS-Navigation fungiert. Auf Basis dieses Netzwerks kann eine lebensrettende Notruffunktion aufgebaut werden, die medizinische Kenngrößen eines bedürftigen Menschen kontinuierlich erfasst und im Falle einer kritischen Entwicklung – etwa einem kritischen Abfall des Blutzuckergehalts – automatisch einen mit geographischen Koordinaten versehenen Notruf absetzt.



**Abbildung 1.05:** Neue Gesundheitsüberwachungsfunktionen durch Vernetzung bestehender Applikationen

In allen Fällen muss ein fehlerfreies Zusammenspiel der Einzelkomponenten des Netzwerks garantiert werden können. Dies betrifft sowohl den fehlerfreien Fall, in welchem Komponenten unterschiedlicher Hersteller für die Erbringung einer Systemfunktion reibungslos interagieren müssen, als auch den Fehlerfall, in welchem sichergestellt sein muss, dass eine fehlerhafte Komponente keine oder nur begrenzte Auswirkungen auf das Gesamtnetzwerk besitzt und zu keinem Ausfall wichtiger Systemfunktionen führen kann. Abbildung 1.06 zeigt ein Negativbeispiel aus dem Bereich der Automobilelektronik, welches auch Bestandteil des eingangs skizzierten Horrorszenarios ist und damit verdeutlichen soll, dass in der Tat ein hoher Handlungsbedarf gegeben ist. Wie leicht einzusehen ist, sind derartige Meldungen mit einem enormen Imageverlust für den Hersteller und Vertrauensverlust für die



**Abbildung 1.06:** Beispiel aus dem Automobilbereich für die Schwierigkeit der Beherrschung der Interaktion in vernetzten Systemen (Quelle: Spiegel, 2.8.2007)

gesamte Branche verbunden. Entsprechend stellt die methodische Beherrschung des Entwurfs vernetzter Systemlösungen eine Grundvoraussetzung dafür dar, auch zukünftig mit innovativen Systemen am Markt erfolgreich vertreten sein zu können.

Als einschneidende Konsequenz aus dieser Entwicklung wird sich die Rolle des Subsystem-Zulieferers zukünftig grundlegend verändern: Der Zulieferer wird in immer höherem Maße Verantwortung nicht nur für sein eigenes System, sondern auch für die Integration seines Systems in eine vernetzte Systemumgebung übernehmen müssen. Entsprechend muss die heute übliche Überprüfung einer Einzelkomponente zukünftig durch eine Verifikation der Integration der Komponente in das einbettende System ergänzt werden.

### Auswirkungen auf den ESL-Entwurf

Zum heutigen Zeitpunkt finden diese Ansätze keine Berücksichtigung in ESL (Electronic System-Level)-Entwurfsmethoden und -werkzeugen. Bestehende Ansätze fokussieren auf den Entwurf von Einzelsystemen und sind nicht in der Lage, die Integration des Systems in eine hochgradig vernetzte Umgebung zu berücksichtigen. Bereits in heutigen Automobilen findet sich eine Vielzahl vernetzter Steuergeräte, die über ein heterogenes Netzwerk aus unterschiedlichen Bussen und Protokollen (CAN, LIN, MOST, FlexRay etc.) miteinander verbunden sind und auf deren Basis zukünftig hochgradig sicherheitskritische Systemfunktionen wie etwa x-by-wire (steer-by-wire, brake-by-wire) realisiert werden. Moderne Mobiltelefone bestehen mittlerweile aus einer Vielzahl von miteinander verbundenen Subsystemen sowie vielfältigen Peripheriekomponenten, wie Kameras und Memory-Card-Schnittstellen, die über heterogene Verbindungsstrukturen (I2C, I2S, I2RF etc.) miteinander kommunizieren. In beiden Fällen, sowohl im Bereich der Automobilelektronik wie auch in der Mobilkommunikation, besitzt die Kommunikationsarchitektur dabei einen signifikanten Einfluss auf die Funktionalität und das zeitliche Verhalten des gesamten Systems. Dennoch werden in bestehenden Entwurfsabläufen deren Einflüsse erst dann berücksichtigt, wenn alle Subsysteme vollständig in einem realen Prototyp integriert sind – also in einer viel zu späten Phase des Systementwurfsprozesses. Dies führt bereits heute dazu, dass Integrationsfehler erst sehr spät oder – wie das vorige Beispiel aus dem Bereich der Automobilelektronik zeigt – gar nicht aufgefunden werden.

### Das Projekt VISION

VISION stellt sich die beschriebenen Herausforderungen zur Aufgabe und adressiert in Kooperation der Projektpartner Bosch, Cadence, Infineon, FZI Karlsruhe und mit Unterstützung der Unterauftragnehmer OFFIS, Universität Tübingen und Universität der Bundeswehr München den Entwurf vernetzter mikroelektronischer Systeme. Dabei verfolgt VISION folgende ambitionierten Ziele:

#### Zusammensetzung des Projektkonsortiums:

##### Partner:

Cadence Design Systems GmbH  
 FZI Forschungszentrum Informatik Karlsruhe  
 Infineon Technologies AG  
 Robert Bosch GmbH

##### Unterauftragnehmer:

OFFIS e.V. – Institut für Informatik Universität der Bundeswehr München  
 Eberhard-Karls-Universität Tübingen

