

Mehr Software (im) Wagen: Informations- und Kommunikations- technik (IKT) als Motor der Elektro- mobilität der Zukunft



Zusammenfassung der
Ergebnisse des vom Bundes-
ministerium für Wirtschaft
und Technologie geförderten
Verbundvorhabens „eCar-
IKT-Systemarchitektur für
Elektromobilität“

Inhalt

1	Einleitung	3
2	IKT im Automobil heute	4
3	IKT im Automobil 2030	4
	Gesellschaftliche Trends	4
	Technologische Trends	5
	Vergleich mit anderen Bereichen	5
	Szenarien für zukünftige Architekturen	6
4	Veränderung in der Wertschöpfungsstruktur bis 2030	8
5	Handlungsempfehlungen	9
	Empfehlungen an die Politik	10
	Empfehlungen an die Unternehmen	11
	Empfehlungen an Bildung, Forschung und Wissenschaft	11

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. 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) 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 zusammentun, 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. In diesem Dokument werden die wesentlichen gesellschaftlichen und technologischen Treiber genannt und auf dieser Grundlage Szenarien für Elektrofahrzeuge und die Charakteristika zukünftiger IKT-Architekturen aufgezeigt. Auch auf die Veränderungen der Wertschöpfung im Automobilsektor, die sich daraus ergeben, geht das Dokument ein. Auf der Basis aller Resultate werden die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken benannt (SWOT-Analyse), die in Handlungsempfehlungen an Politik, Industrie und Wissenschaft münden.

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 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-Architektur. In deutschen Premiumfahrzeugen befinden sich circa 70 bis 100 Steuergeräte. 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.

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 Gesamtbericht 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.

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.

Vergleich mit anderen Bereichen

Auch in anderen Industrien 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) hat gezeigt, dass eine neue Architektur zur Komplexitäts- und Kostensenkung 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 kann als Vorbild einer logischen Architektur für die Automobilindustrie dienen. Zudem können Konzepte aus dem Bereich der Robotik-Middleware-Architekturen für den Automobilbereich interessant sein.

Szenarien für zukünftige Architekturen

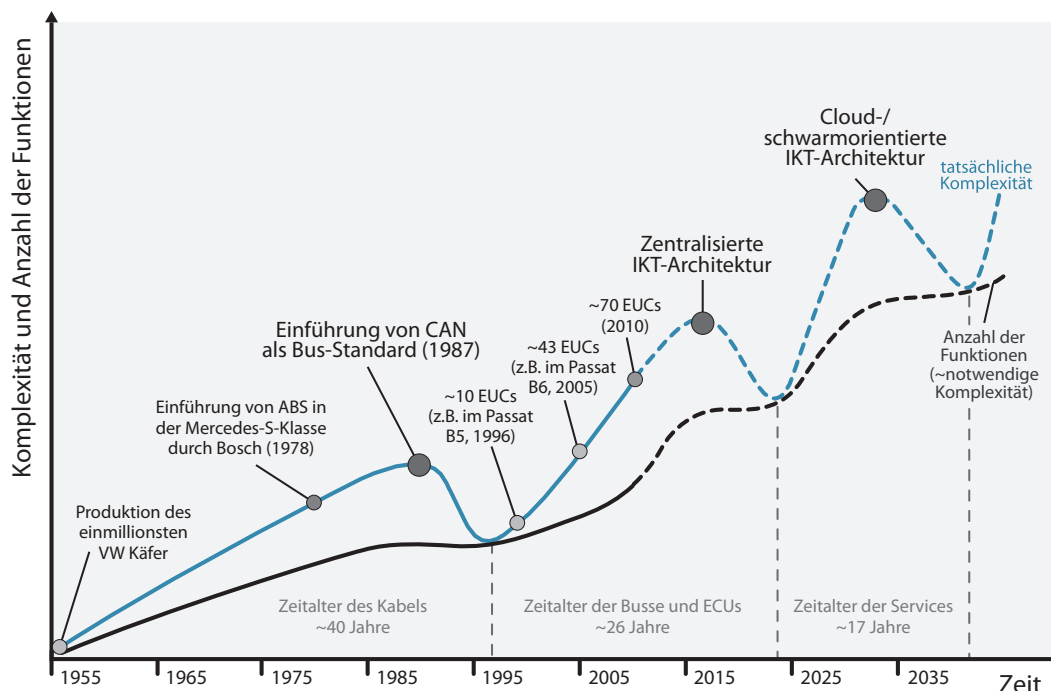
Bei der evolutionären Entwicklung von Fahrzeugarchitekturen lässt sich, wie in *Abbildung 1* dargestellt, der Trend beobachten, dass die Architektur tatsächlich deutlich komplexer ist, als es für den erreichten Zuwachs an Funktionen eigentlich notwendig wäre. Das führt zu dem Problem, dass die Integration 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 Mikrocon-

troller 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 Kabel-ebene, sondern auf Nachrichtenebene stattfand.

