

# Mehr Software (im) Wagen

## Informations- und Kommunikationstechnologie als Motor der Elektromobilität der Zukunft

Dr. **C. Buckl**, ForTISS GmbH, München;  
**M. Fehling**, Siemens AG, München  
Dr. **C. Klein**, Siemens AG, München;  
Dr. **B. Schätz**, ForTISS GmbH, München;

### Kurzfassung

Die meisten Studien über die Entwicklung des Marktes für Personenfahrzeuge kommen zu dem Schluss, dass bereits mittelfristig mit einer erheblichen Nachfrage nach Elektrofahrzeugen zu rechnen ist. Im Prinzip kann die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) - Architektur eines Elektrofahrzeugs aus einem klassischen Fahrzeug mit traditioneller Elektrisch/Elektronischer-Architektur heraus entwickelt werden. Es ist aber wichtig zu erkennen, dass bei einem solchen Ansatz erhebliche Potentiale verschenkt werden, die über die reinen Energie- und Schadstoffaspekte hinausgehen: erst durch eine grundlegend überarbeitete IKT-Architektur können grundlegend neue Funktionen zu vertretbaren Kosten entwickelt werden. Erst durch den Übergang zur Elektromobilität ergibt sich die Chance, die bisher schwer änderbare und unflexible Architektur grundlegend zu überarbeiten und Optimierungspotentiale (z. B. Reduktion der Komplexität, Vereinfachung der Integration, Beschleunigung der Entwicklungszyklen) zu nutzen. Wie und wann sich hier eine Eigendynamik entfaltet, ist noch nicht absehbar. Dieses Dokument ist die Zusammenfassung der Ergebnisse des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Forschungsprojekts „eCar-IKT-Systemarchitektur für Elektromobilität“.

### Abstract

In the next years, a substantial amount of electric cars will be sold according to different surveys. The architecture of the information and communication technology (ICT) of conventional cars could be reused for these electric cars. However, in this case, one would waste the opportunity to change this architecture drastically. Today's architecture has become a severe bottleneck within the development. New functions can only be integrated with tremendous efforts; the integration of completely new types of functions, such as autonomous driving is nearly impossible. This document discusses the role of the ICT architecture in the context of electric mobility and points out, how a future architecture may

look like. It is the summary of a research project funded by the Federal Ministry of Economics and Technology.

## **1. Einleitung**

Disruptive Technologien haben das Potenzial, Märkte dramatisch zu verändern: Dominante Positionen können dann besonders solche Unternehmen erlangen, die neu am Markt auftreten oder sich von traditionellen Strukturen lösen und wichtige Innovationen ohne Verzögerung umsetzen [1]. Elektromobilität ist eine solche disruptive Veränderung. Der elektrische Antrieb von Fahrzeugen ist jedoch nur der Katalysator für den eigentlichen Wandel: Vor allem ändert sich die Architektur und die Rolle der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT-Architektur) für das Fahrzeug der Zukunft. Die IKT gewinnt zunehmend an Bedeutung und wird damit zu einem treibenden Faktor.

Die IKT ist bereits heute in Form von Elektrik und Elektronik im Auto (Automotive E/E) essenziell für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie. Sie entfaltet ihre Wirkung besonders, indem sie Fahrleistung und -komfort verbessert sowie zur passiven und aktiven Sicherheit beiträgt. Im Elektrofahrzeug reicht die Wirkung jedoch weiter: IKT wird zur Grundlage der Fahrfunktionen selbst. Architekturen und Technologien für IKT im Fahrzeug dürfen deshalb nicht nur wie bisher als Rahmen für evolutionäre, schrittweise Neuerungen angesehen werden. Stattdessen müssen sie so zukunftsgerichtet überarbeitet werden, dass sie ihre künftig unverzichtbare Rolle bei der revolutionären Entwicklung des Automobils erfüllen können.

Elektromobilität spielt eine Doppelrolle: Zum einen macht sie eine neue IKT-Architektur im Auto erforderlich. Zum anderen schafft sie aber erst die Möglichkeit einer solchen revolutionären Architektur: Sie verschiebt die notwendigen Kernkompetenzen, senkt die Barrieren für den Markteintritt und verändert dadurch die Spielregeln des Markts. Mit einer neuen IKT-Architektur ist es für einen Neueinsteiger einfacher, vom Low-Cost- ins Premiumsegment der Elektromobilität aufzusteigen, als innerhalb des Premiumsegments von der herkömmlichen IKT-Architektur ohne Elektromobilität zur zukünftigen mit Elektromobilität zu wechseln. In der Konsequenz haben neue Wettbewerber die Chance, in etablierte, gesättigte Märkte einzudringen.