##### Förderkennzeichen:

01 M 3078

##### Laufzeit des Vorhabens:

01.05.2006–30.04.2009

##### Homepage:

<http://www.edacentrum.de/vision>

- » Die Erfassung und Modellierung verteilter mikroelektronischer Systeme als ganzheitliche Einheit unter Berücksichtigung komplexer Umgebungsbedingungen des Systems. Auf diese Weise steht eine ganzheitliche Sicht auf vernetzte Systeme bereits in frühen Entwurfsphasen zur Verfügung.
- » Die methodische Analyse des Kommunikationsverhaltens und die Identifikation einer optimierten Kommunikationstopologie sowie geeigneter Protokolle ausgehend von einer hohen Abstraktionsebene der Modellbeschreibung.
- » Die Analyse und Simulation der Systemintegration auf Basis abstrakter Modelle des Systems und der Systemumgebung. Auf diese Weise erfolgt eine Vorverlagerung dieses signifikant wichtigen Schritts in eine frühe Phase des Systementwurfsprozesses.
- » Die Erforschung einer domänenübergreifenden Entwurfsmethodik für verteilte mikroelektronische Systeme und deren Applizierung zum Aufbau effizienter applikationsspezifischer Entwurfsprozesse. Auf diese Weise sollen „Enabler“-Lösungen entstehen, die den wirtschaftlichen Entwurf zukünftiger vernetzter Systeme, wie x-by-wire in der Automobiltechnik oder neue Generationen mobiler Kommunikationssysteme ermöglichen.

### Der VISION-Designflow

Der VISION zugrundeliegende Entwurfsablauf sowie die daraus resultierende Strukturierung des Projekts in Arbeitspakete sind in Abbildung 1.07 aufgezeigt.

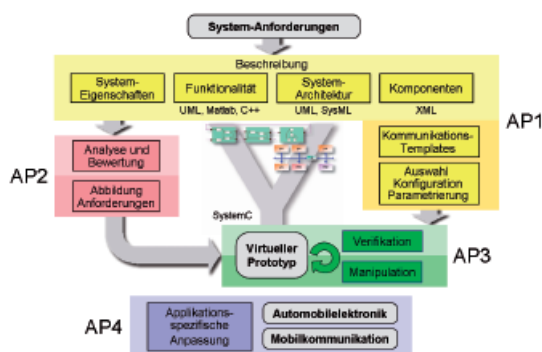


Abbildung 1.07: VISION-Entwurfsablauf und Arbeitspakete

- » Ausgehend von einer abstrakten Spezifikation der Systemanforderungen, etwa in Form eines natürlichsprachigen Dokuments, erfolgt auf oberster Ebene in Arbeitspaket 1 („Topologien und Architekturen verteilter Systeme“) eine Beschreibung des vernetzten Systems. Diese legt eine ganzheitliche Sicht auf das vernetzte System und seine einbettende Umgebung zugrunde und umfasst neben einer Beschreibung von Funktionalität und Architektur eine Erfassung von Systemeigenschaften sowie eine Komponenten-Sichtweise auf das System. Darauf aufbauend erfolgt die Ableitung einer geeigneten Kommunikationstopologie und Netzwerkarchitektur, wobei Kommunikationsschablonen sowie deren geeignete Auswahl, Konfiguration und

Parametrisierung von zentraler Bedeutung sind.

Die Beschreibungen bilden sich auf ein abstraktes ausführbares Systemmodell, im Folgenden als virtueller Prototyp bezeichnet, ab. Dieser stellt für die nachfolgenden Entwurfsaktivitäten und Verfeinerungsschritte eine zentrale Datenstruktur dar, die den VISION-Entwurfsablauf ganzheitlich begleitet.

- » Arbeitspaket 2 („Analyse und Bewertung der Eigenschaften vernetzter Systeme“) stellt Bewertungsverfahren zur Verfügung, die eine frühzeitige Überprüfung von Entwurfsschritten im Hinblick auf Performanz, Echtzeitfähigkeit und Konsistenz erlauben. Weiter adressiert das Arbeitspaket Ansätze für die Abbildung komplexer Systemeigenschaften, etwa Zuverlässigkeit oder Sicherheit, in den Systementwurfsablauf.
- » Arbeitspaket 3 („Verifikationsgestützte Systemintegration und -implementierung“) beinhaltet Ansätze zur flexiblen und konsistenten Ableitung von virtuellen Prototypen für unterschiedliche Entwurfsaktivitäten, Abstraktionsebenen- und Domänengrenzen-übergreifende Verifikationstechniken zur Unterstützung einer verifizierten Systemintegration sowie Modelltransformationen für eine zielgerichtete Manipulation der Eigenschaften von Systemmodulen und des Gesamtnetzwerks. Damit bildet Arbeitspaket 3 die Schnittstelle zu den nachfolgenden domänenspezifischen Implementierungsprozessen.
- » Für die in den Arbeitspaketen 1 bis 3 entwickelten Methoden erfolgt in Arbeitspaket 4 („Applikationen und Designflow-Integration“) eine applikationsspezifische Anpassung an die spezifischen Randbedingungen der adressierten Applikationsdomänen Automobilelektronik und Mobilkommunikation sowie deren nahtlose Anbindung an bestehende domänenspezifische Implementierungsprozesse. Daraus resultieren anwendbare Designflows für die einzelnen Applikationsdomänen. Für diese erfolgt eine Applizierung auf ausgewählte Problemstellungen aus den einzelnen Domänen.

Die nachfolgenden Abschnitte stellen die Arbeiten und Ergebnisse in den adressierten Schwerpunktbereichen genauer dar und liefern so einen Überblick über den aktuellen Stand der Arbeiten im Projekt.