Die heutige IKT-Architektur steht wieder vor ähnlichen Problemen, allerdings nun wegen des stark gestiegenen Grads an Vernetzung der Funktionen untereinander. 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 Ei-

Abbildung 1: Evolution der Komplexität



genschaften, 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.

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 fahrzeugrelevanten 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

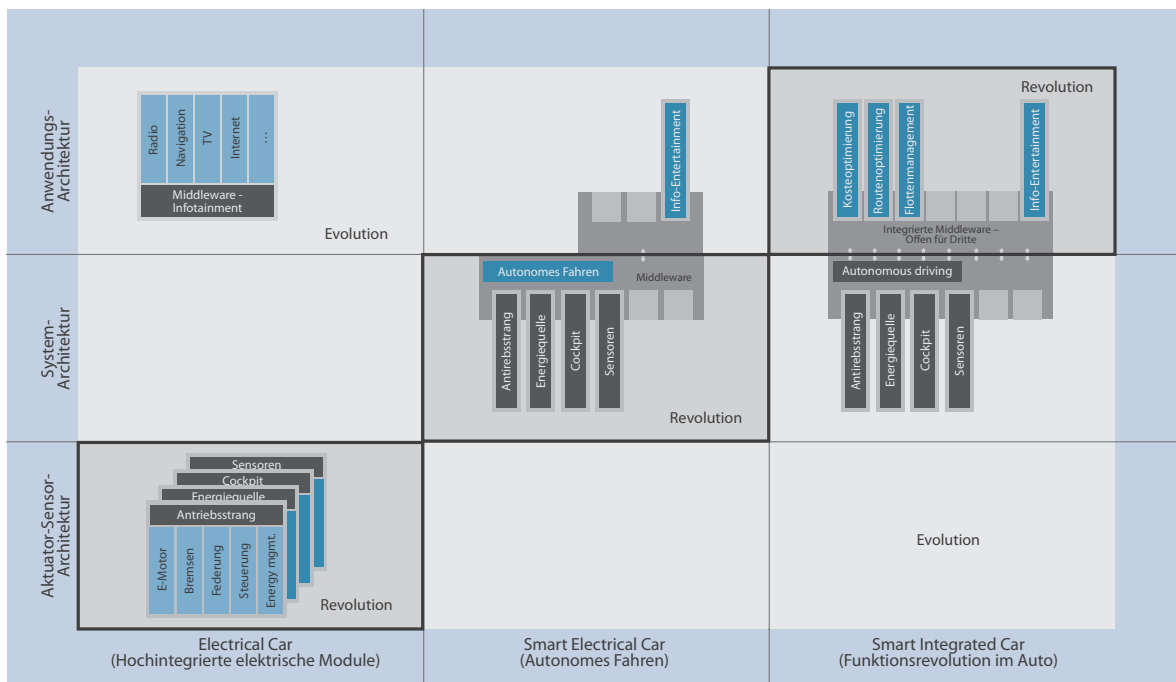
Dieses Szenario ist das wahrscheinlichste für neue Marktteilnehmer mit dem Fokus auf kostengüns-

tige 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.

Abbildung 2: Evolution der IKT-Architektur



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 Energiema-

nagement, 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.

4 | Veränderung in der Wertschöpfungsstruktur bis 2030

Die größten direkten Veränderungen in den Wertschöpfungsstrukturen werden sich durch die Einführung einer neuen IKT-Architektur sowie durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs und der damit einhergehenden Verwendung neuer Schlüsselkomponenten wie Batterie, Leistungselektronik und Elektromotor ergeben.