Die Bedeutung der zukünftigen IKT-Architektur geht weit über den Wechsel zur Elektromobilität hinaus. Aus historischen Gründen ist die herkömmliche Architektur hochkomplex; sie wird deshalb immer mehr vom Innovationstreiber zur Innovationsbremse. Eine neue Architektur wird dagegen neue Ansätze und Funktionen – von mehr Autonomie beim Fahren bis hin zur tieferen Integration des Fahrzeugs in die IKT-Infrastruktur –

ermöglichen und damit wesentlich dazu beitragen, dass gesellschaftspolitische Ziele wie Energieeffizienz und eine Verringerung der Unfallzahlen erreicht werden.

Durch Elektromobilität wird die Informations- und Kommunikationstechnik im Automobil viel wichtiger. Das hat tief greifende Auswirkungen auf den Wirtschaftsstandort Deutschland: Kompetenzen verschieben sich, und die Strukturen der Wertschöpfung verändern sich. Es gibt keinen Zweifel: Auch ein gewisses Maß an Selbstkannibalisierung der Fahrzeugindustrie ist unvermeidbar. Deshalb müssen sich Wirtschaft, Wissenschaft und Bildung sowie Politik in einer konzertierten Aktion zusammenschließen, um die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in einer seiner Kernindustrien zu sichern.

Dieses Dokument ist die Zusammenfassung der Ergebnisse des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Forschungsprojekts „eCar-IKT-Systemarchitektur für Elektromobilität“. Es beschreibt die Rolle der IKT-Architektur im Fahrzeug im Kontext der Elektromobilität. Es werden die wesentlichen gesellschaftlichen und technologischen Treiber genannt und auf dieser Grundlage Szenarien für Elektrofahrzeuge und die Charakteristika zukünftiger IKT-Architekturen aufgezeigt.

Der vollständige Ergebnisbericht ist unter <http://www.fortiss.org/ikt2030/> verfügbar.

## **2. IKT im Automobil heute**

Wesentliche Innovationen im Automobilbau wurden in den letzten 30 Jahren durch IKT – also elektronische Steuergeräte inklusive der zugehörigen Software – ermöglicht, vom Antiblockiersystem 1978 über das Elektronische Stabilitätsprogramm 1995 bis hin zum Notbremsassistenten 2010. In Summe trägt die IKT im Automobilbau nach aktuellen Einschätzungen circa 30 bis 40 Prozent zur gesamten Wertschöpfung bei. Gleichzeitig ist die IKT-Architektur aber auch komplexer geworden, und das in mehrfacher Hinsicht: durch die eingesetzten Technologien, hinsichtlich der realisierten Funktionen und in Form der Zulieferstrukturen. Entsprechend hat auch die IKT und besonders die darin enthaltene Software wesentlich zugenommen, von circa 100 Zeilen Programm-Code (Lines of Code, LOC) in den 1970er-Jahren auf bis zu zehn Millionen Codezeilen.

Die IKT-Infrastruktur im Automobil von heute – eine Kombination von eingebetteten Funktionen und Infotainment-Systemen – ist eine wesentliche Voraussetzung für Verbrauchsoptimierung und Komfort geworden. Sie ist für bis zu 80 Prozent aller Innovationen im automobilen Premiumsegment wesentlich verantwortlich, bei der Motorsteuerung und der Elektronischen Stabilitätskontrolle ebenso wie bei der Fahrerassistenz. Zudem ist die Umsetzung regulatorischer Anforderungen zur Reduktion von Emissionen und Unfällen ohne IKT nicht denkbar.

Trotzdem bleibt der Einsatz von IKT deutlich hinter den technischen Möglichkeiten zurück: Sicherheit wird vor allem durch Maßnahmen der passiven Sicherheit realisiert, proaktive Sicherheitsfunktionen (zum Beispiel Notbremsassistenten) mit hohen Anforderungen an die IKT werden mit großer Zurückhaltung angegangen. Auch „Drive by Wire“, also die Steuerung von Fahrzeugen ohne mechanische Lenkmittel, wird aufgrund der damit verbundenen Anforderungen an die Verlässlichkeit der IKT nur zögerlich umgesetzt. Auch in anderen Bereichen mit hohem Differenzierungspotenzial – wie dem Infotainment oder Telematik – hält die IKT-Architektur im Fahrzeug nicht mit der Entwicklung in anderen Branchen Schritt. Die Diskrepanz zwischen der Rolle der IKT als „enabling technology“ und Innovationshemmnis hat ihren Grund wesentlich in den Eigenschaften der heutigen IKT. In deutschen Premiumfahrzeugen befinden sich circa 70 bis 100 Steuergeräte [2]. Diese werden oft für den problemspezifischen Einsatz entwickelt, und zwar als bauliche Einheiten von Steuergeräten mit daran gekoppelten Sensoren und Aktoren. Die Steuergeräte werden vernetzt mithilfe eines hochkomplexen Kabelbaums, wobei mehrere Bussysteme – etwa für Motorraum, Karosserie, Innenraum und Infotainment – sowie unterschiedliche Kommunikationsprotokolle verwendet werden, darunter LIN, CAN, FlexRay und MOST. Die IKT-Architektur in Fahrzeugen ist heute geprägt von deren Herstellern und ihren Zulieferern anstatt durch ihre Funktionalität.