### Modellierung zukünftiger vernetzter Systeme

Der Schlüssel für einen erfolgreichen Entwurf verteilter mikroelektronischer Systeme hängt maßgeblich von der Fähigkeit ab, diese Systeme ganzheitlich modellieren zu können, um die durch die Vernetzung bedingten vielfältigen Abhängigkeiten zu beherrschen. In bisherigen Ansätzen wird eine ganzheitliche Systemsicht nach Erstellung eines realen Prototyps zur Verfügung gestellt, wodurch die Verifikation der Systemintegration erst in einer sehr späten Phase des Entwurfs durchgeführt werden kann. Ziel ist es daher, mögliche Integrationsfehler frühzeitig unter Anwendung eines abstrakten Plattformmodells aufdecken zu können. Weiterhin ist

es wichtig, die Modellierungsmethodik nicht losgelöst von dem eigentlichen Implementierungsflow zu realisieren, da die entstehende Lücke im Entwurfsablauf Ursache vieler manueller Verfeinerungsfehler ist und zu einer Senkung der Entwurfsproduktivität führt. Ebenso ermöglicht ein Modell des gesamten verteilten Systems eine automatisierte Bestimmung einer geeigneten Netzwerktopologie. Aus diesem Grund liegt ein weiterer Fokus auf der Modellierung und automatisierten Generierung der Kommunikationstopologie und Netzwerkarchitektur von verteilten mikroelektronischen Systemen. Es wird eine abstrakte Beschreibungsmethodik zur Modellierung verteilter Systeme entwickelt und bereitgestellt, die eine methodische Verfeinerung des Modells erlaubt sowie eine semi-automatisierte Ableitung einer geeigneten Netzwerkstruktur einschließlich geeigneter (ausführbarer) Modelle für eine weitere Prozessierung innerhalb des Entwurfsablaufs ermöglicht. Dies beinhaltet die Anwendung von Methoden für eine abstrakte modellbasierte Analyse des Systemverhaltens sowie die Bereitstellung und automatisierte Parametrierung von generischen Kommunikationsschablonen.

Um diese Ziele zu erreichen, wurde eine XML-basierte Spezifikationsdatenbasis erstellt, die es ermöglicht unterschiedliche Systemansichten (etwa Plattformsicht, Komponentensicht, Funktionssicht) innerhalb eines Modells zu vereinen. Ausgangspunkt ist ein erweitertes IP-XACT-Komponentenformat, das unterschiedliche Ansichten zur Charakterisierung einer Komponente bereitstellt und sehr einfach zur modellbasierten Plattformkomposition verwendet werden kann. Die Komponentenbeschreibung wird in eine UML-Entwurfsumgebung exportiert, um alle verfügbaren Komponenten für die modellbasierte Plattformkomposition bereitzustellen. Zur Modellierung der Plattform wurden existierende Profile (SysML, MARTE) im Hinblick auf vernetzte integrierte Systeme und der zur Verfügung zu stellenden IP-XACT-Komponenten erweitert, um eine intuitive Plattformkomposition und Zuordnung von Funktionsblöcken auf Plattformkomponenten zu ermöglichen. Ferner werden sogenannte Plattform-Template entwickelt, die parametrierbare Teilplattformen zur effizienteren Komposition bereitstellen. Der Modellexport erfolgt wiederum über XML, woraus im

Anschluss ein SystemC-basierter virtueller Prototyp erzeugt wird. Das erzeugte XML-Systemmodell dient als Basis für die weitere Verfeinerung sowie für die Generierung des virtuellen Prototyps. Abbildung 1.08 zeigt den zugrunde liegenden Modellierungs- und Verfeinerungsprozess im Überblick.

Der Explorations- und Verfeinerungsprozess wird durch die im nächsten Abschnitt beschriebene Analyse und Bewertung getrieben und besteht aus zwei Teilschritten. Im ersten Schritt findet unter Anwendung von Plattform-Template eine Transformation des Modells in eine Makroarchitektur statt, wobei die Plattformarchitektur einschließlich einer anwendungsoptimierten Netzwerktopologie festgelegt wird. Hierzu wird das Modell entsprechend der Explorationsergebnisse angepasst, und zusätzliche Annotationen werden an den instantiierten Plattform-Template/Komponenten vorgenommen. Im zweiten Schritt findet die eigentliche Generierung des SystemC-basierten virtuellen Prototyps statt. Bei diesem Schritt sind insbesondere Schnittstellen- und Protokollanpassungen vorzunehmen, um inkompatible Schnittstellen und Protokolle aneinander anzupassen. Hierzu werden unter Anwendung abstrakter IP-XACT-basierter Schnittstellen- und Protokollbeschreibungen in einem automatisierten Prozess Schnittstellen- und Protokolladapter erzeugt, so dass auch im Fall von vernetzten Modellkomponenten mit inkompatiblen Schnittstellen direkt ein simulierbarer virtueller Prototyp generiert werden kann.

Im weiteren Projektverlauf sind Forschungsarbeiten zur (semi-)automatischen Netzwerkersploration geplant, an die sich Aktivitäten zur automatischen Allokation und Bindung von Kommunikationskanälen anschließen. Dies ermöglicht eine schnelle und sichere Optimierung der Netzwerkstruktur unter Vermeidung zeitaufwändiger Entwurfsiterationen. Dieser Prozess profitiert unmittelbar von den weiteren Arbeiten zur Performanzanalyse von abstrakten Plattformmodellen mit annotierten Architekturmerkmalen. Die erforschte Methodik zur Protokollanpassung wurde bereits für erste On-Chip-Protokolle erfolgreich durchgeführt. Eine Erweiterung für komplexere Protokolle ist momentan Gegenstand der Arbeiten.