Der offensichtlichste Punkt ist die Elektrifizierung des Antriebsstrangs. Hier verlieren die von den Automobilherstellern aufgebauten Kernkompetenzen rund um den Verbrennungsmotor rapide an Wert. Es sind zusätzliche Kompetenzen erforderlich, die in vielen Fällen nur neue Zulieferer erbringen können, die in den Markt drängen. Der Zugang zu Batterien und Elektromotoren ist erfolgskritisch für die OEMs, es wird jedoch die Ausnahme bleiben, dass sie diese Wertschöpfungsstufe selbst übernehmen.

Im Bereich der Fahrzeug-IKT führt die notwendige Standardisierung der Steuergeräte zu einem steigenden Wettbewerb zwischen den Herstellern von Steuergeräten. Die Wertschöpfung im Bereich der Rechnertechnik verschiebt sich von direkten Zulieferern (Tier 1) zu IKT-Anbietern im Tier 2. Diese liefern nun nicht mehr einzelne Bauteile, sondern standardisierte Steuergeräte. Es besteht die akute Gefahr, dass diese Wertschöpfungsunterfunktion nicht mehr im Inland stattfinden kann, weil es eine starke Konkurrenz aus dem Ausland und gegenwärtig nur wenige nationale Anbieter im Tier-2-Bereich für die Rechnertechnik einer neuen IKT-Architektur gibt. Im Bereich mechatronischer Module ist ein hohes Maß an Integration von Mechanik, Sensorik und Aktorik zu erwarten. Deutsche Zulieferer sind in diesem Bereich

weltweit führend und haben die Chance, ihre Marktanteile auszubauen. Im Bereich der Software ermöglicht die Entkopplung von Hardware-Spezifika eine Interaktion zwischen den verschiedenen Anwendungsbereichen auf Softwareebene. Dadurch ergeben sich Gestaltungsspielräume für neue, rein softwarebasierte Anwendungen; gleichzeitig öffnet sich der Markt für branchenfremde Softwarehersteller. Um sich gegenüber dem Wettbewerb zu differenzieren, könnten OEMs wieder verstärkt selbst Funktionen entwickeln. Die Zulieferindustrie gerät hier so von zwei Seiten unter Druck.

Bei der Qualitätssicherung verfügen die OEMs über hohe Kompetenz; diese Funktion kann deshalb als Markteintrittsbarriere fungieren. Neuartige IKT-Systeme stellen zunächst eine Herausforderung für die Qualitätssicherung dar, langfristig kann sie aber mittels IKT automatisiert und optimiert werden.

Neben diesen direkten Einflüssen auf die Fahrzeugproduktion zieht die Einführung einer neuen IKT-Architektur wichtige indirekte Veränderungen nach sich; diese betreffen Funktionen, die der Wertschöpfungsstruktur der Fahrzeugauslieferung nachgelagert sind. Dazu zählt vor allem das Angebot von Mobilitätsdienstleistungen, die den Endkunden anstelle eigener Fahrzeuge angeboten werden. Hier sind verschiedene Geschäftsmodelle denkbar, die vom einfachen Carsharing bis hin zum intermodalen Mobilitätsangebot mit individuell optimiertem Verkehrsmittelmix reichen. Hierbei treten die OEMs in direkten Wettbewerb mit etablierten Mobilitätsanbietern (z. B. Bahn, Mietwagen) und Neugründungen.

Darüber hinaus gewinnt das dem Fahrzeugverkauf nachgelagerte Geschäft an Bedeutung, da viele Fahrzeugfunktionen durch die neue IKT-Architektur leichter nachrüstbar beziehungsweise anpassbar sind. Dies ist im einfachsten Fall rein auf Softwareebene möglich, also durch Upgrades oder Apps. Da Elektrofahrzeuge weniger wartungsintensiv sind, ist dieser Bereich besonders wichtig, um die gegenüber dem Verbrennungsfahrzeug wegfallenden Einnahmen aus Wartungstätigkeiten zu kompensieren.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die bestehende Marktstruktur durch das Hinzukommen bislang branchen-

fremder Unternehmen unter Druck gerät. Das kann in Einzelfällen bereits bei Konzeption und Design von Fahrzeugen der Fall sein; verstärkt zu erwarten ist es im Bereich des Antriebsstrangs und der IKT-Komponenten, und es endet, wie beschrieben, bei Mobilitätsdienstleistungen.