Die jahrzehntelange evolutionäre Entwicklung der IKT-Architektur, ohne diese grundlegend zu überarbeiten und damit an ihre heutige Bedeutung anzupassen, hat sich ungünstig ausgewirkt. Darum wirkt die IKT-Architektur in heutigen Fahrzeugen zunehmend als Innovationshemmnis.

### **3. IKT im Automobil 2030**

Verschiedene Trends wirken auf die IKT-Architektur im Fahrzeug und führen zu Änderungen. In diesem Projekt wurden gesellschaftliche und technologische Trends sowie Änderungen in Branchen untersucht, die dem Automotive-Bereich verwandt sind. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurde dann eine mögliche Entwicklung der Architektur dargestellt.

#### **3. 1 Gesellschaftliche Trends**

Individuelle Mobilität wird vor allem durch zwei Trends getrieben: die Mobilisierung der Bevölkerung in den Entwicklungsländern und den Bedeutungsverlust des Autos als Statussymbol in den entwickelten Ländern. In den sich entwickelnden Ländern sind preiswerte und sparsame Fahrzeuge gefragt, die den Übergang vom Motorrad zum Auto fördern. Weil das Auto in entwickelten Ländern kein so wichtiges Statussymbol mehr ist wie früher, werden hier ähnliche Fahrzeuge gebraucht, und zwar für Stadtbewohner und die größer werdende Gruppe alternder Singles. Die Funktion Fahren nimmt an Bedeutung ab,

der eigentliche Mehrwert entsteht durch Individualisierung und Einbindung des Fahrzeugs in einen größeren Kontext. Der Passagier will kostengünstig transportiert werden und gleichzeitig Komfortfunktionen wie die Einbindung in das Internet erleben.

Daraus ergibt sich im Wesentlichen die Nachfrage nach kostengünstigen, unfallfreien Fahrzeugen, die individuell an den Fahrer angepasst werden können und über eine ausreichende Reichweite verfügen. Wie der Bericht verdeutlicht, bildet eine geeignete IKT-Architektur die Voraussetzung, diese Anforderungen umzusetzen. Indem mechanische und hydraulische durch elektronische Komponenten (zum Beispiel X-by-Wire) ersetzt werden, sinkt das Fahrzeuggewicht und steigt die Reichweite; zudem fallen kostenintensive Komponenten weg. Geeignete Middleware-Architekturen ermöglichen die Konfiguration und das Nachladen von Funktionen, die den Kunden einen Mehrwert bieten. Zudem werden sich aktive Sicherheitsfunktionen durchsetzen, die die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls drastisch reduzieren.

### **3. 2 Technologische Trends**

Im technologischen Bereich ist ein Trend zu immer stärkerer Miniaturisierung und zur Entwicklung intelligenter Module zu beobachten. Es entstehen hochintegrierte mechatronische Komponenten, die über eine Datenschnittstelle in Fahrzeuge integriert werden können. Sensorik und Aktorik werden intelligenter und immer universeller einsetzbar, unter anderem für Vorverarbeitungen und einfache Regelungsaufgaben. Ein Beispiel ist „Software Defined Radio“ (SDR). Halbleiter-, Speicher- und Kommunikationstechnik sind durch deutliche Leistungssteigerungen bei sinkenden Preisen geprägt. Im Bereich der Softwaretechnologie ist eine Verzahnung von Konzepten aus sicherheitskritischen eingebetteten Systemen und der Internettechnologie, besonders im Bereich der Middleware, zu beobachten.

Die gesellschaftlichen Trends machen es erforderlich, die IKT-Architektur grundlegend zu überarbeiten. Die Analyse hat ergeben, dass die dafür benötigten Technologien bis spätestens 2030 verfügbar sein werden. Hochintegrierte mechatronische Komponenten verstärken den Trend zu X-by-Wire-Architekturen. Zudem kann die Integration durch die Einführung von Middleware-Architekturen und die Kapselung der oben genannten mechatronischen Module auf einer höheren logischen Ebene erfolgen. Wesentlicher Bestandteil der Middleware-Architekturen werden Komponenten zur Fusion der Sensordaten sein sowie eine Komponente, die dafür sorgt, dass sicherheitskritische und unkritische Funktionen separiert und dadurch auf einem Rechner ausgeführt werden, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen. Dies wird wiederum zu einer Zentralisierung der Rechner im Auto führen, ähnlich wie in der Servertechnik.