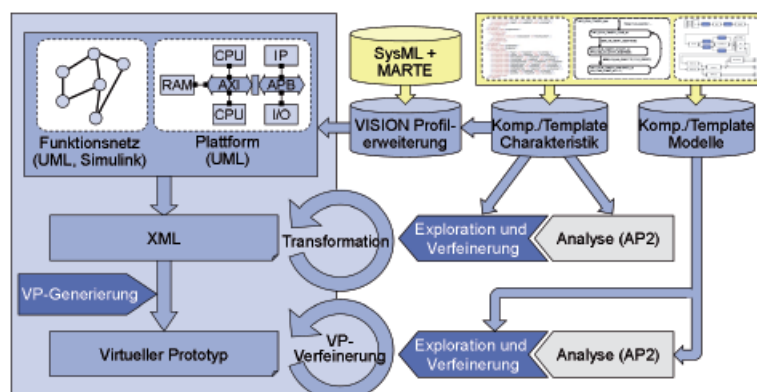
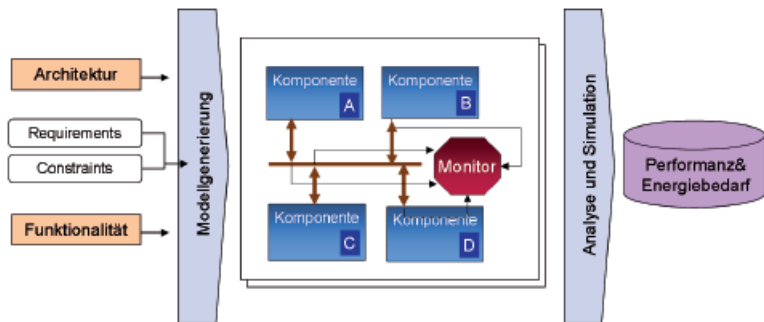


Abbildung 1.08: Modellierungs- und Verfeinerungsprozess für vernetzte integrierte Systeme

Zur Ergebnisevaluation wurde der Aufbau eines projektweiten Demonstrators begonnen. Der Demonstrator besteht aus einer FlexRay-gekoppelten Kommunikation mehrerer integrierter Steuergeräte zur Verkehrszeichenerkennung und beinhaltet ferner unterschiedliche Diagnosefunktionen, die über den gleichen Bus kommunizieren, so dass unter Berücksichtigung der applikationsbedingten Last eine optimierte Dimensionierung des



**Abbildung 1.09:** Modellgenerierung aus Architektur und Funktionalitätsbeschreibung zur simulativen Analyse des Systemverhaltens, z. B. im Hinblick auf Performanzverhalten- und Energiebedarf

Netzwerkes sowie der beteiligten Knoten durchgeführt werden kann.

### Analyse und Bewertung

Die komplexen Eigenschaften der zukünftigen Systeme erfordern auch eine Erweiterung der Architekturanalyse und des Bewertungsprozesses zugeordnet zu ihrer Funktionalität. Im Rahmen von VISION wird eine frühzeitige Überprüfung von Entwurfsschritten im Hinblick auf Performanz, Qualität, Echtzeitfähigkeit und Konsistenz untersucht. Hierzu werden Verfahren zur systemübergreifenden Analyse der Systemanforderungen unter Verwendung von dynamischen und statischen Analysetechniken entwickelt. Der besondere Fokus wird auf die Nutzbarkeit einer Kommunikationsanalyse über Subsystemgrenzen vor der Erstellung eines realen Prototyps, sowie von Entscheidungshilfen bei der Auswahl einer Kommunikationstopologie vor der Integration der Subsysteme gelegt. Des Weiteren werden automatisierte Verfahren zur Kommunikationsanalyse verteilter, vernetzter Systeme prototypisch erstellt.

Zum Erreichen dieser Ziele werden verschiedene, im Folgenden beschriebene Ansätze untersucht und deren Verwendbarkeit im Rahmen von Anwendungen evaluiert. Zum einen wird die Netzwerkstruktur basierend auf einer abstrakten Modellbeschreibung analysiert. Des Weiteren werden Methoden zur Performanzanalyse und zur simulativen Kommunikationsüberwachung untersucht. Schließlich werden unterschiedliche Analyse-Techniken für einzelne Prozesse mit einer globalen Kommunikationsanalyse und einem Umgebungsmodell kombiniert.

Im Rahmen der simulativen Architekturanalyse komplexer vernetzter Systeme wurde zunächst eine ausführbare Funktions- und Architekturbeschreibung für ein Entwurfsbeispiel erstellt, das Untersuchungen zu den Anforderungen an Kommunikationsstrukturen ermöglichte. An Hand der Ergebnisse dieser Anforderungen konnten Konzeption und Modellierung einer generischen Topologiedarstellung als eine der ersten Stufen der Kommunikationsanalyse durchgeführt werden. Abbildung 1.09 zeigt einen Überblick über das Vorgehen.

Generell wird dieser Ansatz gewählt, um von abstrakten Systembeschreibungen für eine erste Per-

formanzanalyse auszugehen und eine frühe Simulation von Implementierungsalternativen zu ermöglichen. Dabei besteht das Ziel darin, Simulationsmodelle aus einer Architekturbeschreibung der Systemhardware sowie einer exemplarischen Funktionsbeschreibung zu generieren, deren Aktivität separiert in Kontroll- und Datenfluss dargestellt wird. Die anschließende Simulation dient der Gewinnung von

Informationen über Performanz und Verlustleistung des Systemverbunds.