Die deutsche Automobilbranche ist aufgefordert, fehlende Kompetenzen für die neuen Marktverhältnisse aufzubauen oder durch Akquisitionen und Kooperationen zu erschließen und die Potenziale der neuen IKT-Architektur zu nutzen, um nicht von der ausländischen Konkurrenz überholt zu werden.

5 | Handlungsempfehlungen

Deutschland soll bis zum Jahr 2020 und darüber hinaus zum Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität werden und sich einen langfristigen Wettbewerbsvorteil sichern. Diese Herausforderung

wurde in einer SWOT-Analyse (Abbildung 3) beschrieben. Es gilt, durch die intelligente Vernetzung mittels IKT, Autoindustrie und Energiewirtschaft – und damit den Standort Deutschland insgesamt –

Abbildung 3: Zusammenfassung der SWOT-Analyse

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> ● Regierung fördert Elektromobilität durch Stärkung von Bildung, Wissenschaft und Technologie sowie durch Regulierung und Gründung der „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE) ● Hohes Bildungsniveau und Vernetzung zwischen Industrie und Wissenschaft gleichen Standortnachteile (hohe Löhne, kein Öl) aus ● Gut positionierte und profitable Branchen (Auto, Energie, Chemie) ● Starke Cluster (Metallverarbeitung, Maschinenbau, Optik, Sensorik) ● Technologische Führung in Fahrzeugbau, Leichtmetallbau, E-Motoren, Fahrzeugelektronik, Sensorik, Mechatronik, Embedded Systems, Car-to-X, erneuerbare Energien ● Sehr hohe Systemkompetenz ● Anspruchsvolle Kunden 	<ul style="list-style-type: none"> ● Unterschätzung der Relevanz von IKT ● Unbefriedigende Kooperation zwischen Auto-, Energie- und IKT-Branchen ● Große Linie fehlt – und damit Kriterien, Prioritäten und angemessene organisatorische Strukturen ● Verschwendung von Ressourcen in unkoordinierten Aktivitäten ● Mangelnde Transparenz – unzureichendes Wissensmanagement ● Zögern und Zeitverlust („Paralyse durch Analyse“) ● Sättigung und Trägheit durch hohen Wohlstand ● NPE: spartenmäßig organisiert, dominiert von mächtigen Verbänden; die „Kleinen“ fehlen; keine Arbeitsgruppe für IKT; Kundensicht fehlt
CHANCEN	RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> ● Mobilitätsbedarf in reifen Industrienationen und Entwicklungsländern, vor allem „BRIC“-Staaten: Brasilien, Russland, Indien, China ● Zunehmende Urbanisierung und Entstehung von Mega-Citys ● Negative Nebenwirkungen des Autofahrens (Ölverbrauch, CO₂-Emissionen, Unfälle, langsame Fortbewegung durch Staus) werden abgeschwächt ● Konvergenz von Auto- und IKT-Industrie fördert wirtschaftliche Entwicklung ● Neue IKT-Architektur fördert Innovation und Wachstum, senkt Komplexität und Kosten und erlaubt neue Funktionalität ● Nachhaltige Mobilität: umwelt- und ressourcenschonend, sicher, mit neuen Anwendungen, kostengünstig 	<ul style="list-style-type: none"> ● Aggressive Programme in mehreren Ländern (USA, China, Japan etc.) ● Andere sind schneller bei der Entwicklung von Elektroauto und Mobility Internet ● Fixierung der deutschen Autoindustrie auf Premiumsegment ● Unterschätzung disruptiver Innovationen; neue Marktteilnehmer könnten Szenario „Low Cost/High Functionality“ verwirklichen ● Elektromobilität wird nicht ganzheitlich betrachtet, sondern aufgeteilt in einzelne Technologien ● Mangelndes Verständnis sich ändernder Kundenwünsche ● IKT wirkt als Kostentreiber, falls alte Architektur weiterentwickelt wird ● Schwächung der Autoindustrie im internationalen Vergleich würde deutsche Gesamtproduktivität und Lebensstandard beeinträchtigen