### 3. 3 Vergleich mit anderen Bereichen

Auch in anderen Technologieregionen haben sich die Architekturen grundlegend verändert. Ende der 1970er-Jahre haben Lösungen in den Bereichen Industriesteuerungen und PCs gezeigt, dass modulare Hardware und Standard-Betriebssysteme Industrien nachhaltig verändern können. Offene Standards haben Innovationen bei Hardware- und Software-Applikationen gefördert. Skaleneffekte in der Produktion und damit verbundene Kostensenkungen der modularen Hardware machten PCs attraktiv für Endanwender.

In den 1990er-Jahren wurde in der Luftfahrt aufgrund von Problemen, die den heutigen des Automobilsektors sehr ähneln, eine neue Architektur eingeführt. „Integrated Modular Avionics“ (IMA) [3,4] hat gezeigt, dass eine neue Architektur zur Komplexitätssenkung beitragen und eine tragfähige Basis für die Zukunft schaffen kann. Wesentliche Konzepte wie die Zentralisierung und Virtualisierung der Rechnerarchitektur, lokale Datenkonzentratoren und X-by-Wire können übernommen und an den Bedarf des Automobilbaus angepasst werden.

Auch der Bereich Robotik kann für eine Neuausrichtung der IKT-Architektur im Automobilbereich interessant sein. Besonders die logische Architektur zur Steuerung humanoider Roboter und ihre Aufteilung in Umwelterfassung, Planung und Handlung können als Vorbild einer logischen Architektur für die Automobilindustrie dienen. Auch wichtige Konzepte aus dem Bereich der Robotik-Middleware-Architekturen [5,6] könnten für den Automobilbereich interessant sein.

### 3. 4 Szenarien für zukünftige Architekturen

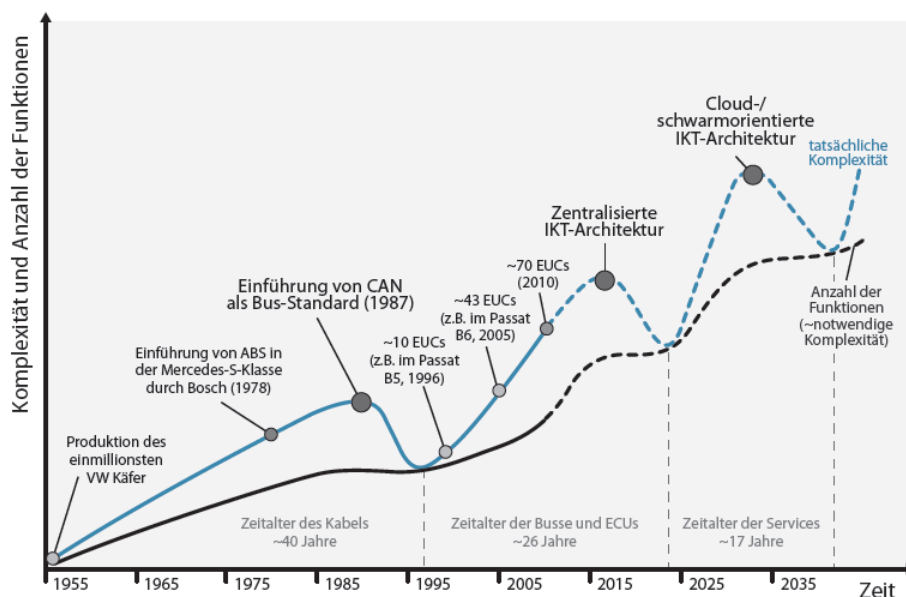


Bild 1: Evolution der Komplexität [7]

Bei der evolutionären Entwicklung von Fahrzeugarchitekturen lässt sich, wie in Abbildung 1 dargestellt, der Trend beobachten, dass die Architektur tatsächlich deutlich komplexer ist, als es für den erreichten Zuwachs an Funktionen eigentlich notwendig wäre. Diesen, für evolutionäre Entwicklungen typische, Trend hat unter anderem Brooks beschrieben [8]. Das führt zu dem Problem, dass die Integration neuer Funktionen immer teurer wird und sich der Innovationstrend deshalb abschwächt. Erst durch eine deutliche Überarbeitung der Architektur und einen Technologiesprung kann die tatsächliche wieder an die notwendige Komplexität angeglichen werden. Im Wesentlichen muss das Abstraktionsniveau, auf dem neue Funktionen integriert werden, steigen. Ein Teil der Plattform muss zu dem Zweck virtualisiert werden. Die virtualisierte Plattform wird zur Standardkomponente (Commodity) und die Komplexität und die Preise für diese Plattform sinken.