Neben den simulativen Ansätzen liegt ein weiterer Schwerpunkt auf der analytischen Modellierung von Kommunikationsprotokollen und Buszugriffsverfahren sowie deren Integration in den entwickelten Entwurfs- und Analyseablauf „SysXplorer“ für verteilte eingebettete Systeme und Systems-on-Chip. Basierend auf einem abstrakten UML-Plattform-Modell wurde ein Ansatz erarbeitet, um eine benutzergeführte Spezifikation und Verfeinerung der Kommunikationscharakteristik im Analyseablauf durchzuführen. Die entwickelte Methode erlaubt eine nahtlose modellbasierte Überführung und Exploration der Kommunikationsprotokolle in ein formales Systemmodell, welches eine globale Performanz- und Echtzeitanalyse ermöglicht. Der Ansatz koppelt bestehende „Bottom-Up“-Analysemethoden von funktionalen SystemC-Modellen mit der neu entwickelten „Top-Down“-Spezifikationsmethodik in einem gemeinsamen Explorations-Framework. Zur Einbeziehung des Einflusses von potenziell parallelen Buszugriffen auf das globale Zeitverhalten wurden die grundlegenden Analysen erweitert. Somit sind garantierte Aussagen über die Echtzeitfähigkeit des Gesamtsystems in Abhängigkeit von der Parametrierung von Kommunikationsmedien mit TDMA-Zugriffsverfahren zu treffen. Aktuell erfolgt eine Verfeinerung der Analysen, um den globalen zeitlichen Einfluss von Buszugriffen unter Round-Robin-Strategie in engen Grenzen fassen zu können. Weiterhin wird die Einbeziehung von Software-Scheduling in die Analysen zur Echtzeitfähigkeit entwickelt.

Zur Abbildung komplexer Anforderungen und Eigenschaften eines vernetzten Systems (etwa Zuverlässigkeits-, Sicherheits- oder Fehlertoleranz-Eigenschaften) in den Systementwurfsablauf wurde/wird ein Lösungsansatz entwickelt, welcher bei der Kopplung von Subnetz-Domänen mit unterschiedlichen charakteristischen Eigenschaften eine Ausbreitung von Fehlverhalten zwischen Subnetzen unterbindet. Hierzu wurde eine Hardware-Architektur in Form eines Multiprozessorsystems mit spezialisiertem Coprozessor („Gateway Unit“) konzipiert. Auf Basis einer prototypischen Implementierung wurde die Eignung des Ansatzes in Bezug auf die gegebenen Anforderungen (im Hinblick auf

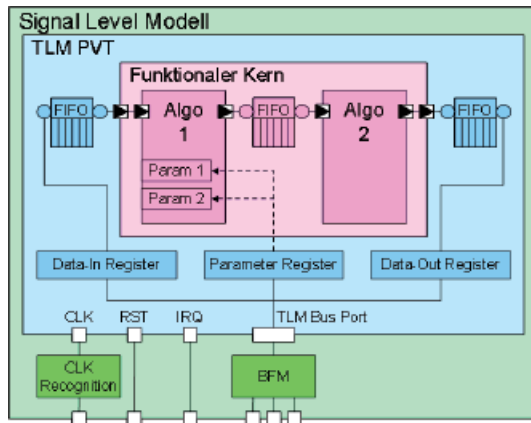


Abbildung 1.10: „Layered Modeling Approach“ für virtuelle Prototypen

Performanzverhalten, Clock-Rate und Skalierbarkeit) validiert und das Vorgehen mit bestehenden Lösungsansätzen (basierend auf Einprozessorsystemen bzw. Einprozessorsystemen mit optimierter Zusatzhardware) verglichen. Dabei konnte das hohe Potenzial der entwickelten Lösung nachgewiesen werden. In aktuellen Arbeiten erfolgt eine Erweiterung der Gateway-Funktionalität zur Abbildung von komplexen Systemeigenschaften vernetzter Systeme der beschriebenen Art.

### Verifikationsgestützte Systemintegration

Ziele der Arbeiten im Schwerpunktbereich der verifikationsgestützten Systemintegration bilden der Aufbau von Verifikationsmechanismen, deren Wirkungsbereich sich durchgängig von der obersten Systemebene bis auf die Implementierungsebene erstreckt, die frühzeitige Verifikation des Zusammenspiels von Systemkomponenten innerhalb einer vernetzten Umgebung auf Modell-Ebene sowie die automatisierte Umsetzung abstrakter Systemmodelle in implementierbare Entwurfsbeschreibungen. Auf diese Weise wird eine Vorverlagerung des Schritts der Systemintegration in eine frühe Phase des Entwurfsablaufs sowie eine nahtlose Anbindung der entwickelten Methoden an nachfolgende Implementierungsprozesse ermöglicht.

Im Rahmen der Arbeiten wurde ein als „Layered Modeling Approach“ bezeichnetes Konzept zur Ableitung von virtuellen Prototypen für verschiedene Anwendungen aus einer abstrakten Systembeschreibung entwickelt. Der SystemC-basierte Ansatz beinhaltet ein aus mehreren hierarchischen Schichten aufgebautes Systemmodell, dessen innerste Schicht den rein funktionalen Kern des Systems abbildet. Darauf aufsetzende Schichten stellen unterschiedliche Sichten auf das System zur Verfügung, wobei der Detaillierungsgrad mit zunehmender Schichtungstiefe zunimmt. Die unterschiedlichen Schichten liefern ausführbare Systemmodelle für unterschiedliche Anwendungen, etwa für die abstrakte, nicht zeitbehaftete Algorithmensimulation, für die Softwareentwicklung, für die Überprüfung der Systemintegration sowie für die Architekturverifikation bis hin zur zyklengenauen RTL-Verifikation. Dieses Vorgehen ermöglicht eine Wiederverwendung von Modellen der inneren Schichten bei der Systemverfeinerung,

### Schicht 1: Funktionaler Kern

- Algorithmensimulation

### Schicht 2: TLM PVT

- Softwareentwicklung
- Systemverifikation
- Architekturverifikation

### Schicht 3: Signal-Level Modell

- RTL-Verifikation (TLM/RTL-Konsistenz)

was eine Aufwandseinsparung bei der Modellimplementierung und bei der Verifikation der Konsistenz der Modelle ermöglicht. Abbildung 1.10 zeigt das Konzept anhand eines einfachen Beispielsystems. Aktuell erfolgt die Modellierung eines komplexeren Beispiels unter Anwendung des beschriebenen Modellierungsansatzes, was die Grundlage für eine detaillierte Analyse und Erweiterung des Vorgehens darstellen wird.