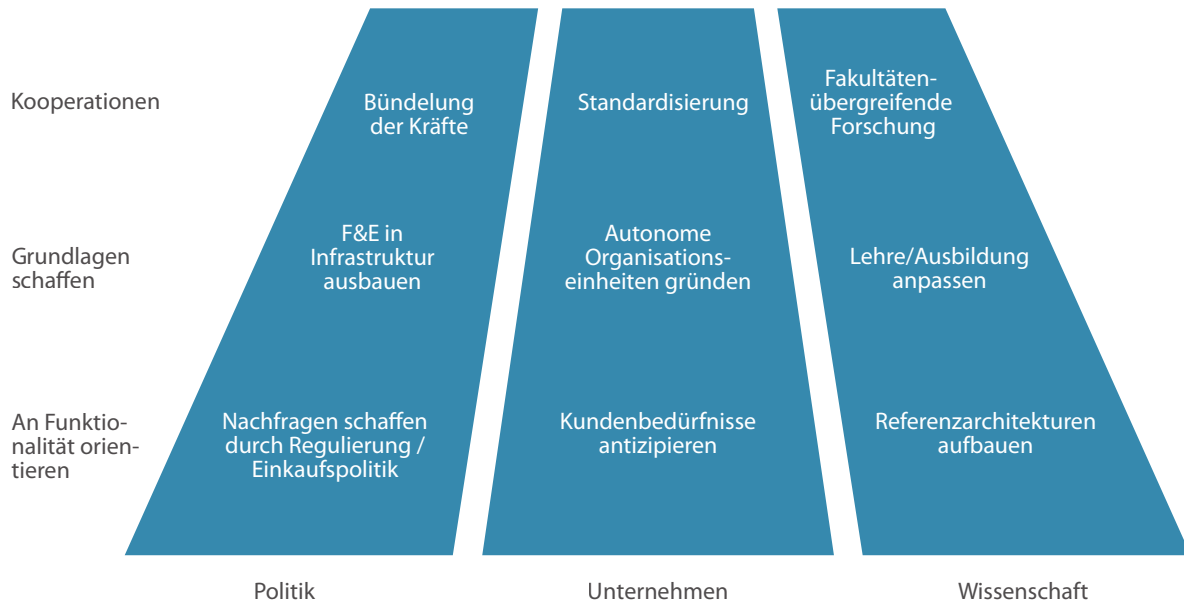


Abbildung 4: Überblick über wesentliche Handlungsempfehlungen

im internationalen Wettbewerb zu differenzieren. Diese Ziele erfordern konzentriertes und konzentriertes Handeln von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft.

Abbildung 4 gibt einen Überblick über die wesentlichen Handlungsempfehlungen, die auf Grundlage der Szenarien, der Veränderungen der Wertschöpfungsnetzwerke sowie der Interviews erarbeitet wurden.

Empfehlungen an die Politik

Die Politik kann durch Regulierung und öffentliche Einkaufspolitik, eine Bündelung aller Kräfte und den Ausbau der Infrastruktur den Wandel hin zu einer zukunftsfähigen IKT-Architektur forcieren.

Nachfrage schaffen

Die Politik kann einerseits die Nachfrage durch Regulierung stimulieren, andererseits aber auch bei der Umrüstung öffentlicher Flotten mit gutem Beispiel vorangehen. Um die oben genannten Ziele zu erreichen, sollte die Regierung höchsten Funktionsbedarfs durch kluge Regulierung generieren. So könnte sie gleichzeitig Industrie, Zulieferer und

Nachfrage stimulieren, eine Änderung der IKT-Architektur einleiten und Eintrittsbarrieren erhöhen. Darüber hinaus sollten Bund, Länder und Gemeinden Elektroautos erlebbar machen und dafür sorgen, dass sie öffentlich wahrgenommen werden. Eine Möglichkeit ist die Umrüstung behördlicher Flotten auf Elektromobilität; zum Beispiel gibt es in Deutschland mehr als 120.000 kommunale Liefer- und Servicefahrzeuge.

Forschung und Entwicklung in Infrastruktur ausbauen

Ganz besonders wichtig und dringend sind politische Initiativen, Investitionen und gesetzgeberische Rahmensetzungen, wenn es um Infrastrukturen und Standards geht, die für eine ausgereifte Elektromobilität erforderlich sind. Hierbei ist insbesondere die Forschung im Bereich IKT für Elektromobilität zu fördern. Neben der Machbarkeit einer IKT für einen zukünftigen „Smart Car“ sollte hierbei insbesondere die Vernetzung mit der Energiewirtschaft (Smart Grid) sowie der Verkehrsinfrastruktur (Smart Traffic) im Mittelpunkt stehen. Dabei spielt IKT als systemübergreifender Treiber für die Wechselwirkung zwischen Smart Car, Smart Grid und Smart Traffic eine entscheidende Rolle.