Dieser Prozess war schon in der Vergangenheit im Automobilbereich zu beobachten. Um Emissionen zu senken und den Komfort zu verbessern, wurde es in den 1980er-Jahren erforderlich, verstärkt Mikrocontroller einzusetzen. Relativ schnell wurde die Komplexität zu einem großen Problem, weil es fast unmöglich war, all diese Elektronikmodule miteinander zu verkabeln. Eine Lösung boten Kommunikationsbusse wie der CAN-Bus; sie virtualisierten die physikalische Verbindung, in diesem Fall das Kabel. Neue Funktionen konnten so wesentlich einfacher eingeführt werden, weil die Integration nun nicht mehr auf Kabelebene, sondern auf Nachrichtenebene stattfand.

Die heutige IKT-Architektur steht wieder vor ähnlichen Problemen, allerdings nun wegen der hohen Anzahl an Steuergeräten. Eine neue zentralisierte Elektrik-/Elektronik-Architektur mit einer Basis-Middleware, analog zur IMA in der Avionik, könnte die tatsächliche Komplexität reduzieren. Neue Funktionen würden dann nicht mehr in Form von Steuergeräten, sondern als Software integriert werden. Der dritte Schritt wäre schließlich eine weitergehende Virtualisierung des benötigten Gesamtsystems aus Hardware und Software (Hardware-/Software-Stack) hin zu einer Dienste-orientierten Architektur: Dabei würde die zugrundeliegende Ausführungsplattform, bestehend aus Steuergeräten und Bussen, komplett durch eine Middleware virtualisiert; diese würde auch nicht-funktionale Eigenschaften, etwa Fehlertoleranz, umsetzen. Dann wäre es möglich, Funktionen beliebig zu verteilen, auch außerhalb des Fahrzeugs; das Auto würde so zu einem Teil eines größeren Systems.

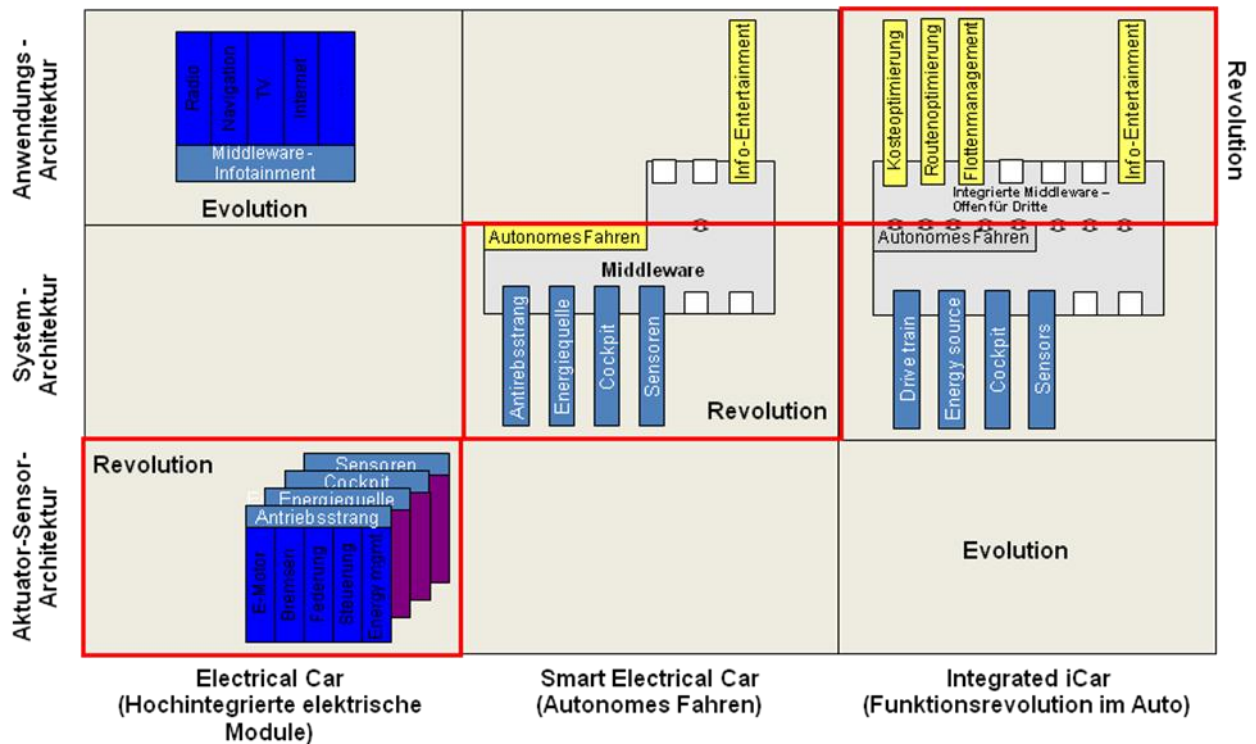


Bild 2: Evolution der IKT-Architektur [7]