In Ergänzung zum beschriebenen Vorgehen wurde eine auf der Systembeschreibungssprache SystemC basierende Methodik zur modularen Verifikation von Systemkomponenten und deren Integration in ein vernetztes System aufgebaut. Diese liefert eine flexible Schnittstelle zum bestehenden HDL-basierten Verifikationsflow. Der Ansatz ermöglicht die zentrale Steuerung und Synchronisation eines dezentralen (und potenziell verteilten) Verifikationsgeschehens und stellt dabei erweiterte Verifikationsmechanismen, etwa bezüglich der Anbindung von Applikationssoftware oder der Integration von Referenzmodellen in den Verifikationsablauf, zur Verfügung. Als Referenzmodelle können etwa virtuelle Prototypen gemäß dem im vorigen Abschnitt beschriebenen „Layered Modeling Approach“ zum Einsatz kommen. Die Fortsetzung der Arbeiten sieht eine Erweiterung des Verfahrens um zusätzliche Verifikationskonzepte sowie eine Realisierung von Verifikationsmodulen für relevante Systemmodule und deren Integration in die Verifikationsmethodik vor.

Zur Anbindung von Systemmodellen an bestehende Implementierungsprozesse wurde weiter ein Regelbasierter Transformationsansatz zur zielgerichteten Verbesserung der Wiederverwendbarkeits- und Integrierbarkeitseigenschaften von System- und Kommunikationskomponenten entwickelt. Das Vorgehen unterstützt auf diese Weise den Schritt der Systemintegration sowohl auf der Ebene der Systemkomponenten als auch auf der Ebene des Gesamtnetzwerks. Abbildung 1.11 gibt dazu einen Überblick. Innerhalb des Verfahrens erfolgt eine Überführung der Systembeschreibung in eine XML-basierte Darstellung, was eine Anwendung von Transformationsregeln unter Einsatz leistungsfähiger XSL-Prozessoren ermöglicht. In Fortsetzung der Arbeiten sollen Transformationsregeln rea-

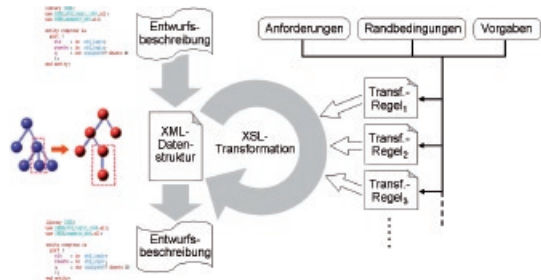


Abbildung 1.11: Regel-basierter Transformationsansatz.

liert werden, die eine zielgerichtete Verbesserung der Integrierbarkeit von Systemmodulen in eine vernetzte Systemumgebung (auf Subsystem-Ebene) und eine zielgerichtete Verbesserung von Systemeigenschaften einer vernetzten Systemumgebung (auf Netzwerkebene) ermöglichen.

**Applikationen und Designflows**

Die in den vorangegangenen Schwerpunktbereichen entwickelten Ansätze adressieren den Entwurf vernetzter Systeme in einer applikations- und domänenübergreifender Weise. Diesem Vorgehen liegt die Beobachtung zugrunde, dass die Betrachtung der Vernetzungsproblematik in unterschiedlichen Applikationsdomänen zu identischen Fragestellungen führt, deren gemeinsame Lösung – unter Bündelung von Know-how und Expertise aus unterschiedlichen Blickwinkeln – ein zielführendes Vorgehen darstellt. Dabei unterscheiden sich die Anforderungen in den einzelnen Applikationsdomänen durchaus: Während der Bereich der Automobilelektronik durch einen enormen Anspruch an die Zuverlässigkeits- und Sicherheitseigenschaften der entwickelten Systemlösungen geprägt ist, definiert sich der Bereich der Mobilkommunikation durch hohe Anforderungen bezüglich der Systemkomplexität (der Übergang von GSM zu UMTS hatte eine Komplexitätssteigerung um Faktor zehn zur Folge), der Flexibilität der Produktgestaltung (große Anzahl von Produktvarianten und schnelles Reagieren auf variierende Marktanforderungen, neue Telekommunikationsstandards und Schnittstellenprotokolle), der Effektivität des Entwurfsprozesses (kleines Zeitfenster für Markteinführung bei kurzen Produktlebenszyklen) und der Notwendigkeit zur flexiblen Integration unterschiedlicher Technologien (etwa A/MS-Komponenten auf Baseband-Chips).

Ziel der Arbeiten im Schwerpunktbereich der Applikationen und Designflows stellt daher die applikationsspezifische Anpassung der entwickelten Verfahren an die spezifischen Anforderungen der konkreten Applikationsdomänen sowie deren Integration in die domänenspezifischen Designflows dar. Daraus resultieren anwendbare Lösungen für die beiden im Projekt von den Partnern Bosch und Infineon adressierten Applikationsdomänen „Automobilelektronik“ und „Mobilkommunikation“.

Innerhalb des Projekts verläuft sowohl die Entwicklung der Methoden als auch deren applikationsspezifische Anpassung in drei Phasen, die sich im Groben auf die drei Projektjahresabschnitte abbilden. Abbildung 1.12 stellt das Zusammenspiel dar.