Bündelung der Kräfte

Erst wenn alle Kräfte in Politik und Unternehmen gebündelt werden, zum Beispiel durch das Fördern von Kooperationen sowie die Teilnahme von Firmen an Standardisierungsprozessen, kann das Potenzial Deutschlands in Bezug auf die bevorstehenden Änderungen entfaltet werden. Die meisten Interviewpartner in dem Projekt empfehlen, für die nächste Dekade einen organisatorischen Sonderbereich einzurichten, der sich um die Koordination beziehungsweise Steuerung sämtlicher Initiativen in Zusammenhang mit Elektromobilität kümmert. Eine der Schlüsselkompetenzen wird hierbei die Fähigkeit aller Branchen und aller gesellschaftlichen Gruppen zur Kollaboration sein.

Empfehlungen an die Unternehmen

Unternehmen müssen ständig ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern, und zwar durch kontinuierliche Verbesserung, Innovation und Veränderung. Wettbewerbsfähigkeit setzt freilich oft schmerzhaft Veränderungen voraus, mitunter sogar „kreative Zerstörung“.

Sich ändernde Kundenbedürfnisse antizipieren

Unternehmen sollten sich besonders um die Bedürfnisse der Kunden kümmern, die noch keine Fahrzeugbesitzer beziehungsweise übertersorgt sind. Die deutsche Industrie konzentriert sich bei Elektrofahrzeugen besonders stark auf kostenintensive Marktsegmente, zum Beispiel Sportwagen. Nach Ansicht vieler Fachleute ist jedoch das Billigsegment besser geeignet, um erste Erfahrungen mit Elektromobilität zu sammeln. Herstellern von Premiumfahrzeugen empfehlen Marktkenner, kostengünstige Fahrzeuge zunächst durch eigenständige Unternehmen zu entwickeln und zu vertreiben, um das angestammte Marken-Image nicht zu belasten. Sich ändernde Kundenbedürfnisse zu antizipieren, heißt aber auch, nicht nur das Fahrzeug an sich, sondern innovative Geschäftsmodelle zu berücksichtigen.

Autonome Organisationseinheiten gründen

Eine eigenständige Organisation, deren Ressourcen, Prozesse und Werte vollständig auf Elektromobilität ausgerichtet sind und deren Kostenstruktur rentable Geschäfte ermöglicht, ist die angemessene Antwort auf die disruptive Herausforderung. In einer solchen Organisation könnten sich die besten Mitarbeiter auf Elektroautos konzentrieren, anstatt ständig von der Arbeit an herkömmlicher, aber am Markt akzeptierter Technologie abgelenkt zu werden. Mit solchen Spin-offs zur

Entwicklung der Elektromobilität sollten Unternehmen zwar klein anfangen, aber sie sollten keinesfalls zögern. Das ist besonders wichtig, weil viele Vorteile der Elektromobilität nur in einer deutlich veränderten IKT-Architektur realisiert werden können, was in etablierten Unternehmen nur schwer möglich ist.

Standardisierungsprozesse aktiv begleiten

Standardisierung wird ohne Zweifel immer wichtiger für den Markterfolg; die Rolle europäischer Unternehmen gerade im IKT-Bereich unterliegt dabei kritischer Aufmerksamkeit von Experten, die einen Rückzug von europäischen Firmen aus Standardisierungsgremien wahrnehmen. Sie befürchten, dass zukünftige Standards vor allem in Amerika und in Asien entstehen. Deutsche Firmen sollten sich daher wieder stärker an Standardisierungsprozessen beteiligen und dadurch sicherstellen, dass sie frühzeitig standardkonforme Produkte anbieten können.

Empfehlungen an Bildung, Forschung und Wissenschaft

Bildung, Forschung und Wissenschaft sind gefordert, Verfahren, Technologien und Fachkräfte für die Entwicklung zur Elektromobilität bereitzustellen. Es gilt, Forschungsergebnisse für den Transfer in industrielle Anwendungen aufzubereiten und den Unternehmen zu helfen, ihre Ziele innerhalb der von der Regierung gesetzten Rahmenbedingungen zu erreichen.