Wie in Abbildung 2 dargestellt, könnte die IKT-Architektur sich darum in drei Schritten entwickeln. In einem ersten Schritt, der bereits heute stattfindet, werden informationstechnische Module auf hohem Niveau integriert und gekapselt. Im zweiten Schritt könnte die IKT-Architektur in Bezug auf alle fahrzeugrelevante Funktionen neu geordnet werden. Und schließlich würde eine Middleware, die sowohl die für den Fahrbetrieb relevanten als auch die nicht-sicherheitskritischen Komfort- und Entertainment-Funktionen integriert, eine nachträgliche Anpassung von Fahrzeugen an ihre Fahrer mittels Software von Fremdanbietern ermöglichen.

Auf der Basis dieser Beobachtungen identifiziert der Bericht drei verschiedene Szenarien zum Umgang der Automobilindustrie mit den anstehenden Veränderungen:

1. Low Function/Low Cost für das Jahr 2020: Dieses Szenario ist das wahrscheinlichste für neue Marktteilnehmer mit dem Fokus auf kostengünstige Fahrzeuge. Die Funktionalität der Fahrzeuge und die Ansprüche der Kunden an Komfort und Verlässlichkeit sind eher gering. Das Szenario eignet sich sehr gut, um eine überarbeitete und vereinfachte IKT-Architektur einzuführen, die unter anderem einem Drive-by-Wire-Ansatz folgt; Aktorik-Komponenten werden direkt an die Leistungselektronik und die IKT angeschlossen. So lassen sich die Aktoren lokal mit Energie versorgen und über Softwareprotokolle ansteuern, was den Verkabelungsaufwand und die Zahl der Steuergeräte verringert.



2. High Function/Low Cost für das Jahr 2030: Die Überlegungen für dieses Szenario basieren auf der Weiterentwicklung des revolutionären Ansatzes für die IKT-Architektur, wie er zuvor im Szenario „Low Function/Low Cost“ beschrieben wurde. Die IKT wurde im Laufe der Jahre optimiert und ist mittlerweile sehr zuverlässig, sodass auch Kunden mit hohen Ansprüchen entsprechende Fahrzeuge kaufen. Dieser Trend wird verstärkt durch die Möglichkeit, neue Funktionen auf einfache Weise in die Fahrzeuge zu integrieren und diese zu individualisieren.

3. High Function/High Cost: Dieses Szenario befasst sich mit Elektrofahrzeugen im Jahr 2020, deren Architekturkonzept sehr weitgehend auf dem aufbaut, was von herkömmlichen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor bekannt ist. Elektrifiziert wird hauptsächlich der Antriebsstrang, die existierende IKT-Architektur wird ohne Entwicklungsfortschritt weiterverwendet. Höherwertige Funktionen mit starkem Kooperationsbedarf, etwa Energiemanagement, lassen sich nur mit großem Aufwand realisieren, da nur wenig Interaktion und Abstimmung der Fahrzeugkomponenten untereinander vorgesehen sind. Besonders im Hinblick auf die für 2030 zu erwartenden Anforderungen hinsichtlich Anpassbarkeit und Fahrautonomie wird sich dieses Szenario als Sackgasse erweisen, denn grundlegend neue Funktionen werden sich wegen der Systemkomplexität kaum noch mit vernünftigem Aufwand integrieren lassen.

### **3. 5 Merkmale zukünftiger Architekturen**

Wesentliche Merkmale einer zukünftigen Architektur sind eine skalierbare zentrale Recheneinheit zur globalen Steuerung und Ausführung von Diensten, intelligente Sensoren und Aktoren sowie Datenkonzentratoren. Datenkonzentratoren haben sich bereits in der Avionik im Zusammenhang mit der IMA-Architektur durchgesetzt. Ihre wesentliche Aufgabe ist es, Sensordaten vor ihrer Übertragung zu verknüpfen und so die benötigte Bandbreite zu reduzieren. Zu den künftigen Architekturmerkmalen zählt auch die Möglichkeit zu lokalen Regelungen, also im Sensor statt im Rechner, falls dies aufgrund von Echtzeitanforderungen oder zur Reduzierung der Bus-Last notwendig ist. Zur Kommunikation zwischen den Komponenten und dem zentralen Rechen-Cluster dient ein breitbandiger, echtzeitfähiger Netzwerk-Backbone, der zudem redundant ausgelegt und dadurch fehlertolerant ist.