- » In der ersten Phase wurden zunächst Konzepte erstellt und prototypische Methoden entwickelt. Parallel dazu wurden die zu betrachtenden applikationsspezifischen Anforderungen der beiden adressierten Applikationsdomänen „Automobilelektronik“ und „Mobilkommunikation“ spezifiziert.
- » In der zweiten Phase wurden/werden die Methoden auf ausgewählte Applikationsbeispiele angewandt, um sie zu validieren. Dabei erfolgt eine Anpassung der Methoden an die applikationsspezifischen Anforderungen der jeweiligen Domäne.
- » In der dritten Phase werden die verfeinerten Methoden verifiziert. Parallel dazu werden die Methoden prototypisch in Entwurfsabläufe integriert, um das Zusammenspiel mit den bestehenden Designflows der Partner zu validieren.

In allen drei Phasen wird bereits bei der Entwicklung der Methodiken darauf geachtet, dass Randbedingungen, die durch die applikationsspezifischen Anforderungen definiert werden, eingehalten werden. Dies geschieht durch einen kontinuierlichen Abgleich der Anforderungen und Arbeiten in den einzelnen Schwerpunktbereichen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass realitätsnahe Anforderungen, die sich während der Projektlaufzeit ändern oder neu ergeben können, kontinuierlich in die Methodikentwicklung einfließen. Dadurch wird eine effiziente und zeitnahe Verwertung der Projektergebnisse nach Projektende bestmöglich vorbereitet.

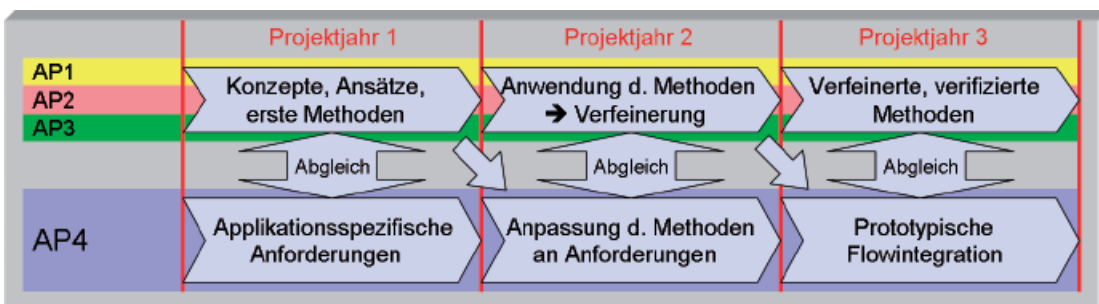


Abbildung 1.12: Ablauf der Methodenanpassung an applikationsspezifische Anforderungen und Design Flows

**Referenzen**

- [1] O. Bringmann, A. Viehl: "SystemC-Based Architectural Exploration" (poster and software demonstration), Design Automation and Test in Europe (DATE), April 16-20, 2007, Nice, France.
- [2] M. Krause, O. Bringmann, A. Hergenhan, G. Tabanoglu, W. Rosenstiel, "Timing Simulation of Interconnected AUTOSAR Software-Components", Design Automation and Test in Europe (DATE), 16-20 April 2007, Nizza, Frankreich
- [3] R. Lissel, J. Gerlach: "Introducing New Verification Methods into a Company's Design Flow: An Industrial User's Point of View", Design Automation and Test in Europe (DATE), April 16-20, 2007, Nice, France.
- [4] R. Lissel, J. Gerlach: "SystemC-Based System Verification" (poster and software demonstration), Design Automation and Test in Europe (DATE), April 16-20, 2007, Nice, France.
- [5] F. Schäfer, O. Bringmann, J. Gerlach, U. Nageldinger, "SystemC Based Design Methods for Distributed Microelectronic Systems in Automotive and Communication Domains", MEDEA+ Design Automation Conference, May 2007, Grenoble
- [6] BMBF, IKT2020 Forschung für Innovationen, Bonn Berlin, 2007
- [7] „IKT2020 – Was Sie schon immer darüber wissen wollten ...“ – Ein Forschungsprogramm um den Paradigmenwechsel im BMBF, newsletter edacentrum 04/2007
- [8] Projektübersicht Ekompas, www.edacentrum.de/projekte
- [9] VEIA, Verteilte Entwicklung und Integration von Automotive-Produktlinien, http://veia.isst.fraunhofer.de/
- [10] MxMobile, http://www.whni.uni-paderborn.de/sct/projekte/mxmobile/
- [11] Organic Computing Initiative, http://www.organic-computing.de/
- [12] Open SystemC Initiative, http://www.systemc.org
- [13] L. Lavagno, C. Passerone, F. Schäfer, "Partitioning" in G. Martin, B. Bailey, and A. Piziali (Editors) "ESL Design and Verification - A Prescription for Electronic System Level Methodology (Systems on Silicon), Elsevier LTD, Oxford, 2007
- [14] SPRINT, Open SoC Design Platform for Reuse and Integration of IPs, http://www.sprint-project.net/

## Zusammenfassung und Ausblick

Das Projekt VISION adressiert unmittelbar die im BMBF Programm IKT 2020 [20, 21] beschriebenen Leitinnovationen „Initiative Automobilelektronik“ und „Sichere Mobilität durch Kommunikationstechnologien“ in dem IKT-Anwendungsfeld „Automobil und Mobilität“. Dabei spielt insbesondere die im Projekt adressierte Kommunikation in vernetzten Systemen eine bedeutende Rolle bei den IKT-Qualitätszielen „Sicherheit“ und „Wirtschaftlichkeit“. VISION fokussiert auf diese Qualitätsziele mit Arbeiten in den Bereichen „Beherrschung der Komplexität vernetzter Systeme“, „Beherrschung der komplexen Interaktionen in vernetzten Systemen“, „Erhöhung der Zuverlässigkeit und Sicherheit“ sowie „Verbesserung der Designfähigkeit (höhere Flexibilität, schnelleres Reagieren auf neue Anforderungen)“. Die in VISION durchgeführten Forschungsarbeiten werden wichtige Beiträge leisten dass lebensrettende Maßnahmen schneller eingeleitet werden können, der Verbrauch von Energieressourcen aufgrund intelligenter Kommunikationsnetze geschont, und das sichere Auto „Made in Germany“ auch in 10 Jahren weiterhin seine Spitzenposition auf dem Weltmarkt behaupten wird.