Referenzarchitekturen aufbauen

Um die Kooperation zwischen Forschung und Industrie zu fördern und den Stand der Technik in Sachen Elektromobilität in die Unternehmen zu transferieren, sollte die Entwicklung von Referenzarchitekturen gefördert werden. Hierbei ist eine enge Verzahnung mit den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des Bundes zum Aufbau von IKT-Infrastrukturen anzustreben. Die Entwicklung von Referenzarchitekturen sollte besonders auf Autonomes Fahren, X-by-Wire-Steuerung, Offenheit und Erweiterbarkeit sowie Integration des Fahrzeugs in die Umgebung ausgerichtet sein. Um auch das Niedrigpreissegment adressieren zu können, sollten zum Aufbau der neuen Architekturen Komponenten verwendet werden, die bis 2030 kostengünstig verfügbar sein werden.

Anpassung der Ausbildung und Lehre

Die Hochschulen müssen ihre einschlägigen Studiengänge stärker auf Elektromobilität einstellen und da-

bei in Betracht ziehen, dass die Anforderungen an Ingenieure wachsen werden, weil sie es künftig mit viel komplexeren Systemen zu tun bekommen. Studiengänge wie Elektrotechnik, Informatik und Mikrosystemtechnik müssen weiterentwickelt werden, gerade im Hinblick auf disziplinenübergreifende Felder wie die Mechatronik. Es sollte überlegt werden, neue, fakultätsübergreifende Studiengänge einzurichten.

Fakultätsübergreifende Forschung

Viele der relevanten Forschungsthemen sind interdisziplinäre Fragestellungen, die nur durch eine fakultätsübergreifende Herangehensweise gelöst werden können. Das umfasst neue Themenfelder wie Cyber-Physical Systems und Mobility Internet, aber auch etablierte Themen wie Sensorik, Embedded Systems, Funktionale Sicherheit und Datensicherheit sowie autonome kognitive Systeme und Architekturen.

Impressum

Herausgeber

ForTISS GmbH
Dr. Harald Rueß
Boltzmannstrasse 3
85748 Garching

HRB 176633
Steueridentifikationsnummer 143/237/25900

Autoren

Manuel Bernard, ESG GmbH
Dr. Christian Buckl, ForTISS
Volkmar Dörich, Siemens AG
Marcus Fehling, Siemens AG
Dr. Ludger Fiege, Siemens AG
Helmuth von Grolman, Deutsches Dialog Institut
Nicolas Ivandic, Deutsches Dialog Institut
Dr. Christoph Janello, LMU München
Dr. Cornel Klein, Siemens AG
Karl-Josef Kuhn, Siemens AG
Christian Patzlaß, ESG GmbH
Bettina Cassandra Riedl, LMU München
Dr. Bernhard Schätz, ForTISS
Christian Stanek, Siemens AG

Mitwirkende

Stefan Bures, LMU München
Alexander Camek, ForTISS
Dr. Hieronymus Fischer, ESG GmbH
Mario Gleirscher, TU München
Georg Gut, ForTISS
Andre Hainzlmaier, LMU München
Anton Hattendorf, ForTISS
Gerd Kainz, ForTISS
Patrick Keil, TU München
Ralf Knuth, ForTISS
Dagmar Koss, ForTISS
Philip Mayrhofer, LMU München
Dr. Christian Pfaller, ForTISS
Dr. Daniel Ratiu, ForTISS
Markus Röser, Deutsches Dialog Institut

Steuerkreis

Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Broy, TU München
Prof. Dr.-Ing. habil. Alois Knoll, TU München
Prof. Dr. Dres. h.c. Arnold Picot, LMU München
Wolfgang Sczygiol, ESG GmbH
Prof. Dr.-Ing. Gernot Spiegelberg, Siemens AG

Redaktionelle Aufbereitung

Heise Business Services, Heinrich Seeger
(freier Mitarbeiter), Britta Mümmeler
(Textredaktion, freie Mitarbeiterin)

Layout und Satz

stroemung GmbH, Dialog GmbH

Druck

van Acken Druck GmbH

Alle Rechte vorbehalten. Jegliche Vervielfältigung oder Weiterverbreitung in jedem Medium als Ganzes oder in Teilen bedarf der schriftlichen Zustimmung.