In der IKT-Architektur von 2030 werden vor allem zwei Kategorien von Recheneinheiten eingesetzt werden: In Zentralrechnern kommen leistungsstarke Multicore-Prozessoren zum Einsatz, die über einen Daten-Backbone untereinander verknüpft sind, wie es auch in der Servertechnik üblich ist. Dieser Ansatz bietet optimale Skalierbarkeit und ermöglicht schnelle und effiziente Datenkommunikation. Dagegen werden in den mechatronischen Komponenten

passgenaue Recheneinheiten, besonders ASICs, DSPs und FPGAs, eingesetzt, die über wesentlich weniger Leistung verfügen.

Die Kommunikationsstandards der künftigen Architektur werden weitgehend homogen sein. Insbesondere ist zu erwarten, dass ein breitbandiger, echtzeitfähiger und fehlertoleranter Kommunikations-Backbone die Kommunikation übernimmt, mit großer Wahrscheinlichkeit auf der Basis eines Echtzeit-Ethernet-Protokolls. Für die lokale Kommunikation und den Transfer zwischen Datenkonzentratoren sowie einfachen Sensoren und Aktoren könnte noch ein schmalbandiges und dadurch kostengünstigeres Kommunikationsmedium eingesetzt werden.

Ebenso wie in der internen Kommunikation werden wohl auch für die Kommunikation der Fahrzeuge mit ihrer Umwelt zwei Kommunikationsstandards verwendet werden. So wird einerseits ein breitbandiges, nicht echtzeitfähiges und nicht zuverlässiges Kommunikationsprotokoll die Anbindung an das Internet sicherstellen. Für die Kommunikation mit der Infrastruktur und mit anderen Verkehrsteilnehmern benötigen die Fahrzeuge zusätzlich ein echtzeitfähiges Kommunikationsprotokoll mit niedrigen, aber dafür garantierten Bandbreiten.

Softwareseitig sorgt künftig eine Middleware-Architektur dafür, dass wesentliche nicht-funktionale Leistungen automatisch erbracht werden. Dazu zählen die Bereitstellung der Grundlagen funktionaler Sicherheit, die Umsetzung von Datensicherheitskonzepten, ein reaktives Energiemanagement, die Fusion von Sensordaten, die Abstraktion von Kommunikationsmedien, eine Ressourcenverwaltung und die Lastoptimierung.

Die Schnittstelle zur Anwendungsebene wird einerseits Plug-and-Play-Mechanismen bieten und andererseits standardisierte Schnittstellen zu Hardwarekomponenten bereitstellen.

Plug-and-Play erleichtert es, neue Funktionen und Komponenten zu integrieren. Der Mechanismus baut vor allem auf Funktionen der Middleware auf: Das Ressourcenmanagement stellt Dienste bereit und sichert die Kompatibilität der beteiligten Komponenten. Weil die Daten zentral gehalten werden, können sie direkt an die neue Funktion vermittelt werden, nachdem geprüft wurde, ob die Funktion auf diese Daten zugreifen darf. Die Lastverteilung schließlich stellt sicher, dass das neue Gesamtsystem optimal ausgeführt werden kann.

Damit ein System optimal erweitert werden kann, müssen künftige Fahrzeugarchitekturen über eine Reihe generischer, also anpassbarer Komponenten verfügen, die zudem Standardschnittstellen aufweisen. Ein Beispiel aus dem Bereich der Mensch-Maschine-Schnittstellen ist eine standardisierte Schnittstelle für Monitorelemente, die es Benutzern ermöglicht, Informationen wie am Heim-PC darzustellen. Ein Beispiel aus der Sensorik und

Aktorik ist die Verwendung einer SDR-Komponente (Software-Defined Radio), um unterschiedliche Übertragungsprotokolle flexibel umzusetzen.

Für 2030 sind auf Anwendungsebene viele neuartige Funktionen zu erwarten. Die wichtigsten davon sind autonomes Fahren, Flottenmanagement bis hin zur Fahrt in Verbänden, ein übergeordnetes, vorausschauendes Energiemanagement, proaktives Sicherheitsmanagement und Insassenüberwachung. Im autonomen Betrieb werden auch Infotainment-Funktionen wesentlich wichtiger sein: Kommunikation und Mobilität vermischen sich, es entsteht das „Mobility Internet [9]“: Darin kann das Fahrzeug einerseits selbst mit der Umgebung kommunizieren, etwa um Unfälle zu vermeiden, andererseits haben die Passagiere Zugriff auf alle verfügbaren Daten.