Im Einklang mit den IKT 2020-Zielen kann VISION zur Halbzeit des Projektes bereits mit einer Reihe von technisch bemerkenswerten Ergebnissen aufwarten.

- » In Kooperation der Partner wurde ein ganzheitlicher Modellierungsansatz zur Beschreibung von Funktion, Architektur und Komponentensicht eines Netzwerks unter Verwendung eines erweiterten UML-Profiles zur Plattform-Komposition aufgebaut und ein Verfahren realisiert, welches für die Komposition von Komponenten unterschiedlicher Protokolle eine automatisierte Schnittstellenanpassung zur Verfügung stellt.
- » Basierend auf einer im Projekt LEMOS entwickelten Methodik zur Performanz- und Power-Analyse auf Basis erweiterter Warteschlangenmodelle (sogenannter EQN\*-Modelle) wurde ein Ansatz zur Analyse von verteilten Systemen entwickelt. Hierzu wurden Ansätze zur Spezifikation von Verhalten und Architektur und deren Abbildung auf EQN\*-Modelle realisiert. Weiter wurde ein Vorgehen bzw. eine Architektur zur Abbildung komplexer Anforderungen, wie etwa Sicherheit und Zuverlässigkeit, in den Systementwurfsablauf konzipiert und prototypisch implementiert.
- » Die konsistente Generierung von virtuellen Prototypen für verschiedene Anwendungen – etwa Algorithmen-Validierung, SW-Entwicklung oder Architektur-Verifikation auf Basis eines gemeinsamen funktionalen Kerns und mehrerer hierarchischer Schichten für unterschiedliche Modellsichten – wurde im Projekt entwickelt.
- » Die zielgerichtete Optimierung von Komponenten- und Netzwerk-Eigenschaften wurde durch die Entwicklung eines Ansatzes zur Manipulation von

Systembeschreibung, die auf Basis von XML und abstrakter Transformationsregeln aufgebaut sind, ermöglicht.

- » Die Leistungsfähigkeit der VISION-Methodik wird anhand einer projektweit anwendbaren Beispielapplikation aufgezeigt. Hierzu wurde eine Automobilapplikation mit verteilten Funktionen zur Verkehrszeichenerkennung, Fahrzeugdiagnose und Realisierung von Brake-by-Wire Funktionalität definiert und mit deren Umsetzung begonnen. Dieses verteilte Automobilszenario dient im Weiteren zur Evaluierung der VISION-Entwurfsumgebung.

Der rege Informationsaustausch ist für den Erfolg eines Projektes unabdingbar. Daher pflegt VISION im Rahmen der Projektarbeiten eine Vielzahl von Kooperationsaktivitäten mit verschiedenen Projekten innerhalb und außerhalb von Ekompas – zu erwähnen sind die Projekte URANOS, LEMOS, VERONA, HERKULES, AIS [8] bzw. MxMobile [10], SPRINT [14], VEIA [9] sowie der DFG Schwerpunktprogramm „Organic Computing“ [11]. Weiter fließen aktuelle Anforderungen und Erkenntnisse von VISION im Rahmen von Kooperationsaktivitäten der Partner mit projektexternen Firmen in die Methodenentwicklung und –anwendung ein. Eine wichtige Komponente stellt ebenfalls die Zusammenarbeit mit Organisationen wie etwa SPIRIT im Bereich IP-XACT sowie mit OSCI (Open SystemC Initiative [12]) durch aktive Beteiligung von Partnern in den OSCI Working Groups für Transaction-Level-Modelling und Verifikation dar.

Die bis dato erarbeiteten Projektergebnisse wurden bereits auf einer Reihe von nationalen und internationalen Workshops und Konferenzen dem Fachpublikum präsentiert. Hervorzuheben ist der Auftritt auf der DATE07 Konferenz, auf der Partner in Einzelvorträgen Projektergebnisse vorstellten [10, 13, 14]. Im Rahmen der University Booth präsentierte sich VISION mit einem Projektstand einem breiten Fachpublikum und stellte zwei Software-Demonstrationen vor. Auch auf der MEDEA+ Design Automation Conference im Mai 2007 fand die Präsentation des Projektes [5] großen Anklang. Ebenfalls hervorzuheben ist ein Beitrag seitens des Projektpartners Cadence zum Buch „ESL Design and Verification“ von G. Martin, B. Bailey, A. Piziali (Eds.), Elsevier LTD, Oxford, April 2007 [13], in welches ebenfalls Erkenntnisse aus den Projektarbeiten eingearbeitet wurden.

Alle beteiligten Projektpartner sind mit dem bisherigen Projektverlauf sehr zufrieden und zuversichtlich, die gesteckten Ziele zum Abschluß des Projektes im Jahr 2009 erreichen zu können.

Auf der DATE08 in München präsentiert sich VISION auf dem Ekompas-Stand des edacentrum. Besuchen Sie uns und lassen Sie sich die Ziele und Ergebnisse von uns erläutern. Die genauen Termine entnehmen Sie bitte der Auflistung auf Seite 21.

### Kont@kt (VISION)

#### Projektkoordination

Robert Bosch GmbH

Dr. Joachim Gerlach

fon: (0 71 21) 35 – 10 30

joachim.gerlach@de.bosch.com

#### Projektmanagement

edacentrum GmbH

Dr. Dieter Treytnar

fon: (05 11) 7 62 – 1 96 87

treytnar@edacentrum.de