Der gegenwärtig vorherrschende komponentenorientierte Entwicklungsentwurf (Bottom-up) wird künftig durch einen funktions- und informationsflussorientierten Entwurf (Top-down) abgelöst. Ausgehend von den Anforderungen wird die umzusetzende Funktionalität immer stärker konkretisiert, bis hin zur Umsetzung. Die Eigenschaften des Systems werden in jedem Konkretisierungsschritt optimiert. Im Gegensatz zum herkömmlichen Entwicklungsprozess findet die Optimierung aber nun zunächst global und erst später schrittweise lokal statt. Gleichzeitig wird sich aufgrund der zunehmenden Verschränkung der Disziplinen Mechanik, Elektronik und Informatik ein Entwicklungsprozess durchsetzen, der nicht, wie heute, nahezu sequenziell abläuft, sondern bereits sehr früh im Entwicklungsprozess auf „agile“ Entwicklungsverfahren setzt und dadurch von großer Flexibilität und geringem bürokratischem Aufwand gekennzeichnet ist. Konzepte wie „Virtual Engineering“ unterstützen dieses Ziel in besonderem Maß. Dabei werden zunächst Modelle aller relevanten Subsysteme für eine Gesamtsimulation aufgebaut. Die Modelle werden immer weiter verfeinert und schließlich durch reale Subsysteme ersetzt. Dieser Ansatz erlaubt es einerseits, schon frühzeitig mit der Entwicklung von Software zu starten, und bietet andererseits die Möglichkeit, frühzeitig Design-Entscheidungen zu validieren.

In der Softwareentwicklung werden sich modellgetriebene Ansätze mit weitgehend automatischer Erzeugung des Codes endgültig durchsetzen. Vor allem Middleware-Architekturen müssen in Zukunft vollautomatisch konfiguriert werden, damit die Komplexität der Gesamtsysteme beherrschbar bleibt. Zudem muss durch ein vollautomatisches Deployment, also die Aufteilung von Software auf Rechner, sichergestellt werden, dass die verfügbaren Ressourcen optimal genutzt werden.

#### **4. Zusammenfassung und Ausblick**

In diesem Dokument wurde ausführlich dargelegt, dass die IKT-Architektur für Elektrik und Elektronik im Fahrzeug verändert werden muss. Dabei wurde deutlich, dass es von

entscheidender Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie ist, sich umzuorientieren, und zwar von Maschinenbau und Hardware-Fokussierung auf Automotive Software und IKT-Plattformen. Einschneidende Veränderungen stehen auch den Zulieferern bevor, die sich mit neuen Anforderungen und Rahmenbedingungen auseinandersetzen müssen.

Die Mobilität der Zukunft wird geprägt sein durch die Spannung im Dreieck zwischen Smart Car, Smart Traffic und Smart Grid. Smart Car steht für ein individuelles Fortbewegungsmittel mit neuen, heute noch nicht verfügbaren Funktionen, zum Beispiel Autonomes Fahren. Smart Traffic umfasst Formen intelligenter Interaktion von Verkehrsteilnehmern, von der Anbindung einzelner Fahrzeuge an die Verkehrsinfrastruktur bis hin zu kooperativen Strategien für Unfallvermeidung und Verkehrssteuerung. Smart Grid schließlich bezeichnet intelligente Energienetze, die sich an schwankende Energieerzeugung - zum Beispiel durch Fotovoltaik-Anlagen - und nachfrage anpassen. Deutschland hat in diesen Einzelbereichen große Kompetenzen. Um künftige Herausforderungen zu meistern, reicht es jedoch nicht, die Einzeldisziplinen zu beherrschen; vielmehr muss es gelingen, das Zusammenspiel der verschiedenen Bereiche zu gestalten und daraus ein neues Ganzes zu formen. Das erfordert Kreativität und Mut bei der Umsetzung neuer Geschäftsmodelle, bei denen anstelle des traditionellen Fahrzeugeigentums Mobilität als Dienstleistung und deren individuelle Optimierung im Mittelpunkt stehen.

- [1] Christensen, C.; Raynor, M. (2003): The Innovator's Solution – Creating and Sustaining Successful Growth, Boston, Massachusetts (HBS Press).
- [2] Charette R.: This car runs on code, IEEE Spectrum, 2009.
- [3] ARINC: Design Guidance for Integrated Modular Avionics, ARINC Report 651
- [4] ARINC: Avionics Application Software Standard Interface, ARINC Report 653 Part 1-3
- [6] <http://www.orocos.org>
- [6] <http://www.is.aist.go.jp/rt/OpenRTM-aist/>
- [7] ForTISS GmbH, Mehr Software (im Wagen), Ergebnisbericht des Forschungsvorhaben „eCar-IKT-Systemarchitektur für Elektromobilität“, 2011
- [8] Brooks, Fred, No Silver Bullet – Essence and Accidents of Software Engineering, 1986
- [9] Mitchell, W., Borroni-Bird, C. Burns L., Reinventing the automobile: Personal urban mobility for the 21st Century